



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

journal homepage: www.elsevier.com/pisc



DIDATTICA DELLA CHIMICA E TRASPOSIZIONE DIDATTICA Parte seconda - Un'approccio didattico alla costruzione del concetto di trasformazione chimica

CHEMISTRY TEACHING AND DIDACTIC TRANSPOSITION - Part two: A didactic approach to the construction of the concept of chemical process

Elena Ghibaudi^{a,b,*}, Ezio Roletto^b, Alberto Regis^b

^a Dip Chimica, Università di Torino, Via Giuria 7, 10125 Torino, Italy

^b Gruppo SENDS (Storia ed Epistemologia per una Nuova Didattica delle Scienze), Torino, Italy

Ricevuto il 3 dicembre 2015; received in revised form 10 marzo 2016; accettato il 22 aprile 2016

Disponibile online 7 giugno 2016

PAROLE CHIAVE

Trasposizione
didattica;
Situazione-problema;
Socio-costruttivismo;
Modello didattico
allosteroico;
Sequenza di
apprendimento-
insegnamento

Riassunto Questa seconda parte illustra un esempio di trasposizione didattica realizzata in Italia, in classi della scuola secondaria di II grado. Oggetto della trasposizione sono i concetti di trasformazione chimica, di reazione chimica e di equazione di reazione; un risultato di questo percorso è l'introduzione della distinzione fra le nozioni di atomo e molecola da parte degli allievi stessi, come ipotesi necessaria per interpretare la fenomenologia osservata. L'approccio adottato in questa sequenza è di tipo storico-epistemologico e la prassi mediante la quale viene realizzata è socio-costruttivista. Lo strumento didattico è la situazione-problema. Nella prima parte di questo articolo vengono presentate le attività che consentono agli studenti di elaborare il concetto di trasformazione chimica a partire dal concetto di identità di una sostanza chimica e dall'utilizzo del modello particellare. Nella seconda parte vengono presentate le attività di apprendimento che partendo dal contrasto fra le idee di Dalton (atomo indivisibile) e quelle di Gay-Lussac (legge di combinazione dei gas) portano alle ipotesi di Avogadro e alla distinzione fra molecole e atomi operata da Cannizzaro.

© 2016 Pubblicato da Elsevier GmbH. Este artigo é de Open Access sob a licença de CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

* Corresponding author at: Dip. Chimica, Università di Torino, Via Giuria 7, 10125 Torino, Italy. Tel.: +39 0 11 6707951; fax: +39 0 11 6707855.

E-mail: elena.ghibaudi@unito.it (E. Ghibaudi).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.pisc.2016.04.105>

2213-0209/© 2016 Pubblicato da Elsevier GmbH. Este artigo é de Open Access sob a licença de CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

KEYWORDS

Didactic transposition;
 Problem situation;
 Socio-constructivism;
 Allosteric teaching model;
 Learning-teaching sequence

Summary In the second part of this work, we present an example of didactic transposition carried out in Italy, with high school students. The educational activity is focused on the concepts of chemical transformation, chemical reaction and reaction equation; an achievement of this activity is the introduction of the distinct concepts of atom and molecule by the students themselves, as a hypothesis that allows interpreting the observed phenomenology. This sequence is conceived according to a historical–epistemological approach and it is based on a socio-constructivist praxis. It relies on the problem-situation as a didactic tool. In the first part of this article, we describe the activities that drive students to elaborate the concept of chemical transformation based on the concept of ‘identity of a chemical substance’, and the use of the particle model. In the second part, we describe some learning activities that lead students toward the Avogadro’s hypothesis and Cannizzaro’s distinction between atoms and molecules, starting from the contrast between Dalton’s and Gay-Lussac’s positions.
 © 2016 Published by Elsevier GmbH. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introduzione

In questo lavoro presentiamo un esempio di trasposizione didattica realizzata secondo le premesse teoriche e i criteri didattici e pedagogici esposti nel precedente articolo. Si tratta di una sequenza d’insegnamento costruita intorno ai concetti di trasformazione chimica, reazione chimica ed equazione di reazione, fondata sull’articolazione fra modellizzazione, sperimentazione e concettualizzazione, e concepita in modo tale da creare le condizioni per un apprendimento significativo. Con essa intendiamo contribuire allo sviluppo di pratiche esemplari per l’insegnamento della chimica (Lijnse, 2000).

La sequenza è stata elaborata tenendo conto delle indicazioni provenienti dalla letteratura didattica disciplinare, riguardo alle concezioni e ai modi di ragionare degli studenti in merito alla trasformazione chimica e al suo modello, la reazione chimica (Fillon, 1997; Stavridou and Solomonidou, 1998; Barker, 2000; Laugier and Dumon, 2004). Essa è basata sull’idea che il passaggio dal registro macroscopico (trasformazione chimica) a quello microscopico del modello (reazione chimica), così come viene abitualmente realizzato nelle classi, sottostima l’importanza di questa tappa e gli ostacoli che gli studenti effettivamente incontrano (Kermen and Méheut, 2008; Roletto et al., 2010; Nelson, 2002).

L’approccio è di tipo storico-epistemologico e la prassi è socio-costruttivista: l’insegnamento dei contenuti disciplinari è organizzato seguendo una traccia storica, e lo sviluppo storico è integrato nella (ri)costruzione del sapere scientifico da parte degli studenti (Merle, 2002; Guedj, 2005; Brehelin and Guedj, 2007; De Hosson and Kaminski, 2006; De Hosson and Kaminski, 2007). In altri termini, i materiali storici sono usati come risorse didattiche: gli interrogativi e i problemi che affrontarono i chimici del XIX secolo sono alla base di situazioni d’apprendimento che non solo sfociano nell’acquisizione di saperi disciplinari, ma permettono anche agli studenti di acquisire familiarità con interrogativi, problemi e modi di procedere degli scienziati, il che consente di fare dell’epistemologia applicata.

Lo strumento didattico è la situazione-problema (De Vecchi and Carmona-Magnaldi, 2002): essa stimola lo sviluppo di attività cognitive da parte dello studente (ad es. la rappresentazione della situazione, la formulazione di

ipotesi e la modellizzazione), le quali sfociano nella riorganizzazione dei concetti in nuove strutture mentali. Inoltre essa consente di realizzare un insegnamento progressivo che procede logicamente dal livello macroscopico a quello microscopico e consente di iniziare gli allievi al processo di costruzione del sapere scientifico. Il ricorso alla storia evidenzia come i chimici non abbiano provato l’esistenza del mondo microscopico, ma ne abbiano piuttosto supposto l’esistenza, formulando ipotesi plausibili sulla natura e l’organizzazione dei suoi costituenti. Come sottolinea Matthews: “*The purpose of historical and philosophical dimensions in science teaching is not just to provide still more things to know, it is to promote an awareness of interesting and important questions and a concern with their resolution*” (Matthews, 1994).

Il modello d’apprendimento di riferimento è il modello “allosterico” (Giordan, 1994): esso riconosce un ruolo fondamentale al conflitto socio-cognitivo e considera l’apprendimento un processo di ristrutturazione delle strutture mentali nel quale giocano un ruolo importante le conoscenze che gli studenti già possiedono (dimensione didattica).

Premesse Teoriche

Il contenuto della sequenza d’insegnamento-apprendimento è la modellizzazione della materia e delle sue trasformazioni. Gli obiettivi di apprendimento sono i seguenti:

- identificare le trasformazioni chimiche, imparare a modellarle nella forma di reazioni chimiche e a rappresentarle mediante equazioni chimiche;
- riconoscere che l’introduzione dei concetti di atomo e molecola come entità chimiche distinte è un passaggio indispensabile per comprendere la natura delle trasformazioni chimiche;
- iniziare ad affrontare gli aspetti quantitativi delle trasformazioni chimiche.

Gli studenti sono impegnati in una strategia d’apprendimento che si richiama alla strategia dell’indagine

scientifica in quanto ne richiama i tre momenti fondamentali:

- formulazione del problema relativo al sistema studiato;
- scelta del modello per rappresentare il sistema e formulare ipotesi per la soluzione del problema;
- messa alla prova del modello, verificando la plausibilità delle ipotesi formulate.

Si comprende una situazione empirica quando si è in grado di rappresentarla con un modello che permetta di interpretarla; la comprensione profonda degli aspetti macroscopici della materia passa necessariamente attraverso la rappresentazione corretta dei loro aspetti microscopici mediante modelli adeguati (Barlet and Plouin, 1997). La modellizzazione del comportamento percettibile del mondo materiale mediante l'immaginazione di un mondo di entità invisibili costituisce un ostacolo epistemologico nell'elaborazione del sapere per gli scienziati del XIX secolo; parimenti, la modellizzazione delle situazioni empiriche è una notevole fonte di difficoltà per l'apprendimento e l'insegnamento della chimica (Tsaparis, 1997; Nelson, 1999). Tuttavia, l'insegnamento progressivo della chimica passa attraverso la costruzione di modelli interpretativi di cui vengono via via messi in luce i limiti; ciò favorisce la costruzione di modelli sempre più evoluti. I chimici del XIX secolo ebbero inizialmente a disposizione il modello dell'atomo indivisibile proposto da Dalton che fu messo in discussione dai risultati ottenuti da Gay-Lussac facendo interagire i gas: i dati sperimentali erano inconciliabili con l'indivisibilità degli atomi. Questo ostacolo epistemologico fu rimosso da Avogadro grazie alla formulazione di due ipotesi: una relativa alla proporzionalità fra volume di gas e numero di molecole; l'altra relativa alla possibilità che una molecola di una sostanza semplice gassosa (da lui chiamata molecola integrante) potesse essere costituita da due o più particelle che egli chiamava molecole elementari.

Sul piano della prassi didattica, gli allievi lavorano in modo cooperativo, sia in piccoli gruppi sia a livello dell'intera classe, e questo costituisce un ulteriore riferimento alla dimensione psicologica. Agli studenti viene data l'opportunità di esprimere liberamente le proprie idee e di confrontarle con quelle dei compagni nel corso di discussioni nell'ambito dei gruppi di lavoro o dell'intera classe. Gli interventi di studenti che non hanno la stessa opinione o la stessa spiegazione danno origine a situazioni conflittuali che l'insegnante può sfruttare, utilizzando la diversità di idee con uno scopo didattico. Grazie alle idee scambiate con gli altri, la maggior parte degli studenti avvia una fase di revisione e di ricostruzione dei propri saperi che porta gradualmente a elaborare conoscenze più consone al sapere scientifico. L'insegnante non dà alcun giudizio sulle argomentazioni e sulle spiegazioni proposte dagli studenti. A volte egli le riformula, si assicura che il pensiero dello studente non sia stato deformato, domanda informazioni complementari. L'atteggiamento dell'insegnante deve essere tale da convincere lo studente che ciò che egli dice è degno di interesse. Il lavoro collettivo offre agli studenti un'immagine del modo di lavorare degli scienziati: la scienza è un processo sociale di costruzione di conoscenza, caratterizzato dalla comunicazione dei risultati delle

Riquadro 1 Organizzazione della sequenza d'insegnamento.

Approccio: Situazione-problema

1. *Le trasformazioni fisiche della materia: costruzione del modello particellare con particelle indivisibili.*
2. *Ampliamento del campo sperimentale di riferimento, con l'identificazione di un nuovo campo concettuale, quello delle trasformazioni chimiche. Si esplorano i limiti del modello disponibile, quello delle particelle indivisibili, che funziona come ostacolo cognitivo.*
3. *Evoluzione del modello: dalle particelle indivisibili alle particelle divisibili. Specificazione dei tipi di particelle: molecole e atomi. Numero di atomi per ogni molecola.*
4. *Corrispondenza fra il registro dei simboli iconici e quello dei simboli chimici. Nomenclatura IUPAC*
5. *L'equazione di reazione come modellizzazione della trasformazione chimica. I coefficienti stechiometrici.*

ricerche e dalla loro validazione e accettazione da parte della comunità scientifica (dimensione epistemologica).

Progettazione e Costruzione della Sequenza Didattica

L'organizzazione generale della sequenza didattica è schematizzata nel Riquadro 1.

In questo articolo discuteremo in dettaglio solo le fasi 2–5. Prima di entrare nel merito della trattazione di tali punti, diamo una breve descrizione della fase 1 e dei suoi obiettivi di apprendimento (Roletto et al., 1996a and b), come premessa necessaria al successivo percorso di apprendimento.

FASE 1 – In questa fase gli allievi sono portati, in un primo tempo, a riconoscere come plausibile la congettura di una struttura particellare della materia: questa potrebbe essere costituita di particelle invisibili, indeformabili, indivisibili e in continuo movimento nel vuoto. Sulla base di queste premesse, gli allievi affrontano lo studio delle trasformazioni fisiche della materia che dovrebbero essere modellizzate a livello microscopico mediante le particelle, per rappresentare le quali si ricorre a simboli iconici (cerchi, quadrati, triangoli, ecc.).

Le trasformazioni fisiche sono concettualizzate a livello macroscopico come processi nei quali le sostanze conservano la propria massa e la propria identità, mentre a livello microscopico esse sono concettualizzate come processi nei quali sono conservati il *numero* delle particelle (la massa della sostanza si conserva) e il loro *tipo* (la sostanza conserva la propria identità). Inoltre, la *sostanza* viene concettualizzata a livello microscopico come un corpo costituito di particelle tutte dello stesso tipo.

Nel corso di questa fase, gli allievi costruiscono un modello particellare semplice, nel quale si parla unicamente di particelle senza mai introdurre le nozioni di atomo e molecola, costituito dalle seguenti proprietà:

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
5. un solo tipo di particelle individua una sostanza
6. un determinato numero di particelle dello stesso tipo equivale sempre alla stessa quantità di sostanza
7. tra le particelle esistono spazi vuoti più o meno grandi a seconda dello stato fisico della sostanza
8. le particelle sono più o meno stipate tra loro, e più o meno vincolate le une alle altre, a seconda dello stato fisico della sostanza
9. le particelle sono più o meno libere di muoversi e/o spostarsi a seconda dello stato fisico della sostanza
10. le particelle sono disposte in modo più o meno ordinato a seconda dello stato fisico della sostanza.

Una volta comprese le trasformazioni fisiche gli allievi possono affrontare le trasformazioni chimiche. Hesse e Anderson (Hesse and Anderson, 1992) osservano che la distinzione fra trasformazione chimica e trasformazione fisica (cambiamento di stato) “è ben più complessa di quanto pensino abitualmente molti insegnanti e autori di manuali” e “l’apprendimento della trasformazione chimica richiede modificazioni complesse nell’ecologia concettuale di molti allievi”.

Studi sulle difficoltà degli studenti a differenziare i due tipi di trasformazione (Reynolds and Brosnan, 2000; Solsona et al., 2003) riportano che molti allievi non riescono a immaginare la possibilità di una riorganizzazione degli atomi nel corso di una trasformazione chimica: essa viene più facilmente concepita come un processo di addizione di reattivi che come un processo nel corso del quale alcune specie chimiche si dividono nelle loro componenti elementari, le quali si riorganizzano a formare nuove specie (Cokelez et al., 2008). Il modello particellare del quale gli allievi dispongono dopo aver studiato le trasformazioni fisiche non è adatto a interpretare le trasformazioni chimiche: esso costituisce quindi un ostacolo all’evoluzione della conoscenza.

FASI 2-5: Questo ostacolo viene superato attraverso un ampliamento del modello, reso possibile dalle risposte elaborate nella risoluzione di alcune situazioni-problema progettate *ad hoc*. Seguendo le indicazioni di De Vos e Verdonk (De Vos and Verdonk, 1985) si è fatto ricorso a situazioni che intrigassero gli allievi soltanto a causa del cambiamento delle sostanze di partenza in nuove sostanze, escludendo la presenza di effetti spettacolari in grado di distrarli. La sequenza prevede che dapprima si esamini la reazione a secco tra nitrato di piombo e ioduro di potassio, due polveri bianche che danno origine a un prodotto giallo (ioduro di piombo). Analogo prodotto si ottiene operando sulle soluzioni trasparenti dei due sali che, una volta miscelate, generano un precipitato giallo. Viene posto in evidenza l’aspetto quantitativo, facendo riflettere gli allievi sul fatto che se nel sistema esaminato *nulla entra e nulla esce*, allora la sua massa complessiva non muta, nonostante la trasformazione abbia generato un cambiamento delle sostanze che lo compongono. Il secondo sistema preso in considerazione dalla sequenza è costituito da sostanze gassose, ammoniaci

e cloruro di idrogeno, che interagendo producono cloruro di ammonio sotto forma di polvere bianca. In entrambe le situazioni non accade altro: non vi è elettricità, fiamma, rumore o qualsiasi altro effetto. L’assenza di ‘interferenze esterne’ aiuta gli allievi a rendersi conto che si trovano di fronte a trasformazioni della materia diverse da quelle fisiche, prese in considerazione precedentemente, nelle quali le sostanze conservano la propria identità. Al contrario, nelle nuove trasformazioni le sostanze iniziali scompaiono e compaiono nuove sostanze: l’identità delle sostanze non è dunque un invariante di questo tipo di trasformazioni. Per interpretare tali trasformazioni gli studenti si servono dello strumento concettuale di cui già dispongono: il modello particellare costruito per le trasformazioni fisiche, che postula l’indivisibilità delle particelle; tuttavia si rendono rapidamente conto che esso non è adeguato per interpretare le trasformazioni chimiche. Si instaura così un conflitto cognitivo che porta gli studenti a rendersi conto dei limiti del modello in loro possesso e della necessità di sostituirlo con un altro più adeguato. Per interpretare trasformazioni in cui le sostanze iniziali perdono la loro identità, si deve porre in dubbio la validità del postulato 1 e ammettere la divisibilità delle loro particelle. Si giunge così a elaborare un modello particellare aggiornato, che ammette l’esistenza di particelle divisibili, costituite da altre particelle più piccole. Emerge un problema di linguaggio, che può essere superato designando con il termine **atomo** le particelle più piccole e con il termine **molecola** quelle più grandi, formate da due o più atomi. Si giunge così a postulare l’esistenza di atomi e molecole, come ipotesi logicamente necessarie per giustificare la conservazione della massa del sistema unitamente al cambiamento di identità delle sostanze. L’esistenza degli atomi costituisce l’elemento di continuità nel sistema prima e dopo la trasformazione chimica. La possibilità degli atomi di combinarsi in modo diverso, pur conservandosi in numero e tipo, giustifica il cambiamento di identità delle sostanze presenti nel sistema prima e dopo la trasformazione chimica.

L’esame di ulteriori situazioni-problema relative a trasformazioni chimiche in fase gassosa fra sostanze semplici (idrogeno e cloro, idrogeno e azoto, idrogeno e ossigeno) con la formazione di una sostanza composta gassosa consente infine di:

- ipotizzare la relazione fra volume di gas e numero di particelle;
- ipotizzare la ‘struttura’ delle molecole dei gas di partenza (in termini di atomi costituenti) e dei prodotti, considerando anche l’invarianza della massa totale del sistema.

Dapprima si utilizzano i simboli iconici, poi vengono gradualmente introdotti i simboli chimici e la nomenclatura IUPAC: in questo modo gli studenti pervengono a scrivere le formule delle molecole delle diverse sostanze e le equazioni chimiche relative alle trasformazioni chimiche da essi studiate. Procedendo da una fase all’altra, gli studenti costruiscono conoscenze, si rendono conto della loro natura congetturale ed evolutiva e comprendono cosa è un modello.

La Sperimentazione in Classe

La sperimentazione di questa sequenza d'insegnamento è iniziata in una classe seconda del liceo scientifico-tecnologico nell'anno scolastico 2004-05 ed è proseguita coinvolgendo alcune classi prime e/o seconde del liceo scientifico-tecnologico e del liceo scientifico negli anni successivi; i dati riportati in questo articolo si riferiscono ad alcune classi del liceo scientifico-tecnologico di Biella, Italia.

Attività 1 – Dalla trasformazione fisica alla trasformazione chimica

Gli allievi sono invitati a eseguire alcune operazioni di miscelazione di sostanze: ioduro di potassio e nitrato di sodio; nitrato di potassio e ioduro di piombo. Dapprima vengono miscelate a secco le sostanze allo stato solido; in seguito, le sostanze vengono sciolte in acqua e le soluzioni così ottenute vengono miscelate. Agli allievi vengono posti interrogativi relativi allo stato fisico, al colore, al numero delle sostanze che entrano in gioco e al numero di fasi del sistema risultante. I risultati sono riassunti in due tabelle (Tabella 1 e Tabella 2)

Gli allievi sono anche invitati a rappresentare i sistemi studiati mediante il modello particellare già costruito in precedenza (FASE 1); il compito non pone particolari difficoltà perché si tratta di situazioni in cui entrano in gioco unicamente fenomeni fisici la cui modellizzazione è ormai padroneggiata dagli allievi.

In seguito l'insegnante introduce una situazione analoga alle precedenti, nella quale si fanno interagire ioduro di potassio e nitrato di piombo sia a secco (usando mortaio e pestello) sia in soluzione acquosa. La discussione in classe dei dati sperimentali porta gli studenti a concludere che:

- Quando si mescolano a secco le due sostanze, triturandole bene con il pestello, compare una colorazione gialla che prima non c'era.
- Quando si fa interagire ognuna delle due sostanze con acqua, si ha un fenomeno di dissoluzione con formazione di due miscele omogenee e incolore.
- Unendo le due soluzioni, si forma un solido giallo che si deposita sul fondo del recipiente: si è in presenza di una miscela eterogenea.

I dati sperimentali sono riassunti nella Tabella 3.

Durante la discussione in classe, qualche allievo suggerisce di far interagire con acqua la miscela contenuta nel mortaio dopo la triturazione. Si ottiene allora una miscela eterogenea analoga a quella ottenuta mescolando le due soluzioni: si deposita un solido giallo sul fondo del recipiente.

Il prodotto dell'interazione a secco tra nitrato di piombo e ioduro di potassio è di difficile interpretazione. L'esperimento condotto tra le stesse sostanze in soluzione acquosa fornisce altri dati che sono di aiuto per spiegare il fenomeno: viene ritenuto probabile che il prodotto ottenuto nell'interazione fra nitrato di piombo e ioduro di potassio sia ioduro di piombo, di colore giallo e insolubile in

Tabella 1 Risultati di alcune manipolazioni iniziali.

	stato fisico	Colore	n° sostanze	n° fasi
nitrato di sodio	solido granulare	Bianco	1	1
ioduro di potassio	solido granulare	Bianco	1	1
nitrato di sodio + acqua	liquido	incolore trasparente	2	1
ioduro di potassio + acqua	liquido	incolore trasparente	2	1
nitrato di sodio + ioduro di potassio	solido polverulento	Bianco	2	2
nitrato di sodio + acqua + ioduro di potassio + acqua	liquido	incolore trasparente	3	1
				miscela omogenea
				miscela omogenea
				miscela eterogenea
				miscela omogenea

Tabella 2 Risultati di alcune manipolazioni iniziali.

	stato fisico	Colore	n° sostanze	n° fasi
nitrato di potassio	solido granulare	Bianco	1	1
ioduro di piombo	solido granulare	Giallo	1	1
nitrato di potassio + acqua	liquido	incolore trasparente	2	1
ioduro di piombo + acqua	liquido	incolore trasparente	2	2
nitrato di potassio + acqua + ioduro di piombo + acqua	liquido	incolore trasparente	3	2
	solido	giallo		miscela eterogenea
				miscela eterogenea

Tabella 3 Risultati che fanno ipotizzare un nuovo tipo di trasformazione.

	stato fisico	Colore	n° sostanze	n° fasi
nitrate di piombo	solido granulare	Bianco	1	1
Ioduro di potassio	solido granulare	Bianco	1	1
Nitrato di piombo + acqua	liquido	incolore trasparente	2	1 miscela omogenea
Ioduro di potassio + acqua	liquido	incolore trasparente	2	1 miscela omogenea
Nitrato di piombo + Ioduro di potassio	solido polverulento	bianco e giallo dopo aver ben pestato	2	2 miscela eterogenea
Nitrato di piombo + acqua + ioduro di potassio + acqua	liquido solido	incolore trasparente giallo	3	2 miscela eterogenea

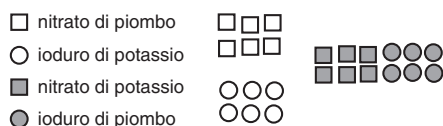


Figura 1 Rappresentazione del sistema a secco.

acqua, ossia la sostanza che non si è sciolta in acqua durante l'esperienza proposta in precedenza (Tabella 2).

Sia che si operi con le sostanze di partenza a secco (mortajo e pestello) sia che si operi con le stesse sostanze in soluzione, tra la situazione iniziale e quella finale vi è una notevole differenza: alla fine è sempre presente un corpo di colore giallo che prima non c'era. La miscela eterogenea, ottenuta mescolando le soluzioni di nitrato di piombo e ioduro di potassio, presenta caratteristiche analoghe a quelle della miscela ottenuta in precedenza (Tabella 2) in cui è presente ioduro di piombo. La discussione in classe dei risultati sperimentali ottenuti con le varie manipolazioni, opportunamente guidata dall'insegnante, permette agli studenti di pervenire a un'ipotesi esplicativa:

“facendo interagire nitrato di piombo e ioduro di potassio si ha produzione di una sostanza, diversa da quelle di partenza, di colore giallo e insolubile in acqua che potrebbe essere ioduro di piombo”.

Si chiede agli studenti di rappresentare con il modello particellare l'interazione fra ioduro di potassio e nitrato di piombo. Le rappresentazioni proposte sono generalmente del tipo riportato¹ in Figura 1 e Figura 2.

Gli studenti interpretano i sistemi con il modello particellare che sono abituati a usare per le trasformazioni fisiche, ossia quello che postula l'indivisibilità delle particelle. Nelle rappresentazioni è rispettata la conservazione del numero delle particelle (livello microscopico) che corrisponde, a livello macroscopico, alla conservazione della massa. Rappresentazioni di questo tipo sembrano sufficienti per interpretare il fenomeno, ma dal dibattito in classe emerge che non tutti gli allievi ne sono pienamente

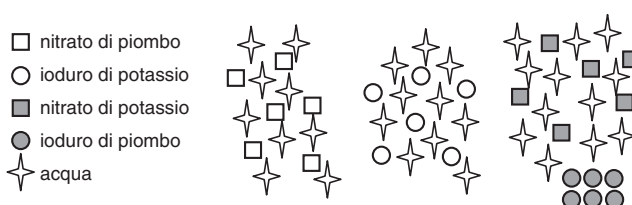
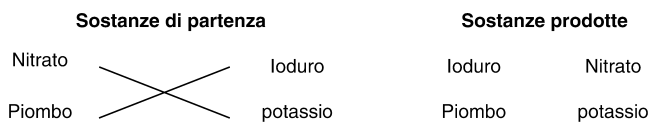


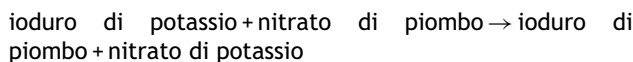
Figura 2 Rappresentazione del sistema in soluzione acquosa.

soddisfatti. Alcuni infatti ritengono che i simboli iconici usati non siano adeguati e non permettano di evidenziare come le sostanze iniziali si sono trasformate in sostanze diverse.

In effetti le rappresentazioni proposte confermano la validità del modello che comporta l'indivisibilità delle particelle e questo costituisce un ostacolo per accedere alla nozione della loro divisibilità, indispensabile per giustificare il passaggio dalle sostanze iniziali a quelle finali. Gli studenti si trovano confrontati a una situazione-problema che comporta una rottura con quanto appreso in precedenza. Per aiutarli a superare l'ostacolo, l'insegnante richiama la loro attenzione sui segni verbali, facendo notare che il nome della sostanza gialla (ioduro di piombo) è costituito da due parole: una (ioduro) è presente nel nome della sostanza “ioduro di potassio” mentre l'altra (piombo) è presente nel nome della sostanza “nitrato di piombo”. È quindi possibile rappresentare il sistema in questo modo, usando i segni verbali:



Un altro modo di rappresentare questa trasformazione è il seguente:



L'insegnante fa presente che il simbolo → significa “trasformazione chimica”. Questo è lo **schema verbale** della trasformazione presa in considerazione. Se lo ioduro e il piombo si ricombinano formando ioduro di piombo, il potassio e il nitrato si ricombinano formando nitrato di

¹ Per motivi di chiarezza del testo non si riportano le scansioni delle produzioni originali degli studenti ma la loro ricostruzione al computer.

potassio. In questo modo si mette in risalto che il prodotto ottenuto non può essere solamente lo ioduro di piombo, poiché la ricombinazione delle parole che compongono i nomi delle sostanze suggerisce la presenza anche del nitrato di potassio che, come si è visto in precedenza (Tabella 1), si scioglie in acqua producendo una soluzione incolore. Gli studenti si rendono conto che i fenomeni studiati sono diversi da quelli presi in considerazione nella Fase 1, quando si è costruito il modello particellare studiando le trasformazioni fisiche. Si apre quindi di fronte a loro un nuovo campo concettuale, quello della **trasformazione chimica**.

L'utilizzazione dei segni verbali attira l'attenzione degli allievi sulla composizione delle sostanze e mette in evidenza che la particella di ioduro di piombo viene in parte dalla particella di ioduro di potassio e in parte dalla particella di nitrato di piombo. Questa interpretazione della formazione dello ioduro di piombo comporta la divisibilità delle particelle mentre il modello particellare fin qui usato ne postula l'indivisibilità. Gli studenti si trovano di fronte a un ostacolo: che fare? Dal momento che il modello funziona benissimo per interpretare le trasformazioni fisiche è evidente che conviene conservarlo. Appare dunque logica un'altra soluzione: fare evolvere la proprietà che riguarda l'indivisibilità delle particelle e riformularla in questo modo: *“Le particelle sono divisibili”*. Quando le particelle si dividono (livello microscopico), la sostanza perde la propria identità (livello macroscopico): si è allora di fronte a una trasformazione chimica nella quale le sostanze di partenza (i **reagenti**) interagiscono producendo una o più nuove sostanze (i **prodotti** della trasformazione).

Nel nuovo modello le particelle sono dunque divisibili, ma questo rende problematico l'uso del termine *particella*; infatti le particelle divisibili risultano costituite da altre particelle: come distinguerle? Si tratta dunque di cambiare il vocabolario, di precisarlo, di inventare un vocabolario che corrisponda agli eventi, e quindi sia veicolo di comunicazione e di intesa. A questo punto, l'insegnante introduce le nozioni di *molecola* e di *atomo*, proponendo di chiamare *molecole* le particelle di ioduro di potassio, nitrato di piombo, ioduro di piombo e nitrato di potassio e di chiamare *atomi* le particelle di potassio, piombo, ioduro e nitrato. Questo è il primo passo sulla strada che porta alla distinzione fra molecola e atomo. In questo modo è possibile spiegare la formazione di nuove sostanze in base alle ricombinazioni degli atomi che, in questo modello, restano inalterati nelle trasformazioni chimiche, assicurando la continuità tra le sostanze di partenza e i prodotti della trasformazione. La prima proprietà del modello particellare viene quindi riformulata in questo modo: *Le particelle (molecole) di cui è costituita una sostanza sono divisibili perché formate da altre particelle (atomi)*. Gli studenti sono invitati a modellizzare nuovamente il sistema nitrato di piombo/ioduro di potassio tenendo conto della divisibilità delle particelle.

Siamo consapevoli che l'utilizzo del termine 'molecola' riferito a composti ionici non è appropriato alla luce delle moderne teorie di legame. Vorremmo sottolineare che si tratta di una precisa scelta didattica volta a focalizzare l'attenzione degli allievi sulla natura delle molecole quali costituenti fondamentali delle sostanze, in contrapposizione agli atomi intesi come costituenti fondamentali della materia. In questa prospettiva, il termine 'molecola' assume qui un'accezione molto simile a quella utilizzata

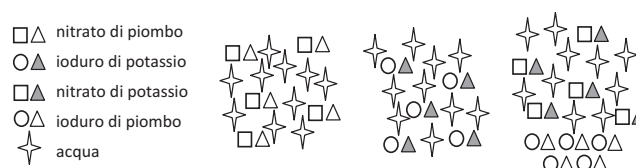


Figura 3 Nuova rappresentazione del sistema in soluzione acquosa.

da Avogadro. Analogamente, si noterà che lo ione nitrato viene trattato come una particella indivisibile invece che composta. Le motivazioni sono simili alle precedenti e sono giustificate dalla preoccupazione didattica di introdurre gli allievi a riconoscere la complessità strutturale del livello atomico-molecolare in modo graduale. La distinzione tra unità-formula e molecola, così come la natura composta dello ione nitrato, saranno affrontati in stadi di apprendimento successivi, dopo aver costruito con gli allievi il concetto di legame chimico.

Nella **Figura 3** è riportata una delle rappresentazioni proposte per il sistema in soluzione acquosa, ritenuta adeguata dalla classe.

Si può ora affrontare l'aspetto quantitativo del fenomeno trasformazione chimica. L'insegnante propone la situazione-problema riportata nel **Riquadro 2** al fine di avviare una riflessione sulla conservazione della massa nel corso delle trasformazioni chimiche.

Il primo interrogativo, di natura qualitativa, serve a richiamare la trasformazione chimica considerata in precedenza; il secondo, di natura quantitativa, richiede di riflettere sul fenomeno e sul sistema nel quale si produce (nulla entra, nulla esce). Infine viene chiesto a ogni allievo di progettare un esperimento che permetta di provare che la risposta fornita al secondo interrogativo è accettabile.

Alcuni allievi, che ragionano a livello macroscopico, ritengono poco probabile che le masse siano eguali prima e dopo la trasformazione e giustificano questa convinzione facendo notare che le sostanze ottenute con una trasformazione chimica sono diverse dalle sostanze di partenza.

Riquadro 2 Un'ipotesi da verificare sperimentalmente.

Il recipiente A contiene una soluzione di nitrato di piombo: la massa della soluzione è 15 g. Nel recipiente A si versano 10 g di una soluzione di ioduro di potassio e si mescola bene.

1. Secondo te, cosa avviene?
2. Secondo te, la massa di ciò che è contenuto nel recipiente A dopo aver mescolato le due soluzioni è:

10 g 15 g 20 g 25 g
 30 g 40 g Non si può rispondere

Giustifica la tua risposta

3. Progetta il procedimento che seguiresti per poter sostenere con evidenza sperimentale la tua scelta, avendo a disposizione una bilancia da laboratorio per misurare le masse.

Però, altri studenti che ragionano a livello microscopico sostengono l'invarianza della massa affermando che, in caso contrario, si dovrebbe avere un numero diverso di atomi prima e dopo la trasformazione. Si genera così un conflitto socio-cognitivo che viene superato riflettendo sul fatto che la rappresentazione iconica di una trasformazione chimica mette in evidenza una nozione molto importante: il prodotto di una trasformazione chimica non può essere qualsiasi cosa. Esso può essere costituito unicamente da una o più sostanze le cui molecole contengono gli atomi già presenti nelle molecole delle sostanze di partenza. Nelle molecole dei prodotti, gli atomi saranno combinati in modo diverso che nelle molecole delle sostanze iniziali, ma saranno sempre quei determinati tipi di atomi e anche il loro numero sarà lo stesso prima e dopo la trasformazione. Dal punto di vista macroscopico questo significa, essendoci conservazione del numero di atomi, che vi è conservazione della massa. Dal punto di vista microscopico si comincia a introdurre l'idea che anche nelle trasformazioni chimiche è presente un invariante, ossia qualcosa che rimane inalterato nel processo e assicura la continuità fra il *prima* e il *dopo*. Ci vorrà ancora molto lavoro per arrivare a comprendere che l'invariante è l'**elemento**; a questo punto del percorso d'apprendimento ciò che conta è riconoscere la presenza di un invariante anche nella trasformazione chimica, individuandolo temporaneamente nel "tipo di atomo".

È vero che, dal punto di vista chimico, la specie "nitrito" non è un atomo, ma nella situazione specifica questo non è problema. Per modellizzare le trasformazioni chimiche prese in considerazione, gli studenti devono accettare la separazione (divisione) delle particelle e la ricombinazione delle "parti" così ottenute, con l'unica regola della conservazione delle parti (livello microscopico) e della massa (livello macroscopico). Quindi, gli obiettivi di questa fase dell'insegnamento sono:

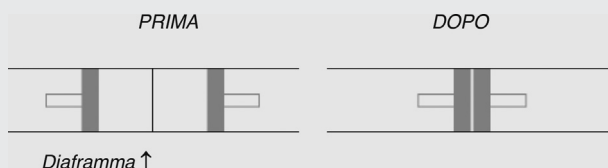
- Portare gli studenti ad ammettere due tipi di trasformazione, fisica e chimica, di cui quella chimica consiste nella sparizione delle sostanze iniziali con formazione di nuove sostanze.
- Introdurre la proprietà di divisibilità delle particelle, distinguendo le molecole dagli atomi.
- Introdurre l'idea di ricombinazione degli atomi (livello microscopico) in una trasformazione chimica per interpretare la formazione di nuove sostanze (livello macroscopico).
- Introdurre l'idea di conservazione degli atomi nel corso di una trasformazione chimica.

Attività 2 – La trasformazione chimica

Fino a questo momento gli studenti hanno preso in considerazione le trasformazioni chimiche di sostanze solide sia a secco sia in soluzione acquosa. Per estendere il campo delle trasformazioni chimiche, l'insegnante propone alla classe lo studio dell'interazione di due sostanze gassose (ammoniaca e cloruro d'idrogeno) con formazione di una sostanza solida in polvere (cloruro di ammonio). Il dispositivo sperimentale è alquanto semplice. Alle estremità di un tubo di vetro si introducono, rispettivamente, un batuffolo di cotone imbevuto di una soluzione concentrata di cloruro di idrogeno e

Riquadro 3 Una prima situazione-problema.

Un cilindro è chiuso alle estremità da due pistoni mobili. Un diaframma rimovibile divide il cilindro in due contenitori a tenuta. I due contenitori hanno lo stesso volume e contengono ognuno 1 dm³ di gas: il contenitore A contiene 1 dm³ di cloruro di idrogeno, il contenitore B contiene 1 dm³ di ammoniaca. Nel disegno che segue è raffigurata la situazione sperimentale prima e dopo la trasformazione.



Diaframma ↑

1 dm³ di cloruro di idrogeno (gas) + 1 dm³ di ammoniaca (gas) → Cloruro di ammonio (solido bianco)

1. Usando il modello particellare, rappresenta le sostanze di partenza e il prodotto della trasformazione.
2. Giustifica le tue rappresentazioni

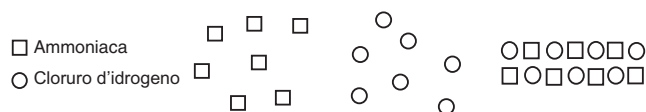


Figura 4 La rappresentazione più frequente fra quelle proposte.

un batuffolo di cotone imbevuto di una soluzione concentrata di ammoniaca. Si sigillano le due estremità con un foglio di polietilene: nel volgere di pochi minuti si deposita all'interno del tubo una polvere bianca costituita di cloruro di ammonio. Solo al termine dell'esperienza, prelevando con una spatola una parte della polvere bianca, gli studenti hanno la certezza della formazione di un corpo solido. In un primo tempo, essi hanno l'impressione di vedere un "gas bianco", poiché il movimento delle sostanze reagenti gassose mantiene in sospensione la polvere bianca che si forma. Gli studenti devono inizialmente rispondere a due interrogativi relativi a:

Tipo di trasformazione—Si tratta di una trasformazione fisica o di una trasformazione chimica?

Conservazione della massa—Fra l'inizio e la fine del processo, la massa del sistema è aumentata, è diminuita o è rimasta costante?

In entrambi i casi essi devono argomentare le loro risposte. In seguito si passa alla fase di modellizzazione a partire dalla seguente situazione-problema nella quale entrano in gioco anche i volumi delle sostanze gassose reagenti. (Riquadro 3) Lo scopo è di pervenire a un modello particellare nel quale si stabilisce un legame fra il volume di gas e il numero di particelle: in altre parole, si mette in relazione il livello macroscopico dei volumi con il livello microscopico delle particelle.

La maggioranza delle rappresentazioni proposte dagli studenti sono del tipo riportato in Figura 4.

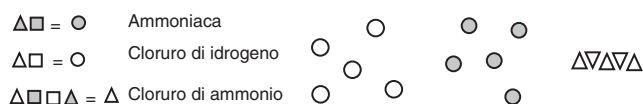


Figura 5 Una proposta di ricombinazione degli atomi.

Si tratta di rappresentazioni in cui gli allievi modellizzano in modo soddisfacente le sostanze gassose di partenza (particelle distanziate e disordinate) e il prodotto solido (particelle stipate e ordinate). Inoltre, la maggior parte degli studenti stabiliscono spontaneamente una corrispondenza fra livello macroscopico (volumi dei gas) e livello microscopico (numero di particelle): a volume uguale corrisponde un numero uguale di particelle. Infine risulta pienamente rispettata la conservazione della massa: viene infatti rappresentato lo stesso numero di particelle prima e dopo la trasformazione. Però la rappresentazione della sostanza solida che si forma è tale da fare pensare a una trasformazione fisica di solidificazione: infatti le particelle conservano le proprie caratteristiche (forma e dimensione) il che significa, a livello macroscopico, che le sostanze conservano la propria identità.

Sono in numero ridotto gli studenti che mostrano di tenere conto nelle loro modellizzazioni delle nozioni di atomo e molecola introdotte nell'attività precedente, proponendo rappresentazioni del tipo di quella riportata nella [Figura 5](#).

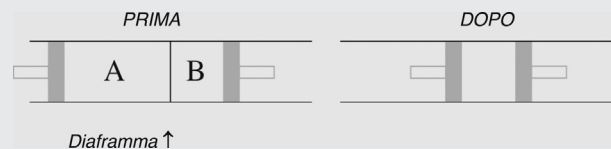
Questa rappresentazione è accompagnata dalla seguente giustificazione: "Posso immaginare le due molecole di ammoniaca e cloruro di idrogeno come formate da due atomi ognuna. Siccome dopo i due pistoni si sono avvicinati, all'interno del cilindro non saranno presenti gas, perciò gli atomi si sono combinati in un'unica molecola oppure in più molecole mescolate in modo omogeneo fra loro (stato solido)".

In genere, un numero consistente di allievi rappresenta i due gas con lo stesso numero di particelle. Però non mancano quelli che propongono rappresentazioni con numeri diversi di particelle e non vi è dubbio che il numero relativo di particelle costituisca un problema importante: si tratta infatti della relazione macroscopico/microscopico fra volume di gas e numero di particelle, una delle ipotesi di Avogadro.

È interessante notare che quasi sempre vi sono allievi che affermano di non disporre di informazioni sufficienti per stabilire che il numero di particelle di qualunque gas dipende solo dal volume del recipiente. Essi ritengono che un tale evento sia poco probabile, visto che "... in 1 dm^3 , sono presenti miliardi di miliardi di molecole, anche se noi ne rappresentiamo un numero limitato. Come si fa a misurarne il numero?". Per contro, coloro che ritengono che nei due contenitori vi sia lo stesso numero di particelle, sovente giustificano la loro scelta affermando che, se si ammette lo stesso numero di particelle, "il modello funziona" e rende conto di quanto avviene a livello macroscopico. Durante il dibattito collettivo, è importante che l'insegnante si astenga dal criticare apertamente qualsiasi giustificazione, ma questo non significa che egli non possa occasionalmente comportarsi da "avvocato del diavolo" e inserire una domanda stimolante.

Per insistere sulla relazione fra volume di gas e numero di particelle e pervenire a una ipotesi condivisa dalla classe, l'insegnante propone una nuova situazione-problema

Riquadro 4 Una nuova situazione-problema. Mutiamo la situazione sperimentale dell'attività precedente. Il cilindro è sempre chiuso alle due estremità dai pistoni mobili. Il diaframma rimovibile divide il cilindro in due contenitori a tenuta. I due contenitori contengono volumi diversi di gas: il contenitore A contiene 2 dm^3 di cloruro di idrogeno; il contenitore B contiene 1 dm^3 di ammoniaca. Nel disegno che segue è raffigurata la situazione sperimentale prima e dopo la trasformazione chimica:



1. Rappresenta le sostanze prima e dopo la trasformazione chimica utilizzando il modello particellare.
2. Giustifica le tue rappresentazioni.

([Riquadro 4](#)) analoga alla precedente ([Riquadro 3](#)) in cui però si introduce una nuova variabile: i volumi delle sostanze gassose iniziali sono diversi.

Fra le rappresentazioni proposte sono ancora in buon numero quelle del tipo riportato nella [Figura 6](#), accompagnata dalla seguente giustificazione: "Per me l'ammoniaca reagisce per tutta la sua quantità con l'equivalente del cloruro d'idrogeno che però è in quantità doppia rispetto all'ammoniaca, perciò una parte di questo non reagisce restando un gas". In effetti, il gas in eccesso è rappresentato correttamente con le particelle lontane fra di loro e disposte in modo disordinato. Nonostante lo studente ammetta che l'ammoniaca reagisce con il cloruro d'idrogeno, il prodotto è rappresentato accostando le particelle dei due reagenti, dando così l'idea di un mescolamento di sostanze allo stato solido.

Alcuni studenti propongono rappresentazioni del tipo di quella riportata in [Figura 7](#), accompagnata dalla seguente giustificazione: "il solido conterrà più particelle di cloruro di idrogeno". Lo studente riconosce che vi è un eccesso di cloruro d'idrogeno, però ritiene che esso entri a fare parte del cloruro di ammonio. La rappresentazione e la giustificazione sono coerenti e fanno pensare alla concezione di Berthollet: la composizione della sostanza formatasi nella trasformazione chimica non è definita e costante (come sosteneva Proust) ma dipende dalle proporzioni delle sostanze che reagiscono.

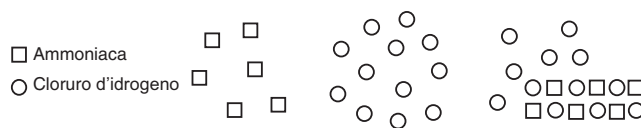


Figura 6 L'eccesso di reagente non si combina.

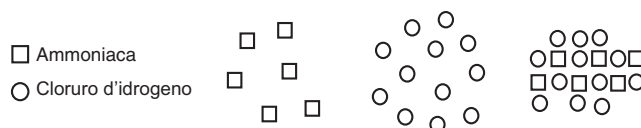


Figura 7 Il prodotto finale contiene il reagente in eccesso.

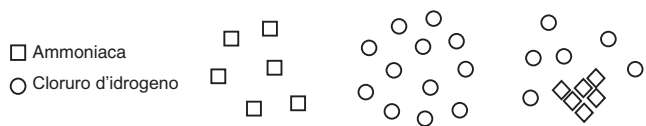


Figura 8 Un nuovo simbolo iconico per una nuova sostanza.

Più adeguata è la rappresentazione riportata in **Figura 8**, accompagnata dalla seguente giustificazione: *“I due gas vengono a contatto e avviene una trasformazione 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”*. In questo caso, sono rappresentati in modo corretto sia il gas in eccesso sia il prodotto solido che si è formato: inoltre, dato che questo è una nuova sostanza, essa viene rappresentata con un simbolo iconico diverso da quelli utilizzati per le sostanze di partenza.

La grande maggioranza degli studenti ricorre a rappresentazioni in cui le particelle risultano indivisibili. Anche fra coloro che nelle giustificazioni chiamano in causa gli atomi, sono pochi quelli che li rappresentano nelle loro modellizzazioni, per cui non vi è coerenza fra le giustificazioni verbali e le rappresentazioni iconiche. Inoltre, nelle loro rappresentazioni, gli studenti si limitano ad accostare nel rapporto 1:1 le particelle (molecole) di ammoniaca e cloruro d'idrogeno, come se si trattasse di una miscela solida di sostanze. Questa è un'ulteriore conferma di un'idea che condividono tutti coloro che si interessano di problemi d'apprendimento: non è sufficiente porre gli allievi a contatto con una nuova conoscenza perché questi se ne impadroniscano in modo significativo e operativo; l'acquisizione e la padronanza di nuovi modelli è un processo lungo e paziente.

Il dibattito scientifico in classe, innescato dal confronto fra le diverse rappresentazioni, permette di fare emergere pregi e limiti di ognuna. Gli studenti hanno così l'opportunità di acquisire consapevolezza delle concezioni sulle quali ognuno si è basato per produrre la propria rappresentazione e delle relative argomentazioni, nonché di riflettere sulla loro adeguatezza.

Attività 3—Dalton, Gay-Lussac, Avogadro: evoluzione di un modello

Nell'ambito dell'attività 1 sono state introdotte le nozioni di molecola e atomo per interpretare la trasformazione chimica: le molecole delle sostanze di partenza sono costituite di atomi i quali si ricombinano dando origine ai prodotti della trasformazione. Si tratta di conoscenze che gli allievi devono acquisire in modo operativo per essere in grado di modellizzare in modo adeguato le trasformazioni chimiche. A questo fine, vengono loro proposte alcune situazioni-problema che sono le stesse affrontate dai chimici del XIX secolo e il cui nocciolo è costituito dal conflitto fra il modello atomico proposto da Dalton (particelle indivisibili) e i dati sperimentali di Gay-Lussac sulle combinazioni fra sostanze gassose.

Situazione problema n. 1—Sistema idrogeno/cloro

La prima situazione-problema presentata agli allievi prende in considerazione la combinazione fra gas idrogeno e gas cloro (**Riquadro 5**).

Riquadro 5

La situazione sperimentale è la seguente. Un cilindro è chiuso alle due estremità da pistoni mobili. Un diaframma rimovibile divide il cilindro in due contenitori a tenuta. I due contenitori hanno lo stesso volume e contengono ognuno 1 dm³ di gas: il contenitore A contiene gas idrogeno, il contenitore B contiene gas cloro. Si rimuove il diaframma e si fa avvenire la trasformazione chimica al termine della quale i due gas di partenza sono scomparsi completamente producendo 2 dm³ di una nuova sostanza gassosa, cloruro di idrogeno. Nel disegno che segue è raffigurata la situazione sperimentale prima e dopo la trasformazione.



1. Usando il modello particellare rappresenta le sostanze, prima e dopo la trasformazione chimica
2. Giustifica le tue rappresentazioni

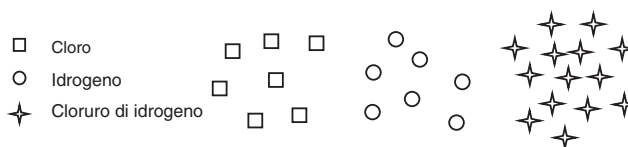


Figura 9 Le particelle “si trasformano”.

È importante che nella consegna venga segnalato che si forma una nuova sostanza gassosa e darne il nome, perché in assenza di questa informazione gli allievi potrebbero logicamente concludere che il volume finale del sistema risulta semplicemente dalla somma dei due volumi iniziali dopo l'eliminazione del diaframma.

Il volume doppio di cloruro di idrogeno risulta sconcertante per un numero elevato di studenti che, avendo ormai acquisito l'idea della relazione fra volume di gas e numero di particelle, ritengono contraddittorio e problematico questo dato sperimentale che risulta in contraddizione con quanto appreso in precedenza; infatti è per loro del tutto logico pensare che le due molecole dei gas in questione (idrogeno e cloro) si trasformino insieme per dare una nuova molecola di cloruro di idrogeno, interagendo nel rapporto 1:1 come nel caso del sistema ammoniaca/cloruro di idrogeno. Gli studenti si trovano di fronte a un ostacolo cognitivo che è lo stesso ostacolo epistemologico di fronte al quale si trovarono gli scienziati del XIX secolo che aderivano alla concezione dell'atomo indivisibile di Dalton.

Per spiegare il dato sperimentale è necessario ammettere che le molecole di idrogeno e cloro siano costituite rispettivamente da due atomi di idrogeno e due atomi di cloro. La situazione-problema si presenta quindi alquanto complessa e impegna a fondo gli studenti nel cercare di risolverla, come testimoniano le soluzioni proposte. Una di queste, riportata nella **Figura 9**, è accompagnata dalla seguente giustificazione: *“Le due sostanze reagiscono tra loro senza unirsi tra*

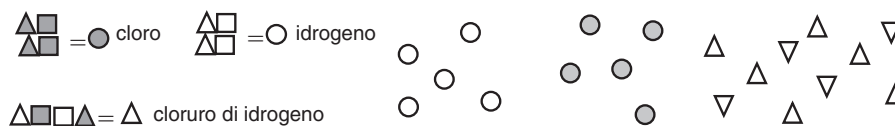


Figura 10 Atomi e molecole: ancora un po' di confusione.

di loro. Per me le particelle di idrogeno e cloro reagiscono al contatto ma restano separate, non si fondono una con l'altra. Praticamente si trasformano solo”.

La rappresentazione iconica rende conto del fatto che si è formata una nuova sostanza e che il volume è raddoppiato. Però la giustificazione che l'accompagna segnala che lo studente presenta un problema serio per quanto riguarda la sua concezione della trasformazione chimica. Egli infatti dà l'impressione di condividere l'idea alchemica che una sostanza possa trasmutarsi in un'altra: il volume doppio occupato dal cloruro d'idrogeno si spiega ammettendo che ogni molecola di cloro e ogni molecola di idrogeno si “trasformi” in una molecola di cloruro di idrogeno. Questo caso mostra quanto sia importante fare costruire i concetti dagli studenti: quando un concetto sembra acquisito, nei loro percorsi di apprendimento si manifestano spesso ripensamenti e ritorni sui propri passi che richiedono un'attività di rinforzo, di consolidamento.

Un altro studente propone la rappresentazione riportata in Figura 10, accompagnandola con questa giustificazione: “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 della molecola di idrogeno e dalla metà degli atomi della molecola 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”.

Anche questa rappresentazione iconica rende conto del fatto che si è formata una nuova sostanza e che il volume è raddoppiato. Oltre a ciò vi è un tentativo evidente di fare tornare i conti relativi agli atomi e alle molecole. Però vi è un problema per quanto riguarda la costituzione delle molecole di idrogeno e cloro, ognuna delle quali risulta costituita di atomi differenti.

Molto chiare risultano invece le idee dello studente che ha proposto la rappresentazione riportata in Figura 11. Egli infatti ha deciso di fare corrispondere a ogni simbolo iconico un tipo di atomo, riuscendo così a giustificare il fatto che “essendo la sostanza di reazione gassosa formata dai due tipi di molecole precedenti non fa muovere i pistoni perché occupa sempre lo stesso spazio”.

La discussione in classe delle varie proposte avanzate dagli studenti mette in evidenza che non tutti sono disposti ad accettare l'idea che le molecole di idrogeno e cloro siano costituite ognuna di due atomi. Per contro, in tutte

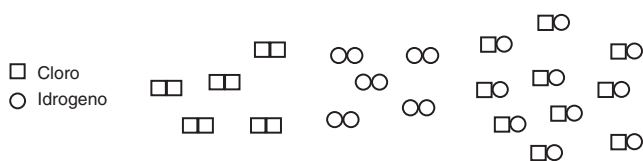


Figura 11 I conti tornano: un simbolo per ogni tipo di atomo.

Riquadro 6 Un testo adattato dall'originale di Avogadro.

“Gay-Lussac mostrò in una memoria interessante che le combinazioni dei gas fra loro si fanno sempre secondo rapporti semplicissimi in volume, e quando il risultato delle combinazioni è gassoso il suo volume è pure in rapporto assai semplice con quello dei suoi componenti; ma i rapporti delle quantità di sostanze nelle combinazioni pare non possano dipendere che dal numero relativo delle molecole che si combinano e da quello delle molecole composte che ne risultano. Bisogna dunque ammettere che vi sieno pure dei rapporti molto semplici fra i volumi delle sostanze gassose e il numero delle molecole semplici e composte che le formano. La prima ipotesi che si affaccia a questo riguardo e che pare essere la sola ammissibile, è di supporre che il numero delle molecole integranti in qualunque gas è sempre lo stesso a volume eguale o sempre proporzionale ai volumi” (Avogadro, 1811).

le situazioni-problema affrontate, la grande maggioranza degli studenti ha stabilito spontaneamente una relazione proporzionale fra volume e numero di molecole. Per mettere in evidenza che si tratta di un'idea importante, di un'ipotesi scientifica che ha permesso di fare progredire la comprensione delle trasformazioni chimiche, l'insegnante propone all'attenzione degli studenti il testo riportato nel Riquadro 6, adattato dagli scritti di Avogadro. Gli studenti vengono informati che Avogadro denomina *molecole*, *molecole integranti* e *molecole composte* quelle che per noi sono semplicemente *molecole*; inoltre egli denomina *molecole semplici* e *molecole elementari* quelle che per noi sono *atomi* (Avogadro, 1811).

L'analisi in classe di questo testo porta a concludere che, per spiegare i dati di Gay-Lussac relativi alle combinazioni fra gas, Avogadro avanzò un'ipotesi, mai smentita e tuttora valida, che viene oggi indicata come “prima ipotesi di Avogadro” ed è espressa in questo modo: “Volumi eguali di gas diversi, nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione, contengono lo stesso numero di molecole”. Per quanto riguarda il numero di atomi nelle molecole, viene proposto agli allievi un secondo testo ricavato dallo stesso articolo (essai) di Avogadro. (Riquadro 7)

Dall'analisi in classe di questo testo risulta che, per interpretare i dati sperimentali di Gay-Lussac, Avogadro avanzò una seconda ipotesi, relativa alla costituzione delle molecole delle sostanze gassose semplici: queste sarebbero costituite da due o più “molecole elementari” ossia atomi. Per esempio, l'interazione fra gas cloro e gas idrogeno porta a ritenere che le molecole dei due gas siano costituite ognuna di due atomi. Per questo motivo, per indicare le sostanze gassose idrogeno e cloro si devono usare i termini

Riquadro 7 Un ulteriore testo adattato dall'originale di Avogadro.

“Il volume del cloruro d'idrogeno che si forma nella reazione fra gas idrogeno e gas cloro è, come dimostrò Gay-Lussac, doppio di quello del gas idrogeno che vi entra o, il che è poi la stessa cosa, doppio di quello del cloro. Esiste un mezzo assai naturale per spiegare i fatti di questo genere in conformità con la nostra ipotesi che il numero delle molecole integranti in qualunque gas è sempre lo stesso a volume eguale o sempre proporzionale ai volumi. Si tratta di supporre che le molecole costituenti di un qualsiasi gas semplice non siano formate da una sola molecola elementare, ma risultino da un certo numero di queste molecole riunite in una sola” (Avogadro, 1811).

diidrogeno e dicloro. Le stesse considerazioni valgono per le altre sostanze gassose semplici come l'ossigeno e l'azoto per le quali si devono usare i termini *diossigeno* e *diazoto*.

A questo punto è opportuno ritornare al livello macroscopico e portare l'attenzione degli studenti sulla conservazione della massa. Facendo riferimento al sistema considerato nel riquadro 5, viene proposta la seguente situazione-problema:

Consideriamo la combinazione tra gas cloro e gas idrogeno con formazione di cloruro di idrogeno prendendo in considerazione le masse delle sostanze reagenti (gas cloro e gas idrogeno) e la massa della sostanza che si forma come prodotto della trasformazione chimica: il cloruro di idrogeno. Il contenitore A contiene 0,89 g di gas idrogeno e il contenitore B 31,7 g di gas cloro. Si rimuove il diaframma e si fa avvenire la trasformazione chimica. Tutto il gas idrogeno si combina con tutto il gas cloro.

1. Secondo te, qual è la massa espressa in grammi del cloruro di idrogeno che si è formato?
2. Giustifica la tua risposta.

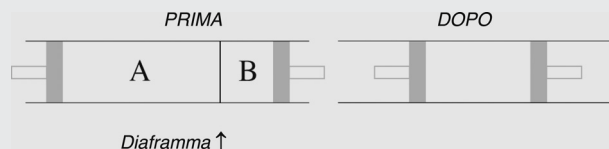
In accordo con le conclusioni delle attività precedenti, tutti gli allievi condividono l'idea che la massa complessiva del sistema si sia conservata. Non è una novità, ma la situazione di apprendimento predisposta dall'insegnante permette a tutti gli allievi di formulare ipotesi interpretative tenendo conto contemporaneamente di due fatti: il gas prodotto dalla trasformazione chimica occupa un volume doppio rispetto a quello occupato da ciascuno dei gas di partenza; la massa complessiva del sistema si è conservata. La discussione consente allora all'insegnante di sollecitare gli studenti a esplicitare le idee condivise:

- In una trasformazione chimica, la massa complessiva si conserva.
- In una trasformazione chimica, le sostanze di partenza si trasformano in altre sostanze

Riquadro 8

Studiamo ora la combinazione tra le sostanze gas diidrogeno e gas diazoto. La situazione sperimentale è la seguente. Un cilindro è chiuso alle estremità da due pistoni mobili. Un diaframma rimovibile divide il cilindro in due contenitori a tenuta. Il contenitore A contiene 3 dm³ di gas diidrogeno; il contenitore B contiene 1 dm³ di gas diazoto. Si rimuove il diaframma e si fa avvenire la trasformazione chimica: i due gas reagiscono completamente producendo 2 dm³ di una nuova sostanza gassosa, l'ammoniaca.

Nel disegno che segue è raffigurata la situazione sperimentale prima e dopo la trasformazione.



- Usando il modello particellare rappresenta le sostanze prima e dopo la trasformazione chimica
- Rappresenta le stesse sostanze sostituendo i simboli iconici con i rispettivi simboli chimici; assegna poi a ciascuna sostanza il nome secondo la nomenclatura IUPAC.

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

Questa attività si chiude con la presentazione agli allievi dei simboli chimici degli elementi più comuni e delle regole di nomenclatura IUPAC riguardanti le sostanze binarie.

Situazione-problema n. 2 – Sistema idrogeno/azoto

Per dare agli studenti l'occasione di mettere alla prova l'operatività delle più recenti acquisizioni, viene loro proposta la situazione-problema riportata nel Riquadro 8.

Anche in questo caso si richiede di indicare quale sarà la massa complessiva di prodotto (gas ammoniaca) ottenuta a partire da masse note dei gas diidrogeno e diazoto e di giustificare la risposta. Nonostante la precedente discussione abbia evidenziato la plausibilità dell'ipotesi che le molecole di diidrogeno e di diazoto siano diatomiche, alcuni studenti propongono rappresentazioni del tipo di quella riportata nella Figura 12.

Come risulta dalla rappresentazione e dalla giustificazione, lo studente scrive diazoto e diidrogeno, ma non utilizza simboli iconici che mettano in evidenza molecole diatomiche. Se il rapporto tra i volumi dei gas è 1:3:2 (diazoto:diidrogeno:ammoniaca), allora ogni tre particelle di

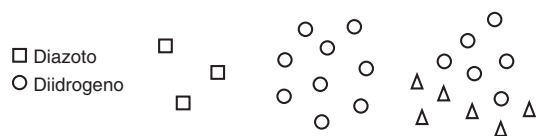


Figura 12 Giustificazione: "Il diidrogeno più il diazoto formano l'ammoniaca, ma visto che il diidrogeno è in avanzo ci sono ancora delle particelle non trasformate".

diazoto (quadrati) ce ne saranno nove di diidrogeno (cerchi) e sei di ammoniaca (triangoli). Però lo studente non è in grado di gestire il rapporto tra volumi e ragiona in termini di rapporto 1:1 nella combinazione tra azoto e idrogeno. Ammette che si formino sei particelle di ammoniaca e poi, per garantire la conservazione della materia, conserva il numero totale di particelle; ciò significa che "avanzano" sei particelle di diidrogeno che non hanno reagito. In conclusione, lo studente non è in grado di rispettare i dati sperimentali: la scomparsa di diazoto e diidrogeno e il rapporto dei volumi. La combinazione atomo-atomo, funzionale per spiegare la formazione del cloruro d'idrogeno, impedisce a questo studente di concepire un diverso rapporto nell'interazione fra idrogeno e azoto; in altre parole, una conoscenza anteriore diventa un ostacolo cognitivo. Nel corso della discussione in classe questa rappresentazione viene criticata e giudicata inadeguata. Altri studenti propongono rappresentazioni del tipo di quella riportata in [Figura 13](#).

Rappresentazioni di questo tipo sono criticate dagli altri studenti per due ragioni: - l'ammoniaca è un gas e quindi non deve essere rappresentata con particelle stipate come per i solidi; - il numero di atomi prima e dopo la trasformazione non è lo stesso e quindi non è rispettato il principio di conservazione della massa. La maggior parte degli studenti propone rappresentazioni del tipo di quella riportata in [Figura 14](#).

Se le molecole del gas idrogeno e del gas azoto sono diatomiche, i rapporti fra i volumi (diazoto:diidrogeno:ammoniaca = 1:3:2) portano a ritenere che una molecola di ammoniaca sia costituita di un atomo di azoto e tre atomi di idrogeno. Sulla base di questo ragionamento, è possibile produrre rappresentazioni in cui è rispettato sia il rapporto fra i volumi sia il principio di conservazione della massa. Viene dunque confermata l'ipotesi della relazione fra volume di gas e numero di molecole, le quali risultano costituite di due o più atomi. Ciò corrobora l'ipotesi che ogni molecola sia formata da un numero definito di atomi delle varie specie: ogni sostanza dovrebbe quindi avere una composizione definita e costante.

Al termine delle discussioni, la classe si accorda sulla rappresentazione del sistema diidrogeno-diazoto-ammoniaca

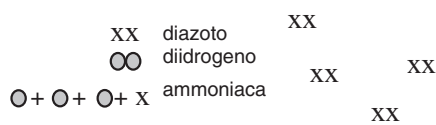


Figura 13 Una rappresentazione degli studenti.

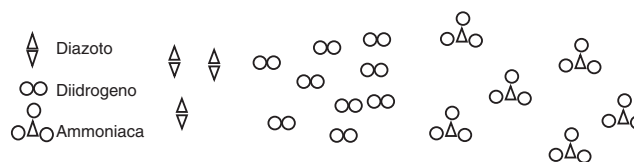


Figura 14 Tutti i rapporti sono rispettati.

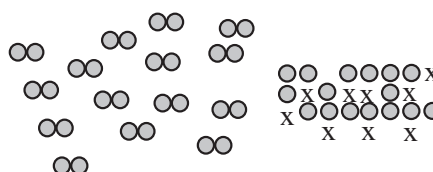
riportata nella [Figura 15](#). Alla rappresentazione iconica viene fatta corrispondere la rappresentazione mediante i simboli chimici riportata in figura. Nella scrittura con simboli chimici si fa ricorso a "indici" il cui significato risulta evidente grazie al passaggio attraverso la scrittura con simboli iconici: l'indice informa sul numero di atomi che costituiscono la molecola di una sostanza; il ricorso agli indici serve per semplificare la scrittura delle formule delle molecole delle sostanze.

Al fine di rinforzare e consolidare le conoscenze appena acquisite, viene proposta agli allievi la situazione-problema riportata nel [Riquadro 9](#).

La richiesta 3 pone in difficoltà una parte degli allievi e rimette in discussione idee che sembravano ormai assodate. 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 pervenire a padroneggiare questi modelli, senza i quali non sarà possibile padroneggiare i concetti di quantità di sostanza e di mole ([Roletto et al., 2003](#)). In risposta alle richieste 1 e 2, la quasi totalità degli allievi propone rappresentazioni del tipo di quella riportata nella [Figura 16](#) dove figurano i simboli iconici e quelli chimici.

A conclusione di questa attività, gli allievi sono invitati a scrivere le proprietà del modello particellare alla luce delle conoscenze emerse studiando la trasformazione chimica: divisibilità delle particelle e distinzione fra atomi e molecole. Gli studenti avanzano le loro proposte che vengono discusse dalla classe la quale perviene infine a condividere il seguente modello:

1. Le particelle di cui è costituita una sostanza (molecole) sono divisibili, poiché sono formate da altre particelle (atomi)
2. Una molecola non può cambiare forma
3. Una molecola ha sempre le stesse dimensioni
4. Una molecola di una certa sostanza ha sempre la stessa quantità di materia (massa), che cambia al cambiare della sostanza
5. Un solo tipo di molecola individua una sostanza
6. Un determinato numero di molecole dello stesso tipo equivale sempre alla stessa quantità di sostanza



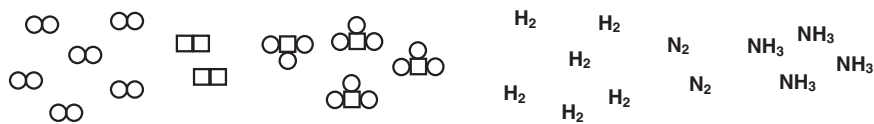
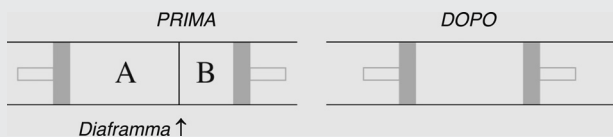


Figura 15 Rappresentazioni iconica e simbolica chimica della trasformazione chimica di diidrogeno e diazoto in ammoniaca.

Riquadro 9

Studiamo ora la combinazione tra le sostanze gassose diidrogeno e diossigeno. La situazione sperimentale è la seguente. Un cilindro è chiuso alle estremità da due pistoni mobili. Un diaframma rimovibile divide il cilindro in due contenitori a tenuta. il contenitore A contiene 2 dm³ di gas diidrogeno; il contenitore B contiene 1 dm³ di gas diossigeno. Si rimuove il diaframma e si fa avvenire la trasformazione chimica tra i due gas che reagiscono completamente producendo 2 dm³ di una nuova sostanza: acqua allo stato gassoso. Nel disegno che segue è raffigurata la situazione sperimentale prima e dopo la trasformazione.



1. Usando il modello particellare, rappresenta le sostanze prima e dopo la trasformazione chimica.
2. Rappresenta le stesse sostanze sostituendo i simboli iconici con i rispettivi simboli chimici.
3. Consideriamo la stessa trasformazione chimica ponendoci questo problema: Il contenitore A contiene 0,18g di diidrogeno e il contenitore B 1,44g di diossigeno. Si fanno interagire i due gas; alla fine della trasformazione chimica i due gas di partenza sono scomparsi completamente producendo acqua allo stato gassoso.

Secondo te, quanti grammi di diidrogeno e quanti grammi di diossigeno sono necessari per produrre 1,00 kg di acqua?
Giustifica le tue risposte.

7. Tra le molecole esistono spazi vuoti più o meno grandi a seconda dello stato fisico della sostanza
8. Le molecole sono più o meno stipate tra loro e quindi più o meno vincolate le une alle altre a seconda dello stato fisico della sostanza

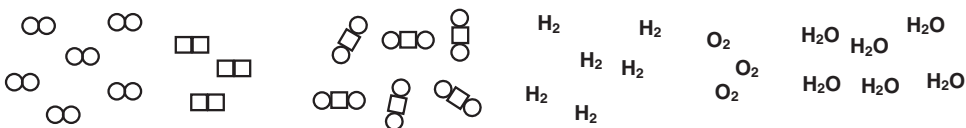


Figura 16 Rappresentazioni iconica e simbolica chimica della trasformazione chimica di diidrogeno e diossigeno in acqua.

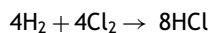
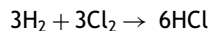
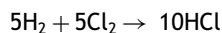
9. Le molecole sono più o meno libere di muoversi e/o spostarsi a seconda dello stato fisico della sostanza
10. Le molecole sono disposte in modo più o meno ordinato a seconda dello stato fisico della sostanza.

Attività 4 – L’equazione chimica

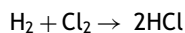
Fino a questo momento si è parlato di trasformazione chimica facendo riferimento alle sostanze che interagiscono a livello macroscopico; con il modello particellare e con i simboli iconici si sono modellizzate le sostanze iniziali e le sostanze finali delle trasformazioni chimiche affrontando i problemi di divisibilità delle particelle e introducendo le nozioni di molecola e atomo. Con il passaggio ai simboli chimici si introduce il concetto di *reazione chimica*: la distinzione fra i concetti di trasformazione chimica e reazione chimica è necessaria per distinguere i fatti sperimentali (trasformazioni chimiche) dal modello destinato a interpretarli (reazione chimica) (Davous et al., 2003), mediante la produzione di rappresentazioni chiamate abitualmente *equazioni chimiche* o *equazioni di reazione*.

La classe riprende in considerazione la trasformazione chimica del diidrogeno e del dicloro in cloruro di idrogeno e le relative rappresentazioni con simboli iconici e simboli chimici. La consegna è riportata nel Riquadro 10.

In seguito, l’insegnante sottopone all’attenzione degli allievi alcune delle risposte fornite al punto 3:



In ogni caso, i rapporti fra le molecole delle tre sostanze sono 1:1:2. È quindi possibile rappresentare la trasformazione chimica del diidrogeno e del dicloro in cloruro di idrogeno con un’equazione chimica che esprima nel modo più semplice questi rapporti e che sarà quindi



Riquadro 10

Sappiamo che 1 dm³ di diidrogeno e 1 dm³ di dicloro reagiscono completamente producendo 2 dm³ di cloruro di idrogeno.

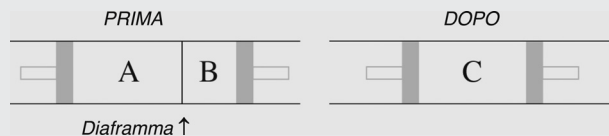
1. Usando il modello particellare rappresenta le sostanze prima della trasformazione chimica (reagenti) e dopo la trasformazione chimica (prodotti).
Diidrogeno Dicloro Cloruro di idrogeno
2. Rappresenta le stesse sostanze sostituendo i simboli iconici con i rispettivi simboli chimici.
Diidrogeno Dicloro Cloruro di idrogeno
3. Conta le molecole di diidrogeno, le molecole di dicloro e le molecole di cloruro di idrogeno e completa la seguente equazione di reazione utilizzando i simboli chimici.

..... + →

Gli allievi sono impegnati in un lavoro analogo per la trasformazione chimica del diidrogeno e del diazoto in ammoniaca e del diidrogeno e del diossigeno in acqua. La classe perviene così alla seguente conclusione: la rappresentazione con simboli chimici di una trasformazione chimica prende il nome di **equazione chimica**, nel quale i rapporti teorici fra le molecole delle sostanze di partenza e le sostanze prodotte sono indicati con numeri chiamati **coefficienti stechiometrici**. L'equazione chimica deve dunque essere intesa come la rappresentazione simbolica di una reazione chimica, la quale a sua volta è il modello che rende conto della stechiometria secondo la quale si formano o si consumano le sostanze nel corso della trasformazione chimica del sistema. 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 stechiometrici**. Infine, per concludere la sequenza si propone agli studenti la situazione-problema riportata nel **Riquadro 11**.

Riquadro 11

Studiamo la combinazione tra le sostanze gassose diazoto e diossigeno. La situazione sperimentale è la seguente. Un cilindro è chiuso alle estremità da due pistoni mobili. Un diaframma rimovibile divide il cilindro in due contenitori a tenuta. Il contenitore A contiene 2 dm³ di diazoto; il contenitore B contiene 1 dm³ di diossigeno. Si rimuove il diaframma e si fa avvenire la trasformazione chimica al termine della quale i due gas di partenza sono scomparsi completamente producendo 2 dm³ di una nuova sostanza. Nel disegno che segue è raffigurata la situazione sperimentale prima e dopo la trasformazione.



1. Usando il modello particellare rappresenta le sostanze prima della trasformazione chimica (reagenti) e dopo la trasformazione chimica (prodotti).
Diazoto Diossigeno Nuova sostanza
2. Rappresenta le stesse sostanze sostituendo i simboli iconici con i rispettivi simboli chimici.
Diazoto Diossigeno Nuova sostanza
3. Scrivi l'equazione chimica della trasformazione.

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

- a. determinare la formula molecolare dell'unico prodotto della reazione;
- b. scrivere l'equazione chimica della reazione con gli opportuni coefficienti.

Frequenza dei punteggi

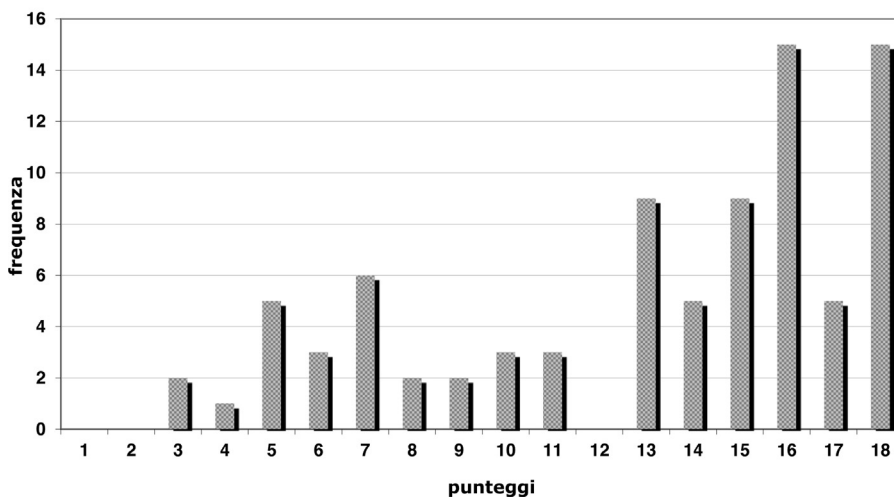


Figura 17 Distribuzione dei punteggi ottenuti nella prova di verifica.

Tabella 4 Criteri di valutazione.

Quesito	Criterio	Punteggio
1a	Rappresenta correttamente la trasformazione con simboli iconici	3
1b	Rappresenta correttamente la trasformazione con simboli chimici	3
1c	Assegna il nome IUPAC corretto alla sostanza	1
1d	Risolve correttamente il problema	Max 3
2a	Seleziona la risposta corretta tra le cinque proposte	1
	Giustifica in modo corretto la selezione	Max 2
2b	Rappresenta correttamente la trasformazione con simboli iconici	3
2c	Assegna il nome IUPAC corretto alla sostanza A	1
	Assegna il nome IUPAC corretto alla nuova sostanza	1

In effetti, quasi tutti gli studenti sono in grado di determinare la formula molecolare sia dei reagenti sia della sostanza prodotta nella reazione, quindi sono capaci di attribuire gli opportuni indici a ogni formula chimica; sono inoltre in grado di scrivere l'equazione di reazione sia con simboli iconici sia utilizzando i simboli chimici; quindi sono capaci di assegnare gli opportuni coefficienti di reazione.

Attività 5 – Verifica

Al fine di capire se gli studenti avessero raggiunto una comprensione concettuale in accordo con gli scopi dell'insegnamento, è stata loro proposta la prova di verifica riportata nel **Riquadro 12**. Essa è basata su situazioni-problema che servono per verificare se gli studenti sono in grado di applicare i concetti insegnati in situazioni nuove.

La **Figura 17** riporta i risultati conseguiti nella prova di verifica da un campione di 85 studenti appartenenti a quattro classi diverse, secondo i criteri riportati in **Tabella 4**.

Il grafico mostra la distribuzione dei punteggi ottenuti: sull'asse delle ascisse sono riportati i punteggi (max 18 punti) e sull'asse delle ordinate il numero di allievi che ha conseguito ciascun punteggio (per esempio, 5 allievi hanno ottenuto 17 punti). Risulta quindi che 64 studenti su 85 (75%) hanno riportato un punteggio superiore alla media (il cui valore è 9) e che 21 studenti su 85 (25%) hanno riportato un punteggio uguale o inferiore a 9.

I risultati attestano che la grande maggioranza degli studenti è in grado di padroneggiare e usare i modelli concettuali oggetto d'insegnamento: ciò testimonia l'efficacia

Riquadro 12 Una prova di verifica.

1. *Studiamo la combinazione chimica delle sostanze gassose diossido di zolfo e diossigeno. Un cilindro è chiuso alle estremità da due pistoni mobili. Un diaframma rimovibile divide il cilindro in due contenitori a tenuta. Il contenitore A contiene 2 dm³ di diossido di zolfo (3,20 g); il contenitore B contiene 1 dm³ di diossigeno (0,80 g). Si rimuove il diaframma e si fa avvenire la trasformazione chimica al termine della quale i due gas di partenza sono scomparsi completamente producendo 2 dm³ di una nuova sostanza.*
 - a) *Rappresenta con il linguaggio iconico le sostanze prima della trasformazione chimica (reagenti) e dopo la trasformazione (prodotti).*

Diossido di zolfo	Diossigeno	Nuova sostanza
-------------------	------------	----------------
 - b) *Scrivi l'equazione chimica della reazione*
 - c) *Denomina la nuova sostanza utilizzando la nomenclatura IUPAC*
 - d) *Calcola la massa di diossido di zolfo necessaria per preparare 2,0 kg della nuova sostanza*
2. *Studiamo la trasformazione chimica tra le sostanze gassose A e B. 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. Un contenitore contiene la sostanza A; l'altro contiene diossigeno. Si rimuove il diaframma e si fa avvenire la trasformazione chimica al termine della quale i due gas di partenza sono scomparsi completamente producendo una nuova sostanza.*

Usando il linguaggio simbolico-chimico (equazione chimica della reazione), un vostro compagno ha rappresentato le sostanze prima della trasformazione chimica (reagenti) e dopo la trasformazione chimica (prodotti) nel modo seguente:



- a) *Dall'equazione chimica della reazione si ricava che reagiscono rispettivamente i seguenti volumi di gas:*
 - A) 2 dm³ della sostanza A e 0,5 dm³ di diossigeno
 - B) 2 dm³ della sostanza A e 1 dm³ di diossigeno
 - C) 2 dm³ della sostanza A e 2 dm³ di diossigeno
 - D) 1 dm³ della sostanza A e 2 dm³ di diossigeno
 - E) 0,5 dm³ della sostanza A e 1 dm³ di diossigeno*Giustifica la tua risposta*
- b) *Rappresenta iconicamente le sostanze prima della trasformazione chimica (reagenti) e dopo la trasformazione chimica (prodotti).*

Sostanza A	Diossigeno	Nuova sostanza
------------	------------	----------------
- c) *Assegna il nome alla sostanza A e alla nuova sostanza utilizzando la nomenclatura IUPAC*

sostanza A
.....
nuova sostanza
.....

della sequenza d'insegnamento, che risulta in grado di condurre gli allievi verso una comprensione efficace dei suoi contenuti.

Conclusioni

Con questa sequenza didattica, vengono raggiunti i seguenti obiettivi di apprendimento:

- gli allievi sono portati a distinguere le molecole (particelle che si conservano nelle trasformazioni fisiche) dagli atomi (particelle che, in prima approssimazione, si conservano nelle trasformazioni chimiche);
- imparano a sostituire le rappresentazioni iconiche delle trasformazioni chimiche con quelle simboliche chimiche, e a costruire l'idea di equazione di reazione;
- pervengono a distinguere chiaramente i coefficienti stechiometrici delle reazioni dagli indici delle formule molecolari.

La scelta di un approccio storico epistemologico consente agli allievi di vivere in prima persona l'evoluzione dei modelli e ciò permette loro di acquisire consapevolezza sulla natura del sapere scientifico, che non ha statuto di verità ma si pone come conoscenza storicamente situata, emergente dalla interpretazione di fatti percettivi.

L'utilizzo della situazione-problema consente agli studenti di elaborare in prima persona una conoscenza dei sistemi indagati, evitando un apprendimento di tipo dogmatico e favorendo una progressiva ristrutturazione delle proprie strutture mentali.

L'utilizzo di modelli, dei quali vengono via via evidenziati i limiti, e la conseguente evoluzione e riformulazione degli stessi favorisce l'acquisizione di una consapevolezza dei processi di elaborazione del sapere scientifico e pone gli studenti nella condizione di meglio comprendere il rapporto tra i modelli stessi e la realtà materiale e di comprendere la natura funzionale dei modelli interpretativi.

L'uso dei simboli iconici favorisce la proposta—da parte degli allievi—di interpretazioni microscopiche della fenomenologia macroscopica (Nurrenbern and Pickering, 1987). Inoltre, nel contesto di un processo abduttivo di invenzione di ipotesi esplicative, il loro utilizzo assume un significato euristico e favorisce la transizione verso un linguaggio simbolico il cui significato, a questo punto, può essere pienamente compreso dagli allievi (Roletto et al., 2011; Kozma et al., 2000).

Competing interests

No conflict of interest.

Riferimenti bibliografici

- Avogadro, A., 1811. Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps et les proportions selon lesquelles ils entrent dans ces combinaisons. *Journal de Physique, de Chimie, d'Histoire naturelle*, vol. LXXIII, 58-76.
- Barker, V., 2000. Beyond appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas. Report for the Royal Society of Chemistry (<http://www.chemsoc.org/networks/learnnet/miscon.htm>).
- Barlet, R., Plouin, D., 1997. La dualité microscopique-macroscopique: un obstacle sous-jacent aux difficultés en chimie dans l'enseignement universitaire. *Aster* 25, 143-174.
- Brehelin, D., Guedj, M., 2007. Le modèle particulaire au collège: Fluctuations des programmes et apports de l'histoire des sciences. *Didaskalia* 31, 129-165.
- Cokelez, A., Dumon, A., Taber, K., 2008. Upper secondary French students, chemical transformations and the "Register of models". *Int. J. Sci. Educ.* 30, 807-836.
- Davous, D., Dumont, M., Féore, M.-C., Fort, L., Gleizer, R., Mauhourat, M.-B., Zobiri, T., Jullien, L., 2003. *Les nouveaux programmes de chimie au lycée*. Actualité chimique, 31-44.
- De Hosson, C., Kaminski, W., 2006. Un support d'enseignement du mécanisme optique de la vision inspiré de l'histoire des sciences. *Didaskalia* 28, 101-124.
- De Hosson, C., Kaminski, W., 2007. Historical controversy as an educational tool. Evaluating elements of a teaching-learning sequence conducted with the "Dialogue on the ways that vision operates". *Int. J. Sci. Educ.* 29, 617-642.
- De Vecchi, G., Carmona-Magnaldi, N., 2002. *Faire vivre de véritables situations-problèmes*. Hachette, Paris.
- De Vos, W., Verdonk, A., 1985. A new road to reactions. *J. Chem. Educ.* 62, 238-240.
- Fillon, P., 1997. Des élèves dans un labyrinthe d'obstacles. *Aster* 25, 113-141.
- Giordan, A., 1994. Le modèle allostérique et les théories contemporaines sur l'apprentissage. In: Giordan, A., Girault, Y., Clément, P. (Eds.), *Conceptions et connaissance*. Peter Lang, Bern.
- Guedj, M., 2005. Utiliser des textes historiques dans l'enseignement des sciences physiques en classe de seconde des lycées français: compte rendu d'innovation. *Didaskalia* 26, 75-95.
- Hesse, J., Anderson, C., 1992. Students' conceptions of chemical change. *J. Res. Sci. Teach.* 29, 277-299.
- Kermen, I., Méheut, M., 2008. Mise en place d'un nouveau programme à propos de l'évolution des systèmes chimiques: impact sur les connaissances professionnelles d'enseignants. *Didaskalia* 32, 77-116.
- Kozma, R., Chin, E., Russell, J., Marx, N., 2000. The Roles of Representations and Tools in the Chemistry Laboratory and Their Implications for Chemistry Learning. *J. Learn. Sci.* 9, 105-143.
- Laugier, A., Dumon, A., 2004. The equation of reaction: a cluster of obstacles which are difficult to overcome. *Chem. Educ. Res. Pract. Eur.* 5, 327-342.
- Lijnse, P., 2000. Didactics of science: the forgotten dimension in science education research? In: Millar, R., Leach, J., Osborne, J. (Eds.), *Improving Science Education. The contribution of research*. Open University Press, Buckingham.
- Matthews, M.R., 1994. *Science Teaching: The role of history and philosophy in science*. Routledge, New York.
- Merle, H., 2002. Histoire des sciences et sphéricité de la Terre: compte rendu d'innovation. *Didaskalia* 20, 115-136.
- Nelson, P.G., 1999. Levels of description in chemistry. *J. Chem. Educ.* 76, 1622.
- Nelson, P., 2002. Teaching chemistry progressively: from substances, to atoms and molecules, to electrons and nuclei. *Chem. Educ. Res. Pract. Eur.* 3 (2), 215-228.
- Nurrenbern, S., Pickering, M., 1987. Concept learning versus problem solving: is there a difference? *J. Chem. Educ.* 64, 508-510.
- Reynolds, Y., Brosnan, T., 2000. Understanding physical and chemical change: the role of speculation. *Sch. Sci. Rev.* 81, 61-66.
- Roletto, E., Regis, A., Albertazzi, P.G., 1996a. Le attività di modellizzazione nell'educazione alle scienze - parte prima: sistemi e modelli. *Chimica nella Scuola XVIII* (1), 14-18.
- Roletto, E., Regis, A., Albertazzi, P.G., 1996b. Le attività di modellizzazione nell'educazione alle scienze - parte seconda: il modello particellare. *Chimica nella Scuola XVIII* (2), 37-47.

- Roletto, E., Regis, A., Albertazzi, P.G., 2003. *Costruire il concetto di mole: un approccio empirico a un concetto formale*. *Chimica nella Scuola XXV* (5), 148–156.
- Roletto, E., Regis, A., Ghirardi, M., Giordano, C., 2010. *Evoluzione dei sistemi: modelli e rappresentazioni*. *Chimica nella Scuola XXXII* (1), 31–34.
- Roletto, E., Regis, A., Soudani, M., Soudani, O., 2011. *L'approccio storico-epistemologico all'insegnamento delle scienze: un'analisi semiotica delle rappresentazioni della materia e delle sue trasformazioni*. *Chimica nella Scuola XXXIII* (3), 135–148.
- Solsona, N., Izquierdo, M., De Jong, O., 2003. *Exploring the development of students' conceptual profiles of chemical change*. *Int. J. Sci. Educ.* 21, 645–665.
- Stavridou, H., Solomonidou, C., 1998. *Conceptual reorganization and the construction of the chemical reaction concept during secondary education*. *Int. J. Sci. Educ.* 20, 205–221.
- Tsaparlis, G., 1997. *Atomic and molecular structure in chemical education: A critical analysis from various perspectives of science education*. *J. Chem. Educ.* 74, 922–925.