

ANTONINO DRAGO (*) - ROMINA OLIVA (**)

L'ipotesi di Avogadro.

Storiografie a confronto e una nuova interpretazione (***)

Summary - The former part of the present paper reviews many historical works about Avogadro's well-known hypothesis, according to three fundamental questions. A new approach to the detailed analysis of the *Essay* (1811), where that hypothesis was stated the first time, is then presented. We emphasize several double negated statements and some proofs *ad absurdum*, as an evidence for Avogadro's reasoning by means of a non-classical logic. At last we suggest hints for answering some questions of current debate about Avogadro's hypothesis.

INTRODUZIONE

Questo lavoro si articola in due parti. Nella prima presentiamo una rassegna di quanto fin qui elaborato dagli storici sullo scienziato torinese Amedeo Avogadro (1776-1856), specialmente in relazione all'ipotesi molecolare che egli formulò per primo nel 1811. Non seguiremo un ordine cronologico, ma cercheremo invece un collegamento tra le diverse posizioni attraverso le questioni sollevate e i tentativi di risoluzione proposti. Particolare attenzione sarà posta ai contributi recenti.

Nella seconda parte, un metodo di lettura dei testi originali, proposto da uno di noi (A.D.), ci permetterà di avanzare un'interpretazione nuova sulla specifica maniera di argomentare che ha portato Avogadro alla formulazione dell'ipotesi che l'ha reso celebre. Da questa emergeranno nuovi spunti per il dibattito storiografico su Avogadro.

(*) Gruppo di Storia della Fisica, Dip. Scienze Fisiche, Università di Napoli.

(**) Dipartimento di Chimica, Università di Napoli.

(***) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

1. QUADRO STORIOGRAFICO

Noi individuiamo tre domande che qualunque rivisitazione storiografica sull'opera scientifica di Avogadro non può fare a meno di porsi, più o meno esplicitamente, e sulle quali le risposte delle interpretazioni divergono. È attraverso queste risposte che abbiamo scelto di presentare quanto fin qui elaborato dagli storici sul tema. Ne emerge lo 'stato dell'arte' delle interpretazioni; alcune di esse più chiaramente di altre individuano i problemi e ne tentano una soluzione scientifica puntuale che ricomponе organicamente il quadro dei contributi anche parziali e specifici sull'argomento.

1.1. «Il problema cruciale» per i chimici del primo Ottocento.

In primo luogo, quale era il problema di fondo la cui soluzione rappresentava il fine ultimo dei programmi di ricerca dei chimici e degli scienziati di varia estrazione che si occupavano di chimica ai primi dell'Ottocento? Era la definizione teorica della costituzione ultima della materia, che avrebbe poi portato ai moderni concetti di atomo e molecola o, piuttosto, semplicemente la formulazione di un sistema numerico di combinazione per gli elementi? E come si collocava il programma di ricerca di Avogadro in questo quadro?

Aldo Mieli è forse il primo storico a porre la questione in un articolo apparso nel 1919. In esso Mieli sostiene che, dopo il 1800, il problema cruciale che gli scienziati si trovarono ad affrontare fu quello di «scoprire le regolarità, se esse esistevano, nelle composizioni per le quali si formavano le diverse sostanze. Accanto a questo problema e spesso confuso con esso nella mente dei vari scienziati si trova lo svolgimento di una concezione atomica delle sostanze», che non è però il «nocciolo della questione».¹

Ciardi condivide l'interpretazione di Mieli, anzi la spinge più avanti sostenendo che il problema del «dilemma fisico della differenza tra atomi e molecole ancora non esisteva per gli scienziati del primo Ottocento».² Ciardi include in questo giudizio Avogadro, del quale dice che, come Lavoisier, non era interessato alla struttura intima della materia, piuttosto all'uso di «semplici operazioni algebriche e matematiche in chimica».³ In altre parole, Avogadro avrebbe usato le idee

¹ Mieli, 1919, p. 178.

² Ciardi, 1995, pp. 29-30.

³ Ciardi descrive Avogadro come uno scienziato con una curiosità a tutto campo sempre aggiornato su quanto di nuovo si pubblicava in tutta Europa. Avogadro sarebbe stato appassionato ad un lavoro di sintesi, se non di «collage di informazioni», con un piglio da teorico che mai cercò personalmente conferme sperimentali alla sua ipotesi. Haüy avrebbe avuto una forte influenza sulla sua formazione scientifica. Da Haüy il fisico italiano avrebbe ereditato l'approccio epistemologico di una certa parte della scienza francese, facente capo a Lavoisier, che secondo Ciardi adottava l'uso — dobbiamo dire *ante litteram* — di modelli puramente

daltoniane sulla composizione della materia come un modello strumentalmente utile, a prescindere dalla sua veridicità, al fine di delineare un valido sistema di combinazione particellare, scopo principale delle sue indagini (vedi par. 1.2).

Al contrario, Crosland⁴ individua la distinzione tra i concetti di atomo e molecola come il vero problema della chimica del tempo.

Questa interpretazione è stata condivisa di recente da Boato,⁵ per il quale però vi erano altri problemi in auge nella chimica del primo Ottocento, quali appunto la elaborazione di un sistema numerico di combinazione particellare e la determinazione dei pesi molecolari (alla risoluzione dei quali peraltro Avogadro portò un suo contributo).

La Chevallier, autrice del contributo storiografico più recente tra quelli da noi analizzati, sceglie una terza via. Include infatti *ex aequo* sia il problema della costituzione intima della materia, sia quello delle proporzioni nelle combinazioni particellari (insieme alla continuità e alla 'reversibilità' o meno delle reazioni chimiche) tra le questioni cruciali della chimica del primo Ottocento.⁶ Tuttavia, nella sua interpretazione, l'ipotesi di Avogadro era soprattutto finalizzata alla determinazione delle masse atomiche e delle formule chimiche.⁷

Una posizione minoritaria è rappresentata da Coley,⁸ il quale sostiene che il vero fine della ricerca scientifica di Avogadro era quello di trovare delle relazioni tra le proprietà chimiche e quelle fisiche dei corpi. La stessa celebre ipotesi non avrebbe rappresentato per lo scienziato che un punto di partenza per i suoi studi chimico-fisici.⁹

1.2. La costituzione della materia. Atomi e molecole.

Ora ci chiediamo quale era la concezione della costituzione ultima della materia di Avogadro, a prescindere se questa costituisse o meno una priorità nel suo programma scientifico. La sua ipotesi fu il frutto di una concezione della materia che dava già per acquisite le teorie daltoniane, o piuttosto fu quella ipotesi, una volta sperimentalmente confermata, a servire da fondamento per la costruzione *in fieri* di una precisa concezione della struttura della materia (in termini di atomi e molecole)?

strumentali per l'interpretazione fisica dei fenomeni. In questo senso Ciardi afferma che: «Senza la rivoluzione di Lavoisier l'opera chimica di Avogadro non sarebbe mai esistita» (Ciardi, 1995, p. 16).

⁴ Crosland, 1974, p. 344.

⁵ Boato, 1996, pp. 4-5.

⁶ Scheidecker-Chevallier, 1997, p. 161.

⁷ Scheidecker-Chevallier, 1997, pp. 161-165.

⁸ Coley, 1964, p. 195.

⁹ Per gli studi chimico fisici di Avogadro vedi anche Fox 1971 e Nota 34.

Molti storici, oltre alla quasi totalità dei manuali scientifici, attribuiscono ad Avogadro il merito di avere individuato le molecole biatomiche nei gas semplici. (Ricordiamo tra gli altri Mundy, oltre a Coley, Crosland e Boato, dei quali parleremo più diffusamente).

Nelle parole di Coley l'ipotesi di Avogadro conteneva «l'originale suggerimento che le molecole dei gas elementari fossero biatomiche».¹⁰

Con più decisione Crosland afferma che Avogadro, nel suo *Essay* del 1811, distinse chiaramente tra atomo e molecola.¹¹ Egli argomenta che Avogadro fece uso di ben tre diverse espressioni per riferirsi alle particelle di gas: 'molécule integrante', per molecola, specialmente in relazione ai composti; 'molécule constituante' ad indicare la molecola di un elemento; e infine 'molécule élémentaire' che lo storico ritiene possa essere intesa come atomo. Tale nomenclatura comunque non era nuova, come il Crosland fa notare, per dei precedenti sia in Francia,¹² che in Inghilterra.¹³

La stessa argomentazione, basata sulle molteplici definizioni usate da Avogadro per parlare di particelle gassose, quasi a voler distinguere tra atomi e molecole, è ripresa da Boato,¹⁴ il quale, anche su questo punto, è vicino alle posizioni espresse da Crosland. Boato è però costretto ad annotare che «purtroppo Avogadro non rispetta sempre nel suo articolo [*l'Essay* dell'11] queste definizioni».¹⁵

Boato amplia il discorso. A suo parere l'ipotesi di Avogadro fa riferimento a quel particolare modello teorico ('ipotesi atomico-molecolare') che vede la materia costituita di «molecole, concepite a loro volta come raggruppamenti di atomi, cioè degl'ipotetici costituenti ultimi della materia». Non solo; egli ritiene che negli anni in cui Avogadro lavorava, la base sperimentale che supportava l'ipotesi atomico-molecolare era già sufficientemente stabile¹⁶ da rendere quell'ipotesi «più che convincente» per l'interpretazione della costituzione dei corpi. Di conseguenza le speculazioni di Avogadro si sarebbero sviluppate sulla base di tale concezione della materia, in cui era stato decisivo il contributo di Dalton.

Di tutt'altro parere è Ciardi, il quale sulla questione che abbiamo qui sollevato è esplicito. Per Ciardi l'ipotesi di Avogadro «non chiarì il dilemma fisico della differenza tra atomi e molecole».¹⁷ Difatti Avogadro non disse mai quante

¹⁰ Coley, 1964, p. 198.

¹¹ Crosland, 1974, p. 344.

¹² *Macquer's Dictionnaire de Chimie*, 1766.

¹³ *Fourcroy's Textbook*, 1800.

¹⁴ Boato, 1996, p. 19.

¹⁵ Boato 1996, Nota 36, p. 43.

¹⁶ Una prova, seppure indiretta, sarebbe venuta ad esempio dagli studi di Hauy sulle forme geometriche dei cristalli.

¹⁷ Ciardi, 1995, pp. 29-30.

fossero le particelle più semplici (le 'molécules élémentaires') di cui si componeva la molecola di un composto o di un elemento gassoso, né scartò la possibilità di un'ulteriore suddivisione rispetto a quella fin lì osservata. In questa ottica la 'molécule élémentaire' di Avogadro non è altro che il corrispettivo dell'elemento lavoisieriano, risultato contingente dell'insieme delle operazioni di decomposizione effettuate fino a quel momento. L'adesione data alle teorie daltoniane sulla costituzione dei corpi fu di tipo «chimico ma non fisico» (vedi Note 3 e 32). Ciardi ne conclude che quella di Avogadro non fu una visione daltoniana della materia, bensì «newtoniana, cioè composta da infiniti livelli particellari».¹⁸

Su posizioni analoghe troviamo la Chevallier.¹⁹ Anch'ella si pronuncia chiaramente sulla questione: «la molecola di gas di Avogadro non ha alcuna struttura precisa ... è la molecola che è in rapporto diretto con un volume suscettibile di essere misurato». Ella fa notare che Avogadro «non si pronuncia sull'atomicità»: per parlare di particelle gassose egli si rifà ad un vocabolario già in uso e quando ricorre alla parola 'atomo' — siamo nel 1833 — lo fa come sinonimo di 'molécule constituante', ovvero molecola di un composto. La Chevallier cita a questo proposito Bonner, il quale afferma che la 'molécule élémentaire' di Avogadro non possiede alcuna «indipendenza ontologica», tanto è vero che se Avogadro avesse visto in essa un atomo, nell'accezione corrente, si sarebbe senz'altro occupato di determinarne il peso (i pesi atomici). Cosa che Avogadro non fece e invece fece più tardi Cannizzaro.²⁰ Non stupisce pertanto che la Chevallier sia in accordo con Ciardi quando egli dice, come già visto, che la visione della materia di Avogadro era di tipo newtoniano, piuttosto che daltoniano (vedi Nota 18).

Tutto ciò la porta ad affermare, con Mauskopf, che a promuovere l'idea della 'poliatomicità', il contributo di Avogadro sia stato meno determinante di quello di Ampère coi suoi studi sulla costituzione dei cristalli, poi ripresi da Gaudin.²¹

¹⁸ Ciardi, 1991, p. 213. La materia di Newton è costituita di unità di base identiche — i corpuscoli di Newton, duri e impenetrabili — tenute insieme da forze fisiche. È cioè una materia omogenea dove qualsiasi sostanza può interconvertirsi in qualunque altra per opportuno riarrangiamento di tali particelle ultime. Per Dalton invece ciascun atomo ha una sua specificità — data dalla sua massa — e nelle reazioni chimiche non si trasforma, semplicemente si 'addiziona' ad altri atomi. Avogadro non dice dove si arresta il processo di scomposizione delle molecole gassose allorquando esse reagiscono, in questo senso la sua visione della materia sembra, con Newton, formata da «infiniti livelli particellari». (Si noti però che il newtonianesimo di cui si parla in Avogadro non è da mettere in relazione in nessun modo all'intero approccio epistemologico dello scienziato inglese, bensì solo ad alcuni dei suoi contenuti).

¹⁹ Scheidecker-Chevallier, 1997, pp. 170-176.

²⁰ La stessa argomentazione si trova pure in Ciardi (1991, p. 213; 1995, Nota 8, p. 44).

²¹ Dell'articolo della Chevallier noi abbiamo scelto di riportare solo quanto riguarda più specificamente Avogadro; l'autrice conduce invece il suo studio sull'interpretazione dell'ipotesi 'uguali volumi-stesso numero di particelle' sul doppio binario delle due formulazioni pressoché contemporanee (ma, le preme sottolineare, non per questo identiche) da parte di Avogadro (1811) e di Ampère (1814).

Concludiamo questa sezione con le parole di colui che per primo seppe interpretare e trasmettere senza ambiguità²² le idee di Avogadro, Stanislao Cannizzaro.

Sulla questione della poliatomicità Cannizzaro²³ ha da dire: «Questi due fisici [Avogadro ed Ampère; quest'ultimo, com'è noto, formulò indipendentemente l'ipotesi 'uguali volumi-stesso numero di particelle' tre anni dopo Avogadro] avendo ammesso la divisibilità di quelle particelle che si pongono ad eguali distanze nei fluidi elastici in eguali condizioni, non negarono [non dice: 'affermarono'] che esistessero altre unità di un ordine inferiore, le quali entrassero sempre in parte sì nelle molecole dei corpi semplici, come in quelle dei composti». La loro teoria «non escludeva [ma non dice: 'sanciva'] l'esistenza di quelle particelle ultime dei corpi, indivisibili in tutti i fenomeni chimici a noi noti; soltanto diceva che queste particelle non erano sempre le molecole, ma spesso una frazione di esse; però una frazione semplice, un sottomultiplo intero».

1.3. *La ricezione dell'ipotesi di Avogadro.*

Nella sua ipotesi, com'è noto, Avogadro sostiene che uguali volumi di sostanze diverse, allo stato gassoso, contengono lo stesso numero di particelle. Aggiunge poi che, perché questo sia un principio di valenza generale, si deve ammettere che, nel corso delle reazioni chimiche, tali particelle si suddividano in altre di ordine inferiore.

Perché quest'idea, che oggi appare di lettura immediata, pronta per essere usata al tempo della sua formulazione al fine di dipanare questioni fin'allora non risolte e gravida di successivi sviluppi, dovè attendere 50 anni e l'intervento di un fisico del calibro di Cannizzaro per la sua definitiva affermazione? È questa la terza e ultima questione storiografica che ci apprestiamo ad affrontare. In effetti è proprio il tema della tarda affermazione della sua ipotesi quello più dibattuto dalla storiografia su Avogadro.

Per un elenco completo delle interpretazioni proposte al 1984, rimandiamo a Morselli.²⁴ Noi qui ci limiteremo ad illustrarne alcune che a nostro parere sono le più rilevanti, o perché più convincenti o perché riproposte spesso, o semplicemente perché ribadite di recente.

²² Una voce isolata è quella di Mauskopf (Mauskopf, 1969, p. 72), il quale avverte che fu A.E. Baudrimont prima di Cannizzaro a dare, nel 1831, una chiara interpretazione dell'ipotesi di Avogadro-Ampère.

²³ Cannizzaro, 1858, pp. 191-192.

²⁴ Morselli, 1984, pp. 113-122. Ricordiamo che Morselli, nell'espone e criticare le interpretazioni proposte, suggerisce che le considerazioni puramente scientifiche sono forse da considerarsi inadeguate, e che si possono invece rivelare «fondamentali le componenti umane [non ultima l'avversione di Avogadro per i viaggi] e storiche [quali il disordine politico e la frammentazione culturale dell'Italia di quegli anni]».

Tutte le interpretazioni partono da due premesse alternative: in un caso si ritiene che l'ipotesi di Avogadro era pressoché sconosciuta prima che Cannizzaro la illustrasse al congresso di Karlsruhe (1860); nell'altro, al contrario, si afferma che essa era conosciuta e dibattuta, solo che non riuscì a conquistare credito fino a quel momento.

Tra i sostenitori della mancata conoscenza delle idee di Avogadro troviamo Crosland.²⁵ Secondo Crosland questa sarebbe da imputare allo scarso prestigio delle riviste che pubblicarono gli scritti di Avogadro, all'isolamento in cui lo scienziato visse e lavorò rispetto al mondo accademico del suo tempo (fino al periodo tardo, quando tale isolamento fu parzialmente interrotto solo da una scarsa corrispondenza epistolare, ad es. con Faraday), ma anche alla modestia del suo carattere.²⁶

Coley, che è su posizioni analoghe, sottolinea l'inaccessibilità dei primi lavori di Avogadro.²⁷

Ancora, di recente, Boato ha sostenuto che il ritardo del mondo accademico nel riconoscere i meriti di Avogadro può trovare una giustificazione «nella sua provincialità e negli scarsi contatti, esclusivamente epistolari, con i chimici e i fisici dell'epoca».²⁸

Al contrario, interi lavori sono stati dedicati a dimostrare come l'ipotesi di Avogadro non fu affatto ignorata tra il 1811, anno della sua formulazione, e il 1860, I Congresso internazionale della chimica a Karlsruhe.²⁹ A questa tesi fanno capo diversi tra i contributi storiografici più recenti.

Ad esempio Ciardi, nel ribadire che l'ipotesi di Avogadro non fu affatto ignorata prima di Cannizzaro, porta a conferma due fatti: il primo è che essa fu citata nel 1822 come metodo per determinare le masse molecolari nell'*Encyclopédie méthodique*,³⁰ dove tuttavia si avvertiva che per essa non vi erano conferme sperimentali; il secondo è che l'Avogadro dedicò nel 1838 alcune pagine del suo volume *Fisica dei corpi ponderabili*³¹ ad elencare chi dopo di lui aveva più o meno esplicitamente accettato la sua ipotesi e chi invece l'aveva osteggiata (tra gli ultimi Dalton e i fisici inglesi, Henry e Berzelius). Ciardi d'altronde non trova che quella della fortuna dell'ipotesi di Avogadro sia una vicenda così singolare. A suo parere anche lo stesso «atomismo fisico di Dalton fu tutt'altro che un successo».³²

²⁵ Crosland, 1974, p. 344.

²⁶ L'Avogadro dichiara nel brano conclusivo del suo *Essay* del 1811 che il suo studio non è che un'estensione di quelli dei suoi due colleghi: Dalton e Gay-Lussac; questo fatto è preso da Crosland a testimonianza della sua modestia.

²⁷ Coley, 1964, p. 210. Coley cita Hofmann e Bence Jones, che nel 1849 (*Ann. Reports of the Progress of Chemistry*, vol. III), lamentarono l'inaccessibilità dei primi lavori di Avogadro.

²⁸ Boato, 1996, p. 24.

²⁹ Ricordiamo tra gli altri Fisher 82 e Brooke 81.

³⁰ *Encyclopédie méthodique, Physique*, IV, 1822, p. 109.

³¹ *Fisica dei corpi ponderabili*, 1838, vol. II, libro IV, parte I, capo 3°, par. II.

³² Ciardi parla di «falsa rivoluzione daltoniana», sostiene cioè che la teoria atomica dal-

Morselli, da parte sua, si dice convinto che Berzelius, Dumas e Gay-Lussac, tra i più grandi scienziati del tempo, fossero a conoscenza dell'*Essay* dell'11 in cui Avogadro enunciava per la prima volta la sua ipotesi. Morselli ricorda che in quello stesso anno addirittura Berzelius pubblicò un suo articolo sulla medesima rivista (*Journal de physique, de chimie et ...*) su cui era apparso l'*Essay* di Avogadro.

Passiamo ora alle interpretazioni che vengono proposte, a partire da questa seconda premessa, sulla ritardata affermazione dell'ipotesi di Avogadro. Esse sono molteplici e assai diversificate.

Alcune di queste fanno capo alla presunta inconsistenza del linguaggio scientifico di Avogadro. Ad esempio Mauskopf ritiene che sia stata la mancanza di chiarezza, da parte di Avogadro, sui concetti di atomo e molecola, e quindi nella terminologia relativa, a giustificare il ritardo con cui il mondo scientifico accettò la sua ipotesi.³³

Altre interpretazioni sottolineano la incompatibilità della teoria di Avogadro con altre teorie contemporanee. Ad esempio come giustificare dal punto di vista elettrico, molto prima della meccanica quantistica, un'attrazione che potesse tenere insieme più 'molécule élémentaire' di uno stesso elemento in una sola particella gassosa (in termini moderni una molecola poliatomiche)?

Altre ancora sottolineano l'incapacità dell'ipotesi di Avogadro, al tempo della sua formulazione e ancora per alcuni decenni a venire, a spiegare alcune anomalie nella densità di vapore di diversi elementi e composti.

Alcuni sostengono, invece, che nel panorama scientifico internazionale Avogadro semplicemente non godesse della necessaria credibilità. Tra questi, Fox suggerisce che siano state le idee fisiche sullo stato gassoso, specialmente gli studi sul calorico,³⁴ promosse da Avogadro e da lui presentate in stretta con-

toniana, lungi dall'essere accolta così com'era stata concepita, subì i filtri della cultura scientifica continentale. In primo luogo all'atomo daltoniano si sostituì la 'molécule constituante', inoltre essa fu accolta solo come un'ipotesi di tipo modellistico. E in questo senso, secondo Ciardi, l'assimilò Avogadro.

³³ Mauskopf sostiene quindi che a fare da 'battistrada' a tale ipotesi furono gli studi di Ampère prima e di Gaudin dopo, i quali studi riguardavano il collegamento tra composizione chimica e forma dei cristalli, quindi l'arrangiamento spaziale degli atomi. Per questa interpretazione vedi anche Greenaway, 1966 e Nash, 1957.

³⁴ Avogadro riteneva che la luce e il calore fossero dei 'corpi fluidi imponderabili' (di qui il titolo del suo volume di fisica *Fisica dei corpi ponderabili*, 1837-41), per i quali le diverse sostanze mostrassero diverse affinità. In particolare le particelle allo stato gassoso, dotate di estensione, esibivano una specifica affinità per il calorico a seconda dell'elemento o degli elementi che le costituivano. Mediante queste affinità, diverse da sostanza a sostanza, esse erano in grado di trattenere una certa quantità di calorico in forma sferica. Nell'*Essay* del 1811, com'è noto, Avogadro ipotizzò che in volumi uguali di gas diversi si doveva trovare un ugual numero di particelle. Per giustificare quest'idea nell'ambito della sua teoria sul calorico, egli propose che le sfere di calorico trattenute dalle particelle gassose (o, se si vuole, contenenti le particelle gassose) fossero contigue nello spazio e tutte egualmente estese (indipendentemente

nessione alla propria ipotesi, in qualche modo a sostegno di essa,³⁵ a giustificare il ritardo con cui il mondo scientifico fu disposto a darle credito.

Ancora, si può pensare che Avogadro fosse invisibile a qualche prestigioso scienziato suo contemporaneo. Questo infatti suggerisce Ciardi, che sottolinea la diversità di posizioni di Avogadro, su alcune questioni fondamentali, con quello che era forse il chimico più influente di quegli anni: Berzelius.³⁶ A parere di Ciardi i contrasti con Berzelius hanno potuto nuocere alla credibilità di Avogadro e hanno ritardato l'affermazione della sua ipotesi.

Tuttavia Ciardi riprende anche un'altra delle interpretazioni più battute, cioè l'abuso che Avogadro avrebbe fatto dello strumento dell'analogia. Morselli ricorda che questo procedimento portò Avogadro a risultati erronei per i pesi atomici e molecolari di diverse sostanze non gassose.³⁷

Un'altra soluzione, già proposta da Fischer, Brooke, Rocke, Frické, e ripetuta di recente dalla Chevallier, consiste nel dire che la teoria di Avogadro non è stata preferita ad altre fin tanto che non trovò applicazione nella risoluzione pratica dei problemi dei chimici del tempo. Ad esempio Fisher si domanda retoricamente: perché i chimici del primo Ottocento dovevano porre attenzione all'ipotesi di Avogadro? Di che utilità pratica essa si dimostrava nei loro studi? Di che interesse poteva risultare la divisione delle molecole gassose in altre di

dal tipo di sostanza), però più o meno rarefatte a seconda della specifica attrazione per il calorico esercitata dalle diverse sostanze. Fox ci dice che in seguito Avogadro condivise con altri scienziati del suo tempo il progetto (di matrice newtoniana-laplaciana) di risalire alla costituzione qualitativa e quantitativa delle diverse sostanze a partire da una qualche proprietà macroscopica osservabile. A tal fine egli elaborò più di una legge in cui figuravano delle grandezze fisiche (indice di rifrazione o calore specifico), ma spesso dové ritoccarle per rendere conto di nuovi risultati sperimentali di cui veniva a conoscenza. Fox ritiene che con questi lavori Avogadro si sia procurato il discredito del mondo scientifico del tempo. (Ad esempio Dulong bollò come troppo speculativi gli studi di Avogadro sugli indici di rifrazione, mostrando di non nutrire grande stima nei suoi confronti). Ma quel che più conta per Fox è che Avogadro rimase fedele alle sue teorie sul calorico (in particolare la connessione tra affinità chimica e calori specifici) fino alla fine degli anni venti, quando, a parere di Fox — che peraltro non ci sentiamo di condividere —, ormai nel mondo scientifico il concetto di calorico era generalmente ritenuto 'superato'.

³⁵ Secondo Ciardi (Ciardi, 1991, p. 214): «L'interesse che il fisico torinese manifestò nei decenni successivi [al 1811] per la problematica del calorico nacque proprio dal desiderio di poter ottenere conferme fisiche all'ipotesi numerica basata sulla combinazione dei volumi gassosi».

³⁶ Ciardi, 1995, pp. 32-35. Oltre al disaccordo sull'ipotesi dei gas (vedi più avanti nel testo), Avogadro sosteneva, contrariamente a Berzelius, che non ci fosse una separazione netta tra mondo organico e inorganico; inoltre egli riteneva che l'acidità fosse una proprietà relativa degli elementi, non assoluta, com'era invece per Berzelius.

³⁷ Alcuni esempi sono costituiti da Cu, Fe e Ag, tutti elementi per i quali Avogadro propose pesi errati nella *Mémoire* del 1814.

ordine inferiore, quando essi trattavano con gli equivalenti e avrebbero in buona parte continuato a farlo quasi fino al declinare del secolo?

Infine, un'altra interpretazione interessante è quella che ricorre all'alone di confusione che circondava l'ipotesi di Avogadro. La corrispondenza tra i volumi e i numeri di particelle gassose, infatti, fu ipotizzata più volte in quegli anni da vari autori, spesso in maniera diversa e sempre con argomentazioni diverse. Berzelius ad esempio nel 1813 sostenne che uguali volumi di gas, a parità di altre condizioni, contenevano lo stesso numero di atomi. Stessa idea aveva sostenuto e poi ritrattato Dalton nel 1808 (vedi Nota 51). Nel 1814 fu Ampère a riproporre l'ipotesi, questa volta proprio con le 'molecole divisibili' di Avogadro, in una formulazione molto più complessa e confusa, poiché in stretta connessione con le sue idee sulle forme cristalline. Infine Dumas, nel 1826, come dice Morselli, «mescolò le idee di Avogadro e di Ampère arrivando a conclusioni assurde e inaccettabili». In definitiva i chimici del tempo non avrebbero compreso a quale 'livello particellare' si dovesse applicare tale ipotesi. In proposito Morselli fa notare che Avogadro si rifiutò sempre di adottare la simbologia proposta da Berzelius nel 1813 (quella attualmente in uso, che ad ogni elemento fa corrispondere la prima o le prime due lettere del suo nome latino), la quale forse «avrebbe aiutato a chiarire il pensiero di Avogadro».

A tale interpretazione sembra aderire lo stesso Cannizzaro;³⁸ per il quale, il fatto che questa teoria, per quanto semplice, «non fu compresa nel suo vero spirito che da pochissimi chimici» è da attribuire alla «mala applicazione» che se ne era fatta, la quale pareva condurre a risultati in disaccordo «con quelli dedotti da altre considerazioni chimiche; alcuni fatti male osservati parvero distruggerla». Cannizzaro conclude che tuttavia, dal momento che essa si è dimostrata sorgente di progressi per alcuni chimici che hanno usato tale teoria come guida per le loro ricerche, specialmente nel campo della chimica organica, lo sviluppo stesso della scienza ha ricondotto gli scienziati ad essa.

2. ANALISI DELL'ESSAY: LA PRIMA FORMULAZIONE DELL'IPOTESI

L'Essay d'une manière de déterminer les masses relatives ..., sesto lavoro di Avogadro, appare nel 1811 sul *Journal de Physique, de Chimie et d'Histoire Naturelle* (rivista edita da de La Mètherie). L'articolo è suddiviso in otto paragrafi. È nei primi due paragrafi che Avogadro enuncia per la prima volta la sua ipotesi molecolare, sviluppando, nel primo, l'idea — fortemente suggerita dai risultati sperimentali di Gay-Lussac (1809) — che esistono rapporti semplici tra i volumi delle sostanze gassose e i numeri di molecole semplici che le formano, e, nel secondo, l'idea — questo è il suo contributo più originale — che durante

³⁸ Cannizzaro, 1858, p. 192.

le reazioni tra gas possa aver luogo una divisione delle «molécules constituan-tes» in un certo numero di «molécules élémentaires». I paragrafi III-VII sono dedicati all'applicazione dell'ipotesi appena formulata per la determinazione dei pesi molecolari di un numero di sostanze semplici e composte, e inoltre al confronto tra i risultati così ottenuti e quelli recentemente riportati in letteratura (in particolare da Dalton e Davy). Nella sezione VIII, nel concludere, Avogadro rivendica alla propria ipotesi il ruolo di «principio generale» in grado di fornire un collegamento tra il sistema di Dalton per la determinazione delle masse molecolari e i recenti lavori di Gay-Lussac.³⁹

Noi ci occuperemo in particolare dei paragrafi I e II, cui è affidato il contributo teorico dell'*Essay*. Nell'analizzare il modo di argomentare di Avogadro per arrivare alla prima formulazione della sua ipotesi, faremo uso di categorie proposte da uno di noi,⁴⁰ il quale ha riscontrato, nelle opere originali dei fondatori di alcune teorie scientifiche, l'uso frequente di frasi doppiamente negate ($\neg\neg A$: non è vero che non è A). Queste non sono equivalenti alle corrispondenti frasi positive, quindi per esse non vale la legge della doppia negazione (per la quale $\neg\neg A = A$), proprio come accade per la logica intuizionista e, più in generale, per le logiche non classiche. Nel passato questo tipo di ragionamento è stato valorizzato da Leibnitz, che riteneva il principio di ragion sufficiente («Nulla è senza causa») di pari importanza del principio di non contraddizione per fondare il pensiero umano. Però l'ambiente scientifico è stato sempre diffidente verso questo tipo di ragionamento.⁴¹

Tuttavia il recente lavoro di analisi comparata di teorie moderne fa vedere che in genere un contenuto scientifico espresso mediante una frase doppiamente negata individua un problema: infatti, mentre da una parte i mezzi operativi sono insufficienti a decidere una questione (ad es. affermando A), dall'altra si vede, ricorrendo a procedimenti logici, che è assurdo che non sia A. Su un problema di questo tipo si può fondare una teoria, la quale evidentemente non ha una organizzazione deduttiva-aristotelica (sia in quanto, avendo frasi doppiamente negate, non può partire da principi dati per certi e affermati senza ambiguità, sia perché non opera deduzioni da questi mediante l'uso della logica classica), ma ha invece una organizzazione che possiamo dire 'problematica'.

La presenza di frasi doppiamente negate rappresenta dunque la caratteristica formale di una teoria ad organizzazione problematica; ma esse ne costituiscono anche i principi metodologici. Infatti 'schiacciare' una frase doppiamente negata nella sua corrispondente affermativa può costituire una indebita idealiz-

³⁹ Morselli ha fatto notare che le sezioni V, VI e VIII furono scritte da Avogadro solo dopo aver letto, nel Nov. del 1810, la *Bakerian Lecture* di Davy (12 Luglio 1810) sull'acido ossimuriatico, che offriva nuovo materiale di confronto per alcuni pesi molecolari.

⁴⁰ Drago, 1994.

⁴¹ Mancosu, 1996.

zazione, che annulla il problema contenuto nella doppia negazione e, con esso, ogni possibilità di arricchimento sul tema. Al contrario, una teoria ad organizzazione problematica, una volta posto il problema ($\neg\neg A \neq A$) e indicata la direzione per risolverlo, costruisce un metodo generale per trovare quanti più contenuti è possibile di quella questione (A) che all'inizio non poteva essere affermata sopprimendo le due negazioni.

2.1. *Analisi del Paragrafo I.*

Nel primo paragrafo dell'*Essay* Avogadro sviluppa, come già detto, l'idea che costituisce la prima parte della sua ipotesi. (Ricordiamola nella formulazione che egli ne diede nella *Memoire* del '14: «volumi uguali di sostanze gassose, a pressione e temperatura uguali, rappresentano numeri uguali di molecole»).

L'*Essay* vuole interpretare i risultati sperimentali presentati da Gay-Lussac due anni prima, dai quali risulta che «le combinazioni di gas tra loro avvengono sempre in rapporti molto semplici in volume, e che, quando il risultato della combinazione è gassoso, il suo volume è anch'esso in rapporto molto semplice con quello dei suoi componenti». Da questa premessa, cioè da dati macroscopici oggettivi, Avogadro passa allora alle ipotesi microscopiche. Lo fa giustamente con una frase doppiamente negata, così come si conviene per ipotesi metodologiche non ancora comprovate dall'esperienza: «Ma i rapporti delle quantità delle sostanze nelle combinazioni non sembrano dipendere che dal numero relativo delle molecole che si combinano, e da quelle delle molecole composte che ne risultano». Dopodiché, dalla premessa sperimentale, egli ricava come conseguenza logica, attraverso un ragionamento per assurdo, la prima parte della sua celebre ipotesi.⁴²

Partendo infatti dall'assunzione contraria, e cioè che «il numero di molecole contenute in un dato volume è differente per i diversi gas», egli ricava una conseguenza inaccettabile in quanto impedirebbe qualsiasi collegamento tra il modello microscopico e i fatti sperimentali macroscopici; cioè «non sarebbe assolutamente possibile concepire che la legge che regola la distanza delle molecole possa dare, in tutti i casi, quei rapporti così semplici che i fatti, che abbiamo appena citato, ci obbligano ad ammettere tra i volumi e i numeri di molecole». Di fatto egli si attiene al principio metodologico: è impossibile che i rapporti macroscopici di combinazione non siano determinati dai rapporti molecolari.

Notiamo ancora che, nel ricavare la sua ipotesi, Avogadro fa ricorso a ragionamenti sui soli risultati sperimentali di Gay-Lussac e a nessuna ipotesi di natura fisica sulla costituzione della materia. A questo punto o si rifiutano come non attendibili i risultati di Gay-Lussac, oppure necessariamente si accetta anche l'i-

⁴² Morselli (1980, p. 87) ritiene che Avogadro dia la propria dimostrazione «per esclusione di altre soluzioni».

potesi 'uguali volumi-stesso numero di particelle'. Nel secondo caso si tratta allora di precisare il modo con cui le molecole sono relazionate tra loro. Qui Avogadro presenta un suo modello che lega le molecole al calorico (vedi Nota 34 per la teoria del calorico di Avogadro).

Lo fa ricorrendo a frasi doppiamente negate per sottolineare il carattere euristico del modello.

Egli dice che, trattandosi di gas, cioè di materia rarefatta, le diverse sostanze possono attrarre il calorico in maniera diversa tra loro, ma «senza che l'atmosfera [di calorico] formata sia più estesa per le une che per le altre [diverso da: 'è uguale per tutti'] e, per conseguenza, senza che la distanza tra le molecole vari [non è lo stesso che dire: 'la distanza tra le molecole resta costante'], o, in altre parole, senza che il numero di molecole contenute in un volume dato sia affatto differente [diverso dal dire: 'il numero delle molecole ... è uguale']».

Egli ricorda tuttavia che Dalton ritiene esattamente il contrario, e cioè che le particelle dei diversi gas attraggono una stessa quantità di calorico, però in forma più o meno condensata (a seconda della loro specifica affinità), facendo così variare la distanza tra le molecole. Ma, osserva Avogadro, noi siamo «nell'oscurità» sperimentale per quanto riguarda questa attrazione del calorico; la qual cosa ci porterebbe «ad adottare un'ipotesi mista, che faccia variare la distanza delle molecole e la quantità di calorico secondo delle leggi sconosciute», se però l'ipotesi «che noi abbiamo esposto non fosse supportata da questa semplicità di rapporti tra i volumi nelle combinazioni dei gas, la quale non sembrerebbe poter essere spiegata altrimenti».

Dove l'ultima frase costituisce ancora un ragionamento per assurdo, o meglio la sua espressione più breve, costituita dal principio di ragion sufficiente.⁴³

Segue poi una pagina di tentativi di applicazione delle sue idee a varie sostanze gassose.

2.2. *Analisi del Paragrafo II.*

Una volta ammesse la validità dell'idea, conseguente dai dati sperimentali ottenuti da Gay-Lussac, della corrispondenza tra i volumi e i numeri delle particelle gassose, ad Avogadro rimaneva ancora qualcosa da spiegare. Per chiarezza ricorreremo ad un esempio. Sempre Gay-Lussac aveva mostrato che quando l'i-

⁴³ Ciardi dice in proposito che «Le riflessioni sulla natura fisica della materia e, in particolare, quelle riguardanti le relazioni tra fluido calorico e particelle vengono proposte da Avogadro seguendo un criterio di interpretazione puramente qualitativo. Il fisico torinese sottolinea chiaramente di non voler affermare la validità della sua ipotesi su quella di Dalton». (Ciardi '95, Nota 2, p. 40). Qui il «qualitativo» è in realtà un formalismo logico, che è di tutt'altra natura dall'argomentare metafisico suggerito dall'uso della parola «qualitativo» in ambiente scientifico. Inoltre Ciardi sembra equivocare il giudizio di Avogadro sull'ipotesi di Dalton.

drogeno reagisce con l'ossigeno per dare acqua, si osservano i seguenti rapporti in volume: 2 volumi di idrogeno si combinano con 1 volume di ossigeno, per dare 2 volumi di acqua (allo stato di vapore). Dunque i rapporti semplici, tra i volumi di reagenti e prodotti, sono rispettati. Fin qui tutto normale; tuttavia si può notare che vi è un dato in più, ovvero che il volume del prodotto risultante (l'acqua) è doppio rispetto a quello di uno dei reagenti (l'ossigeno).⁴⁴ Avogadro si propone allora di spiegare quest'altro aspetto dei dati sperimentali di Gay-Lussac, aspetto che può esser posto come obiezione alla sua affermazione, cioè sembra «a prima vista opporsi all'ammissione della nostra ipotesi riguardo i corpi composti...; ma c'è una maniera molto naturale di spiegare i fatti di questo tipo secondo la nostra ipotesi».

Anche in questo caso egli segue un procedimento logico. Per spiegare questi dati, che si impongono come nuove premesse, Avogadro non rinuncia alle conseguenze già tratte.⁴⁵ Egli ha dunque a disposizione, oltre ai dati stessi, l'ipotesi 'uguali volumi-stesso numero di particelle' che ha appena formulato. Dall'insieme di queste premesse Avogadro ricava la seconda parte della sua ipotesi, ovvero che durante le reazioni chimiche allo stato gassoso si possa avere una divisione delle molecole dei reagenti. Per tornare all'esempio della reazione di formazione dell'acqua allo stato gassoso: qui le particelle di ossigeno si dividono in due 'molécules élémentaires', ciascuna delle quali va a formare una molecola d'acqua; questo spiega i rapporti in volumi osservati.

Il significato fisico associato è ancora una volta espresso attraverso una frase doppiamente negata, ma ora seguita dalla corrispondente affermativa, tuttavia limitata da una ambiguità («certo»). Avogadro dice infatti che le particelle gassose «non sono formate da una sola 'molécule élémentaire', ma risultano da un *certo* numero di queste molecole riunite in una per attrazione». Significativo questo passo, ed esemplificativo di quello che può essere una frase doppiamente negata, usata in ambito scientifico. Si usano le doppie negazioni, ma sapendo che non tutti le accettano, si cerca di passare al più presto alla corrispondente frase affermativa, che però risulta vincolata o limitata. Senz'altro qui si individua un problema fondamentale: Avogadro può dire, basandosi sui dati sperimentali di Gay-Lussac, che una particella gassosa non si compone di una sola 'molécule élémentaire', ma, d'altra parte, nessun dato sperimentale indica con precisione di *quante* 'molécules élémentaires' essa sia composta!

Poi passa alla dimostrazione della seconda parte dell'ipotesi, che è data mediante ragionamenti per assurdo. «La possibilità di questa divisione delle

⁴⁴ Naturalmente quello dell'acqua è solo uno dei molteplici casi analoghi osservati, si pensi ad esempio al monossido di diazoto, N_2O , per Gay-Lussac: «ossido d'azoto».

⁴⁵ Rispettando *ante litteram* il criterio di monotonia, uno dei criteri discriminanti le logiche normali, classiche e non, secondo il quale l'aggiunta di nuove premesse non deve diminuire il numero delle conseguenze.

molecole composte avrebbe potuto essere congetturata anche *a priori*; poiché altrimenti le molecole integranti dei corpi composti da più sostanze con numeri relativi di molecole piuttosto considerevoli, diventerebbe di una massa eccessiva in confronto alle molecole dei corpi semplici». È evidente il principio metodologico: è impossibile che la massa dei corpi composti non sia paragonabile a quella dei corpi semplici.

Ma certamente un ragionamento completamente *a priori* non è del tutto soddisfacente. Perciò egli ne propone un altro, comunque sempre per assurdo. «D'altronde un'altra considerazione parrebbe obbligarci ad ammettere, in qualche caso, la divisione di cui si tratta; poiché come si potrebbe altrimenti concepire una reale combinazione tra due corpi gassosi che si riuniscono in volumi uguali, senza condensazione, così come avviene nella formazione del gas nitroso?⁴⁶ [Qui la doppia negazione è data dal senza e dall'interrogativo retorico (che chiaramente assume una risposta negativa)].

Restando le molecole ad una distanza tale per cui l'attrazione mutua delle molecole dei due gas non si può esercitare, non si potrebbe supporre che una nuova attrazione abbia avuto luogo tra le molecole dell'uno e quelle dell'altro [Il principio metodologico qui è il seguente: 'È impossibile che cambi la forma di interazione tra le molecole gassose, cioè allo stato rarefatto']; ma nell'ipotesi [mia] della divisione, si vede bene che la combinazione riduce realmente due molecole differenti ad una sola, e che [d'altra parte] si avrebbe contrazione del volume di uno dei gas, se qualche molecola composta non si dividesse in due molecole della stessa natura». Le ultime due frasi costituiscono un ulteriore teorema per assurdo, il cui senso è: risulta impossibile spiegare le reazioni in cui il volume totale dei prodotti è uguale a quello dei reagenti, se non ricorrendo alla divisione delle molecole reagenti.

CONCLUSIONI

Come abbiamo appena mostrato, la prima formulazione dell'ipotesi di Avogadro procede tutta mediante teoremi per assurdo e frasi doppiamente negate. Dal che risulta che l'organizzazione della teoria di Avogadro, relativamente alle molecole gassose, è di tipo problematico. Questo modo di argomentare e di organizzare la teoria indica una precisa impostazione metodologica di grande coerenza scientifica, anche se si fonda su un argomentare con la logica non classica.

⁴⁶ Si tratta del monossido di azoto, NO. Nella sua reazione di formazione, 1 volume di azoto reagisce con 1 volume di ossigeno per dare 2 volumi di ossido. Il volume totale dei prodotti è identico a quello dei reagenti. In questo senso si tratta di una reazione «senza condensazione». Al contrario, quella dell'acqua costituisce un esempio di reazione con condensazione, infatti in essa il volume dei prodotti è pari ai 2/3 di quello dei reagenti.

La nostra interpretazione allora riconduce Avogadro nel filone di quegli scienziati che, a partire da Lavoisier e passando poi per S. Carnot,⁴⁷ fondarono la chimica come una scienza del tutto nuova (che da subito guadagnò la propria indipendenza dalla fisica), sulla base di una impostazione metodologica minoritaria, alternativa a quella della dominante meccanica newtoniana.

In questo senso possiamo concludere che, ai primi dell'Ottocento, Avogadro contribuì a fondare la teoria chimica all'interno del medesimo atteggiamento epistemologico che, con Lavoisier, l'aveva vista nascere, e che utilizzava, più che il formalismo della matematica, il formalismo della logica.

Questa interpretazione introduce nuovi elementi per rispondere alle tre questioni poste nella prima parte di questo lavoro.

In primo luogo, Avogadro ha ricavato la sua ipotesi con soli ragionamenti di natura euristica, a partire da precisi dati sperimentali, in particolare quelli esposti da Gay-Lussac in un articolo che trattava di «combinazione delle sostanze gassose».⁴⁸ Quindi nessuna metafisica sulla costituzione della materia. Aggiungiamo il fatto che Avogadro nel 1814,⁴⁹ a soli tre anni dalla prima formulazione, dichiarò che la sua ipotesi permetteva di «perfezionare la teoria delle proporzioni definite, che è, o sta per divenire la base di tutta la Chimica moderna, e la sorgente dei suoi progressi futuri», quindi senza riferimenti alle ipotesi fisiche sulla materia.⁵⁰

In secondo luogo, Avogadro avrebbe di fatto sviluppato la sua ipotesi indipendentemente dalle idee fisiche daltoniane sulla costituzione della materia. Ricordiamo in proposito che anche Dalton era arrivato all'ipotesi 'uguali volumi-stesso numero di particelle' (vedi Nota 51), ma con la differenza sostanziale che egli vi associava una ipotesi fisica restrittiva: per Dalton le particelle allo stato gassoso erano atomiche, ovvero non ulteriormente divisibili; inoltre nel suo sistema di combinazione gli atomi reagivano addizionandosi tra loro. È evidente dunque che lo scienziato inglese non poteva ricavare fino in fondo, come fece invece Avogadro, le conseguenze logiche dei risultati di Gay-Lussac, pena la contraddizione con alcuni punti cardine della propria teoria fisica. Di tutto ciò Dalton era in qualche modo cosciente. Difatti, dopo aver formulato e poi rifiutato l'ipotesi sui volumi gassosi,⁵¹ egli si risolse a negare l'attendibilità stessa dei risultati di Gay-Lussac.

⁴⁷ S. Carnot ha costruito la teoria termodinamica ragionando per assurdo (teorema di Carnot), sulla base del principio metodologico dell'impossibilità del moto che non ha fine.

⁴⁸ Gay-Lussac, J.L., 1809, par. I.

⁴⁹ Nella *Mémoire sur les masses relatives* ..., 1814, par. I.

⁵⁰ È significativo in questo senso un altro passo del I par. della *Mémoire* del 1814: «... se questi volumi non rappresentassero davvero le molecole, essi non meriterebbero di meno di sostituirle, allo stato attuale delle nostre conoscenze, per servire da base all'applicazione della teoria».

⁵¹ In *A New System of Chemical Philosophy*, parte I, 1808, p. 187: «... I had a confused idea, as many have I suppose at this time [1801], that the particles of elastic fluids are all of the same size, that a given volume of oxygenous gas contains just as many particles as the same volume of hydrogenous ...».

Per Avogadro dunque l'indipendenza da una concezione strettamente daltoniana della materia, avrebbe costituito un vantaggio, se non addirittura una condizione necessaria, per la derivazione della sua ipotesi.

Infine, sul problema della ricezione, si conferma che Avogadro rappresentò un modello atipico di scienziato. Come abbiamo visto egli argomentava sulle ipotesi fisiche con procedimenti puramente logici, per giunta di logica non classica.

Atteggiamento epistemologico minoritario anche se aveva avuto precedenti, ad esempio in uno scienziato di chiara fama, quale Lavoisier.

Tuttavia Lavoisier fu anche un valido chimico sperimentale (che, attraverso gli interessanti dati sperimentali che presentava, poteva far passare anche idee e argomentazioni inusuali); mentre al contrario Avogadro contribuì al proprio isolamento rispetto al mondo accademico, allora improntato a un atteggiamento di positivismo pragmatico, non supportando mai con propri dati sperimentali l'ipotesi formulata, 'atipicamente', nel 1811.

BIBLIOGRAFIA

- AVOGADRO, A., *Essay d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps...*, «Journal de physique, de chimie et d'histoire naturelle», (1811), 73, 58-76. Riedita in Ciardi 1995, 39-65.
- AVOGADRO, A., *Mémoire sur les masses relatives des molécules des corps simples*, «Journal de physique, de chimie et d'histoire naturelle», (1814), 78, 131-156. Riedito in Ciardi 1995, 67-94.
- BOATO, G., *Atomi, molecole e costituzione dei corpi nel primo Ottocento. I contributi di Avogadro e di Ampère*, Parte I. *L'ipotesi di Avogadro*, «Giornale di Fisica», (1996), XXXVII, 3-44.
- BONNER, J.K., *Amedeo Avogadro*, Ph. D. dissertation, (1974), Johns Hopkins Univ.; citato in Scheidecker-Chevallier, 1997, p. 173.
- BROOKE, J.H., *Avogadro's hypothesis and its fate*, «History of Science», (1981), XIX, 253-273.
- CANNIZZARO, S., *Lezioni sulla teoria atomica*, Lezione 1, «Liguria Medica, Giornale di scienze mediche e naturali», (1858), n. 5 e 6, 169-194.
- CIARDI M., *Manuali, modelli, equazioni. La fisica teorica di Amedeo Avogadro*, «Atti del IV Convegno Nazionale di Storia e Fondam. della Chimica», (1991), 207-214.
- CIARDI, M., *Introduzione a Amedeo Avogadro. Saggi e memorie sulla teoria atomica (1811-1838)*, Giunti, (1995).
- COLEY, N.G., *The physico-chemical studies of Amedeo Avogadro*, «Am. Sci.», (1964), 20, 195-210.
- CROSLAND, M.P., *A. Avogadro* in C.C. Gillispie (ed.), «Dictionary of Scientific Biography», (1970-80), New York, Scribner's sons, 1970-1980, I, 343-350.
- DRAGO, A., *Una caratterizzazione della rivoluzione di Lavoisier*, in G.B. Marino (ed.), «Atti V Convegno Storia e Fondamenti della Chimica, Atti Acc. Sci. XL», Roma, (1994), 127-138.
- FISHER, N., *Avogadro, the chemists, and historians of chemistry*, «History of Science», (1982), XX, Part I, 77-102; Part 2, 212-231.
- FOX, R., *The caloric theory of gases*, Oxford, Oxford U.P., (1971), 196-226.
- FRICKÉ, M., *The rejection of Avogadro's hypothesis*, (1976), citato in Scheidecker-Chevallier, 1997, p. 188.
- GAY-LUSSAC, J.-L., *Mémoire sur la combinaison des substances gazeuses, les unes avec les autres*, «Mémoires de la société d'Arcueil», (1809), 2, 207-234.
- GREENAWAY, F., *John Dalton and the atom*, Ithaca, Cornell University Press, (1966).
- MAUSKOPF, S.H., *The atomic structural theories of Ampère and Gaudin molecular speculation and Avogadro's hypothesis*, «Isis», (1969), 60, 61-74.
- MANCOSU, P., *The Philosophy of Mathematics and Mathematical Practise in the Seventeenth Century*, Oxford, (1996).
- MIELI, A., *Il periodo atomico moderno*, «Scientia», (1917), LXV-9, 178-187 e 417-424.
- MORSELLI, M.A., *Amedeo Avogadro*, (1984), Dordrecht-Boston-Lancaster, D. Reidel Publ. Co.
- MUNDY, B.W., *Avogadro on the degree of submolecularity of molecules*, «Chymia», (1967), 12, 151-155.
- NASH, L.K., *Atomic-Molecular Theory*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, (1957).
- ROCKE, A.J., *Chemical Atomism in the nineteenth century*, Columbus: Ohio State Univ. Press., (1984).
- SCHEIDECKER-CHEVALLIER, MYRIAM, *L'hypothèse d'Avogadro (1811) et d'Ampère (1814): la distinction atome/molécule et la théorie de la combinaison chimique*, «Rév. Hist. Sci.», (1997), 50/1-2, 159-194.