

Sezione C

# Un approccio storico-epistemologico al concetto di molecola

Aspetti rilevanti per un approccio storico al concetto di molecola nelle scuole secondarie di secondo grado

In sintesi  
Introduzione  
Sul concetto di atomo  
La teoria  
  atomico-molecolare  
  della chimica  
  moderna  
Il contributo di alcuni  
  chimici italiani  
Conclusioni

## In sintesi

La teoria atomica moderna e il passaggio dal concetto di atomo a quello di molecola corrisponde storicamente a un'evoluzione concettuale molto articolata, che ha visto il contributo di molti scienziati del XIX secolo, da Dalton ad Avogadro, fino al lavoro di sintesi di Stanislao Cannizzaro, che rappresenta uno dei contributi «chiarificatori» più importanti della scuola italiana dei chimici ottocenteschi. Questo argomento, che riguarda quindi uno dei nodi concettuali della chimica più importanti, il concetto di molecola, viene comunemente introdotto nel biennio delle scuole superiori di secondo grado con un accenno al ruolo dei principali scienziati, presentato in modo aneddotico, facendo riferimento essenzialmente alle «leggi» di Gay Lussac, alla «teoria di Dalton» e all'«ipotesi di Avogadro».

Sui principali libri di testo scolastici in commercio, la storia della chimica ha una funzione marginale rispetto al resto delle spiegazioni scientifiche. Tuttavia, la storia dell'evoluzione dei concetti di atomo e di molecola costituisce un aspetto fondamentale per comprendere la chimica moderna. Essa è molto complessa, con contributi di molti personaggi, tantissimi esperimenti, ipotesi verificate e molte altre scartate, scambi epistolari e dibattiti, talvolta aspri, tra scienziati di vari Paesi europei. Questa sezione non ha lo scopo di dare una trattazione completa dell'argomento, ma di fornire agli insegnanti alcuni spunti per una riflessione critica dell'approccio storico-epistemologico all'insegnamento della chimica.

Attraverso l'uso delle fonti originali o di testi elaborati da storici della chimica, è possibile avere un'idea della complessità concettuale della definizione di molecola, così come la intendiamo oggi, collocata però in un contesto storico, che probabilmente ne ha favorito lo sviluppo e l'avanzamento conoscitivo. Insieme ad alcuni testi di approfondimento, saranno commentati anche alcuni approcci metodologici all'insegnamento della chimica attraverso la storia, come trattato nel Capitolo 2 del libro.

SCHEDA MINIMA	
<b>Target</b>	
	Studenti delle scuole secondarie di secondo grado (età 15/17 anni)
<b>Argomenti principali</b>	
	<p>Concetto di atomo nella storia;            Concetto di molecola nella storia;            Peso atomico;            Peso molecolare;            Struttura molecolare delle sostanze semplici e delle sostanze composte;            Contributi di Proust, Dalton, Gay Lussac, Berzelius, Avogadro, Cannizzaro;            Personaggi «minori» e visione ampia e complessa della storia dell'evoluzione concettuale di atomo e di molecola;            Ruolo della storia nella comprensione dei concetti fondanti della chimica;            Ruolo degli esperimenti e delle ipotesi;            Ruolo delle fonti storiche nell'insegnamento della chimica;            Metodo scientifico, metodo induttivo e metodo deduttivo.</p>
<b>Obiettivi</b>	
	<p>Esaminare i valori culturali e la loro influenza nell'evoluzione dei concetti fondamentali della chimica, come quello di atomo;            Spiegare come gli esperimenti sulle reazioni in fase gassosa hanno permesso a Gay Lussac di formulare la sua famosa legge;            Spiegare gli aspetti rilevanti della teoria atomica di Dalton, evidenziandone i progressi conoscitivi ed i limiti;            Comprendere le ipotesi di Avogadro, evidenziando gli aspetti innovativi del suo ragionamento.            Comprendere il ruolo di Cannizzaro nel chiarire e divulgare alla comunità dei chimici la teoria molecolare.</p>
<b>Competenze</b>	
	<p>Saper collocare le leggi e gli enunciati fondamentali della teoria atomica e molecolare moderna in un contesto storico;            Apprendere l'impatto delle relazioni umane (contrast, amicizia, ostilità, ecc.) sui progressi della scienza;            Comprendere l'importanza di una «legge» nel contesto della ricerca scientifica;            Comprendere il ruolo degli esperimenti e degli avanzamenti tecnico-scientifici nella formulazione delle leggi fondamentali della teoria molecolare;            Saper spiegare l'evoluzione del concetto di molecola attraverso il metodo induttivo-deduttivo;            Saper leggere e comprendere una fonte storica.</p>
<b>Metodi didattici</b>	
	<p>Approccio storico-epistemologico;            Approccio storico-sperimentale;            Analisi delle fonti storiche;            Attività laboratoriale e di ricerca storica.</p>

### ■ Introduzione

I libri di testo di chimica delle scuole secondarie di secondo grado dedicano generalmente una unità didattica alle cosiddette leggi della

chimica moderna e alla teoria atomica. Questi argomenti vengono solitamente presentati in modo separato dal resto degli argomenti scientifici, sottolineando soprattutto la sequenza lineare di avvenimenti e di leggi fondamentali che hanno portato all'evoluzione del concetto di atomo e di molecola, così come li intendiamo oggi. Una sequenza di questo tipo presenta in successione:

- la **legge della conservazione della massa di Lavoisier**,
- la **legge delle proporzioni definite di Proust**,
- la **legge delle proporzioni multiple di Dalton** e la sua teoria atomica,
- l'**ipotesi di Avogadro** (e il numero di Avogadro).

La modalità sequenziale lineare presenta, tuttavia, diversi limiti. Come abbiamo discusso all'inizio del libro (ved. paragrafo 1.1.1), l'idea del progresso scientifico come un percorso lineare è ben lontano dalla realtà dei fatti. Scrive, a questo proposito, lo storico della scienza, Marco Ciardi: «I manuali scientifici descrivono ed analizzano le conquiste della mente umana indipendentemente dai percorsi che sono stati seguiti per raggiungerle. [...] È ormai stata acquisita la consapevolezza che la storia della scienza non può essere identificata con una cronaca della scienza, cioè con una esposizione di teorie e nozioni che trascuri l'esame del contesto in cui quelle teorie e quelle nozioni vennero formulate. Alle spalle di un semplice dato di un qualsiasi manuale, esiste un universo fatto di lotte, contrasti, dibattiti, immagini del mondo in competizione tra loro, idee vincenti e perdenti. [...] Ogni successo viene raggiunto seguendo itinerari intricati, mai lineari e questo contribuisce a renderne il racconto affascinante e ricco di capitoli imprevisi» (CIARDI 1995).

Se si tiene conto di questa idea di progresso della scienza, si comprende meglio il grande valore didattico della storia della scienza e della chimica, in particolare (PAOLONI 1984, ERDURAN – SCERRI 2002, CIARDI 2007, SCERRI 2013). Come discusso nel paragrafo 2.2 è possibile cogliere l'efficacia dei vari approcci storici all'insegnamento della chimica, da quello storico-sperimentale (FIORENTINI – AQUILINI – COLOMBI – TESTONI 2007) a quello umanistico-storico (SCERRI 2016) fino a quello sistemico-storico (VILLANI 2008).

L'importanza di un approccio storico è evidenziata anche dai più recenti modelli di insegnamento della chimica, come quello tetraedrico modificato (SJÖSTRÖM – TALANQUER 2014) a partire dal modello di Mahaffy, di cui abbiamo parlato nel paragrafo 1.3. Secondo questo modello, l'importanza della storia è legata alla contestualizzazione dei concetti scientifici e al cosiddetto livello 2 di insegnamento della chimica (*socio-chimica*). La prospettiva storica aiuta gli studenti a contestualizzare le conoscenze della chimica e a rispondere a fondamentali domande: Come sono cambiate nella storia le idee sul concetto di atomo? Quale ruolo hanno avuto le vicende storiche, le relazioni umane tra scienziati, le tecnologie e gli strumenti allora disponibili per realizzare gli esperimenti, formulare e verificare le ipotesi? (TALANQUER 2013).

Come vedremo in questa sezione, l'evoluzione concettuale va di pari passo con l'evoluzione delle rappresentazioni, ovvero dei simboli asso-

Il progresso scientifico  
come percorso  
non lineare

Valore didattico  
della storia  
della chimica

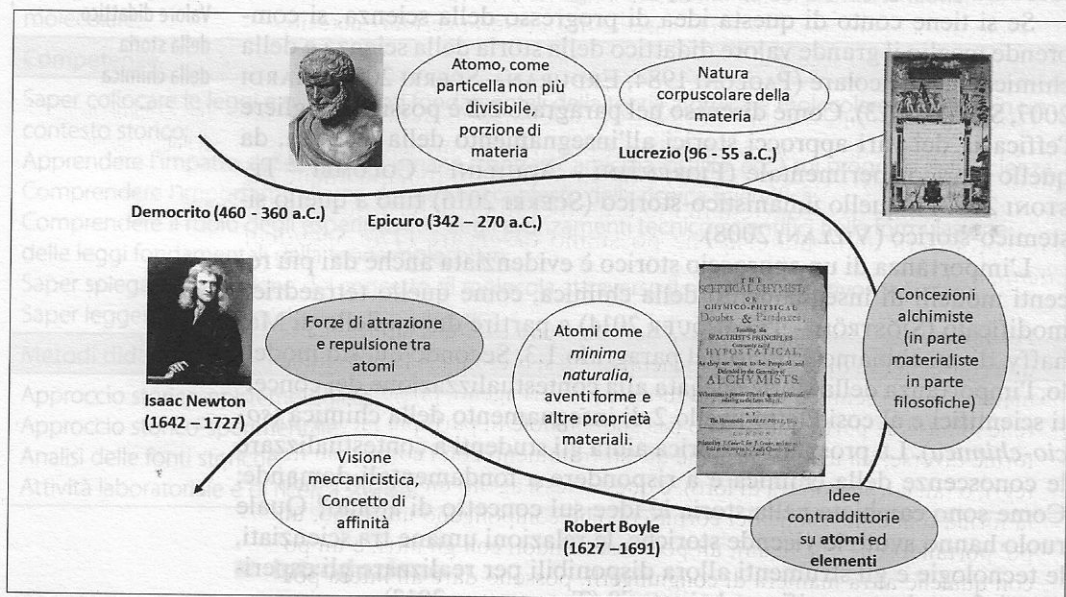
ciati all'atomo e alla molecola (VILLANI 2001), aspetto di cui abbiamo parlato nel paragrafo 3.1.2. Da un punto di vista didattico, far conoscere le difficoltà che i chimici incontrarono nel descrivere cosa è un atomo e cosa è una molecola, può essere utile anche a far riflettere gli studenti sulle proprie misconcezioni associate ai concetti fondamentali della chimica (LÖFGREN – HELLDÉN 2009).

### ■ Sul concetto di atomo

Lontani dal voler dare una trattazione completa dell'argomento, per cui rimandiamo a una serie di testi di approfondimento, in questo paragrafo sono riportati alcuni spunti utili all'insegnante per affrontare il tema dell'atomo e della molecola da un punto di vista storico.

Il quadro conoscitivo riguardo all'idea di atomo alla fine del XVIII secolo è abbastanza articolato e riflette quasi due millenni di concezioni filosofiche in tema. In **Figura C1** è riportata una infografica per descrivere l'evoluzione del concetto di atomo dagli antichi Greci fino alla fine del XVIII secolo. In questo schema non è stato volutamente riportato Lavoisier, poiché egli non si interessò della descrizione dei fenomeni chimici a livello microscopico, ma si dedicò piuttosto a studiare in modo quantitativo una gran quantità di fenomeni e definire in termini operativo e macroscopici le sostanze (elementi, sali, acidi e basi, ecc.). Lo schema di **Figura C1** evidenzia come il concetto di atomo, dall'idea filosofica di Democrito, avesse assunto ormai tutte le caratteristiche che l'avrebbero portato ad occupare una posizione centrale nel dibattito scien-

Democrito  
e l'atomo



**Figura C1**

Schema sintetico sulle diverse idee di atomo dagli antichi Greci alla prima metà del XVIII secolo.

tifico del XIX secolo (FIORENTINI – AQUILINI – COLOMBI – TESTONI 2007, VILLANI 2001). Come discusso nel paragrafo 2.1.1, l'evoluzione del pensiero filosofico e parallelamente gli avanzamenti scientifici e concettuali del periodo che precede la nascita della chimica moderna, sono premesse necessarie all'introduzione della teoria atomica moderna.

Dal punto di vista didattico, può essere interessante far leggere agli studenti alcuni estratti dalle opere più significative di questo, seppur schematico, percorso storico attorno all'idea di atomo. In particolare, è possibile lavorare in maniera interdisciplinare (coinvolgendo anche gli insegnamenti di fisica, italiano, inglese e latino) avvalendosi di testi originali o, più facilmente, tradotti in italiano.

Ecco di seguito un esempio di brano tratto dal *De Rerum Natura* di Lucrezio, sulla visione atomistica corpuscolare che Lucrezio riprese dalla visione di Democrito:

Il *De Rerum Natura*  
di Lucrezio

Esservi inoltre deve nei corpi minuti, che l'occhio già più non vede, un punto estremo, che certo di parti non risulta, natura ha minima, e in sé distaccato né mai visse né mai esister potrà nel futuro, ché d'altro corpo è solo la prima inscindibile parte, nata a segnar l'inizio dei punti, che, simili ad esso, l'uno l'altro seguendo, in serie ordinata, col loro fitto adunarsi crein l'intera natura del corpo; mai non potendo questi esister da sé, son costretti ivi a stiparsi, donde divellerli più non è dato. Atomi esistono dunque di solido e semplice corpo, che minutissime parti contengono in sé combacianti strettamente serrate, non già nella stessa maniera che s'aggregano poi nei corpi quegli atomi stessi, ma piuttosto dotati d'essenza indivisa ed eterna, onde non soffre natura che parte più lieve si stacchi, per conservare interi al nascere degli esseri i germi (Lucrezio, *De rerum natura*, I secolo a. C.).

Quella che segue è una interessante spiegazione della natura dei corpi materiali e della loro variabilità a partire da corpuscoli, che, secondo Robert Boyle (XVII secolo), potevano combinarsi, ma anche disgregarsi e cambiare proprietà in molti modi, tali da determinare le diverse proprietà della materia che possiamo osservare (*The Sceptical Chemist*, 1661):

*The Sceptical Chemist*  
di Robert Boyle

Per farla breve, come la differenza dei corpi può essere semplicemente una conseguenza di quella degli schemi in cui si presenta la loro comune materia, così, i semi delle cose, il fuoco e gli altri agenti, possono alterare le minuscole parti di un corpo (sia spezzandole in parti più piccole di forme diverse, sia unendo insieme questi frammenti con i corpuscoli integri, o tali corpuscoli tra di loro), e questi stessi agenti un po' alterando la forma o la dimensione dei corpuscoli che compongono un corpo, un po' portandosene via alcuni, un po' mescolandoli con gli altri, e un po' con qualche altra maniera di congiungerli, possono dare all'intera porzione di materia una nuova testura delle sue minuscole parti, e farle meritare perciò un nome nuovo e distinto. Cosicché, a seconda, che queste piccole parti della materia si allontanino l'una dall'altra, o agiscano l'u-

na sull'altra, o siano unite insieme in questa o quella determinata maniera, emergerà un corpo di questa o quella denominazione, come può anche darsi che da questi stessi cambiamenti alcuni altri corpi possano essere alterati o distrutti (Robert Boyle, *The Sceptical Chemist*, 1661).

### ■ La teoria atomico-molecolare della chimica moderna

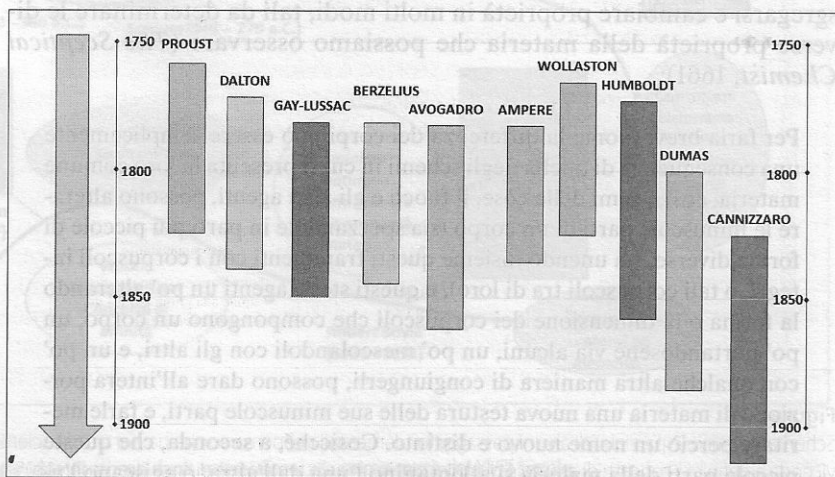
Un aspetto da sottolineare a proposito di questo argomento a livello didattico è legato alla contemporaneità dei principali scienziati coinvolti nella teoria atomico-molecolare moderna. La **Figura C2**, ad esempio, sono riportati su una scala cronologica i periodi in cui hanno vissuto questi personaggi.

La contemporaneità  
degli studi

Come si può facilmente notare, la maggior parte di questi scienziati sono contemporanei ed hanno indagato intorno a comuni fenomeni ed esperimenti, come le reazioni di sostanze elementari in fase gassosa, fondamentali per la definizione corretta del concetto di atomo e di molecola, in luoghi diversi (dal Piemonte alla Svezia, da Parigi a Londra). Questo aspetto è generalmente poco noto agli allievi che sono portati a organizzare le conoscenze in una successione cronologica mentre è importante, invece, far capire che il progresso conoscitivo è avvenuto grazie alla contemporaneità di studi e scambi all'interno della comunità scientifica.

Nella formulazione delle leggi oggi attribuite ai vari scienziati occorre, dunque, sottolineare, non tanto la successione cronologica, quanto i passaggi cruciali sia teorici (formulazione di ipotesi, comprensione di un fenomeno) sia sperimentali (misura di quantità sperimentali, come pesi specifici e volumi) che hanno permesso di arrivare alla formulazione delle leggi fondamentali.

Uno schema di alcuni dei passaggi chiave nella definizione corrente del concetto di atomo e della formulazione corretta del concetto di molecola è riportato in **Figura C3** e, come si nota, riguarda un periodo temporale assai ristretto (i.e. una decina di anni). Dal punto di vista didatti-



**Figura C2**

Schema cronologico  
relativo ai personaggi  
principali coinvolti  
in questa impresa  
scientifica.

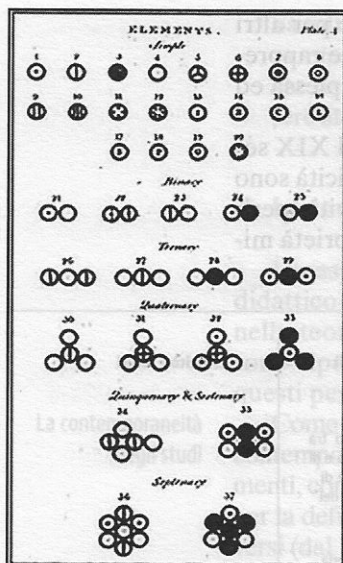
co può essere interessante far costruire grafici e mappe anche per altri periodi storici. Quello di **Figura C3** è un esempio di schema che rappresenta solo un piccolo frammento di una vicenda assai più complessa ed estesa nel tempo.

L'innovazione concettuale introdotta nei primi decenni del XIX secolo è legata, come si evince da questo schema, dove per semplicità sono stati riportati solo alcuni passaggi essenziali, a una intensa attività sperimentale, soprattutto focalizzata alla descrizione di alcune proprietà mi-

Esperimenti	Autori/Pubblicazioni	Aspetti concettuali rilevanti	Criticità / limiti
Studio della reazione in fase gassosa tra ossigeno e idrogeno. Determinazione dei volumi.	<b>Gay Lussac e Humboldt</b> 1805, <i>articolo sul Journal de Physique</i>	Osservazione dei rapporti tra volumi reagiti di ossigeno e di idrogeno nella reazione di combustione al variare dei volumi iniziali.	Ciascun elemento è costituito da atomi tutti uguali.
Misure del peso di molte sostanze (anche gassose) e calcolo dei pesi atomici.	<b>Dalton</b> 1808, <i>New System of Chemical Philosophy</i>	Formulazione di una teoria generale. Esiste una relazione precisa tra la <b>composizione costante</b> dei composti ed il valore del <b>peso atomico</b> degli elementi costituenti. Introduzione dell'idea del <b>peso relativo</b> .	La reazione tra elementi per formare composti corrisponde all'unione di atomi dei singoli elementi.
Esperimenti sui solfati, Esperimenti sulla formazione di altre sostanze composte in fase gassosa (ammoniac...)	<b>Gay Lussac</b> 1809, <i>Memoire de physique et de chimie de la societ� d'Arcueil</i>	Legge di combinazione dei gas: <i>I gas si combinano secondo rapporti in volume di numeri interi e piccoli, e lo stesso si pu� dire per i prodotti di reazione, se gassosi.</i>	Difficolt� linguistiche. Necessit� di introdurre una ulteriore classificazione di tipologie di molecole.
Ripetizione degli esperimenti di Dalton e Gay Lussac. Misure del peso atomico e del volume di sostanze semplici e sostanze composte.	<b>Avogadro</b> 1811, <i>Journal de Physique</i>	Formulazione di due ipotesi: 1. Volumi uguali di gas diversi contengono lo stesso numero di <b>molecole integranti</b> . 2. Le sostanze semplici possono essere costituite da molecole ( <b>molecole costituenti</b> ), e non necessariamente da atomi.	Difficolt� linguistiche. Necessit� di introdurre una ulteriore classificazione di tipologie di molecole.
Misure molto accurate dei pesi atomici di oltre quaranta sostanze elementari.	<b>Berzelius</b> 1814	Tentativo di conciliare la teoria atomica di Dalton con la legge di Gay Lussac. Formulazione di una <b>nuova simbologia</b> per gli elementi chimici e per le molecole.	Difficolt� linguistiche. Necessit� di introdurre una ulteriore classificazione di tipologie di molecole.
	<b>Wollaston</b> 1814	Introduzione del concetto di <b>peso equivalente</b>	
	<b>Amper�</b> 1814	Formulazione di una ipotesi simile alla prima ipotesi di Avogadro.	

**Figura C3**

Schema sintetico (e parziale) di alcuni passaggi fondamentali nel percorso che ha portato gli scienziati coinvolti in questa vicenda a definire i concetti di atomo e di molecola, in un arco temporale di circa dieci anni (1805-1814).



**Figura C4**

Rappresentazione di alcuni atomi e di alcune molecole secondo la teoria atomica di Dalton.

Dall'opera di John Dalton: *A New System of Chemical Philosophy*, 1808.

Gay Lussac: i limiti della teoria di Dalton

surabili (pesi e volumi) che coinvolgono sostanze elementari nello stato gassoso e alla loro combustione. In particolare, alcune reazioni vennero studiate e ripetute in condizioni sperimentali differenti da molti scienziati, come ad esempio la combustione dell'idrogeno e dell'ossigeno a formare acqua in fase vapore.

In questo processo scientifico, come ben riportato in alcuni testi (vedi oltre **Tabella C1**), hanno avuto un ruolo importante sia l'aspetto sperimentale (e quindi la possibilità di effettuare misure con precisione sempre maggiore) sia l'aspetto teorico (ovvero l'interpretazione a livello microscopico delle proprietà macroscopiche osservate). Non va trascurato, inoltre, il ruolo delle rappresentazioni simboliche (vedi paragrafo 3.1.2) che portarono in quegli stessi decenni alla definizione di una nomenclatura delle sostanze e alla rappresentazione degli atomi e delle molecole. Può essere utile osservare come, nell'arco di meno di dieci anni, il linguaggio simbolico dei chimici si sia evoluto da una simbologia sempre molto ancorata a quella alchemica (vedi **Figura C4**) ad una molto più simile a quella attuale, grazie al contributo di Berzelius.

Gli aspetti concettuali rilevanti nella formulazione della corretta definizione del concetto di *molecola* possono essere ricondotti ad una criticità sinteticamente riportata nello schema di **Figura C2**. Se da un lato il grande contributo di Dalton fu quello di associare all'atomo un peso, il *peso atomico*, superando quindi gli aspetti indefiniti e vaghi attorno all'idea di atomo dei secoli precedenti, dall'altro lo scienziato inglese non riesce a superare la difficoltà di rappresentare correttamente la composizione dei composti derivati dalla combustione degli elementi costituenti, utilizzando strettamente la regola della massima semplicità (PAOLONI 2007). Questa difficoltà nasce dal fatto di considerare gli elementi costituenti come sostanze formate da atomi singoli.

Il lavoro di Gay Lussac e degli altri scienziati del tempo contribuì ad evidenziare quindi i limiti della teoria atomica di Dalton, facendo nascere un'aspra contesa soprattutto tra i due principali contendenti: Dalton e Gay Lussac. Il dibattito scientifico testimoniato da numerose lettere e pubblicazioni (per lo più in francese, la lingua «universale» di allora) costituisce uno strumento didattico di prim'ordine perché evita l'appiattimento della narrazione e rende in modo efficace il confronto tra tesi differenti.

### ■ Il contributo di alcuni chimici italiani

La prima ipotesi di Avogadro

Di grande utilità appare anche il contributo di alcuni importanti chimici italiani: Amedeo Avogadro e Stanislao Cannizzaro. Da un punto di vista concettuale, il contributo di Amedeo Avogadro (**Figura C5**) viene spesso associato soltanto alla sua prima ipotesi formula-



ta nel 1811, ovvero: sostanze gassose che occupano uno stesso volume, a parità di temperatura e pressione, sono costituite dallo stesso numero di molecole (che Avogadro chiama «integranti»).

In realtà, la grande e principale intuizione di Avogadro è legata alla cosiddetta seconda ipotesi di Avogadro, che possiamo far apprendere agli allievi leggendo le sue stesse parole (tradotte dal francese):

Si deve supporre che le molecole costituenti di qualunque gas semplice [...] non sono formate da una sola molecola elementare, ma risultano da un certo numero di queste molecole riunite in una sola per attrazione, e che quando le molecole d'un'altra sostanza debbono congiungersi ad esse per formare delle molecole composte, la molecola integrate che dovrebbe risultarne si divida in due o più parti o molecole integranti composte da metà, da un quarto, ecc., del numero di molecole elementari di cui era formata la molecola costituente della prima sostanza, combinata con la metà, il quarto, ecc., del numero di molecole costituenti dell'altra sostanza, che dovrebbe combinarsi con la molecola totale, ovvero, il che è la stessa cosa, con un numero eguale di mezze-molecole, quarti di molecole, ecc., di questa seconda sostanza; in modo che il numero di molecole integranti del composto diventa doppio, quadruplo, ecc., tale come è necessario per soddisfare al volume del gas che ne risulta. [...] Così la molecola integrante dell'acqua, per esempio sarà composta da una mezza molecola di ossigeno con una molecola di idrogeno, oppure, il che è la stessa cosa, due mezze molecole di idrogeno (Amedeo Avogadro, *Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps, et les proportions selon les quelles elles entrent dans les combinaisons*, «Journal de Physique», 73, 1811).

L'idea che una molecola di una sostanza elementare, come l'ossigeno o l'idrogeno, potesse spezzarsi in due o in tre per formare un nuovo composto, era totalmente nuova, ma necessaria per superare la criticità derivata dall'evidenza sperimentale e dall'interpretazione, non corretta, data da Dalton.

La difficoltà di Avogadro nello spiegare un concetto così nuovo si intuisce anche dall'uso di un linguaggio molto articolato che testimonia la sua stessa difficoltà. Per spiegare meglio la novità del suo ragionamento, infatti, Avogadro introduce diverse definizioni di molecola, che possiamo tradurre nel significato attuale come:

La seconda ipotesi di Avogadro



**Figura C5**  
Bassorilievo della figura di Amedeo Avogadro presso il Palazzo dell'Università di Torino.

- **molecola integrante:** molecola di una sostanza composta;
- **molecola costituente:** molecola di una sostanza semplice;
- **molecola elementare:** atomo.

Tuttavia, come scrivono Moretti e Ciardi (MORETTI – CIARDI 2016), le associazioni sopra riportate sono il risultato di una trasposizione didattica, in quanto in nessuno dei suoi scritti Avogadro mai scrisse le formule delle molecole, così come le conosciamo oggi.

Stanislao Cannizzaro

Nella presentazione a fini didattici del contributo di Avogadro non dovrebbero mancare altri aspetti legati alla vita e agli scambi che questo grande studioso ebbe con gli altri scienziati del tempo (vedi riferimenti nella **Tabella C1**). Contrariamente a quanto riportato in molti testi, come ricorda lo storico Marco Ciardi (CIARDI 1995), le idee di Avogadro erano note nella comunità scientifica del tempo, ma probabilmente la loro portata non fu compresa pienamente, fino a quando un altro grande chimico italiano, Stanislao Cannizzaro (**Figura C6**) non le ripropose, dando una spiegazione chiarificatrice del complesso processo scientifico che portò dalla definizione di atomo di Dalton alla definizione di molecola di Avogadro. Altrettanto interessante è il fatto che l'opera di Stanislao sia partita da motivazioni puramente didattiche.

Nel 1858, infatti, Cannizzaro raccolse in un volumetto le sue spiegazioni e riflessioni sulla teoria atomica, scritte appositamente per i suoi allievi quando si trovava, da poco, ad occupare la cattedra di chimica presso l'Università di Genova. Si trattò quindi di un testo ad uso didattico: il *Sunto di un corso di filosofia chimica*. Di seguito è riportato l'incipit del *Sunto*:

Io credo che i progressi della scienza, fatti in questi ultimi anni, abbiano confermato l'ipotesi di Avogadro, di Ampère e di Dumas sulla simile costituzione dei corpi allo stato aeriforme, cioè che i volumi eguali di essi, sieno semplici, sieno composti, contengono l'egual numero di molecole; non però l'egual numero di atomi, potendo le molecole dei vari corpi o quelle dello stesso corpo nei vari suoi stati, contenere un vario numero di atomi, sia della medesima natura, sia di natura diversa. Per condurre i miei allievi al medesimo convincimento che io ho, gli ho voluto porre sulla medesima strada per la quale io ci son giunto, cioè per l'esame storico delle teorie chimiche (CANNIZZARO 1858).



**Figura C6**

La raffigurazione di Stanislao Cannizzaro.

Lo stesso Cannizzaro, rendendosi probabilmente conto dell'efficacia di questo suo testo con i propri allievi, decise di farlo conoscere e di diffonderlo anche in ambito scientifico, consegnandolo a molti suoi colleghi (tra i quali un giovane Dimitri Mendeleev), in occasione del primo congresso internazionale di chimica, tenutosi a Karlsruhe nel 1860, come già visto nel Capitolo 2. In questa occasione, Cannizzaro contribuì a diffondere una sistematizzazione delle conoscenze chimiche. Nonostan-

te fossero passati quasi cinquanta anni dalla pubblicazione della prima opera di Avogadro, non esistevano ancora definizioni operative chiare e distinte per i concetti di atomo, molecola ed equivalente chimico. Cannizzaro attribuì un significato concettuale e fisico alle formule chimiche, fino allora utilizzate quasi unicamente come notazione pratica dei calcoli e che spesso differivano a seconda del punto di vista da cui erano elaborate.

Ecco di seguito alcuni passi chiave della sua spiegazione:

In faccia al fatto del volume del composto doppio del volume di uno o di ciascuno dei componenti, non poteano più ammettersi nello stesso tempo le cose seguenti:

- 1) Che le molecole si riuniscano sempre intere per formare le molecole del composto;
- 2) Che le molecole di sostanze elementari e di sostanze composte occupano nelle stesse condizioni volumi uguali.

[...]

Era pur giocoforza appigliarsi ad uno dei seguenti partiti:

1. O rinunciare del tutto all'idea di ugual numero di molecole in egual volume;
2. o rinunciare all'idea delle molecole dei componenti che si giustappongono intere per formare quelle dei composti, cioè dell'identità degli atomi fisici e chimici, ed ammettere che alcuni atomi fisici si dividano nel combinarsi ad altri;
3. o ammettere che l'ipotesi di equal numero di atomi-molecole in equali volumi gassosi era soltanto applicabile ai corpi semplici e non ai composti.

Dalton [...] fu costretto ad appigliarsi al primo partito. Avogadro ed Ampere si appigliarono al secondo. Il Berzelius [...] si appigliò al terzo partito.

Cannizzaro così riuscì a chiarire le diverse posizioni dei più grandi scienziati del tempo. Nella sua spiegazione, Cannizzaro, inoltre identifica la *molecola elementare* di Avogadro con l'atomo e accoglie del tutto e rilancia l'ipotesi di Avogadro, suggerendo una *definizione operativa* per il calcolo dei pesi atomici e dei pesi molecolari.

Dovendo tener conto dei pesi e dei volumi, riferiamoci alle densità delle sostanze e scegliamo una sostanza come riferimento. Scegliamo l'idrogeno, che essendo costituito da due atomi, avrà come densità di riferimento il valore 2. Detto questo, dalla misura delle densità delle sostanze, dal rapporto con la densità dell'idrogeno, si trovano di fatto i pesi delle unità minime di quelle sostanze (CANNIZZARO 1858).

Questo suggerimento operativo di Cannizzaro, è fondamentale per il successivo calcolo dei pesi atomici e molecolari ed ebbe un'importanza più generale nella storia del pensiero scientifico, dal momento che ancora oggi è questa la convenzione utilizzata (PAOLONI 2007).

La figura di Cannizzaro è interessante anche per altre ragioni. Infatti egli non fu solo un grande chimico (insegnò in molte università, da Pisa a Genova a Palermo), ma anche un personaggio impegnato politica-

Scienza  
come impresa  
collettiva

mente e socialmente. Queste figure storiche aiutano a comprendere come la scienza non stia a se stante, ma sia parte della vita sociale e soprattutto un'impresa collettiva. In **Tabella C1**, sono riportate alcune fonti e testi di approfondimento utili per l'insegnante, sia per conoscere aspetti storici e scientifici generali, legati ai chimici italiani del XIX secolo ed ai loro contributi alla teoria atomica moderna, sia per trovare spunti interessanti dal punto di vista didattico, per affrontare con un approccio storico l'argomento.

Stanislao Cannizzaro

In questa trattazione non siamo entrati nel dettaglio della parte sperimentale, fondamentale, come detto più volte, per la formulazione della teoria atomica e della corretta definizione di molecola. Per questo rimandiamo al testo di FIORENTINI – AQUILINI – COLOMBI – TESTONI 2007 nel quale è presentato un approccio storico-sperimentale, finalizzato a far capire, attraverso la descrizione accurata degli esperimenti effettuati da questi grandi scienziati, come sono nate o come si sono consolidate le ipotesi che hanno portato alle fondamentali leggi della chimica moderna.

I personaggi minori

I vari approcci storici, da quello che ripropone, anche solo a scopo dimostrativo, gli esperimenti fondamentali effettuati da Gay Lussac e da Dalton (approccio storico-sperimentale), a quello che suggerisce la narrazione delle vicende con l'obiettivo di evidenziare la complessità del percorso storico della scienza (approccio storico-sistematico) a quello, in-

**Tabella C1.** Fonti originali e testi di approfondimento sui più importanti chimici italiani del XIX secolo.

Autore	Testo o fonte	Eventuale sito web dove scaricare il materiale / commenti
Stanislao Cannizzaro	<i>Sunto di un corso di filosofia chimica</i>	<a href="http://www.minerva.unito.it/storia/Cannizzaro/Sunto/index.html">http://www.minerva.unito.it/storia/Cannizzaro/Sunto/index.html</a> .
Marco Ciardi	<i>Amedeo Avogadro. Una politica per la scienza.</i>	Saggio divulgativo. Una ricostruzione storica a trecentosessanta gradi della vita di Amedeo Avogadro.
Marco Ciardi	<i>Reazioni tricolori. Aspetti della chimica italiana nell'età del Risorgimento.</i>	Un testo divulgativo sul contributo di molti chimici italiani della seconda metà del XIX secolo. Interessante anche dal punto di vista didattico.
Autori vari	Sito contenente numerose risorse didattiche sulla figura di Stanislao Cannizzaro	<a href="http://www.minerva.unito.it/Storia/Cannizzaro/CannizzaroIndice.htm">http://www.minerva.unito.it/Storia/Cannizzaro/CannizzaroIndice.htm</a> .
Luigi Cerruti	<i>I chimici italiani e il Risorgimento</i>	<a href="http://www.minerva.unito.it/Storia/Risorgimento/ChimiciRisorgimentoRiunificazione.pdf">http://www.minerva.unito.it/Storia/Risorgimento/ChimiciRisorgimentoRiunificazione.pdf</a> .
Autori vari	<i>Le leggi stechiometriche e la nascita della teoria atomica</i>	<a href="http://www.minerva.unito.it/Storia/AppuntiStoriaChimica/AppuntiStoria4.htm">http://www.minerva.unito.it/Storia/AppuntiStoriaChimica/AppuntiStoria4.htm</a> .
Francesco Cardone, Alfredo Focà	<i>Raffaele Piria. Medico, chimico, patriota, innovatore della chimica in Italia</i>	Un libro interessante su un personaggio minore, che ha avuto un ruolo fondamentale nella formazione di Stanislao Cannizzaro e nella scuola di chimica dell'Università di Pisa.

fine, che porta all'attenzione degli allievi il ruolo dei personaggi minori o il contesto storico-sociale-politico (approccio storico-umanistico), sono tutti validi dal punto di vista didattico.

## ■ Conclusioni

In questa sezione sono state riportate considerazioni e riflessioni sull'introduzione della teoria atomica della chimica moderna, per studenti del biennio delle scuole secondarie di secondo grado, seguendo un approccio storico-epistemologico. In particolare, sono state fornite alcune chiavi di lettura di un argomento assai complesso, ma fondamentale per la comprensione della chimica moderna, ricorrendo alle fonti storiche originali o a testi di interpretazione storica del ruolo dei principali protagonisti, chiarendo alcuni nodi cruciali della narrazione che non dovrebbero mancare nell'affrontare la teoria atomica a livello scolastico. Inoltre, sono stati discussi i ruoli di due chimici italiani, Amedeo Avogadro e Stanislao Cannizzaro, in particolare, per la corretta definizione del concetto di molecola.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- CANNIZZARO 1858  
Stanislao Cannizzaro, *Sunto di un corso di filosofia chimica*, Tipografia Pieraccini, Pisa, 1858.
- CIARDI 1995  
Marco Ciardi, *L'atomo fantasma. Genesi storica dell'ipotesi di Avogadro*, Leo S. Olschki, Firenze, 1995.
- CIARDI 2007  
Marco Ciardi, *A chi serve la storia della chimica?*, in «La chimica nella scuola», 2007, vol. 3, pp. I-IV.
- DI MEO 1981  
Antonio Di Meo, *Il chimico e l'alchimista*, Editori Riuniti, Roma, 1981.
- ERDURAN – SCERRI 2002  
Sibel Erduran – Eric Scerri, *The nature of chemical knowledge and chemical education*, in *Chemical Education: towards research-based practice*, a cura di John K. Gilbert, Onno De Jong, Rosaria Justi, David F. Treagust, Jan H. Van Driel, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002.
- FIORENTINI – AQUILINI – COLOMBI – TESTONI 2007  
Carlo Fiorentini – Eleonora Aquilini – Domenica Colombi – Antonio Testoni, *Leggere oltre le apparenze. Per una didattica dei concetti fondamentali della chimica*, Armando Editore, Roma, 2007.
- LIN 1998  
Huann-shyang Lin, *The Effectiveness of Teaching Chemistry through the History of Science*, in «Journal of Chemical Education», 1998, vol. 75, pp. 1326.
- LÖFGREN – HELLDÉN 2009  
Lena Löfgren – Gustav Helldén, *A Longitudinal Study Showing how Students use a Molecule Concept when Explaining Everyday Situations*, in «International Journal of Science Education», 2009, vol. 31, pp. 1631-1655.

MIRONE 2005

Paolo Mirone, *Lezioni di Didattica della Chimica*, in «Atti della Società dei Naturalisti e Matematici di Modena», 2005, vol. 136, pp. 218-262.

MORETTI – CIARDI 2016

Giuliano Moretti – Marco Ciardi, *Avogadro non ha mai scritto  $H_2O$  né altre formule chimiche!*, in «La chimica nella scuola», 2016, vol. 2, pp. 13-22.

OLSSON – BALGOPAL – LEVINGER 2015

Kristin A. Olsson – Meena M. Balgopal – Nancy E. Levinger, *How did we get here? Teaching chemistry with a historical perspective*, in «Journal of Chemical Education», 2015, vol. 92, pp. 1773-1776.

PAOLONI 1984

Leonello Paoloni, *La storia nella didattica della chimica: modi, contesti, attualità*, in *Orientamenti di ricerca educativa e didattica della chimica*, a cura di Enzo Ferroni, Quaderni del Centro di Documentazione, Firenze, 1984.

PAOLONI 2007

Leonello Paoloni, *Molecole, atomi e struttura della materia: da Dalton alla meccanica quantistica*, in «La chimica nella scuola», 2007, vol. 3, pp. 39-118.

SCERRI 2013

Eric Scerri, *A Tale of Seven Elements*, Oxford University Press, London, 2013.

SCERRI 2016

Eric Scerri, *A Tale of Seven Scientists and a New Philosophy of Science*, Oxford University Press, London, 2016.

SJÖSTRÖM – TALANQUER 2014

Jesper Sjöström – Vicente Talanquer, *Humanizing Chemistry Education: from simple contextualization to multifaceted problematization*, in «Journal of Chemical Education», 2014, vol. 91, pp. 1125-1131.

TALANQUER 2013

Vincente Talanquer, *Chemistry education: ten facets to shape us*, in «Journal of Chemical Education», 2013, vol. 90, pp. 832-838.

TASKER 2014

Roy Tasker, *Visualising the molecular world for a deep understanding of chemistry*, in «Teaching Science», 2014, vol. 60, pp. 16-27.

VILLANI 2001

Giovanni Villani, *La chiave del mondo. Dalla filosofia alla scienza: l'onnipotenza delle molecole*, Cuen, Napoli, 2001.

VILLANI 2002

Giovanni Villani, *Nomenclatura molecolare*, in «JCOM, Journal of Science Communication», 2002, vol. 1, pp. 1-8.

VILLANI 2008

Giovanni Villani, *Complesso e organizzato. Sistemi strutturati in fisica, chimica, biologia ed oltre*, FrancoAngeli, Roma, 2008.

WANDERSEE 1990

James H. Wandersee, *On the value and use of the history of science in teaching today's science: constructing historical vignette*, in *More History and Philosophy of Science in Science Teaching: proceeding of the First International Conference*, a cura di D. E. Herget, Tallahassee, Florida State University, 1990.

WANDERSEE – GRIFFARD 2002

James H. Wandersee – Phyllis baudoin Griffard, *The history of chemistry: potential and actual contributions to chemical education*, in *Chemical Education: towards research-based practice*, a cura di John K. Gilbert, Onno De Jong, Rosaria Justi, David F. Treagust, Jan H. Van Driel, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002.