CAPITOLO

2

La chimica dei viventi: l'acqua e le biomolecole

Gli atomi di un essere vivente sono gli stessi delle rocce, dell'aria e del mare: a renderlo vivo è il modo in cui sono messi insieme.

OBIETTIVI

1. Riconoscere gli elementi e i composti, inorganici e organici, che formano la materia vivente.
2. Descrivere le proprietà dell'acqua che la rendono indispensabile alla vita.
3. Distinguere monomeri e polimeri e rappresentare condensazione e idrolisi, contando gli atomi.
4. Classificare carboidrati, lipidi, proteine e acidi nucleici e collegare ciascuno alle sue funzioni.
5. Riconoscere in laboratorio amido, zuccheri riducenti, proteine e lipidi, usando un controllo.

INDICE DEL CAPITOLO

2.1 Gli elementi e i composti della materia vivente 2
2.2 L'acqua, la sostanza della vita 4
2.3 Monomeri e polimeri. I carboidrati 5
2.4 I lipidi 9
2.5 Le proteine 11
2.6 Gli acidi nucleici e l'ATP 14

Scienze naturali 2 · Parte I · La cellula · versione 1.0
Capitolo 2: La chimica dei viventi: l'acqua e le biomolecole · pagine 43–64 del volume completo · estratto per lo studio

Una fetta di pane, un uovo sodo, un cucchiaio d'olio, una mela: materiali diversissimi, eppure fatti quasi soltanto di quattro elementi, gli stessi del tuo corpo. Gli atomi dei viventi non sono diversi da quelli delle rocce o dell'aria: sono combinati in grandi molecole costruite a partire da poche unità semplici, le stesse in tutti gli organismi, dai batteri alle querce. Conoscerle serve a capire che cosa mangiamo, perché l'olio non si mescola con l'acqua e perché un uovo, cuocendo, cambia aspetto senza poter più tornare indietro.

2.1 Gli elementi e i composti della materia vivente

2.1.1 Richiamo: elementi, composti, formule

Riprendiamo in breve alcune idee di *Scienze naturali 1*. Un **elemento** è una sostanza pura che non si può scomporre in sostanze più semplici con trasformazioni chimiche; ogni elemento è formato da un solo tipo di atomi e ha un simbolo (C per il carbonio, O per l'ossigeno). Un **composto** è una sostanza pura formata da due o più elementi combinati sempre nelle stesse proporzioni in massa (legge di Proust). In molte sostanze gli atomi sono uniti in gruppi stabili, le **molecole**.

La **formula chimica** indica quali atomi formano una molecola e quanti sono: l'*indice*, il numero in basso a destra di un simbolo, conta gli atomi di quell'elemento (l'indice 1 non si scrive). Così H_2O significa 2 atomi di idrogeno e 1 di ossigeno, e $C_6H_{12}O_6$, la formula del glucosio, 6 atomi di carbonio, 12 di idrogeno e 6 di ossigeno, 24 in tutto. In un'equazione il *coefficiente* davanti alla formula conta invece le molecole: 6 CO_2 sono sei molecole, con 6 atomi di carbonio e 12 di ossigeno. In una reazione gli atomi si riorganizzano ma non si creano né si distruggono: un'equazione corretta è **bilanciata**, con lo stesso numero di atomi di ogni elemento nei reagenti e nei prodotti.

Una formula dice *quanti* atomi ci sono, non *come* sono collegati: il fruttosio, lo zucchero della frutta, ha la stessa formula del glucosio ma è una sostanza diversa. Come si rappresenta la disposizione degli atomi lo studierai più avanti.

2.1.2 Gli elementi dei viventi

In natura esistono circa novanta elementi, ma per l'essere umano ne sono indispensabili soltanto una ventina. Quattro dominano su tutti: **ossigeno, carbonio, idrogeno e azoto** formano circa il 96 % della massa del corpo (Figura 2.1). Seguono il calcio, soprattutto nelle ossa e nei denti, il fosforo, nelle ossa e nelle molecole che conservano l'informazione ereditaria, e lo zolfo, presente in molte proteine. Sodio, potassio, cloro, magnesio e calcio si trovano nei liquidi

del corpo come ioni, particelle con carica elettrica (Na^+, K^+, Cl^-, Mg^{2+}, Ca^{2+}), e intervengono per esempio nella contrazione dei muscoli e negli impulsi nervosi; il magnesio è anche al centro della clorofilla, il pigmento verde delle piante.

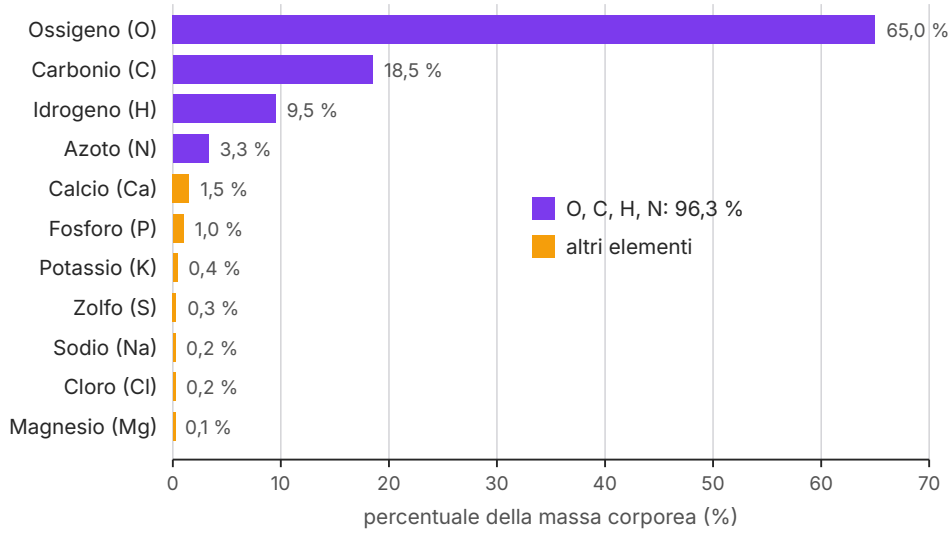


Figura 2.1 Composizione elementare del corpo umano, in percentuale della massa (valori medi indicativi, da Urry e coll., *Campbell Biology*). Ossigeno, carbonio, idrogeno e azoto ne formano circa il 96 %; gli oligoelementi, come ferro e iodio, sono meno dello 0,01 % ciascuno e non compaiono nel grafico.

Alcuni elementi sono necessari in quantità minime, al di sotto dello 0,01 % della massa corporea: sono gli **oligoelementi** (dal greco *olígos*, poco), come ferro, iodio, zinco, rame e fluoro. Minime non vuol dire trascurabili: senza ferro il sangue non trasporta bene l'ossigeno, senza iodio la tiroide non produce i suoi ormoni.

La crosta terrestre, invece, è formata soprattutto da ossigeno, silicio e alluminio, e il carbonio vi è poco comune: gli organismi prelevano dall'ambiente alcuni elementi e li concentrano.

COLLEGAMENTI

Educazione alla salute · Ferro e iodio. Il ferro fa parte dell'emoglobina, la proteina dei globuli rossi che trasporta l'ossigeno: una sua carenza prolungata può causare un tipo di anemia. Lo iodio serve a produrre gli ormoni della tiroide, che, se ne riceve troppo poco, può ingrossarsi (*gozzo*). Per questo in Italia una legge del 2005 promuove l'uso del *sale iodato*, sale da cucina con una piccola aggiunta di iodio.

2.1.3 Composti inorganici e organici

Le sostanze che formano un organismo si dividono in due grandi gruppi. I **composti inorganici** sono l'acqua, i sali minerali e alcuni gas disciolti, come l'ossigeno e il diossido di carbonio (CO_2); si trovano anche nel mondo non vivente. I **composti organici** sono invece i composti del carbonio, nei quali gli atomi di carbonio, legati fra loro e quasi sempre all'idrogeno, formano lo scheletro della molecola. Alcuni composti semplici del carbonio, come il CO_2 e i carbonati del calcare, si considerano tuttavia inorganici.

Il nome «organico» risale all'epoca in cui si pensava che queste sostanze potessero essere prodotte soltanto dagli organismi. Nel 1828 il chimico tedesco Friedrich Wöhler ottenne in laboratorio l'urea, una sostanza organica dell'urina, da composti inorganici. Oggi «organico» vuol dire semplicemente «a base di carbonio».

2.2 L'acqua, la sostanza della vita

L'acqua è il composto più abbondante in quasi tutti gli organismi: in media il 60–70 % della loro massa. Nel corpo di un adulto è circa il 60 %; in una foglia di lattuga o in una medusa supera il 90 %, mentre un seme secco ne contiene poca. Nelle cellule quasi tutte le reazioni chimiche avvengono in soluzione acquosa. Vediamo le proprietà che rendono l'acqua così importante per i viventi.

2.2.1 Un ottimo solvente

L'acqua scioglie moltissime sostanze: il sale e lo zucchero, molti gas, molte proteine. Le sostanze che si sciolgono in acqua o vi si mescolano si dicono **idrofile** («amiche dell'acqua»); quelle che non vi si sciolgono, come l'olio e i grassi, sono **idrofobe** («che temono l'acqua») e restano separate, come le gocce d'olio nel brodo. Grazie a questa proprietà il sangue trasporta in soluzione zuccheri e sali in tutto il corpo, e la linfa porta i sali minerali dalle radici alle foglie.

2.2.2 Coesione, adesione e capillarità

Le molecole d'acqua tendono a restare unite fra loro: è la **coesione**. Ne deriva la **tensione superficiale**, per cui la superficie dell'acqua si comporta come una pellicola elastica che permette a una goccia di restare tonda e ad alcuni insetti, come i gerridi degli stagni, di camminare sull'acqua. L'acqua aderisce anche ad altre superfici, come il vetro o le pareti delle cellule vegetali (**adesione**). Coesione e adesione insieme producono la **capillarità**: in un tubo sottile l'acqua risale da sola, tanto più in alto quanto più il tubo è stretto. Insieme ad altri meccanismi, la capillarità contribuisce alla risalita dell'acqua nei sottilissimi vasi delle piante.

2.2.3 Un regolatore della temperatura

In *Scienze naturali 1* hai visto che l'acqua ha un **calore specifico** molto elevato, circa 4,19 J/(g · °C): per scaldarla serve molta più energia che per la maggior parte delle altre sostanze. Così la temperatura di un organismo, fatto in gran parte d'acqua, cambia lentamente anche quando l'ambiente si scalda o si raffredda in fretta, e mari e laghi offrono ai loro abitanti un ambiente termicamente stabile. Inoltre l'acqua, per evaporare, assorbe molto calore: il sudore che evapora dalla pelle raffredda il corpo.

2.2.4 Il ghiaccio galleggia

Come sai dal primo volume, il ghiaccio è meno denso dell'acqua liquida e galleggia. D'inverno lo strato di ghiaccio superficiale isola l'acqua dei laghi: sul fondo resta liquida e gli organismi sopravvivono.

APPROFONDIMENTO

Approfondimento · Perché l'acqua è così speciale. Queste proprietà hanno un'origine comune nella struttura della molecola, che studierai nel secondo biennio. La molecola d'acqua è piegata, con un angolo di circa 104,5°, e l'ossigeno attira gli elettroni condivisi più fortemente dell'idrogeno: dalla parte dell'ossigeno c'è una parziale carica negativa (δ−), sugli idrogeni due parziali cariche positive (δ+). La molecola è **polare**.

La parte δ+ di una molecola è attratta dalla parte δ− di una vicina: è il **legame a idrogeno**, e ogni molecola d'acqua può formarne fino a quattro. Questi legami tengono unite le molecole (coesione), vanno rotti quando l'acqua si scalda (alto calore specifico) e nel ghiaccio bloccano le molecole in un reticolo pieno di spazi vuoti (ghiaccio meno denso). Le molecole d'acqua circondano inoltre gli ioni e le molecole polari e li separano: per questo l'acqua scioglie il sale ma non l'olio, le cui molecole non sono polari.

2.3 Monomeri e polimeri. I carboidrati

2.3.1 Il carbonio e le grandi molecole

Perché proprio il carbonio? Ogni suo atomo può legarsi ad altri quattro atomi, anche di carbonio: si formano così catene lunghe, ramificate o chiuse ad anello, alle quali si attaccano idrogeno, ossigeno, azoto e altri elementi. Le molecole organiche dei viventi, le **biomolecole**, si raggruppano in quattro classi: **carboidrati, lipidi, proteine e acidi nucleici**.

Molte biomolecole sono enormi **macromolecole**, formate da migliaia o milioni di atomi. Le cellule le costruiscono come una collana di perline, unendo in fila tante piccole molecole simili, i **monomeri**, in una lunga catena, il **polimero** (dal greco *polýs*, molti, e *méros*, parte). Con

pochi tipi di monomeri si ottengono moltissimi polimeri diversi, come con le 21 lettere dell'alfabeto si scrivono tutte le parole di un dizionario.

2.3.2 Condensazione e idrolisi

Quando due monomeri si uniscono, uno perde un gruppo –OH e l'altro un atomo di idrogeno: questi atomi formano una molecola d'acqua, che si libera. La reazione si chiama **condensazione**. Per esempio, due molecole di glucosio si uniscono formando il maltosio, lo zucchero del malto (Figura 2.2):

$$\text{glucosio} + \text{glucosio} \rightarrow \text{maltosio} + \text{acqua}$$

$$C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6 \rightarrow C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O$$

La reazione inversa è l'**idrolisi** (dal greco *hýdor*, acqua, e *lýsis*, scioglimento): una molecola d'acqua viene consumata e il legame fra due monomeri si spezza. È ciò che avviene durante la digestione, quando gli alimenti vengono scomposti nei loro monomeri, che possono così essere assorbiti. Nelle cellule sia la condensazione sia l'idrolisi avvengono grazie a speciali proteine, gli enzimi, che studierai nel Capitolo 5.

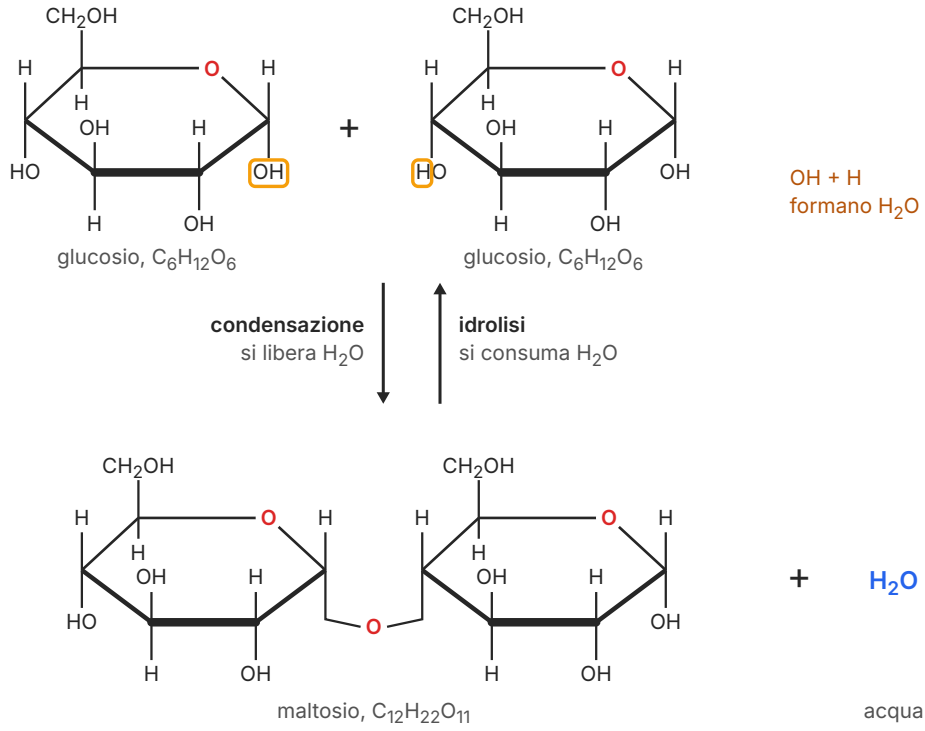


Figura 2.2 Condensazione e idrolisi del maltosio (schema; gli atomi di carbonio degli anelli sono ai vertici e non sono scritti). Il gruppo –OH di un glucosio e l'atomo H di un –OH dell'altro (riquadri) formano una molecola d'acqua; le due unità restano unite da un atomo di ossigeno. Contando gli atomi: 2 $C_6H_{12}O_6$ = $C_{12}H_{22}O_{11}$ + H_2O.

ESEMPIO SVOLTO

Problema. Verifica che l'equazione della formazione del maltosio è bilanciata. Poi scrivi la formula di una catena di tre molecole di glucosio unite per condensazione.

Soluzione. Contiamo gli atomi. Reagenti: 2 $C_6H_{12}O_6$ contengono 12 C, 24 H, 12 O. Prodotti: $C_{12}H_{22}O_{11}$ contiene 12 C, 22 H, 11 O; H_2O contiene 2 H e 1 O; in tutto 12 C, 24 H, 12 O. I conti tornano: l'equazione è bilanciata.

Per unire tre glucosi servono due legami, quindi si liberano 2 molecole d'acqua. Tre glucosi contengono 18 C, 36 H, 18 O; togliendo 2 H_2O (4 H e 2 O) restano 18 C, 32 H, 16 O. La formula è $C_{18}H_{32}O_{16}$. In generale, per unire n monomeri in una catena si formano $n - 1$ legami e si liberano $n - 1$ molecole d'acqua.

ERRORE FREQUENTE

Idrolisi non vuol dire «sciogliere in acqua». Quando sciogli lo zucchero nel tè le sue molecole si disperdono fra quelle dell'acqua, ma restano intere: è una trasformazione fisica, e facendo evaporare l'acqua lo zucchero si recupera. Nell'idrolisi, invece, una molecola d'acqua *partecipa alla reazione*: un legame si rompe e gli atomi dell'acqua entrano a far parte dei prodotti. È una trasformazione chimica.

2.3.3 I carboidrati

I **carboidrati**, detti anche glucidi o zuccheri, sono composti di carbonio, idrogeno e ossigeno. Il nome («idrati di carbonio») viene dal fatto che in molti di essi idrogeno e ossigeno stanno nello stesso rapporto 2 : 1 dell'acqua, come nel glucosio, $C_6H_{12}O_6$. Si classificano in base al numero di unità che li compongono.

I **monosaccaridi** sono gli zuccheri semplici, i monomeri dei carboidrati. Il più importante è il **glucosio** ($C_6H_{12}O_6$), il principale «combustibile» delle cellule, prodotto dalle piante con la fotosintesi e trasportato nel nostro sangue; il **fruttosio**, con la stessa formula, si trova nella frutta e nel miele; il **galattosio** fa parte dello zucchero del latte. Il **ribosio** ($C_5H_{10}O_5$) e il **desossiribosio** ($C_5H_{10}O_4$, con un ossigeno in meno) fanno parte degli acidi nucleici.

I **disaccaridi** sono formati da due monosaccaridi uniti per condensazione e hanno tutti la formula $C_{12}H_{22}O_{11}$: il **saccarosio** (glucosio + fruttosio) è lo zucchero da tavola, estratto dalla canna da zucchero e dalla barbabietola; il **lattosio** (glucosio + galattosio) è lo zucchero del latte; il **maltosio** (glucosio + glucosio) si forma nei semi in germinazione, come l'orzo usato per il malto. Monosaccaridi e disaccaridi sono solubili in acqua e dolci.

I **polisaccaridi** sono polimeri formati da centinaia o migliaia di monosaccaridi. Non sono dolci e in genere non si sciolgono in acqua. I più importanti sono formati tutti da glucosio, ma differiscono per il modo in cui le unità sono legate e per le ramificazioni della catena:

- l'**amido** è la riserva di energia delle piante, accumulata nei semi (cereali, legumi), nei tuberi (patate) e nelle radici;
- il **glicogeno**, molto ramificato, è la riserva degli animali e dei funghi; nel nostro corpo si accumula nel fegato e nei muscoli;
- la **cellulosa** forma la parete delle cellule vegetali: le sue catene lunghe e diritte si affiancano in fibre resistenti, come quelle del legno, del cotone e della carta. È il composto organico più abbondante sulla Terra;
- la **chitina**, un polisaccaride che contiene anche azoto, forma l'esoscheletro degli artropodi (insetti, ragni, crostacei) e la parete delle cellule dei funghi.

I carboidrati hanno dunque funzione **energetica** (glucosio, amido, glicogeno) e **strutturale** (cellulosa, chitina).

COLLEGAMENTI

Alimentazione · Amido sì, cellulosa no. Digeriamo l'amido del pane e della pasta, scomponendolo in glucosio, ma non la cellulosa, pur fatta anch'essa di glucosio: ci mancano gli enzimi capaci di spezzarne i legami. La cellulosa di verdure, frutta e cereali integrali attraversa così l'intestino quasi intatta: è gran parte della *fibra alimentare*. Mucche, pecore e termiti invece se ne nutrono, perché ospitano nel loro apparato digerente microrganismi capaci di idrolizzarla.

2.4 I lipidi

I **lipidi** sono biomolecole diverse fra loro, accomunate dall'essere idrofobe: non si sciolgono in acqua, ma in solventi come la benzina o l'acetone. Sono formati soprattutto da carbonio e idrogeno, con poco ossigeno, e **non sono veri polimeri**: non sono catene di unità ripetute.

2.4.1 Trigliceridi: grassi e oli

I lipidi più comuni sono i **trigliceridi**, formati da una molecola di **glicerolo** unita per condensazione a tre molecole di **acidi grassi** (si liberano tre molecole d'acqua). Un acido grasso è una lunga catena di atomi di carbonio legati all'idrogeno, di solito 16 o 18 atomi di carbonio, con un'estremità acida (Figura 2.3a). Se fra gli atomi di carbonio della catena ci sono solo legami semplici, l'acido grasso è **saturo** («saturo» di idrogeno) e la catena è diritta; se c'è almeno un doppio legame, l'acido grasso è **insaturo** e la catena presenta una piegatura.

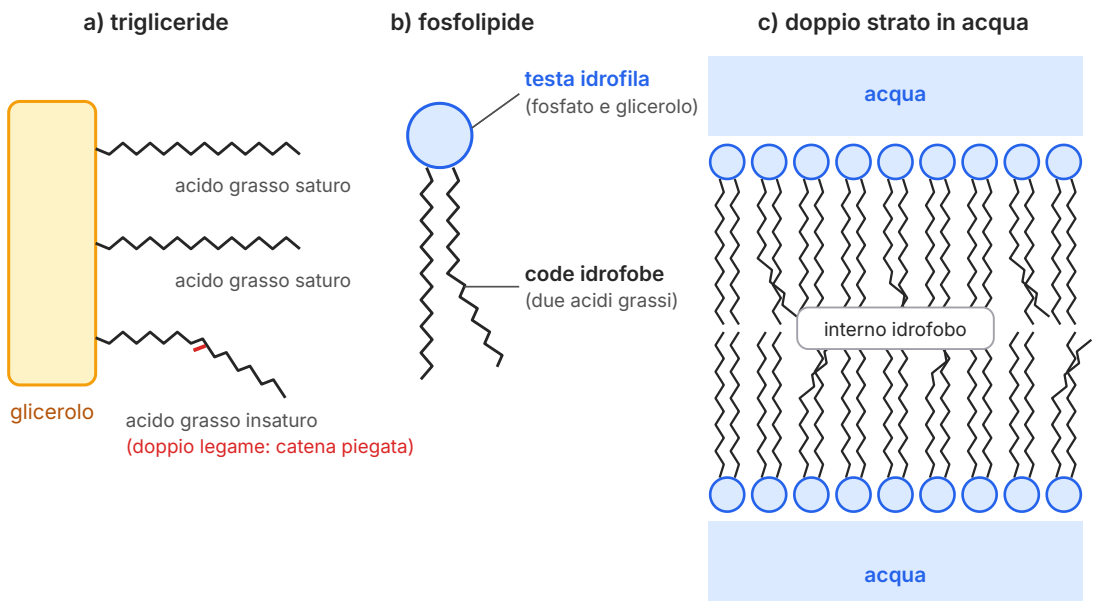


Figura 2.3 Schema (non in scala) di un trigliceride (a), di un fosfolipide (b) e del doppio strato che i fosfolipidi formano spontaneamente in acqua (c), con le teste idrofile rivolte verso l'acqua e le code idrofobe all'interno. Le linee a zigzag rappresentano le catene di carbonio degli acidi grassi; la piegatura corrisponde a un doppio legame.

La differenza si vede a occhio nudo. Le catene diritte si impacchettano strettamente: i trigliceridi ricchi di acidi grassi saturi, come il burro e lo strutto, sono **grassi** solidi a temperatura ambiente. Le catene piegate si impacchettano peggio: i trigliceridi ricchi di insaturi, come l'olio d'oliva e gli oli di semi, sono **oli** liquidi. In genere i grassi saturi sono animali e gli oli vegetali, con eccezioni: gli oli di palma e di cocco sono ricchi di saturi, il grasso dei pesci di insaturi.

I trigliceridi sono la principale **riserva di energia** a lungo termine degli animali e di molti semi, come quelli del girasole: un grammo di grassi fornisce circa 37 kJ (9 kcal), più del doppio di un grammo di carboidrati o di proteine (circa 17 kJ, 4 kcal). Il grasso sotto la pelle isola inoltre dal freddo, spessissimo nelle balene e nelle foche, e protegge gli organi dagli urti.

2.4.2 Fosfolipidi, steroidi e cere

I **fosfolipidi** somigliano ai trigliceridi, ma il glicerolo è legato a due soli acidi grassi; al posto del terzo c'è un gruppo che contiene fosfato. La molecola ha così due parti con comportamento opposto: una **testa idrofila**, che tende a stare a contatto con l'acqua, e due **code idrofobe**, che la evitano (Figura 2.3b). In acqua i fosfolipidi si dispongono spontaneamente in un **doppio strato fosfolipidico**: le teste rivolte verso l'acqua, da una parte e dall'altra, e le code nascoste all'inter-

no (Figura 2.3c). È questa la struttura di base di tutte le membrane cellulari, che studierai nel Capitolo 4.

Gli **steroidi** hanno invece uno scheletro di quattro anelli di atomi di carbonio. Il più noto è il **colesterolo**, componente delle membrane delle cellule animali, dal quale l'organismo produce gli ormoni sessuali e la vitamina D. È indispensabile, e in gran parte lo produce il fegato; un suo eccesso nel sangue, però, favorisce i depositi nelle pareti delle arterie.

Le **cere**, infine, sono lipidi solidi e impermeabili: formano la cuticola di foglie e frutti (la patina lucida di una mela), impermeabilizzano piume e pelliccia e costituiscono i favi delle api.

COLLEGAMENTI

Educazione alla salute · Leggere l'etichetta. Le etichette alimentari indicano i grassi in grammi e, a parte, la quota di «acidi grassi saturi». Le linee guida italiane per una sana alimentazione consigliano di preferire i grassi insaturi, come quelli dell'olio extravergine d'oliva e del pesce, e di limitare i saturi. I lipidi però non sono «nemici»: servono come riserva di energia, nelle membrane e per assorbire alcune vitamine.

2.5 Le proteine

Le **proteine** sono le biomolecole più varie e, in un certo senso, le più «operaie» della cellula: costituiscono più della metà della massa secca della maggior parte delle cellule e svolgono quasi tutti i compiti attivi. Contengono carbonio, idrogeno, ossigeno, azoto e spesso zolfo.

2.5.1 Gli amminoacidi e la catena

Le proteine sono polimeri di **amminoacidi**, di **20 tipi**. Tutti gli amminoacidi hanno una parte comune, che contiene azoto, e una *catena laterale* diversa dall'uno all'altro: idrofoba, idrofila o dotata di carica elettrica. Due amminoacidi si uniscono per condensazione, liberando una molecola d'acqua, con un **legame peptidico**; molti amminoacidi in fila formano una catena, il **polipeptide** (Figura 2.4a). Una proteina è formata da una o più catene, lunghe da qualche decina a migliaia di amminoacidi: l'insulina, l'ormone che regola il glucosio nel sangue, ha due catene, di 21 e di 30 amminoacidi.

L'ordine degli amminoacidi lungo la catena, la loro **sequenza**, è caratteristico di ogni proteina, come l'ordine delle lettere in una parola. Le combinazioni possibili sono praticamente infinite: con 20 tipi di amminoacidi, le sequenze diverse lunghe appena 3 sono $20 \times 20 \times 20 = 8000$, e quelle lunghe 100 sono 20^{100}, un numero di 131 cifre.

2.5.2 Forma e funzione

Una catena polipeptidica non resta distesa: si ripiega su sé stessa in una forma tridimensionale precisa, determinata dalla sequenza degli amminoacidi (Figura 2.4b). In genere le catene late-

rali idrofobe tendono a raccogliersi all'interno, lontano dall'acqua, e quelle idrofile restano all'esterno. Dalla forma dipende la funzione: una proteina funziona perché ha esattamente quella forma, che le permette di riconoscere e legare altre molecole. Le funzioni delle proteine sono numerosissime:

- **strutturale**: la cheratina di capelli, unghie e piume, il collagene della pelle e dei tendini;
- **enzimatica**: gli **enzimi** accelerano le reazioni chimiche della cellula, come l'amilasi della saliva che idrolizza l'amido (Capitolo 5);
- **di trasporto**: l'emoglobina trasporta l'ossigeno nel sangue;
- **di difesa**: gli anticorpi riconoscono batteri e virus;
- **di movimento**: actina e miosina permettono la contrazione dei muscoli;
- **ormonale**: l'insulina trasmette un segnale da un organo all'altro;
- **di riserva**: l'ovalbumina dell'albume e la caseina del latte forniscono amminoacidi all'embrione o al piccolo.

2.5.3 La denaturazione

Il calore, gli acidi, l'alcol e altre sostanze possono alterare la forma di una proteina senza spezzare la catena: la sequenza resta la stessa, ma la proteina si srotola e perde la sua funzione. È la **denaturazione** (Figura 2.4c), di solito irreversibile. La osservi quando cuoci un uovo: l'albume, trasparente e liquido, diventa bianco e sodo e non torna più come prima; anche il pesce crudo marinato nel limone diventa opaco perché l'acido ne denatura le proteine.

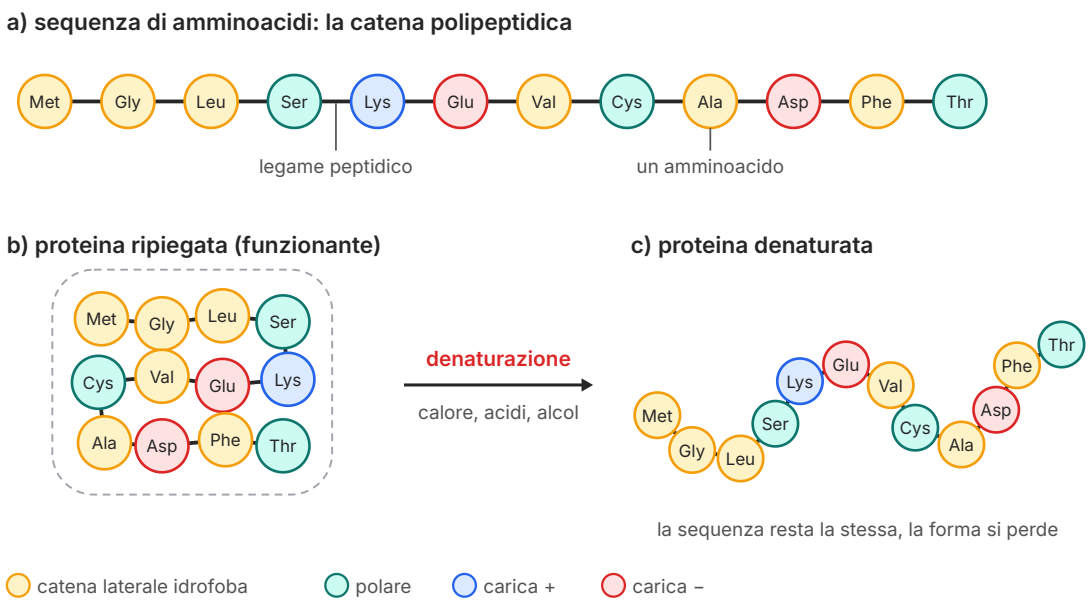


Figura 2.4 Schema di una catena polipeptidica di 12 amminoacidi (sigle internazionali a tre lettere), della proteina ripiegata e della stessa proteina denaturata. Le proteine reali sono formate da decine o migliaia di amminoacidi e hanno forme tridimensionali; i colori indicano il tipo di catena laterale.

COLLEGAMENTI

Alimentazione · Gli amminoacidi essenziali. Nove amminoacidi, detti *essenziali*, il nostro organismo non sa produrli e deve riceverli con il cibo. Carne, pesce, uova e latte li forniscono tutti; le proteine dei cereali sono povere di alcuni amminoacidi di cui i legumi sono ricchi, e viceversa: per questo piatti come pasta e fagioli o riso e piselli forniscono proteine complete.

APPROFONDIMENTO

Approfondimento · I livelli di struttura delle proteine. Nel secondo biennio distinguerai quattro livelli: la *struttura primaria*, cioè la sequenza; la *secondaria*, il ripiegamento regolare di tratti della catena in eliche (α-elica) o foglietti (foglietto β); la *terziaria*, la forma tridimensionale dell'intera catena; la *quaternaria*, l'unione di più catene, come le quattro dell'emoglobina. Un solo amminoacido diverso può alterare tutti i livelli: nell'anemia falciforme un unico amminoacido cambiato in due delle quattro catene dell'emoglobina fa deformare i globuli rossi.

2.6 Gli acidi nucleici e l'ATP

2.6.1 Nucleotidi, DNA e RNA

Gli **acidi nucleici**, scoperti nel XIX secolo nel nucleo delle cellule (da cui il nome), conservano e trasmettono l'informazione ereditaria. I loro monomeri sono i **nucleotidi**, formati da tre parti (Figura 2.5a): uno zucchero a cinque atomi di carbonio, un **gruppo fosfato** e una **base azotata**, una molecola ad anello che contiene azoto. I carboni dello zucchero si numerano da 1′ a 5′ («uno primo»...): la base è legata al carbonio 1′, il fosfato al 5′.

Esistono due acidi nucleici. Il **DNA** (acido desossiribonucleico) contiene lo zucchero desossiribosio e quattro basi: adenina (A), guanina (G), citosina (C) e timina (T). L'**RNA** (acido ribonucleico) contiene il ribosio e le basi A, G, C e uracile (U) al posto della timina. In un filamento i nucleotidi sono uniti per condensazione: il fosfato di un nucleotide si lega allo zucchero del precedente, formando uno **scheletro zucchero-fosfato** da cui sporgono le basi (Figura 2.5b). Il filamento ha una direzione: a un'estremità c'è un fosfato legato al carbonio 5′ (estremità 5′), all'altra un carbonio 3′ libero (estremità 3′).

L'informazione è scritta nella **sequenza delle basi**, con un alfabeto di quattro lettere. Il DNA è formato da due filamenti avvolti in una **doppia elica** ed è lunghissimo: quello di una sola cellula umana, srotolato, misurerebbe circa 2 metri. I tratti che contengono le istruzioni per costruire le proteine sono i **geni**, che ritroverai con Mendel. L'RNA, di solito a filamento singolo, serve a usare queste istruzioni, come vedrai nel secondo biennio.

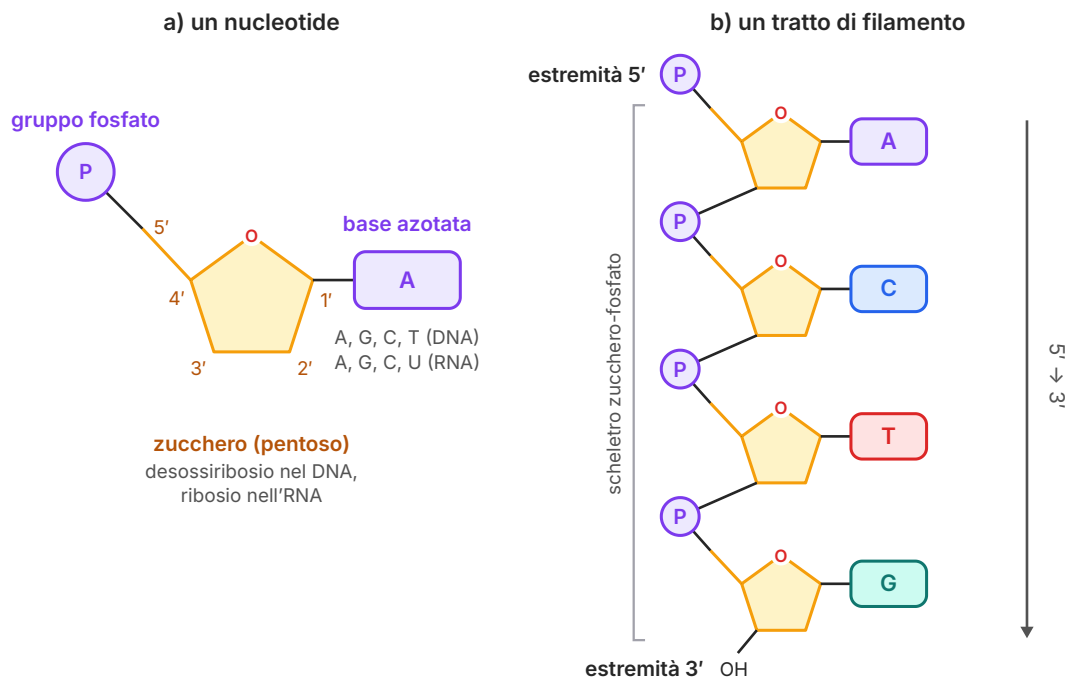


Figura 2.5 a) Un nucleotide: base azotata legata al carbonio 1′ dello zucchero, gruppo fosfato legato al carbonio 5′. b) Un tratto di filamento di DNA con la sequenza ACTG letta dall'estremità 5′ all'estremità 3′: i fosfati uniscono il carbonio 3′ di uno zucchero al carbonio 5′ del successivo. Schema non in scala.

APPROFONDIMENTO

Approfondimento · La doppia elica. Nel 1953 James Watson e Francis Crick proposero il modello a doppia elica del DNA, basandosi anche sulle immagini ai raggi X ottenute da Rosalind Franklin, al King's College di Londra, e sui dati di Maurice Wilkins. I due filamenti corrono in direzioni opposte (sono *antiparalleli*) e sono tenuti insieme dalle basi, che si appaiano sempre allo stesso modo, A con T e C con G (*appaiamento complementare*): dalla sequenza di un filamento si ricava quella dell'altro. Watson, Crick e Wilkins ricevettero il Nobel nel 1962; Franklin era morta nel 1958, e il Nobel non si assegna dopo la morte.

2.6.2 L'ATP, la moneta energetica

Un nucleotide speciale ha un compito diverso: l'**ATP** (adenosina trifosfato), formato da adenina, ribosio e **tre** gruppi fosfato. Quando perde per idrolisi il fosfato terminale diventa ADP (adenosina difosfato) e libera energia, che la cellula usa per muoversi, trasportare sostanze, costruire molecole; l'ADP viene poi «ricaricato» in ATP con l'energia ricavata dagli alimenti. Per questo

l'ATP è la **moneta energetica** della cellula: come il denaro, viene continuamente guadagnato e speso (Capitolo 5).

> **ERRORE FREQUENTE**
>
> **L'ATP non è un serbatoio di energia.** Le cellule ne contengono in ogni momento una quantità piccola, che si consuma in pochi istanti e viene rigenerata di continuo: l'ATP *trasferisce* energia dalle reazioni che la liberano a quelle che la richiedono. Le riserve di energia a lungo termine sono altre: i grassi, il glicogeno negli animali e l'amido nelle piante.

Le biomolecole a confronto

Tabella 2.1 Le quattro classi di biomolecole.

Classe	Monomeri	Esempi	Funzioni principali
carboidrati	monosaccaridi	glucosio, saccarosio, amido, glicogeno, cellulosa, chitina	fonte e riserva di energia; sostegno
lipidi	non sono polimeri	trigliceridi, fosfolipidi, colesterolo, cere	riserva di energia; membrane; ormoni; impermeabilizzazione
proteine	20 amminoacidi	cheratina, emoglobina, enzimi, anticorpi, insulina	struttura, catalisi, trasporto, difesa, movimento, segnali
acidi nucleici	nucleotidi	DNA, RNA	conservare e usare l'informazione ereditaria

Le biomolecole si possono riconoscere con semplici saggi chimici: si aggiunge al campione un reattivo che cambia colore in presenza di una certa sostanza (Figura 2.6). Ogni saggio va sempre confrontato con un **controllo**: lo stesso saggio eseguito su un campione che di sicuro non contiene la sostanza, di solito acqua distillata. Solo il confronto permette di dire se un cambiamento di colore è dovuto davvero alla sostanza cercata.

ESPERIENZA DI LABORATORIO

Riconoscere le biomolecole negli alimenti. *Materiali*: provette, pipette, bagnomaria a 80–90 °C, acqua distillata; soluzioni di amido, glucosio, saccarosio, albume diluito, olio di semi; reattivi di Lugol, di Benedict e del biureto, colorante Sudan III.

Sicurezza: occhiali e guanti. Il reattivo del biureto contiene idrossido di sodio, corrosivo; quello di Benedict solfato di rame, irritante; il Lugol macchia. Le provette calde si prendono con una pinza, con l'imboccatura rivolta lontano dalle persone.

Procedimento: per ogni reattivo si preparano sei provette, una per ciascuna soluzione e una con acqua distillata (il controllo), con la stessa quantità di liquido (circa 2 mL).

1. **Amido**: qualche goccia di Lugol; se c'è amido il colore passa da giallo-bruno a blu-nero.
2. **Zuccheri riducenti** (glucosio, fruttosio, maltosio, lattosio): 2 mL di Benedict, poi 5 minuti a bagnomaria; se ci sono, il colore passa da azzurro a verde, giallo, arancio o rosso mattone, secondo la quantità. Il saccarosio non reagisce.
3. **Proteine**: 2 mL di reattivo del biureto; se ci sono proteine il colore passa da azzurro a violetto.
4. **Lipidi**: qualche goccia di Sudan III, poi si agita; i lipidi salgono in superficie in uno strato rosso-arancio. In alternativa, su carta da pane lasciano una macchia traslucida che non scompare asciugando.

Tabella 2.2 Risultati attesi dei saggi (+ positivo, – negativo). La riga dell'acqua distillata è il controllo.

Campione	Lugol	Benedict (a caldo)	Biureto	Sudan III
acqua distillata (controllo)	– giallo-bruno	– azzurro	– azzurro	– nessuno strato
amido	+ blu-nero	– azzurro	– azzurro	– nessuno strato
glucosio	– giallo-bruno	+ rosso mattone	– azzurro	– nessuno strato
saccarosio	– giallo-bruno	– azzurro	– azzurro	– nessuno strato
albume diluito	– giallo-bruno	– azzurro	+ violetto	– nessuno strato
olio di semi	– giallo-bruno	– azzurro	– azzurro	+ strato rosso

Domande: 1) A che cosa serve la provetta con acqua distillata? 2) Il saccarosio è uno zucchero, ma il saggio di Benedict è negativo: che cosa ti insegna su un risultato negativo? 3) Prevedi, poi verifica, i risultati su latte, succo di mela e farina in acqua.

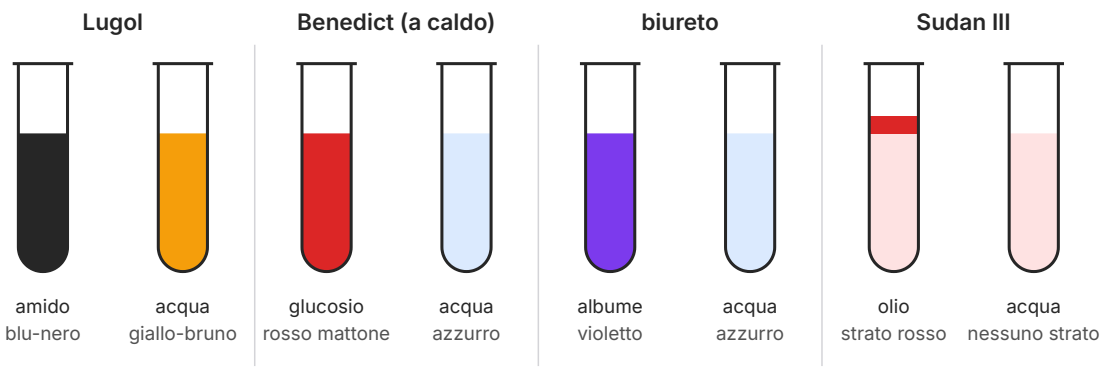


Figura 2.6 I quattro saggi di riconoscimento delle biomolecole: per ciascun reattivo, a sinistra un campione che contiene la sostanza cercata, a destra il controllo con acqua distillata. Il reattivo di Benedict si usa a caldo; col Sudan III i lipidi formano uno strato colorato di rosso in superficie.

SINTESI

- Ossigeno, carbonio, idrogeno e azoto formano circa il 96 % della massa del corpo umano; seguono calcio, fosforo, potassio, zolfo, sodio, cloro, magnesio. Gli **oligoelementi** (ferro, iodio...) servono in quantità minime ma sono indispensabili.
- I **composti inorganici** (acqua, sali minerali, gas disciolti) esistono anche nel mondo non vivente; i **composti organici** sono i composti del carbonio.
- L'**acqua** costituisce il 60–70 % della massa di molti organismi. È un ottimo solvente per le sostanze idrofile; ha coesione, adesione e tensione superficiale; ha un alto calore specifico; il ghiaccio galleggia.
- Le **macromolecole** sono polimeri di monomeri. La **condensazione** unisce due monomeri liberando acqua; l'**idrolisi** li separa consumando acqua.
- I **carboidrati**: monosaccaridi (glucosio, fruttosio, ribosio, desossiribosio), disaccaridi (saccarosio, lattosio, maltosio, tutti $C_{12}H_{22}O_{11}$), polisaccaridi (amido, glicogeno, cellulosa, chitina). Funzioni energetiche e strutturali.
- I **lipidi** sono idrofobi e non sono polimeri. I trigliceridi (glicerolo + 3 acidi grassi) sono riserve di energia: saturi, solidi; insaturi, liquidi.
- I **fosfolipidi** hanno una testa idrofila e due code idrofobe e in acqua formano un doppio strato, base delle membrane. Steroidi (colesterolo) e cere completano i lipidi.
- Le **proteine** sono polimeri di 20 tipi di amminoacidi uniti da legami peptidici. La sequenza determina la forma, la forma determina la funzione (struttura, enzimi, trasporto, difesa, movimento, ormoni).
- La **denaturazione** (calore, acidi, alcol) altera la forma di una proteina senza cambiarne la sequenza e ne annulla la funzione.
- Gli **acidi nucleici** (DNA e RNA) sono polimeri di nucleotidi (zucchero, fosfato, base azotata). Il DNA conserva l'informazione ereditaria nella sequenza delle basi A, G, C, T ed è una doppia elica.
- L'**ATP** è un nucleotide con tre fosfati: idrolizzandosi in ADP libera l'energia che la cellula usa. È una moneta, non un deposito.
- I saggi di riconoscimento (Lugol, Benedict, biureto, Sudan III) si interpretano sempre per confronto con un **controllo**.

ESERCIZI

Comprendere e ricordare

1. ● Quali elementi formano insieme circa il 96 % della massa del corpo umano?
   - **A.** Ossigeno, carbonio, idrogeno, azoto
   - **B.** Carbonio, calcio, ossigeno, fosforo
   - **C.** Idrogeno, ossigeno, ferro, sodio
   - **D.** Carbonio, azoto, zolfo, potassio

2. ● Un composto si dice organico quando:
   - **A.** si trova in un essere vivente
   - **B.** può essere prodotto solo dagli organismi
   - **C.** ha uno scheletro di atomi di carbonio, legati fra loro e all'idrogeno
   - **D.** non contiene idrogeno

3. ● Nella reazione di condensazione fra due monomeri:
   - **A.** si consuma una molecola d'acqua
   - **B.** si libera una molecola d'acqua
   - **C.** si libera una molecola di diossido di carbonio
   - **D.** i monomeri si sciolgono nell'acqua

4. ● Quale di questi polisaccaridi è la riserva di energia degli animali?
   - **A.** L'amido
   - **B.** La cellulosa
   - **C.** La chitina
   - **D.** Il glicogeno

5. ●● Un fosfolipide è formato da:
   - **A.** glicerolo e tre acidi grassi
   - **B.** quattro anelli di atomi di carbonio uniti fra loro
   - **C.** glicerolo, due acidi grassi e un gruppo che contiene fosfato
   - **D.** una catena di amminoacidi

6. ●● Gli acidi grassi insaturi:
   - **A.** hanno solo legami semplici e catene diritte
   - **B.** hanno almeno un doppio legame e catene piegate
   - **C.** sono tipici del burro e dello strutto
   - **D.** non contengono atomi di carbonio

7. ●● Il legame peptidico unisce:
   A. due nucleotidi
   B. due monosaccaridi
   C. il glicerolo e un acido grasso
   D. due amminoacidi

8. ●● Quale base azotata si trova nell'RNA ma non nel DNA?
   A. L'uracile
   B. La timina
   C. L'adenina
   D. La citosina

9. ●●● Cuocendo un uovo, l'albume diventa bianco e sodo perché le sue proteine:
   A. vengono idrolizzate nei singoli amminoacidi
   B. si trasformano in lipidi
   C. perdono la loro forma, mentre la sequenza degli amminoacidi resta la stessa
   D. perdono acqua e diventano carboidrati

Vero o falso

10. ● Vero o falso? L'acqua costituisce in media il 60–70 % della massa di molti organismi.

11. ● Vero o falso? Il saccarosio e il lattosio hanno la stessa formula molecolare, $C_{12}H_{22}O_{11}$.

12. ●● Vero o falso? I lipidi sono polimeri formati da lunghe catene di unità uguali ripetute.

13. ●● Vero o falso? L'essere umano non è in grado di digerire la cellulosa, che costituisce gran parte della fibra alimentare.

14. ●● Vero o falso? L'ATP è la principale riserva di energia a lungo termine dell'organismo.

15. ●●● Vero o falso? Sciogliere lo zucchero nel tè è un esempio di idrolisi.

Applicare

16. ● Quanti atomi di ciascun elemento ci sono in una molecola di saccarosio, $C_{12}H_{22}O_{11}$? Quanti atomi in tutto?

17. ●● Il lattosio si forma per condensazione di una molecola di glucosio e una di galattosio, entrambe con formula $C_6H_{12}O_6$. Scrivi l'equazione con le formule e verifica che sia bilanciata, elemento per elemento.

18. ● Un trigliceride si forma da una molecola di glicerolo e tre di acidi grassi. Quante molecole d'acqua si liberano nella sua formazione? Quante ne servono per idrolizzarlo completamente?

19. ●●● Quattro molecole di glucosio ($C_6H_{12}O_6$) si uniscono in una catena per condensazione. Quante molecole d'acqua si liberano? Qual è la formula della catena?

20. ●● L'insulina umana è formata da due catene polipeptidiche, di 21 e di 30 amminoacidi. Quanti legami peptidici contiene in tutto? (Non contare i legami che uniscono le due catene fra loro.)

21. ●●● Con 20 tipi di amminoacidi, quante sequenze diverse sono possibili per una catena di 3 amminoacidi? E con le 4 basi del DNA, quante sequenze diverse sono possibili per un tratto di filamento di 4 nucleotidi?

22. ● Usando i valori della Figura 2.1, calcola la massa di carbonio e la massa di ossigeno nel corpo di una persona di 60 kg.

Leggere dati e figure

23. ● Osserva la Figura 2.1. a) Quale elemento è al terzo posto? b) Quante volte la massa di ossigeno supera quella di carbonio? c) Perché, secondo te, l'ossigeno è così abbondante? (Pensa al composto più abbondante nei viventi.)

24. ●● Uno studente esegue i quattro saggi su un alimento sconosciuto e ottiene: Lugol giallo-bruno, Benedict rosso mattone, biureto violetto, Sudan III nessuno strato rosso (il controllo con acqua è negativo in tutti e quattro). Quali biomolecole contiene l'alimento? Fra olio di semi, latte scremato, pane e zucchero da tavola, quale può essere?

25. ●● Osserva la Figura 2.5b. Scrivi la sequenza delle basi dall'estremità 5′ all'estremità 3′. Quanti nucleotidi, quanti zuccheri e quanti gruppi fosfato contiene il tratto disegnato?

Indagare e argomentare

26. ●● Progetta un esperimento controllato per stabilire se un succo di frutta contiene zuccheri riducenti e amido. Indica i reattivi, il controllo, le variabili da mantenere costanti e i risultati che ti aspetteresti nei due casi possibili.

27. ● Spiega con due esempi perché è importante per i viventi che l'acqua abbia un calore specifico elevato e che il ghiaccio galleggi.

28. ●●● Prima del letargo un orso accumula grandi quantità di grasso, non di glicogeno. Spiega perché questa è una scelta «vantaggiosa», usando i dati sull'energia fornita da un grammo di grassi e di carboidrati.

Approfondimento

29. ●● (Approfondimento) Un filamento di DNA ha la sequenza 5′-ATGC-3′. Scrivi la sequenza del filamento complementare, indicando le estremità 5′ e 3′.

30. ● (Approfondimento) Spiega perché l'acqua scioglie bene il sale da cucina ma non l'olio, usando le parole «polare» e «legame a idrogeno».

PER APPROFONDIRE

- [CAM] Urry e coll., *Campbell Biology*: i capitoli sull'acqua, sul carbonio e sulle macromolecole biologiche, con molte immagini delle strutture tridimensionali.
- [ALB] Alberts e coll., *Essential Cell Biology*: il capitolo sui componenti chimici della cellula, per chi vuole vedere già ora come se ne parla all'università.

Glossario del capitolo

Acido grasso saturo / insaturo
Acido grasso con soli legami semplici fra gli atomi di carbonio e catena diritta (saturo), o con almeno un doppio legame e catena piegata (insaturo).

Amminoacido
Monomero delle proteine; ne esistono 20 tipi, che differiscono per la catena laterale.

ATP
Adenosina trifosfato: nucleotide con tre gruppi fosfato che, idrolizzandosi in ADP, cede energia ai processi cellulari.

Biomolecole
Le molecole organiche dei viventi: carboidrati, lipidi, proteine, acidi nucleici.

Capillarità
Risalita spontanea di un liquido in un tubo sottile, dovuta a coesione e adesione.

Carboidrati
Biomolecole di C, H e O: monosaccaridi, disaccaridi e polisaccaridi; funzione energetica e strutturale.

Coesione
Tendenza delle molecole d'acqua a restare unite fra loro; ne derivano la tensione superficiale e, con l'adesione, la capillarità.

Composto organico
Composto del carbonio, con uno scheletro di atomi di carbonio legati fra loro e all'idrogeno.

Condensazione
Reazione in cui due molecole si uniscono e si libera una molecola d'acqua.

Denaturazione
Perdita della forma di una proteina, e quindi della sua funzione, per effetto di calore, acidi o altre sostanze, senza che cambi la sequenza.

DNA / RNA
Acidi nucleici: il DNA (desossiribosio; basi A, G, C, T; doppia elica) conserva l'informazione ereditaria; l'RNA (ribosio; A, G, C, U) serve a usarla.

Fosfolipide
Lipide con una testa idrofila contenente fosfato e due code idrofobe; in acqua forma un doppio strato, base delle membrane.

Idrofilo / idrofobo
Detto di una sostanza che si scioglie in acqua o vi si mescola (idrofilo), o che non vi si scioglie e ne resta separata (idrofobo).

Idrolisi
Reazione in cui una molecola d'acqua viene consumata e un legame fra due monomeri si rompe.

Legame peptidico
Legame fra due amminoacidi, formato per condensazione.

Lipidi
Biomolecole idrofobe, non polimeriche: trigliceridi, fosfolipidi, steroidi, cere.

Monomero / polimero
Piccola molecola che si unisce ad altre simili (monomero) a formare una lunga catena (polimero).

Nucleotide
Monomero degli acidi nucleici, formato da uno zucchero a cinque atomi di carbonio, un gruppo fosfato e una base azotata.

Oligoelementi
Elementi necessari agli organismi in quantità minime (meno dello 0,01 % della massa corporea), come ferro, iodio, zinco.

Polisaccaride
Polimero di molti monosaccaridi: amido, glicogeno, cellulosa, chitina.

Soluzioni

1. A. Ossigeno, carbonio, idrogeno e azoto (circa 96,3 % in tutto).

2. C. I composti organici sono i composti del carbonio; molti sono prodotti anche dall'industria.

3. B. Si libera una molecola d'acqua.

4. D. Il glicogeno, accumulato nel fegato e nei muscoli; l'amido è la riserva delle piante.

5. C. Glicerolo, due acidi grassi e un gruppo che contiene fosfato.

6. B. Almeno un doppio legame e catene piegate; sono tipici degli oli.

7. D. Due amminoacidi.

8. A. L'uracile, che nell'RNA sostituisce la timina.

9. C. Le proteine si denaturano: perdono la forma ma non la sequenza.

10. Vero.

11. Vero: sono entrambi disaccaridi $C_{12}H_{22}O_{11}$, ma con monomeri diversi (glucosio + fruttosio; glucosio + galattosio).

12. Falso: i lipidi non sono veri polimeri; un trigliceride, per esempio, è formato da un glicerolo e tre acidi grassi.

13. Vero: ci mancano gli enzimi capaci di idrolizzarla.

14. Falso: l'ATP trasferisce energia in tempi brevissimi; le riserve a lungo termine sono i grassi e il glicogeno (l'amido nelle piante).

15. Falso: è una dissoluzione, una trasformazione fisica; le molecole di zucchero restano intere. Nell'idrolisi l'acqua reagisce e un legame si rompe.

16. 12 atomi di C, 22 di H, 11 di O; in tutto 12 + 22 + 11 = 45 atomi.

17. $C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6 \rightarrow C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O$. Reagenti: 12 C, 24 H, 12 O. Prodotti: 12 C, 22 + 2 = 24 H, 11 + 1 = 12 O. Bilanciata.

18. Si liberano 3 molecole d'acqua (una per ogni acido grasso legato); per l'idrolisi completa ne servono 3.

19. Per 4 monomeri si formano 3 legami e si liberano 3 H_2O. 4 $C_6H_{12}O_6 = C_{24}H_{48}O_{24}$; togliendo 3 H_2O (6 H, 3 O): $C_{24}H_{42}O_{21}$.

20. Una catena di 21 amminoacidi ha 20 legami peptidici, una di 30 ne ha 29: in tutto 20 + 29 = 49.

21. $20 \times 20 \times 20 = 20^3 = 8000$ sequenze di 3 amminoacidi; $4 \times 4 \times 4 \times 4 = 4^4 = 256$ sequenze di 4 nucleotidi.

22. Carbonio: 18,5 % di 60 kg = 0,185 × 60 kg ≈ 11 kg (11,1 kg). Ossigeno: 0,650 × 60 kg = 39 kg.

23. a) L'idrogeno (9,5 %). b) 65,0 : 18,5 ≈ 3,5 volte. c) Il corpo è fatto per circa il 60 % di acqua, e nella molecola d'acqua quasi tutta la massa è dovuta all'ossigeno; l'ossigeno è inoltre presente in carboidrati, proteine e altre biomolecole.

24. Contiene zuccheri riducenti e proteine, ma non amido e lipidi in quantità rilevabili. È il latte scremato (lattosio + proteine, grassi quasi assenti). L'olio darebbe solo il Sudan positivo, il pane il Lugol positivo, lo zucchero da tavola (saccarosio) tutti i saggi negativi.

25. 5′-ACTG-3′. Il tratto contiene 4 nucleotidi, quindi 4 zuccheri e 4 gruppi fosfato (uno per nucleotide; il primo forma l'estremità 5′).

26. Traccia: due serie di provette con la stessa quantità di succo (variabile costante: volume, temperatura del bagnomaria, tempo, quantità di reattivo). Serie 1: Lugol; serie 2: Benedict a bagnomaria. In ogni serie un controllo con acqua distillata (negativo atteso) e, se possibile, un controllo positivo (soluzione di amido; soluzione di glucosio). Amido presente: blu-nero; assente: giallo-bruno come il controllo. Zuccheri riducenti presenti: verde-arancio-rosso mattone; assenti: azzurro come il controllo.

Variabile indipendente: il campione; variabile dipendente: il colore.

27. Traccia: il calore specifico elevato rende stabile la temperatura del corpo, fatto in gran parte d'acqua, e quella dei mari e dei laghi in cui vivono molti organismi; l'evaporazione del sudore raffredda il corpo. Il ghiaccio, galleggiando, forma uno strato isolante sulla superficie dei laghi: sotto l'acqua resta liquida e pesci e altri organismi sopravvivono all'inverno.

28. Traccia: un grammo di grassi fornisce circa 37 kJ, un grammo di carboidrati circa 17 kJ, meno della metà; a parità di energia, quindi, una riserva di grassi pesa meno della metà (inoltre il glicogeno si accumula insieme a molta acqua, che ne aumenta ancora la massa). Per un animale che deve vivere a lungo delle sue riserve, e muoversi portandole con sé, i grassi sono più convenienti. Il grasso sotto la pelle isola anche dal freddo. Attenzione: non è una «scelta» dell'orso, ma un adattamento della specie.

29. Il filamento complementare è 3′-TACG-5′, cioè, letto da 5′ a 3′, 5′-GCAT-3′ (A–T, T–A, G–C, C–G; i due filamenti sono antiparalleli).

30. La molecola d'acqua è polare (δ– sull'ossigeno, δ+ sugli idrogeni): le molecole d'acqua circondano gli ioni del sale (Na^+ e Cl^-) e li separano. Le molecole dell'olio non sono polari: l'acqua non le attira, e le molecole d'acqua restano unite fra loro con i legami a idrogeno escludendo l'olio, che si separa.