

ATTIVITÀ 3: VOLUMI DI GAS E NUMERO DI MOLECOLE

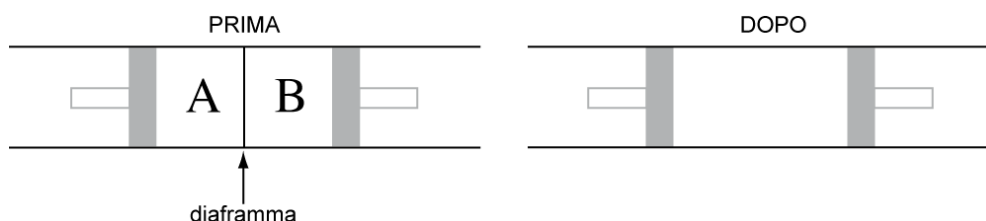
Si studia la combinazione tra le sostanze gas idrogeno e gas cloro. Dato che si tratta di una trasformazione chimica di sostanze allo stato gassoso, si ammette di operare a temperatura e pressione costanti. Viene proposto il FOL 6.10.

FOL 6.10

Studiamo ora la combinazione tra le sostanze gas idrogeno e gas cloro. Dato che si tratta di una trasformazione chimica tra sostanze allo stato gassoso, ammettiamo di operare a temperatura e pressione costanti.

La situazione sperimentale è la seguente. Un cilindro è chiuso alle due estremità da due pistoni mobili. Un diaframma rimovibile divide il cilindro in due contenitori a tenuta. I due contenitori hanno lo stesso volume e contengono ognuno 1 dm^3 di gas: il contenitore A contiene gas idrogeno, il contenitore B contiene gas cloro. Si rimuove il diaframma e si fa avvenire la trasformazione chimica al termine della quale i due gas di partenza sono scomparsi completamente producendo 2 dm^3 di una nuova sostanza gassosa, cloruro di idrogeno.

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



Usando il modello particellare, rappresenta le sostanze che costituiscono il sistema prima e dopo la trasformazione.

Giustifica le tue rappresentazioni

.....

.....

.....

Agli allievi viene richiesto di rappresentare con il modello particellare i gas reagenti e il gas prodotto dalla trasformazione chimica. La situazione problematica è del tutto nuova: il prodotto della trasformazione chimica è un gas che occupa un volume doppio di quello occupato da ognuna delle sostanze reagenti. È possibile interpretare questo dato con il modello particellare? Questo è l'interrogativo che viene posto agli allievi e questo è il problema che dovettero affrontare i chimici nella prima metà del XIX secolo, incontrando notevoli difficoltà a risolverlo. Anche gli allievi manifestano non poche difficoltà a interpretare i dati sperimentali, pur disponendo delle conoscenze necessarie per farlo: quella di atomo e quella di molecola come entità costituita da atomi. Infatti, si tratta di avanzare due congetture: una relativa al numero di molecole presenti in un decimetro cubo di ciascun sistema gassoso; l'altra in grado di giustificare il fatto che il gas, prodotto dalla trasformazione chimica, occupi un volume doppio rispetto a quello occupato da ciascuno dei gas di partenza. Gli allievi accettano senza problemi che 1 dm^3 di gas idrogeno reagisca completamente con 1 dm^3 di gas cloro, ma alcuni sono sorpresi che si siano formati 2 dm^3 di cloruro di idrogeno: interpretano questo dato come una confutazione dell'ipotesi che uguali volumi di gas, anche se di natura diversa, siano costituiti da un eguale numero di molecole. Quelli che non riescono a superare le perplessità provocate dal doppio volume di sostanza prodotta hanno difficoltà a giustificare il fenomeno. Essi non riescono a individuare alcuna relazione tra i volumi dei gas di partenza e il

numero di particelle da cui ciascun gas è costituito: l'enigma non è risolvibile. Però i compagni più ingegnosi riescono a proporre soluzioni plausibili. Per esempio, l'allievo di cui precedentemente è stata proposta la rappresentazione di figura 6, in questo caso propone questa interpretazione (figura 12):

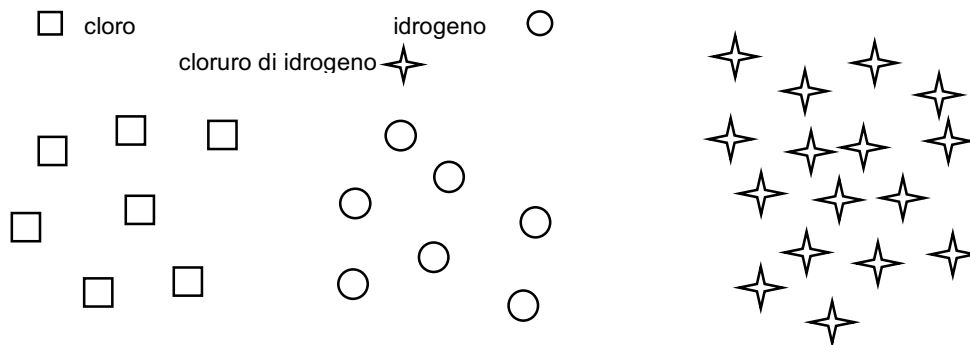


Figura 12 – Una proposta di trasformazione delle particelle

La rappresentazione viene giustificata in questo modo: “le due sostanze reagiscono tra loro senza unirsi tra di loro. Per me le particelle di idrogeno e di cloro reagiscono al contatto, ma restano separate, non si fondono una con l'altra. Praticamente si trasformano solo”. È una trasformazione che sa un po' di magia.

Se si accetta l'ipotesi che un decimetro cubo di qualunque gas, in eguali condizioni di temperatura e pressione, contenga sempre lo stesso numero di molecole, allora per giustificare il volume di cloruro di idrogeno ottenuto si potrebbe ipotizzare che sia l'idrogeno sia il cloro siano costituiti da molecole biatomiche. In questo caso, ogni molecola di gas cloro e di gas idrogeno darebbero origine, combinandosi, a due molecole di gas cloruro d'idrogeno e i dati sperimentali sarebbero interpretabili in modo soddisfacente. È ciò che cercano di esprimere in qualche modo altri studenti proponendo delle rappresentazioni che la classe ritiene più plausibili (Figure 13 e 14).

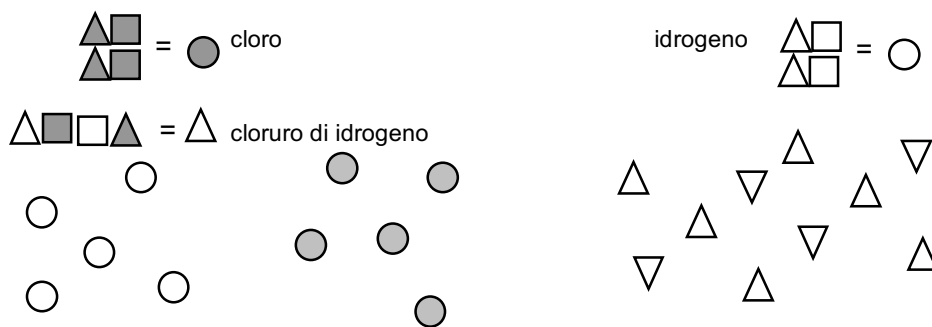


Figura 13 – Una proposta di ricombinazione degli atomi

La rappresentazione viene così giustificata: “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”. Come si può notare dalla rappresentazione iconica, le idee non sono ancora del tutto chiare, ma è in atto un interessante tentativo di trovare un accordo tra i dati sperimentali e la loro interpretazione con il modello particellare. Molto chiare risultano invece le idee dell'allievo che ha proposto la

rappresentazione successiva (figura 14); egli infatti ha deciso, come già si notava nella rappresentazione della figura 6, di far corrispondere a ogni simbolo iconico un elemento chimico, riuscendo così a giustificare il fatto che “essendo la sostanza di reazione gassosa formata dai due tipi di molecola precedenti non fa muovere i pistoni perché occupa sempre lo stesso spazio”.

La discussione di queste ipotesi interpretative mette in evidenza che parecchi allievi hanno difficoltà ad accettarle; molto probabilmente ciò è dovuto al fatto che le rappresentazioni mentali di molecola e di atomo sono ancora “fluide”.

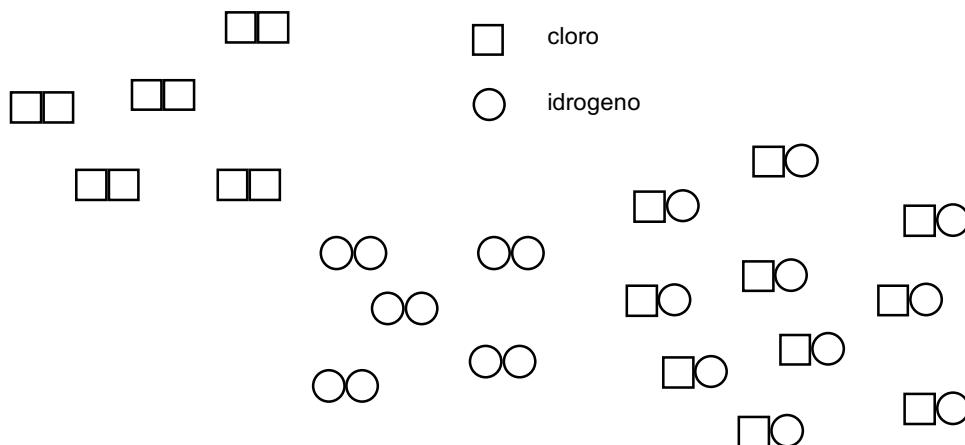


Figura 14 – Una proposta di ricombinazione degli atomi

L’insegnante propone un’attività che riporta la discussione a livello macroscopico: la stessa trasformazione presa in esame nel FOL 6.10 viene studiata dal punto di vista della conservazione della massa (FOL 6.11). Dato che tutto il gas idrogeno si combina con tutto il gas cloro, viene richiesto agli allievi quale sia la massa espressa in grammi del cloruro di idrogeno che si è formato.

FOL 6.11

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 dispositivo sperimentale è il seguente:

PRIMA

↑
diaframma

DOPO

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.

Secondo te, qual è la massa espressa in grammi del cloruro di idrogeno che si è formato?

Giustifica la tua risposta.

.....

.....

.....

La discussione che segue permette all'insegnante di richiamare tutte le conoscenze che gli allievi dovrebbero condividere:

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

Inoltre, l'esistenza di una relazione stretta tra i volumi dei gas e il numero delle molecole costituenti le varie sostanze corrobora l'ipotesi che ogni molecola sia formata da un numero definito di atomi delle varie specie: ogni sostanza dovrebbe quindi avere una formula chimica definita (PROUST) e, se ogni tipo di atomo possiede una massa diversa, ogni molecola dovrebbe avere una sua massa ben definita.

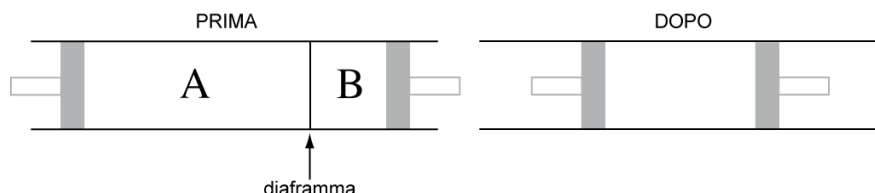
Nel successivo foglio di lavoro (FOL 6.12) viene introdotta la nomenclatura che fa riferimento all'ipotesi formulata nella discussione precedente: le molecole dei gas idrogeno e azoto sono biatomiche e quindi quando si parla di queste sostanze si devono usare i termini diidrogeno e diazoto (IUPAC).

Agli allievi viene richiesto di rappresentare i reagenti e il prodotto della trasformazione chimica usando sia il linguaggio iconico sia il linguaggio simbolico chimico. Viene inoltre loro richiesto di denominare ogni sostanza. Anche in questo caso si richiede di indicare quale sarà la massa complessiva di prodotto (gas ammoniacca) ottenuta a partire da masse note dei gas diidrogeno e diazoto e di giustificare la risposta. Lo scopo è ancora quello di offrire agli allievi l'occasione di attivare il modello atomico/molecolare per interpretare il dato macroscopico.

Studiamo la combinazione tra le sostanze gassose diidrogeno e diazoto. Dato che si tratta di una trasformazione chimica tra sostanze allo stato gassoso, ammettiamo di operare a temperatura e pressione costanti.

La situazione sperimentale è la seguente. Un cilindro è chiuso alle due estremità da due pistoni mobili. Un diaframma rimovibile divide il cilindro in due contenitori a tenuta. 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 al termine della quale i due gas di partenza sono scomparsi 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.



1. Usando il modello particellare rappresenta le sostanze prima e dopo la trasformazione chimica
2. Ora rappresenta le stesse sostanze sostituendo i simboli iconici con i rispettivi simboli chimici; assegna poi a ciascuna sostanza il nome.
3. Consideriamo la stessa trasformazione chimica prendendo in considerazione le masse delle sostanze di partenza (reagenti) (gas diazoto e gas diidrogeno) e la massa della sostanza che si forma come prodotto della trasformazione chimica, l'ammoniaca. Il contenitore A contiene 0,27 g di gas diidrogeno e il contenitore B 1,25 g di gas diazoto. Si ammette che nella trasformazione chimica tutto il gas diidrogeno reagisca con tutto il gas diazoto. Secondo te, qual è, in grammi, la massa del gas ammoniacato?

Giustifica la tua risposta.

.....

Non cambia il tipo di fenomeno studiato, ma cambiano i rapporti tra i volumi delle sostanze gassose. Alcuni allievi hanno difficoltà a gestire il rapporto 3:1:2 tra i gas previsto nel FOL 6.12. Inoltre, si richiede agli allievi di riflettere sulle masse delle sostanze che partecipano alla reazione; bisogna calcolare, come già in precedenza, la massa del prodotto che si ottiene. Nella figura 15 è riportata l'interpretazione della trasformazione chimica di sintesi dell'ammoniaca proposta da un allievo che così la giustifica: *“il diidrogeno più il diazoto formano l'ammoniaca, ma visto che il diidrogeno è in avanzo ci sono ancora delle particelle non trasformate”*.

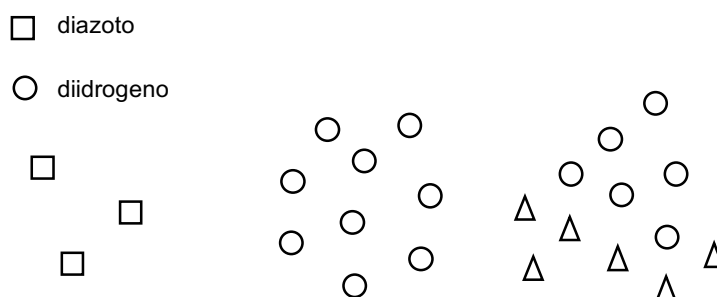


Figura 15 – Una proposta di trasformazione delle particelle

L'analisi della rappresentazione e della giustificazione portano alle seguenti considerazioni:

- L'allievo scrive diazoto e diidrogeno, ma non utilizza simboli iconici che rappresentino la diatomicità delle molecole.
- Se il rapporto tra i volumi di gas è 1:3:2, allora ogni tre particelle di diazoto (quadrati) ce ne saranno nove di diidrogeno (cerchi) e sei di ammoniaca (triangoli). Però l'allievo non è in grado di gestire il rapporto tra volumi e ragiona in termini di rapporto 1:1 tra azoto e idrogeno: ammette che si formino sei particelle di ammoniaca e poi, per garantire la conservazione della massa, conserva il numero di particelle; ciò significa che "avanzano" particelle di diidrogeno che non hanno reagito.

Naturalmente i conti non tornano e gli altri allievi si mostrano in disaccordo. Sono decisamente contrari anche alla rappresentazione della figura 16. L'ammoniaca non deve essere rappresentata come se fosse un solido e la quantità di materia prima e dopo la reazione va rispettata. Il numero di particelle disegnate non è adeguato.

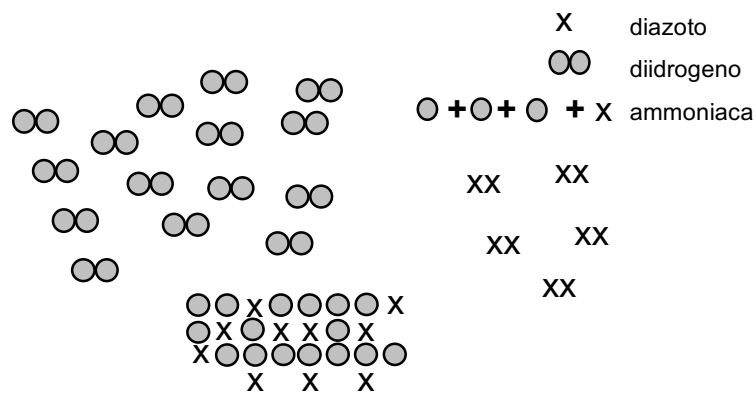


Figura 16 – Una proposta di ricombinazione degli atomi

La rappresentazione riprodotta nella figura 17 viene ritenuta più convincente dalla grande maggioranza della classe; se si ammette che le molecole di gas azoto e di gas idrogeno siano biatomiche, i rapporti tra i volumi portano a ritenere che la molecola dell'ammoniaca sia formata da un atomo di azoto e tre di idrogeno. In questo modo, anche l'ipotesi dello stretto rapporto tra volumi di gas e numero di molecole sarebbe confermata; inoltre, verrebbe anche ribadito che le particelle il cui numero è in rapporto con i volumi di gas sono le molecole, le quali sono formate da atomi.

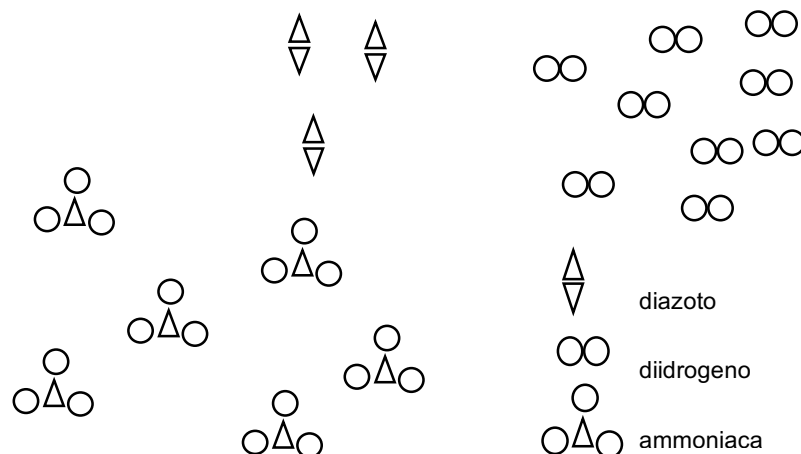


Figura 17 – Una proposta di ricombinazione degli atomi

In genere, una parte degli allievi sostiene questa interpretazione con decisione, mentre altri sono perplessi. La discussione è animata, ma al termine comincia a essere condivisa la rappresentazione iconica della trasformazione del diidrogeno e del diazoto in ammoniaca riportata in figura 18.

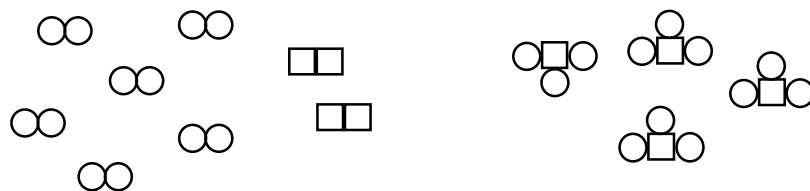


Figura 18 – Rappresentazione iconica della trasformazione chimica di diidrogeno e diazoto in ammoniaca

Come previsto nella richiesta due del FOL 6.12, a questa rappresentazione viene fatta corrispondere quella simbolico chimica di figura 19. A ogni tipo di atomo costituente le molecole si può dunque far corrispondere sia un simbolo iconico (cerchio, quadrato, triangolo,..) sia una lettera (oppure due) dell'alfabeto latino: questi ultimi sono i simboli chimici delle specie atomiche; è necessario impararli a memoria.

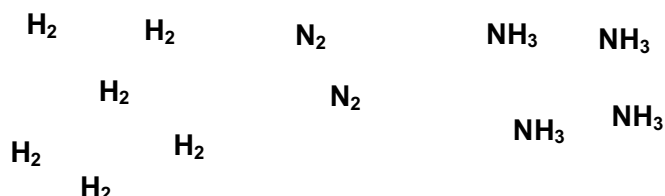


Figura 19 – Rappresentazione simbolico chimica della trasformazione chimica di diidrogeno e diazoto in ammoniaca

È possibile che qualche studente proponga di disegnare solo il numero minimo di particelle necessario a determinare il rapporto numerico tra le molecole dei reagenti e dei prodotti, ma questa rappresentazione sarà condivisa anche dai compagni solo nelle attività seguenti.

Nel seguente foglio di lavoro (FOL 6.13) si studia la reazione tra le sostanze gassose diidrogeno e diossigeno. Le richieste rivolte agli allievi sono le stesse del FOL 6.12; l'intento è quello di rafforzare le conoscenze già condivise, verificando se le ipotesi formulate permettono effettivamente di interpretare i fenomeni macroscopici presi in considerazione. Anche in questo caso, gli studenti giungono a condividere le rappresentazioni della trasformazione chimica di diidrogeno e diossigeno in acqua (figura 20).

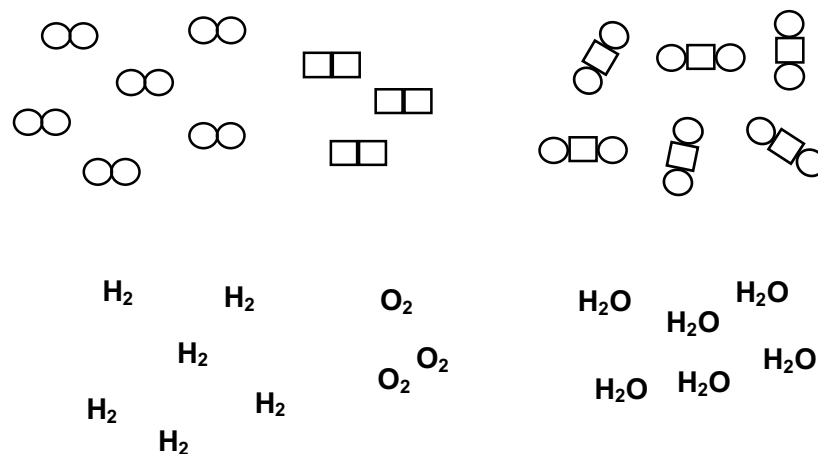


Figura 20 – Rappresentazioni iconica e simbolico chimica della trasformazione chimica di diidrogeno e diossigeno in acqua.

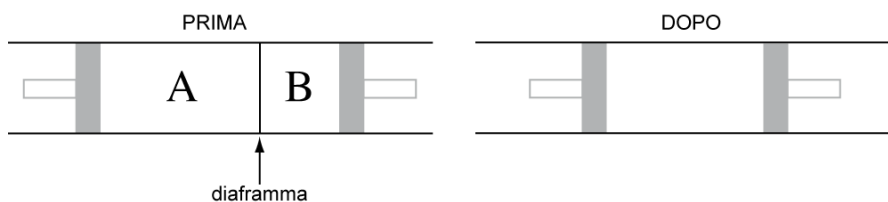
Però, la terza domanda di questo foglio di lavoro chiede la determinazione delle masse di diidrogeno e diossigeno necessarie per ottenere 1,00 kg di acqua. Questa richiesta mette in difficoltà una parte degli allievi e rimette in discussione idee che sembravano ormai assodate. È la conferma che i dati 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.

FOL 6.13

Studiamo la combinazione tra le sostanze gassose diidrogeno e diossigeno. Dato che si tratta di una trasformazione chimica tra sostanze allo stato gassoso, ammettiamo di operare a temperatura e pressione costanti.

La situazione sperimentale è la seguente. Un cilindro è chiuso alle due estremità da due pistoni mobili. Un diaframma rimovibile divide il cilindro in due contenitori a tenuta. 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 al termine della quale i due gas di partenza sono scomparsi completamente producendo 2 dm³ di una nuova sostanza gassosa: 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. Ora rappresenta le stesse sostanze sostituendo i simboli iconici con i rispettivi simboli chimici; assegna poi a ciascuna sostanza il nome.
3. Consideriamo la stessa trasformazione chimica ponendoci questo problema: Il contenitore A contiene 0,18 g di diidrogeno e il contenitore B 1,44 g 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.

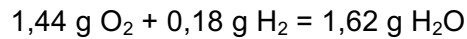
Secondo te, quanti grammi di diidrogeno e quanti grammi di diossigeno sono necessari per produrre 1,00 kg di acqua?

Giustifica la tua risposta.

.....

Non tutti gli allievi sono in grado di proporre una soluzione al quesito. La discussione prende avvio dalle proposte di alcuni; eccone due esempi.

In entrambi i casi, gli allievi ammettono che, se è possibile scrivere:



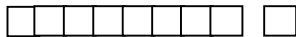
allora il rapporto tra le masse delle sostanze iniziali (reagenti) è $1,44 / 0,18 = 8$

Proposta 1 – Una soluzione algebrica

x = massa di diossigeno in grammi $x/8$ = massa di diidrogeno in grammi

$x + x/8 = 1000 \text{ g}$ $x = 888,88 \text{ g O}_2$ $x/8 = 111,11 \text{ g H}_2$

Proposta 2 – Un'altra soluzione



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

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

$1,44 \text{ g O}_2 : 0,18 \text{ g H}_2 = x \text{ g O}_2 : 1 \text{ g H}_2$ $x = 8 \text{ g O}_2$
 $1,62 \text{ g H}_2\text{O} : 0,18 \text{ g H}_2 = 1000 \text{ g H}_2\text{O} : y \text{ g H}_2$ $y = 111,11 \text{ g H}_2$
 $1,62 \text{ g H}_2\text{O} : 1,44 \text{ g O}_2 = 1000 \text{ g H}_2\text{O} : z \text{ g O}_2$ $z = 888,89 \text{ g O}_2$

A questo scopo, il FOL 6.14 introduce un problema che rimanda alla composizione delle sostanze: è questa "definita e costante" oppure "variabile"? Se gli allievi fanno riferimento al "rapporto di combinazione" sono in grado di rispondere in modo corretto all'interrogativo. Questa è la componente macroscopica della risposta, quella che probabilmente avrebbe dato Proust. Però gli allievi sono in grado, a differenza di Proust, di ricorrere al modello atomico/molecolare per interpretare il dato macroscopico.

CHI HA RAGIONE?

Un laboratorio di analisi ha ricevuto tre contenitori sigillati.

1. Il primo contenitore proviene da TAMPA in Virginia (U.S.A.) e contiene un liquido incolore la cui massa è: 110,7 g
2. Il secondo contenitore proviene da SHANGHAI (CINA) e contiene un liquido incolore la cui massa è: 23,4 g
3. Il terzo contenitore proviene da BIELLA (ITALIA) e contiene un liquido incolore la cui massa è: 3,6 g

Le analisi hanno fornito, rispettivamente per i tre campioni, i seguenti risultati:

1. Il liquido incolore è risultato costituito completamente di idrogeno e ossigeno e precisamente: 12,3 g di diidrogeno e 98,4 g di diossigeno
2. Il liquido incolore è risultato costituito completamente di idrogeno e ossigeno e precisamente: 2,6 g di diidrogeno e 20,8 g di diossigeno
3. Il liquido incolore è risultato costituito completamente di idrogeno e ossigeno e precisamente: 0,4 g di diidrogeno e 3,2 g di diossigeno

I risultati sono stati sottoposti all'attenzione di tre studenti di chimica che sono arrivati a queste conclusioni:

Studente 1 – Nel contenitore n.1 e nel contenitore n.3 è contenuta la stessa sostanza composta, diversa da quella presente nel contenitore n.2.

Studente 2 – I tre contenitori contengono tre sostanze composte diverse

Studente 3 – I tre contenitori contengono tutti la stessa sostanza composta

Secondo te, chi ha ragione?

Studente 1

Studente 2

Studente 3

Nessuno dei tre

È impossibile deciderlo

Giustifica la tua risposta

Queste sono le parole di Proust¹: *“Il composto ... è un prodotto privilegiato, a cui la natura ha assegnato una composizione fissa. La natura, anche quando si serve della mano dell'uomo, non produce mai un composto sbilanciato. La composizione delle sostanze è sempre costante, da un polo all'altro. L'aspetto esterno dei composti può variare al variare della loro struttura di aggregazione, ma le loro proprietà restano invariate. Non si sono osservate differenze tra l'ossido di ferro delle miniere del Nord e quello delle miniere del Sud; l'argento della Siberia è uguale in tutto e per tutto all'argento del Perù. In tutto il mondo esiste un unico cloruro di sodio, un unico solfato di bario. Infine, tutte le altre sostanze composte possiedono la stessa composizione in tutto il mondo.”* Può accadere che qualche allievo avanzi ora una nuova esigenza: conoscere le masse di ciascuna specie atomica per poter sviluppare ragionamenti quantitativi anche a livello microscopico. A tale esigenza si darà risposta in una sequenza successiva, quando si affronterà l'aspetto quantitativo della chimica.

Il foglio di lavoro FOL 6.15 permette agli allievi di riformulare le proprietà del modello particellare in termini di molecole e atomi. Il modello che ne risulta sarà un potente riferimento concettuale nella distinzione tra legami intra e intermolecolari, nella comprensione del concetto di quantità di sostanza (e quindi di mole), ecc.

¹ Proust J.L., *Sur les mines de cobalt, nickel et autres*, Journal de physique de chimie et d'histoire naturelle, Tome LXIII novembre 1806, p. 364-377

Queste sono le proprietà del modello particellare della materia:

1. Le particelle di cui è costituita una sostanza (molecole) sono divisibili, poiché sono formate da altre particelle (atomi)
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 ~~particella~~ 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

Sostituisci, in ognuna delle dieci proposizioni del modello particellare, la parola "particella" con il termine che ritieni più appropriato.

Giustifica la tua scelta

.....

Al termine della discussione, gli allievi condividono 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
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 più o meno vincolate le une alle altre a seconda dello stato fisico della sostanza
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 – DAI SIMBOLI ICONICI AI SIMBOLI CHIMICI: LO SCHEMA DI REAZIONE

Nei fogli di lavoro 6.16, 6.17 e 6.18 vengono richiamate alcune trasformazioni in fase gassosa prese in esame nell'attività 3.

Sappiamo (attività 3, FOL 6.10) che a temperatura e pressione costanti, 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 il seguente schema di reazione utilizzando i simboli chimici.

..... + →

4. Il gas diidrogeno è:

 una sostanza semplice

 una sostanza composta

 una miscela di sostanze

Il gas dicloro è:

 una sostanza semplice

 una sostanza composta

 una miscela di sostanze

Il gas cloruro di idrogeno è:

 una sostanza semplice

 una sostanza composta

 una miscela di sostanze

Sappiamo (attività 3, FOL 6.12) che a temperatura e pressione costanti, 3 dm³ di diidrogeno e 1 dm³ di diazoto reagiscono completamente producendo 2 dm³ di ammoniaca.

1. Usando il modello particellare rappresenta le sostanze prima della trasformazione chimica (reagenti) e dopo la trasformazione chimica (prodotti).

Diidrogeno

Diazoto

Ammoniaca

2. Rappresenta le stesse sostanze sostituendo i simboli iconici con i rispettivi simboli chimici.

Diidrogeno

Diazoto

Ammoniaca

3. Scrivi lo schema della reazione chimica

4. Il gas diidrogeno è:

 una sostanza semplice

 una sostanza composta

 una miscela di sostanze

Il gas diazoto è:

 una sostanza semplice

 una sostanza composta

 una miscela di sostanze

Il gas ammoniaca è:

 una sostanza semplice

 una sostanza composta

 una miscela di sostanze

Sappiamo (attività 3, FOL 6.13) che a temperatura e pressione costanti, 2 dm³ di diidrogeno e 1 dm³ di diossigeno reagiscono completamente producendo 2 dm³ di acqua allo stato gassoso.

1. Usando il modello particellare, rappresenta le sostanze prima della trasformazione chimica (reagenti) e dopo la trasformazione chimica (prodotti).

Diidrogeno

Diossigeno

Acqua

2. Rappresenta le stesse sostanze sostituendo i simboli iconici con i rispettivi simboli chimici.

Diidrogeno

Diossigeno

Acqua

3. Scrivi lo schema della reazione chimica

4. Il gas diidrogeno è:

 una sostanza semplice

 una sostanza composta

 una miscela di sostanze

Il gas diossigeno è:

 una sostanza semplice

 una sostanza composta

 una miscela di sostanze

Il gas acqua è:

 una sostanza semplice

 una sostanza composta

 una miscela di sostanze

A partire dalla situazione sperimentale già conosciuta, si richiede agli allievi di applicare le conoscenze acquisite e le ipotesi formulate in precedenza. Gli allievi devono, in un primo tempo, rappresentare le sostanze reagenti e i prodotti ottenuti con il linguaggio iconico. In un secondo tempo, essi devono sostituire i simboli iconici con i simboli chimici. Questi sono stati introdotti da Jöns Jacob Berzelius (1779-1848): *“Quando ci sforziamo di esprimere le proporzioni chimiche, abbiamo la necessità di simboli chimici. La chimica li ha sempre posseduti, ma finora sono stati di scarsa utilità. Senza alcun dubbio, devono la loro origine alla presunta relazione misteriosa che gli alchimisti ritenevano esistesse tra i metalli e i pianeti, e dal desiderio che essi avevano di esprimersi in una maniera incomprensibile per il pubblico. Proponendo dei nuovi simboli chimici, cercherò di evitare gli inconvenienti che rendevano gli antichi segni di scarsa utilità. lo prenderò dunque, per i simboli chimici, la prima lettera del nome latino di ciascuna sostanza elementare (sostanza semplice, n.d.t): ma, dato che parecchie hanno la stessa lettera iniziale, le distinguerò nella seguente maniera: 1. nella classe che io ho chiamato metalloidi, conservo solamente la lettera iniziale anche se è comune sia al metalloide sia a certi metalli. 2. Nella categoria dei metalli, distinguerò quelli che hanno la stessa iniziale di un altro metallo o di un metalloide, scrivendo le due prime lettere della parola. 3. Se le prime due lettere sono comuni a due metalli, aggiungerò alla lettera iniziale la prima consonante che non hanno in comune: per esempio, S = solfo (zolfo), Si = Silicium, St = Stibium (antimonio, avente ora simbolo Sb), Sn = stannum (stagno), C = carbonicum (carbonio), Co = cobaltum, Cu = cuprum (rame), O = ossigeno, Os = osmium, ecc.”*²

² J. J. Berzelius, *Essay on the Cause of Chemical Proportions, and on Some Circumstances Relating to Them: Together with a Short and Easy Method of Expressing Them*, *Annals of Philosophy* 2, 443-454 (1813), 3, 51-2, 93-106, 244-255, 353-364 (1814) [from Henry M. Leicester & Herbert S. Klickstein, eds., *A Source Book in Chemistry, 1400-1900* (Cambridge, MA:Harvard, 1952)]

Infine, essi devono contare le molecole di ogni specie chimica e scrivere uno **schema di reazione grezzo** nel quale il simbolo chimico di ogni sostanza è accompagnato dal suo coefficiente (numero di molecole).

Abitualmente, le espressioni “trasformazione chimica” e “reazione chimica” sono ritenute equivalenti, ma non è così. Dato che i sistemi chimici possono essere descritti e interpretati a due livelli – macroscopico e microscopico – conviene riservare l’espressione *trasformazione chimica* per indicare il livello macroscopico e l’espressione *reazione chimica* per indicare il modello microscopico mediante il quale è possibile rappresentare la trasformazione chimica con uno *schema di reazione*. Il passaggio dalle sostanze reagenti alle sostanze prodotte viene interpretato come un processo di riorganizzazione degli atomi il cui numero si conserva: in questo modo si spiega la conservazione della quantità di materia a livello macroscopico. La situazione è analoga a quella che si presenta nel caso delle trasformazioni fisiche: per esempio, la fusione di un solido. Il passaggio dallo *stato solido* allo *stato liquido* è il fenomeno, ossia il fatto percepito con i sensi. Mediante il modello particellare e usando il linguaggio iconico è possibile proporre una *rappresentazione* del fenomeno che evidenzia la conservazione dell’identità delle sostanze (particelle dello stesso tipo) e la conservazione della massa (stesso numero di particelle).

Si usa l’espressione “schema di reazione” e non l’espressione tradizionale “equazione chimica” perché ciò che sta a sinistra del simbolo di reazione (la freccia) non è uguale a ciò che sta alla sua destra. Il sistema viene prima rappresentato con il linguaggio iconico perché ciò consente di evidenziare visivamente il numero di molecole coinvolte nel processo e permette di passare senza difficoltà allo schema di reazione grezzo. Da questo si passa allo *schema di reazione stechiometrico* introducendo le nozioni di “rapporto minimo quantitativo” tra le molecole delle sostanze che costituiscono il sistema e di **coefficiente stechiometrico** delle specie che figurano nello schema di reazione. Queste nozioni saranno riprese quando si affronteranno gli aspetti quantitativi delle trasformazioni chimiche e si costruirà il concetto di mole. Prendiamo come esempio (figura 21) le rappresentazioni condivise da un gruppo di studenti nella discussione delle risposte fornite alle richieste del FOL 6.16 (combinazione fra le sostanze diidrogeno e dicloro per produrre la sostanza cloruro di idrogeno).

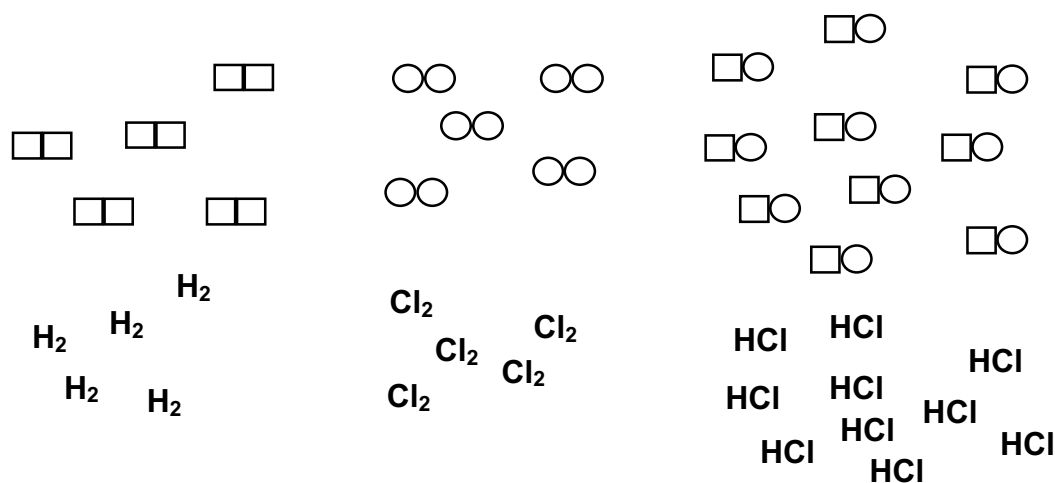


Figura 21 – Rappresentazioni iconica e simbolico chimica della trasformazione chimica di diidrogeno e dicloro in cloruro di idrogeno.

La discussione delle risposte fornite alla domanda tre porta rapidamente la classe a condividere il seguente **schema di reazione**: $H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$ mediante il quale è possibile cominciare a distinguere tra **indici di una formula chimica** e **coefficienti di una reazione chimica**.

Nel foglio di lavoro si richiede agli allievi di precisare, per ognuna delle sostanze prese in considerazione, se si tratta di una sostanza semplice o composta. In seguito, gli studenti distinguono i due tipi di sostanze usando le seguenti espressioni:

- Sostanze semplici: formate da **atomi dello stesso tipo**³
- Sostanze composte: formate da **atomi di tipo diverso**
- Miscele: formate da più di una sostanza

Le espressioni “atomi dello stesso tipo” e “atomi di tipi diversi” nascono dalla distinzione che alcuni studenti cominciano a introdurre facendo notare che, per esempio, la molecola di diidrogeno è costituita da due atomi, ma da un solo tipo di atomo. Si sente a questo punto la necessità di definire l'idea che esistano “atomi di uno stesso elemento”, ma la costruzione del concetto di elemento chimico necessita di un lungo percorso per essere acquisito e comunque richiede che gli allievi dispongano di un modello di struttura degli atomi. Però, è possibile cominciare a distinguere il concetto di atomo da quello di elemento facendo in modo che la nozione di elemento cominci a far valere la sua specificità e venga usata in modo epistemologicamente corretto. Questo sarà compito della sequenza seguente.

Vale la pena di segnalare che durante la discussione capita che alcuni allievi pongano interrogativi quali: *Come mai non è HCl_2 ?* oppure affermino: *“Secondo me, il dicloro e il diidrogeno si miscelano”* e/o *“Le sostanze composte sono formate da più tipi di molecole”*. Tali incertezze degli allievi confermano che l'acquisizione dei concetti e dei modelli della chimica non è un'operazione del tipo “tutto o nulla”, ma una lunga e spesso faticosa conquista personale che richiede continue ristrutturazioni dei propri schemi mentali. Sono queste operazioni cognitive che mettono in difficoltà gli allievi e l'insegnante deve aiutarli a padroneggiarle.

Per verificare l'operatività delle conoscenze acquisite, vengono proposte le attività dei fogli di lavoro 6.19 e 6.20 dove si studiano due diverse combinazioni chimiche delle sostanze gassose diazoto e diossigeno. In entrambi i casi, se gli allievi padroneggiano l'idea che i rapporti tra i volumi dei gas di partenza (reagenti) e il gas prodotto sono gli stessi che esistono tra il numero di molecole delle varie sostanze, allora dovrebbero essere in grado di:

determinare la formula molecolare dell'unico prodotto della trasformazione chimica;
scrivere lo schema di reazione con gli opportuni coefficienti.

Vengono discusse collettivamente le soluzioni proposte da ciascun allievo.

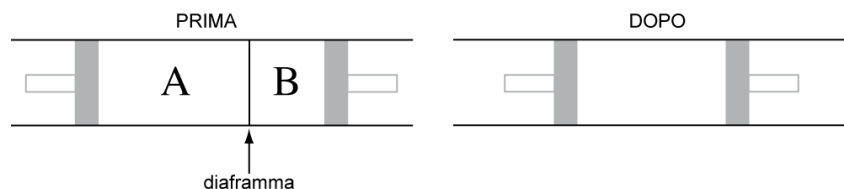
³ Non deve destare stupore che gli allievi introducano spontaneamente un'idea che la IUPAC propone come una delle definizioni di riferimento dell'elemento: *A species of atoms; all atoms with the same number of protons in the atomic nucleus*. Ovviamente, a questo livello di concettualizzazione, gli allievi si limitano alla proposizione “*A species of atoms*”, dove il termine *specie* è sostituito dal termine di uso quotidiano *tipo*.

D'altra parte, la relazione tra i concetti di atomo e di elemento, introdotta dagli allievi in questo contesto, appare molto simile a quella proposta da Mendeleev nel 1871: *“(Anche se, fino a Laurent e Gerhardt, i termini molecola, atomo, equivalente sono stati usati indifferentemente uno al posto dell'altro, e anche se oggi confondiamo spesso le espressioni sostanza semplice ed elemento, tuttavia, ciascuna di esse ha un significato ben preciso, che è importante precisare per evitare confusioni tra i termini usati in filosofia chimica.) Una sostanza semplice è qualcosa di materiale, metallo o metalloide, dotato di proprietà fisiche e che mostra determinate proprietà chimiche. All'espressione sostanza semplice corrisponde l'idea di molecola. (...) Bisogna riservare, al contrario, il termine elemento per caratterizzare le particelle materiali che formano le sostanze, e che determinano il loro comportamento dal punto di vista chimico e fisico. Il termine elemento richiama l'idea di atomo.”*

Studiamo la combinazione tra le sostanze gassose diazoto e diossigeno. Dato che si tratta di una trasformazione chimica tra sostanze allo stato gassoso, ammettiamo di operare a temperatura e pressione costanti.

La situazione sperimentale è la seguente. Un cilindro è chiuso alle due estremità da due pistoni mobili. Un diaframma rimovibile divide il cilindro in due contenitori a tenuta. Il contenitore A contiene 2 dm^3 di diazoto; il contenitore B contiene 1 dm^3 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 dm^3 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 lo schema della reazione chimica

Studiamo la combinazione tra le sostanze gassose diazoto e diossigeno. Dato che si tratta di una trasformazione chimica tra sostanze allo stato gassoso, ammettiamo di operare a temperatura e pressione costanti.

La situazione sperimentale è la seguente. Un cilindro è chiuso alle due estremità da due pistoni mobili. Un diaframma rimovibile divide il cilindro in due contenitori a tenuta. Il contenitore A contiene 2 dm^3 di diazoto; il contenitore B contiene 3 dm^3 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 dm^3 di una nuova sostanza.

1. Usando il modello particellare rappresenta le sostanze prima della trasformazione chimica (reagenti) e dopo la trasformazione chimica (prodotti).

Diazoto

Diossigeno

Nuova sostanza

2. Scrivi lo schema della reazione chimica

3. Denomina la nuova sostanza.

A questo punto, gli allievi sono, quasi tutti, in grado di determinare la formula molecolare sia dei reagenti sia della sostanza ottenuta nella trasformazione chimica, quindi sono capaci di attribuire gli opportuni indici a ogni formula chimica; sono inoltre in grado di rappresentare la trasformazione chimica sia iconicamente sia con i simboli chimici assegnando gli opportuni coefficienti nello schema

di reazione. Nella figura 22, vengono riportate le rappresentazioni delle trasformazioni chimiche prese in considerazione rispettivamente nei fogli di lavoro 6.19 e 6.20.

Inoltre, gli allievi sono in grado di assegnare a ogni sostanza il nome.

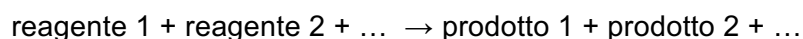


Figura 22 – Rappresentazioni iconiche e simbolico chimiche (reazioni chimiche) di due diverse trasformazioni chimiche in cui i reagenti sono gli stessi (diazoto e diossigeno) ma i rapporti di combinazione sono differenti.

La trasformazione chimica viene così modellizzata associandola a una **reazione chimica** che rende conto delle interazioni che hanno luogo fra le entità chimiche a **livello microscopico**.

La reazione chimica:

- modellizza la trasformazione chimica subita da un sistema chimico;
- indica in quali **proporzioni** i reagenti sono **consumati** e i prodotti sono **formati**;
- la sua scrittura simbolica si chiama **schema di reazione**:



Il senso della freccia indica il senso in cui evolve il sistema chimico

Per scrivere lo schema di reazione (o equazione di reazione) si ricorre:

- ai *simboli chimici* e alle formule chimiche per indicare i reagenti e i prodotti;
- ai *coefficienti stechiometrici* per precisare le proporzioni in cui i reagenti sono consumati e i prodotti sono formati;
- alla freccia (\rightarrow) per significare il passaggio dai reagenti ai prodotti (quindi uno schema di reazione descrive l'evoluzione di un sistema in cui avviene una reazione chimica);

In conclusione possiamo dire che **una trasformazione chimica è ciò che si vede**: la realtà.

Poiché è troppo complicato esprimere a parole le trasformazioni che avvengono in un sistema chimico, il chimico deve ricorrere a un modello. Questo modello si chiama **reazione chimica**.

Diremo quindi che **una reazione chimica è la modellizzazione di una trasformazione chimica**

ATTIVITÀ 5 – STRUTTURAZIONE DEI CONCETTI

Potrebbe essere necessario che l'insegnante metta in atto un'attività di strutturazione, invitando gli allievi a riconsiderare il lavoro svolto. Per esempio, si può riconsiderare la trasformazione chimica delle sostanze semplici diidrogeno e dicloro in cloruro d'idrogeno.

I simboli chimici

Per modellizzare questa trasformazione chimica, si ricorre alla reazione chimica e quindi si chiamano in gioco le molecole: una molecola di diidrogeno reagisce con una molecola di dicloro dando due molecole di cloruro d'idrogeno.

Per rappresentare questa reazione chimica si può ricorrere ai segni iconici:

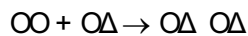
O = atomo d'idrogeno

Δ = atomo di cloro

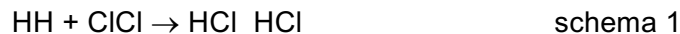
OO = molecola d'idrogeno ΔΔ = molecola di cloro

OΔ = molecola di cloruro d'idrogeno

Lo schema di reazione è il seguente:



I chimici però non utilizzano i segni iconici ma specifici simboli chimici che sono costituiti da una o due lettere dell'alfabeto. Per l'atomo di idrogeno utilizzano il simbolo H, per l'atomo di cloro utilizzano il simbolo Cl, e per la molecola di cloruro d'idrogeno il simbolo HCl. Passando dai segni iconici ai simboli chimici, lo schema di reazione diventa:



Gli indici

Aniché scrivere Cl Cl per indicare una molecola biatomica di dicloro, i chimici hanno deciso di scrivere una sola volta il simbolo chimico dell'atomo di cloro (Cl) e di indicare con un numero scritto a pedice il numero degli atomi presenti nella molecola (in questo caso due): **Cl₂**. La stessa convenzione vale per la molecola di diidrogeno che quindi viene indicata con il simbolo **H₂**. Quindi il simbolo di un elemento chimico seguito da un indice scritto a pedice indica *quanti atomi di un determinato tipo sono presenti in una molecola*. Gli indici sono numeri interi, generalmente piccoli; l'indice "1" è sempre sottinteso.

Esempio – Lo schema 1 diventa



Le formule chimiche

Il simbolo **H₂** indica che due atomi di idrogeno costituiscono una molecola di diidrogeno; quindi H₂ è il simbolo di una molecola di diidrogeno. Analogamente Cl₂ è il simbolo di una molecola di dicloro. Però il simbolo H₂ ha anche un altro significato: è la *formula chimica* della sostanza diidrogeno; analogamente Cl₂ è la *formula chimica* della sostanza dicloro e HCl è la *formula chimica* della sostanza cloruro d'idrogeno.

La formula chimica è una rappresentazione sintetica che usa i simboli chimici per indicare quanti atomi di un certo tipo sono presenti nella molecola di una sostanza.

Ad esempio, H₂O è la formula chimica della sostanza *acqua* e indica che in ciascuna molecola di acqua sono presenti due atomi di idrogeno e un atomo di ossigeno. NH₃ è la formula chimica dell'*ammoniaca* e indica che in ciascuna molecola di ammoniaca sono presenti un atomo di azoto e tre atomi d'idrogeno.

I coefficienti

Aniché scrivere HCl HCl per indicare due molecole di cloruro di idrogeno in uno schema di reazione, i chimici scrivono il simbolo della molecola e poi lo fanno precedere da un numero che indica quante sono le molecole: **2 HCl**. Tale numero è detto *coefficiente*, e indica la *quantità relativa di particelle* (atomi o molecole) coinvolte nella reazione. Mediante i coefficienti è dunque possibile indicare in quali proporzioni i reagenti sono consumati e i prodotti sono formati. I coefficienti sono sempre numeri interi. Anche in questo caso il numero "1" è sempre sottinteso.

L'insegnante chiede infine: *Come si scrive uno schema di reazione?*

Per scrivere uno schema di reazione si seguono le seguenti regole generali.

1. Scrivere le formule chimiche dei reagenti e dei prodotti.
2. Collocare i simboli dei reagenti a sinistra e separare due reagenti con il segno (+). Collocare i simboli dei prodotti a destra e separare due prodotti con il segno (+).
3. Separare i reagenti dai prodotti con una freccia (\rightarrow) la quale significa «per dare» e indica che i prodotti si formano a partire dai reagenti.
4. Bilanciare lo schema di reazione piazzando opportuni coefficienti davanti ai simboli dei reagenti e dei prodotti in modo che si abbia conservazione del numero degli atomi. Quando il coefficiente è 1, esso viene omissso.
5. Spesso si indica lo stato fisico dei reagenti e dei prodotti con opportuni simboli collocati immediatamente dopo il simbolo di ogni reagente e di ogni prodotto.