

NUCLEO TEMATICO 1: **PROPRIETÀ MACROSCOPICHE DELLA MATERIA**

1. Premessa	1
2. Modello particellare della materia su scala macroscopica	3
3. Proprietà macroscopiche dei gas, liquidi e solidi e trasformazioni fisiche (teoria cinetica, punti fissi, transizioni di fase)	6
4. Miscele omogenee ed eterogenee e tecniche di separazione delle miscele	11
5. Trasformazioni chimiche	14
6. Leggi fondamentali della chimica (Lavoisier, Proust, Gay-Lussac, Avogadro)	16
7. Leggi dei gas ideali (Boyle, Charles, Gay Lussac)	19

1. PREMESSA

Per proprietà macroscopiche della materia si intendono le proprietà osservabili della materia stessa. La comprensione del comportamento dei corpi è utile per interpretare le situazioni che si possono incontrare nella quotidianità. È inoltre importante comprendere la differenza tra cambiamenti di tipo fisico e di tipo chimico dei materiali.

Riflettere sulle proprietà macroscopiche della materia permette di avvicinarci gradualmente ad una adeguata comprensione della natura della materia.

La domanda su come la materia sia costituita divide fino dagli albori della civiltà i filosofi in due schieramenti. Tradizionalmente vengono richiamate due visioni contrapposte. Quella sostenuta da Democrito e quella propugnata dalle correnti idealiste¹ e compiutamente definita da Aristotele. Anassagora e Zenone posero un problema concettuale di enorme portata: quello dell'infinita divisibilità delle grandezze geometriche, Democrito formulò un modello che puntava al superamento di tale difficoltà. Il modello di Democrito si basa su questa assunzione: esiste una distinzione netta fra universo matematico e universo fisico. Se in geometria è possibile una infinita suddivisione dell'oggetto *virtuale* sottoposto a misura, ciò non è possibile in quello fisico. La suddivisione terminerà quando si giungerà alla più piccola porzione di materia: l'atomo. Affinché questo modello risulti valido, Democrito assegna proprietà specifiche all'atomo: *intrasformabile*, *indivisibile*, *impenetrabile*. Attribuisce all'atomo anche due qualità: la *grandezza* e la *forma*. Anche la relativa posizione degli atomi è importante, rivelandosi in questo un precursore delle dottrine atomistiche più recenti.

Questo elegante modello della realtà materiale pone però un enorme problema filosofico (che poi diventerà profondamente scientifico). Infatti, una volta definita la materia come discontinua, ci si deve chiedere che cosa ci sia tra un atomo e l'altro. La risposta che diede Democrito è: il *vuoto*, ossia l'assenza di materia nello spazio, ancorché minuscolo, fra gli atomi. Ed è nel vuoto che li circonda che gli atomi possono muoversi e collidere fra loro.

Per Aristotele, la cui visione informò il pensiero per molti secoli a venire, questa idea è assurda. E costruisce il suo ragionamento partendo dall'assunto che un corpo scagliato con una certa forza riesce a mantenersi in moto perché sostenuto dall'aria. Secondo il filosofo, se lo stesso esperimento venisse condotto nel vuoto il corpo non si muoverebbe affatto. Aristotele, infatti, considera che se un corpo si muove nel vuoto, esso non dovrebbe incontrare alcuna resistenza, con l'assurda conseguenza che si muoverebbe con velocità infinita e per un tempo e uno spazio infiniti. Bisognerà raggiungere la definizione del moderno principio di inerzia per superare questa visione.

Il tema del vuoto rimase una bestia nera per la ragione, e forse fu l'esperimento di Torricelli che, evidenziando la presenza del vuoto in testa al tubo barometrico, dimostrò che l'assenza di materia è una condizione possibile.

Si ritiene rilevante e più proficuo proporre un percorso, per la preparazione dello studente all'ingresso ai corsi universitari, che va dallo studio ed interpretazione dei fenomeni a livello macroscopico verso la loro interpretazione submicroscopica e infine nucleo-elettronica. A tal fine

¹ "L'atomismo di Democrito, ripreso poi - se pure parzialmente modificato - da Epicuro, costituisce il patrimonio più prezioso che i greci trasmisero, nel campo delle interpretazioni generali della natura, alle epoche successive, ed ebbe una funzione determinante, nel XVI e XVII secolo, per la formazione della scienza moderna. È stata la sorda lotta contro il filosofo di Abdera, costantemente condotta da tutte le correnti idealistiche (a partire da Platone, che non ne cita mai neppure il nome, fino agli hegeliani), a seppellire nel silenzio molti risultati - anche di argomento particolare, per esempio matematico - delle sue meravigliose ricerche". Ludovico Geymonat_Vol 1. L'antichità. Il medioevo. Garzanti. p.152

si devono acquisire le conoscenze e le abilità relative a tutti i punti di questa sezione declinati qui di seguito più in dettaglio.

2. MODELLO PARTICELLARE DELLA MATERIA SU SCALA MACROSCOPICA

La materia, dunque, può essere vista come un insieme di particelle submicroscopiche. Tutti i corpi materiali nei diversi stati di aggregazione possono essere modellizzati come un insieme di particelle, tra loro più o meno fortemente legate passando dai solidi, ai liquidi e ai gas.

Il modello particellare della materia consente di comprendere e spiegare numerosi fenomeni sia fisici che chimici. Come fece Democrito, sarà utile definire gli assiomi/postulati del modello che ci consentiranno di interpretare i diversi modi in cui si presentano i corpi fisici e le trasformazioni alle quali possono essere sottoposti.

Un *Corpo* può essere definito come una porzione definita di materia. Entro questa definizione può rientrare qualsiasi oggetto. È quindi importante conoscere la definizione di “corpo puro”, attraverso la quale, per mezzo del modello particellare, diviene agevole definire i tre stati fondamentali della materia (solido, liquido e aeriforme)

Per un *corpo puro* si possono individuare i seguenti elementi del modello particellare.²

- 1) Una particella non si può dividere, è indivisibile (Democrito).
- 2) Una particella non può cambiare forma, è indeformabile (Democrito).
- 3) Una particella ha sempre le stesse dimensioni.
- 4) Una particella ha sempre la stessa quantità di materia (la grandezza di Democrito).
- 5) Un solo tipo di particella individua una sola 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 del corpo (Democrito).
- 8) Le particelle sono più o meno stipate tra loro e quindi più o meno vincolate le une alle altre a seconda dello stato fisico corpo.

² E. Roletto, P.G. Albertazzi, A. Regis. Le attività di modellizzazione nell'educazione alle scienze. Parte seconda: il modello particellare. CnS, XVIII n.2, (1996) 37-47

- 9) Le particelle sono più o meno libere di muoversi e/o spostarsi a seconda dello stato fisico del corpo.
- 10) Le particelle sono disposte in modo più o meno ordinato a seconda dello stato fisico del corpo.

I punti dall'1 al 6 del modello consentono di interpretare il comportamento dei corpi sottoposti a sollecitazioni di diversa natura (ad esempio: la compressione, la dilatazione a seguito del riscaldamento, il mescolamento di due corpi, ecc.). I punti successivi (7-10) consentono di rappresentare i diversi "modi" nei quali il corpo fisico si presenta e di darne una definizione esauriente e esaustiva:

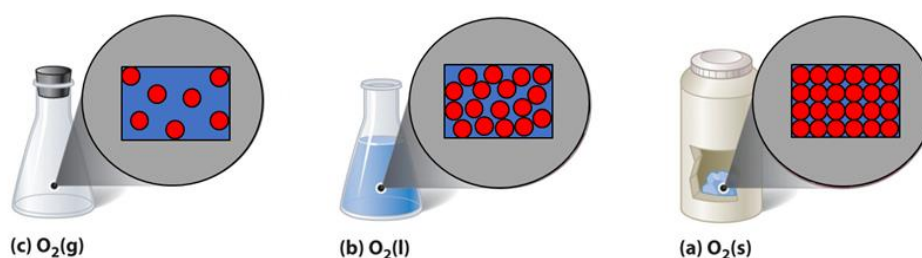
- per corpo solido si intende un corpo che: ha una forma ben definita; occupa uno spazio ben definito; non è comprimibile;
- per corpo liquido si intende un corpo che: si adatta alla forma che lo contiene; occupa uno spazio ben definito; è un po' più comprimibile di un corpo solido, ma comunque è poco comprimibile;
- per corpo gassoso si intende un corpo che: non ha una forma ben definita; non occupa uno spazio ben definito, ma tutto lo spazio a disposizione; è molto comprimibile.

I corpi solidi, pur mantenendo le caratteristiche sopra indicate, possono presentarsi con proprietà (dette *reologiche*) molto diverse. Abbiamo infatti solidi: compatti, pulverulenti, granulari, fibrosi, spugnosi, ecc. Lo stesso discorso vale per i corpi liquidi che possono presentarsi in una gamma di *viscosità* molto diversa (l'acqua e la maionese, ad esempio).

È importante ricordare che le rappresentazioni non replicano in alcun modo la realtà fisica dei corpi ma la rappresentano attraverso il modello interpretativo che ci si è dati.

Nella figura riportata qui di seguito è visualizzato l'aspetto macroscopico dei tre stati di un corpo e la loro rappresentazione grafica (nel riquadro grigio) costruita rispettando i punti del modello particellare.

La rappresentazione dello stato gassoso evidenzia come lo spazio fra le particelle sia più grande della dimensione della particella stessa e vi sia una distribuzione caotica/casuale delle particelle. Per lo stato solido, gli spazi vuoti sono molto più piccoli delle dimensioni delle particelle, che sono disposte in maniera ordinata. Il corpo liquido ha una rappresentazione simile a quella del corpo solido ma le particelle, che mantengono distanze fra loro minori delle dimensioni, sono disposte in



maniera più disordinata e non sono vincolate le une alle altre come nel solido (cosa che permette di giustificare il comportamento tipico dei liquidi di adattarsi alla forma dei contenitori).

CONOSCENZE

- Sapere che la materia è discontinua
- Conoscere il concetto di “vuoto”
- Conoscere il modello particellare dei corpi fisici

ABILITÀ

- Applicare il modello particellare per la descrizione di una sostanza solida, liquida e gassosa

3. PROPRIETÀ MACROSCOPICHE DEI GAS, LIQUIDI E SOLIDI E TRASFORMAZIONI FISICHE (TEORIA CINETICA, PUNTI FISSI, TRANSIZIONI DI FASE)

Il modello particellare consente un'agevole descrizione dei fenomeni che vanno sotto il nome di trasformazione fisica. Consideriamo come esempio il processo di espansione di un gas a seguito di un riscaldamento. Si può considerare un esempio ideale: un corpo gassoso puro contenuto in un pistone che a seguito del riscaldamento si sposta verso l'alto a causa dell'occupazione di un maggiore volume da parte del gas. Questo esempio ideale può essere riprodotto facilmente se, al posto del corpo gassoso puro usiamo aria (una miscela, vedi più avanti) e al posto del pistone un palloncino parzialmente riempito di aria.

Con il modello particellare si può facilmente giustificare il fenomeno considerando il fatto che le particelle si allontanano fra loro andando a occupare un volume maggiore di spazio a seguito del riscaldamento (vedi punti 3 e 4 del modello).

Un'altra conclusione che si può derivare è che il movimento del pistone o la dilatazione del palloncino non possano essere dovuti che agli urti delle particelle contro la superficie mobile del pistone o la parete del palloncino. Sarà dunque a questi urti, che possiamo attribuire il fenomeno osservato.

Abbiamo evidenziato che vi è una differenza fra un corpo gassoso puro e l'aria. I due corpi si possono definire in maniera più precisa introducendo la nozione di **sostanza** che è una porzione di un corpo che contiene *un solo tipo di particelle* e di **miscela** che è una porzione di un corpo che contiene *almeno due tipi di particelle diverse*.

Le sostanze pure possono essere caratterizzate dai loro *punti fissi* che corrispondono alla temperatura alla quale la sostanza pura passa da uno stato fisico ad un altro. I punti fissi sono la temperatura di: *fusione* e *congelamento* (passaggio da solido a liquido e passaggio opposto); *ebollizione* e *condensazione* (passaggio da liquido a vapore e passaggio opposto). La T di ebollizione e la T di fusione sono i due punti fissi molto importanti, perché permettono di identificare con buona accuratezza il tipo di sostanza in esame. Infine, vi sono altri due passaggi di stato da citare: *sublimazione* e *brinamento* che indicano il passaggio di stato da solido a vapore e il passaggio opposto senza che avvenga il passaggio nello stato intermedio, liquido.

Le trasformazioni sopra citate si definiscono *fisiche*. In esse ciò che cambia è lo stato *fisico* della materia: in un passaggio di stato che coinvolge una sostanza non cambiano le caratteristiche della sostanza stessa. Una certa quantità di acqua che passa da solido, liquido a vapore mantiene inalterate le sue caratteristiche anche quando dallo stato vapore ritorna allo stato solido. Questo aspetto è quello che distinguerà, come vedremo, le trasformazioni fisiche da quelle chimiche.

CONOSCENZE

- Conoscere il concetto di sostanza
- Conoscere il concetto di miscela
- Conoscere il significato dei punti fissi

ABILITÀ

- Applicare il modello particellare per la descrizione dei cambiamenti di stato e dei principali fenomeni fisici relativi a un corpo solido puro
- Interpretare una curva di raffreddamento o riscaldamento individuando correttamente i punti fissi

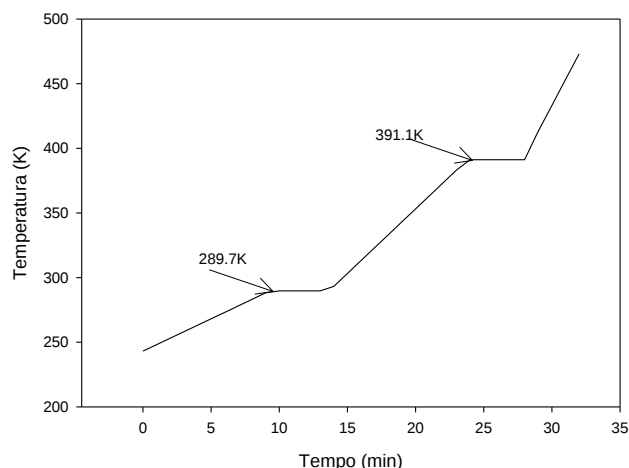
Esempi di quesiti

Quesito 1

Un recipiente contenente acido acetico in fase liquida e solida viene scaldato. Durante questo processo, finché sono presenti entrambe le fasi:

- A.** una parte di acido acetico solido è convertito nella sua fase liquida
- B.** non avviene alcun cambiamento di stato
- C.** la temperatura della fase liquida si abbassa
- D.** la temperatura di entrambe le fasi sale
- E.** la temperatura della fase liquida sale man mano che la fase solida fonde

Il riscaldamento graduale di una sostanza consente di osservare e determinare i punti fissi primi descritti. Si ottengono curve di riscaldamento come quella riportata in figura.

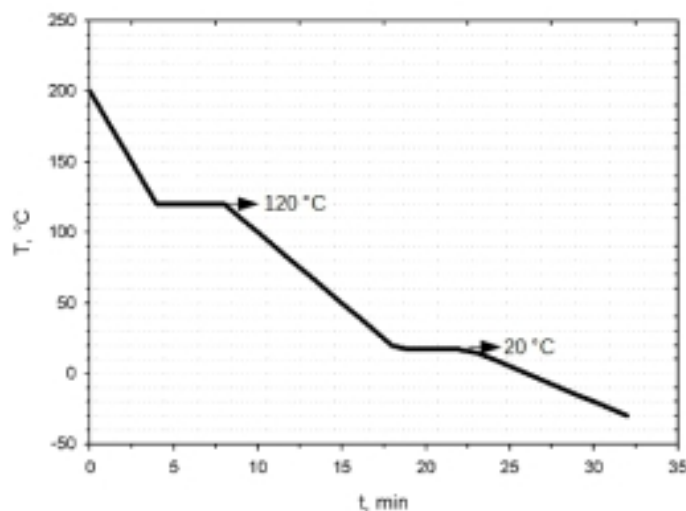


In esse sull'asse delle ascisse è riportato il tempo di riscaldamento e sulle ordinate la temperatura misurata del campione sottoposta all'esperimento. Partendo dal solido il corpo aumenta di temperatura. Le particelle del solido tendono ad allontanarsi le une dalle altre fino al momento nel quale una porzione di materia passa allo stato liquido. Per un certo tempo le due fasi, solida e liquida, coesisteranno. Il calore fornito servirà unicamente a completare il passaggio di stato e non si osserverà un contestuale aumento della temperatura del corpo (primo tratto orizzontale della curva a 289,7 K). Lo stesso fenomeno avviene nel passaggio di stato L/V (secondo tratto orizzontale della curva a 391,1 K). Queste zone, denominate soste termiche, permettono di individuare bene il passaggio di stato e determinarne la temperatura.

Nella domanda viene specificato che sono presenti la fase liquida sia la fase solida della sostanza acido acetico. Siamo dunque nella prima sosta termica di una ipotetica curva di riscaldamento: la zona in cui non vi è cambiamento di temperatura. Possiamo quindi escludere la risposta **D**. Nella sosta termica il corpo ha una temperatura uniforme, quindi questo esclude la risposta **C** e la **E**. Anche la **B** si può escludere, in quanto il cambiamento di stato sta avvenendo visto che la fase solida si sta convertendo nella fase liquida. Rimane dunque la risposta **A** che è quella corretta.

Quesito 2

Considera la seguente curva di raffreddamento:



- A.** a $T\ 120^{\circ}\text{C}$ la sostanza inizia a condensare
- B.** la temperatura di fusione della sostanza è 150°C
- C.** è la curva di raffreddamento dell'acqua
- D.** alle temperature comprese fra 50°C e 100°C la sostanza è allo stato solido
- E.** a $T = 120^{\circ}\text{C}$ la sostanza inizia a evaporare

Si tratta di una curva di raffreddamento nella quale sono distinguibili due soste termiche. La prima si riferisce al passaggio dalla fase vapore a quella liquida, il punto fisso di 120°C rappresenta quindi la temperatura di condensazione della sostanza. La seconda sosta termica, a 20°C , rappresenta il congelamento della sostanza che passa dallo stato liquido a quello solido: è, quindi, la temperatura di fusione. Analizzata in questo modo la figura, possiamo escludere la risposta **B** in quanto 150°C è uno dei punti misurati della temperatura durante il raffreddamento; tale valore è quello raggiunto dalla sostanza in esame allo stato vapore a seguito della sottrazione di una adeguata quantità di calore. La **C** non è accettabile perché è noto che i punti fissi dell'acqua sono 100°C e 0°C . La **D** indica un intervallo di temperatura compreso fra le due soste termiche: in questa zona la sostanza è allo stato liquido. **A** ed **E** fanno entrambe riferimento alla temperatura di 120°C : a questa temperatura, trattandosi di una curva di *raffreddamento*, la sostanza comincia a condensare e non a evaporare (cosa che avviene nel processo inverso di riscaldamento). Quindi si esclude la risposta **E** e rimane come risposta corretta la **A**.

4. MISCELE OMOGENEE ED ETEROGENEE E TECNICHE DI SEPARAZIONE DELLE MISCELE

Abbiamo visto che il modello particellare permette di interpretare la formazione delle miscele, quando particelle di sostanze diverse vengono tra loro mescolate. È possibile individuare due classi principali di miscele: omogenee ed eterogenee. Le miscele omogenee sono caratterizzate dall'avere un'unica fase. Possiamo chiamare una miscela omogenea con il termine più corrente di *soluzione*. Un esempio di miscela omogenea è una soluzione di acqua zuccherata (soluzione Solido/Liquido). Anche le leghe rientrano nella categoria delle soluzioni, essendo miscele omogenee Solido/Solido. Nelle miscele eterogenee è possibile identificare due o più fasi. Un esempio comune di miscela eterogenea è una miscela (Solido/Liquido) costituita da limatura di ferro e acqua. Le miscele eterogenee possono presentarsi sotto forme complesse come le sospensioni (Solido/Liquido) le emulsioni (Liquido/Liquido) le rocce (Solido/Solido), i fumi (Solido/Gas) e le nebbie (Liquido/Gas)

Le miscele omogenee e quelle eterogenee possono, entro certi limiti, essere separate nei loro componenti. Naturalmente molto dipende dal tipo e dal numero di componenti che costituiscono tali sistemi. Le tecniche più comuni includono la *distillazione* che sfrutta la diversa temperatura di ebollizione dei componenti liquidi che costituiscono la soluzione (esempio: distillazione dell'etanolo; distillazione del petrolio) e la *cristallizzazione*, per soluzioni S/L, nelle quali si sfrutta la possibilità di riottenere il soluto nella sua forma aggregata solida. Per miscele eterogenee si può utilizzare la *decantazione*, la *filtrazione* e la *centrifugazione*.

Un altro aspetto importante è che una miscela non presenta i punti fissi che caratterizzano una sostanza: ad esempio il riscaldamento di una cera (una miscela solida di paraffine) porta a un progressivo riscaldamento di tutto il corpo senza che si colga alcuna sosta termica.

CONOSCENZE

- Conoscere il concetto di miscela
- Conoscere i diversi tipi di miscele e il loro aspetto
- Conoscere le principali tecniche di separazione per soluzioni e miscele eterogenee

ABILITÀ

- Applicare il modello particellare per la descrizione di una miscela omogenea e eterogenea
- Riconoscere la tecnica (o le tecniche) più appropriate per separare le miscele
- Distinguere fra miscela omogenea (soluzione) e miscela eterogenea

Esempi di quesiti

Quesito 3

Come si può separare una miscela eterogenea di due liquidi?

- A.** Centrifugazione
- B.** Cristallizzazione
- C.** Filtrazione
- D.** Sublimazione
- E.** Nessuna delle precedenti

Il testo della domanda ci indica che siamo in presenza di un corpo liquido costituito da due fasi (miscela **eterogenea** di **due** liquidi). Possiamo immaginare una miscela semplice come acqua e olio. Scartiamo subito la risposta **D**, in quanto la sublimazione è un passaggio di stato di una sostanza (da Solido a Liquido) e non una tecnica di separazione. Nelle altre risposte sono invece indicate tecniche separative. Scartiamo la risposta **C**, perché la filtrazione si applica a miscele eterogenee nelle quali sia presente una fase solida (si versa la miscela su un filtro che, in funzione della sua porosità, trattiene le particelle solide e lascia passare la parte liquida della miscela. La risposta **B** è da escludere, perché si può cristallizzare un soluto solido presente in una soluzione, ossia la tecnica non è adatta a soluzioni o miscele L/L. La centrifugazione è la tecnica adeguata, poiché sfruttando la diversa densità dei due liquidi, implicita nella presenza di due fasi riconoscibili, consente di ottenere i due liquidi separati in due strati ben distinguibili: la centrifugazione accelera la naturale stratificazione delle due fasi che sarebbe ottenibile anche per *decantazione*. La centrifugazione, benché più frequentemente usata per separare la parte solida di una miscela eterogenea, ben si presta anche nel caso di due liquidi di densità differente. La risposta corretta è dunque la **A**. Una volta individuata la risposta corretta, naturalmente si scarta quella che le esclude tutte.

Quesito 4

Quale delle seguenti è una miscela omogenea?

- A.** Alcol metilico / acqua
- B.** Acqua / limatura di ferro
- C.** Acqua / olio
- D.** Alcol etilico / limatura di ferro
- E.** Olio / zolfo

Le miscele omogenee sono caratterizzate dall'assenza di separazioni di fasi osservabili. Per rispondere correttamente bisogna richiamarsi alle proprietà dei materiali comuni riportati nelle possibili risposte. Limatura di ferro e zolfo sono solidi che se introdotti in un liquido, come olio, acqua, o alcol etilico non tendono a solubilizzarsi, rimanendo come corpo solido più o meno disperso. Ciò esclude le risposte **B**, **D** ed **E**. L'olio è una miscela omogenea liquida ma molto poco affine all'acqua. Mescolando olio e acqua è noto che si separano due fasi. Quindi la miscela indicata nella risposta **C** è eterogenea. Rimane la miscela **A**, che può essere scelta per esclusione delle precedenti ma che dovrebbe richiamare la composizione dei distillati, miscele notoriamente omogenee, nei quali è presente a concentrazioni sostenute un composto della stessa classe dell'alcol metilico, l'alcol etilico. La risposta corretta è dunque la **A**.

5. TRASFORMAZIONI CHIMICHE

I sistemi possono essere soggetti a cambiamenti, detti trasformazioni, che implicano il passaggio del sistema da uno stato iniziale a uno stato finale (diverso da quello iniziale). Nel corso di una trasformazione vi è sempre qualcosa che cambia, detto *variante*, e qualcosa che non cambia, detto *invariante*. L'evoluzione di un sistema in cui si *conservano le identità delle sostanze coinvolte* e la loro massa totale prende il nome di *trasformazione fisica*. Il modello particellare, che abbiamo precedentemente descritto, postula che i corpi siano costituiti di particelle indivisibili. Con questo modello è possibile spiegare, a livello microscopico, tutte le trasformazioni fisiche delle sostanze.

Dunque, le trasformazioni fisiche presentano come *invariante la sostanza*. Una sostanza passa da uno stato fisico all'altro *senza cambiare i suoi attributi*: l'acqua, ad esempio, è sempre costituita dalle stesse particelle, in tutti i suoi stati di aggregazione.

Ci sono alcune trasformazioni nelle quali la sostanza non si conserva inalterata e cambia i suoi attributi al termine della trasformazione. Un esempio della vita quotidiana è il comparire della ruggine su un pezzo di ferro. La sostanza iniziale ferro, che ha attributi caratteristici (lucentezza, colore grigio, compattezza, ecc.), se esposta all'umidità e all'aria perde quegli attributi: non è lucida, è di colore rossastro, è friabile. Anche se non sappiamo come denominare questa "cosa" nuova, capiamo che la sostanza iniziale si è trasformata in qualcosa di diverso: una *nuova* sostanza. Si possono citare numerosissimi altri esempi: l'aceto su un guscio di uovo (o sul deposito biancastro di calcare sui lavandini di casa), la polpa di una mela che si imbrunisce, la cottura di un uovo o di una bistecca, la combustione del gas della cucina e tanti altri.

È chiaro che questa nuova categoria di trasformazione non è più interpretabile con il modello particellare introdotto per le sostanze, poiché viene meno il postulato che la particella sia sostanzialmente immodificabile. Si deve concludere che in queste trasformazioni le particelle di una sostanza cambiano i loro attributi, nel passaggio dallo stato iniziale a quello finale.

Questo tipo di trasformazioni che definiamo *chimiche* possono manifestarsi a livello macroscopico con *evidenti variazioni* percepibili dai sensi: un cambiamento di colore, lo sviluppo di un gas, la formazione di un corpo solido (precipitato), lo sviluppo di un odore, l'emissione di luce. Anche l'assorbimento o lo sviluppo di calore sono indizi di una possibile trasformazione chimica, anche se anche processi fisici possono dare lo stesso effetto. In definitiva, nella trasformazione chimica l'identità chimica della sostanza si perde, perché si forma una nuova sostanza.

Questa riflessione porta a concludere che le sostanze sono rappresentabili con unità (strutturali) modificabili: le *molecole*, costituite da componenti ancora più piccoli che chiamiamo *atomi*. Vedremo più avanti che ciò che rimane *invariante* in queste trasformazioni sarà l'*elemento*.

La trasformazione chimica che riconosciamo a livello macroscopico può essere convenientemente rappresentata attraverso lo schema (equazione) di reazione che ne è il modello a livello submicroscopico, e che sarà illustrata nel prossimo nucleo tematico *Proprietà Microscopiche Della Materia E Composizione Delle Sostanze*.

CONOSCENZE

- Conoscere il significato di trasformazione chimica
- Sapere identificare l'invariante di una trasformazione fisica (la sostanza)
- Riconoscere l'esistenza di unità strutturali (molecole) che perdono la loro identità nel processo della trasformazione chimica

ABILITÀ

- Distinguere tra una trasformazione fisica e una trasformazione chimica
- Rappresentare con il modello particellare una trasformazione chimica

Esempi di quesiti

Quesito 5

Indicare quale fra i seguenti processi è una trasformazione chimica.

- A.** Ossidazione del ferro
- B.** Dissoluzione dell'etanolo in acqua
- C.** Ebollizione dell'acqua
- D.** Filtrazione di un precipitato di carbonato di calcio
- E.** Sublimazione dello iodio

Le risposte **C** ed **E** si riferiscono a passaggi di stato. In essi l'identità della sostanza non muta, quindi si possono escludere come trasformazioni chimiche. La risposta **D** si riferisce a una *tecnica* per la separazione di sostanze in miscele (in questo caso una miscela eterogenea), le sostanze al termine del processo rimangono inalterate (è lo scopo della tecnica) quindi non si ha trasformazione chimica. La risposta **B** descrive la preparazione di una soluzione che non implica alcuna trasformazione delle sostanze che partecipano al processo: infatti, nel caso indicato, sarà possibile riottenere le sostanze di partenza isolandole mediante una distillazione. Rimane dunque come unica scelta logica il processo di ossidazione del ferro proposto dalla risposta **A**, che è quella corretta.

6. LEGGI FONDAMENTALI DELLA CHIMICA (LAVOISIER, PROUST, GAY-LUSSAC, AVOGADRO)

L'attività di Lavoisier si colloca in un periodo di notevole avanzamento degli studi chimici. Alla fine del '700, si raccolgono numerosi fatti sperimentali per opera di diversi scienziati. In particolare si giunge a isolare numerosi gas. Il quadro interpretativo del tempo era la "teoria del flogisto" che invoca tale principio immateriale (non pesabile) di infiammabilità per interpretare numerosi fenomeni chimici ad es.: le combustioni e le calcinazioni. In questi anni si mettono a punto anche numerosi apparati per la produzione e raccolta delle "arie". Si caratterizzano le *arie* per la diversa densità (pesandone volumi uguali) e si iniziano studi basati sulla variazione dei rapporti tra volumi di gas reagenti e volume di gas prodotto. Si dimostra quantitativamente (Cavendish, 1784) come l'acqua sia composta da idrogeno (Aria infiammabile) e ossigeno (Aria deflogistizzata). Si scopre che alcune *arie* sono solubili in acqua e quindi si modificano i raccoglitori ad acqua utilizzando, al suo posto, mercurio. Come afferma Solov'ev³: "tra gli anni '70 e '80 del XVIII secolo si era raccolto un gran numero di fatti reali, che attendevano solo una generalizzazione scientifica".

Tale compito fu assolto da Lavoisier che, a partire dai risultati accumulati in quei tempi, compie un lavoro di enorme importanza, scardinando la teoria del flogisto, formulando la teoria della combustione secondo la quale i corpi bruciano nell' "aria pura" (il nostro ossigeno) e l' "aria pura" viene *consumata* nella combustione e *l'aumento di peso del corpo combusto è pari alla diminuzione di peso dell'aria pura*. Nel 1783 formula la "**Legge di conservazione della massa**" o Prima legge ponderale: **nel corso di una reazione chimica la somma delle masse dei reagenti è uguale alla somma delle masse dei prodotti**.

L'approccio sperimentale di Lavoisier consente di sgombrare il campo dalla teoria dell'immateriale flogisto e offre una guida per gli studi in chimica. Nel 1806 Proust a conclusione di uno studio sistematico su alcuni composti del rame di provenienza diversa giunge alla conclusione che il *composto sia un prodotto privilegiato cui la natura ha dato composizione costante*. Si tratta della seconda legge ponderale (di Proust) o "**Legge delle proporzioni definite**": **in ogni sostanza composta, il rapporto tra le masse delle sostanze elementari che lo costituiscono è definito e costante**.

La terza legge ponderale (di Dalton) o "**Legge delle proporzioni multiple**" (1808) è parte della sua teoria atomica⁴. Secondo tale legge: **quando un elemento si combina con la stessa massa di un**

³ Jurij I. Solov'ev. L'evoluzione del pensiero chimico. Dal '600 ai giorni nostri. Mondadori (1976)

⁴ La teoria atomica di Dalton è costituita da questi punti: 1. La materia è formata da particelle indivisibili e indistruttibili, gli atomi; 2. Le sostanze semplici sono formate da atomi tutti uguali e con la stessa massa; 3. Atomi di sostanze semplici diverse (idrogeno, ossigeno, carbonio, ecc.) sono diversi tra di loro e hanno masse diverse; 4. *I composti sono sostanze formate dall'unione di due o più atomi diversi che si combinano secondo un rapporto definito e non frazionario*; 5. in una combinazione chimica gli atomi degli elementi conservano la loro identità e non vengono distrutti (cambia soltanto il modo in cui essi si combinano per formare un composto).

secondo elemento per formare composti diversi, le masse stanno tra loro in rapporti esprimibili mediante numeri interi e piccoli.

Guy Lussac, a seguito di studi di trasformazioni chimiche fra sostanze gassose, osserva che la conclusione di Dalton sui rapporti semplici nei composti, riferita alle masse, è valida anche nel caso di sostanze gassose. Secondo la **legge dei volumi (1808) la reazione fra gas ha luogo nei rapporti più semplici fra loro.**

L'analogia stretta fra massa e volume (Guy Lussac) e fra numero di particelle e massa della sostanza (Dalton) prelude all'ipotesi, avanzata nel 1811 da Amedeo Avogadro, che **volumi uguali di gas diversi, misurati nelle stesse condizioni di T e di P, contengono lo stesso numero particelle (molecole).**

Una delle sette unità di misura fondamentali del Sistema Internazionale di Unità è la **mole** (simbolo: *mol*).

La mole è la quantità di sostanza di un sistema che contiene tante *entità elementari* quanti sono gli atomi contenuti in 0,012 kg di carbonio-12 (^{12}C). Attenzione che l'attribuzione alla massa del ^{12}C è del valore di "12" *unità di massa atomica (u)* è frutto di una *convenzione*. Si definisce poi sempre per convenzione che la *massa* di **una mole di ^{12}C** sia pari a 0,012 kg (12 g). A questo punto il numero di unità discrete presenti *una mole di ^{12}C* diventa una costante, poiché è stata imposta una precisa relazione tra massa relativa, in unità di massa atomica, della «unità strutturale» (atomo, molecola, ione) di una specie chimica e massa in grammi di una mole di tali particelle. Questo valore è la costante o numero di Avogadro $N_A = (6,022045 \pm 0,000031) \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Ogni mole di sostanza è contenuta in una massa pari all'unità di massa o molecolare relativa e contiene sempre lo stesso numero di particelle.

CONOSCENZE

- Conoscere gli enunciati delle leggi ponderali
- Conoscere l'enunciato dell'ipotesi di Avogadro
- Conoscere la definizione di mole
- Conoscere l'ordine di grandezza del numero di Avogadro N_A

ABILITÀ

- Applicare le leggi ponderali per semplici bilanci di massa
- Rappresentare con il modello particellare una trasformazione chimica
- Eseguire semplici calcoli che coinvolgono il concetto di mole e la sua relazione con massa atomica relativa e massa molare relativa

Esempi di quesiti

Quesito 6

Se una mole di fluoruro di idrogeno (HF) corrisponde a 20g, quante molecole sono contenute in 2,0 g di questa sostanza?

- A.** Un numero pari a 0,1 volte il N_A di molecole
- B.** Un numero pari a 20 volte il N_A di molecole
- C.** Un numero pari al N_A di molecole
- D.** Un numero pari a 2,0 volte il N_A di molecole
- E.** Un numero pari a 100 volte il N_A di molecole

Abbiamo visto che una quantità di sostanza pari al peso in grammi della massa molare relativa (o del peso atomico relativo) contiene un numero di Avogadro di particelle (circa 6.022×10^{23}). Nel testo ci viene detto che 20 g corrispondono a una mole (infatti 20 è con buona approssimazione la massa molare relativa dell'fluoruro di idrogeno) dunque 2,0 g corrispondono a un decimo della massa di una mole ($20/10 = 0,20$). La risposta corretta è dunque la **A**. La **B**, la **C** e la **E** andrebbero escluse comunque, perché se considero una massa minore, non vi può essere un numero uguale (**C**) o maggiore (**B** ed **E**) di particelle (vedi modello particellare) rispetto a quello contenuto nella massa corrispondente a una mole di quantità di sostanza. La risposta **D** è un distrattore che punta sull'analogia con il numero di grammi del quesito (2,0), ma è un valore che non può essere giustificato con alcun procedimento logico.

7. LEGGI DEI GAS IDEALI (BOYLE, CHARLES, GAY LUSSAC)

Abbiamo visto che un corpo gassoso presenta alcune proprietà peculiari che lo distinguono dagli altri stati della materia. In particolare, le particelle di cui è costituito si muovono in modo disordinato occupando tutto lo spazio a disposizione. Questa “*occupazione*” di spazio deve essere considerata con attenzione. Tra le particelle, infatti c’è uno spazio **vuoto**. Tale spazio vuoto molto più vasto del volume fisico occupato dalle singole particelle rimane tale fino a quando il gas non si trovi prossimo alla condensazione, trasformandosi nel liquido corrispondente. Un corpo gassoso sottoposto a riscaldamento può espandersi (sollevando un pistone o “stirando” le pareti elastiche di un palloncino), se viene raffreddato si può osservare il fenomeno opposto: la compressione. Espansione e compressione possono essere indotti anche da operazioni meccaniche. L’esempio più facile da replicare è la compressione che si riesce a operare spingendo il pistone di una siringa tarata o, operazione opposta, tirando il pistone.

L’effetto della pressione sul volume di un gas (esempio del pistone spinto in una siringa tappata) fu studiato da un altro scienziato: Robert Boyle (1627–1691). Egli verificò sperimentalmente una relazione di proporzionalità inversa fra volume e pressione, il che significa che per una determinata quantità di gas a una determinata temperatura, il prodotto fra il volume del gas e la sua pressione si mantengono costanti:

Legge di Boyle: $V \propto 1/P \rightarrow PV = k_1$

Il modello particellare ci consente anche di intuire che il processo che determina lo spostamento del pistone a seguito di un riscaldamento sia dovuto ad un incremento di urti delle particelle contro la parete del pistone. Se il numero di urti aumenta significa che anche la velocità delle particelle aumenta all’aumentare della temperatura.

Fu Jacques Charles (1746–1823) il primo a studiare quale relazione vi fosse fra volume e temperatura, riuscendo a dedurre, da una serie di esperimenti, l’esistenza di una proporzionalità diretta fra il volume di una data quantità di un gas e la sua temperatura assoluta, espressa in Kelvin:

Legge di Charles: $V \propto T \rightarrow V = k_2 T$

Ora combinando queste due leggi otteniamo

$$V = k_1/P \quad \text{e} \quad V = k_2 T \rightarrow V = k_1 k_2 T/P$$

$$\text{Quindi } V = KT/P \quad \text{da cui} \quad \mathbf{PV / T = COSTANTE}$$

Questa “legge combinata” esprime il fatto che pressione, volume e temperatura di una certa quantità di gas sono fra loro collegate attraverso una costante di proporzionalità. Con questa reazione è possibile descrivere e prevedere il comportamento dei gas in molteplici situazioni.

Un ulteriore passo si può fare riconsiderando i risultati ottenuti da Avogadro, che portano a dire che ad una certa temperatura e pressione il volume del gas dipende dal numero di particelle, ossia $V \propto n$.

Quindi, se consideriamo tutte le grandezze che sono correlate al volume è facile ricavare che:

$$V \propto n T / P$$

Questo comportamento è rispettato entro certe condizioni. La costante di proporzionalità che si inserisce al posto del simbolo è indicata con R (costante dei gas):

$$PV = nRT$$

Il suo valore, ovviamente, dipende dalle specifiche unità di misura scelte per esprimere i parametri sperimentali. Un gas che risponde sperimentalmente all'equazione sopra scritta è detto gas ideale.

CONOSCENZE

- Conoscere qualitativamente la relazione fra energia cinetica/velocità delle particelle di un gas e la temperatura del gas
- Conoscere le relazioni di proporzionalità che definiscono le leggi dei gas

ABILITÀ

- Interpreta il comportamento dei gas al variare dei parametri con il modello particellare
- Prevede l'evoluzione di un sistema gassoso al variare dei parametri fisici che lo caratterizzano