

- Gli acidi sono donatori di protoni (ioni idrogeno, H^+); le basi sono accettori di protoni. Un acido in soluzione si dissocia dando H^+ ed un anione. Molte basi in soluzione si dissociano dando ioni idrossido (OH^-), che possono accettare protoni per formare acqua.
20. Ricavare il valore di pH di una soluzione dalla concentrazione degli ioni idrogeno (in moli per litro) e spiegare in che modo i tamponi contribuiscono a minimizzare le variazioni di pH.
- Il pH è il logaritmo negativo della concentrazione di ioni idrogeno di una soluzione (espressa in moli per litro). Una soluzione neutra, ovvero con uguali concentrazioni di H^+ e di OH^- (10^{-7} mol/L), ha pH 7, una soluzione acida ha un pH inferiore a 7, una soluzione basica ha un pH superiore a 7.
 - Un sistema tampone contiene un acido debole oppure una base debole. Un tampone si oppone ai cambiamenti di pH di una soluzione qualora vengano aggiunti acidi o basi.
 - 12 Illustrare la composizione dei sali e spiegare perché essi sono importanti all'interno degli organismi.
 - Un sale è un composto nel quale l'atomo di idrogeno di un acido viene sostituito da un altro catione. I sali forniscono ioni minerali essenziali per le funzioni vitali.

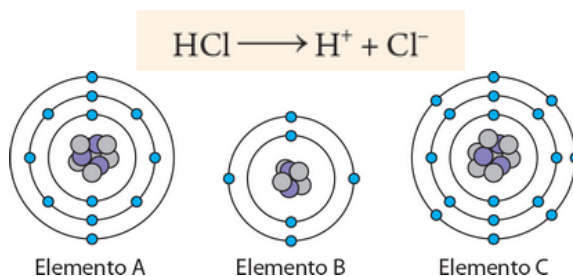
AUTOVERIFICHE

1. Di quale dei seguenti elementi sono state scambiate le proprietà o le funzioni? (a) Il carbonio — forma lo scheletro dei composti organici; (b) l'azoto — è un componente delle proteine; (c) l'idrogeno — è molto elettronegativo; (d) l'ossigeno — può partecipare al legame a idrogeno; (e) tutte le risposte sono corrette.
2. $^{32}_{15}P$, una delle forme radioattive del fosforo, possiede: (a) numero atomico 32; (b) massa atomica 15; (c) massa atomica 47; (d) 32 elettroni; (e) 17 neutroni.
3. Quale delle seguenti affermazioni permette di determinare che l'atomo A e l'atomo B sono isotopi dello stesso elemento? (a) Hanno entrambi 6 protoni; (b) entrambi hanno 4 neutroni; (c) in entrambi la somma degli elettroni e dei neutroni è pari a 14; (d) entrambi hanno 4 elettroni di valenza; (e) entrambi hanno massa atomica 14.
4. 1_1H and 3_1H hanno: (a) proprietà chimiche diverse poiché hanno numeri atomici diversi; (b) le stesse proprietà chimiche poiché hanno lo stesso numero di elettroni di valenza; (c) proprietà chimiche diverse poiché differiscono nel numero di protoni ed elettroni; (d) le stesse proprietà chimiche poiché hanno la stessa massa atomica; (e) le stesse proprietà chimiche poiché hanno lo stesso numero di protoni, elettroni e neutroni.
5. Gli orbitali che comprendono il guscio elettronico di valenza di un atomo: (a) sono organizzati in sfere concentriche; (b) contengono gli elettroni con minore energia; (c) possono cambiare forma in seguito alla formazione di legami covalenti; (d) non contengono mai più di 1 elettrone ciascuno; (e) più di una delle risposte precedenti è corretta.
6. Quale dei seguenti legami è ben correlato con le proprietà descritte? (a) Legami ionici — forti solamente se gli ioni che vi partecipano sono idratati; (b) legami a idrogeno — legano l'ossigeno e l'idrogeno per formare una singola molecola di acqua; (c) legami covalenti polari — possono instaurarsi tra due atomi dello stesso elemento; (d) legami covalenti — possono essere singoli, doppi o tripli; (e) legami a idrogeno — sono più forti dei legami covalenti.
7. In una reazione redox: (a) l'energia è trasferita dall'agente riducente a quello ossidante; (b) un agente riducente si ossida quando accetta un elettrone; (c) un agente ossidante accetta un protone; (d) un agente riducente cede un protone; (e) gli elettroni di un atomo vanno dal guscio di valenza ad un guscio più vicino al nucleo.
8. L'acqua ha un elevato calore specifico in quanto: (a) per aumentare la sua temperatura devono essere rotti i legami a idrogeno; (b) per aumentare la sua temperatura devono essere formati i legami a idrogeno; (c) è un cattivo isolante; (d) ha una bassa densità considerando le dimensioni della molecola; (e) è capace di ionizzarsi.
9. Una soluzione a pH 7 è considerata neutra perché: (a) la concentrazione di ioni idrogeno è 0 mol/L; (b) la concentrazione di ioni idrossido è 0 mol/L; (c) il prodotto delle concentrazioni di ioni idrogeno e ioni idrossido è 0 mol/L; (d) la concentrazione di ioni idrogeno è uguale alla concentrazione di ioni idrossido; (e) è apolare.
10. Una soluzione a pH 2 ha una concentrazione di ioni idrogeno che è _____ la concentrazione di ioni idrogeno di una soluzione a pH 4. (a) 1/2 (b) 1/100 (c) 2 volte (d) 10 volte (e) 100 volte.
11. Quali di queste sostanze non possono funzionare come tamponi? (a) L'acido fosforico, un acido debole (b) l'idrossido di sodio, una base forte (c) il cloruro di sodio, un sale che si ionizza completamente (d) a e c (e) b e c.
12. Quale delle seguenti affermazioni è vera? (a) Il numero delle singole particelle (atomi, ioni o molecole) contenute in una mole varia in funzione della sostanza; (b) il numero di Avogadro

definisce il numero di particelle contenute in una mole di sostanza; (c) il numero di Avogadro è di 10²³ particelle; (d) una mole di 12 C ha una massa di 12 g; (e) b e d.

PENSIERO CRITICO

1. L'elemento A ha due elettroni nel suo guscio di valenza (che è completo quando ne contiene 8). Vi aspettereste che l'elemento A condivida, ceda o accetti elettroni? Che cosa vi aspettereste dall'elemento B che ha 4 elettroni di valenza e dall'elemento C che ne ha 7?
2. Un legame a idrogeno che si forma tra due molecole di acqua ha solamente un ventesimo della forza di un legame covalente tra idrogeno ed ossigeno. Quali sarebbero le proprietà fisiche dell'acqua se tali legami a idrogeno fossero più forti (ad esempio, 1/10 della forza di un legame covalente)?
3. Considerate la seguente reazione in acqua:
4. Date un nome sia ai reagenti che ai prodotti. Questa espressione ci dice che la reazione è reversibile? HCl potrebbe essere utilizzato come tampone?
5. CONNESSIONE EVOLUTIVA . La U.S. National Aeronautics and Space Administration (NASA) e la European Space Agency (ESA) hanno proposto iniziative mirate a trovare prove della presenza di vita (biosegni o biomarker) nelle atmosfere di pianeti lontani. Se saranno attuati, sia il progetto Terrestrial Planet Finder (NASA) sia il progetto Darwin (ESA) si avvarranno dell'uso di telescopi spaziali speciali per rilevare la presenza di vapor acqueo, ossigeno ed anidride carbonica nell'atmosfera. Perché l'acqua è considerata l'indicatore più importante del fatto che la vita possa essersi evoluta su questi pianeti? Quale di questi bioindicatori potrebbe essere considerato il più importante del fatto che la vita possa essersi evoluta su questi pianeti?



Articolo III. La chimica della vita: composti organici 3

Le forme organiche e inorganiche del carbonio presenti in natura sono molto numerose. Molti tipi di composti organici saranno immagazzinati nel corpo del bambino nella foto durante la sua crescita. I composti organici sono quei composti in cui gli atomi di carbonio sono uniti tra loro da legami covalenti a formare lo scheletro delle molecole. Alcuni semplici composti del carbonio sono considerati inorganici se il carbonio non è legato ad altri atomi di carbonio o ad atomi di idrogeno. Il diossido di carbonio, che emettiamo come prodotto di rifiuto derivante dalla demolizione delle molecole organiche in un processo da cui viene ricavata energia, è un esempio di carbonio inorganico. I composti organici sono così chiamati perché un tempo si pensava che potessero essere prodotti solo dagli organismi viventi. Nel 1828, il chimico tedesco Friedrich Wöhler sintetizzò l'urea, un prodotto metabolico di escrezione. Da quel momento, gli scienziati hanno scoperto come sintetizzare molte molecole organiche e hanno scoperto composti organici che non si ritrovano in alcun tipo di organismo.

I composti organici sono straordinariamente diversi; infatti, ne sono stati identificati più di 5 milioni. Ci sono molti motivi per cui le molecole organiche sono così diverse. I composti organici possono essere prodotti in una grande varietà di forme tridimensionali. Inoltre, l'atomo di carbonio può formare legami con un maggior numero di elementi diversi rispetto agli altri atomi. L'aggiunta di gruppi contenenti altri atomi, come ossigeno, azoto, fosforo e zolfo, può cambiare profondamente le proprietà di una molecola organica. Un'ulteriore diversità è data dal fatto che la maggioranza dei composti organici che si trova negli organismi è rappresentata da macromolecole di grandi dimensioni, costruite dalle cellule a partire da subunità modulari più semplici. Ad esempio, le proteine sono costituite da composti più piccoli detti aminoacidi.

In questo capitolo, ci soffermeremo sui principali gruppi di composti organici fondamentali per la vita degli organismi, come i carboidrati, i lipidi, le proteine e gli acidi nucleici (DNA e RNA). Perché questi composti sono di fondamentale importanza per tutti i sistemi viventi? La risposta a questa domanda diventerà sempre più ovvia nel corso dei successivi capitoli, nei quali descriviamo la prova che tutti gli esseri viventi si sono evoluti da un comune antenato. L'evoluzione offre un'efficace spiegazione per le similarità delle

molecole che costituiscono le strutture delle cellule e dei tessuti, partecipano e regolano le reazioni metaboliche, trasmettono informazioni e forniscono l'energia per i processi vitali.

3.1 GLI ATOMI DI CARBONIO E LE MOLECOLE ORGANICHE

OBIETTIVO DI APPRENDIMENTO

1. Descrivere le proprietà del carbonio che lo rendono il componente principale dei composti organici.
2. Definire il termine isomero e fare una distinzione tra i tre principali tipi di isomeri.
3. Identificare i principali gruppi funzionali presenti nei composti organici e descrivere le loro proprietà.
4. Spiegare che relazione c'è tra polimeri e macromolecole.

Il carbonio possiede proprietà particolari che gli permettono di formare grandi molecole complesse essenziali per la vita (Fig. 3-1). Poiché un atomo di carbonio ha 4 elettroni di valenza, esso può completare il suo guscio di valenza formando quattro le-gami covalenti (vedi Fig. 2-2). Ciascun legame può unirlo ad un altro atomo di carbonio o ad un atomo di un altro elemento. Il carbonio è particolarmente adatto a fare da scheletro per molecole di grandi dimensioni, in quanto i legami carbonio-carbonio sono forti e non vengono rotti facilmente; tuttavia, essi non sono così forti da non poter essere rotti dalle cellule. I legami carbonio-carbonio non sono solo legami singoli (basati sulla condivisione di una sola coppia di elettroni); infatti, 2 atomi dicarbonio possono condividere 2 coppie di elettroni formando doppi legami:

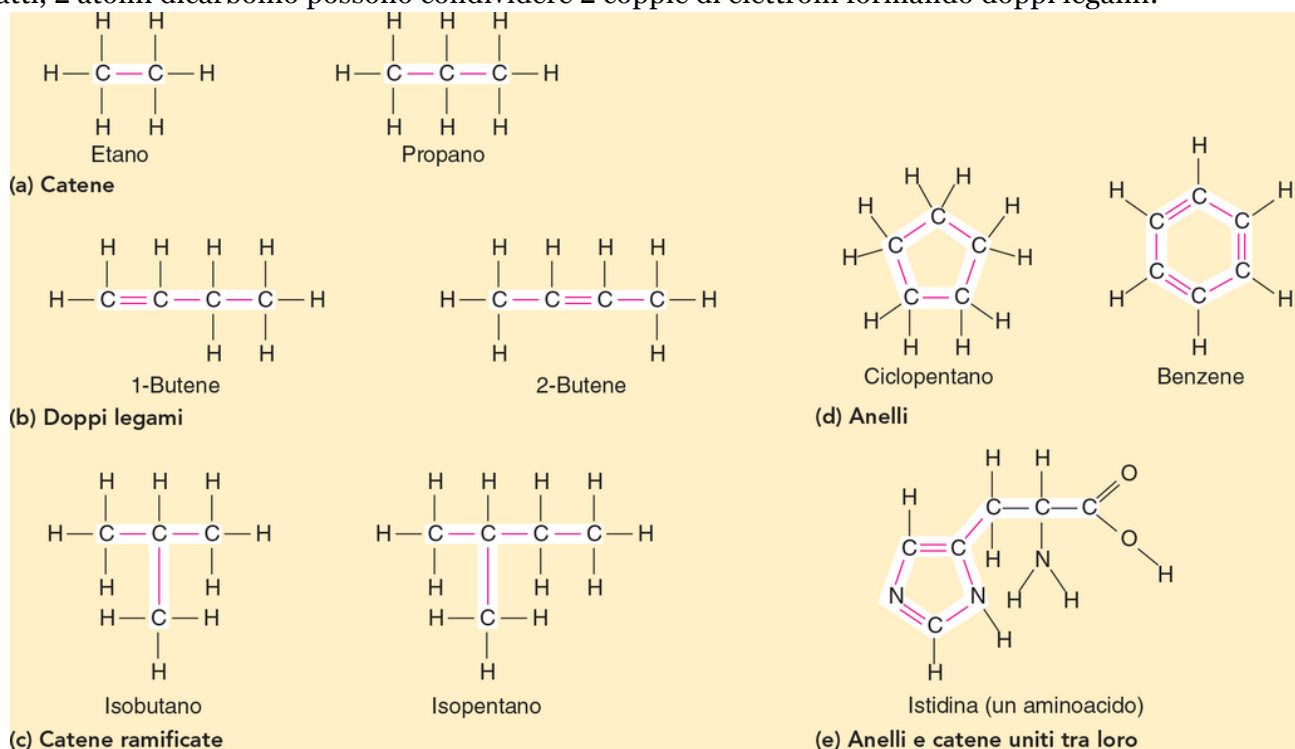
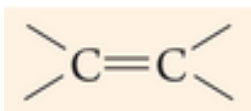


FIGURA 3-1 Molecole organiche

Notare che ciascun atomo di carbonio forma quattro legami covalenti, producendo un'ampia varietà di forme



In alcuni composti si formano anche tripli legami:



Come mostrato in Figura 3-1, gli idrocarburi, composti organici costituiti esclusivamente da carbonio ed idrogeno, possono formare catene ramificate e non, oppure anelli. In alcuni composti, catene ed anelli possono unirsi tra loro.

Le molecole che compongono la cellula possono essere assimilate ai componenti di una macchina. Ciascun componente ha una forma tale da permettergli di ricoprire determinati ruoli e di interagire con altri componenti che hanno una forma complementare. Analogamente, la forma di una molecola è importante nel determinarne le proprietà biologiche e le funzioni. Gli atomi di carbonio si possono legare tra loro e ad altri atomi per dare un gran numero di forme molecolari tridimensionali. Questo perché i quattro legami

covalenti del carbonio non sono complanari. Al contrario, come già detto nel Capitolo 2, gli orbitali degli elettroni di valenza si allungano proiettandosi dall'atomo di carbonio in direzione dei vertici di un tetraedro (Fig. 3-2). La struttura è altamente simmetrica, con un angolo di circa 109,5 gradi fra ogni coppia di questi legami. Per motivi di semplicità, molte delle figure di questo libro sono disegnate come rappresentazioni grafiche bidimensionali di molecole tridimensionali. Ad esempio, anche le semplici catene idrocarburiche come quelle della Figura 3-1 non sono lineari, ma hanno una struttura tridimensionale a zig zag.

Generalmente, c'è libertà di rotazione intorno a ciascun legame singolo C—C. Questa proprietà conferisce alle molecole organiche una certa flessibilità e permette loro di assumere forme diverse a seconda del grado di rotazione di ciascun legame. I legami doppi e tripli non permettono alcuna rotazione; di conseguenza, le regioni della molecola contenenti tali legami tendono a non essere flessibili.

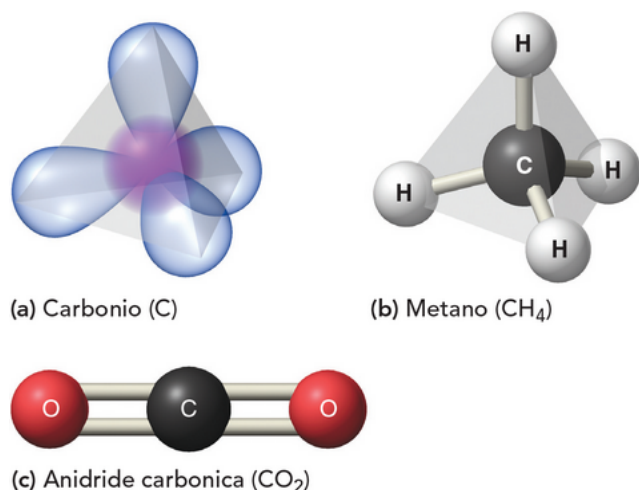


FIGURA 3-2 I legami del carbonio

(a) La disposizione tridimensionale dei legami dell'atomo di carbonio è responsabile (b) dell'architettura tetraedrica del metano. (c) Nell'anidride carbonica, gli atomi di ossigeno sono legati linearmente ad un atomo di carbonio centrale mediante doppi legami polari.

Gli isomeri hanno la stessa formula molecolare, ma differenti strutture

Una delle ragioni alla base del grande numero di composti contenenti carbonio che si possono formare risiede nel fatto che gli stessi componenti possono legarsi tra loro in modi diversi dando origine ad una grande varietà di forme molecolari. I composti che hanno la stessa formula molecolare ma strutture differenti e, di conseguenza,

proprietà differenti, sono chiamati isomeri. Gli isomeri non hanno proprietà fisico-chimiche uguali e possono avere nomi diversi. Le cellule sono in grado di distinguere tra isomeri diversi: generalmente, uno di essi è biologicamente attivo, mentre l'altro non lo è. Gli isomeri possono essere isomeri strutturali, isomeri geometrici ed enantiomeri.

Gli isomeri strutturali sono composti che differiscono per la disposizione covalente dei loro atomi. Ad esempio, la FIGURA 3-3a mostra due isomeri strutturali di formula molecolare C₂H₆O. I composti grandi hanno più isomeri di struttura possibili. Ci possono essere fino a 366.319 isomeri di C₂₀H₄₂.

Gli isomeri geometrici sono composti identici per quanto riguarda la disposizione dei loro legami covalenti, ma differenti per quanto riguarda il modo in cui sono disposti spazialmente i loro gruppi. Gli isomeri geometrici sono tipici di alcuni composti contenenti doppi legami carbonio-carbonio. Poiché i doppi legami non sono flessibili come quelli singoli, gli atomi legati ai carboni che costituiscono un doppio legame non sono in grado di ruotare liberamente intorno all'asse del legame. Tali isomeri cis-trans possono essere rappresentati come nella FIGURA 3-3b. Il termine cis (dal latino, "sullo stesso lato") indica che i due gruppi più grandi si trovano dallo stesso lato del doppio legame. Se essi si trovano invece su lati opposti del doppio legame, il composto è denominato isomero trans (dal latino, "su lati opposti").

Gli enantiomeri, o stereoisomeri, sono due molecole che sono l'immagine speculare l'una dell'altra (Fig. 3-3c). Ricordando che i quattro gruppi legati al singolo atomo di carbonio sono disposti ai vertici di un tetraedro, se i quattro gruppi legati sono tutti differenti tra loro, il carbonio centrale è definito asimmetrico. La Figura 3-3c mostra che i quattro gruppi possono disporsi intorno al carbonio asimmetrico in due modi diversi che sono l'immagine speculare l'uno dell'altro. Due molecole sono enantiomeri se non è possibile sovrapporle l'una sull'altra, qualsiasi sia la loro rotazione spaziale. Sebbene gli enantiomeri abbiano proprietà chimiche simili e proprietà fisiche identiche, le cellule sono in grado di distinguere tra i due isomeri, uno solo dei quali è di solito presente negli organismi.

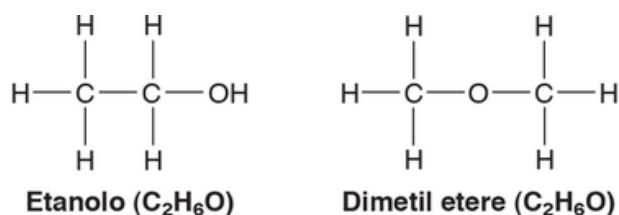
I gruppi funzionali modificano le proprietà delle molecole organiche

L'esistenza degli isomeri non è l'unica ragione alla base della varietà esistente tra le molecole organiche. L'aggiunta di varie combinazioni atomiche può dare origine ad un'ampia gamma di molecole con proprietà differenti.

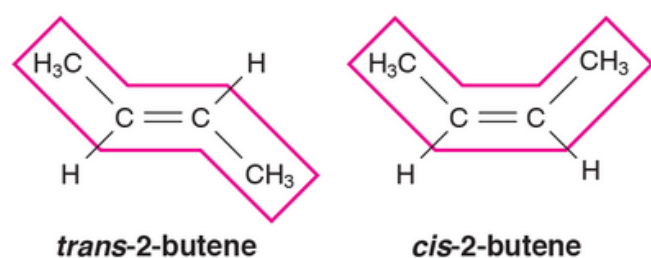
Poiché i legami covalenti tra idrogeno e carbonio sono apolari, gli idrocarburi non hanno regioni cariche. Per questo motivo, gli idrocarburi sono insolubili in acqua e tendono a raggrupparsi mediante interazioni idrofobiche. "Avversione per l'acqua", la traduzione letterale di idrofobico, è in qualche modo fuorviante. Gli idrocarburi possono interagire con l'acqua, ma in modo più debole di quanto non facciano le molecole d'acqua fra di loro attraverso i legami a idrogeno. Gli idrocarburi interagiscono debolmente anche fra di loro, però la principale ragione delle interazioni idrofobiche è che essi sono spinti ad interagire in quanto esclusi dalle molecole d'acqua unite dai legami a idrogeno.

Comunque, le caratteristiche di una molecola organica possono essere cambiate quando uno o più atomi di idrogeno legati allo scheletro carbonioso di un idrocarburo sono sostituiti da altri gruppi di atomi, detti gruppi funzionali. In questo modo, i gruppi funzionali aiutano a determinare a quali tipi di reazioni chimiche i composti possono partecipare. La maggior parte dei gruppi funzionali dà luogo ad interazioni con altre molecole, come legami ionici e legami a idrogeno. I gruppi funzionali polari e ionici sono idrofilici perché si associano saldamente con le molecole polari dell'acqua.

Le proprietà delle principali classi di composti organici importanti dal punto di vista biologico — carboidrati, lipidi, proteine e acidi nucleici — sono la conseguenza dei diversi gruppi funzionali che



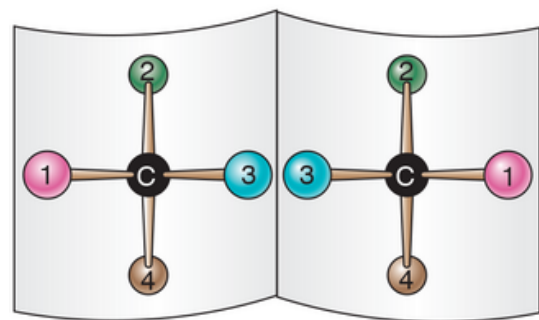
(a) **Isomeri strutturali.** Differiscono per l'arrangiamento covalente dei loro atomi.



(b) **Isomeri geometrici o cis-trans.** Hanno legami covalenti identici, ma differiscono nell'ordine in cui i gruppi sono arrangiati nello spazio.



Cengage



(c) **Enantiomeri.** Molecole che sono l'immagine speculare l'una dell'altra. Il carbonio centrale è asimmetrico in quanto legato a quattro gruppi diversi. A causa della loro struttura tridimensionale, le due figure non possono essere sovrapposte, qualsiasi sia la loro rotazione.

contengono. Conoscendo quali tipi di gruppi funzionali sono presenti in un composto organico, se ne può prevedere il comportamento chimico. È da notare che il simbolo R viene usato per rappresentare la restante parte (residuo) della molecola a cui appartiene il gruppo funzionale. Ad esempio, il gruppo metilico, un comune gruppo idrocarburico apolare, viene abbreviato con R —CH₃. Proseguendo nella lettura di questo paragrafo, fate riferimento alla TABELLA 3-1 per le formule di struttura complete di altri importanti gruppi funzionali e per informazioni aggiuntive.

Il gruppo ossidrilico (che può essere abbreviato con R —OH), che non va confuso con lo ione idrossido (OH⁻) del quale abbiamo parlato nel Capitolo 2, è polare a causa della presenza di un atomo di ossigeno fortemente elettronegativo. Se un gruppo ossidrilico sostituisce uno degli idrogeni di un idrocarburo, si ottiene una molecola con proprietà molto diverse da quelle originali. Ad esempio, l'etano (Fig. 3-1a) è un idrocarburo che a temperatura ambiente si trova allo stato gassoso. Sostituendo un idrogeno con un gruppo ossidrilico, la molecola che ne risulta è l'alcol etilico, o etanolo, che si trova nelle bevande alcoliche (Fig. 3-3a). L'etanolo è coesivo in quanto i gruppi ossidrilici polari di molecole adiacenti interagiscono tra loro; pertanto, a temperatura ambiente l'etanolo è un liquido.

Diversamente dall'etano, l'alcol etilico è solubile in acqua perché i gruppi ossidrilici polari interagiscono con le molecole di acqua, anch'esse polari.

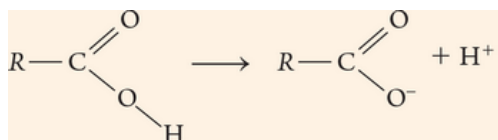
Il gruppo carbonilico è costituito da un atomo di carbonio che lega con un doppio legame covalente un atomo di ossigeno. Questo doppio legame è polare a causa dell'elettronegatività dell'ossigeno; pertanto, il gruppo è idrofilico. La posizione del gruppo carbonilico all'interno di una molecola determina la classe alla quale questa molecola appartiene. Un'aldeide (R —CHO) ha un gruppo carbonilico posizionato alla fine dello scheletro carbonioso; un chetone (R —CO— R) ha un gruppo carbonilico interno.

← FIGURA 3-3 Isomeri

Gli isomeri hanno la stessa formula molecolare, ma gli atomi sono disposti in maniera differente.

Il gruppo carbossilico in forma non ionizzata (R —COOH) è costituito da un atomo di carbonio legato mediante un doppio legame covalente ad un atomo di ossigeno e da un legame covalente singolo ad un altro atomo di ossigeno, che a sua volta lega un atomo di idrogeno. Due atomi di ossigeno elettronegativi così vicini stabiliscono una condizione estremamente polarizzata che può far sì che l'atomo di idrogeno possa

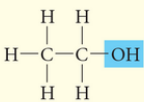
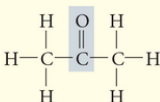
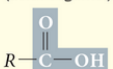
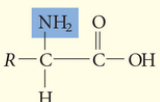
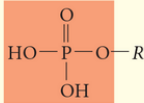
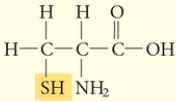
perdere il suo elettrone ed essere rilasciato come ione idrogeno (H^+); il gruppo carbossilico ionizzato, pertanto, ha una carica negativa unitaria ($R-COO^-$):

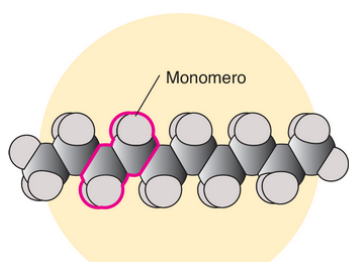


I gruppi carbossilici sono debolmente acidi, in quanto solamente una parte delle molecole si ionizza in questo modo. Tale gruppo può quindi esistere in uno dei due stati idrofilici: ionico o polare. I gruppi carbossilici sono costituenti essenziali degli aminoacidi.

TABELLA 3-1 →
Alcuni gruppi
funzionali
biologicamente
importanti

Un gruppo amminico ($R-NH_2$) in forma non ionizzata è costituito da un atomo di azoto legato covalentemente a due atomi di idrogeno. I gruppi amminici sono debolmente basici; possono accettare uno ione idrogeno (protone), acquistando così una carica positiva unitaria. I gruppi amminici sono componenti degli aminoacidi e degli acidi nucleici. Il gruppo fosfato ($R-PO_4H_2$) è debolmente acido. L'attrazione degli elettroni da parte degli atomi di ossigeno può determinare il rilascio di uno o due ioni idrogeno, producendo le forme ionizzate con una o due unità di carica negativa. I gruppi fosfato sono costituenti degli acidi nucleici e di alcuni lipidi.

Gruppo funzionale e descrizione	Formula di struttura		Classe di componenti caratterizzati dal gruppo
Ossidrilico Polare perché l'ossigeno elettronegativo attrae gli elettroni del legame covalente	$R-OH$		Alcoli  Esempio, etanolo
Carbonilico Aldeidi: Il carbonio del gruppo carbonilico è legato con almeno un atomo di H; polare perché l'ossigeno elettronegativo attrae gli elettroni del legame covalente	$R-C(=O)H$		Aldeidi  Esempio, formaldeide
Chetoni: Il carbonio del gruppo carbonilico è legato ad altri due atomi di carbonio; polare perché l'ossigeno elettronegativo attrae gli elettroni del legame covalente	$R-C(=O)R$		Chetoni  Esempio, acetone
Carbossilico Debolmente acido; può rilasciare uno ione H^+	$R-C(=O)OH$ Non ionizzato	$R-C(=O)O^- + H^+$ Ionizzato	Acidi carbossilici (acidi organici)  Esempio, aminoacido
Amminico Debolmente basico; può accettare uno ione H^+	$R-NH_2$ Non ionizzato	$R-NH_3^+$ Ionizzato	Ammine  Esempio, aminoacido
Fosfato Debolmente acido; possono essere rilasciati uno o due ioni H^+	$R-O-P(=O)(OH)_2$ Non ionizzato	$R-O-P(=O)(O^-)_2$ Ionizzato	Fosfati organici  Esempio, estere fosfato (come nell'ATP)
Sulfidrilico Aiuta a stabilizzare la struttura interna delle proteine	$R-SH$		Tioli  Esempio, cisteina



← **FIGURA 3-4** *Un semplice polimero*

Questo piccolo polimero di polietilene è formato dal legame tra monomeri di etilene a due atomi di carbonio (C_2H_4). Il monomero è evidenziato in rosso. La struttura è rappresentata come modello a spazio pieno, che definisce accuratamente la reale struttura tridimensionale della molecola.

Il gruppo sulfidrilico ($R-SH$) è costituito da un atomo di zolfo legato covalentemente ad un atomo di idrogeno e lo si ritrova in molecole dette tioli.

Come si vedrà più avanti, gli aminoacidi che contengono un gruppo sulfidrilico possono dare notevoli contributi alla struttura delle proteine.

Molte molecole biologiche sono polimeri

Molte molecole biologiche, come le proteine e gli acidi nucleici, hanno dimensioni notevoli essendo costituite da migliaia di atomi. Tali molecole sono note come macromolecole e molte di queste sono polimeri formati dall'unione di composti organici più piccoli detti monomeri (Fig. 3-4). Così come tutte le parole di questo libro sono state scritte combinando le 21 lettere dell'alfabeto, i monomeri possono essere raggruppati per dare origine ad una gamma infinita di molecole più grandi. Le migliaia di differenti composti organici complessi presenti negli esseri viventi sono costruite a partire da 40 piccoli e semplici monomeri. Ad esempio, i venti aminoacidi comuni sono monomeri che possono legarsi tra loro per formare polimeri noti come proteine.

I polimeri possono essere degradati nei monomeri che li compongono mediante reazioni di idrolisi ("rompere con l'acqua"). In una reazione regolata da uno specifico enzima (catalizzatore biologico), un idrogeno dell'acqua si attacca ad un monomero ed il gruppo ossidrilico dell'acqua si attacca al monomero adiacente (Fig. 3-5).

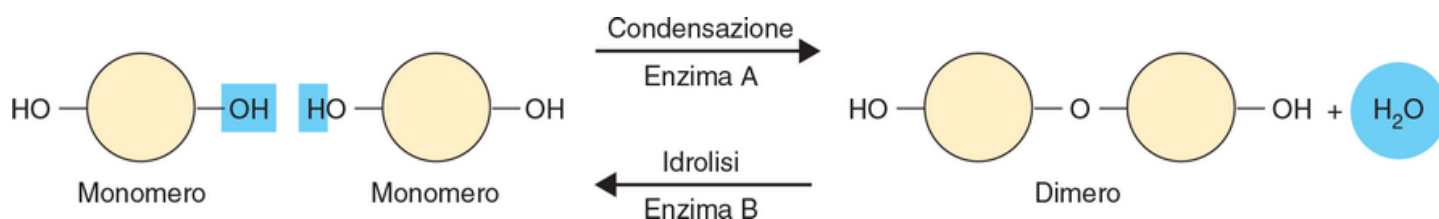


FIGURA 3-5 Reazioni di condensazione e di idrolisi

L'unione di due monomeri produce un dimero; l'incorporazione di ulteriori monomeri forma un polimero. Notare che le reazioni di condensazione e di idrolisi sono catalizzate da enzimi diversi.

Il processo di sintesi mediante il quale i monomeri vengono legati covalentemente è detto condensazione . Poiché durante le reazioni in cui i monomeri si uniscono viene eliminata una molecola di acqua, si usa spesso il termine sintesi per disidratazione per indicare questo processo (Fig. 3-5). Tuttavia, nei sistemi biologici la sintesi di un polimero non è semplicemente l'opposto della scissione. I processi sintetici richiedono energia e sono regolati da enzimi diversi.

Nei paragrafi successivi, verranno esaminati i carboidrati, i lipidi, le proteine e gli acidi nucleici. Si inizierà con le forme più piccole e semplici di questi composti e si passerà poi ai legami di questi monomeri che danno origine alle macromolecole.

Verifica

- In che modo le caratteristiche dei legami carbonio-carbonio influenzano la stabilità e la struttura tridimensionale delle molecole organiche?
- Disegnate delle coppie di semplici schizzi per paragonare (1) isomeri strutturali, (2) isomeri geometrici e (3) enantiomeri. Perché tali differenze sono importanti dal punto di vista biologico?
- Disegnate i seguenti gruppi funzionali: metilico, amminico, carbonilico, ossidrilico, carbossilico e fosfato. Per i gruppi acidi e basici, illustrare sia la forma ionizzata che quella non ionizzata.
- In che modo le caratteristiche di apolarità, polarità, acidità o basicità di un gruppo funzionale sono correlate alle sue proprietà di idrofilicità o idrofobicità?
- Perché l'equivalente di una molecola di acqua è importante sia nelle reazioni di condensazione che in quelle di idrolisi?

3.2 CARBOIDRATI

OBIETTIVO DI APPRENDIMENTO

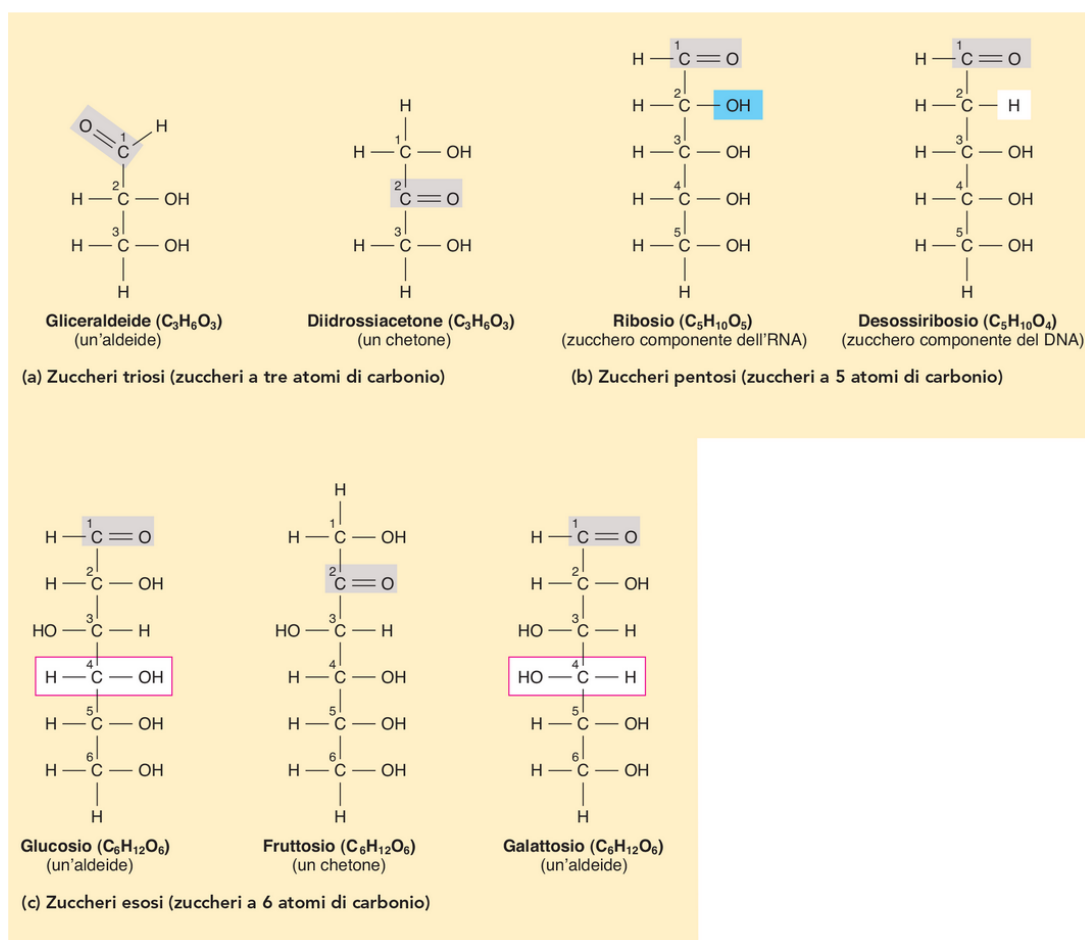
5. Distinguere i monosaccaridi, i disaccaridi e i polisaccaridi; paragonare i polisaccaridi di riserva con quelli strutturali.

Gli zuccheri, gli amidi e la cellulosa sono carboidrati . Gli zuccheri e gli amidi fungono da riserva di energia per le cellule; la cellulosa è il componente principale delle pareti delle cellule vegetali. I carboidrati contengono C, H ed O, in un rapporto di circa un atomo di carbonio per due di idrogeno e uno di ossigeno (CH₂O)_n . Lo stesso termine carboidrato, che significa "idrato del carbonio" riflette il rapporto 2:1 tra idrogeno e ossigeno, lo stesso rapporto che si ha nell'acqua (H₂O) . I carboidrati possono contenere una

sola unità di zucchero (monosaccaridi), due unità di zuccheri (disaccaridi) o molte unità di zuccheri (polisaccaridi).

I monosaccaridi sono zuccheri semplici

I monosaccaridi contengono generalmente da tre a sette atomi di carbonio. In un monosaccaride, a ciascun carbonio è legato un gruppo ossidrilico, tranne ad uno, il quale a sua volta è legato, mediante un doppio legame, ad un atomo di ossigeno per formare un gruppo carbonilico. Se il gruppo carbonilico è in posizione terminale, il monosaccaride è una aldeide; se invece è in un'altra posizione nella catena, il monosaccaride è un chetone. (Per convenzione, la numerazione dello scheletro carbonioso di uno zucchero inizia dal carbonio più vicino all'estremità carbonilica della catena aperta). Il gran numero di gruppi ossidrilici polari, insieme con il gruppo carbonilico, conferisce al monosaccaride proprietà idrofiliche. La FIGURA 3-6 mostra rappresentazioni bidimensionali semplificate di alcuni comuni monosaccaridi. I più semplici sono i due triosi, gliceraldeide e diidrossiacetone, con tre atomi di carbonio. Il ribosio e il desossiribosio sono pentosi, contengono cioè 5 atomi di carbonio, e sono i componenti degli acidi nucleici (DNA, RNA e composti correlati). Il glucosio, il fruttosio, il galattosio ed altri zuccheri contenenti 6 atomi di carbonio sono detti esosi. (Si noti che il nome dei carboidrati di solito ha come desinenza -osio).



←FIGURA 3-6

Monosaccaridi

Struttura bidimensionale a catena di (a) triosi a tre atomi di carbonio, (b) pentosi a cinque atomi di carbonio e (c) esosi a sei atomi di carbonio. Anche se è conveniente rappresentare i monosaccaridi in questa forma, è più corretto rappresentare i pentosi e gli esosi nella forma ad anello (vedi Figura 3-7). Il gruppo carbonilico (in grigio) è terminale negli zuccheri aldeidici e interno in quelli chetonici. Il desossiribosio differisce dal ribosio per l'assenza di un ossigeno: un idrogeno (in bianco), al posto di un gruppo ossidrilico (in blu), è legato al carbonio 2. Il glucosio e il galattosio sono enantiomeri che differiscono per la disposizione del gruppo ossidrilico e dell'idrogeno legati al carbonio 4 (in rosso).

Il glucosio ($C_6H_{12}O_6$), il monosaccaride più abbondante, è utilizzato come fonte di energia dalla maggior parte degli organismi. Durante la respirazione cellulare (vedi Capitolo 8), le cellule ossidano le molecole di glucosio, rilasciando l'energia immagazzinata, che può così essere usata per il lavoro cellulare. Il glucosio viene usato anche per la sintesi di altri composti, come gli aminoacidi e gli acidi grassi. Il glucosio è così importante nel metabolismo che la sua concentrazione viene mantenuta relativamente costante nel sangue dell'uomo e degli animali superiori (vedi Capitolo 49).

Il glucosio e il fruttosio sono isomeri strutturali, hanno cioè formule molecolari identiche ma una diversa disposizione degli atomi. Nel fruttosio, che è un chetone, il doppio legame ossigenocarbonio si trova all'interno della catena invece che nella parte terminale della catena, come avviene nel glucosio (che è un'aldeide). A causa di tali differenze, i due zuccheri hanno proprietà differenti. Ad esempio, il fruttosio, presente nel miele ed in alcuni frutti, è più dolce del glucosio.

Il glucosio e il galattosio differiscono tra loro per un altro motivo: entrambi sono esosi ed aldeidi, ma i loro atomi legati al carbonio asimmetrico 4 sono disposti in modo diverso; essi sono immagini speculari l'uno dell'altro (enantiomeri).

Le formule “lineari” riportate in Figura 3-6 danno un’idea chiara ma non realistica della struttura di alcuni monosaccaridi comuni. Come è già stato detto, le molecole non sono semplici strutture bidimensionali e le proprietà di ciascun composto dipendono in parte dalla sua struttura tridimensionale. Di conseguenza, le formule tridimensionali aiutano a comprendere le relazioni esistenti tra struttura molecolare e funzioni biologiche.

In soluzione, le molecole di glucosio e di altri pentosi ed esosi non sono catene lineari di atomi di carbonio, ma piuttosto anelli.

Il glucosio in soluzione (come nella cellula) esiste come anello a 5 atomi di carbonio e 1 di ossigeno. Tale configurazione è assunta quando i suoi atomi vanno incontro ad un riarrangiamento e si instaura un legame covalente tra il carbonio in posizione 1 e l’ossigeno legato al carbonio in posizione 5 (Fig. 3-7). Quando il glucosio forma un anello, esistono due possibili isomeri che differiscono solo per l’orientamento del gruppo ossidrilico (—OH) legato al carbonio 1. Se il gruppo ossidrilico è dalla stessa parte del piano dell’anello rispetto al gruppo laterale —CH₂OH, il glucosio viene chiamato α -glucosio.

FIGURA 3-7 Forme α e β del glucosio

Quando invece i due gruppi si trovano su lati opposti del piano dell’anello, il composto è detto β -glucosio. Sebbene le differenze tra questi isomeri possano apparire irrilevanti, esse hanno importanti conseguenze nel momento in cui gli anelli si uniscono a formare polimeri.

I disaccaridi sono costituiti da due unità monosaccaridiche

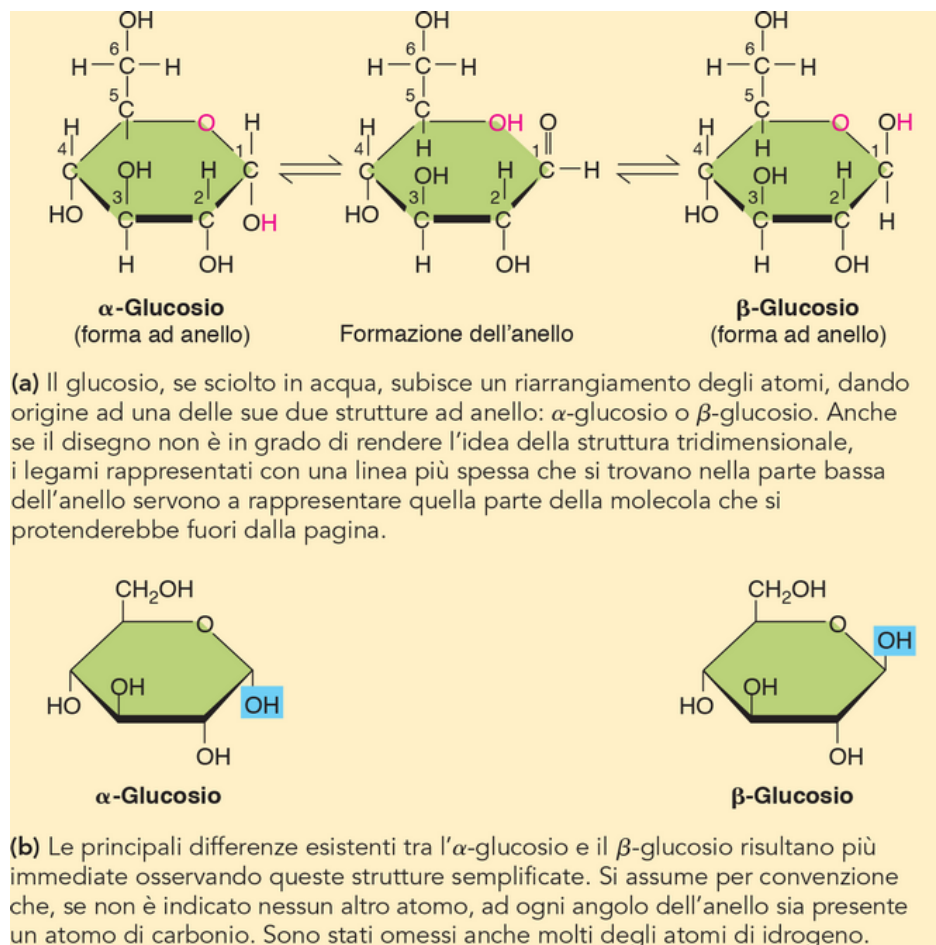
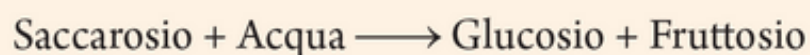
Un disaccaride (due zuccheri) è costituito da due monosaccaridi ad anello legati l’uno all’altro mediante un legame glicosidico, che consiste di un ossigeno centrale legato covalentemente a due atomi di carbonio, uno per anello (Fig. 3-8).

Il legame glicosidico di un disaccaride generalmente si forma tra il carbonio 1 di una molecola e il carbonio 4 della molecola adiacente. Il disaccaride maltosio (lo zucchero del malto) è costituito da due unità di α -glucosio unite covalentemente. Il saccarosio, il comune zucchero da tavola, è costituito da una unità di glucosio ed una di fruttosio. Il lattosio (lo zucchero del latte) è composto da una molecola di glucosio ed una di galattosio.

Come mostrato in Figura 3-8 , un disaccaride può essere idrolizzato, cioè rotto in due unità monosaccaridiche, per aggiunta di una molecola di acqua (Fig. 3-8). Durante la digestione, il maltosio viene idrolizzato con formazione di due molecole di glucosio:

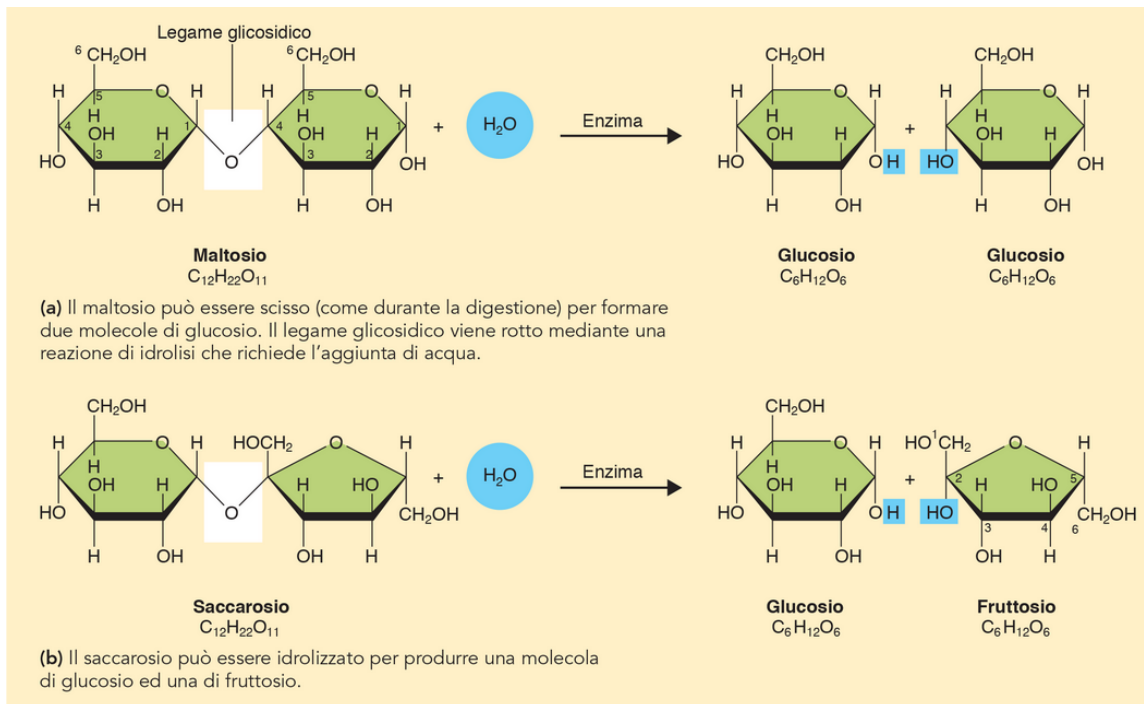


Analogamente, il saccarosio viene idrolizzato per formare glucosio e fruttosio:



I polisaccaridi possono immagazzinare energia o avere funzioni strutturali

I carboidrati più abbondanti in natura sono i polisaccaridi, gruppo cui appartengono gli amidi, il glicogeno e la cellulosa. Un polisaccaride è una macromolecola costituita da unità ripetute di uno zucchero semplice, generalmente il glucosio. Sebbene il numero di unità saccaridiche possa variare, di solito una singola molecola è costituita da migliaia di unità. Il polisaccaride può essere costituito da una lunga catena lineare o ramificata.



←FIGURA 3-8
Idrolisi dei disaccaridi
Notare che è necessario un enzima affinché queste reazioni possano avvenire.

I polisaccaridi hanno proprietà molto diverse tra loro, sia perché sono costituiti da differenti isomeri sia perché le unità sono organizzate in maniera diversa. Quelli che possono essere facilmente scissi nelle loro

subunità sono i più adatti ad immagazzinare energia, mentre l'architettura tridimensionale macromolecolare degli altri li rende particolarmente adatti a formare strutture stabili.

L'amido, tipico carboidrato di riserva dei vegetali, è un polimero costituito da subunità di α -glucosio. I monomeri sono uniti da legami α 1-4, il che significa che il carbonio 1 di un glucosio è legato al carbonio 4 del glucosio adiacente (Fig. 3-9). L'amido si può presentare sotto due forme: l'amilosio e l'amilopectina. L'amilosio, la forma più semplice, non è ramificato, mentre l'amilopectina, la forma più comune, è costituita da circa mille unità che formano una catena ramificata. Le cellule vegetali accumulano l'amido sotto forma di granuli entro organuli specializzati chiamati amiloplasti (Fig. 3-9a); alcune cellule, come quelle delle patate, sono particolarmente ricche di amiloplasti.

Quando serve energia per svolgere lavoro cellulare, la pianta può idrolizzare l'amido rilasciando subunità di glucosio. Tutti gli organismi, inclusi l'uomo ed altri animali, posseggono enzimi in grado di rompere i legami α 1-4.

Il glicogeno (qualche volta definito amido animale) è la forma in cui le subunità di glucosio, unite da legami α 1-4, sono immagazzinate come fonte di energia nei tessuti animali. Il glicogeno è strutturalmente simile all'amido vegetale, ma è più ramificato e più idrosolubile. Nei vertebrati, il glicogeno si accumula soprattutto nel fegato e nelle cellule muscolari.

I carboidrati sono i composti organici più abbondanti sulla Terra e la cellulosa è il più abbondante tra i carboidrati, rappresentando più del 50% del carbonio vegetale (Fig. 3-10). La cellulosa è un carboidrato strutturale. Il legno è costituito per il 50% da cellulosa e il cotone per il 90%. Le cellule vegetali sono circondate da una spessa parete cellulare costituita prevalentemente da cellulosa.

La cellulosa è un polisaccaride insolubile costituito da molte molecole di glucosio legate tra loro. I legami presenti sono diversi da quelli visti nell'amido. Se nell'amido le subunità di α -glucosio sono tenute insieme da legami α 1-4 glicosidici, nella cellulosa il monomero è il β -glucosio e i legami sono β 1-4 glicosidici.

Questi legami non possono essere rotti dagli enzimi in grado di idrolizzare i legami α dell'amido.

L'uomo, come molti altri organismi, non possiede gli enzimi in grado di digerire la cellulosa, la quale non può quindi essere utilizzata come nutrimento. Tuttavia, la cellulosa è un importante componente delle fibre presenti nella dieta ed aiuta l'intestino a funzionare adeguatamente.

Alcuni microrganismi possono digerire la cellulosa trasformandola in glucosio. Nell'apparato digerente di ovini e bovini, vivono batteri in grado di digerire la cellulosa, permettendo a questi erbivori di trarne nutrimento. Allo stesso modo, l'apparato digerente delle termiti contiene organismi unicellulari in grado di digerire la cellulosa (vedi Fig. 26-4b).

Le molecole di cellulosa hanno caratteristiche tali da renderle adatte ad un ruolo strutturale. Le subunità di β -glucosio sono unite in modo tale da permettere la formazione di molti legami a idrogeno tra diverse molecole di cellulosa; pertanto, queste si aggregano in lunghi fasci di fibre, come mostrato in Figura 3-10a.

Alcuni carboidrati complessi modificati svolgono ruoli particolari

Molti derivati dei monosaccaridi sono molecole importanti dal punto di vista biologico. Alcuni formano importanti componenti strutturali. Gli amminozuccheri, come la glucosammina e la galattosammina, sono composti nei quali un gruppo ossidrilico ($-\text{OH}$) è stato sostituito da un gruppo amminico ($-\text{NH}_2$). La galattosammina è presente nella cartilagine, che è un costituente del sistema scheletrico dei vertebrati.

Subunità di N-acetilgluco-sammina (NAG), unite mediante legami glicosidici, compongono la chitina, il principale elemento dell'esoscheletro degli insetti, dei crostacei e di altri artropodi (Fig. 3-11) e della parete cellulare dei funghi. La chitina forma strutture molto compatte in quanto, così come nella cellulosa, le sue molecole interagiscono attraverso legami a idrogeno multipli. Alcune strutture di chitina, come il rivestimento dell'aragosta, sono rese ulteriormente resistenti dall'aggiunta di carbonato di calcio (CaCO_3 , una forma inorganica del carbonio).

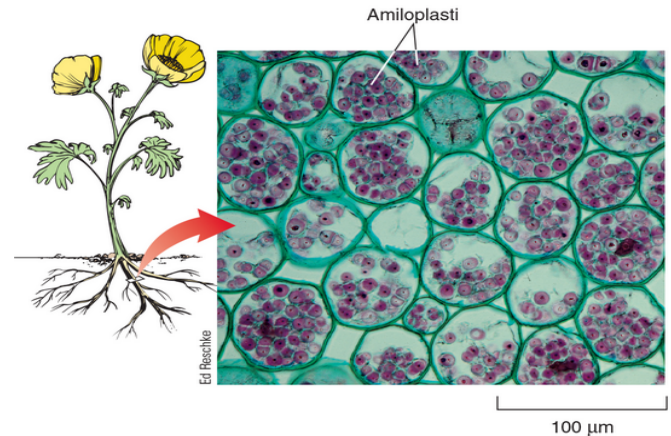
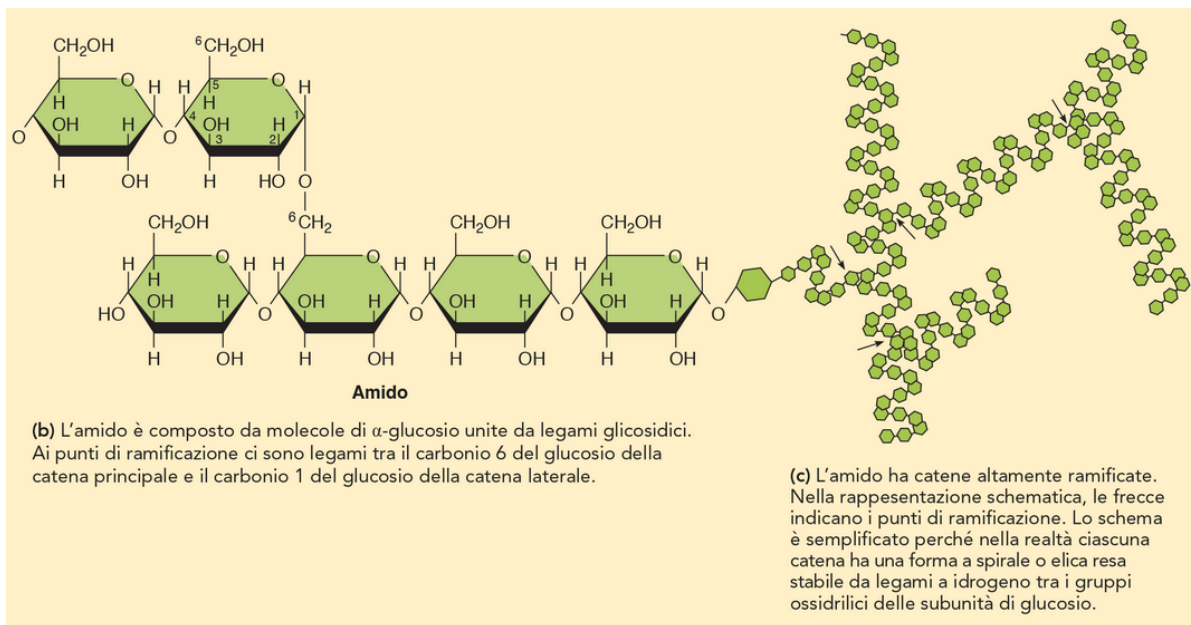


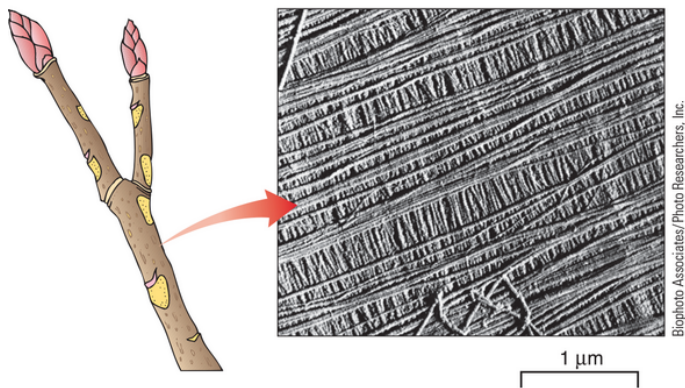
FIGURA 3-9 L'amido, un polisaccaride di riserva

(a) L'amido (in viola) è immagazzinato in organelli specializzati, detti amiloplasti, in queste cellule di una radice di ranuncolo.

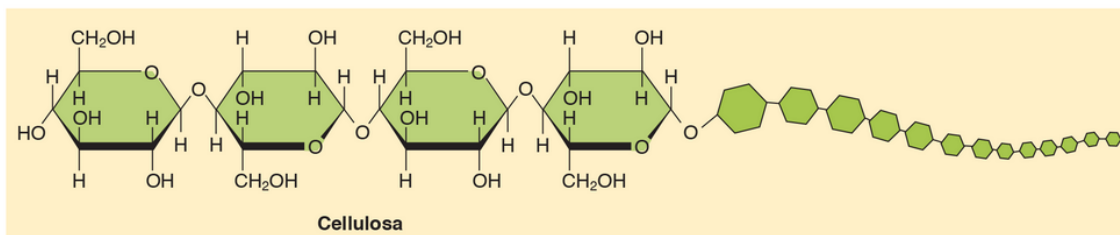


I carboidrati possono combinarsi con le proteine per formare le glicoproteine, presenti sulla superficie esterna di molte cellule non batteriche. Alcune di queste catene carboidratiche permettono alle cellule di aderire tra loro, mentre altre forniscono protezione. Molte delle proteine secrete dalle cellule sono glicoproteine. Queste includono i maggiori componenti del muco, un materiale protettivo complesso secreto dalle membrane mucose che tappezzano i sistemi respiratorio e digerente. I carboidrati possono combinarsi anche con i lipidi per formare glicolipidi, che sono presenti sulla superficie delle cellule animali e rivestono un ruolo importante nel riconoscimento e nell'interazione tra cellule.

FIGURA 3-10 La cellulosa, un polisaccaride strutturale

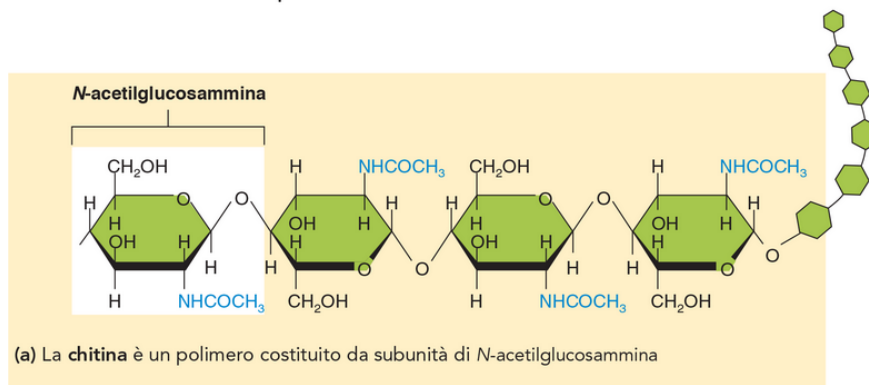


(a) Fotografia al microscopio elettronico di fibre di cellulosa della parete cellulare. Le fibre visibili nella fotografia sono costituite da fasci di molecole di cellulosa che interagiscono attraverso legami a idrogeno.

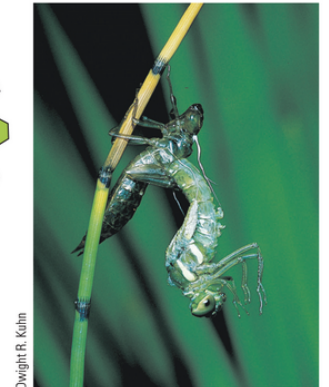


(b) La molecola della cellulosa è un polisaccaride non ramificato. Esso è costituito da circa 10.000 unità di β -glucosio unite da legami glicosidici.

FIGURA 3-11 La chitina, un polisaccaride strutturale



(a) La chitina è un polimero costituito da subunità di N-acetilglucosammina



Dwight R. Kuhn

(b) La chitina è un'importante componente dell'esoscheletro (copertura esterna) che questa libellula sta perdendo.

Verifica

- Quali sono le caratteristiche relative ai legami a idrogeno che conferiscono ai polisaccaridi di riserva, come l'amido e il glicogeno, proprietà completamente diverse da quelle dei polisaccaridi strutturali, come la cellulosa e la chitina?
- Perché l'uomo non è capace di digerire la cellulosa?

3.3 LIPIDI

OBIETTIVO DI APPRENDIMENTO

6. Distinguere i grassi, i fosfolipidi e gli steroidi, descrivendo la composizione, le caratteristiche e le funzioni biologiche di ciascun gruppo.

I lipidi costituiscono un gruppo eterogeneo di composti definiti non dalla loro struttura, come nel caso dei carboidrati, ma dal fatto che sono solubili nei solventi apolari (etere, cloroformio, ecc.) e relativamente insolubili in acqua. Le molecole lipidiche possiedono queste caratteristiche perché sono costituite essenzialmente da carbonio e idrogeno, con pochi gruppi funzionali contenenti ossigeno. Gli atomi di ossigeno sono tipici dei gruppi funzionali idrofilici; quindi i lipidi, essendo poveri di ossigeno, tendono ad essere idrofobici. Tra i lipidi più importanti dal punto di vista biologico ci sono i grassi, i fosfolipidi, gli steroidi, i carotenoidi (pigmenti vegetali arancioni e gialli) e le cere. Alcuni lipidi sono importanti carburanti biologici, altri fungono da componenti strutturali delle membrane cellulari ed altri ancora sono ormoni.

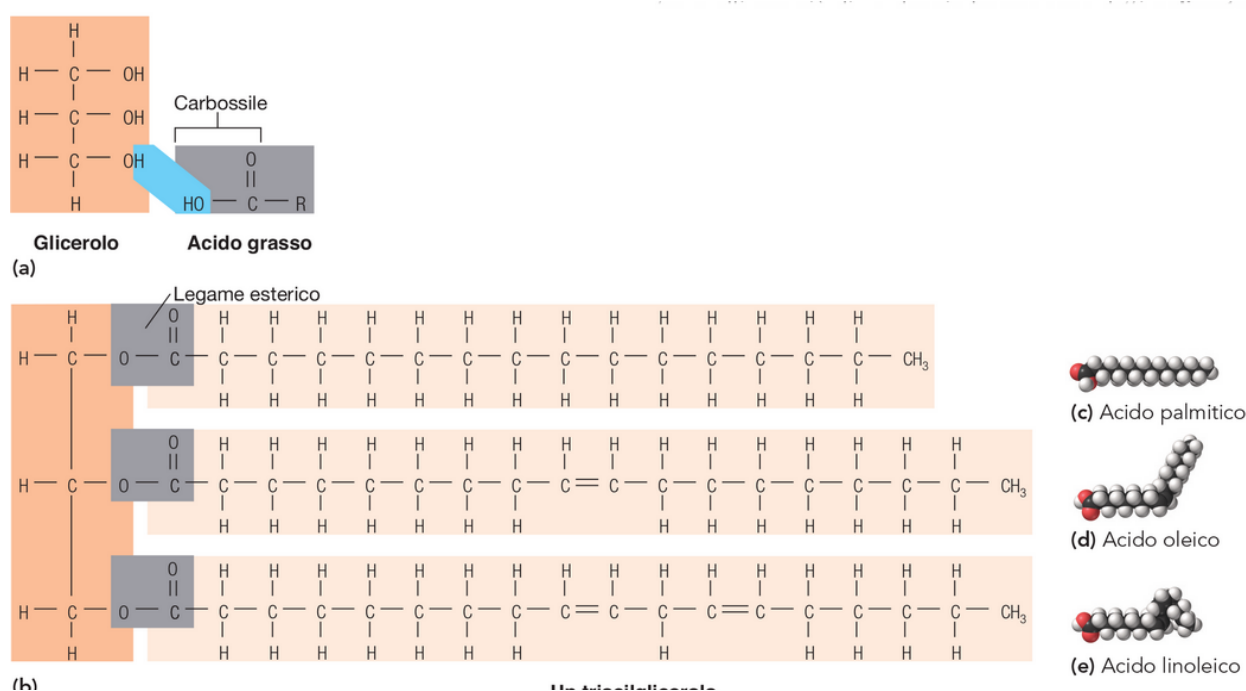
Il triacilglicerolo è costituito da glicerolo e da tre acidi grassi

I lipidi più abbondanti negli organismi viventi sono i triacilgliceroli (anche noti come trigliceridi). Questi composti, comunemente chiamati grassi, costituiscono una riserva di energia alquanto economica poiché, quando vengono metabolizzati, forniscono più del doppio dell'energia per grammo rispetto ai carboidrati. I carboidrati e le proteine possono essere trasformati enzimaticamente in grassi ed immagazzinati nelle cellule del tessuto adiposo e in alcuni semi e frutti delle piante.

Un triacilglicerolo è costituito da glicerolo unito a 3 acidi grassi (Fig. 3-12). Il glicerolo è un alcol a tre atomi di carbonio contenente 3 gruppi —OH . Un acido grasso è costituito da una non ramificata alla cui estremità si trova un gruppo carbossilico (—COOH). Una molecola di triacilglicerolo è formata mediante una serie di tre reazioni di condensazione: in ogni reazione, si forma una molecola d'acqua quando un gruppo ossidrilico del glicerolo reagisce con il gruppo carbossilico di un acido grasso, portando alla formazione di un legame covalente noto come legame esterico (Fig. 3-12b). La prima reazione produce un monoacilglicerolo (monogliceride), la seconda un diacilglicerolo (digliceride) e la terza un triacilglicerolo. Durante la digestione, i triacilgliceroli sono idrolizzati per produrre acidi grassi e glicerolo (vedi Capitolo 47). Il diacilglicerolo è una molecola importante utilizzata per inviare segnali all'interno della cellula (vedi Capitolo 6 e 49).

FIGURA 3-12 Il triacilglicerolo, il principale lipide di riserva

(a) Glicerolo ed acidi grassi sono i componenti dei grassi. (b) Il glicerolo è legato agli acidi grassi mediante legami esterici (in grigio). I modelli a spazio pieno mostrano la vera forma degli acidi grassi. (c) L'acido palmitico, un acido grasso saturo, ha una struttura a catena lineare. (d) L'acido oleico (monoinsaturo) e (e) l'acido linoleico (polinsaturo) sono piegati o attorcigliati in corrispondenza di ogni doppio legame carbonio-carbonio.



Gli acidi grassi saturi e insaturi differiscono nelle proprietà fisiche

Generalmente, nei lipidi ci sono circa 30 diversi acidi grassi che hanno un numero pari di atomi di carbonio. Ad esempio, l'acido butirrico, presente nel burro rancido, ha 4 atomi di carbonio, e l'acido oleico, il più abbondante in natura, ha 18 atomi di carbonio e si trova nella maggior parte dei grassi animali e vegetali.

Gli acidi grassi saturi contengono il maggior numero possibile di atomi di idrogeno. L'acido palmitico, un acido grasso a 16 atomi di carbonio, è un acido grasso saturo comune (Fig. 3-12c). I grassi ricchi di acidi grassi saturi, come i grassi animali e i grassi vegetali solidi, a temperatura ambiente tendono ad essere solidi. Questo perché anche le molecole apolari neutre possono sviluppare regioni che transitoriamente presentano una debole carica positiva o negativa, in quanto il moto continuo dei loro elettroni fa sì che alcune regioni abbiano un eccesso temporaneo di elettroni ed altre un deficit temporaneo. Queste deboli cariche di segno opposto danno origine ad attrazioni tra molecole adiacenti, note come forze (o interazioni) di van der Waals (Capitolo 2). Anche se le interazioni di van der Waals, prese singolarmente, sono deboli, possono tuttavia diventare forti qualora siano presenti in gran quantità lungo la catena idrocarburica. Tali interazioni tendono a rendere una sostanza più solida limitando le possibilità di movimento delle sue molecole.

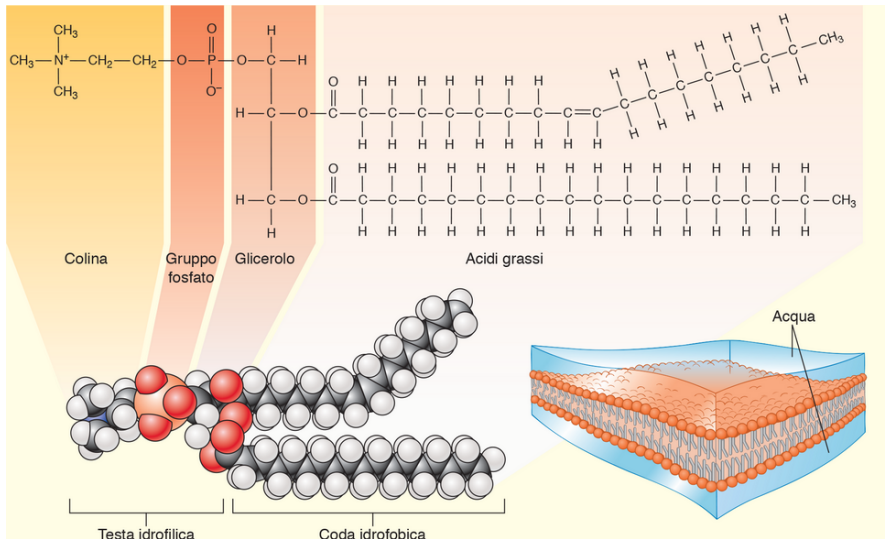
Gli acidi grassi insaturi possiedono una o più coppie di atomi di carbonio adiacenti legati tra loro da un doppio legame e non sono quindi completamente saturati con l'idrogeno. Gli acidi grassi con un solo doppio legame sono detti monoinsaturi , mentre quelli con più di un doppio legame sono detti polinsaturi . L'acido oleico è un acido grasso monoinsaturo e l'acido linoleico è un comune acido grasso polinsaturo (Fig. 3-12d ed e). I grassi contenenti un'alta percentuale di acidi grassi mono o polinsaturi tendono ad essere liquidi a temperatura ambiente. Ciò è dovuto al fatto che ciascun doppio legame produce una "piega" nella catena idrocarburica che impedisce l'allineamento con la catena adiacente, limitando così le interazioni di van der Waals.

Di solito, nei processi alimentari, gli oli da cucina vengono totalmente o parzialmente idrogenati per ottenere la margarina ed altri prodotti, convertendo gli acidi grassi insaturi in acidi grassi saturi e rendendo in tal modo i grassi più solidi a temperatura ambiente. Un tale processo rende il grasso meno salutare; infatti, è noto che l'introduzione di acidi grassi saturi con la dieta aumenta il rischio di malattie cardiovascolari (vedi Capitolo 44). Il processo di idrogenazione ha anche un altro effetto. Notate che nell'acido oleico e nell'acido linoleico (acidi grassi insaturi naturali), mostrati in Figura 3-12 , i due atomi di idrogeno che fiancheggiano ciascun doppio legame si trovano sullo stesso lato della catena idrocarburica (configurazione cis). Quando gli acidi grassi vengono idrogenati artificialmente, i doppi legami possono subire un riarrangiamento che li porta in configurazione trans, un arrangiamento analogo a quello illustrato in Figura 3-3b . Gli acidi grassi trans sono tecnicamente insaturi, ma presentano molte delle proprietà degli acidi grassi saturi. Poiché la configurazione trans non produce una piega in corrispondenza del doppio legame, gli acidi grassi trans sono più solidi a temperatura ambiente e, come gli acidi grassi saturi, aumentano il rischio di malattie cardiovascolari.

Sono almeno due gli acidi grassi insaturi essenziali, che devono essere presenti in ogni dieta in quanto il corpo umano non può sintetizzarli: l'acido linoleico e l'acido arachidonico. Tuttavia, le quantità necessarie sono piccole e solo raramente sono state osservate carenze; non esiste, invece, la necessità di introdurre acidi grassi saturi con la dieta.

I fosfolipidi sono componenti delle membrane cellulari

I fosfolipidi appartengono ad una importante classe di lipidi, quella dei lipidi anfipatici , le cui molecole sono caratterizzate dall'avere un'estremità idrofila ed una idrofoba (Fig. 3-13). Le due estremità della molecola del fosfolipide differiscono tra loro sia dal punto di vista fisico che chimico. Un fosfolipide consiste di una molecola di glicerolo attaccata da un lato a due acidi grassi e dall'altro ad un gruppo fosfato legato ad un composto organico come la colina. Il composto organico generalmente contiene azoto. (È bene notare che il fosforo e l'azoto sono assenti nei triacilgliceroli, come mostrato in Figura 3-12b). La parte della molecola che contiene gli acidi grassi (costituita da 2 "code" idrocarburiche) è idrofoba e insolubile in acqua; la parte costituita da glicerolo, fosfato e base organica ("testa" della molecola), invece, è ionizzabile e molto idrosolubile. Le caratteristiche anfipatiche di queste molecole lipidiche permettono la formazione in acqua di doppi strati lipidici; questo le rende particolarmente adatte a funzionare come componenti fondamentali delle membrane cellulari (vedi Capitolo 5).



PUNTO CHIAVE

Quando i fosfolipidi interagiscono con l'acqua si forma un doppio strato lipidico

I carotenoidi e molti altri pigmenti derivano da unità di isoprene

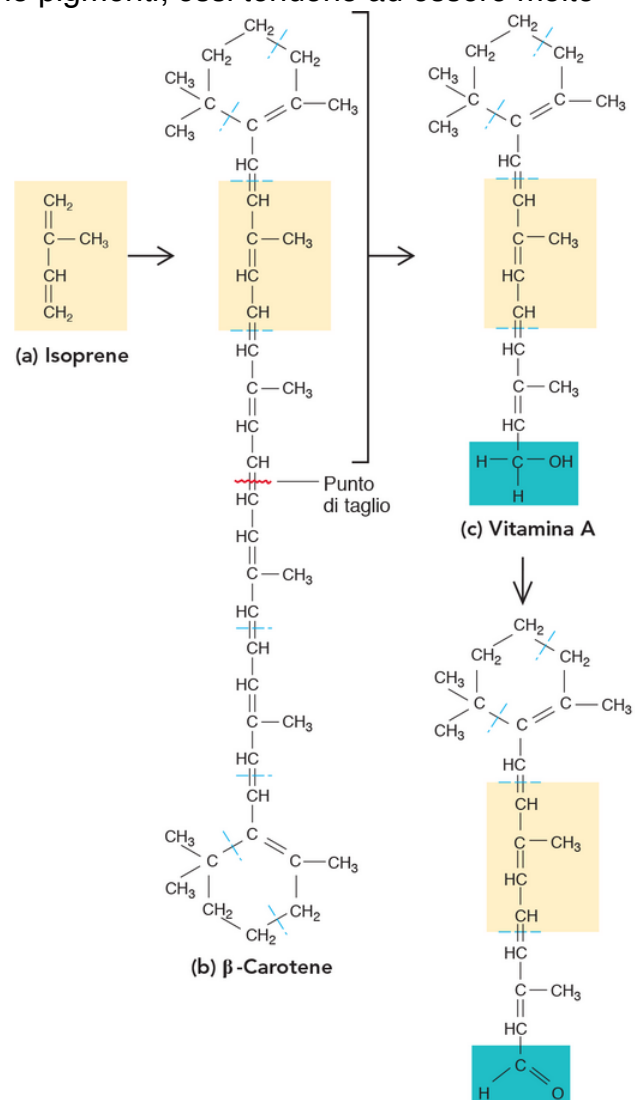
I pigmenti vegetali arancioni e gialli detti carotenoidi vengono classificati tra i lipidi in quanto insolubili in acqua e con consistenza oleosa. Questi pigmenti, che si trovano nelle cellule di tutte le piante, hanno un ruolo molto importante nella fotosintesi. I carotenoidi, come il β -

carotene, e molti altri importanti pigmenti sono costituiti da monomeri idrocarburici a 5 atomi di carbonio noti come unità isopreniche (Fig. 3-14).

Molti animali convertono i carotenoidi in vitamina A, la quale può essere convertita nel pigmento visivo retinale . Tre gruppi di animali — molluschi, insetti e vertebrati — hanno occhi che utilizzano il retinale nel processo di ricezione della luce.

Da notare che i carotenoidi, la vitamina A e il retinale mostrano una struttura in cui si alternano doppi e singoli legami. Quando la luce colpisce la molecola, gli elettroni che formano questi legami si possono muovere facilmente. Queste molecole sono pigmenti; essi tendono ad essere molto colorati poiché gli elettroni mobili causano un forte assorbimento della luce di certe lunghezze d'onda e la riflessione di altre lunghezze d'onda.

FIGURA 3-14 Composti derivati dall'isoprene. →
(a) Una subunità isoprenica. (b) Il β -carotene, con le linee tratteggiate che indicano i confini tra le diverse subunità isopreniche. La linea rossa ondulata indica il punto in cui molti animali sono in grado di tagliare la molecola per produrre due molecole di (c) vitamina A. La vitamina A è convertita nel pigmento visivo (d) retinale.



Gli steroidi contengono quattro anelli carboniosi

Uno steroide è formato da atomi di carbonio disposti in 4 anelli uniti tra loro; tre anelli sono a 6 atomi di carbonio e il quarto è a cinque atomi di carbonio (Fig. 3-15). La lunghezza e la struttura delle catene laterali che si estendono da questi anelli fanno sì che gli steroidi possano essere distinti tra loro. Gli steroidi sono sintetizzati a partire da unità isopreniche, come i carotenoidi.

Tra gli steroidi più importanti dal punto di vista biologico, ricordiamo il colesterolo, i sali biliari, gli ormoni sessuali, il cortisolo e gli altri ormoni secreti dalla corteccia surrenale. Il colesterolo è un

componente strutturale fondamentale delle membrane cellulari degli animali; però, quando vi è un eccesso di colesterolo nel sangue, si possono formare delle placche sulle pareti delle arterie, aumentando il rischio di malattie cardiovascolari (vedi Capitolo 44).

Le membrane delle cellule vegetali contengono molecole simili al colesterolo. È interessante notare che alcune di queste molecole sono in grado di bloccare l'assorbimento di colesterolo da parte dell'intestino. I sali biliari emulsionano i grassi presenti nell'intestino in modo tale da favorirne l'idrolisi per via enzimatica. Gli ormoni steroidei regolano alcuni aspetti del metabolismo di una varietà di animali e piante.

Alcuni mediatori chimici sono lipidi

Le cellule animali secernono composti chimici che permettono loro di comunicare o di regolare le proprie attività. Alcuni mediatori chimici sono prodotti per modificazione degli acidi grassi derivanti dai fosfolipidi di membrana. Tra questi, si possono

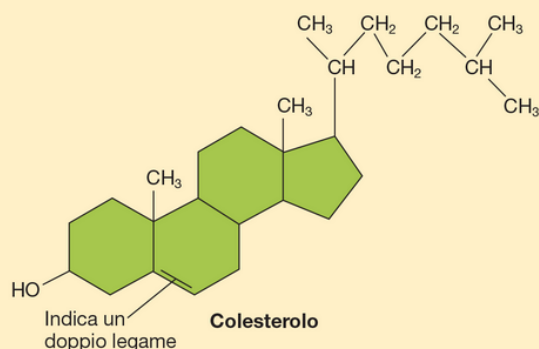
includere le prostaglandine, che svolgono ruoli differenti, come quello di scatenare il processo infiammatorio e di determinare la contrazione della muscolatura liscia. Alcuni ormoni, come la neotenina degli insetti, sono anch'essi derivati degli acidi grassi (vedi Capitolo 49).

FIGURA 3-15 *Steroidi*

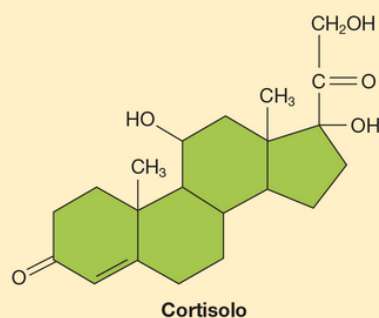
Uno steroide contiene 4 anelli condensati — tre a sei atomi di carbonio ed uno a cinque atomi di carbonio (mostrati in verde). Notare che alcuni atomi di carbonio sono "condivisi" tra due anelli. In queste strutture semplificate, a ciascun angolo dell'anello è presente un atomo di carbonio e gli idrogeni che si attaccano direttamente agli atomi di carbonio non sono stati disegnati. Gli steroidi si distinguono principalmente per i gruppi funzionali ad essi legati.

Verifica

- Perché gli acidi grassi saturi, insaturi e trans presentano proprietà differenti?
- Perché i fosfolipidi formano doppi strati lipidici in ambiente acquoso?



(a) Il **colesterolo** è un componente essenziale delle membrane delle cellule animali.



(b) Il **cortisolo** è un ormone steroideo secreto dalla ghiandola surrenale.

3.4 LE PROTEINE

OBIETTIVO DI APPRENDIMENTO

7. Fornire una descrizione completa della struttura e delle funzioni delle proteine.
8. Illustrare le caratteristiche comuni a tutti gli aminoacidi e spiegare in che modo essi vengono raggruppati in classi in base alle caratteristiche delle loro catene laterali.
9. Fare una distinzione tra i quattro livelli di organizzazione delle molecole proteiche.

Le proteine, macromolecole costituite da aminoacidi, sono i componenti cellulari più versatili. Come sarà discusso nel Capitolo 16, gli scienziati sono riusciti a sequenziare virtualmente tutta l'informazione genetica di una cellula umana, mentre l'informazione genetica di molti altri organismi è ancora oggetto di studio. Alcuni potrebbero pensare che il sequenziamento dei geni umani rappresenti la fine della storia, ma è solamente l'inizio. Molte informazioni genetiche sono utilizzate per specificare le proteine, ed è stato predetto che la maggior parte del ventunesimo secolo sarà spesa per comprendere il funzionamento di queste macromolecole straordinariamente versatili, che sono di importanza basilare per la chimica della vita. In effetti, le proteine sono praticamente coinvolte in tutti gli aspetti del metabolismo, in quanto la maggior parte degli enzimi (molecole che accelerano le migliaia di differenti reazioni chimiche che avvengono in un organismo) sono proteine.

Classi di proteine	Funzioni ed esempi
Enzimi	Catalizzano specifiche reazioni chimiche
Proteine strutturali	Rafforzano e proteggono le cellule e i tessuti (ad es. il collagene rafforza i tessuti animali)
Proteine di riserva	Nutrienti di riserva; particolarmente abbondanti nelle uova (ad es. l'ovoalbumina nell'albume dell'uovo) e nei semi (ad es. la zeina nei semi di grano)
Proteine di trasporto	Trasportano specifiche sostanze tra le cellule (ad es. l'emoglobina trasporta l'ossigeno nei globuli rossi); spostano specifiche sostanze attraverso la membrana cellulare (ad es. ioni, glucosio, aminoacidi)
Proteine di regolazione	Alcune sono ormoni (insulina); alcune controllano l'espressione di specifici geni
Proteine di movimento	Partecipano al movimento cellulare (ad es. actina e miosina sono fondamentali per la contrazione muscolare)
Proteine di difesa	Proteine che proteggono da agenti estranei (ad es. gli anticorpi giocano un ruolo fondamentale nel sistema immunitario)

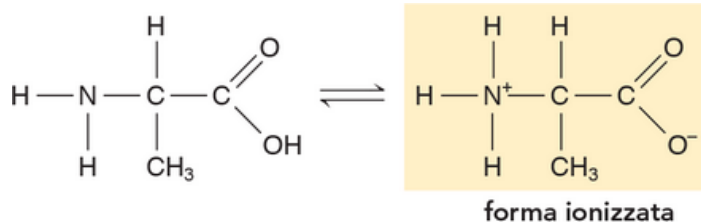
TABELLA 3-2 Principali classi di proteine e loro funzioni

Le proteine possono essere assemblate in una notevole varietà di forme, che fanno sì che esse possano funzionare come maggiori componenti strutturali delle cellule e dei tessuti. Per queste ragioni, la crescita e la riparazione, così come il mantenimento di un organismo, dipendono da questi composti. Come mostrato nella TABELLA 3-2, le proteine svolgono un'ampia varietà di funzioni specializzate. Ogni tipo cellulare contiene caratteristiche forme, distribuzioni e concentrazioni di proteine che determinano la struttura e la funzione della cellula stessa. Una cellula muscolare contiene grandi quantità delle proteine miosina e actina, responsabili sia della sua struttura che della sua capacità di contrarsi. La proteina emoglobina, presente nei globuli rossi, è responsabile della funzione specializzata di trasporto dell'ossigeno.

Gli aminoacidi sono le subunità delle proteine

Gli aminoacidi, i costituenti delle proteine, hanno un gruppo amminico ($-\text{NH}_2$) e un gruppo carbossilico ($-\text{COOH}$) legati allo stesso atomo di carbonio asimmetrico, il carbonio alfa. In una soluzione a pH neutro, gli aminoacidi sono ioni bipolari e questa è la forma nella quale generalmente si presentano a pH cellulare. Il gruppo carbossilico ($-\text{COOH}$) dona un protone e si dissocia come $-\text{COO}^-$, mentre il gruppo amminico ($-\text{NH}_2$) accetta un protone e diventa $-\text{NH}_3^+$ (Fig. 3-16). Grazie alla capacità dei loro gruppi amminici e carbossilici di accettare e rilasciare protoni, gli aminoacidi in soluzione si oppongono ai cambiamenti di pH e possono essere considerati importanti tamponi biologici.

FIGURA 3-16 Un aminoacido a pH 7
Nelle cellule viventi, gli aminoacidi esistono prevalentemente in forma ionizzata, come ioni dipolari.



Nelle proteine, si trovano di solito 20 aminoacidi diversi, ciascuno caratterizzato da un gruppo R legato al carbonio α (Fig. 3-17). La glicina, l'aminoacido più semplice, ha come gruppo R un atomo di idrogeno, mentre l'alanina ha un gruppo metilico ($-\text{CH}_3$). Gli aminoacidi in Figura 3-17 sono stati suddivisi a seconda delle proprietà delle loro catene laterali. Questi ampi raggruppamenti in realtà comprendono aminoacidi con proprietà molto diverse tra loro. Gli aminoacidi classificati come non polari tendono ad avere proprietà idrofobiche, mentre quelli classificati come polari sono più idrofilici.

Gli aminoacidi acidi hanno catene laterali che contengono un gruppo carbossilico il quale, a pH cellulare, è dissociato e pertanto carico negativamente. Gli aminoacidi basici diventano carichi positivamente quando il gruppo amminico presente nella catena laterale accetta uno ione idrogeno. Le catene laterali, sia acide che basiche, sono ioniche al pH cellulare e pertanto risultano idrofiliche.

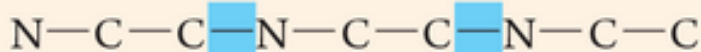
Alcune proteine contengono anche aminoacidi diversi dai 20 più comuni. Questi aminoacidi rari sono prodotti per modificazione di quelli comuni, dopo che questi sono entrati a far parte della proteina. Ad esempio, la lisina e la prolina possono essere trasformate in idrossilisina e idrossiprolina dopo essere state incorporate nel collagene. Questi aminoacidi possono formare ponti tra le catene peptidiche che costituiscono il collagene. Tali ponti sono responsabili della stabilità e della grande robustezza delle molecole di collagene, che è il componente principale della cartilagine, dell'osso e di altri tessuti connettivi. Tranne poche eccezioni, piante e batteri sono in grado di sintetizzare, a partire da sostanze semplici, tutti gli aminoacidi necessari. Se è disponibile la materia prima, le cellule animali possono sintetizzare alcuni, ma non tutti, gli aminoacidi. Quelli che gli animali non possono sintetizzare e che devono essere assunti con la

dieta sono noti come aminoacidi essenziali. Gli animali differiscono per le loro capacità biosintetiche; gli aminoacidi che sono essenziali per una specie non lo sono per un'altra.

Gli aminoacidi essenziali per l'uomo sono: isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano, valina, istidina. Per i bambini, bisogna aggiungere alla lista anche l'arginina, poiché essi non ne sintetizzano quantità sufficienti per sostenere la crescita.

I legami peptidici uniscono gli aminoacidi

Gli aminoacidi si combinano tra loro legando il carbonio del gruppo carbossilico di una molecola all'azoto del gruppo amminico di un'altra mediante una reazione di condensazione (Fig. 3-18). Il legame covalente che tiene insieme due aminoacidi è detto legame peptidico. Quando si combinano due aminoacidi, si forma un dipeptide; una catena più lunga di aminoacidi è un polipeptide. Una proteina è costituita da una o più catene polipeptidiche. Ogni polipeptide ha un gruppo amminico libero ad un'estremità e un gruppo carbossilico libero all'altra (appartenente all'ultimo aminoacido aggiunto alla catena). I gruppi amminici e carbossilici degli altri monomeri (eccetto quelli delle catene laterali) vanno a far parte dei legami peptidici. Il processo, assai complesso, mediante il quale viene sintetizzata una catena polipeptidica verrà discusso nel Capitolo 13.



Un polipeptide può contenere centinaia di aminoacidi legati in un ordine lineare specifico. Lo scheletro della catena consiste in una sequenza ripetuta più tutti gli altri atomi,

eccetto quelli delle catene laterali, che sporgono da questa struttura portante.

Dovrebbe essere chiaro che è possibile ottenere un numero quasi infinito di proteine diverse che differiscono l'una dall'altra per il numero, il tipo e la disposizione degli aminoacidi che le costituiscono. I 20 tipi di aminoacidi delle proteine biologiche possono essere considerati come le lettere di un alfabeto proteico; ciascuna proteina è una lunghissima frase formata da lettere aminoacidiche.

Le proteine hanno quattro livelli di organizzazione

Le catene polipeptidiche che formano una proteina sono attorcigliate o ripiegate per formare una macromolecola con una specifica conformazione tridimensionale. Alcune catene polipeptidiche formano lunghe fibre, mentre nelle proteine globulari le catene polipeptidiche sono ripiegate in una forma compatta grossolanamente sferica. Vi è una stretta correlazione tra la conformazione di una proteina e la sua funzione. Ad esempio, un tipico enzima è una proteina globulare con una forma unica che gli permette di catalizzare una specifica reazione chimica. Analogamente, la forma di un ormone proteico gli consente di combinarsi con il recettore presente sulla sua cellula bersaglio (la cellula su cui l'ormone agisce). Nelle molecole proteiche si possono distinguere quattro diversi livelli di organizzazione: struttura primaria, secondaria, terziaria e quaternaria.

La struttura primaria è la sequenza aminoacidica

La sequenza aminoacidica di una catena polipeptidica rappresenta la sua struttura primaria. Questa sequenza viene specificata dalle istruzioni contenute in un gene, come si vedrà nel Capitolo 13. Utilizzando metodiche analitiche, i ricercatori sono in grado di determinare l'esatta sequenza aminoacidica di una molecola proteica, e oggi è nota la struttura primaria di migliaia di proteine. Per esempio, il glucagone, un ormone secreto dal pancreas, è un piccolo polipeptide costituito solamente da 29 aminoacidi (Fig. 3-19).

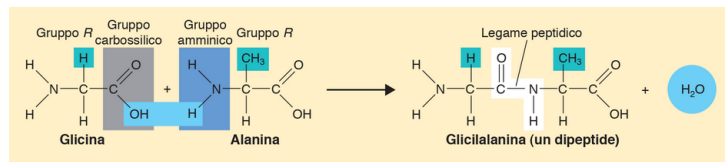
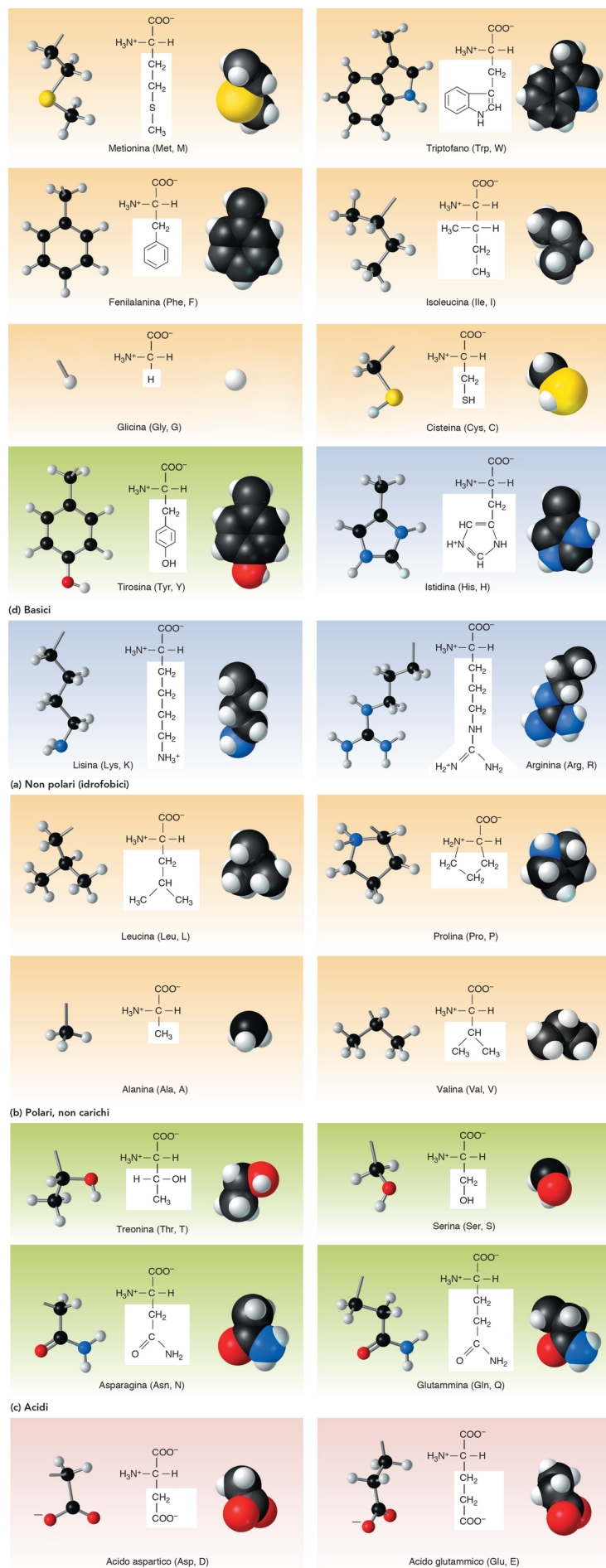


FIGURA 3-18 Legami peptidici

Un dipeptide si forma per rimozione dell'equivalente di una molecola di acqua dal gruppo carbossilico di un aminoacido e dal gruppo amminico di un altro aminoacido (reazione di condensazione). Il legame peptidico che ne risulta è un legame covalente

carbonio-azoto. Notare che il carbonio è anche parte di un gruppo carbonilico, e che l'azoto è anche legato covalentemente ad un idrogeno. Si possono aggiungere anche altri aminoacidi per formare una lunga catena polipeptidica con un gruppo amminico libero ad una estremità ed un gruppo carbossilico libero all'altra.

La struttura primaria è sempre rappresentata in una semplice forma lineare "a filo di perle"; comunque, la conformazione globale di una proteina è assai più complessa, coinvolgendo interazioni tra i vari aminoacidi che formano la struttura primaria della molecola. Quindi, i livelli superiori della struttura — secondario, terziario e quaternario — in definitiva derivano dalla specifica sequenza aminoacidica (cioè dalla struttura primaria).



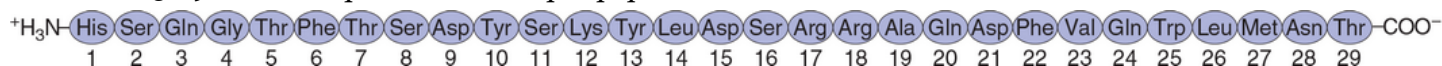
← FIGURA 3-17 I 20 aminoacidi comuni

(a) Gli aminoacidi non polari hanno catene laterali relativamente idrofobiche, mentre (b) gli aminoacidi polari hanno catene laterali relativamente idrofiliche. I gruppi carbossilici e i gruppi amminici sono elettricamente carichi al pH cellulare; di conseguenza (c) gli aminoacidi acidi e (d) gli aminoacidi basici sono idrofili. Accanto ai nomi degli aminoacidi sono mostrate le abbreviazioni standard a tre lettere e ad una lettera.

La struttura secondaria deriva dai legami a idrogeno tra elementi dello scheletro aminoacidico

In alcune regioni di un polipeptide si trovano strutture secondarie molto regolari. I due tipi più comuni di struttura secondaria sono la α -elica e il foglietto β -ripiegato; le indicazioni α e β si riferiscono semplicemente all'ordine con il quale questi due tipi di strutture secondarie sono state scoperte. Una α -elica è una regione in cui una catena polipeptidica forma un avvolgimento elicoidale uniforme (Fig. 3-20a). La struttura ad elica è determinata e mantenuta dalla formazione di legami a idrogeno tra gli scheletri aminoacidici che si trovano in successione nella spirale. Ciascun legame a idrogeno si instaura tra un ossigeno con una carica parziale negativa ed un idrogeno con una carica parziale positiva. L'ossigeno proviene dal residuo del gruppo carbossilico di un aminoacido, mentre l'idrogeno fa parte del residuo del gruppo amminico dell'aminoacido che si trova in quarta posizione rispetto al precedente nella catena. Di conseguenza, in ciascuna spirale dell'elica si trovano 3,6 aminoacidi. Ciascun aminoacido dell' α -elica è quindi legato per mezzo di un legame a idrogeno. L' α -elica è l'unità di base strutturale delle proteine fibrose, presenti in lana, capelli, pelle e unghie. L'elasticità di queste fibre è dovuta alla combinazione di fattori fisici (forma ad elica) e chimici (legami a idrogeno). Benché i legami a idrogeno mantengano la struttura elicoidale, questi legami possono essere rotti permettendo alle fibre di stirarsi sotto tensione (come il filo del telefono). Quando la tensione viene rilasciata, la fibra si riavvolge e i legami a idrogeno si riformano. Ciò spiega perché i capelli possono essere tirati fino ad un certo punto per tornare poi alla loro lunghezza originaria.

FIGURA 3-19 *Struttura primaria di un polipeptide*



Il glucagone è un polipeptide molto piccolo costituito da 29 aminoacidi. La sequenza lineare degli aminoacidi è rappresentata da ovali che contengono i corrispondenti nomi abbreviati (vedi Fig. 3-17).

Nella struttura a foglietto β -ripiegato i legami a idrogeno si formano tra catene polipeptidiche differenti o anche tra regioni differenti di una stessa catena polipeptidica ripiegata su se stessa (Fig. 3-20b). Tutte le catene sono completamente distese ma, poiché ciascuna di queste ha una struttura a zig zag, il “foglietto” che ne deriva ha una conformazione generale pieghettata (simile ad un foglio di carta che è stato piegato a ventaglio).

Un foglietto ripiegato è flessibile piuttosto che elastico. Ciò deriva dal fatto che la distanza fra le ripiegature è fissa, essendo determinata dai forti legami covalenti degli scheletri polipeptidici. La fibroina, la proteina della seta, è caratterizzata da una struttura a foglietto β -ripiegato, così come i nuclei di molte proteine globulari.

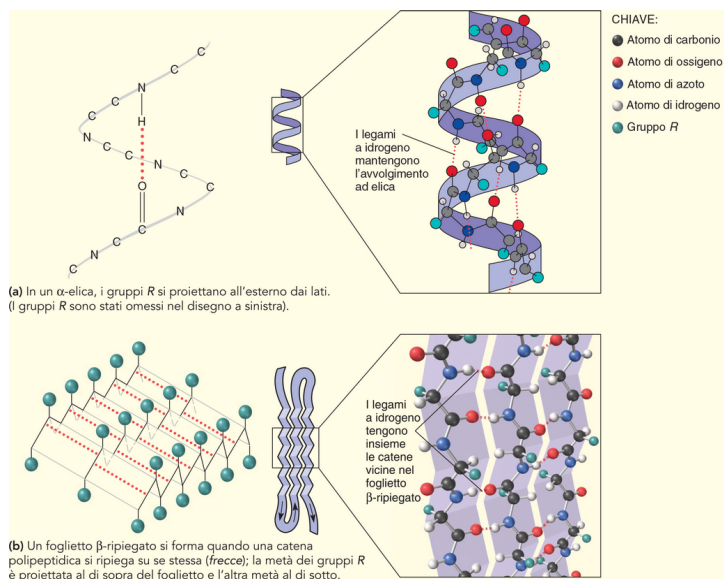
È abbastanza comune che un polipeptide a singola catena comprenda sia regioni ad α -elica che regioni con conformazione a foglietto β -ripiegato. Anche le proprietà di alcuni materiali biologici complessi sono dovute a queste combinazioni. La tela del ragno è costituita di un materiale estremamente forte, flessibile ed elastico. Ancora una volta, si vede che funzione e struttura operano insieme, in quanto queste proprietà derivano dal fatto che la tela del ragno è costituita da un insieme di proteine con conformazione ad α -elica (che conferiscono elasticità) e a foglietto β -ripiegato (che conferiscono forza).

La struttura terziaria dipende dalle interazioni tra le catene laterali

La struttura terziaria di una molecola proteica è la forma complessiva assunta da ciascuna catena polipeptidica (Fig. 3-21). Questa struttura tridimensionale è determinata da quattro fattori principali che implicano interazioni tra i gruppi R (catene laterali) lungo la stessa catena polipeptidica. Questi includono interazioni deboli (legami a idrogeno, legami ionici e interazioni idrofobiche) e legami covalenti.

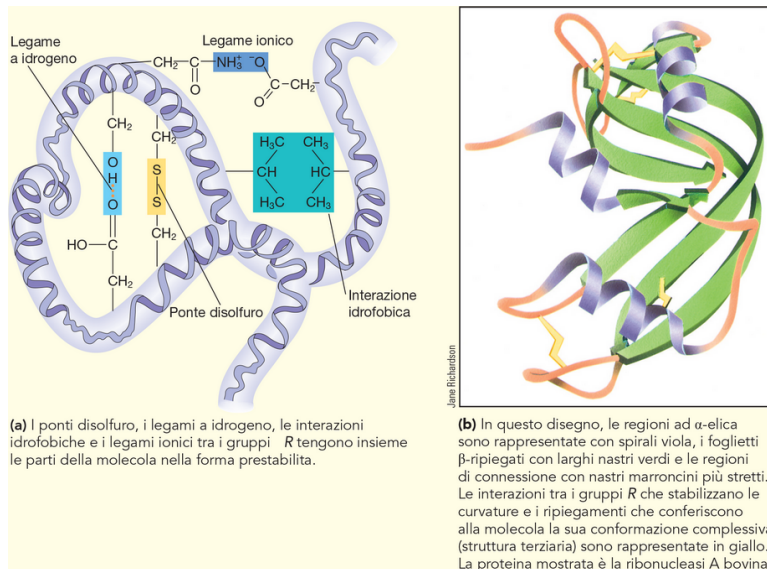
PUNTO CHIAVE La struttura secondaria è altamente regolare.

1. Legami a idrogeno che si formano tra i gruppi R di alcune subunità aminoacidiche.
2. Legami ionici tra i gruppi R carichi positivamente e quelli carichi negativamente.
3. Interazioni idrofobiche dovute alla tendenza dei gruppi R apolari a disporsi all'interno della struttura globulare, lontano dall'acqua circostante.
4. Legami covalenti, noti come ponti disolfuro ($-S-S-$), che legano gli atomi di zolfo di due unità di cisteina. Un ponte disolfuro si forma quando i gruppi sulfidrilici di due cisteine reagiscono tra loro, con l'eliminazione dei due atomi di idrogeno e la formazione di un legame covalente tra i due atomi di zolfo che rimangono.



La struttura quaternaria deriva dalle interazioni tra i polipeptidi

Molte proteine sono costituite da due o più catene polipeptidiche, che interagiscono in modo specifico per dare una molecola proteica biologicamente attiva. La struttura quaternaria deriva dalla disposizione tridimensionale delle catene polipeptidiche (ciascuna delle quali ha una sua struttura primaria, secondaria e terziaria). Gli stessi tipi di interazione che danno origine alle strutture secondaria e terziaria contribuiscono anche alla struttura quaternaria; esse includono legami a idrogeno, legami ionici, interazioni idrofobiche e ponti disolfuro.



PUNTO CHIAVE La struttura terziaria dipende dalle interazioni tra le catene laterali.

Ad esempio, una molecola di anticorpo funzionale è costituita da quattro catene polipeptidiche unite da ponti disolfuro. I ponti disolfuro sono una caratteristica comune a molte proteine secrete dalle cellule, quali gli anticorpi; questi legami forti stabilizzano le molecole che si trovano nell'ambiente extracellulare.

L'emoglobina, la proteina dei globuli rossi responsabile del trasporto dell'ossigeno, è un esempio di proteina globulare con struttura quaternaria (Fig. 3-22a). L'emoglobina è costituita da 574 aminoacidi organizzati in 4 catene polipeptidiche, due

catene alfa identiche e due catene beta identiche. Il collagene, citato precedentemente, ha una struttura quaternaria di tipo fibroso che si adatta molto bene alla funzione di fornire resistenza ai tessuti animali. È costituito da tre catene polipeptidiche avvolte l'una sull'altra e unite da legami crociati fra i loro aminoacidi (Fig. 3-22b).

La sequenza amminoacidica di una proteina determina la sua conformazione

Nel 1972 il ricercatore statunitense Christian B. Anfinsen ha ricevuto il Premio Nobel per la chimica in merito ai suoi studi sul ripiegamento delle proteine, i quali dimostrarono che, almeno in determinate condizioni sperimentali in vitro (fuori da una cellula vivente), un polipeptide può spontaneamente andare incontro a processi di ripiegamento che lo conducono ad assumere la sua conformazione normale e funzionale. A partire dall'innovativo lavoro di Anfinsen, molti ricercatori, studiando varie proteine e utilizzando una serie di approcci altamente sofisticati, hanno accumulato prove che supportano la conclusione ampiamente accettata che la sequenza di aminoacidi è il fattore principale che determina la conformazione della proteina.

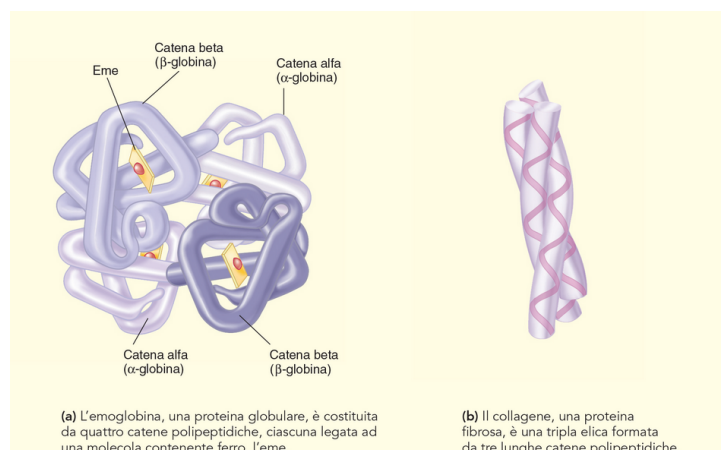
Comunque, poiché le condizioni in vivo (nella cellula) sono piuttosto diverse dalle condizioni di laboratorio, le proteine non necessariamente si ripiegano spontaneamente. Al contrario, in anni recenti si è evidenziato che proteine note come chaperoni molecolari mediano il ripiegamento di certe proteine. Si pensa che gli chaperoni molecolari rendano il processo di ripiegamento più ordinato ed efficiente e non permettano alle proteine parzialmente ripiegate di aggregarsi in modo non appropriato. Tuttavia, non vi sono prove a favore del fatto che gli chaperoni molecolari dettino realmente lo schema di ripiegamento. Per questa ragione, l'esistenza di tali molecole non costituisce una prova contro la tesi secondo la quale è la sequenza amminoacidica a determinare la conformazione.

PUNTO CHIAVE Le proteine costituite da due o più catene polipeptidiche posseggono una struttura quaternaria.

La conformazione di una proteina ne determina la funzione

La struttura di una proteina contribuisce a determinarne la sua attività biologica. Ogni proteina può avere varie regioni strutturali, ognuna con una sua propria funzione. Molte proteine sono modulari, costituite cioè da due o più regioni globulari, dette domini, collegate da regioni meno compatte della catena polipeptidica.

Ciascun dominio può avere una funzione diversa. Ad esempio, una proteina può avere un dominio che la fa attaccare ad una membrana ed un altro che la fa funzionare da enzima. L'attività biologica di una proteina può essere modificata da cambiamenti nella sequenza amminoacidica che portano a cambiamenti nella sua conformazione. La malattia genetica nota come **anemia falciforme**, ad esempio, è dovuta ad una mutazione che porta alla sostituzione dell'aminoacido acido glutammico con la valina in posizione 6 (il sesto aminoacido dall'estremità ammino-terminale) della catena beta dell'emoglobina. La sostituzione della valina (aminoacido con catena laterale apolare) all'acido glutammico (con catena laterale carica) rende



l'emoglobina meno solubile e più propensa a formare strutture cristalline. Questa alterazione dell'emoglobina agisce sui globuli rossi conferendo loro la forma a falce che caratterizza questa malattia (vedi Fig. 16-8).

Cambiamenti della struttura tridimensionale di una proteina possono alterare la sua attività biologica. Quando una proteina viene scaldata, sottoposta a significativi cambiamenti di pH o trattata con prodotti chimici, la sua struttura terziaria diventa disordinata e le catene peptidiche si aprono producendo una conformazione meno ordinata. Questo srotolamento, principalmente dovuto alla rottura di legami a idrogeno e legami ionici, è associato alla perdita dell'attività biologica della proteina. Tale cambiamento di conformazione e la conseguente perdita di attività biologica vengono definiti **denaturazione** della proteina. Ad esempio, un enzima denaturato perde la sua capacità di catalizzare le reazioni chimiche. Un esempio quotidiano di denaturazione lo abbiamo quando friggiamo un uovo. La consistenza della proteina dell'albume, nota come albumina, diventa solida. Normalmente, la denaturazione non è reversibile (non si può "sfriggere" un uovo). Tuttavia, in certe condizioni, alcune proteine denaturate possono tornare alla loro forma ed attività biologica originarie quando vengono ripristinate le condizioni ambientali normali.

La conformazione delle proteine è studiata con una varietà di metodi

La conformazione di una proteina può essere determinata direttamente attraverso analisi sofisticate, come la diffrazione ai raggi X discussa nel Capitolo 12. Poiché tali studi sono tediosi e costosi, sono stati fatti notevoli sforzi per sviluppare approcci alternativi che essenzialmente si basano sulle enormi banche dati generate dal Progetto Genoma Umano e da progetti correlati.

Oggi, la sequenza aminoacidica di una proteina può essere determinata rapidamente attraverso l'applicazione di tecniche di ingegneria genetica (vedi Capitolo 15) o attraverso tecnologie sofisticate come la spettrometria di massa. Si stanno facendo molti sforzi per utilizzare efficacemente questi dati per prevedere i livelli superiori della struttura di una proteina. Come abbiamo visto, le catene laterali possono interagire in modi relativamente prevedibili, attraverso legami ionici, legami a idrogeno, ecc. Inoltre, regioni con certi tipi di catene laterali sembrano più propense a formare α -eliche o foglietti β -ripiegati. Programmi computerizzati molto complessi sono utilizzati per fare tali previsioni, ma sono imprecisi a causa delle molte possibili combinazioni di schemi di ripiegamento.

Il computer è una parte essenziale di un'altra strategia. Una volta che la sequenza aminoacidica di un polipeptide è stata determinata, i ricercatori impiegano il computer per controllare i database, allo scopo di trovare polipeptidi con sequenze simili. Se le conformazioni di qualcuno di questi polipeptidi o parti di essi sono già state determinate direttamente mediante diffrazione ai raggi X o altre tecniche, queste informazioni possono essere estrapolate per fare correlazioni analoghe tra la sequenza aminoacidica e la struttura tridimensionale della proteina in studio. Queste previsioni stanno diventando sempre più attendibili, dato che quotidianamente sempre più informazioni sono aggiunte ai database.

Le proteine malripiegate sono coinvolte in alcune malattie umane

Gli studi sui meccanismi di ripiegamento delle proteine e sulla relazione tra l'attività di una proteina e la sua conformazione sono sempre più importanti per la medicina. Per esempio, come trattato nel Capitolo 19, il morbo della mucca pazza e simili malattie umane e di altri animali sono causate da proteine **malripiegate** (*misfolded*) chiamate **prioni**. Altre gravi malattie nelle quali le proteine malripiegate hanno un importante ruolo includono il morbo di Alzheimer (vedi Capitolo 41) e la malattia di Huntington (vedi Capitolo 16).

Verifica

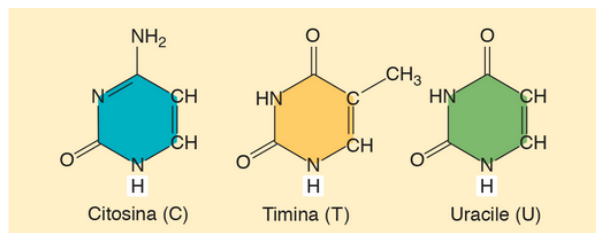
- Scrivete la formula di struttura di un aminoacido semplice. Qual è l'importanza del gruppo carbossilico, del gruppo amminico e del gruppo R?
- In che modo la struttura primaria di un polipeptide influisce sulle sue strutture secondaria e terziaria?

3.5 GLI ACIDI NUCLEICI

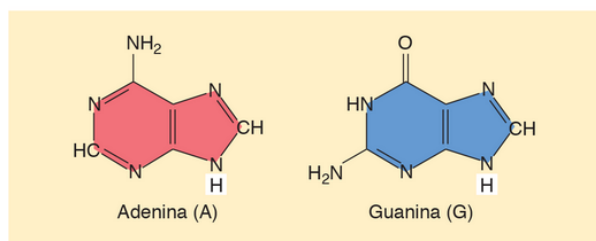
OBBIETTIVO DI APPRENDIMENTO

10. Descrivere i componenti di un nucleotide. Elencare alcuni acidi nucleici e nucleotidi e discutere l'importanza di questi composti negli organismi viventi.

Gli acidi nucleici trasmettono l'informazione ereditaria e determinano quali proteine debbano essere sintetizzate dalla cellula. Nelle cellule ci sono due tipi di acidi nucleici: l'acido ribonucleico (RNA) e l'acido desossiribonucleico (DNA). Il DNA costituisce i geni, il materiale ereditario della cellula, e contiene le istruzioni per sintetizzare tutte le proteine e tutto l'RNA necessari per l'organismo. L'RNA interviene nel complesso processo in cui gli aminoacidi vengono legati tra loro per formare i polipeptidi. Alcuni tipi di RNA, noti come ribozimi, possono addirittura funzionare come catalizzatori specifici. Come le proteine, anche gli acidi nucleici sono molecole grandi e complesse. Il nome acido nucleico riflette il fatto che essi sono acidi e sono stati isolati per la prima volta da Miescher nel 1870 da nuclei di cellule del pus.



(a) **Pirimidine.** Le tre principali basi pirimidiniche che si trovano nei nucleotidi sono la citosina, la timina (solo nel DNA) e l'uracile (solo nell'RNA).



(b) **Purine.** Le due principali basi puriniche che si trovano nei nucleotidi sono l'adenina e la guanina.

FIGURA 3-23 I componenti dei nucleotidi
Gli atomi di idrogeno indicati dai quadratini sono rimossi quando la base si lega ad uno zucchero.

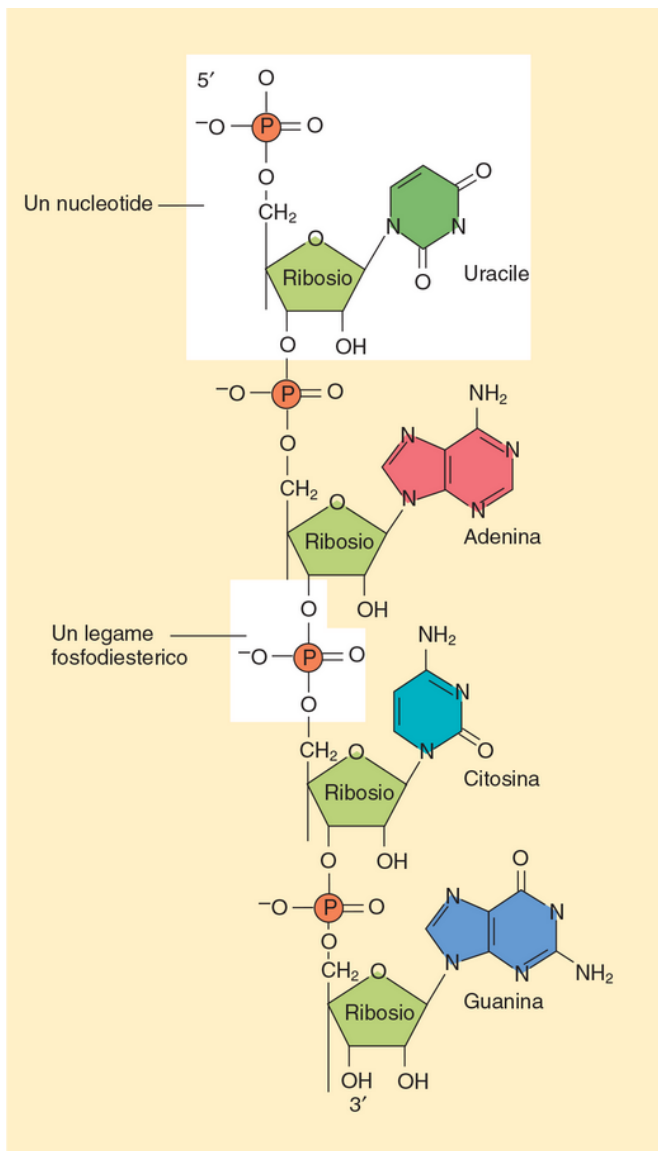
Gli acidi nucleici sono polimeri di nucleotidi, unità molecolari costituite da: (1) uno zucchero a 5 atomi di carbonio, ribosio (nell'RNA) o desossiribosio (nel DNA), (2) uno o più gruppi fosfato che rendono la molecola acida, (3) una base azotata (composto eterociclico contenente azoto). La base azotata può essere a doppio anello, come nelle purine, o ad anello singolo, come nelle pirimidine (Fig. 3-23). Il DNA contiene le purine adenina (A) e guanina (G) e le pirimidine citosina (C) e timina (T), oltre allo zucchero desossiribosio e al fosfato. L'RNA contiene le purine adenina e guanina e le pirimidine citosina e uracile (U), oltre allo zucchero ribosio e al fosfato. Le molecole degli acidi nucleici sono costituite da catene lineari di nucleotidi uniti tra loro da un legame fosfodiesterico costituito da un gruppo fosfato attaccato allo zucchero che si lega covalentemente allo zucchero del nucleotide adiacente (Fig. 3-24). È da notare

che ogni nucleotide è identificato dalla sua specifica base, e i nucleotidi possono essere legati tra loro in qualsiasi sequenza. L'informazione specifica dell'acido nucleico è racchiusa nella sequenza peculiare dei nucleotidi presenti nella catena, che costituisce un tipo di codice (vedi Cap. 13). Mentre l'RNA è generalmente composto da una catena nucleotidica, il DNA è composto da due catene nucleotidiche unite da legami a idrogeno ed avvolte l'una sull'altra a formare una doppia elica (vedi Fig. 1-7).

Alcuni nucleotidi svolgono un ruolo importante nei trasferimenti di energia e in altre funzioni cellulari

Oltre ad essere importanti come subunità del DNA e dell'RNA, i nucleotidi sono fondamentali per altre funzioni cellulari vitali.

L'**adenosina trifosfato** (ATP), costituita da adenina, ribosio e tre fosfati (Fig. 7-5), è la più importante molecola energetica della cellula (vedi Capitolo 7). I due gruppi fosfato terminali sono uniti al nucleotide mediante legami covalenti, che vengono solitamente simboleggiati con linee ondulate per indicare che l'ATP può trasferire un gruppo fosfato ad un'altra molecola, rendendola più reattiva. In questo modo, l'ATP può cedere parte della sua energia chimica. Molta dell'energia chimica disponibile per la cellula è associata ai gruppi fosfato dell'ATP. Analogamente all'ATP, il **guanosina trifosfato** (GTP), un nucleotide che contiene la base guanina, può trasferire energia cedendo un gruppo fosfato ed ha anche un ruolo importante nella segnalazione cellulare (vedi Capitolo 6).

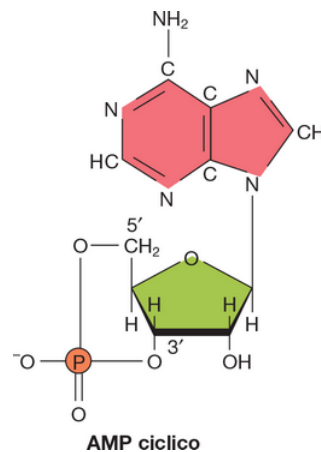


← FIGURA 3-24 L'RNA, un acido nucleico

I nucleotidi, ciascuno con una specifica base, sono legati tra loro mediante legami fosfodiesterici.

Un nucleotide può essere trasformato in una forma alternativa con specifiche funzioni cellulari. L'ATP, ad esempio, è convertito in adenosina monofosfato ciclico (cAMP) grazie all'enzima adenilato ciclasi (Fig. 3-25). Il cAMP media l'effetto di alcuni ormoni e regola alcuni aspetti della fisiologia cellulare, come la segnalazione cellulare. Una molecola analoga, il guanosina monofosfato ciclico (cGMP), riveste anch'essa un ruolo importante in alcuni processi di segnalazione cellulare.

FIGURA 3-25 → Adenosina monofosfato ciclico (cAMP) Il singolo fosfato fa parte di un anello che unisce due regioni diverse del ribosio



Le cellule contengono diversi dinucleotidi che rivestono una certa importanza nei processi metabolici. Ad esempio, come discusso nel Capitolo 7, il nicotinammide adenin-dinucleotide (NAD⁺) svolge un ruolo fondamentale nelle ossido-riduzioni biologiche che avvengono all'interno delle cellule. Può esistere in una forma ossidata (NAD⁺) che si trasforma nella forma ridotta (NADH) quando accetta elettroni (in associazione con idrogeno; vedi Fig. 7-7). Gli elettroni di questi atomi di idrogeno, insieme alla loro energia, possono essere trasferiti ad altre molecole.

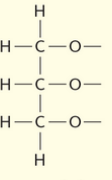
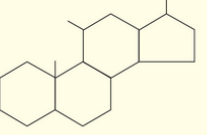
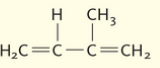
Verifica

- In che modo la struttura di un nucleotide è correlata alla sua funzione?

3.6 IDENTIFICAZIONE DELLE MOLECOLE BIOLOGICHE

OBBIETTIVO DI APPRENDIMENTO

- Paragonare le funzioni e la composizione chimica dei principali gruppi di composti organici: carboidrati, lipidi, proteine ed acidi nucleici.

Classe ed elementi componenti	Descrizione	Come riconoscerli	Principali funzioni nei sistemi viventi
Carboidrati C, H, O	Contengono approssimativamente $1C:2H:1O$ (ma possono perdere ossigeno quando le unità di zucchero si legano, come negli acidi nucleici e nelle glicoproteine)	Contare gli atomi di carbonio, idrogeno ed ossigeno.	Carburante cellulare; riserva di energia, componenti strutturali della parete delle cellule vegetali; componenti di altri composti come gli acidi nucleici e le glicoproteine
	1. <i>Monosaccaridi</i> (zuccheri semplici). Principalmente molecole a 5 atomi di carbonio (pentosi), come il ribosio, oppure a 6 atomi di carbonio (esosi), come il glucosio o il fruttosio	Guardare la forma dell'anello: 	Carburante cellulare; componenti di altri composti
	2. <i>Disaccaridi</i> . Due unità di monosaccaridi legate da un legame glicosidico (ad es., il maltosio, il saccarosio)	Contare le unità monomeriche.	Componenti di altri composti; zuccheri trasportati nelle piante
	3. <i>Polisaccaridi</i> . Molte unità di zucchero legate da legami glicosidici (ad es. glicogeno, cellulosa)	Contare le unità monomeriche.	Riserva energetica; componenti strutturali della parete delle cellule vegetali
Lipidi C, H, O (talvolta N, P)	Contengono meno ossigeno rispetto a carbonio e idrogeno se confrontati con i carboidrati.		Riserva di energia; carburante cellulare; componenti strutturali delle cellule; isolante termico
	1. <i>Grassi neutri</i> . Combinazioni di glicerolo con acidi grassi (da 1 a 3). I monogliceridi contengono un acido grasso; i digliceridi contengono due acidi grassi; i trigliceridi contengono tre acidi grassi. Se gli acidi grassi contengono doppi legami carbonio-carbonio ($C=C$), sono detti insaturi; altrimenti sono saturi.	Cercare il glicerolo ad una estremità della molecola: 	Carburante cellulare; riserva energetica
	2. <i>Fosfolipidi</i> . Composti da glicerolo legato ad uno o due acidi grassi e ad una base organica contenente fosforo	Cercare il glicerolo e la catena laterale contenente fosforo e azoto.	Componenti delle membrane cellulari
	3. <i>Steroidi</i> . Molecole complesse contenenti atomi di carbonio organizzati a formare 4 anelli attaccati. (Tre anelli contengono sei atomi di carbonio, il quarto ne contiene cinque)	Guardare i quattro anelli legati tra loro: 	Alcuni sono ormoni, altri includono colesterolo, sali biliari, vitamina D, componenti delle membrane cellulari
	4. <i>Carotenoidi</i> . Pigmenti arancioni e gialli; consistono di unità isopreniche	Cercare le unità isopreniche. 	Il retinale (importante nella fotorecezione) e la vitamina A sono formati a partire da carotenoidi
Proteine C, H, O, N (di solito S)	Uno o più polipeptidi (catene di aminoacidi) avvolti e ripiegati in modi caratteristici	Cercare le unità aminoacidiche mediante legami C—N.	Funzionano come enzimi; componenti strutturali; proteine muscolari; emoglobina
Acidi nucleici C, H, O, N, P	Scheletro composto da un'alternanza di pentosi e fosfati, da cui si proiettano le basi azotate. Il DNA contiene come zucchero il desossiribosio e come basi la guanina, la citosina, l'adenina, e la timina. L'RNA contiene come zucchero il ribosio e come basi la guanina, la citosina, l'adenina e l'uracile. Ogni subunità molecolare, detta nucleotide, è formata da un pentoso, un fosfato ed una base azotata.	Cercare lo scheletro pento-sofosfato. Il DNA forma una doppia elica.	Conservazione, trasmissione ed espressione dell'informazione genetica.

← TABELLA 3-3 Classi di composti organici biologicamente importanti

Anche se le principali classi di molecole biologiche sembrano formare una gamma molto complessa, si possono distinguere immediatamente osservando le loro caratteristiche principali, che sono riassunte nella TABELLA 3-3.

Verifica

- Come potete distinguere uno zucchero pentoso da uno zucchero esoso? Un disaccaride da uno steroide? Un aminoacido da un monosaccaride? Un fosfolipide da un triacilglicerolo? Una proteina da un polisaccaride? Un acido nucleico da una proteina?

SOMMARIO: CONCENTRARI SUGLI OBBIETTIVI DI APPRENDIMENTO

3.1

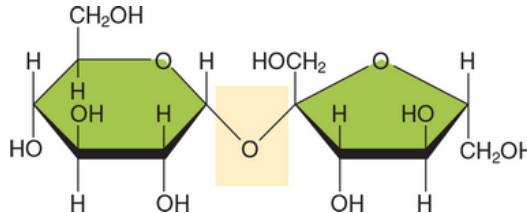
- Descrivere le proprietà del carbonio che lo rendono il componente principale dei composti organici.
 - Ogni atomo di carbonio può formare quattro legami covalenti con altri atomi; tali legami possono essere singoli, doppi o tripli. Gli atomi di carbonio possono formare catene lineari o ramificate oppure anelli. Il carbonio forma legami covalenti con un maggior numero di altri elementi rispetto ad ogni altro atomo.
- Definire il termine isomero e fare una distinzione tra i tre principali tipi di isomeri.
 - Gli isomeri sono composti che hanno la stessa formula molecolare ma strutture differenti.
 - Gli isomeri strutturali differiscono per la disposizione covalente dei loro atomi. Gli isomeri geometrici, o isomeri cis-trans, differiscono per la disposizione spaziale dei loro atomi. Gli

enantiomeri sono isomeri che sono immagini speculari l'uno dell'altro. Le cellule sono in grado di distinguere tali configurazioni.

3. Identificare i principali gruppi funzionali presenti nei composti organici e descrivere le loro proprietà.
 - Gli idrocarburi, composti organici costituiti solo da carbonio e idrogeno, sono apolari e idrofobici. Il gruppo metilico è un gruppo idrocarburico.
 - I gruppi funzionali polari e ionici interagiscono tra loro e sono idrofilici. Le cariche parziali su atomi che si trovano alle estremità opposte di un legame conferiscono al gruppo funzionale proprietà polari. I gruppi ossidrilico e carbonilico sono polari.
 - I gruppi carbossilico e fosfato sono acidi ed assumono carica negativa quando rilasciano ioni idrogeno. Il gruppo amminico è basico e diventa carico positivamente quando accetta uno ione idrogeno.
4. Spiegare che relazione c'è tra polimeri e macromolecole.
 - Lunghe catene di monomeri (composti organici simili), legati tra loro tramite reazioni di condensazione, sono dette polimeri. Grandi polimeri, come i polisaccaridi, le proteine e il DNA, sono definiti macromolecole. Le macromolecole possono essere scisse tramite reazioni di idrolisi.

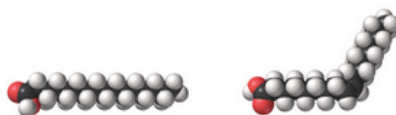
3.2

5. Distinguere i monosaccaridi, i disaccaridi e i polisaccaridi; paragonare i polisaccaridi di riserva con quelli strutturali.
 - I carboidrati contengono carbonio, idrogeno e ossigeno in un rapporto approssimativo di $1C:2H:1O$. I monosaccaridi sono zuccheri semplici, come il glucosio, il fruttosio e il ribosio. Due monosaccaridi possono legarsi con un legame glicosidico formando un disaccaride, come il maltosio o il saccarosio.
 - La maggior parte dei carboidrati è costituita da polisaccaridi, lunghe catene di unità ripetute di uno zucchero semplice. I carboidrati sono immagazzinati in modo tipico dalle piante sotto forma di amido e dagli animali sotto forma di glicogeno. Le pareti delle cellule vegetali sono costituite principalmente dal polisaccaride strutturale cellulosa.



3.3

6. Distinguere i grassi, i fosfolipidi e gli steroidi, descrivendo la composizione, le caratteristiche e le funzioni biologiche di ciascun gruppo.
 - I lipidi sono costituiti principalmente da regioni contenenti idrogeno e carbonio, con pochi gruppi funzionali contenenti ossigeno (polari o ionici). I lipidi hanno consistenza grassa o oleosa e sono relativamente insolubili in acqua.
 - I triacilgliceroli, la principale forma di deposito di grassi nell'organismo, sono costituiti da una molecola di glicerolo legata a tre acidi grassi. I monoacilgliceroli e i diacilgliceroli contengono uno e due acidi grassi, rispettivamente. Un acido grasso può essere saturo o insaturo.
 - I fosfolipidi sono componenti strutturali delle membrane cellulari. Un fosfolipide consiste in una molecola di glicerolo che lega ad un'estremità due acidi grassi e all'altra estremità un gruppo fosfato, legato a sua volta ad un composto organico come la colina.
 - Le molecole steroidee sono costituite da atomi di carbonio organizzati in quattro anelli condensati. Gli steroidi più importanti sono il colesterolo, i sali biliari ed alcuni ormoni.

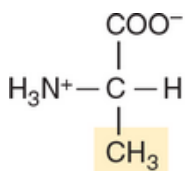


3.4

7. Fornire una descrizione completa della struttura e delle funzioni delle proteine.
 - Le proteine sono molecole grandi e complesse costituite da subunità più semplici, chiamate aminoacidi, unite tra loro da legami peptidici. Due aminoacidi si combinano per formare

un dipeptide . Una catena più lunga di aminoacidi è un polipeptide . Le proteine sono la classe più versatile di molecole biologiche, svolgendo una varietà di funzioni come enzimi , componenti strutturali e regolatori cellulari.

- Le proteine risultano dalla diversa organizzazione in sequenza di 20 aminoacidi.
8. Illustrare le caratteristiche comuni a tutti gli aminoacidi e spiegare in che modo essi vengono raggruppati in classi in base alle caratteristiche delle loro catene laterali.
- Tutti gli aminoacidi contengono un gruppo amminico ed un gruppo carbossilico. Gli aminoacidi differiscono tra loro nelle catene laterali, che ne determinano le proprietà chimiche - apolari, polari, acide o basiche. Gli aminoacidi generalmente esistono come ioni dipolari al pH cellulare e fungono da importanti tamponi biologici.
9. Fare una distinzione tra i quattro livelli di organizzazione delle molecole proteiche.
- La struttura primaria è la sequenza lineare di aminoacidi nella catena polipeptidica.
 - La struttura secondaria è una conformazione regolare, come una α -elica o un foglietto β -ripiegato ; essa è dovuta ai legami a idrogeno tra elementi dello scheletro aminoacidico.
 - La struttura terziaria è la forma complessiva delle catene polipeptidiche, determinata dalle proprietà chimiche e dalle interazioni delle catene laterali di aminoacidi specifici. I legami a idrogeno, i legami ionici, le interazioni idrofobiche e i ponti disolfuro contribuiscono tutti alla struttura terziaria.
 - La struttura quaternaria è determinata dall'associazione di due o più catene polipeptidiche.



3.5

10. Descrivere i componenti di un nucleotide. Elencare alcuni acidi nucleici e nucleotidi e discutere l'importanza di questi composti negli organismi viventi.
- Gli acidi nucleici DNA ed RNA , composti da lunghe catene di subunità nucleotidiche, immagazzinano e trasferiscono le informazioni che regolano la sequenza aminoacidica delle proteine e quindi la struttura e le funzioni di un organismo.
 - I nucleotidi sono costituiti da una base azotata a due anelli (purina) o a singolo anello (pirimidina), da uno zucchero a cinque atomi di carbonio (ribosio o deossiribosio) e da uno o più gruppi fosfato.
 - L' ATP (adenosina trifosfato) è un nucleotide particolarmente importante nel metabolismo energetico. Anche il NAD + è coinvolto nel metabolismo energetico per il suo ruolo di accettore di elettroni (idrogeno) nelle reazioni di ossido-riduzione biologiche.

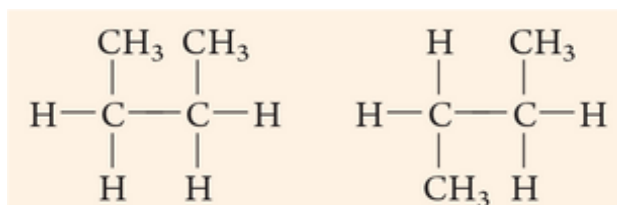
3.6

11. Paragonare le funzioni e la composizione chimica dei principali gruppi di composti organici: carboidrati, lipidi, proteine ed acidi nucleici.
- Riesaminare la Tabella 3-3 .

AUTOVERIFICHE

1. Il carbonio è adatto a costituire lo scheletro delle molecole organiche perché: (a) forma legami sia covalenti sia ionici; (b) i suoi legami covalenti sono disposti in modo non regolare nello spazio tridimensionale; (c) i suoi legami covalenti sono i più forti tra tutti i legami esistenti; (d) si può legare ad un gran numero di atomi diversi; (e) tutti i legami che forma sono polari.
2. Le strutture qui illustrate sono: (a) enantiomeri; (b) visioni differenti della stessa molecola; (c) isomeri geometrici (cistrans); (d) sia isomeri geometrici sia enantiomeri; (e) isomeri strutturali.

1. $-\text{CH}_3$
2. $-\text{CH}_2-\text{COO}^-$
3. $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_3^+$
4. $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COO}^-$
5. $-\text{CH}_2-\text{OH}$



3. Quale delle seguenti molecole è apolare? (a) Acqua (H_2O); (b) ammoniaca (NH_3); (c) metano (CH_4); (d) etano (C_2H_6); (e) più di una delle precedenti.
4. Il processo di sintesi con cui i monomeri sono legati covalentemente è chiamato: (a) idrolisi; (b) isomerizzazione; (c) condensazione; (d) legame glicosidico; (e) legame esterico.
5. Un monosaccaride classificato come zucchero aldeidico contiene: (a) un gruppo carbossilico terminale; (b) un gruppo carbossilico interno; (c) un gruppo carbonilico terminale; (d) un gruppo carbonilico interno; (e) un gruppo carbossilico terminale e un gruppo carbonilico interno.
6. I polisaccaridi strutturali tipicamente: (a) hanno numerosi legami a idrogeno tra molecole adiacenti; (b) sono molto più idrofilici rispetto ai polisaccaridi di riserva; (c) hanno legami covalenti molto più forti rispetto ai polisaccaridi di riserva; (d) sono costituiti da un'alternanza di unità di α -D-glucosio; (e) formano strutture elicoidali all'interno della cellula.
7. Gli acidi grassi saturi sono così chiamati perché saturati con: (a) idrogeno; (b) acqua; (c) gruppi ossidrilici; (d) glicerolo; (e) doppi legami.
8. Gli acidi grassi nei fosfolipidi e nei triacilgliceroli interagiscono tra loro tramite (a) ponti disolfuro (b) interazioni di van der Waals (c) legami covalenti (d) legami a idrogeno (e) gli acidi grassi non interagiscono tra loro.
9. Quali delle seguenti coppie di gruppi laterali di aminoacidi si associano più facilmente tra loro formando legami ionici?

1. $-CH_3$
2. $-CH_2-COO^-$
3. $-CH_2-CH_2-NH_3^+$
4. $-CH_2-CH_2-COO^-$
5. $-CH_2-OH$

(a) 1 e 2; (b) 2 e 4; (c) 1 e 5; (d) 2 e 5; (e) 3 e 4.

10. Quali dei seguenti livelli di struttura di una proteina possono essere influenzati dai legami a idrogeno? (a) Primaria e secondaria; (b) primaria e terziaria; (c) secondaria, terziaria e quaternaria; (d) primaria, secondaria e terziaria; (e) primaria, secondaria, terziaria e quaternaria.
11. Quali delle seguenti interazioni tra gruppi R sono le più forti? (a) Interazioni idrofobiche; (b) legami a idrogeno; (c) legami ionici; (d) legami peptidici; (e) ponti disolfuro.
12. Ciascun legame fosfodiesterico del DNA o dell'RNA comprende un gruppo fosfato legato mediante legami covalenti a: (a) due basi; (b) due zuccheri; (c) due ulteriori fosfati; (d) uno zucchero, una base e un fosfato; (e) uno zucchero e una base.

PENSIERO CRITICO

1. Così come l'ossigeno, lo zolfo forma due legami covalenti. Tuttavia, è di gran lunga meno elettronegativo; infatti, è elettronegativo circa come il carbonio. Come potrebbero essere alterate le proprietà delle varie classi di molecole biologiche se tutto l'ossigeno fosse sostituito con atomi di zolfo?
2. I legami a idrogeno e le interazioni di van der Waals sono molto più deboli dei legami covalenti; ciononostante sono fondamentali per gli organismi. Perché?
3. CONNESSIONE EVOLUTIVA. In che modo tutte le specie si assomigliano biochimicamente? Perché? Come fanno le specie a differire l'una dall'altra biochimicamente? Perché?
4. CONNESSIONE EVOLUTIVA. Il numero totale di sequenze aminoacidiche possibili per una catena polipeptidica è sbalorditivo. Dato che esistono 20 aminoacidi, potenzialmente potrebbero esistere 20¹⁰⁰ diverse sequenze aminoacidiche (un numero inverosimilmente elevato) solo per i polipeptidi costituiti da appena 100 aminoacidi. In realtà, il numero di polipeptidi diversi presenti negli organismi è solo una piccolissima frazione di esso. Come mai?
5. CONNESSIONE EVOLUTIVA. Ogni aminoacido potrebbe potenzialmente esistere in forma di uno di due possibili enantiomeri, noti come forma D e forma L (sulla base della disposizione dei gruppi legati al carbonio α asimmetrico). Tuttavia, nelle proteine di tutti gli organismi sono presenti soltanto gli L-aminoacidi. Cosa suggerisce questo relativamente all'evoluzione delle proteine?