

DAL FENOMENO TRASFORMAZIONE CHIMICA AL MODELLO REAZIONE CHIMICA: ATOMI E MOLECOLE

AVVERTENZE GENERALI

Nelle sequenze precedenti si sono prese in considerazione unicamente trasformazioni di tipo fisico. In tali trasformazioni, la sostanza conserva la propria massa e la propria identità, mentre ciò che cambia è il suo stato fisico: questo per quanto riguarda il livello macroscopico. Per quanto riguarda il livello microscopico, la trasformazione fisica è caratterizzata dal fatto che le particelle si conservano in numero (la massa si conserva) e in tipo (la sostanza non perde la propria identità). Con questa sequenza, vengono introdotte trasformazioni diverse da quelle di tipo fisico. Si tratta delle trasformazioni chimiche, nel corso delle quali le sostanze perdono la loro identità: infatti le sostanze che sono inizialmente presenti – i *reagenti* – danno origine, interagendo, a sostanze diverse: i *prodotti* della trasformazione chimica. In questo modo sarà possibile distinguere le particelle che conservano la propria identità nelle trasformazioni fisiche (le molecole) da quelle che conservano, almeno in prima approssimazione, la loro identità nelle trasformazioni chimiche, e cioè gli atomi. Si passa così dal modello corpuscolare nel quale si parla unicamente di particelle, al modello atomico/molecolare di Avogadro e Cannizzaro che si affermò nella seconda metà del XIX secolo. Questo modello sarà a sua volta superato dal modello nucleo/elettronico dell'atomo: in base a quest'ultimo modello è l'**elemento** che si conserva nelle trasformazioni chimiche.

La sequenza di apprendimento è stata strutturata in schede operative per facilitare il lavoro dell'insegnante. Questo non significa che in ogni classe le attività debbano necessariamente succedersi nell'ordine indicato nella sequenza, né che debbano limitarsi a queste. Ogni classe reagisce in modo diverso alle sollecitazioni dell'insegnante, soprattutto quando queste impegnano personalmente ogni allievo nella costruzione di sapere con un approccio scientifico: individuare problemi, avanzare ipotesi per risolverli, valutare l'adeguatezza delle soluzioni proposte. Quindi è probabile che ogni classe segua un proprio itinerario di conoscenza, diverso da quello proposto nella sequenza. Ciò che ci sembra inevitabile, è il riferimento agli interrogativi problematici che vengono proposti agli allievi, legati ai problemi che affrontarono gli scienziati del XIX secolo ed agli ostacoli epistemologici che questi ebbero a superare per pervenire ai saperi che proposero alla comunità scientifica internazionale. Quale che sia il percorso seguito, ogni classe si troverà di fronte a difficoltà di apprendimento che si richiamano, sul piano cognitivo, a tali ostacoli. Ciò dipende dal fatto che ai sistemi di pensiero del passato risalgono alcuni modi di pensare che permangono negli esseri umani e che, a nostra insaputa, dirigono ed animano una parte delle nostre riflessioni. È un po' ciò che avviene nel processo di sviluppo della cognizione nel bambino e nell'adolescente. Ad un determinato stadio del proprio sviluppo, la ragione del singolo richiama un determinato momento della storia della ragione della specie. Anche se questo parallelismo non deve essere inteso in modo meccanico, è quasi certo che tra la mente di un giovane che apprende la scienza e quella degli specialisti che la praticano o la insegnano esiste un divario considerabile, in parte responsabile delle difficoltà di apprendimento che incontrano coloro che si avviano ai saperi scientifici.

L'approccio adottato prevede che gli studenti siano protagonisti del processo di apprendimento e che le conoscenze vengano costruite a partire da interrogativi problematici. L'insegnante deve svolgere un ruolo di mediatore tra le conoscenze degli allievi e le conoscenze scientifiche, essendo ben cosciente del divario che esiste tra la logica di chi apprende e la logica della scienza. Egli ha il compito di guidare la discussione, di intervenire quando gli studenti si trovano di fronte a difficoltà che non riescono a superare da soli, aiutandoli così a elaborare nuove idee, a sviluppare nuovi modi di ragionare.

L'uso delle schede è funzionale a un contesto di apprendimento organizzato e gestito in base alle assunzioni epistemologiche e psicologiche illustrate nella prima parte e qui richiamate:

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; in genere, 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.

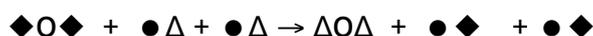
L'uso dei fogli di lavoro al di fuori di questo contesto non può dare i risultati attesi e risultare addirittura controproducente. I fogli di lavoro devono essere assegnati uno per volta, poiché in caso contrario, perdono di significato. **Non si devono quindi assegnare più fogli di lavoro contemporaneamente.** Quando l'insegnante lo ritenga opportuno, i fogli di lavoro possono essere usati come «compito a casa», in modo che il tempo scuola (ore di lezione) venga dedicato all'analisi ed alla discussione collettiva delle risposte date.

GLI OBIETTIVI DELLA SEQUENZA

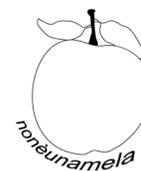
Questa sequenza dovrebbe consentire di portare l'allievo a distinguere le trasformazioni fisiche da quelle chimiche ed a concettualizzarle a due livelli, macroscopico e microscopico. A livello macroscopico, lo studente dovrebbe concettualizzare la trasformazione fisica come un fenomeno nel quale le sostanze conservano la propria identità; a livello microscopico, come un fenomeno nel quale le particelle che costituiscono le sostanze restano inalterate. Per quanto riguarda le trasformazioni chimiche, lo studente dovrebbe concettualizzarle, a livello macroscopico, come fenomeni nei quali le sostanze perdono la propria identità; a livello microscopico, come fenomeni nei quali le particelle che costituiscono le sostanze non restano inalterate. In questo modo, gli studenti si trovano nella necessità di ammettere che le unità costitutive delle sostanze non possono essere ritenute indivisibili (assioma di partenza del modello particellare). Se si ammette che le unità costitutive (particelle) delle sostanze siano divisibili, si deve pure ammettere che dovrebbero esistere altre particelle che, combinandosi, danno origine alle prime. Si giunge così a distinguere le molecole (particelle costitutive delle sostanze) dagli atomi, particelle costitutive delle molecole.

Subito dopo che gli allievi si sono impadroniti dei concetti di atomo e molecola e dei rapporti di combinazione può essere introdotta in classe l'interpretazione della trasformazione chimica tramite gli schemi di reazione anche senza aver affrontato il modello dell'atomo e i legami chimici.

Una modellizzazione è possibile allora mediante un'evoluzione del modello particellare. Facendo ricorso a una simbologia di tipo iconico, si può stabilire che la trasformazione chimica che si ottiene, per esempio, combinando le sostanze cloruro di piombo e ioduro di potassio può essere così schematizzata:

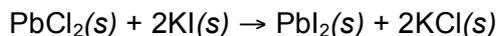


dove i simboli iconici rappresentano rispettivamente le seguenti specie:



O: piombo ◆: cloruro ●: potassio Δ: ioduro

Se nello schema i simboli iconici vengono sostituiti dai simboli chimici, la trasformazione chimica sarà modellizzata mediante lo **schema di reazione chimica**:



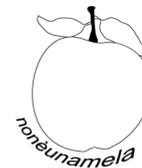
Se si modella la trasformazione chimica a livello macroscopico, si chiama in gioco il concetto di sostanza: in una trasformazione chimica, il sistema passa dalle sostanze iniziali (reagenti) alle sostanze finali (prodotti), la cui identità è diversa da quella delle sostanze iniziali. Per modellizzare la trasformazione chimica a livello microscopico si ricorre al **modello della reazione chimica** che permette di rappresentare la trasformazione chimica mediante uno schema di reazione, utilizzando il linguaggio simbolico della chimica. La distinzione fra trasformazione chimica e reazione chimica è funzionale all'esistenza dei due livelli di descrizione e interpretazione del mondo; essa tornerà particolarmente utile nel caso dei sistemi chimici all'equilibrio.

È un principio generale delle scienze sperimentali, che là ove qualcosa cambia (variante), vi è sempre qualcosa che non cambia (invariante). Se nelle trasformazioni chimiche le molecole cambiano (si passa dalle molecole dei reagenti a quelle dei prodotti) ciò che non cambia sono gli atomi, almeno nell'ambito del modello atomico/molecolare. In seguito, si arriverà a costruire l'idea più corretta che ciò che conserva la propria identità nelle trasformazioni chimiche è l'elemento¹.

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

1. distinguere fra sostanza semplice e sostanza composta;
2. distinguere fra sostanza composta e miscela di più sostanze;
3. distinguere tra trasformazione fisica e trasformazione chimica;
4. precisare gli attributi essenziali delle trasformazioni fisiche e di quelle chimiche a livello macroscopico e a livello microscopico;
5. distinguere le molecole dagli atomi;
6. distinguere i tipi di atomi che costituiscono una molecola;
7. modellizzare la trasformazione chimica a livello microscopico sia mediante raffigurazioni iconiche sia utilizzando il linguaggio simbolico della chimica (ricorrendo al **modello della reazione chimica** che permette di rappresentare la trasformazione chimica mediante uno **schema di reazione**);
8. bilanciare semplici reazioni chimiche;
9. 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.

¹ È importante non confondere il concetto di elemento con quello di sostanza semplice e con quello di atomo.



LA SEQUENZA DI APPRENDIMENTO

SITUAZIONE DI PARTENZA – Questa sequenza viene messa in atto dopo che gli studenti sono stati impegnati in attività di modellizzazione che li hanno portati a costruire un modello particellare (potrebbe essere chiamato “di primo livello”) con il quale è possibile interpretare gli stati fisici della materia, i passaggi di stato ed altri fenomeni fisici (dilatazione, dissoluzione, miscelazione, ecc.). Inoltre si è costruito il concetto di sostanza a due livelli:

- a livello macroscopico, la sostanza è definita come un corpo puro che possiede proprietà caratteristiche, ben determinate e peculiari (temperatura di fusione, temperatura di ebollizione, densità, ecc.);
- a livello microscopico, la sostanza è definita come un corpo costituito da particelle tutte dello stesso tipo.

Ora si tratta di proseguire l'indagine sulla materia abordando il problema della trasformazione chimica e alcuni concetti a questa collegati, come quelli di atomo, molecola e peso atomico (massa atomica relativa). Con un approccio di tipo storico, si porteranno gli studenti a costruire tali concetti affrontando interrogativi problematici analoghi a quelli cui dovettero dare risposta gli scienziati tra l'inizio del 1800 e il 1860 (Congresso di Karlsruhe). In questo modo, gli studenti avranno la possibilità di dare un senso alle conoscenze costruite e l'opportunità di collocarle in un contesto adeguato dal punto di vista epistemologico.

ATTIVITÀ 1 – DALLE TRASFORMAZIONI FISICHE A QUELLE CHIMICHE

L'insegnante ricorda agli allievi che in precedenza la classe ha costruito un modello particellare con il quale è possibile rappresentare le sostanze e le miscele (omogenee ed eterogenee), gli stati fisici dei corpi ed i cambiamenti di stato. Ricorda inoltre che si è costruito il concetto di corpo puro o sostanza i cui attributi fondamentali sono:

1. A livello empirico – Una sostanza è caratterizzata da alcune proprietà caratteristiche (temperatura di fusione, temperatura di ebollizione, densità, ecc.)
2. A livello microscopico/modellistico (modello particellare) – Una sostanza è costituita di particelle che sono tutte dello stesso tipo

L'insegnante fa quindi presente agli allievi che ora lo studio della materia si amplia, in quanto si prende in considerazione un altro tipo di trasformazione: quella chimica. I primi interrogativi ai quali dare risposta sono i seguenti:

- *In che cosa si differenziano le trasformazioni fisiche e quelle chimiche?*
- *È possibile rappresentare le trasformazioni chimiche mediante il modello particellare già costruito?*

FASE 1 – IL LIVELLO MACROSCOPICO

1. **FOL 1²** – Si fanno interagire due sostanze composte, nitrato di sodio e ioduro di potassio, sia a secco (usando mortaio e pestello) sia in soluzione.
La discussione in classe dei dati sperimentali dovrebbe portare gli studenti a concludere che:

² FOL è l'abbreviazione di foglio di lavoro

- a. Quando si mescolano a secco le sostanze, tritandole con il pestello, non si produce alcun fenomeno percettibile. Si forma un miscuglio eterogeneo nel quale forse è ancora possibile (lente di ingrandimento) distinguere i due costituenti.
- b. Quando si fa interagire ognuna delle due sostanze con acqua, si ha un fenomeno di dissoluzione con formazione di due miscele omogenee.
- c. Quando si uniscono le due miscele, si ottiene ancora una miscela omogenea trasparente e incolore costituita di acqua, nitrato di sodio e ioduro di potassio.

Nel foglio di lavoro FOL 1 è previsto che gli studenti schematizzino i risultati nel modo seguente:

	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 (becker A)	liquido	incolore trasparente	2	1 miscela omogenea
ioduro di potassio + acqua (becker B)	liquido	incolore trasparente	2	1 miscela omogenea
nitrato di sodio + ioduro di potassio	solido polverulento	bianco	2	2 miscela eterogenea
nitrato di sodio + acqua + ioduro di potassio + acqua	liquido	incolore trasparente	3	1 miscela omogenea

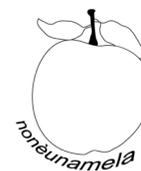
2. **FOL 2** – Si fanno interagire due sostanze composte, nitrato di potassio e ioduro di piombo, con acqua; poi si mescolano le due miscele così ottenute.

La discussione in classe dei dati sperimentali dovrebbe portare gli studenti a concludere che:

- a. Quando si fa interagire con acqua la sostanza composta nitrato di potassio, si ottiene una miscela omogenea incolore e trasparente.
- b. Quando si fa interagire con acqua la sostanza composta ioduro di piombo, si ottiene una miscela eterogenea costituita da una fase solida di colore giallo e una fase liquida incolore e trasparente.
- c. Quando si mescolano le due miscele così ottenute, si ottiene una miscela eterogenea costituita da una fase solida di colore giallo e una fase liquida incolore e trasparente.

Nel foglio di lavoro FOL 2 è previsto che gli studenti schematizzino i risultati nel modo seguente:

	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 (becker A)	liquido	incolore trasparente	2	1 miscela omogenea



ioduro di piombo + acqua (becker B)	liquido solido	incolore trasparente giallo	2	2 miscela eterogenea
nitrate di potassio + acqua + ioduro di piombo + acqua	liquido solido	incolore trasparente giallo	3	2 miscela eterogenea

I fenomeni presi in considerazione finora (FOL 1 e 2) possono essere rappresentati mediante il modello particellare già costruito in precedenza: infatti si tratta di fenomeni fisici nei quali le sostanze conservano la propria identità.

3. **FOL 3** – Si fanno interagire due sostanze composte, nitrato di piombo e ioduro di potassio, sia a secco (usando mortaio e pestello) sia in soluzione.

La discussione in classe dei dati sperimentali dovrebbe portare gli studenti a concludere che:

- Quando si mescolano a secco le due sostanze, tritrandole 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 deposita un precipitato giallo sul fondo del becker: si è in presenza di una miscela eterogenea.

Nel foglio di lavoro FOL 3 è previsto che gli studenti schematizzino i risultati nel modo seguente

	stato fisico	colore	n° sostanze	n° fasi
nitrate di piombo	solido granulare	bianco	1	1
ioduro di potassio	solido granulare	bianco	1	1
nitrate di piombo + acqua (becker A)	liquido	incolore trasparente	2	1 miscela omogenea
ioduro di potassio + acqua (becker B)	liquido	incolore trasparente	2	1 miscela omogenea
nitrate di piombo + ioduro di potassio	solido polverulento	bianco e giallo dopo aver ben pestato	2	2 miscela eterogenea
nitrate di piombo + acqua + ioduro di potassio + acqua	liquido solido	incolore trasparente giallo	3	2 miscela eterogenea

Durante la discussione, succede che qualche allievo suggerisca di far interagire con acqua la miscela contenuta nel mortaio dopo la triturazione. Si ottiene una miscela eterogenea analoga a quella ottenuta mescolando le due soluzioni: si deposita un precipitato giallo sul fondo del becker. Sia che si operi con le sostanze di partenza a secco (mortaio 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 di ioduro di potassio, presenta caratteristiche analoghe alla miscela finale ottenuta nella esperienza del foglio di lavoro 2.

La discussione in classe dei risultati sperimentali ottenuti con le varie manipolazioni, opportunamente guidata dall'insegnante, dovrebbe permettere agli studenti di pervenire ad un'ipotesi esplicativa: facendo interagire nitrato di piombo e ioduro di potassio si ha produzione di una sostanza diversa da quelle di partenza: infatti è una sostanza di colore giallo, insolubile in acqua. Si è dunque prodotto un fenomeno diverso da quelli di natura fisica: si tratta di una **trasformazione chimica**.

La trasformazione chimica è un fenomeno nel corso del quale le sostanze di partenza si trasformano. Anche nei cambiamenti di stato (trasformazioni fisiche) le sostanze si trasformano. In che cosa si differenziano questi due tipi di trasformazione?

Questo è l'interrogativo problematico che l'insegnante pone alla classe. La discussione che segue dovrebbe consentire agli studenti di condividere l'idea che, mentre nelle trasformazioni fisiche le sostanze conservano la propria identità (conclusione già raggiunta in precedenza), nelle trasformazioni chimiche le sostanze **non** conservano la propria identità: infatti le sostanze di partenza (i **reagenti**) interagiscono producendo una o più nuove sostanze (i **prodotti** della trasformazione).

ATTIVITÀ DI STRUTTURAZIONE

L'insegnante mette in atto un'attività di strutturazione, invitando gli studenti a riconsiderare il lavoro svolto.

Nel primo caso (FOL 1), operando a secco si ha **miscelazione** delle due sostanze di partenza; si ottiene una *miscela eterogenea* nella quale è possibile distinguere le due sostanze iniziali (lente di ingrandimento). Operando in soluzione, si ottengono sempre *miscele omogenee*, incolori e trasparenti. Si tratta di fenomeni fisici, nei quali le sostanze di partenza non subiscono alcuna trasformazione e conservano la propria identità.

Nel secondo caso (FOL 2), facendo interagire ogni sostanza di partenza con acqua, si ottiene o una miscela omogenea (acqua e nitrato di potassio) o una miscela eterogenea (acqua e ioduro di piombo). Combinando le due miscele, si ottiene una miscela eterogenea la cui fase solida è lo ioduro di piombo. In ogni caso, si tratta di fenomeni fisici, nei quali le sostanze di partenza conservano la propria identità.

Nel terzo caso (FOL 3), operando a secco (mortaiolo e pestello) si ha comparsa di una colorazione gialla che prima non era presente e che segnala un fenomeno nuovo. Facendo interagire ognuna delle sostanze di partenza con acqua, si ottengono miscele omogenee, incolori e trasparenti: si tratta dunque di un fenomeno fisico. Quando poi si mescolano le soluzioni delle sostanze di partenza si ha formazione di una sostanza gialla che non si scioglie in acqua e si deposita sul fondo del becker. Si tratta di un fenomeno chimico, nel quale le sostanze di partenza subiscono una trasformazione che muta la loro identità.

FASE 2 – IL LIVELLO MICROSCOPICO

Nella fase precedente, la classe è stata impegnata a descrivere e spiegare a livello macroscopico i fenomeni presi in considerazione: si tratta del primo livello di comprensione. Però i chimici non si arrestano al livello macroscopico: cercano sempre di pervenire a descrivere e spiegare i fenomeni a livello microscopico. Si tratta quindi di centrare l'attenzione degli studenti sul fenomeno nuovo, la trasformazione chimica, per pervenire a descriverlo e spiegarlo a livello microscopico, utilizzando il modello particellare. Prima però, è opportuno impegnare gli allievi in un'attività di descrizione e interpretazione dei fenomeni presi in considerazione mediante un «modello verbale».

L'insegnante propone agli allievi di procedere ad un confronto tra le due situazioni: trasformazione fisica e trasformazione chimica.

FOL 1 - TRASFORMAZIONE FISICA

Prima del mescolamento:

Becker A	nitrato di sodio	acqua
Becker B	ioduro di potassio	acqua

Dopo il mescolamento

Becker	nitrato di sodio	ioduro di potassio	acqua
--------	------------------	--------------------	-------

FOL 2 - TRASFORMAZIONE FISICA

Prima del mescolamento:

Becker A	nitrato di potassio	acqua
Becker B	ioduro di piombo	acqua

Dopo il mescolamento

Becker	nitrato di potassio	ioduro di piombo	acqua
--------	---------------------	------------------	-------

FOL 3 - TRASFORMAZIONE CHIMICA

Prima del mescolamento:

Becker A	nitrato di piombo	acqua
Becker B	ioduro di potassio	acqua

Dopo il mescolamento

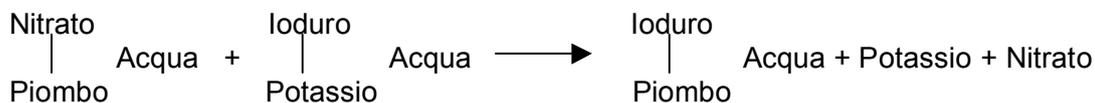
Becker	nuova sostanza di colore giallo	acqua
--------	---------------------------------	-------

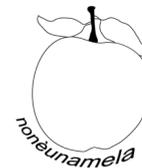
Dato che la nuova sostanza presenta caratteristiche simili alla sostanza utilizzata nel foglio di lavoro 2, è ipotizzabile che sia **ioduro di piombo**? Proviamo a scrivere le sostanze di partenza (i reagenti) e la sostanza nuova (il prodotto) che si forma, accettando l'ipotesi che si tratti di ioduro di piombo.

Reagenti		Prodotto
Nitrato	Ioduro	Ioduro
Piombo	Potassio	Piombo

Se è accettabile l'ipotesi formulata, il prodotto della trasformazione ha un nome (ioduro di piombo) che viene per metà dal nome di uno dei reagenti e per metà dal nome dell'altro reagente. Potrebbe essere un'ipotesi sensata.

L'insegnante propone allora agli allievi di rappresentare con il modello verbale la situazione sperimentale che si verifica quando si combinano le soluzioni di nitrato di piombo e ioduro di potassio:





Dopo avere combinato le due soluzioni, l'acqua contiene in soluzione l'entità chimica POTASSIO e l'entità chimica NITRATO; inoltre si forma un solido che è il prodotto della trasformazione chimica, lo ioduro di piombo. Con il modello verbale è possibile comprendere che una parte di un reagente e una parte dell'altro si combinano dando origine ad una nuova sostanza.

A questo punto, l'insegnante formula la seguente consegna: **Ogni allievo provi a rappresentare con il modello particellare la situazione sperimentale tralasciando l'acqua.**

Nitrato di piombo + Ioduro di potassio \rightarrow Ioduro di piombo + potassio + nitrato

Si discutono le rappresentazioni proposte dagli allievi e si riconosce che l'unica soluzione possibile è ammettere che le particelle delle sostanze nitrato di piombo e ioduro di potassio siano divisibili.

Questo significa che se si vuole utilizzare il modello particellare per rappresentare le reazioni chimiche, occorre intervenire sugli assiomi del modello e precisamente sull'assioma che postula l'indivisibilità delle particelle. Come si è ipotizzato con il modello verbale, una parte di una sostanza iniziale si combina con una parte dell'altra sostanza iniziale per formare una nuova sostanza.

FOL 4

Si può ora affrontare l'aspetto quantitativo del fenomeno trasformazione chimica. L'insegnante propone ad ogni allievo il foglio di lavoro FOL 4 al fine di avviare una riflessione sulla conservazione della massa nel corso delle trasformazioni chimiche. Il foglio di lavoro contiene due interrogativi problematici: il primo, 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 ad ogni allievo di progettare un esperimento che permetta di provare che la risposta fornita all'interrogativo n. 2 è accettabile.

In quasi tutti i libri di testo, si attribuisce a Lavoisier la **legge della conservazione della materia** che viene enunciata spesso nella forma: **Nulla si crea, nulla si distrugge** con ciò volendo dire che nelle trasformazioni chimiche la massa totale dei corpi che hanno reagito è uguale alla massa dei prodotti della reazione. Si tratta di un'idea che caratterizza molto bene le ricerche di Lavoisier, ma sicuramente non è Lavoisier che l'ha inventata; infatti è un'idea che affonda le sue radici nel pensiero dei filosofi più antichi. Tuttavia Lavoisier ha un grande merito: estendendo quest'idea all'ossigeno e alle sue trasformazioni, egli l'ha resa un principio tassativo e inderogabile, dando così avvio alla chimica come scienza quantitativa della materia e delle sue trasformazioni.

Il lavoro individuale e collettivo sul FOL 4 dovrebbe permettere alla classe di arrivare alla conclusione che:

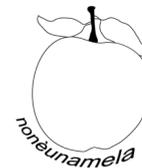
1. nelle trasformazioni chimiche, le sostanze reagenti interagiscono producendo nuove sostanze;
2. nelle trasformazioni chimiche, la massa totale dei prodotti è uguale alla massa totale dei reagenti.

FOL 5

L'insegnante richiama i due interrogativi che aveva posto all'inizio della sequenza:

- *In che cosa si differenziano le trasformazioni fisiche e quelle chimiche?*
- *È possibile rappresentare le trasformazioni chimiche mediante il modello particellare?*

Basandosi sui risultati delle attività finora svolte, può proporre agli studenti le seguenti conclusioni:



1. le trasformazioni chimiche si differenziano da quelle fisiche. Nelle trasformazioni fisiche le sostanze conservano la propria identità; nelle trasformazioni chimiche le sostanze non conservano la loro identità. Le sostanze che reagiscono (i reagenti) si combinano tra di loro producendo nuove sostanze (i prodotti della trasformazione). Anche nelle trasformazioni chimiche come nelle trasformazioni fisiche, la **massa** si conserva. Questa considerazione permette all'insegnante di formalizzare quella che viene abitualmente presentata come la legge di Lavoisier.
2. È possibile usare il modello particellare, messo a punto per le trasformazioni fisiche, per rappresentare le trasformazioni chimiche, ma occorre modificare qualcosa. Viene proposto il foglio di lavoro FOL 5 che ha lo scopo di portare gli studenti a riflettere sulle modifiche che è opportuno introdurre nel modello particellare per renderlo adatto ad interpretare anche le trasformazioni chimiche. Nel modello particellare costruito per le trasformazioni fisiche, le regole sono le seguenti:
 - una particella non si può dividere, è indivisibile
 - una particella non può cambiare forma, è indeformabile
 - una particella ha sempre le stesse dimensioni
 - una particella di una certa sostanza ha sempre la stessa quantità di materia, che cambia al cambiare della sostanza
 - un solo tipo di particelle individua una sostanza
 - un determinato numero di particelle dello stesso tipo equivale sempre alla stessa quantità di sostanza
 - tra le particelle esistono spazi vuoti più o meno grandi a seconda dello stato fisico della sostanza
 - 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
 - le particelle sono più o meno libere di muoversi e/o spostarsi a seconda dello stato fisico della sostanza
 - le particelle sono disposte in modo più o meno ordinato a seconda dello stato fisico della sostanza

Se si tiene conto delle riflessioni sviluppate in precedenza e delle modellizzazioni delle trasformazioni chimiche, si deve riconoscere che il postulato n.1 non è più ammissibile. Infatti nel caso della interazione tra ioduro di potassio e nitrato di piombo si è giunti alla conclusione che una parte delle particelle di nitrato di piombo ($\Delta\emptyset$; Δ = nitrato ; \emptyset = piombo) si unisce ad una parte delle particelle di ioduro di potassio ($\Omega\bullet$; Ω = ioduro; \bullet = potassio) per dare ioduro di piombo ($\Omega\emptyset$; Ω = ioduro; \emptyset = piombo).

Quindi, perché il modello particellare sia utilizzabile anche per rappresentare le trasformazioni chimiche è necessario modificare la regola n. 1 in questo modo:

Una particella è divisibile

Però se si ammette questa regola, sorge un altro problema:

Se una particella è divisibile, allora è costituita di altre particelle più semplici. Non si può quindi usare un termine unico «particella», ma si dovrebbero usare due termini diversi. Esistono questi termini diversi?

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 chimiche. L'insegnante propone di usare il termine **molecola**



per le prime e il termine **atomo** per le seconde. Da ciò consegue che, se durante le trasformazioni chimiche le sostanze non si conservano, neanche le particelle che le costituiscono, cioè le molecole, si conservano, né come tipo né come numero. D'altra parte, in precedenza si è visto che in una trasformazione chimica la massa complessiva dei prodotti della trasformazione è uguale alla massa delle sostanze reagenti; a livello microscopico questo si spiega ammettendo che si abbia conservazione degli atomi che costituiscono le molecole dei reagenti e che, al termine della reazione, si ritrovano nei prodotti. La conclusione sarà dunque la seguente: le sostanze sono costituite di molecole che sono a loro volta costituite di atomi; le molecole restano inalterate nelle trasformazioni fisiche, ma si dividono nelle trasformazioni chimiche.

La regola n. 1 del modello particellare va ora così enunciata:

**Le particelle di cui è costituita una sostanza (molecole) sono divisibili,
poiché sono formate da altre particelle (atomi)**

SPERIMENTAZIONE E COMMENTI

Il fenomeno

Nessuna sorpresa né alcun commento particolare durante l'esperimento descritto nel FOL 1 (nitrato di sodio e ioduro di potassio).

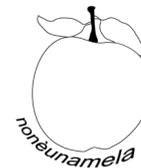
L'interpretazione

L'interpretazione del fenomeno preso in considerazione nel FOL 1 evidenzia che alcuni studenti ritengono che le polveri bianche, quando vengono unite a secco, non presentino più la possibilità di essere distinte, pertanto sono del parere che si sia formata una miscela omogenea. L'insegnante deve richiamare le attività svolte in una precedente sequenza: il concetto di fase e il concetto di sostanza necessitano di un paziente lavoro di messa a punto. A questo proposito, sono di notevole aiuto le tabelle di raccolta dei dati che consentono anche di individuare con maggiore efficacia cosa cambia e cosa non cambia nei sistemi presi in considerazione.

Anche nel FOL 3 il prodotto della trasformazione a secco tra nitrato di piombo e ioduro di potassio è di difficile interpretazione: dopo aver intensamente pestato i reagenti nel mortaio, il colore giallo dello ioduro di piombo "copre" il colore bianco dei cristalli di nitrato di potassio. Alcuni allievi fanno notare che nei loro mortai si nota chiaramente la presenza di granelli bianchi, ma altri ribattono asserendo che il colore bianco è dovuto ad un eccesso di reagente, anch'esso di colore bianco.

L'esperimento condotto tra le stesse sostanze, nitrato di piombo e ioduro di potassio, in soluzione acquosa fornisce altri dati che sono di aiuto per interpretare il fenomeno: sembra probabile che il prodotto ottenuto nella reazione tra nitrato di piombo e ioduro di potassio sia ioduro di piombo, di colore giallo e insolubile in acqua, la sostanza composta che non si è sciolta durante l'esperimento proposto nel FOL 2. È particolarmente utile, durante questa discussione, fare ricorso alle attività di descrizione e interpretazione dei fenomeni mediante un «modello verbale». Grazie a queste attività, viene messo in risalto che il prodotto ottenuto nella reazione 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, si scioglie in acqua producendo una soluzione incolore. L'insegnante chiede allora come possa essere confermato che nel liquido incolore sia presente la sostanza ipotizzata; alcuni allievi suggeriscono di filtrare il sistema ottenuto come prodotto della trasformazione, per separare il solido giallo dalla soluzione incolore; in seguito per evaporazione si elimina l'acqua dalla soluzione ottenendo i cristalli di nitrato di potassio.

Bisogna ora modellizzare tutti i sistemi presenti nelle varie tabelle, siano essi sostanze o miscele; gli studenti rappresentano dopo breve discussione tutte le miscele e le sostanze che non sono cambiate.



ATTIVITÀ 2 – LO STRANO CASO DI DUE SOSTANZE GASSOSE CHE REAGENDO PRODUCONO UNA SOSTANZA SOLIDA

FOL 6

Finora si sono considerate combinazioni tra sostanze solide (ioduro di potassio e nitrato di piombo) e tra le stesse sostanze sciolte nell'acqua. Ora possiamo procedere oltre e rendere gli allievi consapevoli del fatto che le trasformazioni chimiche possono avvenire anche tra sostanze allo stato gassoso.

L'insegnante può chiedere agli allievi di eseguire la sperimentazione del FOL 6 o può eseguirla egli stesso come dimostrazione.

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.

Mediante il FOL 6, l'insegnante chiede agli allievi di descrivere il fenomeno a livello empirico.

FOL 7

Gli studenti sono ora chiamati a pronunciarsi su una serie di interrogativi che riguardano aspetti qualitativi e quantitativi del fenomeno e, alla fine, sono invitati a rappresentare con il modello particellare la situazione sperimentale.

Durante la discussione delle risposte, l'insegnante fa presente che il solido bianco che si è formato è cloruro di ammonio. Dopo aver fornito questa precisazione, si può ricorrere al modello verbale per interpretare il fenomeno:

Ammoniaca + cloruro di idrogeno → cloruro di ammonio

Ammoniaca		Cloruro		Cloruro
	+		→	
		Idrogeno		Ammonio

Se si ragiona con il modello verbale, si ha quanto segue: - l'entità chimica **cloruro** si trova sia in uno dei reagenti, sia nel prodotto unico che si forma dalla trasformazione; - nel prodotto si trova anche l'entità **ammonio**. Dato che non vi è altro fra i prodotti, si può pensare che l'entità **ammonio** sia data dalla combinazione di **ammoniaca** con **idrogeno**:

ammoniaca + idrogeno → ammonio

Per concludere, si passa ad una prima rappresentazione mediante il modello particellare.

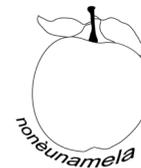
Consegna – Ogni allievo provi a modellizzare con il modello particellare la combinazione tra ammoniaca e cloruro di idrogeno con la formazione di cloruro di ammonio.

Ammoniaca		Cloruro di idrogeno		Cloruro di ammonio
.....	+	→

Si discutono le soluzioni proposte e si cerca di pervenire ad una soluzione condivisa.

FOL 8

Con questo foglio di lavoro, l'insegnante invita gli studenti a riflettere più a fondo su questa trasformazione proponendo, mediante disegni, una situazione sperimentale nella quale occorre



tenere conto dei volumi delle sostanze reagenti. Dato che interviene questa nuova variabile, conviene ragionare ammettendo che la trasformazione avvenga a temperatura costante (per esempio 25 °C) e a pressione costante (per esempio 101 kPa).

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. 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. Si rimuove il diaframma e si fa avvenire la trasformazione. I gas reagenti reagiscono completamente; dopo la trasformazione, i gas sono scomparsi ed è presente solamente un solido bianco, il cloruro di ammonio.

Dal disegno che figura sul foglio di lavoro, risulta chiaramente che i due gas vengono totalmente consumati durante la trasformazione. Agli studenti viene richiesto:

- di rappresentare con il modello particellare le sostanze reagenti e il prodotto della trasformazione;
- di giustificare le loro rappresentazioni.

FOL 9

Questo foglio di lavoro contempla la stessa trasformazione chimica: cloruro di idrogeno (gas) e ammoniaca (gas) con formazione di cloruro di ammonio (solido). Vengono proposti tre casi che hanno in comune uno dei reagenti in eccesso:

- nel primo caso il volume di cloruro di idrogeno è doppio rispetto a quello dell'ammoniaca;
- nel secondo caso il volume di ammoniaca è doppio rispetto a quello del cloruro di idrogeno;
- nel terzo caso il volume di ammoniaca è di un terzo maggiore di quello di cloruro di idrogeno.

Nei tre i casi si forma il solido bianco (cloruro di ammonio). Però i gas non vengono utilizzati completamente: al termine della trasformazione rimane sempre un residuo di sostanza gassosa. I disegni evidenziano che tra i due pistoni rimane del gas che non ha reagito e che quindi è in eccesso:

- nel primo caso si ha un eccesso di 1 dm³ di cloruro di idrogeno;
- nel secondo e nel terzo caso si hanno eccessi di ammoniaca, rispettivamente di 1 dm³ e di 0,3 dm³.

Agli studenti viene nuovamente richiesto di rappresentare il fenomeno con il modello particellare. La consegna li obbliga a chiedersi 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. Si tratta di una situazione problematica complessa, per la quale gli studenti propongono svariate soluzioni. La discussione collettiva di tali proposte mostra che non è facile mettersi d'accordo su una soluzione condivisa. In genere, buona parte degli studenti ritiene condivisibile l'idea che volumi eguali di cloruro di idrogeno e di ammoniaca contengono lo stesso numero di molecole e che vi è un rapporto stretto tra volume di gas e numero di molecole: a volume doppio, corrisponde un numero doppio di molecole (a parità di pressione e temperatura). Anche se alcuni sono restii ad accettare l'idea, la cosa non deve preoccupare: le situazioni problematiche affrontate in seguito avvalorano l'adeguatezza di tale ipotesi che, come l'insegnante farà rimarcare quando lo riterrà opportuno, è una delle ipotesi di Avogadro.

SPERIMENTAZIONE E COMMENTI

Il fenomeno

Solo al termine dell'esperimento (FOL 6), prelevando con una spatola una parte della polvere bianca, gli studenti hanno la certezza della formazione di un corpo solido bianco. 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. È consigliabile, dunque, che il tubo di vetro nel quale avviene la trasformazione sia ben fermo, poiché anche piccoli movimenti possono accentuare spostamenti della sospensione bianca creata dai gas reagenti e dal solido in formazione.

Gli studenti non hanno alcuna difficoltà ad accettare che, se 1 dm³ di cloruro di idrogeno reagisce esattamente con 1 dm³ di ammoniaca, i pistoni si avvicinino sino quasi a toccarsi (FOL 8): tra questi rimane solo una piccola parete formata dal solido bianco cloruro di ammonio. Nel foglio di lavoro FOL 9, infine, il gas residuo al termine della trasformazione è certamente gas in eccesso che non ha reagito.

L'interpretazione

È significativo che la maggior parte delle rappresentazioni iconiche proposte dagli studenti (FOL 8) siano di questo tipo (fig. 1):

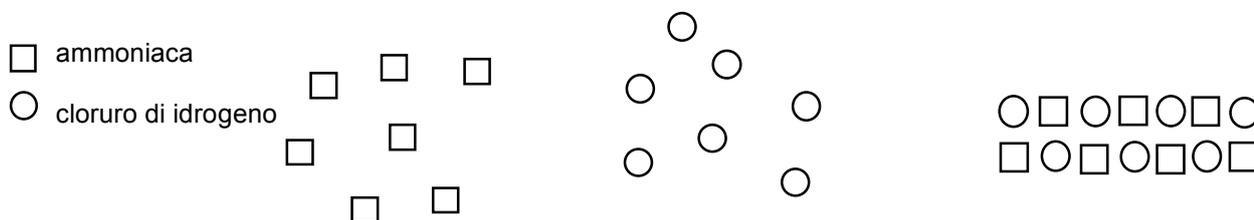


Figura 1 – La rappresentazione più frequente tra quelle proposte (FOL 8)

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: eccesso di gas significa eccesso di particelle, volume doppio di gas significa numero doppio di particelle, come si vede nella figura 2.

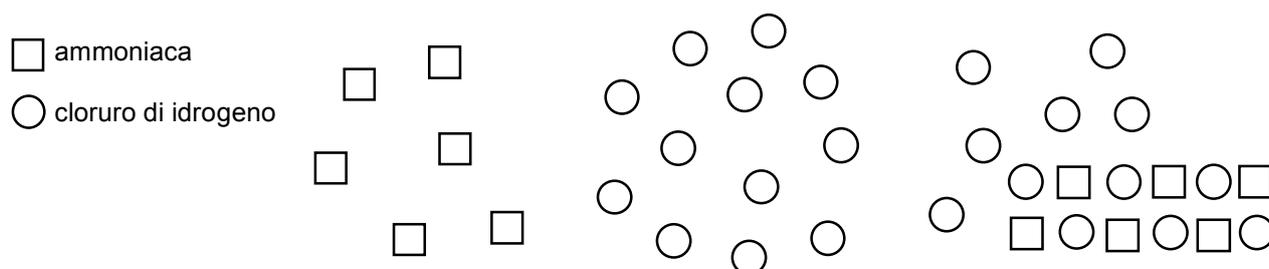


Figura 2 – La rappresentazione più frequente tra quelle proposte (FOL 9)

L'allievo che ha proposto questa rappresentazione l'ha accompagnata con questa giustificazione: "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, evidenziati nelle figure 3,4 e 5 che sono accompagnate dalle relative giustificazioni.

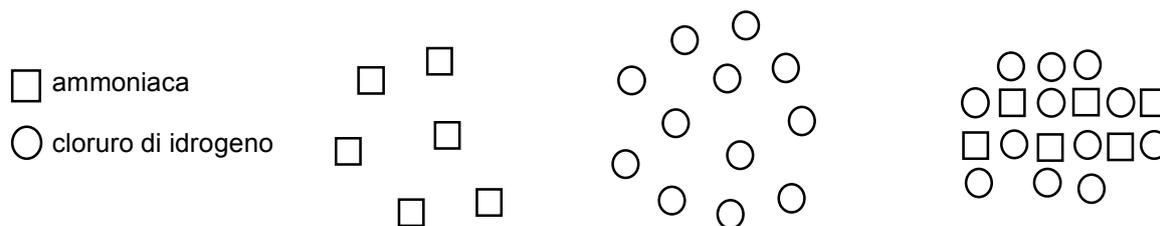


Figura 3 – Una rappresentazione alternativa (FOL 9)

La giustificazione dello studente - *“il solido conterrà più particelle di cloruro di idrogeno”* – fa pensare che egli abbia una concezione analoga a quella di Berthollet: la composizione della sostanza solida che si forma può non essere definita e costante, ma cambiare quando cambia il rapporto tra le specie costituenti.

Un altro studente (figura 4) è d'accordo con l'eccesso di gas, ma sostiene che le molecole dei reagenti si trasformano *“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”*

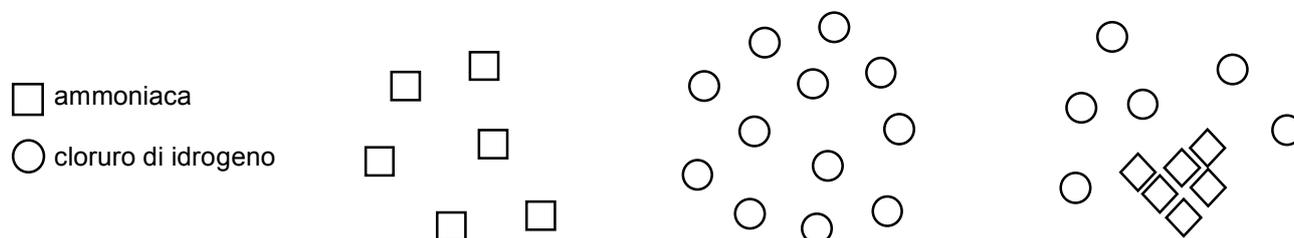


Figura 4 – Un'altra rappresentazione alternativa (FOL 9)

Infine vi è anche (figura 5 e 6) chi tenta 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. Questo tipo di interpretazione incontra la resistenza dei compagni che la giudicano *“troppo incasinata”*.

Giustificazione: *“.. posso immaginare le due molecole come formate da due atomi ognuna. Siccome dopo i pistoni si sono avvicinati (FOL 8), 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)”*.

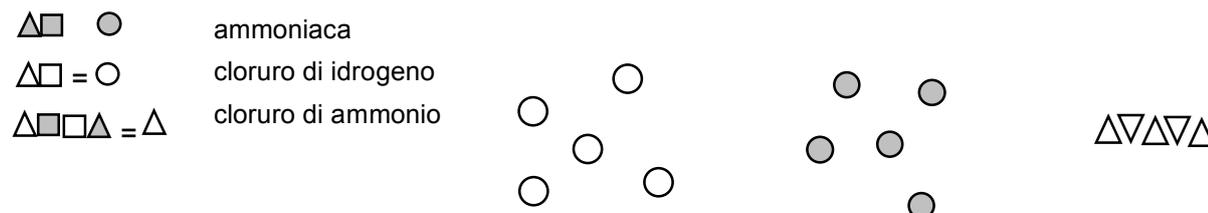


Figura 5 – Una proposta di ricombinazione degli atomi (FOL 9)

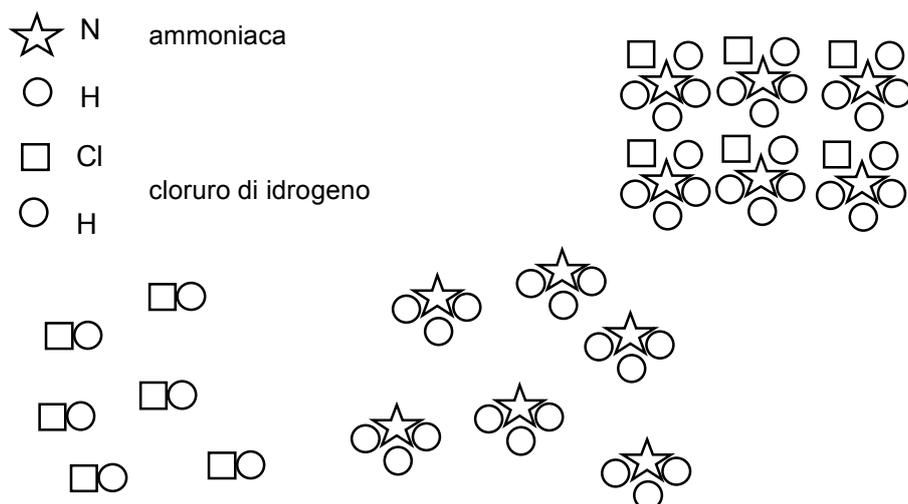


figura 6 – Una proposta di ricombinazione degli atomi nel FOL 9, senza commento

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.