

Fascicolo ponte

La chimica e la cellula



PARTE I LA CHIMICA

In molti corsi brevi di anatomia e fisiologia non c'è il tempo di affrontare argomenti di chimica; perché allora la includiamo in questo testo? La risposta è semplice: il cibo di cui ci nutriamo e i farmaci che assumiamo quando siamo malati sono costituiti da sostanze chimiche. In realtà, tutto il nostro corpo è fatto di sostanze chimiche (migliaia) che interagiscono continuamente l'una con l'altra a un ritmo incredibile.

Per quanto sia possibile studiare l'anatomia senza fare molti riferimenti alla chimica, le reazioni chimiche sono alla base di tutti i processi dell'organismo: il movimento, la digestione, l'azione di pompa del cuore, e anche i pensieri. In questo capitolo presenteremo i principi essenziali della chimica e della biochimica (la chimica dei corpi viventi), fornendo i fondamenti necessari per capire le funzioni dell'organismo.

1. I concetti di materia e di energia

La materia

La **materia** è il «materiale» di cui è fatto l'universo. Con qualche eccezione, la possiamo vedere, sentirne l'odore, percepirla al tatto. Più precisamente, è materia tutto ciò che occupa spazio e ha una massa (peso). La chimica studia la natura della materia, vale a dire in che modo sono assemblate e in che modo interagiscono le sue unità costitutive.

La materia può presentarsi allo stato solido, liquido e gassoso. Nel corpo umano si trovano esempi di tutti e tre gli stati. I *solidi*, come le ossa e i denti, hanno una forma e un volume definiti. I *liquidi* hanno un volume definito, ma si adattano alla forma del loro contenitore; esempi di liquidi dell'organismo sono il plasma del sangue e il liquido interstiziale in cui sono immerse tutte le cellule del corpo. I *gas* non hanno una forma definita né un volume definito; l'aria che respiriamo è composta da una miscela di gas.

La materia può subire modificazioni sia fisiche sia chimiche. Le *modificazioni fisiche* non alterano la natura fondamentale di una sostanza; tra gli esempi sono comprese le variazioni di stato, come la fusione del ghiaccio che diventa acqua, e la riduzione del cibo in pezzi più piccoli. Le *modificazioni chimiche* alterano la composizione della sostanza in modo essenziale. Esempi di modificazioni chimiche sono la fermentazione dell'uva per produrre vino e la digestione del cibo nell'organismo.

L'energia

A differenza della materia, l'**energia** è priva di massa e non occupa spazio. La si può misurare soltanto dai suoi effetti sulla materia. L'energia è generalmente definita come la capacità di produrre lavoro o di mettere in moto

la materia. Quando l'energia effettua un lavoro facendo muovere gli oggetti è detta **energia cinetica**. L'energia cinetica si manifesta nel movimento continuo delle più piccole particelle della materia (atomi) così come in oggetti più grandi, come una palla che rimbalza. Quando l'energia è inattiva o accumulata (come nelle batterie di un giocattolo inutilizzato) è definita **energia potenziale**. Tutte le forme di energia presentano capacità sia cinetica sia potenziale di produrre lavoro.

In realtà l'energia è un fatto fisico, ma è difficile separare la materia dall'energia. Tutti i corpi viventi sono costituiti da materia, e per accrescersi e svolgere le loro funzioni necessitano di un continuo apporto di energia. Quindi, la materia è la sostanza e l'energia è ciò che la fa muovere. Vale la pena quindi fare una breve digressione per presentare le forme di energia che l'organismo utilizza nello svolgere le sue funzioni.

Le forme di energia

- L'**energia chimica** è accumulata nei legami chimici delle sostanze. Quando i legami vengono scissi, l'energia (potenziale) accumulata si libera e diviene energia cinetica. Quando, per esempio, le molecole di benzina vengono scisse nel motore dell'automobile, l'energia liberata fa muovere la macchina. Similmente, tutte le attività dell'organismo sono messe in moto dall'energia chimica ricavata dal cibo che mangiamo.
- L'**energia elettrica** è il risultato del movimento di particelle dotate di carica. Nella vostra casa l'energia elettrica è il flusso di elettroni lungo l'impianto. Nel vostro organismo si genera una corrente elettrica quando particelle dotate di carica (*ioni*) attraversano le membrane cellulari. Il sistema nervoso utilizza correnti elettriche, gli *stimoli nervosi*, per trasmettere messaggi da una parte all'altra del corpo.
- L'**energia meccanica** è l'energia *direttamente* impegnata nello spostamento della materia. Quando andate in bicicletta, le vostre gambe forniscono l'energia meccanica che fa muovere i pedali: i muscoli delle vostre gambe, contraendosi, agiscono sulle ossa facendo muovere le gambe.
- L'**energia radiante** si propaga a onde; è cioè l'energia dello spettro elettromagnetico, che comprende i raggi X, i raggi infrarossi (energia termica), la luce visibile, le onde radio e i raggi ultravioletti. L'energia luminosa, che stimola la retina dell'occhio, è importante per la vista. Le radiazioni ultraviolette sono la causa degli eritemi solari, ma stimolano anche l'organismo a produrre vitamina D.

La conversione delle forme di energia

Salvo poche eccezioni, l'energia viene facilmente convertita da una forma all'altra. Per esempio, l'energia chimi-

ca (della benzina) che alimenta il motore di un motoscafo è convertita nell'energia meccanica dell'elica che gira e consente allo scafo di correre sull'acqua. Nell'organismo l'energia chimica del cibo è immagazzinata nei legami di una sostanza altamente energetica, l'ATP (adenosintrifosfato), e l'energia dell'ATP può infine essere trasformata nell'energia elettrica di uno stimolo nervoso o nell'energia meccanica di muscoli che si contraggono.

Durante le conversioni di energia una parte dell'energia fornita inizialmente viene ceduta all'ambiente sotto forma di calore (energia termica); la parte dispersa come calore è *inutilizzabile*. Potete facilmente dimostrare questo principio toccando una lampadina che è restata accesa per circa un'ora; vi accorgete subito che parte dell'energia elettrica che arriva alla lampadina produce calore anziché luce. Allo stesso modo tutte le conversioni di energia che avvengono nell'organismo liberano calore. È questo calore che fa di noi animali a sangue caldo e che contribuisce a rendere la nostra temperatura corporea relativamente elevata, influenzando in modo rilevante il funzionamento dell'organismo. Quando la materia viene riscaldata le sue particelle cominciano a muoversi più velocemente: aumenta, cioè, la loro energia cinetica (energia di movimento). Questo è importante per le reazioni chimiche che si verificano nell'organismo perché, quanto più elevata è la temperatura, tanto più velocemente esse avvengono. Approfondiremo questo concetto più avanti.

■ ■ FACCIAMO IL PUNTO

1. Spiega la differenza tra una modificazione chimica e una modificazione fisica e fai un esempio di ciascun tipo di modificazione.
2. In che modo si manifesta l'energia cinetica?
3. Che cosa si intende quando si dice che parte dell'energia viene «perduta» ogni volta che nell'organismo si ha conversione di energia da una forma all'altra?

2. La composizione della materia

Elementi e atomi

Tutta la materia è composta da un numero limitato di **elementi**, definiti come sostanze elementari che non possono essere scomposte in sostanze più semplici con i comuni metodi chimici. Sono esempi di elementi molte sostanze comunemente conosciute, come l'ossigeno, il carbonio, l'oro, il rame e il ferro.

Finora si conoscono con certezza 112 elementi; 92 sono presenti in natura, gli altri sono prodotti artificialmente con apparecchi acceleratori. Quattro elementi – carbonio, ossigeno, idrogeno e azoto – costituiscono circa il 96% del peso corporeo, ma diversi altri sono presenti in piccole quantità o soltanto in tracce. L'elenco completo degli elementi si trova nella **tavola periodica**, riportata nell'appendice B. Nella **tabella 1** a pagina se-

guente sono elencati gli elementi maggiormente presenti nell'organismo e le loro funzioni principali.

Ogni elemento è composto da particelle o unità costitutive più o meno identiche: gli **atomi**. Poiché ogni elemento ha caratteristiche specifiche, gli atomi di ciascun elemento differiscono da quelli di un altro. Ciascun elemento è indicato con un'abbreviazione chimica di una o due lettere, il **simbolo atomico**. Nella maggior parte dei casi il simbolo atomico è semplicemente la prima lettera (o le prime due) del nome dell'elemento. Per esempio, C sta per carbonio, O per ossigeno, Ca per calcio. In alcuni casi il simbolo atomico deriva dal nome latino dell'elemento; per esempio, il sodio è indicato con Na (dal latino *natrium*).

La struttura dell'atomo

Il termine *atomo* deriva dal greco e significa «indivisibile», e questa concezione dell'atomo fu accettata come «verità» scientifica. Secondo questo concetto potreste in teoria suddividere un elemento puro, come un blocco di oro, in particelle sempre più piccole fino a scendere ai singoli atomi, e poi non potreste più progredire nella divisione. Sappiamo oggi che gli atomi, sebbene infinitamente piccoli, sono costituiti da particelle ancora più piccole (subatomiche) e nelle quali possono essere scomposti in particolari condizioni. Tuttavia l'antico concetto della indivisibilità dell'atomo è ancora del tutto appropriato, poiché un atomo, quando viene suddiviso nelle sue particelle, perde le proprietà esclusive del suo elemento.

Gli atomi che rappresentano i 112 elementi sono composti da un diverso numero delle tre particelle subatomiche fondamentali, che differiscono per massa, carica elettrica e localizzazione nell'atomo (**tabella 2** a pagina seguente). I **protoni** (p^+) hanno una carica positiva, mentre i **neutroni** (n^0) sono privi di carica, o neutri. Protoni e neutroni sono particelle pesanti e hanno approssimativamente la stessa massa (1 unità di massa atomica o 1 u.m.a.). Gli **elettroni** (e^-), molto piccoli, hanno una carica negativa di forza uguale alla carica positiva dei protoni, ma la loro massa è tanto piccola da essere di solito indicata come 0 u.m.a.

La carica elettrica di una particella è la misura del suo potere di attrarre o respingere altre particelle dotate di carica. Le particelle con carica dello stesso tipo (+ e +, oppure - e -) si respingono l'una con l'altra, mentre le particelle con carica diversa (+ e -) si attraggono l'una con l'altra. Le particelle neutre non sono attratte né respinte dalle particelle dotate di carica.

Poiché tutti gli atomi sono elettricamente neutri, il numero di protoni che l'atomo possiede deve essere esattamente uguale al numero di elettroni. Così l'idrogeno ha un protone e un elettrone, e il ferro ha 26 protoni e 26 elettroni. Quando gli atomi acquistano o perdono elettroni sono chiamati *ioni*.

Tabella 1 Elementi normali che costituiscono l'organismo umano

Elemento	Simbolo atomico	Percentuale della massa corporea	Ruolo
Principali (96,1%)			
Ossigeno	O	65,0	È uno dei maggiori componenti delle molecole sia organiche sia inorganiche; è essenziale per l'ossidazione del glucosio e di altri alimenti che porta alla produzione dell'energia cellulare (ATP).
Carbonio	C	18,5	È il componente primario elementare di tutte le molecole organiche: carboidrati, lipidi, proteine e acidi nucleici.
Idrogeno	H	9,5	Componente della maggior parte delle molecole organiche; in forma di ioni determina il pH dei liquidi dell'organismo.
Azoto	N	3,2	Componente delle proteine e degli acidi nucleici (materiale genetico).
Minori (3,9%)			
Calcio	Ca	1,5	Presente in forma di sali nelle ossa e nei denti; in forma di ioni è necessario per la contrazione muscolare, la trasmissione nervosa e la coagulazione del sangue.
Fosforo	P	1,0	Presente come sali, in combinazione con il calcio, nelle ossa e nei denti; presente inoltre negli acidi nucleici e in molte proteine; fa parte della molecola di ATP (composto altamente energetico).
Potassio	K	0,4	Nella sua forma ionica è il principale catione intracellulare; è necessario per la conduzione degli stimoli nervosi e per la contrazione muscolare.
Zolfo	S	0,3	Componente di proteine.
Sodio	Na	0,2	In forma ionica è il principale catione extracellulare; importante per l'equilibrio idrico, la conduzione degli stimoli nervosi, la contrazione muscolare.
Cloro	Cl	0,2	In forma ionica è uno dei principali anioni extracellulari.
Magnesio	Mg	0,1	Presente nelle ossa; è anche un importante cofattore per l'attività di enzimi in numerose reazioni metaboliche.
Iodio	I	0,1	Necessario per la funzionalità degli ormoni tiroidei.
Ferro	Fe	0,1	Componente della molecola dell'emoglobina (che nei globuli rossi trasporta l'ossigeno) e di alcuni enzimi.
In tracce (meno di 0,01%)^a			
Cobalto (Co), Cromo (Cr), Fluoro (F), Manganese (Mn), Molibdeno (Mo), Rame (Cu), Selenio (Se), Silicio (Si), Stagno (Sn), Vanadio (V), Zinco (Zn)			

^a Indicati come elementi presenti *in tracce* perché sono necessari in quantità ridottissime; molti fanno parte di enzimi o sono necessari per l'attivazione di enzimi.

Tabella 2 Particelle subatomiche

Particella	Posizione nell'atomo	Massa (u.m.a.)	Carica
Protone (p ⁺)	Nucleo	1	+
Neutrone (n ⁰)	Nucleo	1	0
Elettrone (e ⁻)	Orbitali all'esterno del nucleo	1/1800	-

Il modello atomico planetario e a orbitali

Il **modello atomico planetario** rappresenta l'atomo come un sistema solare in miniatura (**figura 1a**) in cui i protoni e i neutroni sono raggruppati al centro dell'atomo nel nucleo atomico. Poiché contiene tutte le particelle pesanti, il nucleo è straordinariamente denso e dotato di carica positiva. I piccolissimi elettroni girano attorno al

nucleo su orbite fisse generalmente circolari, come fanno i pianeti attorno al Sole. Non è possibile stabilire l'esatta localizzazione degli elettroni in un particolare momento, poiché essi si muovono oscillando in qua e in là seguendo percorsi imprevedibili. Così, anziché parlare di orbite specifiche, i chimici parlano di *orbitali*, regioni attorno al nucleo nelle quali un dato elettrone si tro-

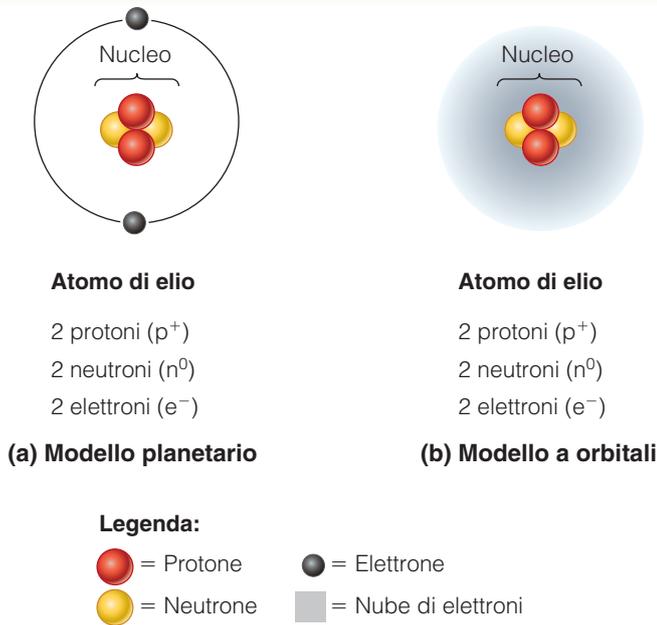


Figura 1 La struttura dell'atomo

Il nucleo centrale denso contiene protoni e neutroni. (a) Nel modello planetario della struttura dell'atomo gli elettroni ruotano attorno al nucleo in orbite fisse. (b) Nel modello a orbitali gli elettroni sono rappresentati come una nube a carica negativa.

va con maggiore *probabilità*. Questo modello più moderno di struttura atomica, detto **modello a orbitali**, si è dimostrato più corretto nel prevedere il comportamento chimico degli atomi. Come è illustrato nella **figura 1b**, il modello a orbitali rappresenta la localizzazione degli elettroni al di fuori del nucleo come una nube scura a carica negativa, detta *nube di elettroni*. Le regioni in cui è più probabile che gli elettroni si trovino sono rappresentate con un'ombreggiatura più densa, invece che da linee orbitali. Indipendentemente dal modello utilizzato, si deve notare che gli elettroni sono liberi di muoversi per quasi tutto il volume dell'atomo e ne determinano il comportamento chimico (vale a dire la capacità di legarsi ad altri atomi). Anche se ora lo si considera supe-

rato, il modello planetario è semplice e facile da comprendere e utilizzare. In questo testo la maggior parte delle descrizioni della struttura atomica impiega questo modello.

L'atomo più semplice è l'idrogeno, che ha un solo protone e un solo elettrone. Potete farvi un'idea dei rapporti spaziali delle particelle subatomiche nell'atomo di idrogeno immaginandolo ingrandito fino a che il suo diametro sia uguale alla lunghezza di un campo di calcio. In questo caso il nucleo potrebbe essere rappresentato da una pallina di piombo grande come una caramella gommosa collocata al centro esatto della sfera, e l'elettrone solitario potrebbe essere raffigurato come una mosca che ronza qua e là in modo imprevedibile all'interno della sfera. Questa rappresentazione mentale potrebbe servire a ricordarvi che la maggior parte del volume di un atomo è spazio vuoto, e la maggior parte della massa è concentrata nel nucleo centrale.

Gli elementi di identificazione

Tutti i protoni sono simili, indipendentemente dall'atomo preso in considerazione. Lo stesso vale per tutti i neutroni e tutti gli elettroni. Cos'è allora a determinare le proprietà uniche di ciascun elemento? La risposta è che gli atomi di elementi differenti sono composti da un *numero differente* di protoni, di neutroni e di elettroni.

L'atomo più semplice e più piccolo, quello di idrogeno, ha un solo protone, un solo elettrone e nessun neutrone (**figura 2**). Viene poi l'atomo di elio, con due protoni, due neutroni e due elettroni. Segue il litio, con tre protoni, quattro neutroni e tre elettroni. Se continuassimo, passo dopo passo, questa elencazione delle particelle subatomiche, potremmo descrivere tutti gli atomi noti aggiungendo un protone e un elettrone a ogni passaggio. Il numero dei neutroni non è tanto facile da fissare con esattezza, ma gli atomi leggeri tendono ad avere un numero uguale di protoni e di neutroni, mentre negli atomi più grandi il numero dei neutroni è maggiore di quello dei protoni. Tuttavia quello che è effettivamente ne-

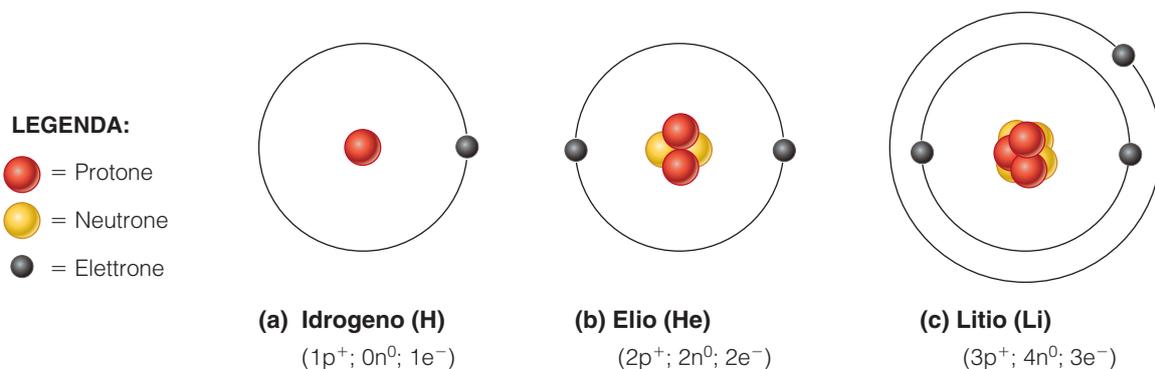


Figura 2 Struttura atomica dei tre atomi più piccoli

cessario conoscere per identificare un particolare elemento è il suo numero atomico, il suo numero di massa, il suo peso atomico. Presi insieme, questi indicatori forniscono una descrizione del tutto completa di ciascun elemento.

Il numero atomico

A ciascun elemento è attribuito un numero, il **numero atomico**, che è uguale al numero dei protoni che il suo atomo contiene. Gli atomi di ciascun elemento contengono un numero di protoni differente da quello degli atomi di qualunque altro elemento; il numero atomico di ogni elemento è quindi unico. Poiché il numero dei protoni è sempre uguale al numero degli elettroni, il numero atomico ci dice *indirettamente* anche il numero di elettroni che l'atomo contiene.

La massa atomica

La **massa atomica** di qualunque atomo è la somma della massa di tutti i protoni e i neutroni contenuti nel suo nucleo. (La massa degli elettroni è così piccola che viene trascurata.) L'idrogeno ha nel suo nucleo un solo protone e nessun neutrone, quindi il suo numero atomico e il suo numero di massa atomica sono uguali: 1. L'elio, con due protoni e due neutroni, ha numero di massa 4. Il *numero di massa atomica* è scritto in alto a sinistra del simbolo dell'atomo (la **figura 3** contiene alcuni esempi).

Il peso atomico e gli isotopi

A prima vista sembrerebbe che il **peso atomico** di un atomo debba essere uguale alla sua massa atomica. Sarebbe così se a rappresentare ciascun elemento fosse soltanto un unico tipo di atomo; nondimeno gli atomi di quasi tutti gli elementi presentano due o più variazioni strutturali: tali varietà sono gli **isotopi**. Gli isotopi hanno lo stesso numero di protoni e di elettroni, ma variano per il numero dei *neutroni* in essi contenuti. Così, gli isotopi di un elemento hanno lo stesso numero atomico, ma diffe-

rente massa atomica. Poiché tutti gli isotopi di un elemento hanno lo stesso numero di elettroni (e gli elettroni determinano le proprietà di legame), le loro proprietà chimiche sono *esattamente* uguali. Come regola generale, il peso atomico di qualunque elemento è approssimativamente uguale al numero di massa del suo isotopo più abbondante. Per esempio, come abbiamo già detto l'idrogeno ha numero atomico 1, però ha isotopi con massa atomica 1, 2, 3 (**figura 3**). Il suo peso atomico è 1,0079 e ciò indica che sulla Terra il suo isotopo più leggero è presente in quantità maggiore rispetto alle sue forme ^2H e ^3H . Il numero atomico, il numero di massa e il peso atomico degli elementi comunemente presenti nell'organismo sono riportati nella **tabella 3**.

Gli isotopi più pesanti di alcuni atomi sono instabili e tendono a scomporsi diventando più stabili: questi isotopi sono detti **radioisotopi**. Tale fenomeno è complesso, ma evidentemente negli isotopi più pesanti la «forza adesiva» che tiene insieme il nucleo dell'atomo è meno forte. Questo processo di decadimento spontaneo dell'atomo è detto **radioattività** e può essere paragonato a un'esplosione in miniatura. Tutti i tipi di decadimento radioattivo comportano l'emissione dal nucleo dell'atomo di particelle (*particelle alfa o beta*) o di energia elettromagnetica (*raggi gamma*) e sono dannosi per le cellule viventi. Le particelle alfa sono le meno penetranti, le radiazioni gamma sono le più penetranti.

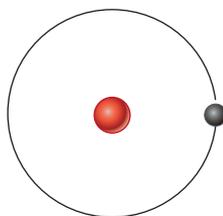
I radioisotopi sono utilizzati in quantità ridottissime per marcare molecole biologiche, così da poterle seguire, o rilevarne le tracce, in tutto l'organismo, e costituiscono un valido strumento medico per la diagnosi e la terapia. Per esempio, utilizza radioisotopi la tomografia a emissione di positroni (PET), utilizzata per osservare i processi metabolici. Si può usare un radioisotopo dello iodio per esaminare la tiroide dei pazienti in cui si sospetta un tumore tiroideo. Il radio, il cobalto e certi altri radioisotopi sono impiegati per distruggere tumori maligni localizzati.



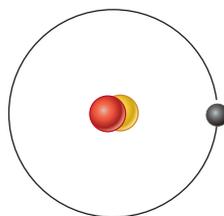
Quale di questi isotopi è il più pesante?

LEGENDA:

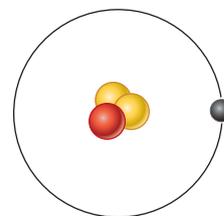
-  = Protone
-  = Neutrone
-  = Elettrone



Idrogeno (^1H)
($1\text{p}^+; 0\text{n}^0; 1\text{e}^-$)



Deuterio (^2H)
($1\text{p}^+; 1\text{n}^0; 1\text{e}^-$)



Trizio (^3H)
($1\text{p}^+; 2\text{n}^0; 1\text{e}^-$)

Figura 3 Isotopi dell'idrogeno

Tabella 3 Struttura atomica degli elementi più abbondanti nell'organismo

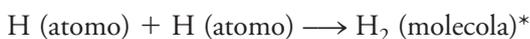
Elemento	Simbolo	Numero atomico (N° di p)	Numero di massa (N° di p + n)	Peso atomico	Elettroni nello strato di valenza
Azoto	N	7	14	14,007	5
Calcio	Ca	20	40	40,08	2
Carbonio	C	6	12	12,011	4
Cloro	Cl	17	35	35,453	7
Ferro	Fe	26	56	55,847	2
Fosforo	P	15	31	30,974	5
Idrogeno	H	1	1	1,008	1
Iodio	I	53	127	126,905	7
Magnesio	Mg	12	24	24,305	2
Ossigeno	O	8	16	15,999	6
Sodio	Na	11	23	22,99	1
Zolfo	S	16	32	32,064	6

■ FACCIAMO IL PUNTO

4. Quali sono i quattro elementi che costituiscono la gran parte della materia di cui sono fatti i viventi?
5. Un atomo ha 5 neutroni, 4 protoni e 4 elettroni. Qual è il suo numero atomico? E il suo numero di massa atomica?
6. Come si definisce un atomo instabile che ha un numero di neutroni maggiore o minore rispetto al suo numero caratteristico?

3. Molecole e composti

Quando due o più atomi si combinano chimicamente, si formano **molecole**. Se si legano due o più atomi dello stesso elemento, si produce una molecola di quell'elemento. Quando, per esempio, si legano due atomi di idrogeno, si forma una molecola di idrogeno gassoso:



Nell'esempio fornito, i *reagenti* (gli atomi che prendono parte alla reazione) sono indicati con i loro simboli atomici, e la composizione del *prodotto* (la molecola formata) è indicata da una *formula molecolare* che mostra la sua composizione atomica. La reazione chimica è rappresentata dalla scrittura di un'*equazione chimica*.

Quando due o più atomi *differenti* si legano a formare una molecola, questa molecola è più specificamente indicata come molecola di un **composto**. Per esempio, quattro atomi di idrogeno e un atomo di carbonio possono interagire chimicamente formando metano:



Quindi una molecola di metano è un composto, mentre una molecola di idrogeno gassoso non lo è: è detta invece idrogeno molecolare.

È importante avere chiaro il concetto che i composti hanno sempre proprietà molto differenti da quelle degli atomi che li costituiscono, e che sarebbe quasi impossibile stabilire quali atomi formano un composto senza analizzarlo chimicamente. Il cloruro di sodio è un esempio eccellente della differenza di proprietà tra un composto e gli atomi che lo costituiscono (**figura 4** a pagina seguente). Il sodio è un metallo bianco argenteo e il cloro allo stato molecolare è un gas tossico verde, impiegato per candeggiare. Tuttavia il cloruro di sodio è un solido cristallino bianco che spargiamo sul cibo. Va notato che, proprio come un atomo è la più piccola particella di un elemento che ancora conserva le proprietà dell'elemento stesso, una molecola è la più piccola particella di un composto che ancora conserva le proprietà di quel composto. Se scindete i legami tra gli atomi del composto, le proprietà manifestate saranno quelle degli atomi e non quelle del composto.

■ FACCIAMO IL PUNTO

7. Qual è il significato del termine *molecola*?
8. Cosa si intende per equazione chimica?

* Va notato che quando il numero degli atomi è scritto in basso indica che gli atomi sono uniti da un legame chimico. Quindi, 2H rappresenta due atomi non uniti, mentre H₂ indica che due atomi di idrogeno sono legati a formare una molecola.



Figura 4 Le proprietà di un composto sono differenti da quelle degli atomi che lo formano

4. Legami chimici e reazioni chimiche

Le **reazioni chimiche** avvengono ogni volta che gli atomi si combinano con, o si dissociano da, altri atomi. Quando gli atomi si combinano chimicamente, si formano legami chimici.

La formazione di legami

È importante rendersi conto che un legame chimico non è una struttura fisica reale, come un paio di manette che legano due persone. È invece una relazione energetica che comporta interazioni tra gli elettroni degli atomi reagenti. Tratteremo perciò brevemente del ruolo svolto dagli elettroni nella formazione dei legami.

Il ruolo degli elettroni

Come abbiamo visto nella figura 2, gli elettroni occupano orbite o regioni dello spazio generalmente fisse attorno al nucleo: tali regioni sono dette anche **strati** (o **gusci**) **elettronici**, o **livelli energetici**. Il numero massimo di strati elettronici di qualunque atomo finora noto è sette, e questi strati sono numerati da 1 a 7 procedendo dal nucleo verso l'esterno. Gli elettroni più vicini al nucleo sono quelli più fortemente attratti dalla sua carica positiva e gli elettroni più distanti sono trattenuti meno saldamente. Di conseguenza, è più probabile che gli elettroni più distanti dal nucleo interagiscano con altri atomi.

Esiste un limite massimo al numero di elettroni che ciascuno strato elettronico può contenere. Lo strato 1, il più vicino al nucleo, può accogliere soltanto due elettroni. Lo strato 2 contiene al massimo 8 elettroni. Lo strato 3 ne può contenere fino a 18. Negli strati successivi può trovare posto un numero sempre maggiore di elettroni. In molti casi (ma non in tutti) gli strati tendono a essere riempiti l'uno di seguito all'altro.

I soli elettroni che hanno importanza per la formazione dei legami sono quelli dello strato più esterno dell'atomo. Questo strato è detto **strato** (o **guscio**) **di valenza**, e i suoi elettroni determinano il comportamento

chimico dell'atomo. Gli elettroni degli strati interni non prendono parte alla formazione di legami.

Quando lo strato di valenza di un atomo contiene 8 elettroni, l'atomo è completamente stabile e chimicamente inattivo (inerte). Quando lo strato di valenza contiene meno di 8 elettroni, l'atomo tende ad acquisire, a perdere o a condividere elettroni con altri atomi per raggiungere uno stato stabile. Quando si verifica uno qualunque di questi eventi, si formano legami chimici. Nella **figura 5** sono illustrati esempi di elementi chimicamente inerti e di elementi reattivi.

La chiave per spiegare la reattività chimica è indicata come *regola degli ottetti*: vale a dire che gli atomi interagiscono in modo tale da arrivare ad avere 8 elettroni nel loro strato di valenza. Il primo strato elettronico rappresenta un'eccezione a questa regola, poiché è «completo» quando ha due elettroni. Come si può facilmente immaginare, gli atomi devono avvicinarsi moltissimo l'uno all'altro affinché i loro elettroni interagiscano: in effetti i loro strati elettronici più esterni devono sovrapporsi.

I tipi di legame chimico

Possiamo individuare tre tipi di legame chimico: i *legami ionici*, i *legami covalenti* e i *legami a idrogeno*.

I **legami ionici** si formano quando gli elettroni di valenza vengono completamente trasferiti da un atomo all'altro. Gli atomi sono elettricamente neutri, ma quando nel legarsi acquistano o perdono elettroni le loro cariche positive e negative non sono più bilanciate, e si formano così particelle dotate di carica dette **ioni**. Quando un atomo acquista un elettrone, acquisisce una carica netta negativa, poiché ha più elettroni che protoni. Gli ioni a carica negativa sono detti *anioni*. Quando un atomo perde un elettrone, diventa uno ione a carica positiva, un *catione*, poiché possiede più protoni che elettroni. Pertanto, quando si forma un legame ionico compariranno sia anioni sia cationi. Poiché le cariche di segno opposto si attraggono, gli ioni appena formati rimarranno vicini, formando un legame ionico.

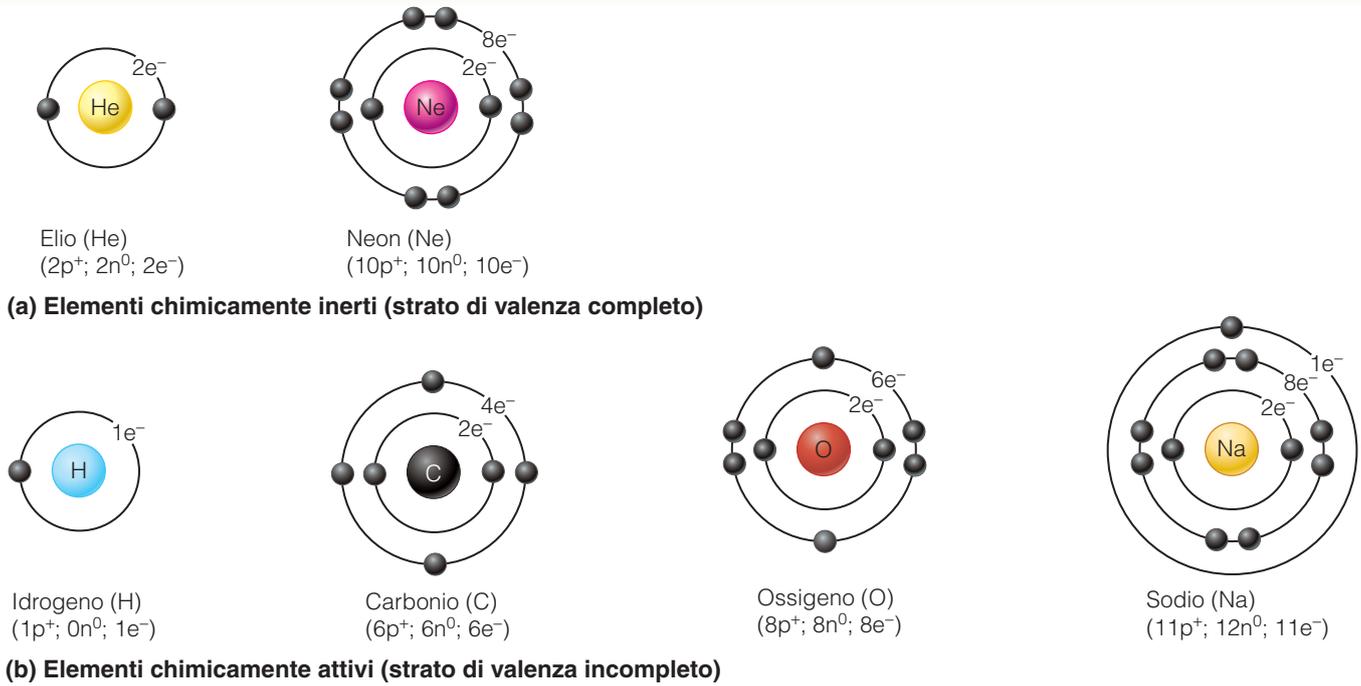


Figura 5 Elementi chimicamente inerti ed elementi reattivi

(a) L'elio e il neon sono chimicamente inerti perché in tutti e due lo strato più esterno, di valenza (livello energetico), è occupato completamente da elettroni. (b) Gli elementi in cui lo strato di valenza è incompleto sono chimicamente reattivi e tendono a interagire con altri atomi, acquistando, perdendo o condividendo elettroni per completare il loro strato di valenza. (Per semplificare gli schemi ogni nucleo atomico è raffigurato con un cerchio in cui è scritto il simbolo dell'atomo: i protoni e i neutroni non sono rappresentati.)

La formazione del cloruro di sodio (NaCl), il comune sale da cucina, costituisce un buon esempio di legame ionico. Come è illustrato nella **figura 6**, lo strato di valenza del sodio contiene soltanto un elettrone e perciò è incompleto. Se però questo unico elettrone viene ceduto a un altro atomo, il sodio risulterà avere otto elettroni di valenza nel secondo guscio e sarà pertanto stabile diventando un catione (Na^+). Al cloro serve soltanto un elettrone per completare il suo strato di valenza, ed è molto

più facile acquistare un elettrone (formando Cl^-) che provare a «cederne» sette. Quindi la situazione ideale per il sodio è donare il suo elettrone esterno al cloro, che lo acquista diventando stabile. In questo modo avviene l'interazione tra i due atomi. Il cloruro di sodio e molti altri composti formati per mezzo di legami ionici rientrano nella categoria chimica generale dei **salì**.

Perché gli atomi diventino stabili non è sempre necessario che gli elettroni siano completamente perduti o

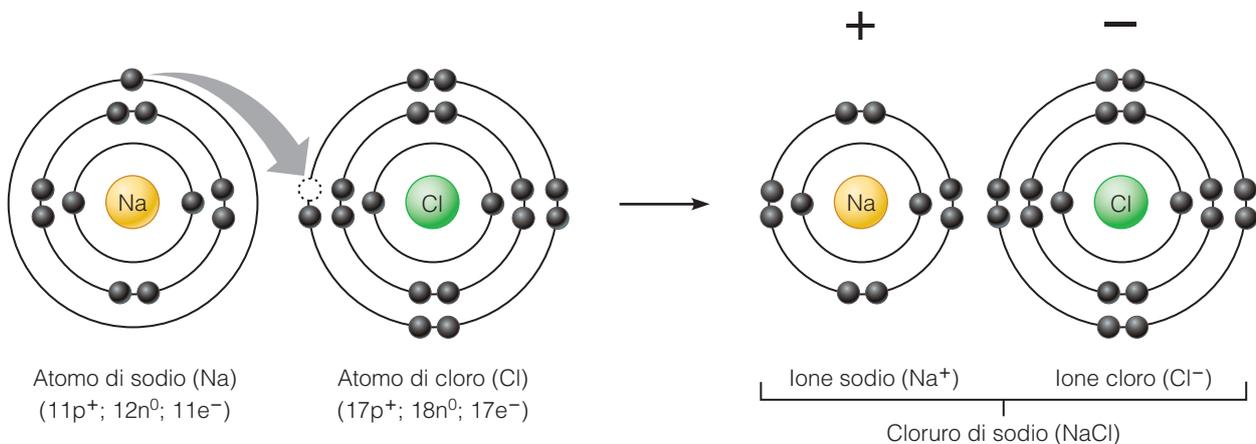


Figura 6 Formazione di un legame ionico

L'atomo di sodio e quello di cloro sono entrambi chimicamente reattivi poiché i loro strati di valenza sono incompleti. Il sodio raggiunge la stabilità perdendo un elettrone, mentre il cloro diventa stabile acquistando un elettrone. Dopo il trasferimento dell'elettrone, il sodio diventa un ione sodio (Na^+) e il cloro diventa uno ione cloro (Cl^-). Gli ioni hanno carica opposta e si attraggono l'un l'altro.

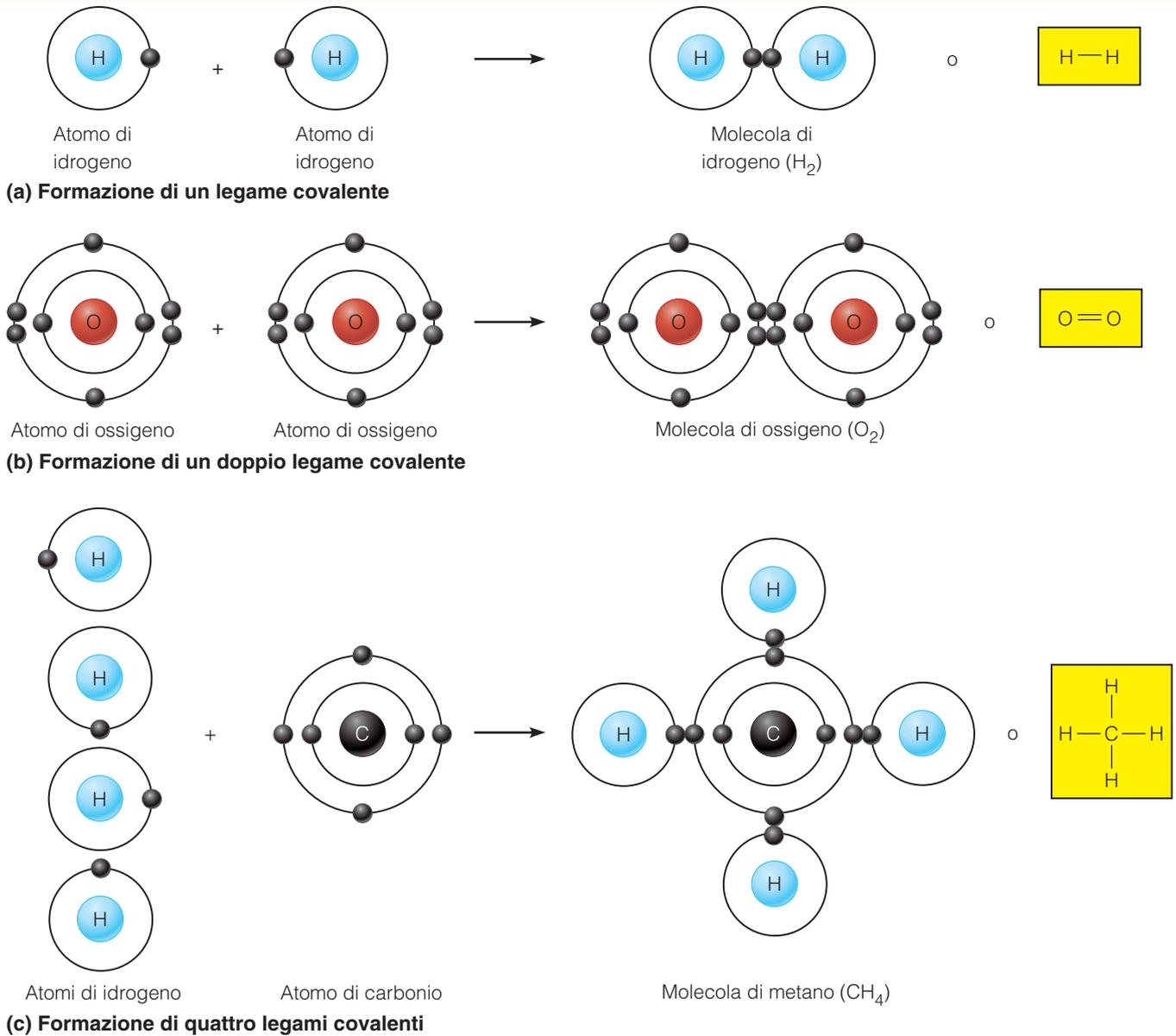


Figura 7 Formazione di legami covalenti

(a) Formazione di un legame covalente tra due atomi di idrogeno: si forma una molecola di idrogeno. (b) Formazione di una molecola di ossigeno. Ogni atomo di ossigeno condivide con l'altro due coppie di elettroni; si forma così un doppio legame covalente. (c) Formazione di una molecola di metano. Un atomo di carbonio condivide quattro coppie di elettroni con quattro atomi di idrogeno. Negli schemi delle molecole, rappresentati nei riquadri colorati a destra nella figura, ogni coppia di elettroni condivisi è indicata da un tratto semplice tra gli atomi che la condividono.

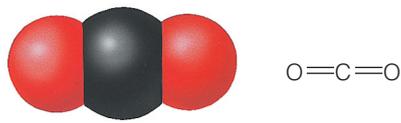
acquistati: a volte possono essere condivisi, in modo tale che ciascun atomo possa completare il proprio stato di valenza.

I **legami covalenti** legano le molecole in cui gli atomi condividono elettroni, dette *molecole covalenti*. Per esempio l'idrogeno, con il suo unico elettrone, può diventare stabile se completa il suo strato di valenza (livello energetico 1) condividendo con un altro atomo una coppia di elettroni, il proprio e quello dell'altro atomo. Come è illustrato nella **figura 7a**, un atomo di idrogeno può condividere una coppia di elettroni con un altro atomo di

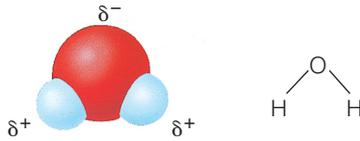
idrogeno, formando una molecola di idrogeno. La coppia di elettroni condivisa orbita attorno all'intera molecola e soddisfa il bisogno di stabilità di tutti e due gli atomi di idrogeno. Analogamente, due atomi di ossigeno, ciascuno con 6 elettroni esterni, possono condividere due coppie di elettroni (con formazione di un doppio legame; **figura 7b**), dando origine a una molecola di ossigeno (O₂).

Un atomo di idrogeno può anche condividere il proprio elettrone con un atomo di un elemento differente. Il carbonio ha quattro elettroni nello strato di valenza,

? Quale delle due molecole – (a) o (b) – è una molecola polare?



(a) Diossido di carbonio (CO₂)



(b) Acqua (H₂O)

Figura 8 Modelli molecolari che illustrano la struttura tridimensionale della molecola del diossido di carbonio e di quella dell'acqua

ma gliene occorrono otto per diventare stabile. Come si vede nella **figura 7c**, quando si forma il metano (CH₄) il carbonio condivide quattro coppie di elettroni con quattro atomi di idrogeno (una coppia con ciascun atomo di idrogeno). Poiché gli elettroni condivisi orbitano attorno e «appartengono» all'intera molecola, ogni atomo ha lo strato di valenza completo e quindi soddisfa il suo bisogno di stabilità.

Nelle molecole covalenti fin qui descritte gli elettroni sono *ugualmente* condivisi tra gli atomi che formano la molecola. Tali molecole sono *molecole apolari*. Tuttavia gli elettroni non sono sempre ugualmente condivisi. Quando si formano legami covalenti, la molecola risultante ha sempre una forma tridimensionale definita. La forma di una molecola ha un ruolo importante nel determinare con quali altre molecole (o atomi) essa può interagire; la forma può anche causare la distribuzione non uniforme di coppie di elettroni. Questo principio è illustrato dai due esempi che seguono.

Il diossido di carbonio (anidride carbonica) si forma quando un atomo di carbonio condivide i suoi quattro elettroni dello strato di valenza con due atomi di ossigeno. L'ossigeno è un atomo molto avido di elettroni e attrae gli elettroni condivisi molto più fortemente del carbonio. Tuttavia, poiché la molecola di diossido di carbonio è lineare (O=C=O), la forza di attrazione degli elettroni esercitata da un atomo di ossigeno è controbilanciata da quella esercitata dall'altro, come un tiro alla fune in un momento di sospensione (**figura 8a**). Di conseguenza le coppie di elettroni sono ugualmente condivise e orbitano attorno all'intera molecola, pertanto il diossido di carbonio è una molecola apolare.

Una molecola di acqua si forma quando due atomi di idrogeno si legano in modo covalente con un atomo di

ossigeno. Ciascun atomo di idrogeno condivide una coppia di elettroni con l'atomo di ossigeno, e di nuovo l'atomo di ossigeno esercita sugli elettroni una forza di attrazione maggiore. In questo caso, però, la molecola che si è formata ha forma di V (H-O-H). I due atomi di

idrogeno sono situati a un estremo della molecola, e l'atomo di ossigeno è all'altro estremo (**figura 8b**). Di conseguenza le due coppie di elettroni non sono ugualmente condivise tra gli atomi ma trascorrono più tempo in prossimità dell'atomo di ossigeno, facendo sì che quell'estremo della molecola diventi leggermente più negativo (δ^-) e l'estremo dell'idrogeno leggermente più positivo (δ^+). In altre parole, si forma una *molecola polare*, cioè una molecola con due *poli* di carica elettrica opposta.

Le molecole polari si orientano verso altre molecole polari o verso altre particelle dotate di carica elettrica (ioni, proteine e altro) e svolgono un ruolo importante nelle reazioni chimiche che avvengono nelle cellule dell'organismo. Poiché i tessuti del corpo sono per il 60-80% formati da acqua, il fatto che l'acqua sia una molecola polare è particolarmente rilevante, come vedremo tra breve.

I **legami a idrogeno** sono legami intermolecolari estremamente deboli, che si formano cioè tra due o più molecole. Risultano molto più deboli dei precedenti e si formano quando un atomo di idrogeno risulta legato a un atomo avido di elettroni (come l'azoto o l'ossigeno). In questo caso l'idrogeno si caricherà di una parziale carica positiva e attirerà atomi parzialmente negativi di un'altra molecola creando un ponte tra le due. La formazione di legami a idrogeno è comune tra le molecole di acqua (**figura 9a** a pagina seguente) e la tensione superficiale dell'acqua ne è una conseguenza. La tensione superficiale fa sì che l'acqua formi minute sfere quando si posa su una superficie, e permette ad alcuni insetti come gli insetti pattinatori (**figura 9b**) di camminare sull'acqua.

I legami a idrogeno sono anche importanti *legami intramolecolari*; vale a dire che contribuiscono a legare insieme parti differenti della *stessa* molecola conferendole una specifica forma tridimensionale. Tali legami piuttosto deboli sono molto importanti nel contribuire a mantenere la struttura delle proteine, che sono molecole essenziali per il nostro corpo.

I tipi di reazioni chimiche

Le reazioni chimiche comportano la formazione o la scissione di legami tra gli atomi. Il numero totale degli atomi rimane lo stesso, ma gli atomi si presentano in nuove combinazioni. La maggior parte delle reazioni chimiche corrisponde a uno dei tre tipi descritti qui di seguito.

Le reazioni di sintesi

Le **reazioni di sintesi** avvengono quando due o più atomi o molecole si combinano formando una molecola più

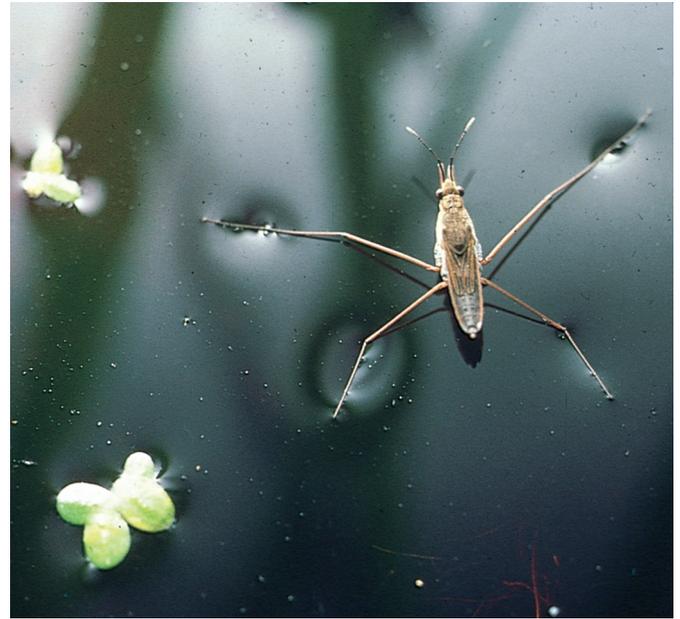
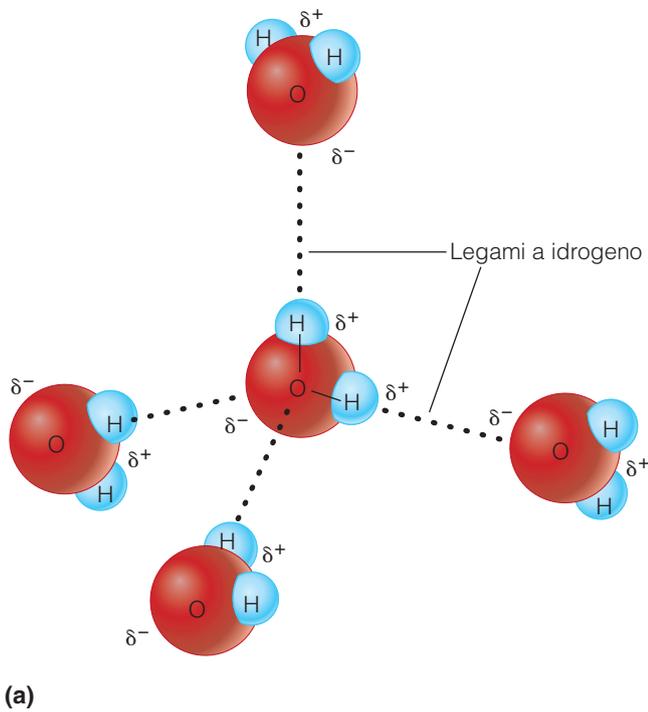
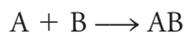


Figura 9 Formazione di legami a idrogeno tra molecole polari di acqua

(a) Gli estremi lievemente positivi (indicati con δ^+) delle molecole di acqua si allineano con gli estremi lievemente negativi (indicati con δ^-) di altre molecole di acqua. (b) L'elevata tensione superficiale dell'acqua, risultante dalla forza congiunta dei suoi legami a idrogeno, permette a un insetto pattinatore di camminare su uno stagno senza romperne la superficie.

complessa e più grande; il processo può essere rappresentato in modo semplice come

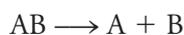


Le reazioni di sintesi comportano sempre la formazione di legami. Poiché per formare legami deve essere impiegata energia, le reazioni di sintesi sono reazioni che incorporano energia.

Le reazioni di sintesi sono alla base di tutti i processi anabolici (di costruzione) che avvengono nelle cellule dell'organismo. Queste reazioni sono particolarmente importanti per l'accrescimento e per la riparazione dei tessuti usurati o danneggiati. Come è illustrato nella **figura 10a**, la formazione di una proteina mediante l'unione di aminoacidi in una lunga catena è una reazione di sintesi.

Le reazioni di degradazione

Le **reazioni di degradazione** avvengono quando una molecola è scissa in molecole più piccole, atomi, o ioni, e può essere rappresentata come



Le reazioni di degradazione sono l'opposto delle reazioni di sintesi. I legami vengono sempre scissi e i prodotti di tali reazioni sono più piccoli e più semplici rispetto alle molecole di partenza. Poiché vengono scissi legami, si libera energia chimica. Le reazioni di degradazione sono

alla base di tutti i processi catabolici (di distruzione) che avvengono nelle cellule dell'organismo; vale a dire che sono reazioni che demoliscono molecole. Tra gli esempi di reazioni di degradazione che avvengono nell'organismo possiamo ricordare la digestione dei cibi nei loro mattoni costitutivi e la scissione delle molecole di glicogeno (un grande carboidrato accumulato nel fegato) per liberare glucosio (**figura 10b**) quando il livello di zucchero nel sangue comincia a diminuire.

Le reazioni di scambio

Le **reazioni di scambio** implicano sia la formazione sia la scissione di legami. In queste reazioni avvengono scambi tra parti di molecole per formare molecole differenti. Quindi una reazione di scambio può essere rappresentata genericamente come



Per esempio, avviene una reazione di scambio quando l'ATP reagisce con il glucosio e trasferisce al glucosio il suo gruppo fosfato terminale, formando glucosio-fosfato (**figura 10c**). Contemporaneamente l'ATP diviene ADP. Questa importante reazione, che avviene ogni volta che il glucosio entra in una cellula, «intrappola» efficacemente il glucosio all'interno della cellula.

Indipendentemente dal tipo di reazione, molte reazioni chimiche sono reversibili. Se i legami chimici si pos-

? In tutte le reazioni illustrate i legami chimici vengono modificati. Quali particelle subatomiche sono interessate in queste modificazioni?

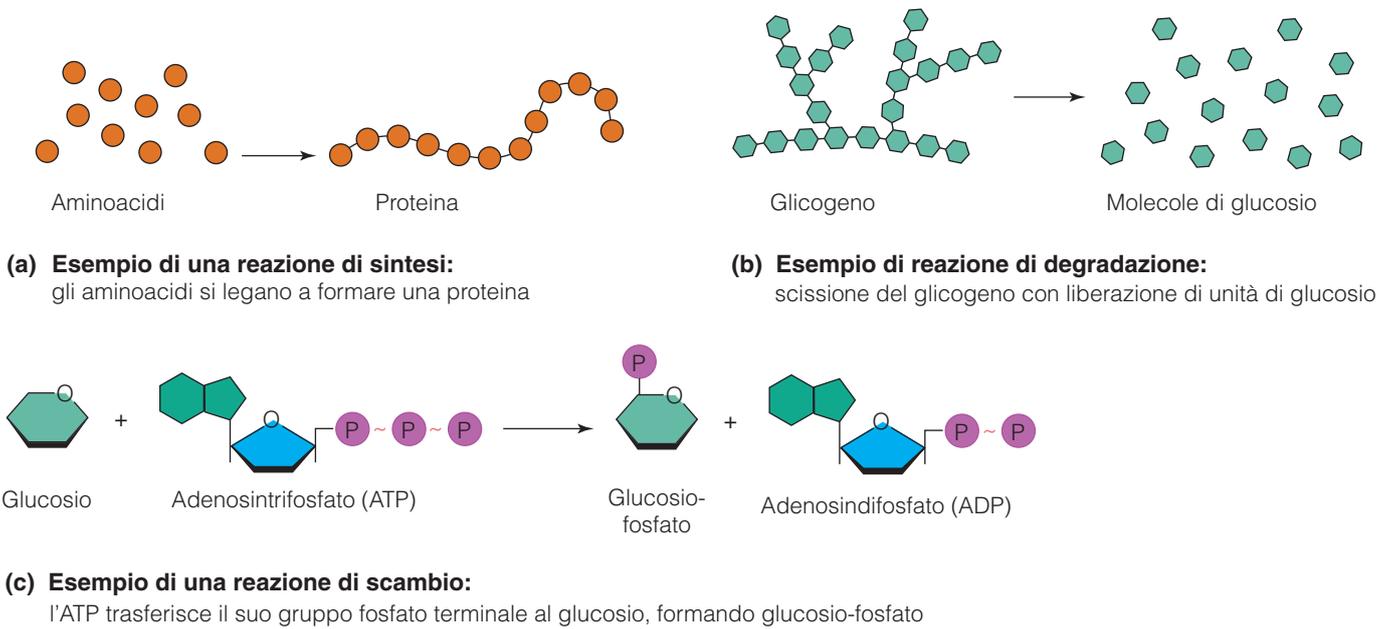


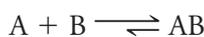
Figura 10 Tipi di reazioni chimiche

(a) Nelle reazioni di sintesi le particelle più piccole si legano formando molecole più grandi e più complesse. (b) Le reazioni di degradazione comportano la scissione di legami. (c) Nelle reazioni di scambio avviene sia la formazione sia la scissione di legami.

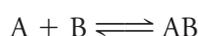
Tabella 4 Fattori che aumentano la velocità delle reazioni chimiche

Fattore	Meccanismo di incremento del numero di collisioni
↑ temperatura	↑ l'energia cinetica delle molecole, che a loro volta si muovono più velocemente ed entrano in collisione con maggior forza.
↑ concentrazione delle particelle reagenti	↑ il numero delle collisioni per l'aumento del numero delle particelle reagenti.
↓ dimensioni delle particelle	Le particelle più piccole hanno maggiore energia cinetica e si muovono più velocemente di quelle più grandi. Partecipano quindi a un numero maggiore di collisioni.
Presenza di catalizzatori	↓ la quantità di energia di cui le molecole hanno bisogno per interagire, mantenendo i reagenti nelle posizioni più idonee per interagire (vedi p. 22).

sono formare, possono anche essere scissi, e viceversa. La reversibilità è indicata da due frecce. Quando le frecce hanno lunghezza differente, la più lunga indica la reazione più rapida o la direzione principale in cui la reazione avviene. Per esempio, nella reazione



la reazione che procede verso destra avviene più rapidamente e col passare del tempo AB si accumula, mentre la quantità di A e di B diminuisce. Se le frecce hanno uguale lunghezza, la reazione è in equilibrio chimico. Così, in



per ogni molecola AB prodotta, una molecola AB viene scissa liberando A e B.

I fattori che influenzano la velocità delle reazioni chimiche

Per reagire chimicamente, gli atomi e le molecole devono entrare in collisione con forza, cosicché gli elettroni dei loro strati di valenza possono interagire. La formazione e la scissione di legami non possono avvenire a distanza. La **tabella 4** riporta alcuni fattori che influenzano l'energia cinetica, e quindi la velocità delle particelle e la forza delle collisioni.

■ FACCIAMO IL PUNTO

9. In cosa consiste la differenza tra legami ionici e legami covalenti?
10. Che tipo di legame si forma tra le molecole di acqua?
11. In quale tipo di reazione chimica una molecola più grande viene scissa in molecole più piccole?
12. In che modo puoi indicare che una reazione chimica è reversibile?

5. La biochimica: la composizione chimica della materia dei viventi

Tutte le sostanze chimiche che si trovano nell'organismo rientrano in una delle due principali classi di molecole: sono composti inorganici oppure organici. La classe del composto è determinata in base alla presenza o assenza del carbonio. Salvo alcune eccezioni (come il diossido di carbonio [CO₂] e il monossido di carbonio [CO]), i **composti inorganici** sono privi di carbonio e tendono a essere molecole piccole e semplici. Sono esempi di composti inorganici presenti nell'organismo l'*acqua*, i *sali*, molti *acidi e basi*. I **composti organici** sono composti contenenti carbonio; quelli presenti nell'organismo sono *carboidrati*, *lipidi*, *proteine* e *acidi nucleici*. Tutti i composti organici sono formati da molecole abbastanza (o molto) grandi i cui atomi sono legati covalentemente.

I composti inorganici e quelli organici sono ugualmente essenziali per la vita.

I composti inorganici

L'acqua

L'acqua è il composto inorganico più abbondante dell'organismo e rappresenta circa i due terzi del peso corporeo. Alcune delle proprietà che rendono l'acqua così essenziale per la vita sono le seguenti:

- L'acqua ha una **elevata capacità termica**, cioè assorbe e libera grandi quantità di calore senza modificare in modo apprezzabile la sua temperatura. Questo riduce le improvvise variazioni di temperatura dell'organismo che potrebbero altrimenti verificarsi in seguito a un'intensa esposizione al sole, ai venti gelidi dell'inverno, oppure a processi interni (come una energica attività muscolare) che liberano grandi quantità di calore.
- Per il fatto di essere polare, l'acqua è un **solvente** eccellente: infatti è spesso indicata come il «solvente universale». Un *solvente* è un liquido o un gas in cui possono essere disciolte o sospese quantità minori di altre sostanze dette *soluti* (che possono essere gas, liquidi o solidi). La miscela che ne risulta è una *soluzione* quando le particelle di soluto sono straordinariamente piccole, una *sospensione* quando le particelle di soluto sono

abbastanza grandi. Le miscele con particelle di soluto di grandezza intermedia sono dette *colloidi*.

Le piccole sostanze chimiche reattive (come sali, acidi e basi) si sciolgono facilmente in acqua distribuendosi uniformemente. Le molecole non possono reagire chimicamente se non sono in soluzione, quindi praticamente tutte le reazioni chimiche dell'organismo dipendono dalle proprietà solvente dell'acqua.

Poiché le sostanze nutritive, i gas respiratori (ossigeno e diossido di carbonio) e le sostanze di rifiuto sono solubili in acqua, l'acqua può agire nell'organismo come mezzo sia di trasporto sia di scambio. Per esempio, tutte le sostanze sono trasportate da una parte all'altra del corpo nel plasma sanguigno e sono scambiate tra il sangue e le cellule passando attraverso il liquido interstiziale.

Anche specifiche molecole che agiscono nell'organismo come lubrificanti (per esempio il muco) utilizzano l'acqua come solvente: il liquido sinoviale lubrifica le estremità ossee che si muovono all'interno delle cavità articolari.

- In alcuni tipi di reazioni chimiche l'acqua è un **reagente** importante. Per esempio, per digerire il cibo o scindere molecole biologiche, vengono utilizzate molecole di acqua che scompongono molecole più grandi e complesse in molecole più piccole e semplici. Tali reazioni sono dette *reazioni di idrolisi*, e il ruolo dell'acqua è specificamente individuato nel termine stesso (*idro*, «acqua»; *lisi*, «scissione»).
- L'acqua svolge anche funzioni di **protezione**, per esempio ammortizzando gli urti. Sotto forma di liquido cefalorachidiano, l'acqua circonda l'encefalo provvedendo a proteggerlo da traumi fisici. Il liquido amniotico, in cui il feto in via di sviluppo è immerso all'interno del corpo materno, svolge un ruolo simile nel proteggere il feto.

I sali

Un **sale** è un composto ionico formato da un catione e un anione. Nell'organismo si trovano comunemente sali di molti elementi metallici, ma i più abbondanti sono quelli contenenti calcio e fosforo, presenti soprattutto nelle ossa e nei denti. Quando sono in soluzione nei liquidi del corpo, i sali si scindono facilmente nei loro ioni. Questo processo, detto *dissociazione*, avviene con molta facilità e avviene ad opera delle molecole polari di acqua, che si orientano con il loro estremo leggermente negativo verso i cationi, e con l'estremo leggermente positivo verso gli anioni, vincendo così la forza di attrazione che li teneva uniti (**figura 11**).

I sali, sia nella loro forma ionica sia in combinazione con altri elementi, sono essenziali per le funzioni dell'organismo. Per esempio, il sodio e il potassio sono indi-

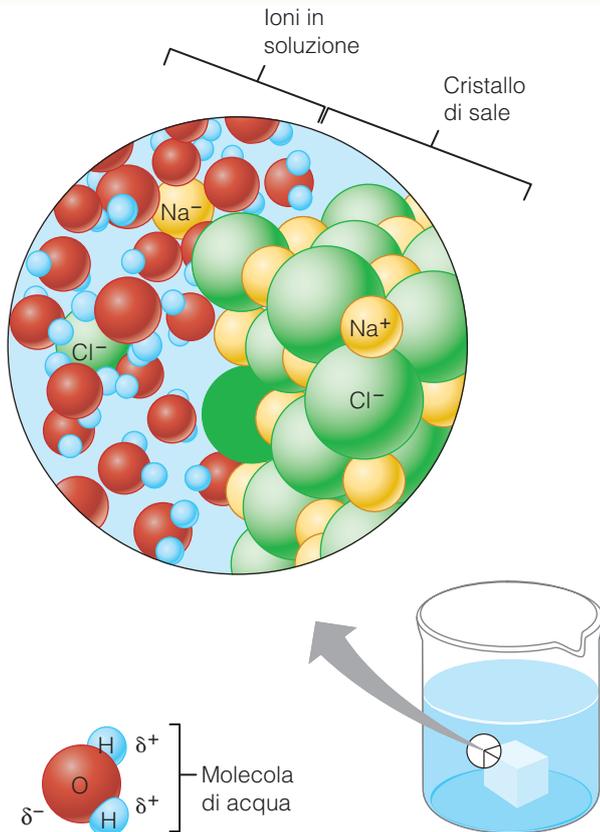


Figura 11 Dissociazione di un sale nell'acqua
L'estremo leggermente negativo delle molecole di acqua (δ^-) è attratto verso Na^+ , mentre l'estremo leggermente positivo (δ^+) si orienta verso Cl^- , provocando la separazione degli ioni dei cristalli di sale.

spensabili per gli stimoli nervosi; il ferro fa parte della molecola dell'emoglobina, contenuta negli eritrociti, che trasporta l'ossigeno.

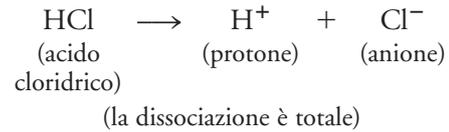
Poiché gli ioni sono particelle dotate di carica elettrica, tutti i sali sono **elettroliti**, sostanze che in soluzione conducono una corrente elettrica. Quando l'equilibrio ionico (o elettrolitico) è gravemente alterato, sono praticamente alterate tutte le funzioni dell'organismo. Il ruolo degli elementi presenti nei sali dell'organismo è riassunto nella tabella 1 (p. 4).

Acidi e basi e loro caratteristiche

Come i sali, gli acidi e le basi sono elettroliti, cioè in acqua si dissociano, e possono condurre una corrente elettrica.

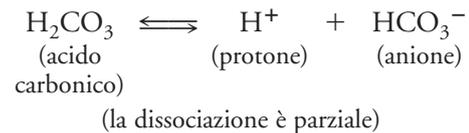
Gli **acidi** hanno sapore aspro e possono sciogliere molti metalli o fare un buco nei tessuti. Ma la definizione più utile di un acido è quella di sostanza capace di liberare **ioni idrogeno** (H^+) in quantità determinabile. Poiché uno ione idrogeno è fondamentalmente un nucleo di idrogeno (un «protone nudo»), gli acidi sono detti anche **donatori di protoni**.

Quando si sciolgono in acqua, gli acidi liberano ioni idrogeno e alcuni anioni. Gli anioni sono irrilevanti in quanto è la liberazione di protoni che determina gli effetti dell'acido. La ionizzazione dell'acido cloridrico (un acido prodotto da cellule dello stomaco, che favorisce la digestione) è illustrata nella seguente equazione:

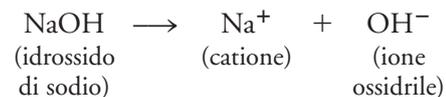


Tra gli acidi prodotti nell'organismo ci sono l'acido acetico (il componente acido dell'aceto) e l'acido carbonico.

Gli acidi, come l'acido cloridrico, che si ionizzano completamente e liberano tutti i loro protoni sono **acidi forti**. Gli acidi che si ionizzano in modo incompleto, come l'acido acetico e l'acido carbonico, sono **acidi deboli**. Per esempio, quando l'acido carbonico è sciolto in acqua soltanto alcune delle sue molecole si ionizzano liberando H^+ .

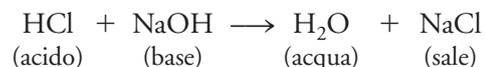


Le **basi** hanno sapore amaro, sono scivolose al tatto e sono **accettori di protoni**. Gli idrossidi sono basi inorganiche comuni. Come gli acidi, gli idrossidi in acqua si ionizzano e si dissociano; in questo caso però si liberano **ioni ossidrile** (OH^-) e alcuni cationi. La ionizzazione dell'idrossido di sodio (NaOH), generalmente noto come **liscivia**, è



Lo ione ossidrile è un avido cercatore di protoni (H^+) e tutte le basi che lo contengono sono considerate basi forti. Invece lo **ione bicarbonato** (HCO_3^-), un'importante base presente nel sangue, è una base abbastanza debole.

Quando vengono mescolati, acidi e basi reagiscono gli uni con le altre (in una reazione di scambio) formando acqua e un sale:



Questo tipo di reazione di scambio, nella quale interagiscono un acido e una base, è più specificamente definita **reazione di neutralizzazione**.

pH: la concentrazione acido-basica

La concentrazione relativa di ioni idrogeno (e ossidrile) in vari liquidi del corpo è misurata in unità di concentrazione dette unità di **pH**. L'idea di una scala del pH fu



Quale ione è responsabile dell'aumento di acidità?

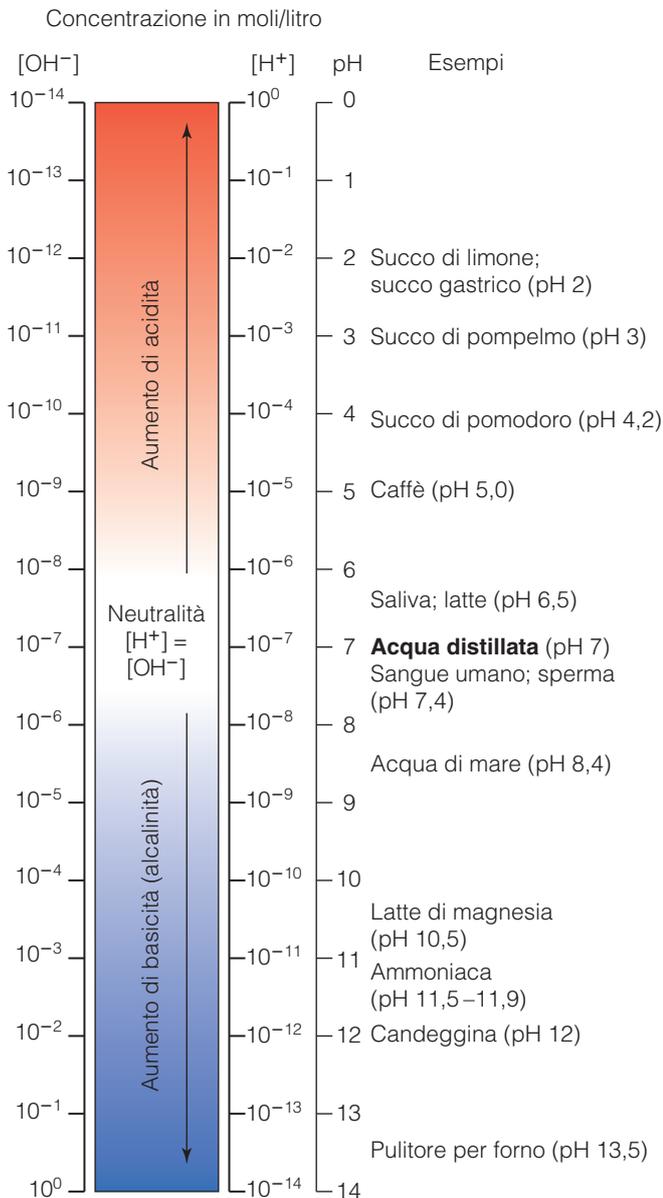


Figura 12 La scala del pH e il valore di pH di alcune sostanze

La scala del pH è basata sul numero di ioni idrogeno in soluzione. Per ogni valore di pH indicato sono riportate l'effettiva concentrazione (espressa in moli per litro) di ioni idrogeno [H⁺] e la corrispondente concentrazione di ioni ossidrilici [OH⁻]. A pH 7, [H⁺] = [OH⁻], la soluzione è neutra. Una soluzione con pH inferiore a 7 è acida; con pH superiore a 7 è basica, o alcalina.

escogitata nel 1909 dal biochimico (e fabbricante di birra part-time) danese Sørensen, e si basa sul numero dei protoni in soluzione espresso come moli per litro. (La mole è una unità di misura della concentrazione.) La scala del pH va da 0 a 14 (figura 12) e ogni variazione successiva di 1 unità di pH corrisponde a una variazione dieci volte maggiore della concentrazione di ioni idrogeno.

A pH 7, il punto di mezzo della scala, il numero di

ioni idrogeno è esattamente uguale al numero di ioni ossidrilici, e la soluzione è neutra, vale a dire né acida né basica. Le soluzioni con pH inferiore a 7 sono acide: gli ioni idrogeno sono più numerosi degli ioni ossidrilici. Una soluzione con pH 6 ha un numero di ioni idrogeno dieci volte maggiore rispetto a una soluzione con pH 7; un pH 3 indica un aumento della concentrazione di ioni idrogeno di 10000 (10 × 10 × 10 × 10) volte. Le soluzioni con pH superiore a 7 sono alcaline, o basiche, e le soluzioni con pH 8 e con pH 12 hanno rispettivamente 1/10 e 1/100000 del numero di ioni idrogeno presenti in una soluzione con pH 7.

Le cellule viventi sono straordinariamente sensibili a variazioni anche lievi del pH e l'equilibrio acido-basico è accuratamente regolato dai reni, dai polmoni e da diverse sostanze chimiche, dette **sistemi tampone**, presenti nei liquidi del corpo. Gli acidi deboli e le basi deboli sono componenti importanti dei sistemi tampone dell'organismo, che hanno la funzione di mantenere stabile il pH rimuovendo gli ioni idrogeno o ossidrilici in eccesso.

Poiché il sangue viene in stretto contatto con pressoché tutte le cellule dell'organismo, la regolazione del pH del sangue è particolarmente importante. Normalmente il pH del sangue varia entro limiti ristretti, da 7,35 a 7,45. Quando il pH del sangue varia di pochi decimi di unità di pH oltre questi limiti, può verificarsi la morte. Per quanto si possa illustrare questo punto con centinaia di esempi, ne presentiamo soltanto uno importantissimo: quando il pH del sangue comincia ad abbassarsi diventando più acido, la quantità di ossigeno che l'emoglobina del sangue può trasportare alle cellule comincia a cadere velocemente a valori pericolosamente bassi. Nella **figura 12** sono riportati i valori approssimativi di pH di diversi liquidi dell'organismo e di alcune sostanze di uso comune.

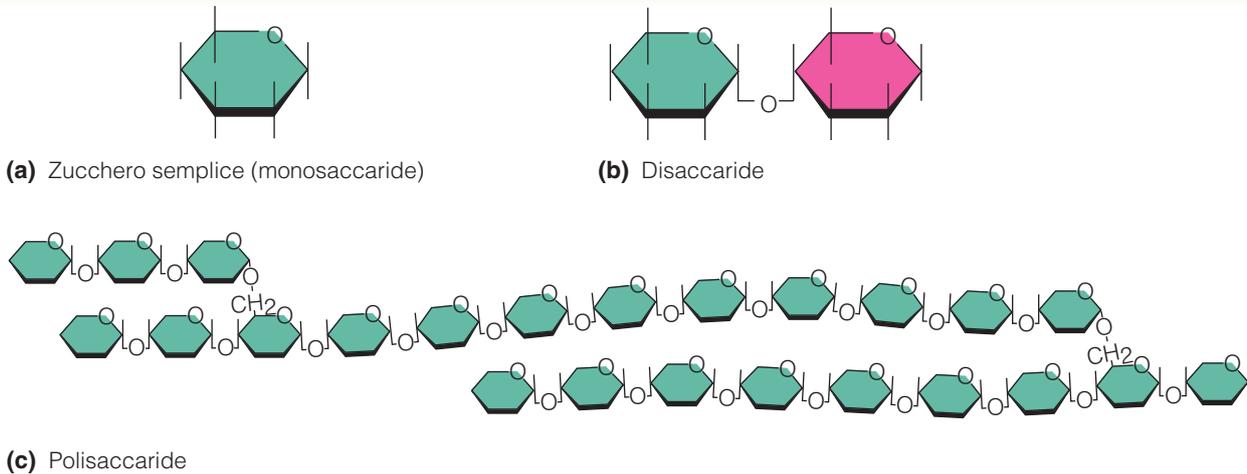
FACCIAMO IL PUNTO

13. Quale proprietà dell'acqua impedisce le rapide variazioni della temperatura corporea?
14. Quale dei due è un donatore di protoni: un acido o una base?
15. Un pH 11 è acido o basico?

I composti organici

I carboidrati

I **carboidrati**, detti anche *zuccheri*, sono molecole contenenti carbonio, idrogeno e ossigeno. Con lievi variazioni, gli atomi di idrogeno e di ossigeno sono presenti nello stesso rapporto dell'acqua: cioè 2 atomi di idrogeno per 1 atomo di ossigeno. Questo è espresso nel termine *carboidrato*, che significa «idrato di carbonio» e nelle formule molecolari degli zuccheri. Per esempio, il glucosio è C₆H₁₂O₆, il ribosio C₅H₁₀O₅.

**Figura 13** Carboidrati

(a) Struttura generale di un monosaccaride. (b) e (c) Struttura di base, rispettivamente, di un disaccaride e di un polisaccaride.

I carboidrati si classificano in base alle dimensioni in *monosaccaridi*, *disaccaridi* e *polisaccaridi*. I monosaccaridi, che si uniscono a formare le molecole degli altri due gruppi, sono le unità strutturali, o mattoni costitutivi, dei carboidrati.

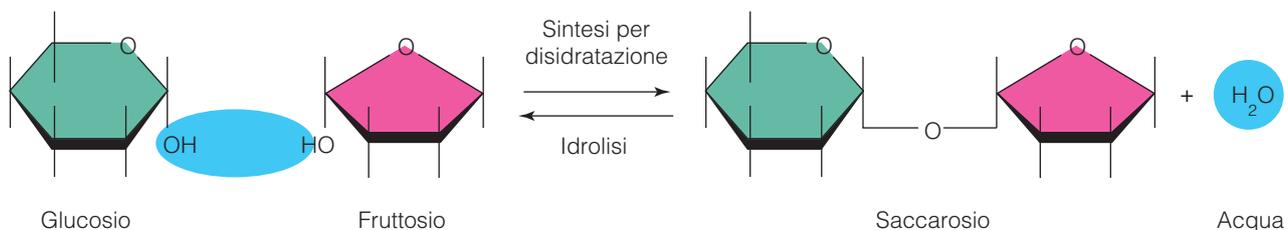
I **monosaccaridi** (detti anche *zuccheri semplici*; *monosaccaride* significa uno, *mono*, zucchero, *saccaride*) sono costituiti da una catena chiusa ad anello contenente da 3 a 7 atomi di carbonio (**figura 13a**). Nell'organismo i monosaccaridi più importanti sono il glucosio, il fruttosio, il galattosio, il ribosio e il deossiribosio. Il **glucosio**, lo *zucchero presente nel sangue*, è il materiale energetico universale delle cellule. Per essere utilizzati dalle cellule dell'organismo, il *fruttosio* e il *galattosio* sono convertiti in glucosio. Il *ribosio* e il *deossiribosio* fanno parte della struttura degli acidi nucleici, un altro gruppo di molecole organiche.

I **disaccaridi**, o *zuccheri doppi* (**figura 13b**), si formano quando due zuccheri semplici si uniscono mediante una reazione di sintesi detta **sintesi per disidratazione**. In questa reazione, quando si forma il legame tra i due zuccheri viene perduta una molecola di acqua (**figura 14**).

Disaccaridi importanti nell'alimentazione sono il *saccarosio* (glucosio-fruttosio), che è lo zucchero di canna, il *lattosio* (glucosio-galattosio) che si trova nel latte, il *maltosio* (glucosio-glucosio) presente nel malto. Poiché sono troppo grandi per attraversare le membrane cellulari, i disaccaridi devono essere scissi (digeriti) nelle loro unità monosaccaridiche per essere assorbiti nel canale alimentare e passare nel sangue. Questo avviene per **idrolisi**; aggiunta di una molecola di acqua a ciascun legame rompe il legame stesso e libera le unità di zuccheri semplici (vedi figura 14).

I **polisaccaridi** (letteralmente «molti zuccheri») sono lunghe catene ramificate di zuccheri semplici uniti insieme (vedi figura 13c). Poiché sono molecole grandi e insolubili, sono la forma in cui i carboidrati sono immagazzinati nel nostro corpo. Un'altra conseguenza delle loro grandi dimensioni è la mancanza del sapore dolce caratteristico degli zuccheri semplici e dei disaccaridi.

Due principali polisaccaridi, l'amido e il glicogeno, sono importanti per l'organismo umano. L'*amido* è il polisaccaride di riserva che si forma nelle piante. Lo ingeriamo sotto forma di cibi «amidacei», come prodotti del

**Figura 14** Sintesi per disidratazione e idrolisi di una molecola di saccarosio

Nella reazione che procede verso destra (reazione di sintesi per disidratazione) il glucosio e il fruttosio si legano mediante un processo che comporta l'eliminazione di una molecola di acqua nella sede del legame. Il disaccaride che si forma è il saccarosio. Il saccarosio è scisso nelle sue unità monosaccaridiche quando la reazione procede nel senso opposto (verso sinistra). In questa reazione di idrolisi, per liberare i monosaccaridi al legame deve essere aggiunta una molecola di acqua.

grano e radici vegetali (per esempio, patate e carote). Il *glicogeno* è un polisaccaride leggermente più piccolo, ma simile, che si trova nei tessuti animali (soprattutto nei muscoli e nel fegato). Entrambi sono formati da unità di glucosio unite insieme.

I carboidrati costituiscono per le cellule una fonte di energia pronta e facilmente utilizzabile, e in cima al «menu cellulare» c'è il glucosio. Quando viene ossidato (combinato con l'ossigeno) in una serie complessa di reazioni chimiche, il glucosio è scisso fino a formare diossido di carbonio e acqua. Parte dell'energia liberata dalla scissione dei legami del glucosio viene incorporata nei legami delle molecole altamente energetiche dell'ATP, la «moneta corrente» dell'energia in tutte le cellule. Se non sono immediatamente necessari per la sintesi di ATP, i carboidrati introdotti con la dieta sono convertiti in glicogeno o in grassi e accumulati. Chi è aumentato di peso per aver

mangiato troppi spuntini ricchi di carboidrati ha una consapevolezza diretta di questo processo di conversione!

Piccole quantità di carboidrati sono utilizzate a fini strutturali e rappresentano l'1-2% della massa cellulare. Alcuni zuccheri sono attaccati alla superficie esterna delle membrane cellulari, dove funzionano come indicazioni segnaletiche per guidare le interazioni tra le cellule e l'ambiente esterno.

I lipidi

I **lipidi** costituiscono un gruppo ampio ed eterogeneo di composti organici (**tabella 5**). Sono contenuti nella carne con venature di grasso, nel tuorlo d'uovo, nei prodotti del latte, negli oli. Nell'organismo i lipidi più abbondanti sono i *trigliceridi*, i *fosfolipidi* e gli *steroidi*. Come i carboidrati, tutti i lipidi contengono atomi di carbonio, idrogeno e ossigeno, ma nei lipidi gli atomi di carbonio

Tabella 2.5 Lipidi presenti nell'organismo

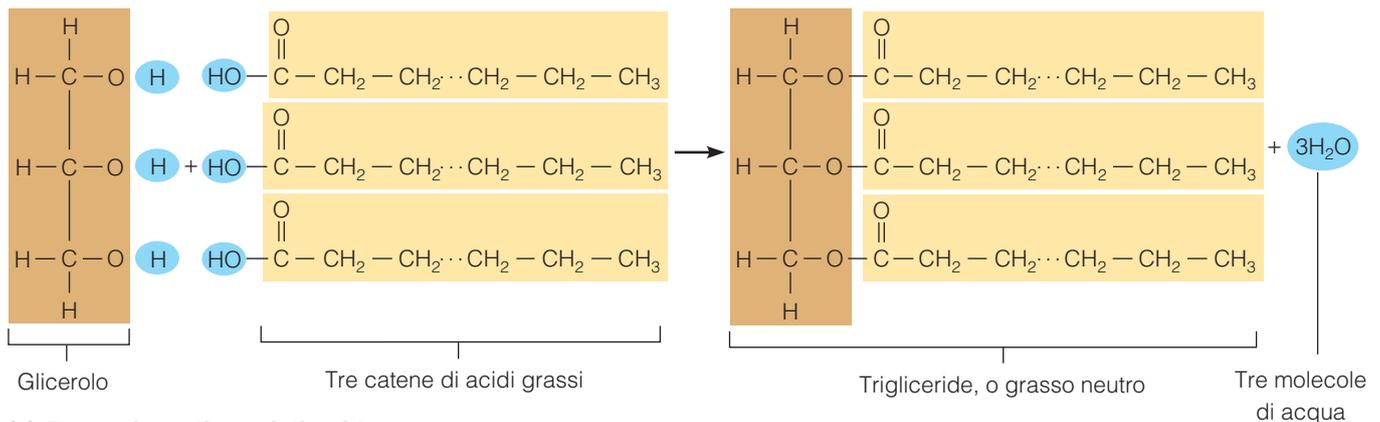
Tipi di lipidi	Localizzazione/funzione
Grassi neutri (trigliceridi)	Presenti nei depositi adiposi (tessuto sottocutaneo e attorno agli organi); proteggono e isolano organi del corpo; sono la principale fonte di energia accumulata nell'organismo.
Fosfolipidi (cefalina e altri)	Presenti nelle membrane cellulari; partecipano al trasporto di lipidi nel plasma; sono abbondanti nell'encefalo e nel tessuto nervoso in generale, dove contribuiscono a formare la sostanza bianca che ha funzione di isolante.
Steroidi	
Colesterolo	È la base di tutti gli steroidi dell'organismo.
Sali biliari	Prodotto di degradazione del colesterolo; sono liberati dal fegato nel tubo digerente, dove intervengono nella digestione e nell'assorbimento dei grassi.
Vitamina D	Vitamina liposolubile prodotta nella cute in seguito all'esposizione ai raggi UV (ultravioletti); necessaria per il normale accrescimento e l'attività funzionale dell'osso
Ormoni sessuali	Estrogeni e progesterone (ormoni femminili) e testosterone (ormone maschile) prodotti a partire dal colesterolo; necessari per la normale funzione riproduttiva; il loro deficit è causa di sterilità.
Corticosteroidi (ormoni della corticale surrenale)	Il cortisolo, un glucocorticoide, è un ormone antistress a lungo termine necessario per la vita; l'aldosterone contribuisce a regolare l'equilibrio idrico e salino dei liquidi dell'organismo agendo sui reni.
Altre sostanze lipoidee	
Vitamine liposolubili	
A	Presente negli ortaggi e nei frutti a pigmentazione arancione (carote, pomodori); fa parte del pigmento dei fotorecettori della vista.
E	Viene assunta attraverso prodotti vegetali come germe di grano e ortaggi a foglia verde; può favorire la cicatrizzazione delle ferite e la fertilità, ma nella specie umana non è dimostrato; è antiossidante; può contribuire a neutralizzare i radicali liberi (particelle altamente reattive che si ritiene siano implicate nello scatenare certi tipi di cancro).
K	È resa largamente disponibile per effetto di batteri intestinali; diffusa anche in un'ampia varietà di cibi; necessaria per la coagulazione del sangue.
Prostaglandine	Derivano da acidi grassi presenti nelle membrane cellulari; hanno varie funzioni, in rapporto alla classe specifica, quali la stimolazione delle contrazioni uterine (inducendo così il parto o l'aborto), la regolazione della pressione del sangue, il controllo della motilità del tubo digerente; sono implicate nell'infiammazione.
Lipoproteine	Sostanze costituite da lipidi e proteine che trasportano gli acidi grassi e il colesterolo nel sangue; varietà importanti sono le lipoproteine ad alta densità (HDL, <i>high density lipoprotein</i>) e le lipoproteine a bassa densità (LDL, <i>low density lipoprotein</i>).

e di idrogeno sono di gran lunga più numerosi degli atomi di ossigeno, come dimostra la formula di un grasso tipico, la tristearina: $C_{57}H_{110}O_6$. La maggior parte dei lipidi è insolubile in acqua ma è facilmente solubile in altri lipidi e in solventi organici come alcol e acetone.

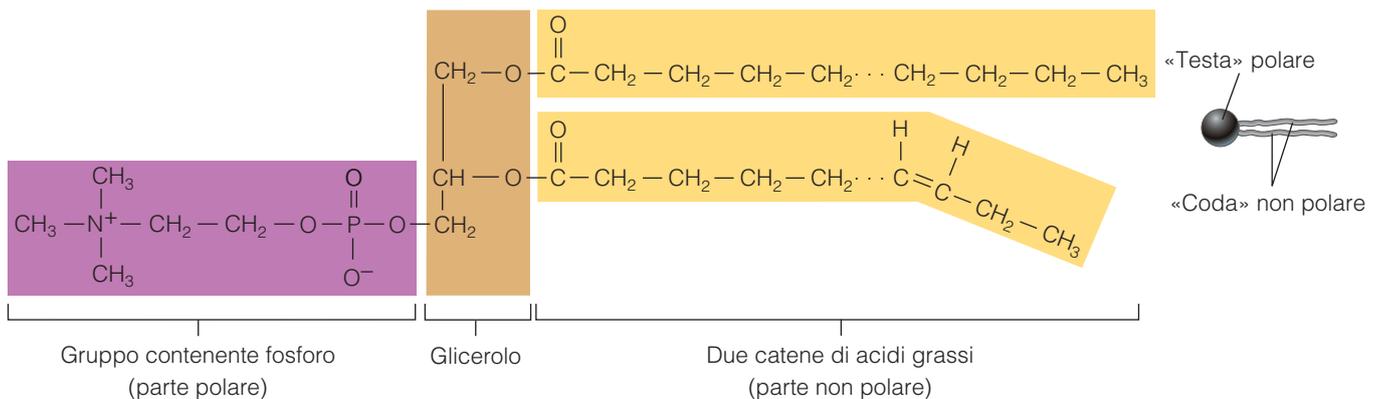
I **trigliceridi**, o **grassi neutri**, sono composti da due tipi di unità strutturali: **acidi grassi** e **glicerolo**. La loro sintesi comporta il legame di tre acidi grassi a un'unica molecola di glicerolo (figura 15a). Sebbene la struttura portante di glicerolo sia uguale in tutti i trigliceridi, le catene di acidi grassi variano, e tale variazione dà luogo a tipi differenti di trigliceridi. La lunghezza delle catene di aci-

di grassi e il loro tipo di legami C—C determinano quanto la molecola del trigliceride sia solida a temperatura ambiente. Gli acidi grassi che tra gli atomi di carbonio hanno soltanto legami covalenti semplici sono detti **saturi**; le loro catene sono rettilinee (vedi figura 15a) e, a temperatura ambiente, le molecole di un grasso saturo si avvicinano formando una struttura solida. Gli acidi grassi che contengono uno o più doppi legami tra atomi di carbonio sono detti **insaturi** (rispettivamente **monoinsaturi** e **polinsaturi**). I doppi legami determinano un ripiegamento delle catene degli acidi grassi (figura 15b), cosicché non possono compattarsi tanto strettamente da solidificarsi.

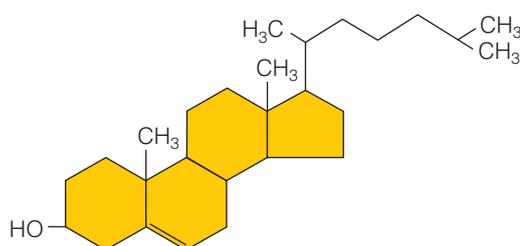
? *Trigliceridi e fosfolipidi sono simili. In cosa consiste la loro principale differenza strutturale?*



(a) Formazione di un trigliceride



(b) Molecola di un fosfolipide (fosfatidilcolina)



(c) Colesterolo

Figura 15 Lipidi

(a) I trigliceridi, o grassi neutri, sono sintetizzati mediante sintesi per disidratazione (tre catene di acidi grassi si legano a un'unica molecola di glicerolo e in ogni sito di legame viene eliminata una molecola di acqua). (b) Struttura della molecola di un fosfolipide. Due catene di acidi grassi e un gruppo contenente fosforo sono legati al glicerolo. Va notato che una delle catene di acido grasso è insatura (possiede uno o più doppi legami C=C). (c) Struttura generale del colesterolo (la base di tutti gli steroidi prodotti nell'organismo).

Quindi i trigliceridi con acidi grassi insaturi sono oli (liquidi a temperatura ambiente) e sono lipidi tipici delle piante. Ne sono esempi l'olio di oliva (ricco di grassi monoinsaturi) e l'olio di soia, che contiene una elevata percentuale di acidi grassi polinsaturi. Catene di acidi grassi più lunghe con un maggior numero di acidi grassi saturi sono comuni nei grassi animali, come il grasso del latte e il grasso della carne, che a temperatura ambiente sono solidi. I grassi insaturi, di cui è particolarmente ricco l'olio di oliva, sono più «salutari per il cuore».

I **grassi idrogenati**, comuni in molte margarine e nei prodotti da forno, sono oli che sono stati solidificati aggiungendo atomi di idrogeno nei siti dei doppi legami tra il carbonio. Di recente sono stati individuati quali fattori di rischio di malattie cardiache. Al contrario, gli **acidi grassi omega-3**, naturalmente presenti in alcuni pesci, sembrano ridurre il rischio di malattie cardiache e di alcune malattie infiammatorie.

I trigliceridi costituiscono la più abbondante e concentrata fonte di energia utilizzabile dell'organismo. Quando vengono ossidati, producono grandi quantità di energia. Sono accumulati principalmente nei depositi adiposi sottocutanei e attorno agli organi, dove contribuiscono all'isolamento termico del corpo e proteggono i tessuti posti più in profondità dalla perdita di calore e dagli urti.

I **fosfolipidi** sono simili ai trigliceridi, dai quali però differiscono perché della loro molecola fa sempre parte un gruppo contenente fosforo, che prende il posto di una delle catene di acidi grassi. Quindi i fosfolipidi hanno due catene di acidi grassi anziché tre (vedi figura 15b).

Poiché è dotata di carica elettrica, la porzione contenente fosforo (la «testa») conferisce ai fosfolipidi proprietà chimiche particolari a causa della sua polarità. Per esempio, la regione elettricamente carica attrae acqua e ioni e interagisce con essi, le catene di acidi grassi (la «coda») invece no. La presenza di fosfolipidi nella membrana che delimita le cellule consente la selettività nei confronti delle sostanze che attraverso la membrana possono entrare o uscire.

Gli **steroidi** sono fondamentalmente molecole piane formate da quattro anelli concatenati (figura 15c); la loro struttura quindi differisce molto da quella dei grassi. Tuttavia, come i grassi, gli steroidi sono in larga misura composti da atomi di carbonio e di idrogeno e sono liposolubili.

La molecola più importante degli steroidi è il **colesterolo**, che ingeriamo con prodotti animali come carne, uova e formaggi; una parte di colesterolo viene prodotta dal fegato, indipendentemente dall'assunzione con i cibi. Il colesterolo si è guadagnato una cattiva reputazione per il suo ruolo nell'arteriosclerosi, ma è essenziale per la vita dell'uomo. Si trova nelle membrane cellulari e rappre-

senta il materiale di base della vitamina D, degli ormoni steroidi, dei sali biliari.

Le proteine

Le **proteine** formano oltre il 50% della materia organica dell'organismo e svolgono molteplici funzioni. Alcune sono materiali strutturali; altre hanno ruoli essenziali per le funzioni delle cellule. Come i carboidrati e i lipidi, tutte le proteine contengono carbonio, ossigeno e idrogeno; in più contengono azoto, e talora anche atomi di zolfo.

Le unità strutturali delle proteine sono piccole molecole, gli **aminoacidi**. Nelle proteine si trovano circa venti tipi di aminoacidi. Tutti gli aminoacidi possiedono un *gruppo aminico* (NH_2), che conferisce loro proprietà basiche, e un *gruppo acido* (COOH) che consente loro di agire come acidi. In realtà tutti gli aminoacidi sono identici, tranne che per un singolo gruppo di atomi, il *gruppo R* (figura 16). Sono quindi i differenti gruppi R che rendono ogni aminoacido unico dal punto di vista chimico.

Gli aminoacidi sono uniti in catene che formano grandi e complesse molecole proteiche, contenenti da 50 a migliaia di aminoacidi. (Le catene di meno di 50 aminoacidi sono dette *polipeptidi*.) Poiché ogni tipo di aminoacido ha proprietà distinte, la sequenza in cui gli aminoacidi sono legati dà luogo a proteine che variano ampiamente sia come struttura sia come funzione. Per rendere questo concetto più facilmente comprensibile, si può pensare ai 20 aminoacidi come a un alfabeto di 20 lettere. Le lettere (aminoacidi) vengono utilizzate in combinazioni specifiche per formare parole (proteine). Proprio come il cambiamento di una sola lettera in qualunque parola può dare origine a una parola con significato completamente diverso o a una parola senza senso, le variazioni dei tipi di aminoacidi o delle loro posizioni nella proteina consentono la formazione di migliaia di molecole proteiche differenti.

Sulla base della forma complessiva e della struttura, le proteine sono classificate in *fibrose* e *globulari* (figura 17).

Le **proteine fibrose**, di forma filamentosa, sono **proteine strutturali** e sono presenti molto spesso nelle strutture dell'organismo. Sono molto importanti nel connettere le strutture e nel fornire resistenza in determinati tessuti. Per esempio, il *collagene* si trova nelle ossa, nella cartilagine, nei tendini, ed è la proteina più abbondante dell'organismo. La *cheratina* è la proteina strutturale dei capelli e delle unghie ed è il materiale che rende resistente la cute.

Le **proteine globulari** sono molecole ripiegate su se stesse tanto da assumere una forma sferica, che svolgono ruoli essenziali in pratica tutti i processi biologici. Poiché *svolgono molteplici attività*, sono **proteine funzionali** (vedi tabella 6). Alcune proteine (gli anticorpi) svolgono un'azione di difesa; altre (gli ormoni) intervengo-

? Qual è l'importanza dei gruppi R (in verde nella figura)?

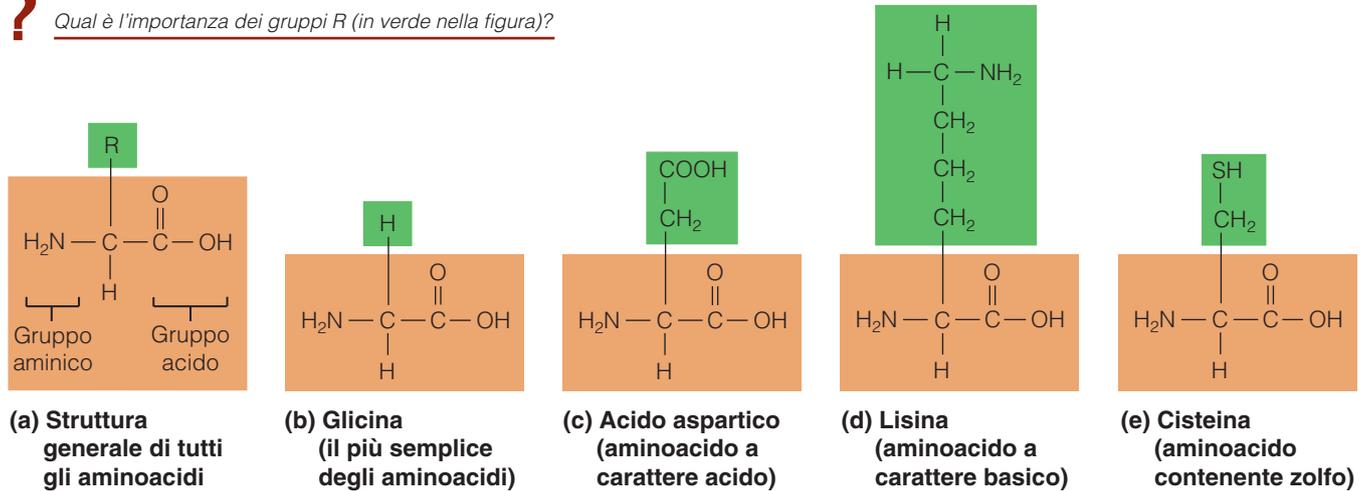
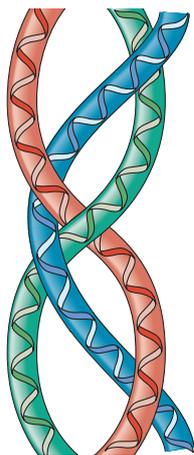
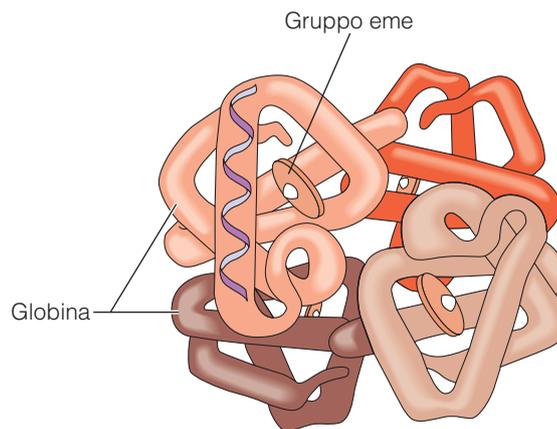


Figura 16 Struttura degli aminoacidi

(a) Struttura generale degli aminoacidi. Tutti gli aminoacidi hanno sia un gruppo aminico ($-\text{NH}_2$) sia un gruppo acido ($-\text{COOH}$); differiscono soltanto per la composizione in atomi del loro gruppo R (in verde). (b)–(e) Struttura specifica di quattro aminoacidi. La presenza di un gruppo solfidrilico ($-\text{SH}$) nella regione del gruppo R della cisteina in (e) lascia intendere che questo è un aminoacido che probabilmente partecipa alla formazione di legami intramolecolari.



(a) **Tripla elica del collagene (una proteina fibrosa, strutturale)**



(b) **Molecola dell'emoglobina composta dalla proteina globina legata a gruppi eme. (La globina è una proteina globulare, funzionale.)**

Figura 17 Struttura generale di (a) una proteina fibrosa e (b) una proteina globulare

Tabella 6 Gruppi di proteine funzionali

Gruppo funzionale	Ruolo(i) nell'organismo
Anticorpi (immunoglobuline)	Proteine altamente specializzate che riconoscono, legano e inattivano batteri, tossine e alcuni virus; agiscono nella risposta immunitaria, che contribuisce a proteggere l'organismo dall'«invasione» di sostanze estranee.
Ormoni	Contribuiscono a regolare l'accrescimento e lo sviluppo. Esempi: <ul style="list-style-type: none"> • Ormone della crescita: ormone anabolizzante necessario per un accrescimento ottimale. • Insulina: contribuisce alla regolazione del livello di zucchero nel sangue. • Fattore di crescita nervoso: guida l'accrescimento dei neuroni.
Proteine di trasporto	L'emoglobina trasporta l'ossigeno nel sangue; altre proteine trasportano nel sangue ferro, colesterolo e altre sostanze.
Catalizzatori (enzimi)	Essenziali per praticamente tutte le reazioni che avvengono nell'organismo; aumentano la velocità delle reazioni chimiche di almeno un milione di volte; in caso di loro mancanza (o distruzione) le reazioni chimiche non avvengono.

no nella regolazione dell'accrescimento e dello sviluppo. Altre ancora, gli *enzimi*, sono catalizzatori biologici che regolano ogni reazione chimica che avviene nell'organismo.

Le proteine fibrose, strutturali, sono eccezionalmente stabili; le proteine globulari, funzionali, sono l'opposto. I legami a idrogeno hanno importanza cruciale nel mantenere la loro struttura, ma i legami a idrogeno sono legami deboli, pertanto sono facilmente scissi dal calore e da variazioni eccessive del pH. Quando la loro struttura tridimensionale viene distrutta, le proteine sono *denaturate* e non sono più in grado di svolgere il loro ruolo fisiologico. Il motivo sta nel fatto che la loro funzione dipende dalla loro struttura specifica e, cosa della massima importanza, dalla presenza sulla loro superficie di particolari raggruppamenti di atomi, i **siti attivi**, che «si adattano» e interagiscono chimicamente con altre molecole di forma e carica complementare (**figura 18**). Per esempio, l'emoglobina diviene totalmente incapace di legare e trasportare l'ossigeno quando il pH del sangue diventa troppo acido. La pepsina, una proteina che agisce come enzima digestivo, è inattivata da un pH alcalino. In entrambi i casi la struttura necessaria per lo svolgimento della funzione è stata distrutta dal pH non appropriato.

I tipi più importanti di proteine funzionali verranno descritti con gli apparati o con i processi funzionali a cui sono strettamente correlati. Qui ci limiteremo a descrivere gli enzimi e l'attività enzimatica.

Gli **enzimi** sono proteine funzionali che agiscono come catalizzatori biologici. Un **catalizzatore** è una sostanza che aumenta la velocità di una reazione chimica senza far parte del prodotto e senza venire modificata. Gli enzimi compiono questa azione legandosi alle molecole reagenti (substrato) e «tenendole» nella posizione appropriata per la loro interazione chimica. Mentre è legato al sito attivo dell'enzima (vedi figura 18a), il substrato va incontro a modificazioni strutturali che hanno come risultato la formazione di un nuovo prodotto. Una volta avvenuta la reazione, l'enzima libera il prodotto. Poiché non subiscono modificazioni nello svolgere la loro attività, gli enzimi sono riutilizzabili e per le cellule sono necessarie soltanto piccole quantità di ciascun enzima.

Gli enzimi sono in grado di catalizzare milioni di reazioni al minuto. Tuttavia non si limitano soltanto ad aumentare la velocità delle reazioni chimiche, ma determinano anche quali reazioni sono possibili in un particolare momento. Senza enzimi non si ha alcuna reazione. Senza gli enzimi le reazioni biochimiche avverrebbero con tempi di gran lunga troppo lenti per essere compatibili con la vita.

Pur essendo presenti in centinaia di tipi differenti nelle cellule dell'organismo, gli enzimi sono estremamente specifici nella loro attività, e ciascuno controlla una sola reazione chimica (o un piccolo gruppo di reazioni) e agisce soltanto su molecole specifiche. La denominazione della maggior parte degli enzimi deriva dal tipo specifico di reazione catalizzata. Le «idrolasi» aggiungono acqua,

? *In che modo un enzima riconosce il suo substrato?*

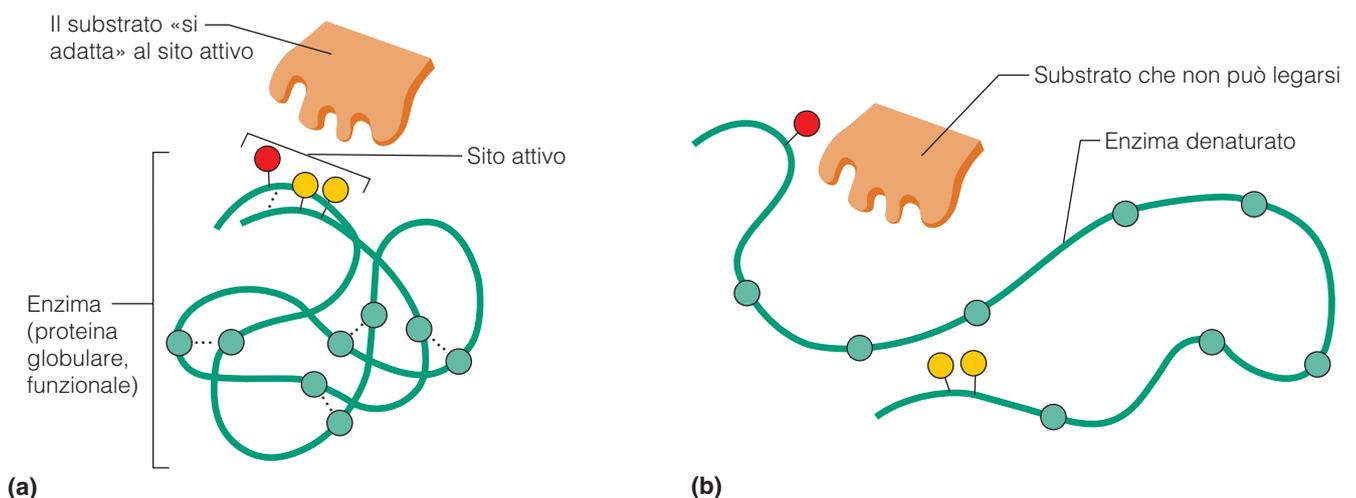


Figura 18 Schema che illustra la denaturazione della molecola di una proteina funzionale come un enzima

(a) La struttura tridimensionale globulare della molecola è mantenuta da legami intramolecolari. Gli atomi che compongono il sito attivo sono rappresentati come particelle dotate di peduncolo. Il substrato, cioè la molecola su cui agisce l'enzima, ha un sito di legame complementare, e i due siti si adattano l'uno all'altro con la massima precisione. (b) La scissione dei legami intramolecolari che mantengono la struttura tridimensionale dell'enzima rende la molecola lineare, con gli atomi del sito attivo largamente distanziati l'uno dall'altro. Il legame dell'enzima con il substrato e l'attività catalitica non possono più avvenire.

le «ossidasi» catalizzano l'ossidazione, e così via. (Nella maggior parte dei casi si può riconoscere un enzima dal suffisso **-asi** del suo nome.)

Molti enzimi sono prodotti in forma inattiva e devono essere attivati in qualche modo prima di poter agire. In altri casi gli enzimi sono immediatamente inattivati dopo avere svolto la loro funzione catalitica. Entrambe le condizioni valgono per gli enzimi che determinano la coagulazione del sangue. Se non fosse così, si formerebbe un gran numero di coaguli sanguigni non necessari e potenzialmente letali.

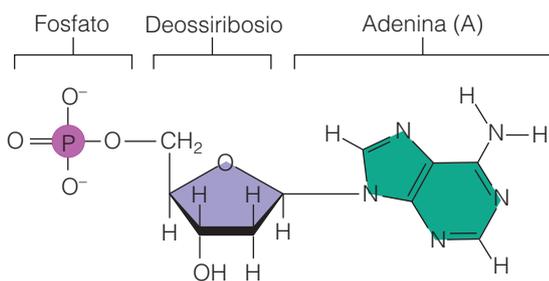
Gli acidi nucleici

Il ruolo degli **acidi nucleici** è fondamentale: costituiscono i geni, che forniscono il programma basilare della vita. Non soltanto determinano quale tipo di organismo saremo, ma dirigono anche il nostro accrescimento e il nostro sviluppo; e fanno questo in larga misura stabilendo la struttura delle proteine.

Gli acidi nucleici, composti da atomi di carbonio, ossigeno, idrogeno, azoto e fosforo, sono le più grandi molecole biologiche dell'organismo. Le loro unità strutturali, i **nucleotidi**, sono abbastanza complesse. Ciascun nucleotide è composto da tre parti essenziali: (1) una base azotata, (2) un pentoso, zucchero a 5 atomi di carbonio, (3) un gruppo fosfato (**figura 19a,b**).

Vi sono cinque diverse basi azotate: *adenina* (A), *guanina* (G), *citocina* (C), *timina* (T) e *uracile* (U). Le basi A e G sono molecole grandi con struttura a due anelli, mentre le altre sono più piccole con un solo anello. I nucleotidi sono denominati secondo la base che contengono.

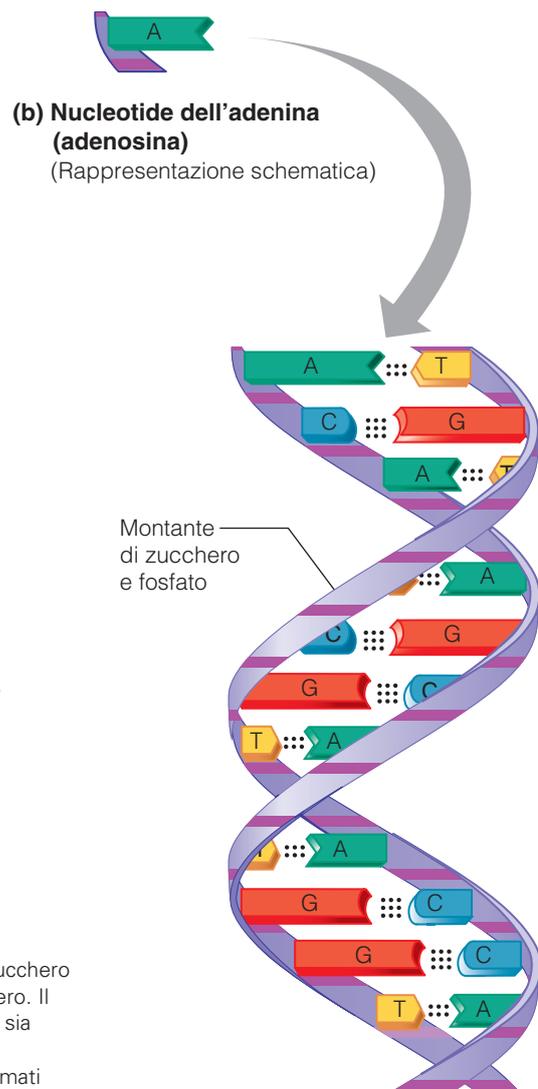
I due principali tipi di acidi nucleici sono l'**acido deossiribonucleico** (DNA) e l'**acido ribonucleico** (RNA). DNA e RNA differiscono per molti aspetti. Il DNA è il materiale genetico che si trova nel nucleo delle cellule (il centro di controllo delle attività cellulari). Ha due funzioni fondamentali: (1) replica se stesso in modo esatto prima che la cellula si divida, assicurando così che l'infor-



(a) Nucleotide dell'adenina (adenosina)
(Struttura chimica)

LEGENDA:

- Timina (T)
- Adenina (A)
- Citosina (C)
- Guanina (G)
- Deossiribosio
- Fosfato
- Legame a idrogeno



(c) Molecola del DNA

Figura 19 Struttura del DNA

(a) L'unità strutturale del DNA è il nucleotide, composto da una molecola dello zucchero deossiribosio legata a un gruppo fosfato e da una base azotata legata allo zucchero. Il nucleotide raffigurato contiene la base adenina sia nella sua struttura chimica (a) sia nella struttura schematica (b). (c) Struttura della molecola del DNA: due catene nucleotidiche avvolte a formare una doppia elica. I «montanti» del DNA sono formati dall'alternanza di molecole di zucchero e di fosfato; i «pioli» sono formati dalle coppie di basi complementari (A-T, G-C) unite da legami a idrogeno.

Per saperne di più

■ ■ L'ANALISI DEL DNA: LA DECIFRAZIONE DEL NOSTRO «CODICE A BARRE» GENETICO

Gli attacchi terroristici al World Trade Center della città di New York uccisero oltre 3000 persone; i loro corpi furono sepolti da milioni di tonnellate di macerie. Con il passare delle settimane fu chiaro che anche se si fosse potuto recuperare le vittime dalle macerie, i loro corpi probabilmente sarebbero stati straziati, bruciati o decomposti a tal punto che neppure i familiari li avrebbero riconosciuti.

In una situazione come questa, come si possono identificare con certezza gli individui? Il New York Medical Examiner's Office è ricorso all'**analisi del DNA**, una tecnica che esamina piccolissimi campioni di DNA ottenuti dallo sperma, dalla cute, dal sangue o da altri tessuti dell'organismo. L'analisi del DNA si basa sul fatto che non esistono due esseri umani, ad eccezione dei gemelli identici, che abbiano un identico assortimento di materiale genetico. In pratica, l'analisi del DNA produce un «codice a barre» genetico unico, che differenzia ciascuno di noi da tutti gli altri individui umani. Vediamo come funziona.

Produzione di un profilo del DNA

Ricorderete che il DNA contiene quattro nucleotidi (A, G, C e T) che formano coppie di basi complementari. Negli individui della stessa specie il 99,9% del DNA è identico. Ciò significa che soltanto lo 0,1% del vostro DNA differisce da quello degli altri individui umani, anche parenti stretti, ma è sufficiente a rendervi geneticamente unici. In un filamento di DNA lungo tre miliardi di unità, questo 0,1% si traduce in tre milioni di variazioni che differiscono leggermente da quelle di chiunque altro. A meno che non siate un gemello identico, il vostro assortimento di DNA è soltanto vostro. L'analisi del DNA comporta l'esame del DNA di un individuo, la mappatura del suo modello unico e il confronto con altri profili del DNA per stabilire se vi sia corrispondenza.

Una tecnica standard di produzione di un profilo del DNA si concentra su 13 siti specifici dei nostri cromosomi dove brevi segmenti di DNA nucleare sono disposti in sequenza ripetuta. Sebbene sia



Elettroforesi del DNA

Un ricercatore osserva frammenti di DNA in un gel di elettroforesi.

teoricamente possibile che persone non imparentate presentino ripetizioni identiche in tutti e 13 i siti, le probabilità sono meno di 1 su mille miliardi.

Talvolta può essere difficile ottenere sufficiente DNA nucleare per l'analisi. Per esempio, i campioni di DNA recuperati da scene di delitti o da luoghi di disastri sono spesso contaminati da terriccio, fibre e detriti, oppure sono grave-

mazione genetica sia identica in ogni cellula dell'organismo; (2) fornisce le istruzioni per la formazione di ogni proteina dell'organismo. L'RNA è per la massima parte localizzato fuori dal nucleo e può essere considerato lo «schiavo molecolare» del DNA; vale a dire che l'RNA esegue le istruzioni per la sintesi proteica derivate dal DNA.

Il DNA e l'RNA sono entrambi formati dall'unione di nucleotidi, ma la loro struttura finale è differente. Come si osserva nella **figura 19c**, il DNA è una lunga doppia catena di nucleotidi. Le sue basi azotate sono A, G, T e C; il suo zucchero è il *deossiribosio*. Le sue due catene nucleotidiche sono unite l'una all'altra da legami a idrogeno tra le basi, così da formare una molecola simile a una scala a pioli, nella quale le molecole alternate di zucchero e fosfato formano i «montanti» e ogni «piolo» è costituito da due basi unite. Il legame tra le basi è molto spe-

cifico: A si lega sempre con T, e G si lega sempre con C. Di conseguenza A e T sono dette *basi complementari* e lo stesso vale per C e G. Una sequenza di basi ATGA su una delle due catene nucleotidiche sarebbe necessariamente legata alla sequenza complementare TACT sull'altro filamento nucleotidico. L'intera molecola è poi avvolta a formare una struttura simile a una scala a spirale, detta *doppia elica*.

Mentre il DNA è una molecola formata da due filamenti, la molecola dell'RNA è un filamento unico. Le basi dell'RNA sono A, G, C e U (U sta al posto di T del DNA); lo zucchero è il *ribosio*, anziché il deossiribosio. Esistono tre tipi principali di RNA (*RNA messaggero*, *ribosomiale* e *transfer*) e ciascuno svolge un ruolo specifico nell'eseguire le istruzioni del DNA per fabbricare le proteine. L'RNA messaggero trasporta l'informazione per la costruzione della proteina dai geni del DNA ai ribosomi,

mente decomposti, limitando la quantità del tessuto analizzabile. Il recupero del DNA può diventare una corsa contro il tempo, poiché microbi, enzimi, insetti e fattori ambientali come il calore e l'umidità accelerano il processo di decomposizione.

Separazione e identificazione del DNA

Per eseguire un profilo del DNA bisogna in primo luogo frazionarlo in frammenti maneggevoli mediante *enzimi di restrizione*, enzimi che riconoscono una sequenza di basi specifica e tagliano il DNA in quel punto. Questo rompe i cromosomi in milioni di frammenti di diversa grandezza, i quali vengono poi sottoposti a una *elettroforesi su gel*, che separa i frammenti in base alla lunghezza. Il DNA viene posto su un gel e collocato in un campo elettrico. I frammenti di DNA, a carica negativa, sono attratti e migrano verso l'elettrodo a carica positiva. Poiché i frammenti più piccoli si spostano più velocemente di quelli più grandi, i frammenti finiscono per essere separati in base alle dimensioni.

Per localizzare una specifica sequenza ripetuta, i ricercatori producono una *sonda di DNA* a sequenza complementare e la marcano con un composto radioattivo.

Poiché le sequenze sono complementari, la sonda si lega al sito, e quando è esposta a una pellicola per raggi X l'immagine mostra delle bande scure nei punti in cui la sonda si è legata al DNA.

Il profilo del DNA di una vittima viene poi confrontato con riferimenti noti per trovarne uno che corrisponda. Nel caso dell'attacco al World Trade Center, i DNA di riferimento erano ottenuti da effetti personali delle vittime (come spazzolini da denti e pettini), inseriti in un computer e classificati per trovare una corrispondenza.

Analisi del DNA e medicina legale

L'analisi del DNA è diventata uno strumento fondamentale in medicina legale (l'applicazione della scienza medica a problemi di legge). Per esempio si usa l'analisi del DNA per l'identificazione di resti umani sconosciuti. Le forze armate degli Stati Uniti prelevano campioni di sangue e di saliva a ogni recluta, così da poter identificare i soldati uccisi nel compimento del dovere. L'analisi del DNA può servire anche a identificare le vittime di grandi disastri, come gli schianti di aerei. La tragedia del World Trade Center ha richiesto un'analisi genetica su scala che non aveva precedenti.

L'analisi del DNA può dimostrare che un individuo sospettato era effettivamente sulla scena del delitto. Attualmente negli Stati Uniti alcune comunità richiedono che certi pregiudicati forniscano campioni di DNA che vengono classificati e conservati. I profili del DNA possono anche stabilire l'innocenza di un individuo. Negli Stati Uniti almeno dieci persone sono state liberate dal braccio della morte dopo che le prove genetiche le avevano discolate.

L'analisi del DNA può anche accertare i rapporti di parentela nel caso di vertenze su proprietà, identificare parenti da tempo dispersi, stabilire la paternità anche in casi vecchi di secoli. Per esempio, gli storici hanno ferocemente discusso se Thomas Jefferson, terzo presidente degli Stati Uniti, fosse il padre di qualcuno dei figli della sua schiava Sally Hemings. I moderni studiosi del DNA sono entrati nella discussione effettuando il profilo del cromosoma Y di Jefferson. Il confronto di 19 marcatori genetici del cromosoma Y di Jefferson con quelli dei discendenti della Hemings dimostrò riscontri identici tra il profilo di Jefferson e quello del figlio più giovane della Hemings. Potrebbe essere un caso? È poco probabile.

che sono la sede della sintesi proteica. L'RNA transfer porta gli aminoacidi ai ribosomi. L'RNA ribosomiale fa parte del ribosoma, dove controlla la traduzione del messaggio e il legame degli aminoacidi l'uno all'altro per formare la proteina.

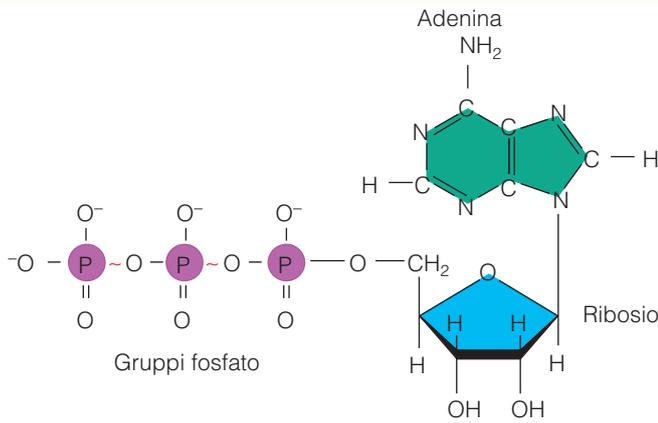
L'adenosintrifosfato (ATP)

La sintesi dell'**adenosintrifosfato**, o **ATP**, è della massima importanza, poiché fornisce una forma di energia chimica utilizzabile da tutte le cellule dell'organismo. Senza ATP non si possono sintetizzare o scindere molecole, le cellule non sono in grado di mantenere la propria delimitazione dall'ambiente circostante e tutti i processi vitali si arrestano.

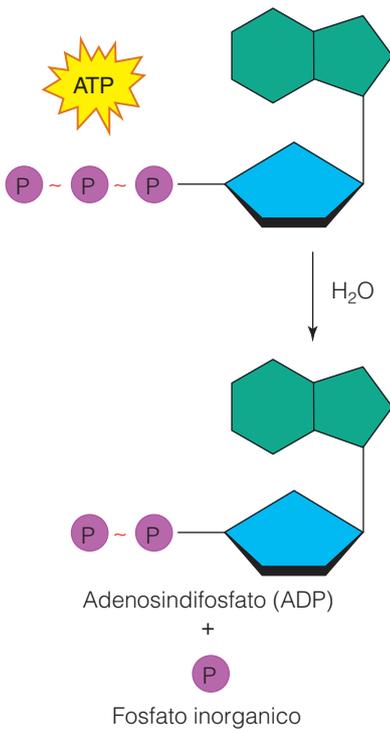
Il glucosio è il «combustibile» più importante per le cellule, tuttavia l'energia chimica contenuta nei suoi legami non può essere utilizzata direttamente per alimen-

tare il lavoro della cellula. L'energia liberata dalla scissione del glucosio viene invece catturata e accumulata nei legami delle molecole di ATP sotto forma di piccoli pacchetti di energia.

Dal punto di vista strutturale l'ATP è un nucleotide modificato, costituito da una molecola della base adenina, una molecola di ribosio e tre gruppi fosfato (**figura 20a** a pagina seguente). I gruppi fosfato sono legati mediante legami chimici particolari definiti *legami altamente energetici*. Quando questi legami sono scissi per idrolisi, si libera energia che può essere immediatamente utilizzata dalla cellula per produrre lavoro o alimentare una particolare attività, come sintetizzare proteine, trasportare sostanze attraverso la membrana, oppure, nel caso delle cellule muscolari, contrarsi (**figura 20b**). L'ATP può essere paragonato a una molla strettamente compressa che è pronta a scattare quando viene tolto il «fermo». La



(a) Adenosinotrifosfato (ATP)

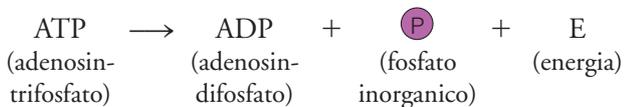


(b) Idrolisi dell'ATP

Figura 20 ATP: struttura e idrolisi

(a) La struttura dell'ATP (adenosinotrifosfato). (b) Idrolisi dell'ATP, con produzione di ADP (adenosindifosfato) e fosfato inorganico. I legami altamente energetici sono indicati con il simbolo ~ colorato in rosso.

conseguenza della scissione del legame del suo fosfato terminale può essere rappresentata come segue:



Quando viene utilizzato ATP per fornire energia alla cellula, si accumula **adenosindifosfato (ADP)** e le scorte di ATP vengono ricostituite mediante l'ossidazione dei materiali introdotti con il cibo (**figura 21**). Fondamentalmente deve essere catturata e impiegata per legare di nuo-

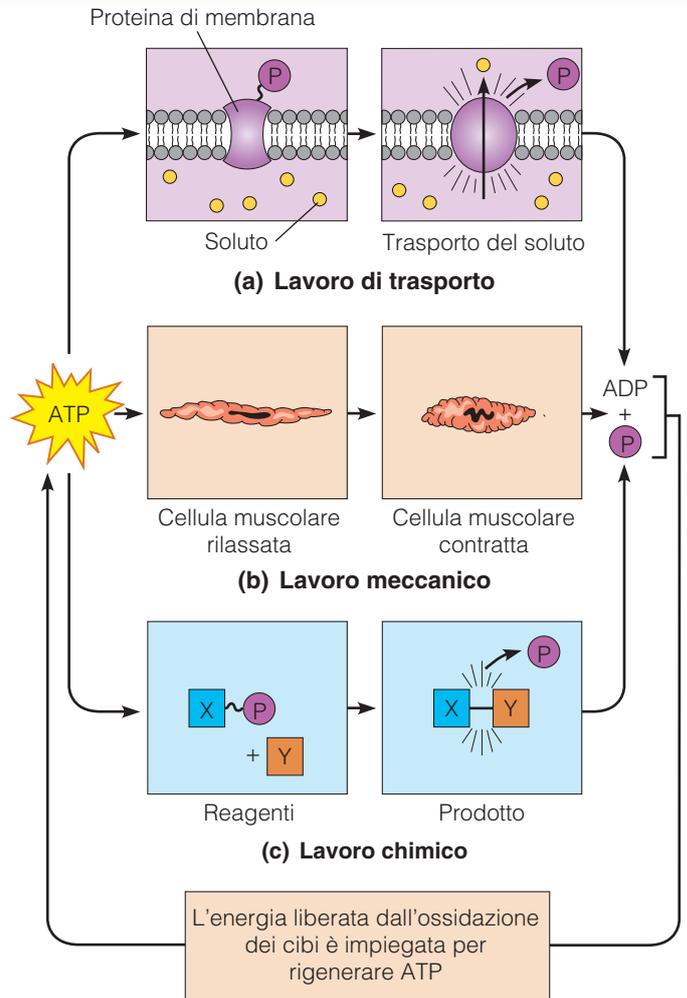


Figura 21 Tre esempi di come l'ATP fa funzionare le attività delle cellule

Quando vengono scissi, i legami altamente energetici dell'ATP liberano energia prontamente utilizzabile dalla cellula. (a) L'ATP consente di attuare il trasporto di determinati soluti (per esempio aminoacidi) attraverso le membrane cellulari. (b) L'ATP attiva le proteine contrattili delle cellule muscolari, cosicché le cellule possono accorciarsi ed effettuare un lavoro meccanico. (c) L'ATP fornisce l'energia necessaria a far avvenire le reazioni chimiche che incorporano energia. L'ATP viene rigenerato (legando all'ADP un gruppo fosfato) allorché l'ossidazione dei materiali introdotti con il cibo libera energia che viene catturata nel legame ADP-P.

vo un gruppo fosfato all'ADP (cioè per far avvenire la reazione inversa) la stessa quantità di energia che si libera quando viene scisso il fosfato terminale dell'ATP.

■ FACCIAMO IL PUNTO

16. Quali sono le unità strutturali, o mattoni costitutivi, dei carboidrati? E delle proteine?
17. Quale tipo di lipide è abbondante nelle membrane cellulari?
18. Quali sono le differenze tra DNA e RNA riguardo ai tipi di basi e agli zuccheri che contengono?
19. Qual è il ruolo fondamentale dell'ATP nelle cellule dell'organismo?

Per l'orientamento



TECNOLOGO DEGLI ALIMENTI

I tecnologi degli alimenti utilizzano regolarmente la chimica per determinare la stabilità e la vita di scaffale dei prodotti

Vi è mai accaduto di prendere un nuovo prodotto dallo scaffale del supermercato e di chiedervi in che modo sia stato sviluppato? Come un'idea nella mente di qualcuno sia diventata un prodotto sullo scaffale? Anne Cristofano, tecnologa degli alimenti per un'azienda di sviluppo di prodotti alimentari dell'area della Baia di San Francisco, svolge un ruolo importante in questo processo. Per il suo lavoro è essenziale la conoscenza della chimica di base e la capacità di stabilire il pH e la viscosità di un prodotto.

La scelta professionale di Anne rispecchia il suo interesse per la scienza e per il cibo. «Ho una laurea in Alimentazione (una combinazione di arti gastronomiche, scienza dell'alimentazione e dietetica) della California Polytechnic State University, che avrebbe potuto darmi accesso a molte professioni interessanti. Tuttavia a me interessano molto i cibi! Non mi piacciono soltanto gli aspetti gastronomici – cucinare e frequentare corsi di cucina – ma anche la scienza dell'alimentazione e lo sviluppo di prodotti. Mi piace la sfida di inventare un prodotto completamente nuovo o di rendere di gran lunga superiore un prodotto già esistente».

«Alla Mattson and Company, per esempio, abbiamo sviluppato una linea di piatti principali a basso contenuto di grassi e di sodio e arricchiti di vitamine essenziali per le persone con malattie cardiovascolari. Abbiamo anche ideato prodotti privi di glutine, un campo in cui i consumatori che non possono assumere glutine hanno poche possibilità di scelta. Non posso immaginare un modo personalmente più soddisfacente di impiegare la mia preparazione e le mie basi matematiche».

I termini *scienza dell'alimentazione* e *tecnologia degli alimenti* sono spesso usati in modo intercambiabile, ma le due discipline non sono identiche. La scienza dell'alimentazione studia la natura degli alimenti, le cause del loro deterioramento, i principi che sono alla base del

loro trattamento, il loro miglioramento per i consumatori. La tecnologia degli alimenti applica la scienza dell'alimentazione allo sviluppo di nuovi alimenti e al miglioramento dei prodotti esistenti. Applica la scienza di base per conservare, trattare, confezionare e distribuire ai consumatori alimenti sicuri, nutrienti e sani.

Un nuovo cibo o una nuova bevanda nasce come un'idea, di solito concepita da una squadra di marketing, che viene poi data da sviluppare a un tecnologo degli alimenti. «I criteri», spiega Anne, «vanno dalle specifiche esigenze nutrizionali e richieste dei consumatori, per esempio se deve essere genuino o naturale, alle limitazioni del trattamento e ai costi; l'elenco potrebbe continuare a lungo. È importante restare entro l'ambito dei parametri che mi sono stati assegnati per sviluppare un prodotto di ottimo sapore e attraente alla vista, che vada facilmente dal mio banco di lavoro all'impianto di produzione».

PARTE II LA CELLULA

6. Le basi cellulari della vita

Forse quello che maggiormente colpisce in una cellula è la sua organizzazione. Se le analizziamo chimicamente, troviamo che le cellule sono principalmente composte da quattro elementi (carbonio, ossigeno, idrogeno e azoto), più quantità piccolissime di diversi altri elementi. I quattro elementi principali costituiscono la massima parte della struttura della cellula (in larga misura formata da pro-

teine), tuttavia anche gli elementi presenti in quantità molto ridotte o anche soltanto in tracce sono molto importanti per determinate funzioni cellulari.

Per quanto possa sembrare strano, specialmente quando sentiamo i nostri muscoli sodi, le cellule viventi sono formate per circa il 60% da acqua, ed è questa una delle ragioni per cui l'acqua è essenziale per la vita. Oltre a contenere un'abbondante quantità di acqua, tutte le cellule dell'organismo sono costantemente immerse in una soluzione acquosa diluita di sali (un po' simile all'acqua di

mare), il *liquido interstiziale*, che deriva dal sangue. Tutti gli scambi tra le cellule e il sangue avvengono attraverso questo liquido.

Le cellule variano enormemente in lunghezza: da 2 micrometri (2 millesimi di millimetro) nelle cellule più piccole a oltre un metro nelle cellule nervose che vi consentono di muovere le dita dei piedi. Inoltre la struttura di una cellula è spesso espressione della sua funzione; questo risulterà chiaro più avanti in questo stesso capitolo. Le cellule possono avere forma sorprendentemente diversa. Alcune hanno forma discoidale (i globuli rossi del sangue, o eritrociti), alcune hanno prolungamenti filiformi (le cellule nervose), altre assomigliano a stecchini appuntiti alle estremità (le cellule muscolari lisce).

Le cellule variano straordinariamente anche per le funzioni che svolgono nell'organismo. Per esempio, i globuli bianchi del sangue (o leucociti) si spostano liberamente attraverso i tessuti del corpo e proteggono l'organismo dai batteri nocivi e da altre sostanze estranee. Alcune cellule producono ormoni o altre sostanze chimiche che regolano altre cellule dell'organismo; altre ancora prendono parte agli scambi gassosi nei polmoni e altre eliminano le scorie dal sangue (le cellule dei tubuli renali).

7. L'anatomia della cellula

Nessun tipo cellulare è esattamente uguale agli altri, tuttavia le cellule *hanno* le stesse parti fondamentali e determinate funzioni che sono comuni a *tutte* le cellule.

In generale tutte le cellule hanno tre parti principali: il *nucleo*, il *citoplasma* e la *membrana plasmatica* (vedi figura 24). Di solito il nucleo è situato in prossimità del

centro della cellula. È circondato dal citoplasma semiliquido che a sua volta è racchiuso dalla membrana plasmatica, che costituisce il confine esterno della cellula. (La struttura della cellula, come appare al microscopio elettronico, è mostrata più dettagliatamente nella figura 24.)

Il nucleo

La regolazione delle funzioni cellulari avviene nel **nucleo** che contiene i geni. Il materiale genetico, l'*acido deossiribonucleico (DNA)*, è molto simile a un programma che contiene tutte le istruzioni necessarie per costruire l'intero organismo; quindi, come si può immaginare, il DNA umano è differente da quello di una rana. Più specificamente il DNA contiene le istruzioni per fabbricare *proteine*. Inoltre il DNA è assolutamente necessario per la riproduzione cellulare. Una cellula che ha perduto o espulso il suo nucleo (per qualunque ragione) è programmata soltanto per morire.

Nella maggior parte dei casi il nucleo è ovale o sferico, ma di solito la sua forma si adegua alla forma della cellula; se, per esempio, la cellula è allungata, di solito è allungato anche il nucleo. Il nucleo presenta tre regioni o strutture riconoscibili: l'*inviluppo nucleare*, il *nucleolo* e la *cromatina*.

- Il nucleo è delimitato da una doppia membrana, l'**inviluppo nucleare** (o **membrana nucleare**; **figura 22a**). Tra le due membrane si trova uno spazio pieno di liquido. In diversi punti i due strati dell'inviluppo nucleare si fondono continuandosi l'uno nell'altro e delimitano così i **pori nucleari** che attraversano l'involu-

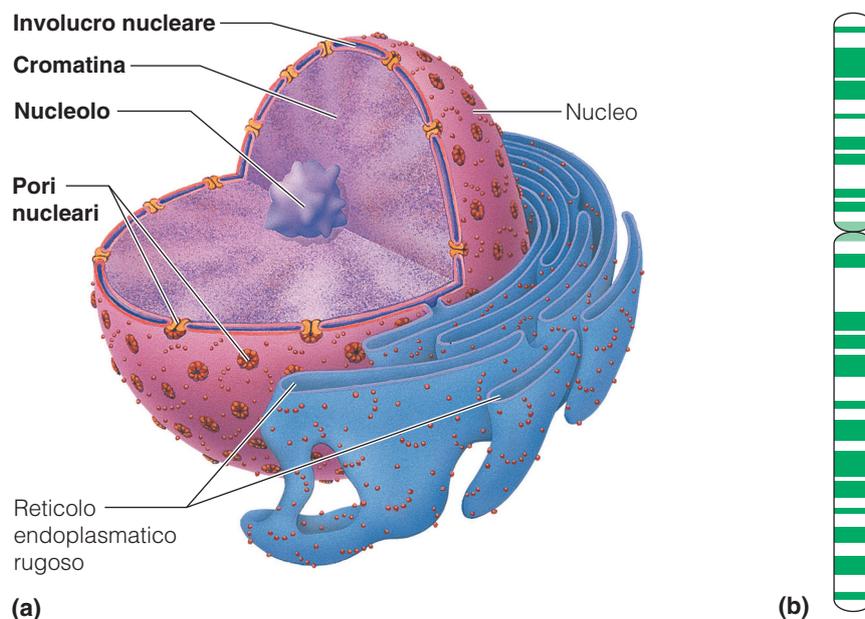


Figura 22 Anatomia del nucleo della cellula animale generalizzata (a) Struttura del nucleo. (b) Struttura del cromosoma.

cro. Come tutte le altre membrane cellulari, l'involucro nucleare è selettivamente permeabile, però le sostanze lo attraversano molto più liberamente rispetto alle altre membrane per la presenza dei pori relativamente ampi. L'involucro nucleare racchiude un liquido gelatinoso, il *nucleoplasma*, nel quale sono sospesi gli altri componenti nucleari.

- Il nucleo contiene uno o più corpiccioli rotondeggianti intensamente colorabili: i nucleoli. Il **nucleolo** è la sede in cui si formano i *ribosomi*, che sono la sede effettiva della sintesi delle proteine.
- Quando una cellula non si sta dividendo, il suo DNA, associato a proteine, forma una lassa trama di filamenti irregolari, la **cromatina**, che è dispersa in tutto il nucleo. Quando una cellula si divide per formare due cellule figlie, i filamenti di cromatina si avvolgono e si condensano formando dei corpi densi a forma di bastoncino, i **cromosomi**, un po' come una molla che, quando è compressa, diventa più corta e più spessa. Le funzioni del DNA e il meccanismo della divisione cellulare sono trattati nel capitolo 2 del testo (pp.20-29).

■ FACCIAMO IL PUNTO

20. In quale mezzo sono immerse le cellule e qual è la sua composizione?
21. Qual è la funzione generale del nucleo cellulare?
22. Cos'è l'involucro nucleare?

La membrana plasmatica

La flessibile **membrana plasmatica**, detta anche *membrana cellulare*, è una delicata barriera trasparente che racchiude il contenuto della cellula e lo separa dall'ambiente circostante. Per quanto sia importante nel delimitare i confini della cellula, la membrana plasmatica è molto più che un involucro passivo. La sua particolare struttura le consente di svolgere un ruolo dinamico in molte attività cellulari.

La struttura della membrana plasmatica è costituita da due strati di lipidi, disposti «coda contro coda», nei quali galleggiano le molecole proteiche (**figura 23**). I lipidi sono per la maggior parte *fosfolipidi* (alcuni dei quali recano legato un gruppo glucidico formato da carboidrati), ma nella membrana plasmatica si trova anche una quantità considerevole di *colesterolo*. (Le caratteristiche di questi lipidi sono descritte nella prima parte del capitolo.) Il doppio strato lipidico fluido (come l'olio d'oliva) costituisce la struttura di base della membrana. Le «teste» polari delle molecole fosfolipidiche sono *idrofiliche* e sono attratte dall'acqua che è la componente principale dei liquidi sia intracellulari sia extracellulari, cosicché sono situate alla superficie sia interna sia esterna della membrana. Le «code» apolari, essendo *idrofobiche*, rifuggono dall'acqua e si allineano nella parte centrale della membrana. La composizione idrofobica della sua parte interna rende la membrana plasmatica relativamente impermeabile alla maggior parte delle molecole idrosolubili. Il colesterolo contribuisce a mantenere fluida la membrana.



Cosa sono i carrier e quale funzione svolgono?

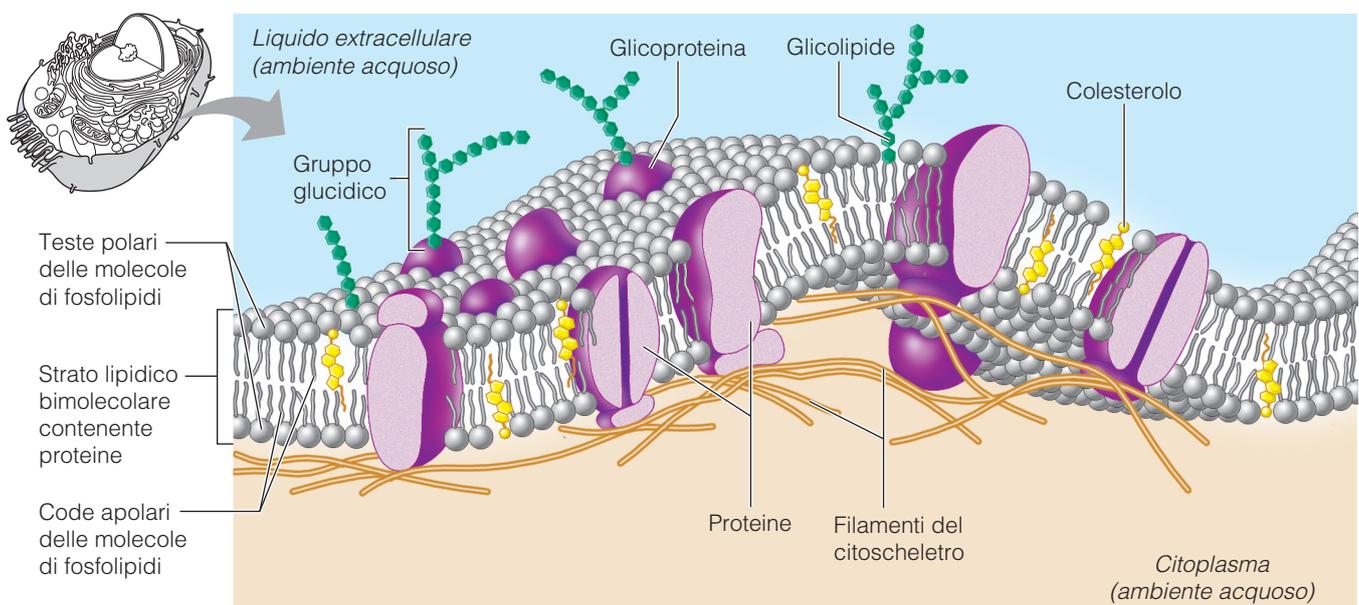


Figura 23 Struttura della membrana plasmatica

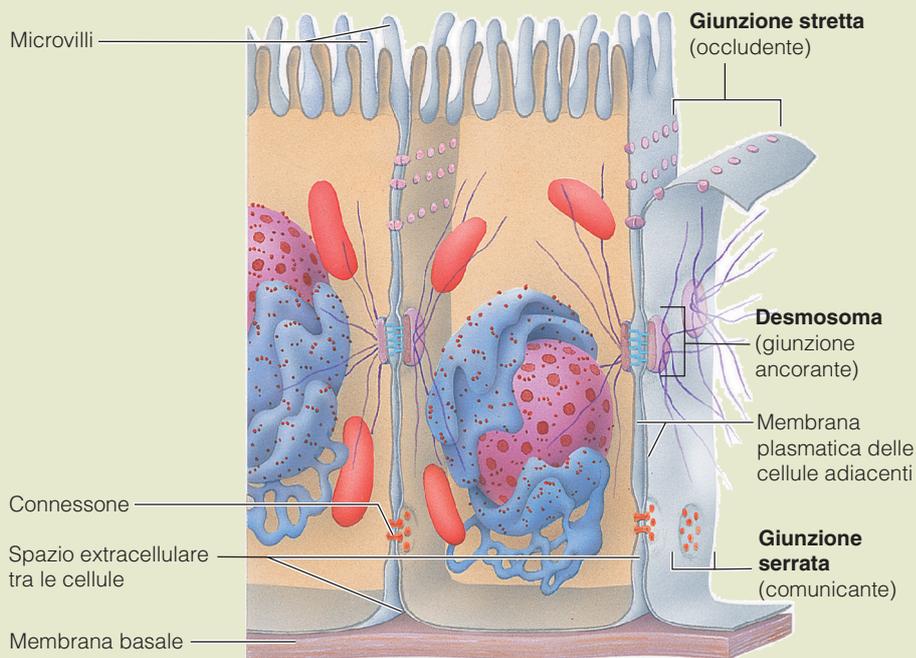
Per saperne di più

LE SPECIALIZZAZIONI DELLA MEMBRANA PLASMATICA

Le specializzazioni della membrana plasmatica, come i *microvilli* e le *giunzioni intercellulari*, sono generalmente osservabili nelle cellule (epiteliali) che formano il rivestimento interno di organi cavi, come l'intestino tenue (**figura**). I **microvilli** sono minuti prolungamenti digitiformi che aumentano enormemente l'area assorbente, così da rendere molto più rapido il processo.

Le **giunzioni intercellulari** presentano una struttura che varia secondo il loro ruolo.

- Le **giunzioni strette** (o **occludenti**) sono giunzioni impermeabili che uniscono le cellule l'una all'altra formando lamine a tenuta perfetta che impediscono alle sostanze di attraversare lo spazio extracellulare compreso tra le cellule. Nelle giunzioni strette le membrane plasmatiche adiacenti si fondono saldamente come una chiusura lampo. Nell'intestino tenue, per esempio, tali giunzioni impediscono agli enzimi digestivi di penetrare nella corrente sanguigna.
- I **desmosomi** sono giunzioni ancoranti che impediscono alle cellule sottoposte a tensioni meccaniche (come le cellule dell'epidermide) di essere separate. Dal punto di vista strutturale sono ispessimenti (placche), simili a bottoni, della membrana plasmatica di due cellule adiacenti, con-



Giunzioni cellulari Una cellula epiteliale è rappresentata unita a cellule adiacenti mediante i tre tipi comuni di giunzioni cellulari: giunzioni strette, desmosomi, giunzioni serrate. Sono raffigurati anche i microvilli (che sporgono alla superficie libera della cellula).

nessi tra loro da sottili filamenti proteici. Filamenti proteici più spessi si estendono dalla placca all'interno della cellula fino al lato opposto della cellula stessa, formando un sistema interno di cavi resistenti.

- Le **giunzioni serrate** (*gap junction*), che si osservano comunemente nel miocardio e tra le cellule embriona-

li, sono essenzialmente giunzioni comunicanti. Attraverso tali giunzioni piccole molecole o ioni possono passare da una cellula all'altra. Nelle giunzioni serrate le cellule adiacenti sono connesse l'una all'altra mediante **connessioni**, cilindri cavi composti da proteine che attraversano a tutto spessore le membrane confinanti.

Le proteine disperse nel doppio strato lipidico svolgono la maggior parte delle funzioni specifiche della membrana. Alcune sono enzimi. Molte delle proteine che sporgono dalla superficie esterna della cellula sono recettori di ormoni o altri messaggi chimici, oppure sono siti di legame che servono per l'ancoraggio di fibre o altre strutture situate all'interno o all'esterno della cellula. Molte proteine che attraversano a tutto spessore la membrana attuano funzioni di trasporto. Alcune, per esempio, si raggruppano a formare canali proteici (piccolissimi *pori*) at-

traverso i quali possono passare l'acqua e piccole molecole idrosolubili o ioni; altre agiscono come *trasportatori* (o *carrier*) legandosi a una sostanza e facendola passare attraverso la membrana. Alla maggior parte delle proteine confinanti con lo spazio extracellulare sono legati gruppi glucidici ramificati. Per la presenza di tali *glicoproteine* la superficie cellulare è una regione fortemente adesiva e ricca di carboidrati, detta *glicocalice*. Le glicoproteine, tra l'altro, determinano il gruppo sanguigno, agiscono come recettori a cui possono legarsi certi batte-

ri, virus o tossine, e svolgono un ruolo nelle interazioni tra cellula e cellula. Determinate modificazioni delle glicoproteine si verificano in cellule che si trasformano in cellule neoplastiche.

■ FACCIAMO IL PUNTO

23. Perché i fosfolipidi (che costituiscono la maggior parte delle membrane cellulari) in un ambiente acquoso si organizzano in un doppio strato, coda contro coda?
24. Alla parte esterna di alcune proteine di membrana sono legati gruppi glucidici. Quali sono le tre funzioni che queste glicoproteine svolgono nella vita di una cellula?

Il citoplasma

Il **citoplasma** è il materiale cellulare che si trova all'esterno del nucleo e all'interno della membrana plasmatica. È la sede della maggior parte delle attività cellulari, cosicché si potrebbe pensare al citoplasma come alla «zona industriale» della cellula. Per quanto i primi scienziati credero che il citoplasma fosse un gel privo di struttura, la microscopia elettronica ha dimostrato che ha tre componenti principali: il *citosol*, gli *organuli* e le *inclusioni*.

Il **citosol** è il liquido semitrasparente in cui sono sospesi gli altri elementi. In soluzione nel citosol, che è in larga misura composto da acqua, si trovano molecole nutritive e vari altri soluti.

Gli **organuli**, che descriveremo tra breve, sono il macchinario metabolico della cellula. Ogni tipo di organulo è specializzato nello svolgere una funzione specifica per tutta la cellula. Alcuni sintetizzano proteine, altri «impacchettano» queste proteine, e così via.

Le **inclusioni** sono sostanze chimiche che possono essere presenti oppure no, secondo lo specifico tipo cellulare. La maggior parte delle inclusioni è costituita da depositi di materiali nutritivi o da prodotti cellulari. Comprendono le goccioline lipidiche comunemente presenti nelle cellule adipose, i granuli di glicogeno abbondanti nelle cellule epatiche e in quelle muscolari, pigmenti come la melanina nelle cellule della cute e dei peli e vari tipi di cristalli.

Gli organuli citoplasmatici

Gli organuli (letteralmente «piccoli organi») citoplasmatici sono compartimenti cellulari specializzati (**figura 24** a pagina seguente) che svolgono ciascuno il proprio lavoro per la vita della cellula. Molti organuli sono delimitati da una membrana simile alla membrana plasmatica. Le membrane che delimitano tali organuli consentono loro di mantenere un ambiente interno del tutto differente da quello del citosol circostante. Questa suddivisione in compartimenti è fondamentale perché possano svolgere le loro specifiche funzioni. Consideriamo che cosa avviene in ogni «laboratorio» della «fabbrica» della cellula.

I **mitocondri** sono descritti di solito come piccoli organuli filiformi (*mitos*, «filo») (vedi figura 24), ma nelle cellule viventi si ripiegano, si allungano e cambiano forma pressoché continuamente. La parete dei mitocondri è costituita da *due* membrane, ciascuna delle quali ha la stessa struttura della membrana plasmatica, situate fianco a fianco. La membrana esterna è liscia e priva di caratteri distintivi, mentre la membrana interna si solleva in pieghe verso l'interno, le *creste mitocondriali*. Gli enzimi presenti nel liquido racchiuso nei mitocondri, così come gli enzimi che fanno parte della membrana delle creste, effettuano le reazioni in cui si usa ossigeno per degradare le molecole derivate dagli alimenti. La scissione di queste molecole libera energia, molta della quale viene dispersa come calore, mentre una parte viene catturata e utilizzata per formare *molecole di ATP*. L'ATP fornisce l'energia per tutto il lavoro svolto dalla cellula, e ogni cellula vivente deve essere costantemente rifornita di ATP per le sue numerose attività. Poiché la maggior parte dell'ATP è fornito dai mitocondri, questi sono indicati come la «centrale energetica» della cellula.

Le cellule metabolicamente molto attive, come le cellule epatiche e le cellule muscolari, utilizzano enormi quantità di ATP e contengono centinaia di mitocondri. Invece le cellule relativamente inattive (per esempio, l'uovo non fecondato) ne hanno soltanto pochi.

I **ribosomi** sono minuti corpiccioli bilobati, intensamente colorabili e costituiti da proteine e da una varietà di RNA, l'*RNA ribosomiale*. I ribosomi sono la sede effettiva della sintesi delle proteine nella cellula. Alcuni ribosomi galleggiano liberi nel citosol, dove fabbricano le proteine che svolgono la loro funzione nel citosol stesso. Altri sono attaccati a membrane: il complesso formato dai ribosomi e dalle membrane cui aderiscono è il *reticolo endoplasmatico rugoso*.

Il **reticolo endoplasmatico (RE)** è un sistema di cisterne e tubuli pieni di liquido, che si avvolgono e si ripiegano nel citoplasma. Serve da sistema circolatorio in miniatura per la cellula, poiché costituisce una rete di canali per il trasporto di sostanze (principalmente proteine) da una parte all'altra della cellula. Esistono due forme di RE; una particolare cellula può contenerle entrambe oppure una soltanto, secondo la sua specifica funzione.

- Il **RE rugoso** deve il suo nome al fatto di avere la superficie costellata di ribosomi. Poiché sostanzialmente tutti i materiali strutturali delle membrane cellulari si formano nel o sul RE rugoso, lo si può considerare la fabbrica delle membrane cellulari. Le proteine formate sui suoi ribosomi migrano all'interno dei tubuli del RE rugoso, dove si ripiegano assumendo la loro forma funzionale tridimensionale e vengono poi distribuite alle altre regioni della cellula mediante ve-



Quale funzione svolge il nucleolo?

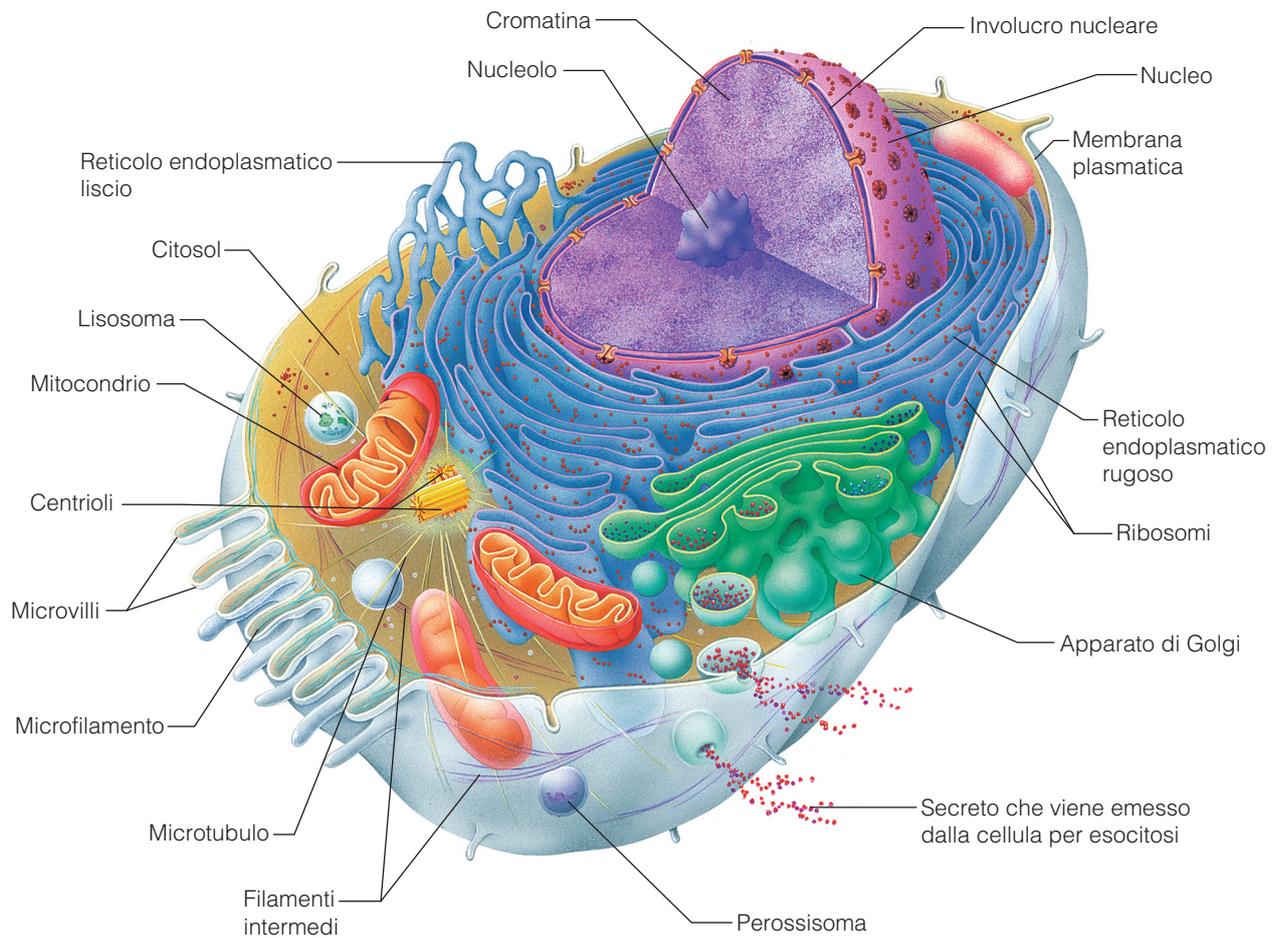


Figura 24 Struttura della cellula

Nessuna cellula è esattamente come questa, ma questo disegno della cellula generalizzata illustra le caratteristiche comuni a molte cellule umane.

scicole di trasporto (figura 25). Il RE rugoso è particolarmente sviluppato nelle cellule che fabbricano ed emettono all'esterno prodotti proteici, per esempio le cellule del pancreas che producono enzimi digestivi da immettere nell'intestino tenue. Gli enzimi che catalizzano la sintesi dei lipidi di membrana sono situati sulla faccia esterna del RE rugoso.

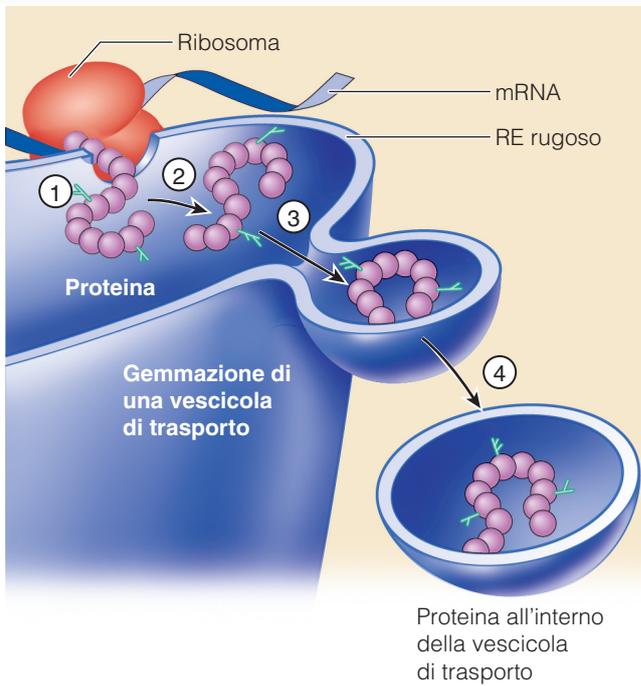
- Pur essendo in comunicazione con quello rugoso, il **RE liscio** non ha alcun ruolo nella sintesi delle proteine. Svolge invece le sue funzioni nel metabolismo dei lipidi (sintesi e scissione del colesterolo e dei grassi) e nella detossificazione di farmaci e pesticidi. Non sorprende, quindi, che le cellule epatiche siano ricchissime di RE liscio. E lo sono anche le cellule che producono ormoni steroidi, per esempio nel maschio le cellule del testicolo che producono testosterone.

L'**apparato di Golgi** si presenta come una pila di sacchi membranosi appiattiti, associata a sciami di minute ve-

scicole. È la principale «centrale di smistamento» delle proteine cellulari; infatti la sua funzione più importante è quella di modificare e impacchettare le proteine (inviate a esso dal RE rugoso mediante vescicole di trasporto) lungo vie specifiche in rapporto alla loro destinazione finale (figura 26).

Via via che le proteine che devono essere esportate si accumulano nell'apparato di Golgi, i sacchi si rigonfiano; poi dai loro margini rigonfi si staccano delle **vescicole secretorie** che si spostano verso la membrana plasmatica. Quando la raggiungono, fondono con essa la propria membrana aprendosi ed emettendo il proprio contenuto all'esterno della cellula (via 1 nella figura 26). È questa la via seguita dal muco, come pure dagli enzimi digestivi prodotti dalle cellule del pancreas.

Oltre a questa funzione di impacchettamento per la secrezione, dall'apparato di Golgi si staccano vescicole contenenti le proteine e i fosfolipidi che devono localizzarsi nella membrana plasmatica (via 2 nella figura 26).



- ① Mentre viene sintetizzata sul ribosoma, la proteina migra all'interno della cisterna del RE rugoso.
- ② All'interno della cisterna la proteina si ripiega assumendo la sua forma funzionale. Alla proteina possono essere legate brevi catene glucidiche (formando una glicoproteina).
- ③ La proteina viene «impacchettata» in un minuto sacco membranoso, la vescicola di trasporto.
- ④ La vescicola di trasporto si stacca per gemmazione dal RE rugoso e va all'apparato di Golgi per l'ulteriore elaborazione, oppure raggiunge direttamente la membrana plasmatica dove il suo contenuto viene secreto.

Figura 25 Sintesi ed esportazione di una proteina da parte del RE rugoso

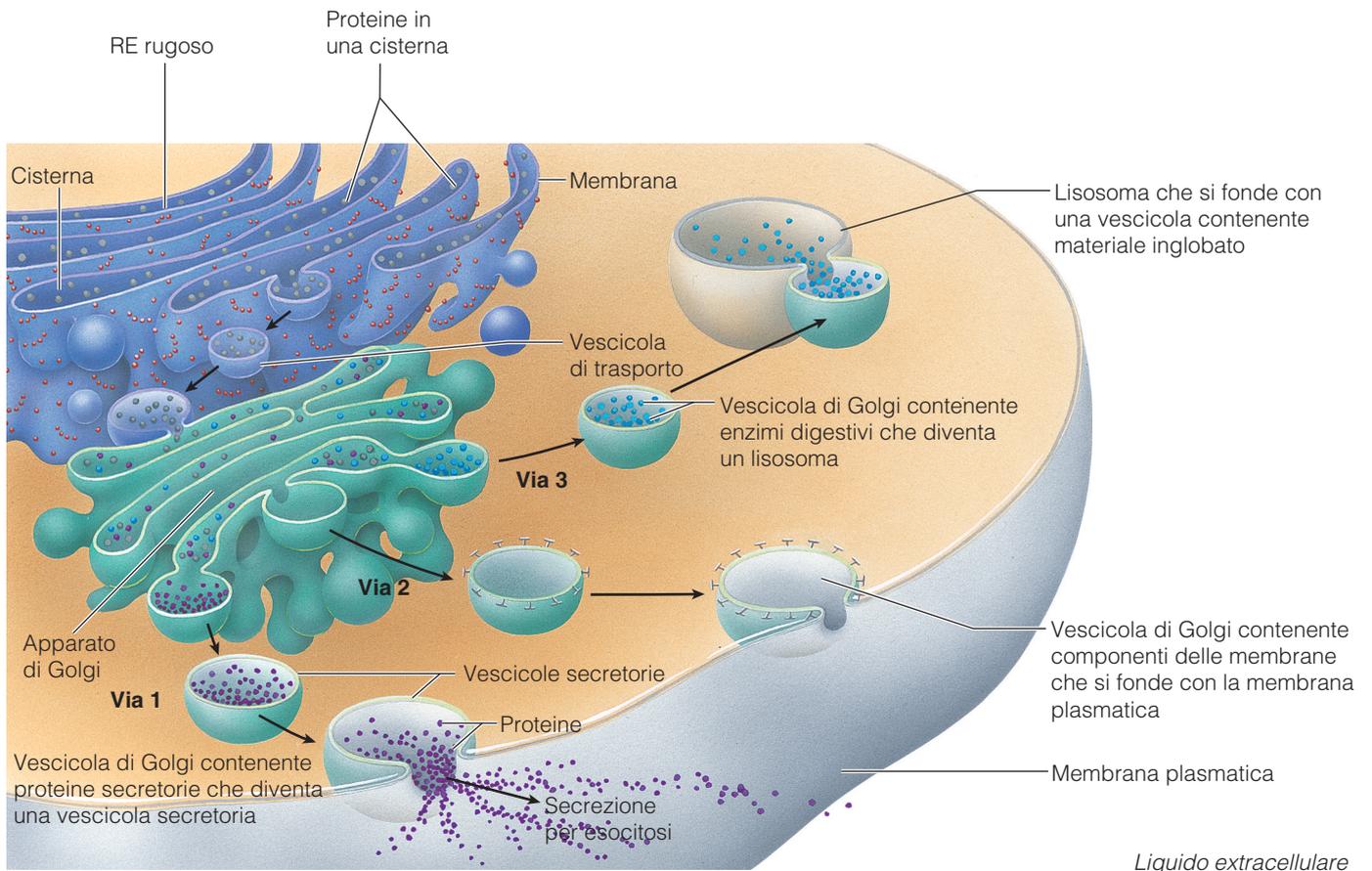
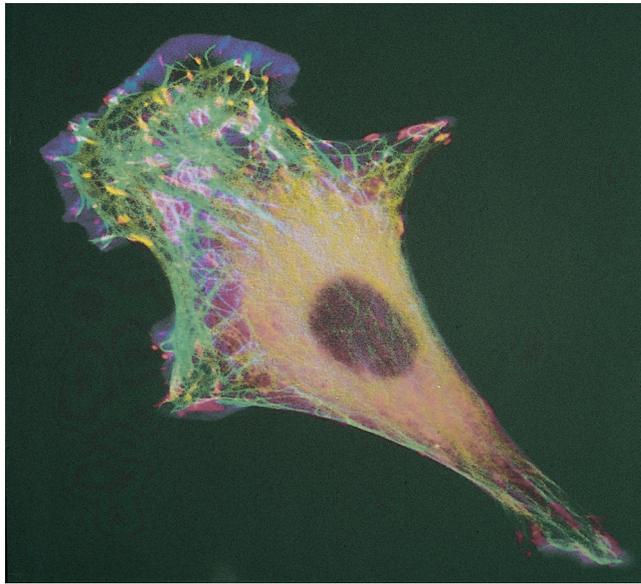


Figura 26 Ruolo dell'apparato di Golgi nell'impacchettamento dei prodotti del RE rugoso

Vescicole di trasporto contenenti proteine si staccano dal RE rugoso e migrano verso l'apparato di Golgi, con cui si fondono. Nel passare attraverso l'apparato di Golgi, le proteine vengono smistate (e leggermente modificate). I prodotti vengono poi impacchettati all'interno di vescicole che lasciano l'apparato di Golgi e si dirigono verso varie destinazioni (vie 1-3), come illustrato.



(a)



(b) Microfilamento



(c) Filamento intermedio



(d) Microtubulo

Figura 27 Il citoscheletro

(a) Fotografia al microscopio ottico del citoscheletro di una cellula nervosa; i microtubuli vi appaiono colorati in verde, i microfilamenti in azzurro. I filamenti intermedi costituiscono la maggior parte del resto dell'impalcatura. (b-d) Rappresentazione schematica dei componenti del citoscheletro.

Inoltre l'apparato di Golgi impacchetta enzimi idrolitici in vescicole rivestite da membrana, i *lisosomi*, che restano all'interno della cellula (via 3 nella figura 26).

I **lisosomi** («corpi digestivi») sono piccoli sacchi delimitati da membrane che contengono potenti enzimi capaci di degradare le strutture cellulari usurate o non utilizzabili e la maggior parte delle sostanze estranee penetrate nella cellula. I lisosomi funzionano quindi come siti di demolizione della cellula. I lisosomi sono particolarmente abbondanti nei fagociti, le cellule che eliminano i batteri e i detriti cellulari. Come abbiamo visto in precedenza, gli enzimi in essi contenuti si formano sui ribosomi e vengono impacchettati nell'apparato di Golgi.

SE L'OMEOSTASI È ALTERATA

Di solito la membrana lisosomiale è del tutto stabile, ma diventa fragile quando la cellula è danneggiata o priva di ossigeno e quando è presente un eccesso di vitamina A. La rottura della membrana dei lisosomi porta all'autodigestione della cellula.

I **perossisomi** sono piccoli sacchi membranosi contenenti potenti enzimi ossidativi che utilizzano l'ossigeno molecolare (O₂) per rendere innocue numerose sostanze nocive o velenose, tra cui l'alcol e la formaldeide. Tuttavia la loro funzione più importante è quella di neutralizzare i dannosi radicali liberi. I **radicali liberi** sono specie chimiche altamente reattive che possiedono elettroni spaiati

e che possono alterare la struttura delle proteine e degli acidi nucleici. Pur essendo normali sottoprodotti del metabolismo cellulare, i radicali liberi, se si accumulano, possono avere sulle cellule effetti devastanti. I perossisomi convertono i radicali liberi in perossido di idrogeno (H₂O₂). L'enzima *catalasi* converte poi in acqua il perossido di idrogeno in eccesso. I perossisomi sono particolarmente numerosi nelle cellule epatiche e renali, che sono molto attive nella detossificazione.

Il **citoscheletro**, una complicata trama di strutture proteiche che si estende per tutto il citoplasma, costituisce un'impalcatura interna che determina la forma della cellula, agisce da sostegno per altri organuli e fornisce i dispositivi necessari per il trasporto intracellulare e per vari tipi di movimento cellulare. Dai suoi componenti più grandi a quelli più piccoli, il citoscheletro è costituito da microtubuli, filamenti intermedi e microfilamenti (**figura 27**; vedi anche figura 24). Sebbene vi sia una certa sovrapposizione dei ruoli, in termini generali i **filamenti intermedi**, robusti, stabili e simili a funi, contribuiscono a formare i desmosomi e costituiscono fili di ancoraggio interni, resistenti alle forze di trazione esercitate sulla cellula. I **microfilamenti** sono massimamente implicati nella motilità cellulare e nel determinare variazioni di forma della cellula. Dal loro insieme dipende il movimento cellulare. I **microtubuli**, sottili cilindri cavi, determinano la forma complessiva della cellula e la distribuzione degli

organuli. Sono importantissimi nella divisione cellulare, come vedremo più avanti.

I **centrioli**, in coppia, sono situati in prossimità del nucleo (vedi figura 24). Sono piccoli corpi a forma di bastoncino disposti ad angolo retto l'uno rispetto all'altro; strutturalmente sono costituiti da sottili microtubuli. I centrioli sono soprattutto noti per il loro ruolo nella generazione di microtubuli, e nella divisione cellulare dirigono la formazione del *fuso mitotico*.

Oltre alle strutture cellulari sopra descritte, alcune cellule presentano prolungamenti filiformi vibratili, le **ciglia**, che causano il movimento di sostanze lungo la superficie della cellula. Per esempio, le cellule ciliate del rivestimento delle vie respiratorie fanno scorrere il muco verso l'alto allontanandolo dai polmoni. Quando sono presenti, le ciglia di solito sono molto numerose e sporgono sulla superficie libera della cellula.

I microtubuli possono anche formare un prolungamento considerevolmente più lungo delle ciglia detto **flagello**. Nel corpo umano l'unica cellula dotata di flagelli è lo spermatozoo, che ha un unico flagello propulsivo detto *coda*. *Va notato che le ciglia fanno muovere altre sostanze da un lato all'altro della superficie libera della cellula, mentre un flagello fa muovere la cellula stessa.*

■ FACCIAMO IL PUNTO

25. Qual è la differenza tra citosol e citoplasma?
26. Quali due tipi di organuli sono piccoli sacchi pieni di enzimi e qual è la funzione di ciascuno di essi?
27. Quale organulo è la principale sede di sintesi dell'ATP?
28. Indica il nome dei tre tipi di strutture proteiche che costituiscono il citoscheletro. Quale tipo contribuisce a formare i desmosomi? E quale è implicato nella motilità cellulare?

■ ■ ■ RIASSUNTO

I. LA CHIMICA

1. I concetti di materia e di energia (pp. 2-3)

1. La materia
 - a) Materia è tutto ciò che occupa spazio e ha una massa.
 - b) La materia esiste in tre stati: gassoso, liquido e solido.
2. L'energia
 - a) L'energia è la capacità di produrre lavoro. L'energia può essere cinetica (attiva) o potenziale (accumulata).
 - b) Le forme di energia importanti per le funzioni dell'organismo sono l'energia chimica, elettrica, meccanica, radiante.
 - c) Le forme di energia sono interconvertibili, ma in queste trasformazioni una parte dell'energia è sempre inutilizzabile (perduta come calore).

2. La composizione della materia (pp. 3-7)

1. Elementi e atomi
 - a) Ogni elemento è una sostanza unica che non può essere scomposta in sostanze più semplici con i comuni metodi chimici. Esistono in tutto 112 elementi, che differiscono l'uno dall'altro per proprietà chimiche e fisiche.
 - b) Quattro elementi (carbonio, idrogeno, ossigeno e azoto) formano il 96% della materia di cui sono composti gli esseri viventi. Diversi altri elementi sono presenti in piccola quantità o in tracce.
 - c) Le unità strutturali degli elementi sono gli atomi. Ogni atomo è rappresentato da un simbolo atomico di una o due lettere.

2. La struttura dell'atomo

- a) Gli atomi sono composti da tre tipi di particelle subatomiche: protoni, elettroni e neutroni. Poiché tutti gli atomi sono elettricamente neutri, in ogni atomo il numero dei protoni è uguale al numero degli elettroni.
- b) Il modello planetario dell'atomo raffigura tutta la massa dell'atomo (protoni e neutroni) concentrata in un piccolo nucleo centrale; gli elettroni orbitano attorno al nucleo in orbite specifiche. Anche il modello a orbitali colloca protoni e neutroni in un nucleo centrale, ma gli elettroni occupano regioni dello spazio denominate orbitali e formano attorno al nucleo una nube elettronica a carica negativa.
- c) Ogni atomo può essere identificato da un numero atomico, che è uguale al numero di protoni contenuti nel suo nucleo.
- d) Il numero di massa atomica è uguale alla somma dei protoni e dei neutroni contenuti nel nucleo dell'atomo.
- e) Gli isotopi sono forme atomiche differenti dello stesso elemento; differiscono soltanto per il numero dei neutroni contenuti nel nucleo. Molti degli isotopi più pesanti sono instabili e si decompongono in una forma più stabile emettendo dal nucleo particelle o energia con il fenomeno della radioattività. Tali radioisotopi sono utili in medicina, a scopo diagnostico e terapeutico, e nella ricerca biochimica.
- f) Il peso atomico è approssimativamente uguale al numero di massa dell'isotopo più abbondante di ciascun elemento.

LA CHIMICA E LA CELLULA

3. Molecole e composti (p. 7)

1. Una molecola è la più piccola unità risultante dal legame di due o più atomi. Se gli atomi sono differenti la molecola formata è un composto.
2. I composti hanno proprietà differenti da quelle degli atomi che contengono.

4. Legami chimici e reazioni chimiche (pp. 8-13)

1. La formazione di legami
 - a) I legami chimici sono connessioni energetiche. Nella formazione dei legami agiscono gli elettroni del livello energetico (strato di valenza) più esterno degli atomi reagenti.
 - b) Gli atomi con strato di valenza completo (2 elettroni nello strato 1, oppure 8 elettroni negli strati successivi) sono chimicamente inattivi. Quelli con strato di valenza incompleto interagiscono perdendo, acquisendo o condividendo elettroni per diventare stabili (cioè per completare lo strato di valenza).
 - c) Si formano ioni quando gli elettroni dello strato di valenza vengono completamente trasferiti da un atomo a un altro. Gli ioni di carica opposta così prodotti si attraggono a vicenda, formando un legame ionico. I legami ionici sono comuni nei sali.
 - d) I legami covalenti comportano la condivisione di coppie di elettroni tra gli atomi. Se gli elettroni sono egualmente condivisi, la molecola è una molecola covalente apolare. Se gli elettroni non sono egualmente condivisi, la molecola è una molecola covalente polare. Le molecole polari si orientano verso le particelle e le altre molecole dotate di carica.
 - e) I legami a idrogeno sono legami deboli che uniscono molecole di acqua o parti differenti della stessa molecola (legami intramolecolari). Sono comuni nelle grandi e complesse molecole organiche, come le proteine e gli acidi nucleici.
2. I tipi di reazioni chimiche
 - a) Le reazioni chimiche comportano la formazione o la scissione di legami chimici. Le si rappresenta scrivendo un'equazione chimica che indica la composizione atomica (formula) del reagente (o reagenti) e del prodotto (o prodotti).
 - b) Le reazioni chimiche che danno come risultato la formazione di molecole più grandi e più complesse sono reazioni di sintesi; comportano la formazione di legami.
 - c) Nelle reazioni di degradazione molecole più grandi sono disgregate in molecole più semplici. Vengono scissi legami.
 - d) Le reazioni di scambio comportano sia la formazione sia la scissione di legami. Gli atomi sono sostituiti da altri atomi formando nuove molecole.
 - e) Indipendentemente dal tipo di reazione, la maggior parte delle reazioni chimiche è reversibile. La reversibilità è indicata da due frecce orientate in senso opposto.

3. I fattori che aumentano la velocità delle reazioni chimiche
 - a) Per reagire chimicamente, gli atomi devono scontrarsi con forza.
 - b) I fattori che influiscono sul numero o sulla forza delle collisioni comprendono la temperatura, la concentrazione dei reagenti, le dimensioni delle particelle, i catalizzatori.

5. La biochimica: la composizione chimica della materia dei viventi (pp. 13-26)

1. I composti inorganici
 - a) I composti inorganici che costituiscono la materia dei viventi non contengono carbonio (con l'eccezione di CO_2 e CO). Comprendono acqua, sali, alcuni acidi e basi.
 - b) L'acqua è il composto più abbondante dell'organismo. Agisce come solvente universale nel quale i composti ionici (sali, acidi e basi) si dissociano e nel quale avvengono le reazioni chimiche; costituisce i liquidi di trasporto e quelli lubrificanti. Assorbe e libera lentamente il calore, contribuendo così a mantenere costante la temperatura corporea, e protegge determinate strutture (come l'encefalo) formando un ammortizzatore liquido. L'acqua è inoltre un reagente nelle reazioni di idrolisi.
 - c) I sali, sotto forma di ioni, prendono parte alla trasmissione nervosa, alla contrazione muscolare, alla coagulazione del sangue, al trasporto dell'ossigeno da parte dell'emoglobina, alla permeabilità cellulare, al metabolismo e a molte altre reazioni. Inoltre i sali di calcio presenti nelle ossa contribuiscono a determinare la durezza dell'osso.
 - d) Gli acidi sono donatori di protoni. Quando sono in soluzione nell'acqua liberano ioni idrogeno. Gli acidi forti si dissociano completamente, gli acidi deboli si dissociano soltanto in parte.
 - e) Le basi sono accettori di protoni. Le basi inorganiche più importanti sono gli ossidrili. Gli ioni bicarbonato sono basi importanti dell'organismo. Quando basi e acidi interagiscono si ha la neutralizzazione, cioè si formano un sale e acqua.
 - f) La concentrazione relativa di ioni idrogeno e di ioni ossidrile in vari liquidi del corpo viene misurata impiegando una scala di pH. Ogni variazione di una unità di pH rappresenta una variazione di dieci volte della concentrazione di ioni idrogeno. Un pH 7 è neutro (cioè la concentrazione di ioni idrogeno e di ioni ossidrile è uguale). Un pH inferiore a 7 è acido; un pH superiore a 7 è alcalino (basico).
 - g) Il pH normale del sangue è compreso tra 7,35 e 7,45. Lievi variazioni al di là di questi limiti possono essere fatali.
2. I composti organici
 - a) I composti organici sono i composti contenenti carbonio che formano la materia dei viventi. Comprendono carboidrati, lipidi, proteine e acidi nucleici. Contengo-

no tutti carbonio, ossigeno e idrogeno; le proteine e gli acidi nucleici contengono anche quantità considerevoli di azoto.

- b) I carboidrati contengono carbonio, idrogeno e ossigeno nel rapporto generale $(CH_2O)_n$; le loro unità strutturali sono i monosaccaridi. Tra i monosaccaridi sono compresi glucosio, fruttosio, galattosio, deossiribosio e ribosio, tra i disaccaridi saccarosio, maltosio e lattosio. I polisaccaridi comprendono amido e glicogeno. I carboidrati vengono ingeriti come zuccheri o amido. I carboidrati, e il glucosio in particolare, sono la principale fonte di energia per la produzione di ATP.
- c) I lipidi comprendono trigliceridi (glicerolo più tre catene di acidi grassi), fosfolipidi e steroidi (il più importante dei quali è il colesterolo). I trigliceridi (grassi neutri) si trovano principalmente nel tessuto adiposo, dove agiscono da isolante e formano una riserva energetica per l'organismo. I fosfolipidi e il colesterolo si trovano in tutte le membrane cellulari. Il colesterolo costituisce inoltre la base di determinati ormoni, dei sali biliari e della vitamina D. Come i carboidrati, i lipidi sono degradati per idrolisi e sintetizzati mediante sintesi per disidratazione.
- d) Le unità strutturali delle proteine sono gli aminoacidi; nell'organismo si trovano 20 tipi comuni di aminoacidi. La sequenza degli aminoacidi determina la specificità della proteina. Le proteine fibrose, strutturali, sono materiali fondamentali per le strutture dell'organismo. Le proteine globulari, funzionali, comprendono enzimi, alcuni ormoni e l'emoglobina. La rottura dei legami a idrogeno delle proteine funzionali porta alla loro denaturazione e inattivazione.
- e) Gli enzimi aumentano la velocità delle reazioni chimiche combinandosi in modo specifico con i reagenti e tenendoli nella posizione appropriata per interagire. Non vanno a far parte del prodotto. Molti enzimi vengono prodotti in forma inattiva, oppure vengono inattivati immediatamente dopo l'uso.
- f) Gli acidi nucleici comprendono l'acido deossiribonucleico (DNA) e l'acido ribonucleico (RNA). Le unità strutturali degli acidi nucleici sono i nucleotidi; ogni nucleotide è composto da una base azotata, da uno zucchero (ribosio o deossiribosio) e da un gruppo fosfato. Il DNA (il materiale di cui sono composti i geni) conserva il patrimonio genetico duplicandosi prima della divisione cellulare e contiene le informazioni che specificano la struttura delle proteine. L'RNA interviene nella sintesi delle proteine assicurando che vengano eseguite le istruzioni del DNA.
- g) L'ATP (adenosintrifosfato) è il composto energetico universale utilizzato da tutte le cellule dell'organismo. Quando si libera energia dall'ossidazione del glucosio, una parte di questa energia viene incorporata nei legami altamente energetici dei gruppi fosfato dell'ATP ed è accumulata per essere utilizzata in seguito.

II. LA CELLULA

6. Generalità sulle basi cellulari della vita (p. 27-28)

1. Una cellula è composta principalmente da quattro elementi (carbonio, idrogeno, ossigeno e azoto), più molti elementi presenti in piccole quantità o soltanto in tracce. La materia di cui sono fatti i viventi è costituita per oltre il 60% da acqua. Il principale materiale strutturale delle cellule sono le proteine.
2. La grandezza delle cellule varia da dimensioni microscopiche a oltre un metro di lunghezza. La forma spesso rispecchia la funzione. Per esempio, le cellule muscolari sono allungate consentendo così la contrazione.

7. L'anatomia della cellula (pp. 28-35)

1. Le cellule presentano tre regioni principali: nucleo, citoplasma e membrana plasmatica.
 - a) Il nucleo, che è il centro di controllo, dirige tutta l'attività della cellula ed è necessario per la riproduzione. Contiene il materiale genetico (DNA) che reca le istruzioni per la sintesi delle proteine.
 - b) La membrana plasmatica limita e racchiude il citoplasma e agisce da barriera selettiva per il passaggio di sostanze all'interno o all'esterno della cellula. È composta da un doppio strato lipidico in cui sono contenute proteine. La porzione lipidica impermeabile all'acqua costituisce la struttura di base della membrana. Le proteine (molte delle quali sono glicoproteine) agiscono come enzimi o come trasportatori nei processi di trasporto della membrana, formano canali di membrana, costituiscono recettori per ormoni o altre sostanze chimiche, o svolgono un ruolo nel riconoscimento e nelle interazioni cellulari durante lo sviluppo e nelle reazioni immunitarie. Tra le specializzazioni della membrana plasmatica sono compresi i microvilli (che aumentano l'area della superficie di assorbimento) e le giunzioni cellulari (desmosomi, giunzioni strette e giunzioni serrate).
- c) Il citoplasma è la sede in cui si svolge la maggior parte delle attività cellulari. La sua componente fluida, il citosol, contiene inclusioni e materiali accumulati o inattivi (goccioline lipidiche, vacuoli di acqua, cristalli e simili) e piccoli corpi specializzati, gli organuli, ciascuno dei quali ha una funzione specifica. Per esempio, i mitocondri sono la sede della sintesi dell'ATP, i ribosomi sono la sede della sintesi delle proteine, l'apparato di Golgi confeziona le proteine che devono essere esportate dalla cellula. I lisosomi attuano la digestione intracellulare, i perossisomi rendono innocue le sostanze chimiche dannose per la cellula. I componenti del citoscheletro hanno funzioni di sostegno e movimento cellulare. I centrioli intervengono nella divisione cellulare e sono i corpuscoli basali di ciglia e flagelli.

CONOSCENZE E ABILITÀ

Test a risposta multipla (è possibile più di una risposta)

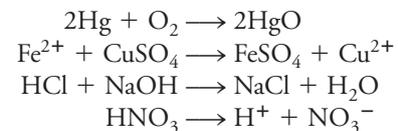
- Indica quali tra le seguenti affermazioni concernenti il nucleo dell'atomo sono vere.
 - contiene la massa dell'atomo
 - è la sede delle particelle negative
 - può emettere particelle
 - contiene particelle che determinano il numero atomico
 - contiene particelle che interagiscono con altri atomi
- Le sostanze alcaline comprendono:
 - il succo gastrico
 - l'acqua
 - il sangue
 - il succo d'arancia
 - l'ammoniaca
- Il glucosio sta all'amido come:
 - uno steroide sta a un lipide
 - un nucleotide sta a un acido nucleico
 - un aminoacido sta a una proteina
 - un polipeptide sta a un aminoacido
- Quale tipo di lipide è il fondamento delle membrane cellulari?
 - trigliceridi
 - steroidi
 - vitamina D
 - fosfolipidi
 - prostaglandine
- Non c'è connessione tra ATP e:
 - struttura fondamentale di un nucleotide
 - legami fosfato altamente energetici
 - deossiribosio
 - fosfato inorganico
 - reazioni reversibili
- Qual è l'elemento essenziale per un normale funzionamento della tiroide?
 - iodio
 - ferro
 - rame
 - selenio
 - zinco
- Quali tra le seguenti possono essere funzioni delle glicoproteine della membrana plasmatica?
 - determinazione dei gruppi sanguigni
 - sito di legame per tossine o batteri
 - legame dello spermatozoo all'uovo
 - aumento dell'efficienza dell'assorbimento
- Una cellula con abbondanti perossisomi dovrebbe essere con ogni probabilità impegnata:
 - nella secrezione
 - nell'accumulo di glicogeno
 - nella produzione di ATP
 - nel movimento
 - in attività di detossificazione
- Una cellula stimolata ad aumentare la sua produzione di steroidi avrà particolarmente sviluppato:
 - i ribosomi
 - il RE rugoso
 - il RE liscio
 - l'apparato di Golgi
 - le vescicole secretorie

Rispondi in cinque righe

- Perché lo studio dei fondamenti della chimica è essenziale per comprendere la fisiologia umana?
- La materia occupa spazio e ha una massa. Spiega come *si deve* descrivere l'energia riguardo a questi due fattori. Dai la definizione di energia.
- Spiega la relazione tra energia cinetica ed energia potenziale.
- Individua la forma di energia impiegata in ciascuno degli esempi seguenti.
 - masticazione del cibo
 - visione di un oggetto
 - chiusura delle mani a pugno
 - scissione dei legami delle molecole di ATP per fornire alle cellule muscolari l'energia necessaria per il movimento
- Indica il simbolo atomico dei quattro elementi che costituiscono la gran parte di tutta la materia dei viventi. Quale di questi si trova principalmente nelle proteine e negli acidi nucleici?
- Tutti gli atomi sono neutri. Spiegane la ragione.
- Completa la tabella che segue per descrivere in modo completo le particelle subatomiche di un atomo.

Particella	Posizione nell'atomo	Carica	Massa
Protone			
Neutrone			
Elettrone			

- Dai la definizione di *radioattività*. Se un elemento ha tre isotopi, quale di questi (il più leggero, quello di massa intermedia, o il più pesante) è più probabile che sia un radioisotopo, e perché?
- Dai la definizione di *molecola*.
- Spiega le basi dei legami ionici.
- Che cosa sono i legami a idrogeno, e qual è la loro importanza nell'organismo?
- I due atomi di ossigeno che formano la molecola dell'ossigeno che respiriamo sono uniti da un legame covalente polare. Spiega perché questa affermazione è vera o falsa.
- Identifica ciascuna delle seguenti reazioni come reazione di sintesi, di degradazione o di scambio:



- Fai una distinzione tra composti inorganici e organici, ed elenca le principali categorie di questi nell'organismo.
- Sali, acidi e basi sono elettroliti. Che cosa è un elettrolito?

25. Dai la definizione di *pH*. Il pH del sangue è compreso tra 7,35 e 7,45. Scegli la risposta corretta per completare la frase: «È leggermente (acido / basico)».
26. Un pH 3,3 è (1 / 10 / 100 / 1000) volte più acido di un pH 4,3.
27. Dai la definizione di *monosaccaride*, *disaccaride* e *polisaccaride*. Fai almeno due esempi di ciascuno. Qual è la principale funzione dei carboidrati nell'organismo?
28. Qual è la struttura generale dei grassi neutri, dei fosfolipidi, degli steroidi?
29. Le unità strutturali delle proteine sono gli aminoacidi. Traccia lo schema della struttura generale di un aminoacido.
30. Indica il nome delle due classi di proteine distinte in base al ruolo strutturale o funzionale svolto nell'organismo, e fai due esempi di ciascuna.
31. Dai la definizione di *enzima* e descrivi il meccanismo d'azione degli enzimi.
32. Praticamente nessuna reazione chimica dell'organismo può avvenire in assenza di enzimi. Come potrebbe una temperatura corporea eccessivamente alta interferire con l'attività degli enzimi?
33. Qual è l'unità strutturale degli acidi nucleici? Indica il nome delle due principali classi di acidi nucleici presenti nell'organismo, poi mettile a confronto e indicane le differenze riguardo (a) alla struttura tridimensionale e (b) alle funzioni.
34. Qual è il ruolo principale dell'ATP nell'organismo?
35. Dai la definizione di *cellula* e *organulo*.
36. Per quanto le cellule presentino differenze che rispecchiano le loro specifiche funzioni nell'organismo, quali capacità funzionali sono comuni a *tutte* le cellule?
37. Descrivi la struttura generale e le funzioni della membrana plasmatica.
38. Indica il nome degli organuli cellulari e spiega la funzione di ciascuno.

■■■ VERSO LE COMPETENZE

39. Molti antibiotici agiscono legandosi nei batteri a determinati enzimi essenziali. Come potrebbero questi antibiotici influire sulla reazione chimica controllata dall'enzima? Quale potrebbe essere l'effetto sui batteri? E sulla persona che assume l'antibiotico prescritto?
40. La signora Roberta è stata appena ricoverata in ospedale in coma diabetico. Il pH del suo sangue indica che la signora è in grave acidosi e l'équipe medica prende rapidamente provvedimenti per riportare il pH del suo sangue entro i limiti normali. Indica il valore normale del pH del sangue e argomenta perché la grave acidosi costituisce un problema.
41. Evelina è molto fiera della sua figura esile come quella di una modella e si vanta di non avere un «filo di grasso in più». Barbara invece pesa decisamente troppo; si lamenta di avere sempre caldo e in un giorno caldo si sente a disagio. Evelina di solito soffre il freddo, tranne che nelle giornate molto calde. Spiega la diversa sensibilità alla temperatura ambientale di queste due donne sulla base di quanto hai appreso nel paragrafo «I composti organici» (pp. 16-26).
42. I pediatri si preoccupano di possibili danni cerebrali quando la temperatura di un bambino molto piccolo arriva a 40 °C. Quale classe di molecole organiche è più probabile che sia danneggiata dall'alta temperatura? Perché?

■■■ SOLUZIONI DEGLI ESERCIZI

1. Facciamo il punto

1. Le modificazioni chimiche comportano la formazione o la scissione di legami chimici e la conseguente produzione di sostanze differenti; quando, per esempio, l'ossigeno si combina con il ferro, si forma ossido di ferro (ruggine). Una modificazione fisica non produce una nuova sostanza, ma modifica soltanto le proprietà fisiche (temperatura, stato, colore, ecc.); l'esempio può essere rappresentato dal tagliare una sbarra di ferro in pezzi più piccoli. **2.** L'energia cinetica si manifesta nel movimento continuo delle molecole che costituiscono la materia. **3.** Ogni volta che l'energia viene convertita da una forma a un'altra, si libera nell'ambiente (viene perduta) una certa quantità di calore che non è più utilizzabile. **4.** Carbonio,

ossigeno, idrogeno e azoto. **5.** Il numero atomico (#p) di quell'atomo è 4, il numero di massa atomica (#n + p) è 9. **6.** Radioisotopo. **7.** Una molecola è costituita da due o più atomi uniti da legami chimici. **8.** L'equazione chimica è la rappresentazione di una reazione chimica. **9.** Nei legami ionici gli elettroni vengono completamente trasferiti da un atomo a un altro. Nei legami covalenti gli atomi che interagiscono condividono una o più coppie di elettroni. **10.** Legami a idrogeno. **11.** In una reazione di degradazione. **12.** Una reazione reversibile è indicata da due frecce in direzione opposta. **13.** Le rapide variazioni della temperatura corporea sono impedito dall'elevata capacità calorica dell'acqua. **14.** Donatori di protoni sono gli acidi. **15.** Basico. **16.** Le unità strutturali dei carboidrati sono i monosaccaridi; quelle delle proteine sono gli aminoacidi. **17.**

Nelle membrane cellulari i lipidi più abbondanti sono i fosfolipidi. **18.** Il DNA contiene le basi A, T, G, C e lo zucchero deossiribosio. L'RNA contiene le basi A, U, G, C e lo zucchero ribosio. **19.** L'ATP è la forma di energia immediatamente utilizzabile per tutte le cellule dell'organismo. **20.** Le cellule sono immerse nel liquido interstiziale costituito da acqua e sali minerali. **21.** Il nucleo è il centro che regola tutte le attività cellulari ed è necessario per la divisione cellulare. **22.** L'involucro nucleare è la struttura formata da due membrane che delimita il nucleo. **23.** I fosfolipidi hanno sia una regione polare (testa) sia una regione apolare (coda); le regioni polari si allineano tra loro e con le molecole polari di acqua, situate all'interno e all'esterno della cellula, mentre le code apolari si allineano le une alle altre nella parte centrale della membrana. **24.** Agiscono come recettori, determinano i gruppi sanguigni e prendono parte alle interazioni tra cellula e cellula. **25.** Il citosol è la porzione liquida del citoplasma. Il citoplasma è la parte della cellula compresa tra l'involucro nucleare e la membrana plasmatica; contiene il citosol, gli organuli e gli inclusi. **26.** I lisosomi e i perossisomi. I lisosomi digeriscono i batteri fagocitati, gli organuli vecchi o danneggiati e i detriti cellulari. I perossisomi servono a detossificare molte sostanze tossiche dan-

nose e a rendere inattivi i radicali liberi. **27.** Il mitocondrio. **28.** Microtubuli, filamenti intermedi (che contribuiscono a formare i desmosomi) e microfilamenti (che intervengono nel movimento cellulare).

2. Conoscenze e abilità

1. a, c, d. **2.** c, e. **3.** b, c. **4.** d. **5.** c. **6.** a. **7.** a, b, c, d. **8.** e. **9.** c.

3. Figure

3. Il trizio. **8.** L'acqua è una molecola polare. **10.** Gli elettroni. **12.** Lo ione idrogeno. **15.** Entrambi contengono glicerolo e catene di acidi grassi; però i trigliceridi hanno tre catene di acidi grassi, mentre i fosfolipidi ne hanno soltanto due: la terza è sostituita da un gruppo contenente fosforo. **16.** I gruppi R rendono ogni tipo di aminoacido unico dal punto di vista funzionale. **18.** La forma del substrato e del sito attivo dell'enzima sono complementari. **23.** I carrier sono proteine di membrana che trasportano le sostanze che devono attraversare la membrana cellulare. **24.** Il nucleolo è la sede della sintesi dei ribosomi.