

CAPITOLO 1

La struttura dell'atomo

Elisabetta Aldieri

Introduzione

La chimica rappresenta il fondamento molecolare della biologia e della medicina, nonché uno dei livelli essenziali per la comprensione dei sistemi viventi. Tutte le strutture biologiche e tutte le funzioni fisiologiche dell'organismo sono riconducibili ad interazioni tra atomi e molecole, organizzate in sistemi altamente complessi e dinamici.

1.1 Lo studio della chimica in ambito biomedico

Lo studio della chimica assume un ruolo centrale in ambito biomedico per due motivi principali. In primo luogo, consente di comprendere la dimensione molecolare della materia vivente: gli organismi viventi sono costituiti da elementi chimici che si combinano tra loro per formare molecole, le quali interagiscono attraverso reti di reazioni chimiche finemente regolate per garantire il funzionamento dell'organismo. In secondo luogo, la conoscenza della composizione molecolare permette di distinguere condizioni fisiologiche da condizioni patologiche: la vita stessa può essere interpretata come il risultato di una continua e coordinata successione di trasformazioni chimiche, il cui corretto funzionamento è indispensabile per il mantenimento dello stato di salute.

In ambito biomedico, la chimica dunque non si limita alla descrizione della materia, ma fornisce gli strumenti concettuali necessari per comprendere i meccanismi alla base delle funzioni fisiologiche e delle condizioni patologiche. Ogni attività cellulare, dalla sintesi delle biomolecole al trasporto di sostanze, fino alla trasmissione dei segnali, è infatti il risultato di processi chimici altamente regolati. Analogamente, fenomeni macroscopici come la contrazione muscolare o la trasmissione dell'impulso nervoso trovano la loro origine in eventi molecolari.

Un aspetto centrale dei sistemi biologici è il mantenimento dell'omeostasi, ovvero dell'equilibrio interno. Numerose variabili chimiche devono essere mantenute entro intervalli ristretti affinché l'organismo possa funzionare correttamente. Un esempio significativo è rappresentato dalla concentrazione di glucosio nel sangue: valori superiori ai limiti fisiologici sono associati a condizioni patologiche, mentre livelli troppo bassi possono

compromettere funzioni vitali, in particolare a livello cerebrale. Questo evidenzia il ruolo cruciale della regolazione molecolare nei sistemi biologici.

Più in generale, la vita stessa si fonda su basi molecolari. La comprensione delle reazioni chimiche che avvengono nell'organismo è essenziale, poiché un loro malfunzionamento o una loro regolazione alterata può portare a condizioni patologiche: alterazioni anche minime nella struttura o nella concentrazione di specifiche molecole possono determinare disfunzioni a livello cellulare e tissutale, contribuendo all'insorgenza di malattie. La chimica consente, quindi, non solo di descrivere la composizione della materia vivente, ma anche di comprendere le basi molecolari delle condizioni patologiche.

Infine, dal punto di vista energetico, i processi biologici implicano continue trasformazioni di energia. Le cellule utilizzano energia per sostenere funzioni fondamentali, quali la sintesi di nuove molecole, il trasporto attivo attraverso le membrane e il mantenimento dell'organizzazione strutturale. Tali trasformazioni obbediscono alle stesse leggi chimico-fisiche che regolano i sistemi non viventi, in particolare ai principi della termodinamica.

In questa prospettiva, la chimica permette di:

- descrivere la composizione della materia vivente;
- comprendere le trasformazioni chimiche che avvengono nell'organismo;
- interpretare i meccanismi di produzione e utilizzo dell'energia;
- conoscere le basi molecolari dello stato di salute e della malattia.

La chimica costituisce dunque il linguaggio di base delle scienze biomediche e rappresenta una disciplina imprescindibile per lo studio di ambiti successivi, quali la biochimica, la fisiologia e la farmacologia. Comprendere la natura molecolare dei processi biologici significa acquisire gli strumenti necessari per interpretare in modo critico i fenomeni fisiologici e patologici.

1.2 La costituzione della materia

La chimica studia la materia e le trasformazioni che essa può subire. La materia può essere definita come qualsiasi entità dotata di massa e in grado di occupare uno spazio. Questa definizione comprende una grande varietà di sistemi, che differiscono per composizione, struttura e comportamento, costituendo il punto di partenza per lo studio delle trasformazioni che la materia può subire. La materia può essere descritta sia in base alle sue proprietà macroscopiche sia in relazione alla sua struttura microscopica. Comprenderne la natura e le trasformazioni è fondamentale per interpretare i fenomeni naturali e biologici.

In chimica, la materia è oggetto di trasformazioni che possono essere distinte in:

- trasformazioni chimiche;
- trasformazioni fisiche.

Queste due tipologie non sono mutuamente esclusive e spesso coesistono nello stesso processo.

Questa distinzione è essenziale per comprendere la natura dei cambiamenti che avvengono nei sistemi naturali e nei sistemi viventi.

■ 1.2.1 Trasformazioni chimiche

Le trasformazioni chimiche, o reazioni chimiche, comportano la conversione di una o più sostanze in nuove specie chimiche con proprietà differenti. Durante questi processi,

i legami tra gli atomi vengono rotti e riformati, dando origine a nuove strutture molecolari. Tali trasformazioni comportano una modifica della natura delle sostanze coinvolte. A partire da reagenti con specifiche proprietà chimiche si ottengono prodotti con caratteristiche diverse.

Un esempio significativo è la reazione tra sodio e cloro:

- il sodio è un metallo altamente reattivo;
- il cloro è un gas tossico e corrosivo.

La loro combinazione porta alla formazione del cloruro di sodio (NaCl), ovvero il comune sale da cucina, che presenta proprietà completamente diverse rispetto agli elementi di partenza. Questo dimostra che, nei composti, le proprietà dei reagenti non si conservano necessariamente nel prodotto finale.

Le trasformazioni chimiche sono alla base di tutti i processi biologici, inclusi il metabolismo, la sintesi delle biomolecole e la produzione di energia nelle cellule. I loro aspetti energetici e cinetici saranno approfonditi nei capitoli successivi.

■ 1.2.2 Trasformazioni fisiche

Le trasformazioni fisiche sono generalmente reversibili e non comportano la formazione di nuove sostanze. Tali trasformazioni comportano variazioni dello stato o dell'aspetto di una materia senza modificarne la composizione chimica. In tali processi, la sostanza mantiene la propria identità molecolare, anche se può cambiare forma o stato di aggregazione.

Un esempio classico è rappresentato dai passaggi di stato dell'acqua (H_2O):

- ghiaccio (stato solido);
- acqua (stato liquido);
- vapore acqueo (stato gassoso).

In tutte queste forme, la composizione chimica rimane invariata: le molecole sono sempre costituite da due atomi di idrogeno e uno di ossigeno. Il ghiaccio, l'acqua liquida e il vapore acqueo rappresentano tre stati fisici diversi della stessa sostanza: in tutti i casi la sostanza è sempre H_2O , ma cambia lo stato fisico.

Esempio di reazione chimica

Un esempio sperimentale di trasformazione chimica è la reazione tra bromo liquido (colore rosso-bruno) e alluminio metallico (colore argenteo), che porta alla formazione di bromuro di alluminio, evidenziando visivamente la comparsa di una nuova sostanza e rappresenta un caso concreto di reazione chimica: si forma un composto di colore bianco.

Lo studio di tali reazioni sarà successivamente approfondito in termini di:

- cinetica chimica (velocità di reazione);
- termodinamica (energia associata alle trasformazioni).

Schema riassuntivo

- Materia → trasformazioni:
- trasformazioni fisiche → non cambia la composizione chimica;
- trasformazioni chimiche → si formano nuove sostanze.

1.
Spiega perché la chimica è considerata fondamentale per la comprensione dei sistemi biologici e descrivi il suo ruolo nell'interpretazione delle condizioni fisiologiche e patologiche.



Inquadra il QRCode per le soluzioni

1.3 Sostanze e miscele

Il termine “sostanza” viene spesso utilizzato in modo simile a “composto”, ma in senso più generale indica un tipo di materia che può essere:

- costituito da un singolo elemento;
- costituito da più elementi.

Per descrivere in modo sistematico la materia, è necessario classificarla in base alla sua composizione e alla possibilità di separare i suoi componenti.

La materia può essere classificata in sostanze pure e miscele.

■ 1.3.1 Sostanze pure

Una sostanza pura è costituita da un solo tipo di componente e presenta una composizione definita e costante. Essa è formata da una sola specie chimica e non può essere separata in altre sostanze mediante metodi fisici.

Le sostanze pure si distinguono in:

- elementi, costituiti da un solo tipo di atomi, come ossigeno o ferro;
- composti, formati dalla combinazione chimica di due o più elementi in rapporti definiti, come acqua o anidride carbonica.

Un elemento rappresenta la forma più semplice della materia dal punto di vista chimico ed è costituito da un solo tipo di atomi; non può essere ulteriormente scomposto mediante reazioni chimiche.

Un composto è invece una sostanza formata dall'unione chimica di più elementi. Gli elementi che lo costituiscono sono legati tra loro in proporzioni definite e danno origine a una nuova sostanza con proprietà proprie, diverse da quelle degli elementi di partenza. I composti possono essere decomposti nei loro elementi costitutivi attraverso trasformazioni chimiche.

■ 1.3.2 Miscele omogenee ed eterogenee

Una miscela è costituita dalla combinazione di due o più sostanze pure e può essere separata nei suoi costituenti mediante opportuni procedimenti, come filtrazione, distillazione o centrifugazione.

Le miscele sono sistemi costituiti da due o più sostanze pure che non sono chimicamente legate tra loro. In esse, i componenti mantengono le proprie proprietà chimiche e possono essere separati mediante metodi fisici.

Le miscele si distinguono in:

- miscele **omogenee** o soluzioni, caratterizzate da composizione uniforme, in cui i componenti sono distribuiti uniformemente a livello molecolare e non risultano distinguibili, come nello zucchero disciolto in acqua o nell'aria;
- miscele **eterogenee**, caratterizzate da composizione non uniforme, in cui i componenti sono distinguibili e spesso organizzati in fasi separate, come nel caso di olio e acqua, emulsioni o sospensioni.

Questa distinzione ha importanti implicazioni anche in ambito biologico: molti sistemi apparentemente uniformi sono in realtà organizzati in più fasi a livello microscopico.

Nel caso delle miscele omogenee, si parla spesso di soluzioni, concetto particolarmente rilevante in ambito biologico, poiché molti processi cellulari avvengono in ambiente acquoso.

2.

Descrivi la differenza tra trasformazioni fisiche e trasformazioni chimiche, fornendo esempi e spiegando cosa accade a livello molecolare.



Inquadra il QRCode per le soluzioni

Miscela omogenea

Una miscela omogenea è un sistema nel quale i componenti non sono distinguibili tra loro e appaiono distribuiti uniformemente.

Un esempio importante è l'aria atmosferica, che costituisce una miscela gassosa omogenea: i suoi principali componenti, come azoto e ossigeno, non sono distinguibili a occhio nudo né separabili spontaneamente nelle condizioni ordinarie.

Anche le soluzioni liquide rappresentano miscele omogenee. Esempi comuni sono:

- zucchero in acqua,
- alcol etilico in acqua,
- ossigeno disciolto in acqua.

Esistono inoltre miscele omogenee solide, come le leghe metalliche, tra cui bronzo e ottone. In questi casi i componenti originari sono noti, ma il materiale risultante si presenta uniforme.

Miscela eterogenea

Una miscela eterogenea è un sistema in cui i componenti restano distinguibili o comunque non perfettamente mescolati a livello macroscopico o microscopico (Figura 1.1).

Esempi di miscele eterogenee

Esempi comuni sono:

- il latte non scremato, in cui sono presenti goccioline lipidiche disperse nella fase acquosa;
- olio e acqua, che rimangono separati;
- creme e gelati, che costituiscono emulsioni;
- dentifrici con particelle solide sospese.

In queste miscele una delle componenti non si scioglie completamente nell'altra, pur potendo risultare apparentemente uniforme.

Figura 1.1 ►

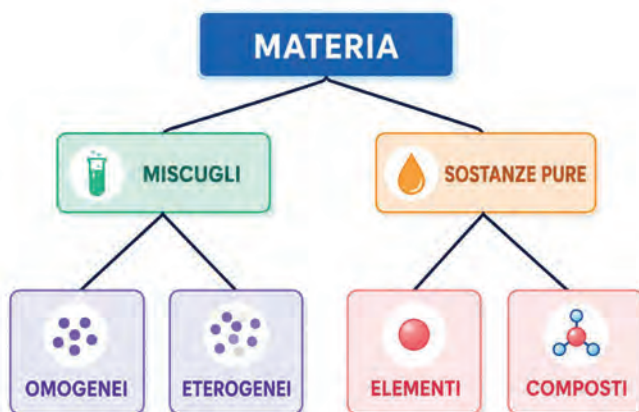


Figura 1.1 Classificazione della materia.

La materia comprende tutto ciò che possiede massa e occupa spazio ed è classificata in miscugli e sostanze pure. I miscugli sono combinazioni di più sostanze e possono essere omogenei, quando appaiono uniformi, oppure eterogenei, quando presentano componenti distinguibili. Le sostanze pure, invece, hanno una composizione definita e si suddividono in elementi, costituiti da un solo tipo di atomo, e composti, formati da più elementi legati chimicamente.

■ 1.3.3 Soluzioni, colloidi e sospensioni

Per definire più precisamente il comportamento delle miscele, soprattutto quando una sostanza solida è dispersa in un liquido, è utile considerare la dimensione delle particelle disperse.

Quando le particelle o le molecole hanno dimensioni inferiori a 1 nanometro, si ottiene una vera soluzione. È il caso di piccole molecole biologiche come monosaccaridi, ad esempio il glucosio, o aminoacidi, che possono sciogliersi nell'ambiente acquoso.

Quando le particelle hanno dimensioni comprese tra 1 e 100 nanometri, si parla di soluzione colloidale o sistema colloidale. In questo caso la dispersione è meno completa e le particelle possono aggregarsi.

Quando infine le particelle superano i 100 nanometri, si parla di sospensione. In tali sistemi, le particelle tendono a separarsi e spesso a sedimentare.

Questo aspetto è particolarmente importante in biologia e biochimica, poiché l'organismo è costituito in larga misura da ambiente acquoso e molte sostanze devono essere trasportate o mantenute in soluzione.

Molti sistemi naturali e biologici non sono completamente omogenei né completamente eterogenei, ma presentano caratteristiche intermedie. In questi casi si parla di sistemi dispersi.

Una classificazione utile di tali sistemi si basa sulla dimensione delle particelle disperse:

- soluzioni vere → particelle con dimensioni inferiori a 1 nm;
- colloidali → particelle con dimensioni comprese tra 1 e 100 nm;
- sospensioni → particelle con dimensioni superiori a 100 nm.

Le **soluzioni** rappresentano un caso particolare di miscela omogenea, in cui i componenti sono distribuiti uniformemente a livello molecolare.

Questa distinzione è particolarmente rilevante in ambito biologico, poiché molti sistemi cellulari presentano caratteristiche colloidali, come il citoplasma o le dispersioni di macromolecole. Le proprietà quantitative delle soluzioni e il loro comportamento saranno trattati in modo più approfondito nei capitoli successivi.

■ 1.3.4 Differenza tra miscela e composto

La distinzione tra miscela e composto è fondamentale.

Nelle **miscele**:

- la composizione può essere variabile;
- i componenti conservano le proprie proprietà;
- i componenti possono essere separati con metodi fisici.

Nei **composti**:

- gli elementi sono uniti chimicamente;
- la composizione è definita;
- le proprietà finali sono diverse da quelle dei costituenti originari.

L'esempio del cloruro di sodio chiarisce bene questa differenza: sodio e cloro, separatamente, possiedono proprietà molto diverse da quelle del sale da cucina che formano quando si combinano chimicamente (Figura 1.1).

Proprietà emergenti delle molecole

Quando gli elementi si combinano per formare un composto, le proprietà della nuova sostanza possono essere completamente diverse da quelle dei componenti originari. Questo fenomeno è noto come **proprietà emergente**.

Ad esempio:

- il sodio è un metallo altamente reattivo;
- il cloro è un gas tossico;
- il cloruro di sodio è una sostanza stabile e indispensabile per l'organismo.

Questo principio è fondamentale in biochimica: le proprietà biologiche derivano dall'organizzazione molecolare, non dai singoli atomi.

Perché l'acqua è così importante nei sistemi biologici

Nei sistemi biologici, la maggior parte delle reazioni chimiche avviene in ambiente acquoso. L'acqua non è solo un solvente passivo, ma svolge un ruolo attivo grazie alla sua polarità. Essa permette la solubilizzazione di numerose molecole biologiche, la formazione di interazioni intermolecolari, il corretto svolgimento delle reazioni biochimiche.

Inoltre, l'acqua agisce come solvente, mezzo di trasporto e ambiente di interazione tra molecole. La comprensione delle soluzioni è quindi fondamentale per interpretare i processi cellulari.

Questo tema sarà ripreso nello studio delle soluzioni e delle interazioni deboli.

1.4 Atomi e molecole

■ 1.4.1 Atomi ed elementi

Gli atomi rappresentano le unità fondamentali della materia: essi costituiscono gli elementi chimici e sono le più piccole entità in grado di conservare le proprietà caratteristiche di un elemento.

Tutti gli atomi di uno stesso elemento presentano la stessa identità chimica.

Un elemento chimico è costituito da un solo tipo di atomi e non può essere ulteriormente suddiviso mediante reazioni chimiche. Gli elementi rappresentano i “mattoni” fondamentali della materia e costituiscono il punto di partenza per la formazione di strutture più complesse.

Un **composto** è formato dall'unione di due o più elementi diversi.

Per esempio:

- l'ossigeno è un elemento;
- l' H_2O è un composto formato da idrogeno e ossigeno.

Nei composti, gli elementi si combinano secondo rapporti definiti. Nel caso dell'acqua, il rapporto è di due atomi di idrogeno per un atomo di ossigeno. Questo rapporto è determinato dalla natura dei legami chimici e sarà approfondito successivamente anche dal punto di vista stechiometrico.

Quando due o più atomi si combinano tra loro attraverso legami chimici, si formano le molecole, che rappresentano sostanze con composizione e struttura definite.

La comprensione della struttura atomica e delle modalità con cui gli atomi si combinano costituisce il punto di partenza per lo studio della chimica e per l'interpretazione della reattività chimica.

Gli elementi chimici sono organizzati nella **tavola periodica**, uno strumento fondamentale che consente di mettere in relazione le proprietà degli elementi con la loro struttura atomica. In essa, ogni elemento è identificato da un simbolo, spesso derivato dal latino (ad es., Na per sodio da *natrium*, K per potassio da *kalium*). La disposizione degli elementi non è casuale: essa riflette proprietà chimiche e comportamenti simili, in particolare la reattività, e permette di prevedere il comportamento degli elementi, inclusa la loro tendenza a formare legami e a partecipare a reazioni chimiche.

Questi aspetti saranno approfonditi nello studio dettagliato della tavola periodica (si veda il [Capitolo 2](#)).

■ 1.4.2 Molecole

Le molecole sono degli aggregati di atomi uniti da legami chimici. Esse rappresentano le unità minime di una sostanza in grado di conservarne le proprietà chimiche e sono caratterizzate da una composizione e da una struttura ben definite.

Possono essere classificate in:

- molecole eteroatomiche o eteronucleari (atomi diversi), costituite da atomi di elementi diversi, come H_2O o CO_2 ;
- molecole omoatomiche o omonucleari (atomi uguali), come nelle molecole biatomiche presenti in atmosfera:
 - O_2 (ossigeno);
 - N_2 (azoto);
 - H_2 (idrogeno).

Di conseguenza, una molecola non deve necessariamente contenere elementi diversi: è sufficiente che sia costituita da due o più atomi legati tra loro.

Atomi e molecole possono inoltre essere presenti in proporzioni variabili all'interno di un mezzo, formando sistemi complessi. In questi casi diventa fondamentale introdurre il concetto di concentrazione, che descrive la quantità di una sostanza presente in un determinato mezzo.

Questo concetto sarà particolarmente rilevante nello studio delle soluzioni e nei sistemi biologici, dove la concentrazione delle molecole determina il corretto funzionamento dei processi fisiologici.

■ 1.4.3 Grandezze e unità di misura di interesse chimico

Per descrivere quantitativamente la materia e le sue trasformazioni è necessario definire le grandezze fisiche fondamentali utilizzate in chimica.

Tra queste assumono particolare importanza:

- la massa, espressa in grammi;
- la lunghezza, espressa in metri;
- il tempo, espresso in secondi;
- la temperatura, espressa in kelvin o in gradi Celsius;
- il volume;
- la densità.

In ambito biologico e biochimico si utilizzano molto spesso i sottomultipli delle unità di misura, poiché le quantità in gioco sono generalmente molto piccole. Per esempio, le concentrazioni di sostanze presenti nell'organismo non sono espresse in chilogrammi, ma in quantità molto inferiori, dell'ordine dei milligrammi, microgrammi, nanogrammi o ancora più piccole, a seconda del contesto.

Il volume può essere espresso in litri o in centimetri cubi, mentre la densità deriva dal rapporto tra massa e volume.

Queste grandezze diventeranno particolarmente rilevanti nello studio delle concentrazioni e, successivamente, del concetto di mole.

■ 1.4.4 Molecole e reazioni chimiche

Lo studio delle molecole è essenziale perché, pur essendo entità prive di vita, quando sono organizzate nei sistemi biologici possono interagire tra loro e rendere possibile la vita, il mantenimento dello stato di salute e l'esecuzione delle funzioni cellulari e dell'intero organismo.

Le reazioni chimiche che coinvolgono queste molecole devono rispettare precise leggi chimiche e fisiche. In ambito biologico esse si svolgono prevalentemente in ambiente acquoso, che rappresenta il principale microambiente cellulare.

Poiché la cellula è costituita in larga misura da acqua, le molecole solubili possono trovarsi disciolte nel suo interno. Esistono anche molecole non solubili, ma queste risultano localizzate in compartimenti diversi. Inoltre, la stessa struttura cellulare è costituita da molecole che si organizzano progressivamente in strutture più complesse.

Da unità semplici possono formarsi macromolecole:

- i nucleotidi costituiscono il DNA,
- gli aminoacidi costituiscono le proteine e quindi anche gli enzimi.

A un livello superiore, queste macromolecole possono organizzarsi in strutture supra-molecolari ancora più complesse, come la cromatina e i cromosomi.

Ne consegue che struttura, organizzazione e funzione della cellula sono tutte strettamente riconducibili alla dimensione molecolare.