

ALBERTO REGIS\* – EZIO ROLETTO\*

## **I modelli della materia: dalla storia alla classe**

### **Models of matter: from history to classroom**

**Summary** – This article presents a teaching/learning sequence based on history and epistemology of chemistry, aimed at engaging the students into the processes of science: production and validation of hypotheses, description and interpretation of material situations both at the macroscopic level (substances) and at the microscopic level (atoms and molecules) by modeling activities which involve three levels: theory, model and experimental field of reference. Problems encountered by scientists in the past are used as thought provoking questions and problems in order to make the students the real actors of the learning process, the underlying model of learning being socialconstructivist. Results obtained in some high school classes are presented and discussed.

### 1. INTRODUZIONE

In questo articolo viene presentata una sequenza di insegnamento che è stata concepita con l'intento di aiutare gli studenti a costruire e a rendere operativi alcuni concetti fondamentali della chimica: sostanza (semplice e composta), miscela, reazione chimica, atomo, molecola, e il modello corpuscolare (o particellare) della materia. A questo fine abbiamo ritenuto essenziale contestualizzare concetti e modelli, facendo riferimento alla storia ed all'epistemologia della chimica. Infatti, si tratta di saperi che furono costruiti nel corso di due grandi rivoluzioni della chimica: la prima, le cui figura simboliche sono Boyle, Lavoisier e Proust portò ad elaborare i concetti di sostanza, miscela e reazione chimica; la seconda, i cui rappresentanti principali sono Dalton, Ampère, Avogadro e Cannizzaro permise di passare dal livello macroscopico a quello microscopico con la proposta del modello corpuscolare della materia e la costruzione dei concetti di atomo e di molecola.

Cosa significa contestualizzare le conoscenze, facendo riferimento alla storia

\* Gruppo IRIDIS (Innovazione e Ricerca per la Didattica delle Scienze) - Università di Torino.

ed all'epistemologia? Sicuramente non si tratta di andare in classe a raccontare la chimica d'altri tempi e ad illustrare le idee dei vari scienziati. Significa cercare di dare un senso alle conoscenze, facendo in modo che abbiano lo statuto di soluzione di un problema, di risposta ad un interrogativo; in altre parole, significa usare problemi e interrogativi che affrontarono gli scienziati del passato come situazioni di apprendimento. Un simile approccio è possibile se si esce dall'insegnamento trasmissivo, dogmatico, enciclopedico e dall'apprendimento mnemonico che domina attualmente, e si adotta un insegnamento di tipo problematico al fine di realizzare un apprendimento significativo, in modo di passare da in una scuola basata sulla *logica della restituzione* ad una scuola basata sulla *logica della comprensione*.

Tale passaggio esige che si faccia esplicito riferimento ad una serie di assunzioni di natura epistemologica (relative alla scienza) e psicologica (relative all'apprendimento) che possiamo così schematizzare:

1. La chimica (la scienza) deve essere considerata non tanto un *prodotto*, quanto piuttosto un *processo* di comprensione della realtà che ha al suo inizio un problema: né la scienza, né l'apprendimento della scienza cominciano con l'osservazione (non è vero che se vedo capisco; se vedo sono confuso).
2. La realtà può essere descritta e interpretata a due livelli: quello macroscopico dei fenomeni e quello microscopico dei modelli e delle teorie.
3. I modelli servono per descrivere e interpretare porzioni limitate della realtà e sono un tramite tra la teoria e gli oggetti o gli eventi empirici.
4. Una delle maggiori difficoltà dell'apprendimento delle scienze consiste nello stabilire una relazione tra descrizione e interpretazione a livello macroscopico e descrizione e interpretazione a livello microscopico (modellistico) *senza confondere i due livelli*.
5. Per favorire l'apprendimento, non conviene di norma presentare subito agli studenti il modello definitivo, quello degli specialisti. È molto meglio partire da un modello semplice (riferimento storico) e renderlo via via più complesso affrontando problemi specifici.
6. La storia e l'epistemologia della chimica costituiscono una risorsa fondamentale perché:
  - a) nel corso dell'evoluzione della chimica, gli scienziati hanno fatto ricorso a molti modelli, ognuno dei quali ha pregi e limiti;
  - b) sovente gli ostacoli epistemologici che dovettero superare scienziati del passato per accettare un nuovo modello trovano riscontro negli ostacoli cognitivi che devono superare gli studenti nel processo di apprendimento.

## 2. LA SEQUENZA DIDATTICA

### 2.1 *Il sapere di riferimento*

In primo luogo, si è proceduto ad inventariare i modelli e i dati sperimentali rilevanti che entrano in gioco:

1. Il modello particellare atomico della materia proposto da Dalton
2. Le combinazioni tra gas studiate da Gay-Lussac (legge delle combinazioni dei gas)
3. Il modello particellare molecolare di Avogadro
4. Il modello particellare atomico/molecolare di Cannizzaro

Si tratta, come è facile capire, di conoscenze che appartengono a *livelli* o *registri* diversi di concettualizzazione.

1. Il modello particellare atomico proposto da Dalton (1808) appartiene al registro microscopico. Non è basato su dati sperimentali, ma si tratta di una costruzione assiomatica.

2. La Legge di Gay-Lussac sui rapporti di combinazione di gas diversi (1808) è una generalizzazione puramente empirica; appartiene dunque al registro macroscopico. Le concezioni atomiche, le relazioni tra volumi dei gas e pesi (masse) non entrano in gioco.

3. L'accordo tra le ipotesi corpuscolari e i dati sperimentali sulle combinazioni di volumi di gas fu messo a punto da Amedeo Avogadro (1811), il quale propose un nuovo modello particellare nel quale si stabilisce un legame tra il volume del gas e il numero di molecole che lo costituiscono. Dunque Avogadro mette in relazione il registro macroscopico dei volumi con quello microscopico delle particelle (e con il loro numero). Alle sue idee non si prestò attenzione, perché alla loro base vi era una concezione assiomatica senza supporto sperimentale, ritenuta un ritorno alla metafisica speculativa dei «filosofi della natura».

4. Si dovrà attendere più di cinquanta anni perché si affermi tra i chimici la teoria atomico/molecolare proposta da Cannizzaro, nella quale si accettava l'ipotesi di Avogadro: “... *sulla simile costituzione dei corpi allo stato aeriforme, cioè che volumi eguali di essi, siano semplici, siano composti, contengono l'eguale numero di molecole; non però l'egual numero di atomi, potendo le molecole ... contenere un vario numero di atomi, sia della medesima natura, sia di natura diversa*”.

Le idee di Cannizzaro furono accettate perché permettevano di risolvere problemi fino ad allora ritenuti insormontabili con considerazioni molto semplici:

- Volumi uguali di gas diversi, nelle stesse condizioni di temperatura e pressione, contengono lo stesso numero di molecole.
- Le molecole sono costituite da atomi, e l'atomo è definito come la più piccola parte di una sostanza semplice che possa prendere parte ad una reazione chimica.

- Le molecole delle sostanze semplici contengono un numero di atomi che varia a seconda della sostanza stessa: ve ne sono di monoatomiche, biatomiche, tetraatomiche e così via (di lì a pochi anni si mise in evidenza che la molecola di ozono è triatomica, O<sub>3</sub>).
- I dati delle densità gassose forniscono utili indicazioni per la determinazione delle masse atomiche, ma la loro applicazione non è automatica. In effetti, occorre conoscere la costituzione della molecola della sostanza allo stato di vapore, prima di poter fare uso dei dati sulla sua densità gassosa. La costituzione di una molecola si può ricavare in molti modi, ad esempio a partire dai volumi di combinazione.

## 2.2 La trasposizione didattica

Nella sequenza didattica si possono distinguere tre fasi.

FASE 1 – Nella prima fase si è assunto come riferimento il modello particellare di Dalton. Gli allievi vengono impegnati in attività di modellizzazione di sostanze solide, liquide e gassose, di miscele omogenee ed eterogenee, di trasformazioni di stato di sostanze a partire da alcuni assiomi che costituiscono i germi del modello:

- 1) *una particella non si può dividere, è indivisibile*
- 2) *una particella non può cambiare forma, è indeformabile*
- 3) *una particella ha sempre le stesse dimensioni*
- 4) *una particella di una certa sostanza ha sempre la stessa quantità di materia, che cambia al cambiare della sostanza.*

In questo modo, gli studenti costruiscono un modello particellare (insieme di proprietà) che è coerente al proprio interno (viene rispettata la sintassi) e le cui proprietà non sono in contrasto con i dati sperimentali (viene rispettata la semantica). Al termine di questa prima fase, gli studenti padroneggiano e condividono un modello particellare operativo «grezzo» che è in relazione con un campo empirico (situazioni sperimentali) ben definito (gli stati fisici dei corpi e le trasformazioni fisiche). Ciò li pone oggettivamente in una situazione diversa da quella degli scienziati del XIX secolo, i quali facevano riferimento o al registro macroscopico o a quello microscopico senza stabilire relazioni tra i due.

FASE 2 – Si sono introdotte, a livello empirico, alcune reazioni chimiche tra solidi (nitrato di piombo e ioduro di potassio) e tra sostanze in soluzione (cloruro di bario e solfato di rame, carbonato di calcio e acido cloridrico). Si è così messo in crisi l'assioma relativo all'indivisibilità delle particelle. La conclusione alla quale gli studenti pervengono è che si dovrebbe usare un termine per le particelle fisiche (quelle che restano inalterate nelle trasformazioni fisiche) e un altro per le particelle che costituiscono le particelle fisiche. L'insegnante propone di usare il termine *molecola* per le prime e il termine *atomo* per le seconde.

In questo modo, gli studenti non devono affrontare le difficoltà – linguistiche e concettuali – cui dovettero fare fronte gli scienziati del XIX secolo ai quali furono proposte due diversi tipi di particelle (gli atomi semplici e composti di Dalton, le molecole elementari e integranti di Avogadro) contrapponendo l'uno all'altro. Una situazione problematica storicamente molto dibattuta viene discussa in un contesto concettuale fortemente mutato dalla consapevolezza comune che il modello particellare sia un'ipotesi plausibile e molto potente per interpretare vecchi e nuovi fenomeni.

FASE 3 – Si propongono agli studenti i dati sperimentali delle combinazioni tra gas (Gay-Lussac) e si pone come situazione problematica la loro spiegazione mediante il modello particellare atomico/molecolare (fase 2).

Storicamente, gli scienziati incontrarono notevoli difficoltà di natura epistemologica a stabilire relazioni tra i dati sperimentali e i modelli interpretativi di natura microscopica. Gli sperimentalisti (essenzialmente di scuola francese) consideravano con sospetto le spiegazioni che mettevano in gioco oggetti mentali – come atomi e molecole – privi di evidenza sperimentale; per contro, gli atomisti (essenzialmente di scuola inglese) mettevano in dubbio l'attendibilità dei dati sperimentali che risultavano in contraddizione con il modello microscopico. La situazione è ben diversa in classe: gli allievi ormai padroneggiano il modello microscopico e sono essi stessi ad avanzare l'idea di Avogadro: volumi eguali (a temperatura e pressione costanti) di gas che si combinano completamente per produrre una sostanza composta gassosa contengono lo stesso numero di molecole. Inoltre, per spiegare i rapporti in volume tra gas reagenti e gas prodotto, si deve ipotizzare che le molecole delle sostanze semplici che si combinano (gas idrogeno, gas cloro, gas ossigeno, ecc.) siano molecole biatomiche.

Ai compagni che esprimono dubbi sull'accettabilità di queste ipotesi, gli studenti che le propongono rispondono che è vero che nessuno è in grado di contare le particelle (molecole e atomi) che prendono parte alle reazioni, ma che è anche vero che le idee proposte funzionano... almeno fino a prova contraria. Come diceva Avogadro: *“L'hypothèse qui se présente la première à cet égard, et qui paraît même la plus admissible, est de supposer que le nombres de molécules intégrant dans les gaz quelconques est toujours le même à volume égal, ou est proportionnel aux volumes”*.

Si tenga presente che il modello d'apprendimento al quale facciamo riferimento non è quello trasmissivo abituale, ma un modello costruttivista che vede lo studente protagonista e attore del proprio apprendimento, in quanto viene posto di fronte a situazioni-problema, ad interrogativi problematici. In questo modo, gli studenti hanno l'opportunità, da una parte, di imparare la scienza come un processo e non solo come un prodotto; dall'altra, di dare un senso ai concetti che devono apprendere, in quanto soluzioni accettabili di problemi reali, risposte adeguate a interrogativi problematici.

A conclusione della sequenza, il singolo studente dovrebbe essere in grado di:

- 1) utilizzare un modello particellare appropriato per descrivere e interpretare i corpi materiali e le loro trasformazioni;
- 2) distinguere fra sostanza semplice e sostanza composta;
- 3) distinguere fra sostanza composta e miscela di più sostanze;
- 4) distinguere tra trasformazione fisica e trasformazione chimica;
- 5) precisare gli attributi essenziali delle trasformazioni fisiche e di quelle chimiche a livello macroscopico e a livello microscopico;
- 6) distinguere le molecole dagli atomi;
- 7) distinguere i tipi di atomi che costituiscono una molecola;
- 8) esprimere le reazioni chimiche tra sostanze sia mediante raffigurazioni iconiche sia mediante il linguaggio simbolico della chimica;
- 9) bilanciare semplici reazioni chimiche;
- 10) utilizzare la nomenclatura ed i simboli suggeriti dalla IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) per rappresentare e denominare gli atomi, le molecole, le sostanze semplici e composte.

Presenteremo ora alcune delle attività proposte agli studenti, le loro concezioni e quanto ne è seguito. Dato il modello d'apprendimento che adottiamo, la cosa più interessante non sono tanto le attività proposte, quanto piuttosto le soluzioni suggerite dagli studenti, le relative giustificazioni e le discussioni che avvengono in classe.

### 3. ALCUNI ESEMPI DI ATTIVITÀ DIDATTICHE

*Attività 1 – Lo strano caso di due sostanze gassose che reagendo producono una sostanza solida*

Usando una soluzione concentrata di acido cloridrico (cloruro di idrogeno sciolto in acqua) e una soluzione concentrata di ammoniaca, si sviluppano vapori di cloruro di idrogeno e di ammoniaca; questi incontrandosi producono cloruro di ammonio solido che si deposita sulla parete del tubo in forma di polvere bianca.

Le situazioni sperimentali proposte agli studenti (prima solo la 1, poi la 2 e la 3 insieme) sono le seguenti:

- 1) Un cilindro è chiuso alle estremità da due pistoni mobili. Un diaframma rimovibile divide il cilindro in due contenitori a tenuta. I due contenitori contengono ognuno  $1 \text{ dm}^3$  di gas: il contenitore A contiene  $1 \text{ dm}^3$  di cloruro di idrogeno, il contenitore B contiene  $1 \text{ dm}^3$  di ammoniaca. Dopo la reazione i gas sono scomparsi ed è presente solamente un solido bianco, il cloruro di ammonio.

- 2) Il contenitore A contiene 2 dm<sup>3</sup> di cloruro di idrogeno, il contenitore B contiene 1 dm<sup>3</sup> di ammoniaca. Dopo la reazione rimane 1 dm<sup>3</sup> di cloruro di idrogeno ed è presente il solido bianco.
- 3) Il contenitore A contiene 1 dm<sup>3</sup> di cloruro di idrogeno, il contenitore B contiene 2 dm<sup>3</sup> di ammoniaca. Dopo la reazione rimane 1 dm<sup>3</sup> di ammoniaca ed è presente il solido bianco.

Agli studenti viene richiesto di rappresentare le tre situazioni mediante il modello particellare. Bisogna, a questo punto, riflettere su quale rapporto esista tra il numero di molecole dei gas reagenti e il dato sperimentale che evidenzia un rapporto 1:1 tra i volumi dei due gas che reagiscono.

È significativo che la maggior parte delle rappresentazioni iconiche proposte dagli studenti rispondendo all'interrogativo 1, siano di questo tipo (fig. 1):

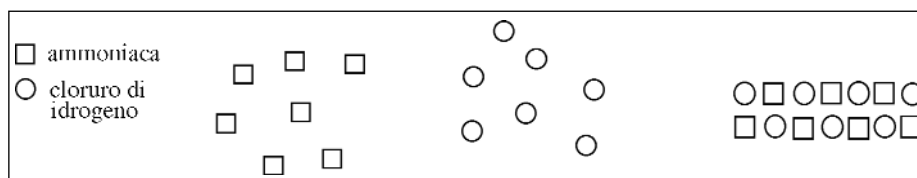


Fig. 1. La rappresentazione più frequente tra quelle proposte per il rapporto 1:1.

Come si può notare, viene disegnato, per entrambi i gas reagenti, lo stesso numero di particelle; la corrispondenza tra volumi di gas (livello macroscopico) e numero di particelle (livello microscopico) è del tutto spontanea per studenti che sono abituati ad utilizzare il modello particellare per interpretare gli stati della materia e le trasformazioni fisiche.

La conferma di ciò si ha nell'interpretazione del fenomeno del gas reagente in eccesso (interrogativi 2 e 3): eccesso di gas significa eccesso di particelle, volume doppio di gas significa numero doppio di particelle, come risulta dalla figura 2.

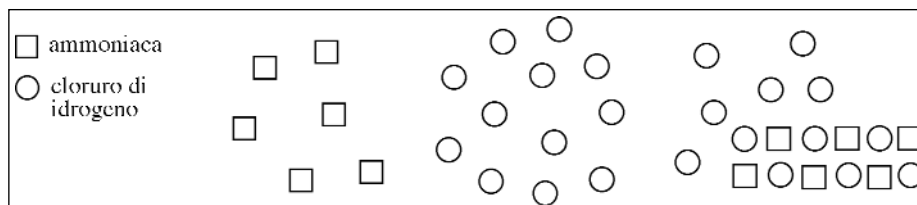


Fig. 2. La rappresentazione più frequente tra quelle proposte per l'eccesso di cloruro di idrogeno.

Il commento che accompagna questa rappresentazione chiarisce il pensiero dell'allievo: “per me l'ammoniaca reagisce per tutta la sua quantità con l'*equivalente* del cloruro di idrogeno, che però è in quantità doppia rispetto all'ammoniaca, perciò una parte di questo non reagisce, restando un gas”.

Esistono ovviamente altri punti di vista che di seguito vengono evidenziati nelle figure 3, 4 e 5 accompagnati dai relativi commenti degli allievi.

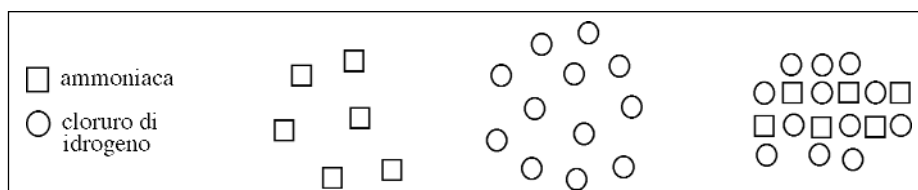


Fig. 3. Una rappresentazione alternativa per l'eccesso di cloruro di idrogeno.

Il commento dello studente “*il solido conterrà più particelle di cloruro di idrogeno*” apre la possibilità che la formula della sostanza solida che si forma possa non essere definita e costante.

Un altro studente (figura 4) è d'accordo con l'eccesso di gas, ma mette in evidenza che le molecole dei reagenti si trasformano “*i due gas vengono a contatto e avviene una reazione chimica, e gli atomi che sono le particelle più piccole si “fondono” con le altre e le molecole (particelle) cambiano e di conseguenza anche il corpo*”

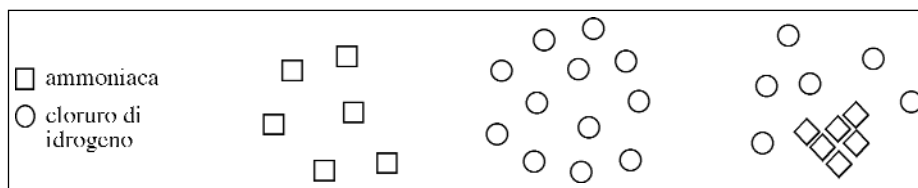


Fig. 4. Un'altra rappresentazione alternativa proposta per l'eccesso di cloruro d'idrogeno.

Infine ecco due allievi (figure 5 e 6) che tentano di dare soluzione al problema di come gli atomi partecipino alla formazione delle molecole, cioè come sia possibile la ricombinazione degli atomi per dare nuove molecole; queste interpretazioni incontrano la resistenza dei compagni che le ritengono (soprattutto la 6) troppo *incasinata*.

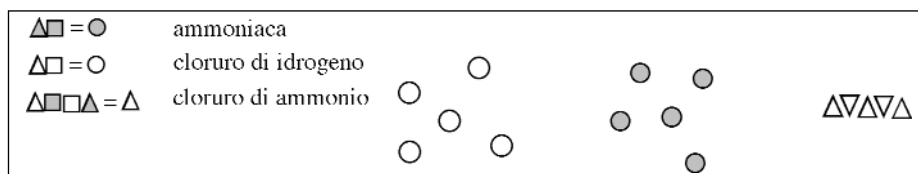


Fig. 5. Una proposta di ricombinazione degli atomi.

“... posso immaginare le due molecole come formate da due atomi ognuna. Siccome dopo i pistoni si sono avvicinati, all'interno del cilindro non saranno presenti gas, perciò gli atomi si sono combinati in un'unica molecola oppure in più molecole miscelate in modo omogeneo tra loro (stato solido)”.



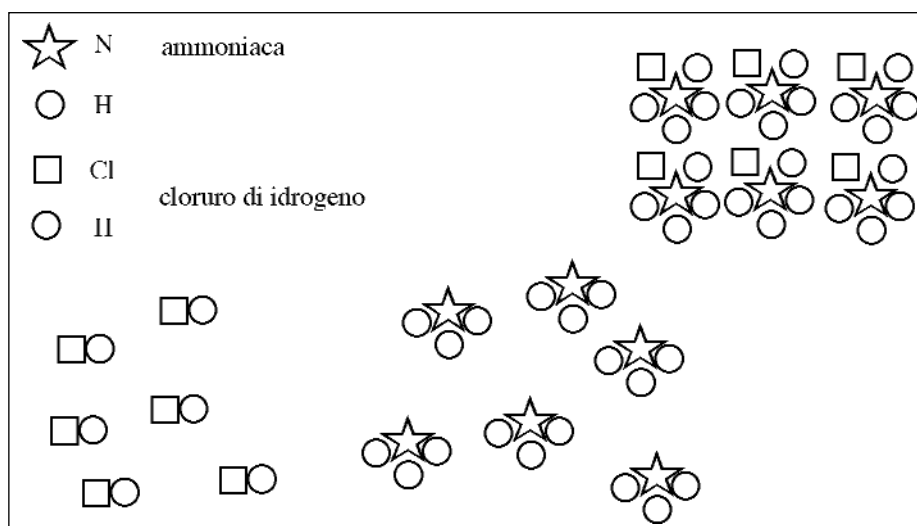


Fig. 6. Una proposta di ricombinazione degli atomi.

Nel caso di figura 5 il testo chiarisce il pensiero, mentre nel caso di figura 6 ogni commento sembra superfluo; durante la discussione, lo studente che ha proposto quest'ultima rappresentazione rivela di aver appreso la formula dell'ammoniaca (di cui sa interpretare la simbologia chimica) in un altro corso. Questa attività gli ha permesso di chiarire il senso della simbologia chimica che ora è in grado di tradurre in simboli iconici. È interessante notare che, mentre nella sua mente questa interpretazione si rivela in tutta la sua plausibilità, i suoi compagni la ritengono troppo *incasinata*.

Ci pare che questo sia un esempio di quanto affermato a proposito della dimensione costruttivista del modello di apprendimento cui facciamo riferimento: *l'allievo costruisce conoscenze a partire dalle conoscenze che già possiede con un processo dialettico tra vecchie e nuove conoscenze*

ATTENZIONE: l'insegnante abitualmente plaude al bravo studente che ha proposto la rappresentazione di figura 6, facendo presente a tutta la classe che quella è l'interpretazione *giusta*. Un atteggiamento di questo genere è deleterio perché porta ad esprimere un giudizio di merito prematuro. Ciò vanifica la trasposizione didattica proposta in questa sequenza: è necessario che la risposta adeguata al problema sia accettata perché frutto del conflitto di idee messe in gioco da tutti gli studenti. Tutte le idee hanno dunque eguale dignità fino a quando sono ritenute plausibili.

#### Attività 2 – Volumi di gas e numero di molecole

Si studia ora la reazione tra le sostanze gas idrogeno e gas cloro. Dato che si tratta di una reazione tra sostanze allo stato gassoso, ammettiamo, come già visto, di operare a temperatura e pressione costanti.

La situazione sperimentale è la seguente. Un cilindro è chiuso alle due estremità da due pistoni mobili. Un diaframma rimovibile divide il cilindro in due contenitori a tenuta. I due contenitori contengono ognuno  $1 \text{ dm}^3$  di gas: il contenitore A contiene gas idrogeno, il contenitore B contiene gas cloro. Si rimuove il diaframma e si fa avvenire la reazione tra i due gas ottenendo  $2 \text{ dm}^3$  di una nuova sostanza gassosa: cloruro di idrogeno. Agli studenti viene richiesto di modellizzare iconicamente la reazione chimica. Questo è uno dei rompicapo da risolvere nella seconda metà del diciannovesimo secolo: come giustificare il fatto che il gas prodotto dalla reazione occupi un volume doppio rispetto a quello occupato da ciascuno dei gas che si combinano.

Diversi studenti hanno evidenti difficoltà ad accettare il doppio volume di sostanza prodotta; non riescono a giustificare il fenomeno, poiché non è ipotizzabile, secondo loro, alcuna relazione tra volumi di gas reagenti, volume di gas prodotto e il numero di particelle di cui ciascun gas è costituito: il rompicapo non è risolvibile. Alcuni tuttavia propongono soluzioni plausibili. Per esempio, uno studente avanza questa proposta (figura 7).

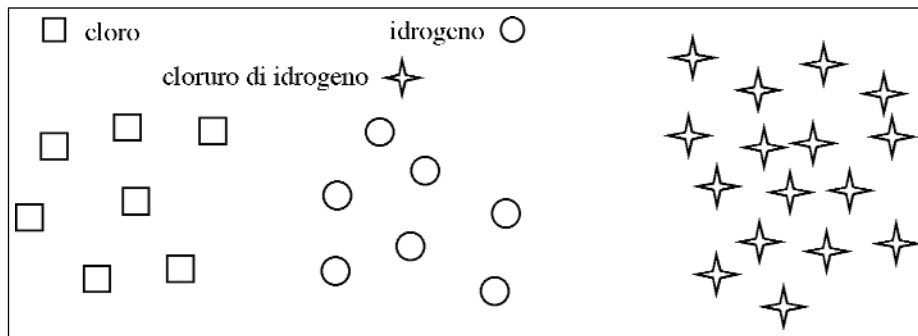


Fig. 7. Una proposta di trasformazione delle particelle.

Questa è la giustificazione: *“le due sostanze reagiscono tra loro senza unirsi tra di loro. Per me le particelle di idrogeno e di cloro reagiscono al contatto, ma restano separate, non si fondono una con l'altra. Praticamente si trasformano solo”*.

Però questa trasformazione sa un po' di magia, mentre le seguenti risultano maggiormente gradite dalla classe (rispettivamente figura 8 e 9).

*“le molecole di idrogeno reagiscono con quelle di cloro creando il cloruro di idrogeno (sostanza). Una molecola di cloruro di idrogeno è formata dalla metà degli atomi di idrogeno e dalla metà degli atomi di cloro, per questo quando due molecole dei gas dati reagiscono tra loro, se ne creano altre due di cloruro di idrogeno e, secondo l'esperienza precedente, a numero doppio di particelle corrisponde un volume doppio”*.

Come si può notare le idee non sono ancora del tutto chiare, ma è in atto un interessante tentativo di far tornare i conti. I conti tornano, invece nella rappresentazione successiva (figura 9): questo studente ha deciso di far corrispondere ad ogni

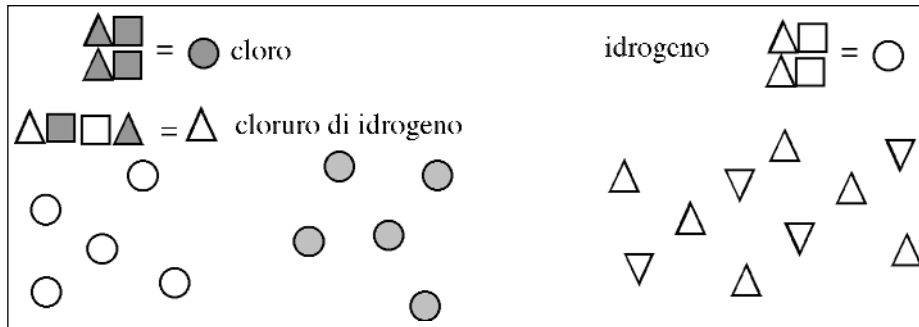


Fig. 8. Una proposta di ricombinazione degli atomi nella reazione tra cloro e idrogeno.

simbolo iconico il simbolo di un atomo di una sostanza semplice (idrogeno e cloro) così riesce a giustificare il fatto che “*essendo la sostanza di reazione gassosa formata dai due tipi di molecola precedenti non fa muovere i pistoni perché occupa sempre lo stesso spazio*”.

La discussione di queste ipotesi interpretative mostra che molti altri studenti non sono ancora convinti di questa scelta; probabilmente le rappresentazioni mentali di molecola e di atomo sono ancora “fluide”.

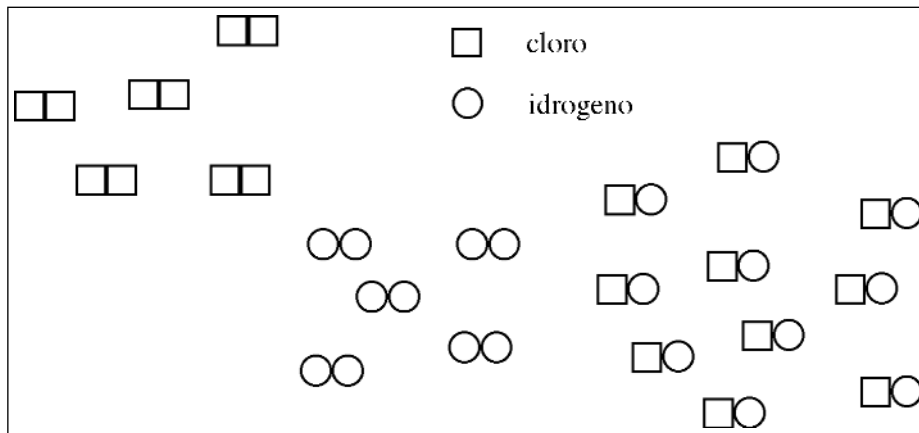


Fig. 9. Una proposta di ricombinazione degli atomi nella reazione tra idrogeno e cloro.

Dunque, se ipotizziamo che un decimetro cubo di qualunque gas, in eguali condizioni di temperatura e pressione, contenga sempre un eguale numero di molecole, allora per giustificare il volume di cloruro di idrogeno ottenuto si potrebbe pensare che sia l'idrogeno che il cloro possiedano una molecola biatomica ( $H_2$  e  $Cl_2$ ).

A questo punto, l'insegnante propone un'attività che riporta la discussione a livello macroscopico, come nella Fase 2: la stessa reazione tra  $H_2$  e  $Cl_2$  viene studiata dal punto di vista della conservazione della massa. Dato che tutto il gas idro-

geno si combina con tutto il gas cloro, viene richiesto agli studenti quale sia la massa espressa in grammi del cloruro di idrogeno che si è formato. La discussione che segue permette all'insegnante di richiamare tutte le conoscenze che gli studenti dovrebbero condividere:

- la massa complessiva, in una reazione chimica, si conserva;
- le sostanze, in una reazione chimica, si trasformano in altre sostanze;
- le particelle che individuano le *unità chimiche* di ogni sostanza sono le molecole;
- le molecole, durante una reazione chimica, si trasformano in altre molecole;
- le molecole di ogni sostanza sono formate da atomi;
- durante una reazione chimica, gli atomi che costituiscono le molecole dei reagenti si ricombinano;
- durante una reazione chimica gli atomi si conservano e così si può interpretare a livello microscopico, la conservazione della massa complessiva del sistema.

Inoltre, la possibilità di verificare un rapporto stretto tra i volumi dei gas e il numero delle molecole costituenti le varie sostanze ripropone l'idea che ogni molecola sia formata da un numero definito di atomi delle varie specie: ogni sostanza dovrebbe quindi avere una formula definita e, se ogni atomo possiede una massa diversa a seconda della sua specie, ogni molecola dovrebbe avere una sua massa ben definita.

È ora di introdurre la nomenclatura che accetta l'ipotesi formulata nella discussione precedente: le molecole dei gas idrogeno e cloro sono biatomiche, si parlerà quindi di diidrogeno e di dicloro.

Si studia la reazione tra le sostanze gassose diidrogeno e diazoto. Dato che si tratta di una reazione tra sostanze allo stato gassoso, ammettiamo, come già visto, di operare a temperatura e pressioni costanti.

La situazione sperimentale è la seguente. Un cilindro è chiuso alle due estremità da due pistoni mobili. Un diaframma rimovibile divide il cilindro in due contenitori a tenuta. Il contenitore A contiene  $3 \text{ dm}^3$  di gas diidrogeno; il contenitore B contiene  $1 \text{ dm}^3$  di gas diazoto. Si rimuove il diaframma e si fa avvenire la reazione tra i due gas ottenendo  $2 \text{ dm}^3$  di una nuova sostanza gassosa: l'ammoniaca. Agli studenti viene richiesto sia di rappresentare la reazione usando il modello particellare, sia di rappresentarla utilizzando i simboli chimici. Viene inoltre loro richiesto di assegnare a ciascuna sostanza la nomenclatura IUPAC.

Anche in questo caso viene proposto di indicare quale sarà la massa complessiva di prodotto (gas ammoniaca) ottenuto a partire da una massa data di gas diidrogeno e di gas diazoto. Prendendo in esame i dati riguardanti le masse delle sostanze, i rapporti dei volumi dei gas (livello macroscopico) e la loro interpretazione atomico-molecolare, vengono confermate le ipotesi formulate in precedenza.

Non cambia il tipo di fenomeno preso in considerazione, ma i rapporti di combinazione tra i volumi delle sostanze gassose richiedono di ripensare tutti i dati

fino ad ora presi in considerazione: alcuni studenti hanno difficoltà a gestire il rapporto 3:1:2 tra i gas reagenti e prodotti.

Inoltre, gli studenti devono calcolare le quantità in massa delle sostanze che partecipano alla reazione; nel caso della sintesi dell'ammoniaca, devono calcolare quanto prodotto si ottiene, mentre in una successiva reazione vanno determinate le quantità di diidrogeno e di diossigeno necessarie per ottenere 1,00 kg di acqua. Quest'ultima richiesta mette in difficoltà una parte degli studenti portandoli a rimettere in discussione idee che sembravano già chiare ed acquisite. È la conferma che i dati e le evidenze sperimentali non sono la soluzione del problema, ma costituiscono la situazione problematica da interpretare con modelli appropriati; è indispensabile, quindi, che sia concesso a chi apprende il tempo necessario per padroneggiare questi modelli.

La prima delle interpretazioni della reazione di sintesi dell'ammoniaca che proponiamo (figura 10) è quella di un allievo che così la esplicita: "il diidrogeno più il diazoto formano l'ammoniaca, ma visto che il diidrogeno è in avanzo ci sono ancora delle particelle non trasformate".

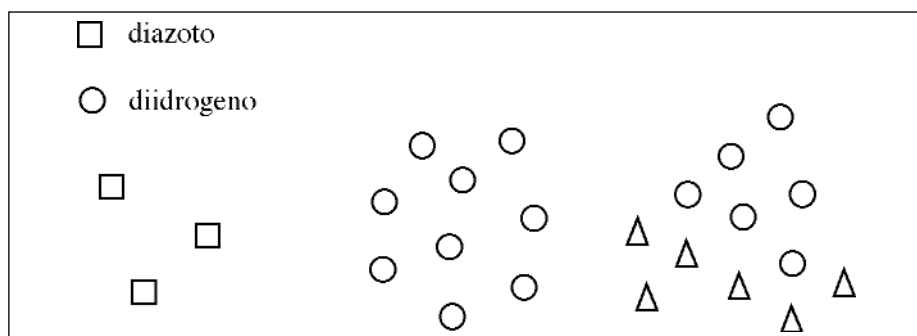


Fig. 10. Una proposta di trasformazione delle particelle.

Proviamo a riflettere sul disegno e sulle parole dello studente.

- Scrive diazoto e diidrogeno, ma non utilizza simboli iconici che mettano in evidenza molecole biatomiche.
- Se il rapporto tra i volumi di gas è 1:3:2, allora ogni tre particelle di diazoto (quadrati) ce ne saranno nove di diidrogeno (cerchi) e sei di ammoniaca (triangoli), ma per conservare la materia bisogna conservare il numero di particelle: ciò significa che "avanzano" particelle di diidrogeno che non hanno reagito.

Naturalmente i conti non tornano; gli altri studenti lo fanno notare e si mostrano in disaccordo con l'interpretazione proposta.

Sono decisamente contrari anche alla rappresentazione della figura 11. L'ammoniaca non deve essere raffigurata come se fosse un solido e la quantità di materia prima e dopo la reazione va rispettata. Il numero di particelle disegnate non è adeguato.

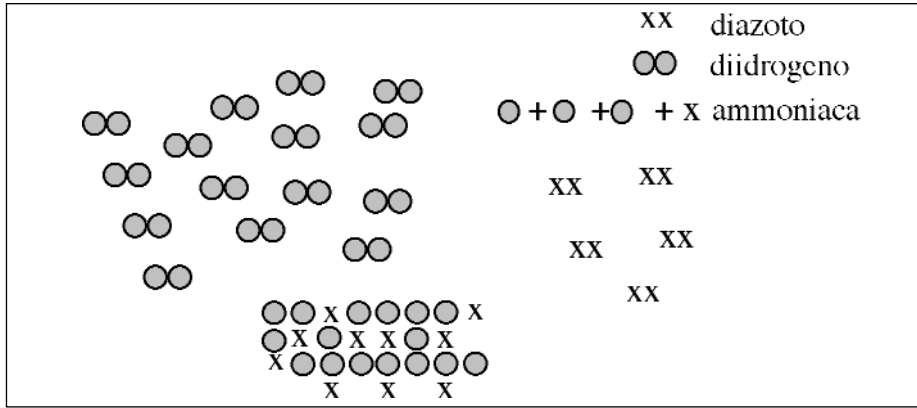


Fig. 11. Una proposta di ricombinazione degli atomi nella reazione tra diidrogeno e diazoto.

La rappresentazione della figura 12 sembra convincere anche quelli che la ritenevano troppo complessa; se si accetta che le molecole di gas azoto e di gas idrogeno siano biatomiche, la molecola dell'ammoniaca dovrebbe essere formata da un atomo di azoto e tre di idrogeno. Se così fosse, l'ipotesi dello stretto rapporto tra volumi di gas e numero di molecole sarebbe confermata; verrebbe anche ribadito che le particelle il cui numero è in rapporto con i volumi di gas sono le molecole, le quali sono formate da atomi. Alcuni allievi sono disposti a sostenere queste ipotesi senza alcun dubbio, altri sono perplessi, altri ancora aspettano che qualcuno risolva i dubbi anche per loro: la scienza obbliga a pensare, che fatica. Al termine della discussione, comincia ad essere condivisa la seguente rappresentazione iconica della reazione tra diidrogeno e diazoto per dare ammoniaca.

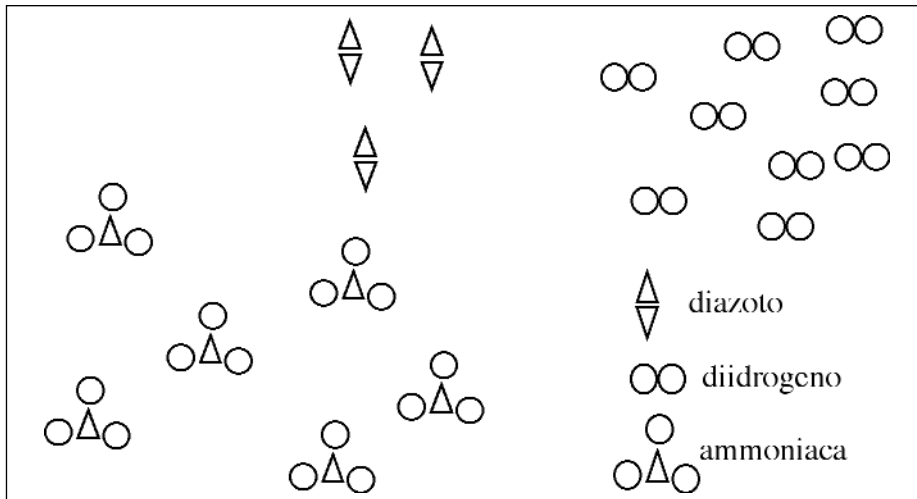


Fig. 12. Una proposta di ricombinazione degli atomi nella reazione tra diidrogeno e diazoto.

Allo stesso modo, viene condivisa la rappresentazione della reazione tra diidrogeno e diossigeno per dare acqua (figura 13). A questa rappresentazione viene fatta corrispondere quella simbolico chimica: ad ogni tipo di atomo costituente le molecole si può dunque far corrispondere sia un simbolo iconico (cerchio, quadrato, triangolo, ...) sia una lettera (oppure due) dell'alfabeto latino: questi ultimi sono i simboli chimici delle specie atomiche; è necessario impararli a memoria.

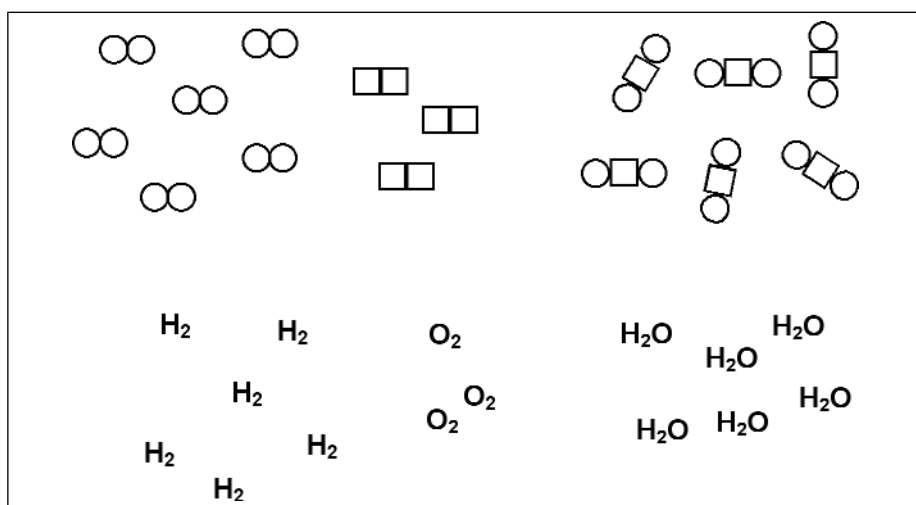
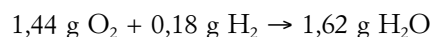


Fig. 13. Rappresentazioni iconica e simbolico chimica della reazione tra diidrogeno e diossigeno per dare acqua.

Alcuni studenti cominciano a disegnare solo il numero minimo di particelle necessario a determinare il rapporto numerico tra le varie molecole dei reagenti e dei prodotti, ma questa rappresentazione sarà condivisa da tutta la classe solo nelle attività seguenti.

Della reazione schematizzata in figura 13 vengono considerate le masse delle sostanze diidrogeno, diossigeno e acqua: vanno determinate le quantità di diidrogeno e di diossigeno necessarie per ottenere 1,00 kg di acqua. Non tutti gli studenti propongono una soluzione al quesito. La discussione prende avvio dalle proposte di alcuni; eccone due esempi.

In entrambi i casi, gli allievi, utilizzando i dati forniti dall'insegnante, ammettono che, se è possibile scrivere:



allora il rapporto tra le masse dei due reagenti è  $1,44 : 0,18 = 8$

Proposta 1 – *Una soluzione algebrica*

$$\begin{aligned} \times &= \text{massa di diossigeno in grammi} & \times/8 &= \text{massa di diidrogeno in grammi} \\ \times + \times/8 &= 1,62\text{g} & \times &= 888,88 \text{ g O}_2 & \times/8 &= 111,11 \text{ g H}_2 \end{aligned}$$

Proposta 2 – *Un'altra soluzione*



$$1000 \text{ g} \cdot 8/9 = 888,88 \text{ g O}_2 \qquad 1000 \text{ g} \cdot 1/9 = 111,11 \text{ g H}_2$$

La discussione che segue permette di giungere alle seguenti relazioni che aprono la strada all'idea di Proust, conosciuta come legge delle proporzioni definite e costanti.

$$\begin{aligned} 1,44 \text{ g O}_2 : 0,18 \text{ g H}_2 &= \times \text{ g O}_2 : 1 \text{ g H}_2 & \times &= 8 \text{ g O}_2 \\ 1,62 \text{ g H}_2\text{O} : 0,18 \text{ g H}_2 &= 1000 \text{ g H}_2\text{O} : \times \text{ g H}_2 & \times &= 111,11 \text{ g H}_2 \\ 1,62 \text{ g H}_2\text{O} : 1,44 \text{ g O}_2 &= 1000 \text{ g H}_2\text{O} : \times \text{ g O}_2 & \times &= 888,89 \text{ g O}_2 \end{aligned}$$

L'attività si conclude con un problema che rimanda alla composizione delle sostanze: è questa «definita e costante» oppure «variabile»? Se gli studenti fanno riferimento al «rapporto di combinazione» sono in grado di rispondere in modo corretto all'interrogativo. Questa è la componente macroscopica della risposta, quella che probabilmente avrebbe dato Proust. Però gli studenti sono in grado, a differenza di Proust, di ricorrere al modello atomico/molecolare per interpretare il dato macroscopico.

Si affaccia ora una nuova esigenza: conoscere le masse di ciascuna specie atomica per poter sviluppare ragionamenti quantitativi anche a livello microscopico. A tale esigenza si darà risposta in una sequenza successiva, quando si affronterà l'aspetto quantitativo della chimica ancora con un approccio storico/epistemologico muovendo dal «peso atomico» che Dalton introdusse come attributo fondamentale dell'atomo chimico.

Attività 3 – *Lo schema di una reazione chimica: dalla rappresentazione iconica a quella simbolico chimica*

In questa attività vengono richiamate alcune reazioni in fase gassosa prese in esame nell'attività 2. A partire dalla situazione sperimentale già conosciuta, si richiede agli studenti di applicare tutti i concetti costruiti e le ipotesi formulate in precedenza. Gli allievi devono, in un primo tempo, rappresentare le sostanze reagenti ed i prodotti ottenuti in modo iconico. In un secondo tempo, essi devono contare le molecole disegnate e sostituire i simboli iconici con un numero eguale di simboli chimici. Successivamente bisogna contare le molecole di ciascuna delle



sostanze presenti in ogni reazione e costruire lo schema della reazione usando i simboli chimici; in altre parole, si giunge a costruire il rapporto minimo quantitativo che lega le varie sostanze che partecipano alla reazione: si determinano in questo modo i *coefficienti* di quest'ultima. Non si tratta quindi di un'*equazione chimica* (espressione ancora molto usata), poiché ciò che sta a sinistra del segno di reazione (il simbolo freccia) non è uguale a ciò che sta alla sua destra: si tratta di uno *schema di reazione*. Infine, di ognuna delle sostanze della reazione va precisato se si tratta di una sostanza semplice o composta, cioè se sia costituita da un solo elemento o da due o più elementi. Si comincia così a distinguere i concetti di atomo e di elemento: la molecola di diidrogeno, per esempio, è costituita da due atomi, ma da un solo elemento. Quest'ultimo concetto comincia a far valere la sua specificità. Soprattutto, si usa in modo epistemologicamente corretto il termine elemento.

Questo tipo di attività è fondamentale per predisporre la mente degli studenti alla costruzione del concetto di mole.

Gli schemi, condivisi dagli allievi per rappresentare la reazione tra le sostanze diidrogeno e dicloro per dare la sostanza cloruro di idrogeno, sono indicati in figura 14.

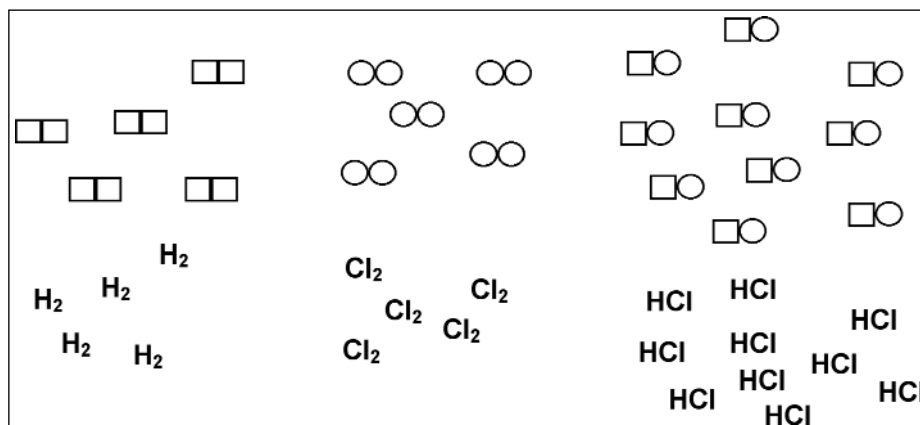


Fig. 14. Rappresentazioni iconica e simbolico chimica della reazione tra diidrogeno e dicloro per produrre cloruro di idrogeno.

La classe giunge rapidamente a condividere il seguente schema di reazione:  

$$\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{HCl}$$

Collegando la rappresentazione iconica con quella mediante simboli chimici, gli studenti riescono a cogliere con facilità la differenza tra *indici di una formula chimica* e *coefficienti di una reazione chimica*.

Le sostanze vengono ora differenziate; in un primo tempo fornendo le seguenti definizioni:

- Sostanze semplici: formate da un solo *tipo di atomi*
- Sostanze composte: formate da più di un *tipo di atomi*
- miscele: formate da più di una sostanza

L'insegnante introduce a questo punto il termine *elemento* che permette agli studenti di modificare le precedenti definizioni:

- *una sostanza semplice è costituita da atomi di un solo elemento*
- *una sostanza composta è costituita da atomi di diversi elementi*
- una miscela è formata da più di una sostanza

Per verificare l'operatività dei concetti appresi, si studiano le reazioni tra le sostanze gassose diazoto e diossigeno. Dato che si tratta di reazioni tra sostanze allo stato gassoso, si ammette di operare a temperatura e pressioni costanti e di utilizzare dispositivi analoghi a quelli utilizzati nelle precedenti attività.

Se gli studenti padroneggiano l'idea che i rapporti tra i volumi dei gas reagenti ed il gas prodotto sono gli stessi che esistono tra il numero di molecole delle varie sostanze, allora sono in grado di:

1. determinare la formula molecolare dell'unico prodotto della reazione;
2. scrivere lo schema della reazione con gli opportuni coefficienti.

A questo punto, gli studenti sono, quasi tutti, in grado di determinare la formula molecolare sia dei reagenti sia della sostanza prodotta nella reazione, quindi sono capaci di attribuire gli opportuni indici ad ogni formula chimica; sono inoltre in grado di scrivere lo schema di reazione sia con simboli iconici sia utilizzando i simboli chimici; quindi sono capaci di assegnare gli opportuni coefficienti di reazione. Nella figura 15 vengono riportate le rappresentazioni delle reazioni tra diossigeno e diazoto prese in considerazione.

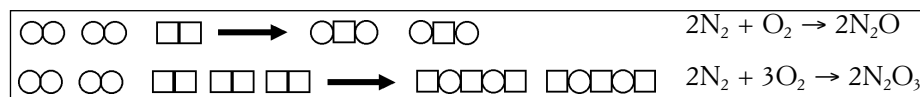


Fig. 15. Rappresentazioni iconica e simbolico chimica delle reazioni tra diazoto e diossigeno.

Inoltre, gli studenti sono in grado di assegnare ad ogni sostanza il nome previsto dalla nomenclatura IUPAC.

## 6. CONCLUSIONE

Nel corso della storia, i ricercatori hanno dovuto affrontare situazioni problematiche, rompicapo scientifici senza disporre degli strumenti mentali (concetti e modelli) necessari per poterli risolvere. Troppo spesso, la ricostruzione a posteriori dell'evoluzione del pensiero scientifico porta a identificare una sequenza lineare di fenomeni empirici e di modelli interpretativi dove sono del tutto assenti problemi,

contraddizioni, ostacoli epistemologici, ecc. Il soggetto che apprende è allora portato a concepire il sapere scientifico come una successione di certezze sempre più sicure e di verità sempre più vere. Coloro che condividono questa concezione dell'evoluzione del sapere scientifico propongono un insegnamento nel quale i contenuti sono presentati come sequenza di prodotti:

1. La legge di conservazione della materia (Lavoisier)
2. La legge delle proporzioni definite e costanti (Proust)
3. La legge delle proporzioni multiple (Dalton)
4. La legge delle combinazioni tra gas (Gay-Lussac)
5. Le leggi (o ipotesi) di Avogadro

Questa scelta è coerente con un insegnamento di tipo trasmissivo che permette di insegnare molte nozioni in un tempo limitato. Però, in questo modo, vengono lasciati da parte i problemi e le discussioni che aiutano a comprendere la natura specifica dei fenomeni chimici e dei concetti strutturanti la disciplina chimica: si perdono cioè le differenze (tra atomo e molecola, tra sostanza semplice ed elemento, tra trasformazione chimica e trasformazione fisica, tra sostanza e miscela) che sono essenziali per comprendere lo specifico potere interpretativo dei vari modelli.

La storia e l'epistemologia della chimica ci insegnano che gli ostacoli di natura concettuale che dovettero superare gli scienziati per giungere ad interpretare i fenomeni implicati nella trasformazione chimica delle sostanze sono dovuti essenzialmente alla difficoltà di accettare l'idea della discontinuità della materia e quindi di utilizzare modelli interpretativi atomici e molecolari. Nel nostro caso, la maggiore dimestichezza che i nostri allievi hanno con il modello particellare può permettere loro di far interagire il livello macroscopico e quello microscopico senza le remore che condizionavano gli scienziati dell'epoca.

Riteniamo che lo sforzo che deve intraprendere chi si occupa di ingegneria didattica sia quello di creare percorsi di apprendimento diversi da quelli praticati dagli scienziati, perché notevoli sono le differenze intellettuali tra gli scienziati del passato e gli studenti di oggi. Tuttavia, i percorsi di apprendimento dovrebbero essere strutturati in modo da permettere a chi apprende di affrontare situazioni problematiche simili a quelle che hanno condotto gli scienziati a scegliere quelle soluzioni che, di volta in volta, sono state ritenute più efficaci.

**Riassunto** – L'introduzione della storia e della filosofia delle scienze nell'insegnamento è da tempo ritenuta una risorsa didattica di grande valore. Già nel 1854, Stanislao Cannizzaro sosteneva l'opportunità di basare l'insegnamento della chimica “*sull'esame storico delle teorie chimiche, [dal momento che] lo scopo dell'insegnamento chimico non è solo di confidare alla memoria degli studenti un certo numero di conoscenze, ma ancora di cooperare alla loro sana educazione intellettuale*”. Affrontare i concetti e i modelli della chimica in una prospettiva storica permette agli studenti di rendersi conto dei problemi che gli scienziati si posero nel corso del tempo. Questo porta inevitabilmente ad affrontare interrogativi che sono propri

della filosofia delle scienze: “Come si forma il sapere scientifico?”, “Cosa è una spiegazione scientifica?” e “In che modo si giustifica una certa spiegazione scientifica?”. È così possibile focalizzare l’insegnamento non solo sui prodotti, ma anche sui processi della scienza.

La sequenza d’apprendimento “Dalla reazione chimica alla molecola” è stata concepita facendo riferimento all’evoluzione del sapere chimico nel corso di circa un secolo, da Lavoisier a Cannizzaro. L’approccio storico risulta particolarmente consono ad un insegnamento di tipo “problematico” nel quale è possibile utilizzare gli “ostacoli epistemologici” che affrontarono gli scienziati come “ostacoli cognitivi” che devono superare gli studenti per costruire apprendimenti significativi. La sperimentazione, attuata in alcune seconde classi di Liceo Scientifico Tecnologico, ha mostrato che la maggior parte degli studenti acquisiscono un buon livello di padronanza dei concetti di reazione chimica, di atomo e di molecola, delle leggi ponderali, della legge dei volumi di combinazione di Gay-Lussac, delle ipotesi di Avogadro e della legge degli atomi di Cannizzaro.