

LE BIOMOLECOLE

Negli esseri viventi sono presenti quattro tipi di molecole caratteristiche: le **proteine**, i **carboidrati**, i **lipidi** e gli **acidi nucleici**.

Tali molecole biologiche, o **biomolecole**, sono molto diverse dalle piccole molecole che si trovano nell'atmosfera o nelle rocce; la loro caratteristica principale è di essere composti organici, cioè **del carbonio**.

Il carbonio può formare catene carboniose anche di **migliaia di atomi**.

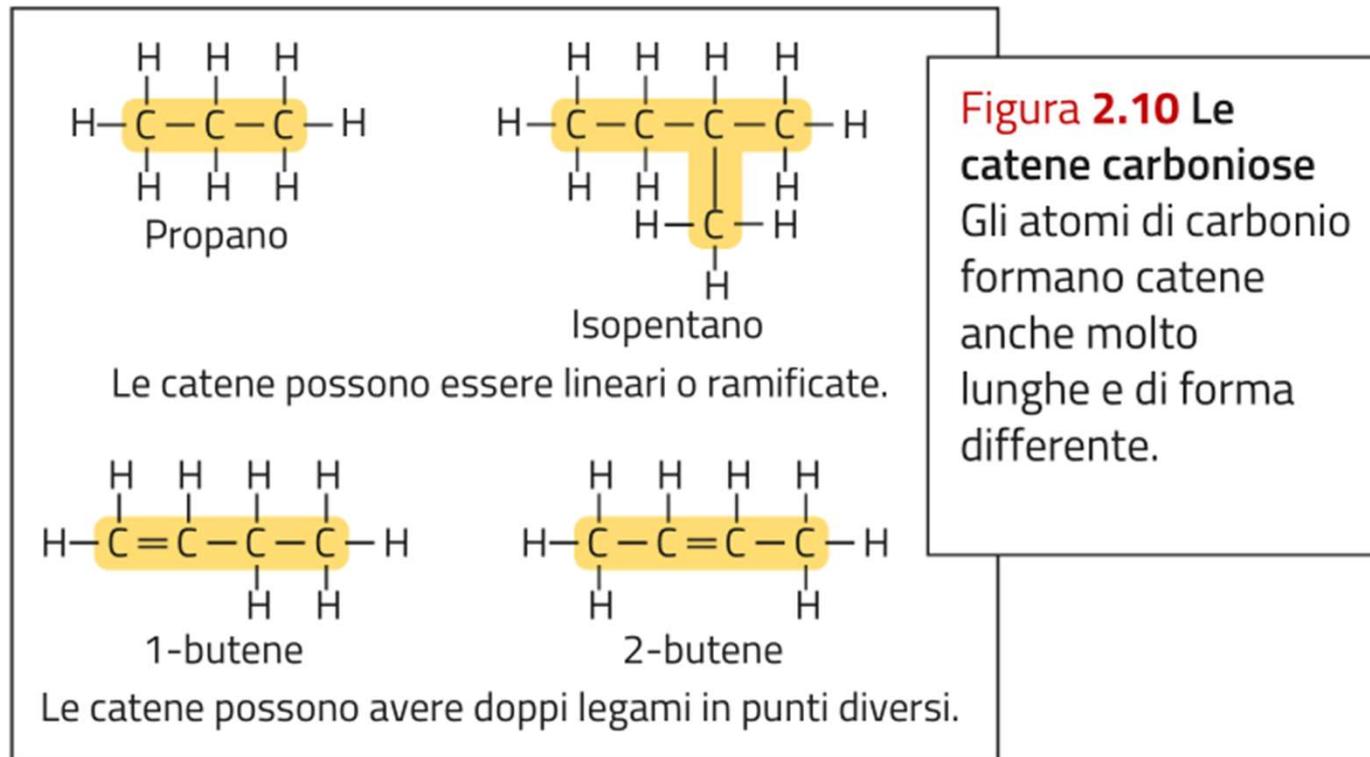
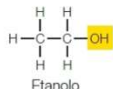



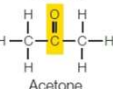

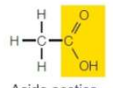

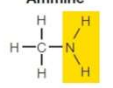

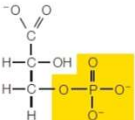
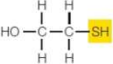

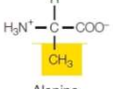


Figura 2.10 Le catene carboniose
Gli atomi di carbonio formano catene anche molto lunghe e di forma differente.

Gruppo funzionale	Classi di composti con relativi esempi	Proprietà
Ossidrile $\text{R}-\text{OH}$	Alcoli  Etanolo	Polare. Stabilisce legami idrogeno con l'acqua, rendendo le molecole idrosolubili. Facilita il legame con altre molecole mediante reazioni di condensazione.
Aldeide 	Aldeidi  Acetaldeide	Polare. Il gruppo C=O è fortemente reattivo. Importante nelle sintesi molecolari e nelle reazioni che liberano energia.
Chetone 	Chetoni  Acetone	Polare. Il gruppo C=O è importante nei carboidrati e nelle reazioni energetiche.
Carbossile 	Acidi carbossilici  Acido acetico	Conferisce carattere acido. Nei tessuti viventi va incontro a ionizzazione e forma $-\text{COO}^-$ e H^+ . Partecipa alle reazioni di condensazione liberando un gruppo $-\text{OH}$. Alcuni acidi carbossilici sono importanti nelle reazioni che rilasciano energia.
Amminico 	Ammine  Metilammina	Conferisce carattere basico. Nei tessuti viventi funge da accettore di H^+ formando $-\text{NH}_3^+$. Partecipa alle reazioni di condensazione cedendo H^+ .
Fosfato 	Fosfati organici  3-Fosfoglicerato	Ha carica negativa. Conferisce carattere acido. Partecipa alle reazioni di condensazione cedendo $-\text{OH}$. Se legato a un altro fosfato, l'idrolisi rilascia molta energia.
Sulfidrile $\text{R}-\text{SH}$	Tioli  Mercaptoetanolo	Cedendo H, due gruppi $-\text{SH}$ possono formare un ponte disolfuro che stabilizza la struttura di una proteina.
Metile 	Alchile  Alanina	Non polare. Importante per le interazioni con altre molecole non polari e nei trasferimenti di energia.

I GRUPPI FUNZIONALI

Certi piccoli raggruppamenti di atomi, chiamati **gruppi funzionali**, ricorrono spesso nelle molecole biologiche.

Ogni gruppo funzionale ha proprietà chimiche specifiche e, se fa parte di una molecola più grande, le conferisce tali proprietà.

Tutti i composti organici appartenenti alla classe degli **alcoli** sono caratterizzati dalla presenza del **gruppo ossidrilico** o ossidrile.

Gli **acidi carbossilici** sono composti caratterizzati dalla presenza del **gruppo carbossilico**; in soluzione acquosa, questo gruppo funzionale libera ioni idrogeno H^+

Figura 3.1 Gruppi funzionali importanti per i sistemi viventi La figura evidenzia in giallo gli otto gruppi funzionali che si trovano più comunemente nelle molecole biologiche. «R» rappresenta un gruppo chimico di natura variabile.

▶ Attività 3.1 **Gruppi funzionali Functional Groups**

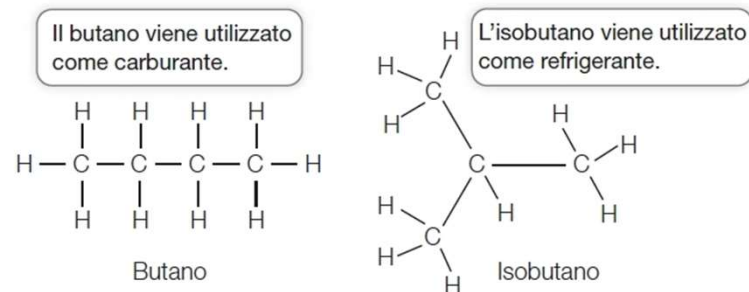
▶ Animazione 3.1 **Proteine, carboidrati e lipidi Proteins, Carbohydrates, and Lipids**

GLI ISOMERI

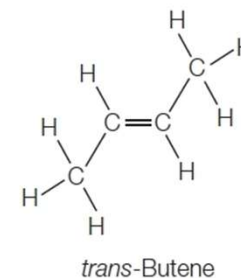
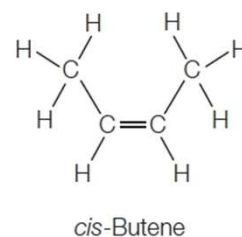
Gli **isomeri** sono molecole composte dagli stessi atomi legati in modo diverso.

L'**isomeria di struttura** riguarda la disposizione degli atomi di carbonio nella catena carboniosa, oppure la posizione e il numero di legami tra gli atomi di carbonio, o infine la posizione dei gruppi funzionali.

(A) Isomeri strutturali



(B) Isomeri *cis-trans*



(C) Isomeri ottici

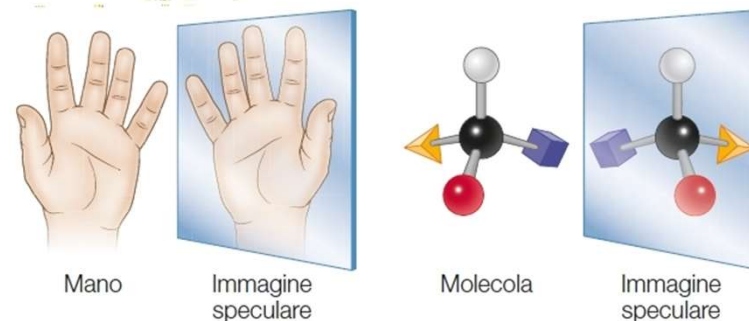


Figura 3.2 Isomeri Gli isomeri hanno la stessa formula chimica, ma gli atomi sono disposti diversamente. Ogni isomero di una coppia ha proprietà chimiche diverse dall'altro.

Le biomolecole sono costituite da catene carboniose unite a uno o più gruppi funzionali che conferiscono loro specifiche proprietà.

Le molecole biologiche sono di norma **molto grandi** e contengono un numero elevatissimo di atomi: per questo motivo sono dette **MACROMOLECOLE**

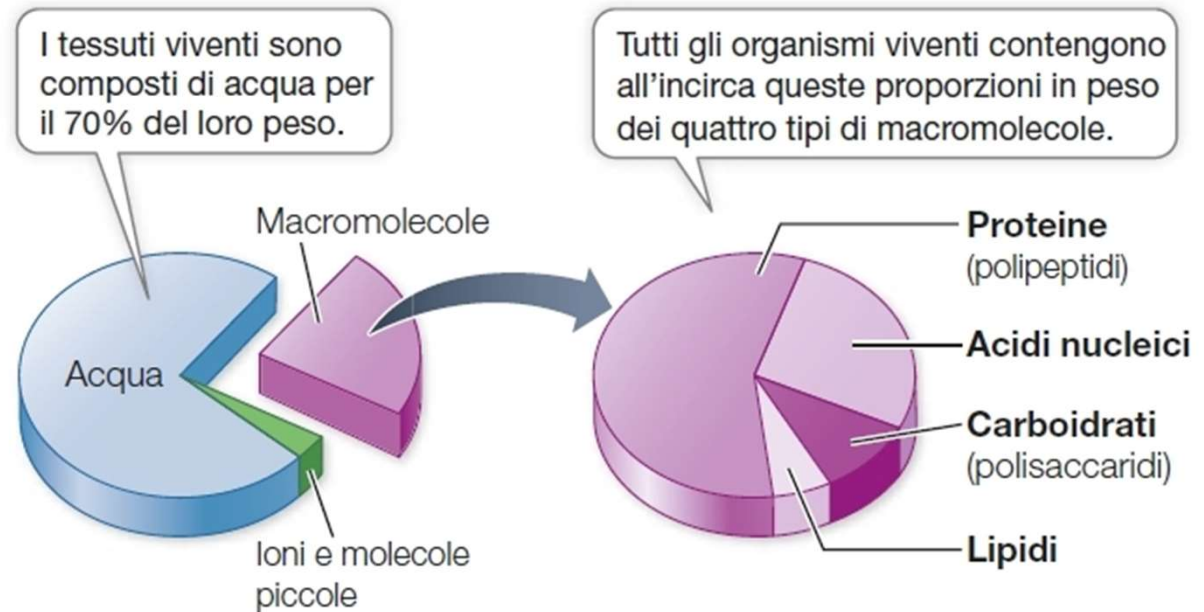


Figura 3.3 Sostanze presenti nei tessuti viventi Le sostanze mostrate qui costituiscono la parte non minerale dei tessuti viventi (l'osso sarebbe un esempio di tessuto con una forte componente minerale).

La maggior parte delle macromolecole biologiche sono polimeri risultanti dall'assemblaggio di molecole più piccole dette **monomeri**. Ciascun polimero biologico è formato da monomeri tutti strutturalmente simili, come un muro formato da tanti mattoni. Tra le biomolecole, sono polimeri:

- i **polisaccaridi**, zuccheri complessi formati da catene di monosaccaridi;
- le **proteine**, formate da catene ripiegate di amminoacidi;
- gli **acidi nucleici**, formati da catene di nucleotidi.

Non sono polimeri i **lipidi** che comprendono molecole di struttura e dimensioni molto varie.



Figura 3.9 Il β -carotene è una fonte di vitamina A. La molecola di questo carotenoide è simmetrica rispetto al doppio legame centrale; quando tale legame si spezza, si generano due molecole di vitamina A. La colorazione arancio delle carote e di altri vegetali è dovuta alla presenza di carotenoidi.

Figura 3.2 I monosaccaridi. Gli zuccheri più semplici, i monosaccaridi, sono costituiti da un numero variabile di atomi di carbonio. Alcuni esosi sono isomeri di struttura che contengono lo stesso tipo e numero di atomi disposti diversamente. Per esempio, il fruttosio è un esoso, ma forma un anello a cinque atomi come i pentosi.

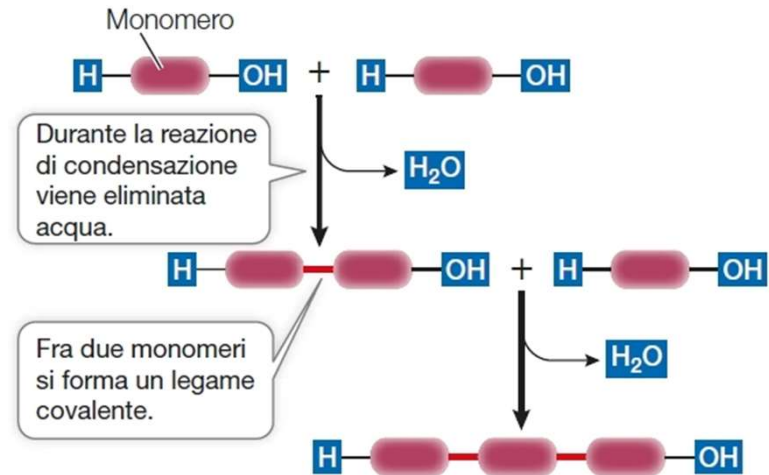


Figura 3.5 **Isolante termico**. Trichechi, foche, orsi e altri animali che vivono in zone polari presentano spessi strati di grasso che li proteggono dal freddo.

I polimeri si formano dai monomeri attraverso una serie di reazioni di **condensazione** che hanno come risultato la formazione di un legame covalente fra due monomeri e la **perdita di una molecola d'acqua** per ogni legame covalente formato.

L'inverso di una reazione di condensazione è una reazione di **idrolisi**. Le reazioni di idrolisi **scindono i polimeri** e producono **monomeri**. Così, all'interno degli esseri viventi, **il legame fra monomeri si può formare e spezzare**.

(A) Reazioni di condensazione che producono acqua



(B) Reazioni di idrolisi che consumano acqua

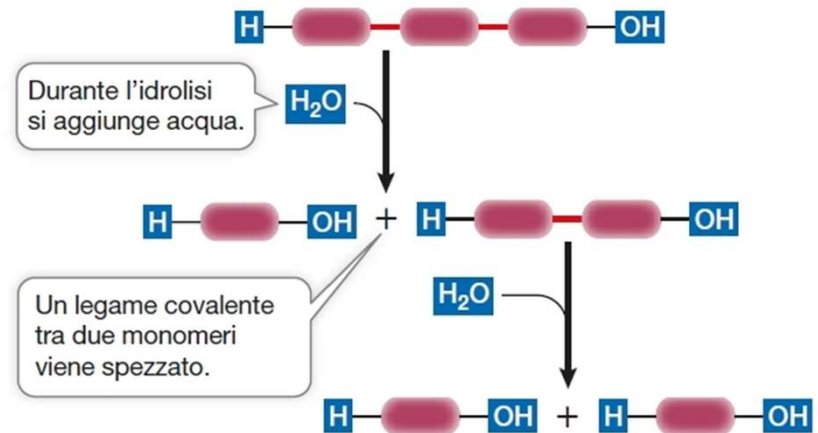
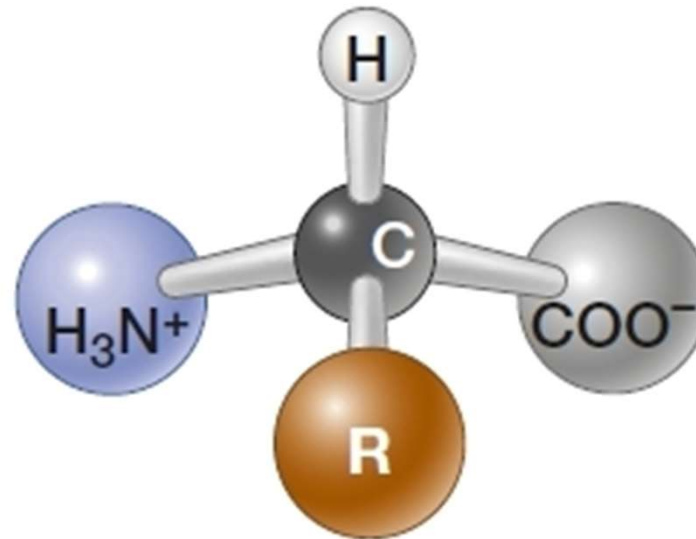
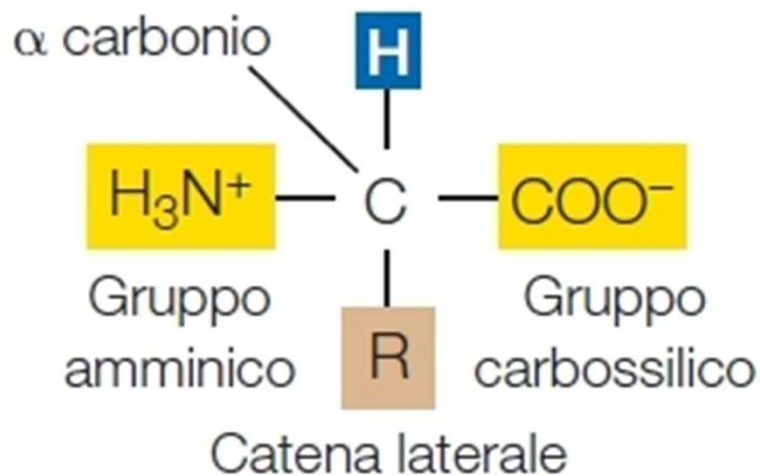


Figura 3.4 Condensazione e idrolisi di polimeri (A) Le reazioni di condensazione legano unità monomeriche in modo da formare polimeri, con produzione di acqua. (B) L'idrolisi scinde i polimeri nei singoli monomeri tramite reazioni che consumano acqua.

LE PROTEINE

Le **proteine** sono polimeri formati da monomeri detti amminoacidi, uniti a formare lunghe catene chiamate **catene polipeptidiche**, come le perle di una collana. Una singola proteina è formata da **1 o più catene polipeptidiche** ripiegate su sé stesse fino ad assumere una precisa **struttura tridimensionale**. La composizione di una proteina è determinata dalla quantità relativa dei vari amminoacidi che contiene.

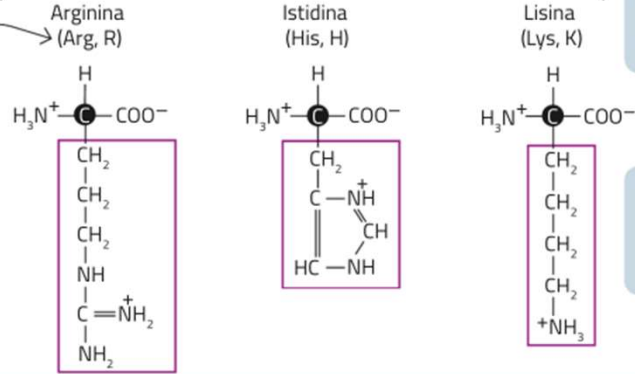


AMMINOACIDI CON CATENE LATERALI IDROFILICHE E DOTATE DI CARICA ELETTRICA

GLI AMMINOACIDI

Gli **amminoacidi** sono indicati sia dall'abbreviazione a tre lettere sia da quella a lettera singola.

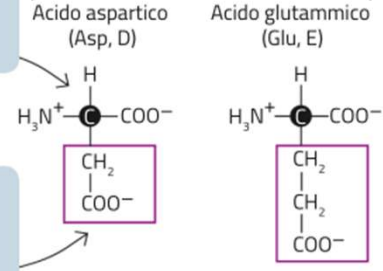
Carica positiva \oplus



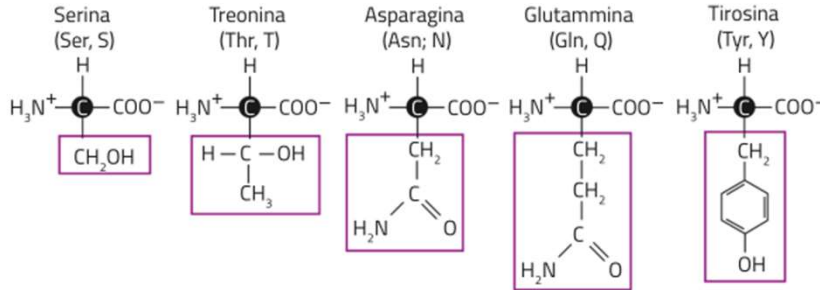
La struttura generale è la stessa in tutti gli amminoacidi...

... ma la catena laterale è differente in ognuno.

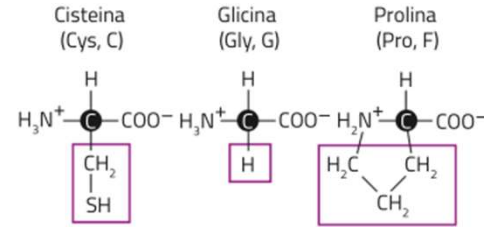
Carica negativa \ominus



AMMINOACIDI CON CATENE LATERALI POLARI MA PRIVE DI CARICA (IDROFILICHE)



CASI SPECIALI



AMMINOACIDI CON CATENE LATERALI APOLARI IDROFOBICHE

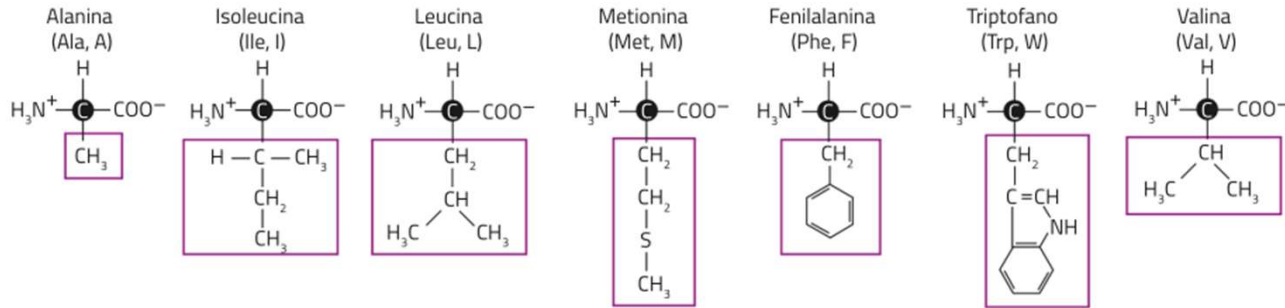


Figura 3.13 La struttura degli amminoacidi. I venti amminoacidi che si trovano nelle cellule si possono raggruppare e distinguere in base ai loro gruppi R.

CARATTERISTICHE DEGLI AMINOACIDI

Il gruppo R della **cisteina** presenta un gruppo terminale $-SH$ e può reagire con la catena laterale di un'altra cisteina, formando un legame covalente tra i due atomi di zolfo detto **ponte disolfuro** ($-S-S-$).

I ponti disolfuro contribuiscono a determinare il modo in cui si **ripiega la proteina**.

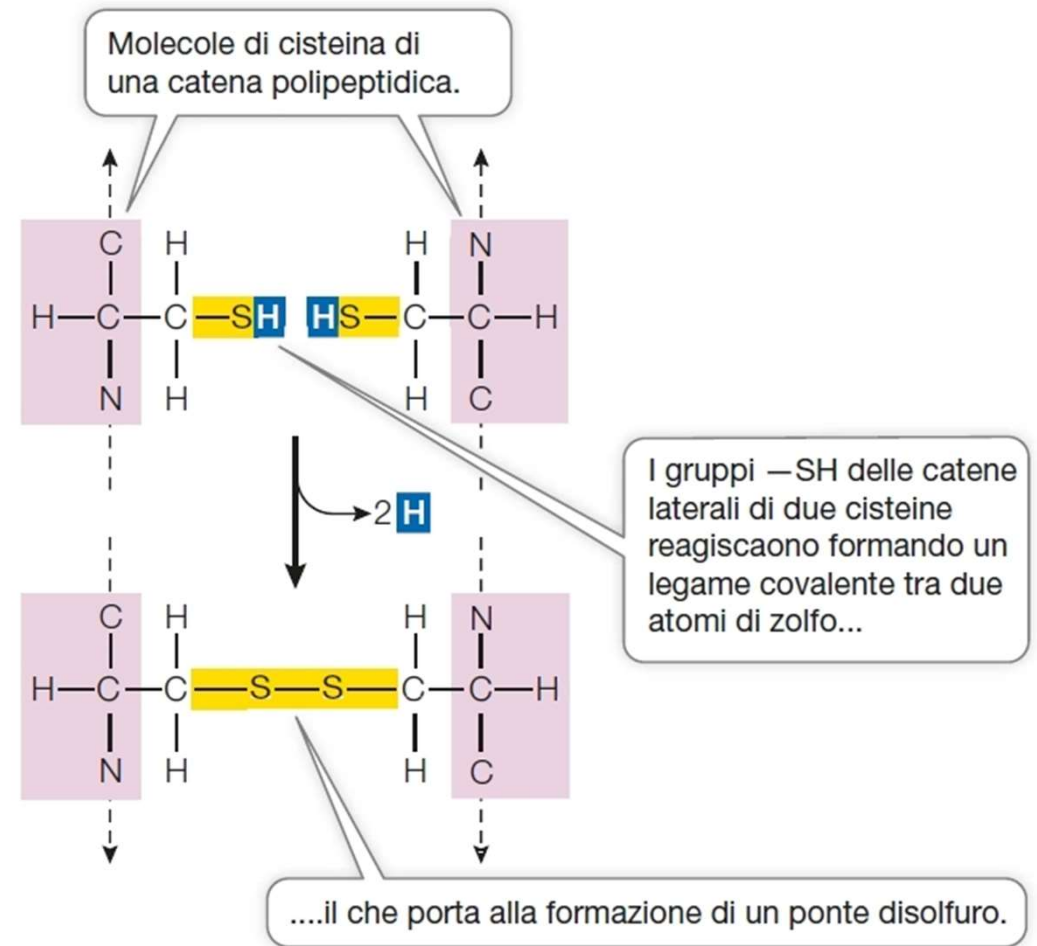


Figura 3.5 Un ponte disolfuro Due molecole di cisteina nella stessa catena polipeptidica possono formare un ponte disolfuro ($-S-S-$) per ossidazione (rimozione di atomi di H).

Le catene polipeptidiche sono **polimeri** formati da **amminoacidi** che si uniscono per **condensazione**.

I gruppi che partecipano alla reazione sono il **gruppo amminico** e il **gruppo carbossilico** legati al carbonio α .

Durante la reazione viene eliminata una molecola d'acqua e si forma un legame covalente tra il gruppo **C=O** di un amminoacido e il gruppo **N-H** dell'amminoacido vicino: questo legame è chiamato **legame peptidico**.

La **struttura primaria** corrisponde alla **sequenza degli amminoacidi** lungo la catena polipeptidica, da cui derivano tutti i successivi livelli strutturali.

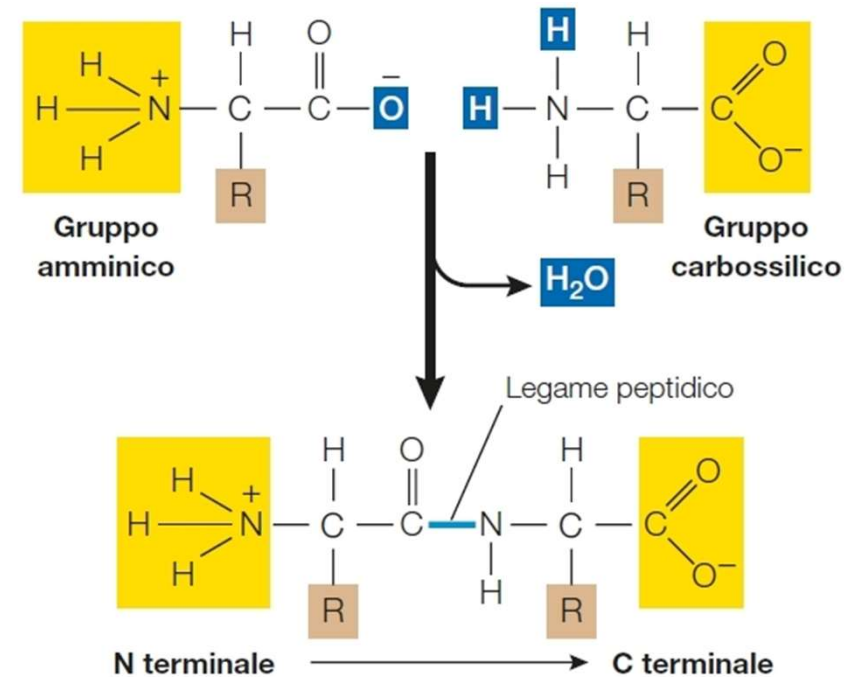


Figura 3.6 **Formazione di legami peptidici** Negli organismi viventi la reazione che porta alla formazione di un legame peptidico implica molti passaggi intermedi, ma i reagenti e i prodotti sono gli stessi rappresentati in questo schema semplificato.

► **FIGURA CHIAVE**

Livello	Descrizione	Stabilizzato da	Esempio
(A) Struttura primaria	Monomeri di aminoacidi sono uniti a formare catene polipeptidiche.	Legame peptidico.	<p>Monomeri di aminoacidi Legame peptidico</p>
(B) Struttura secondaria	Le catene polipeptidiche possono formare α eliche o foglietti β .	Legame idrogeno.	<p>foglietto β α elica</p> <p>Amminoacido Legame idrogeno</p>
(C) Struttura terziaria	I polipeptidi si ripiegano, dando origine a forme specifiche.	Legami idrogeno; ponti disolfuro; interazioni idrofobiche.	<p>foglietto β Legame peptidico</p> <p>α elica Ponte disolfuro</p>
(D) Struttura quaternaria	Due o più polipeptidi possono aggregarsi formando grandi molecole proteiche.	Legami idrogeno; ponti disolfuro; interazioni idrofobiche; interazioni ioniche.	<p>Subunità 1 Subunità 2</p> <p>Subunità 3 Subunità 4</p>

Figura 3.7 I quattro livelli della struttura proteica Le strutture secondaria, terziaria, e quaternaria derivano tutte dalla struttura primaria della proteina.



Se una proteina viene lentamente riscaldata per rompere i legami idrogeno, quale livello (o livelli) della struttura rimarrà intatto? E perché?

La **struttura secondaria** di una proteina è dovuta a ripiegamenti regolari della catena polipeptidica, tenuti in sede da legami a idrogeno. Esistono due tipi di struttura secondaria: l' **α elica** e il **foglietto β** . Nella struttura ad α elica la catena polipeptidica è avvolta a formare una spirale destrorsa (come la filettatura di una vite) con i gruppi R che sporgono dall'ossatura dell'elica. → legami a idrogeno tra C=O di un amminoacido e N-H di un altro.

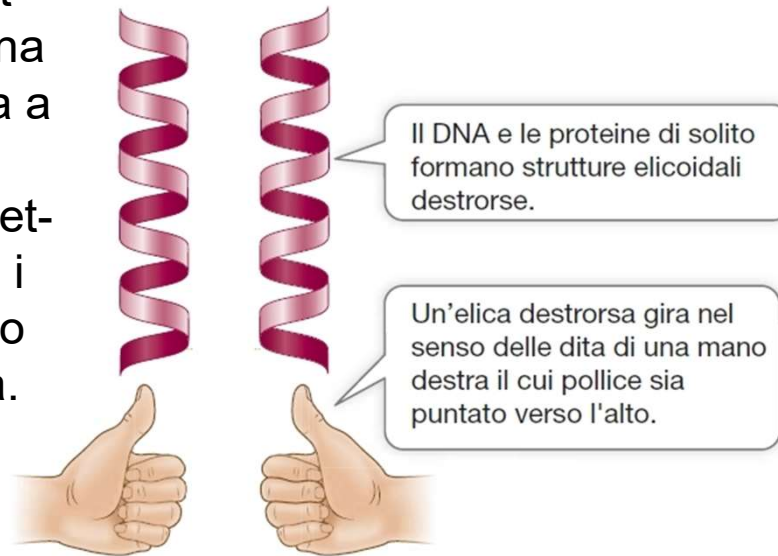
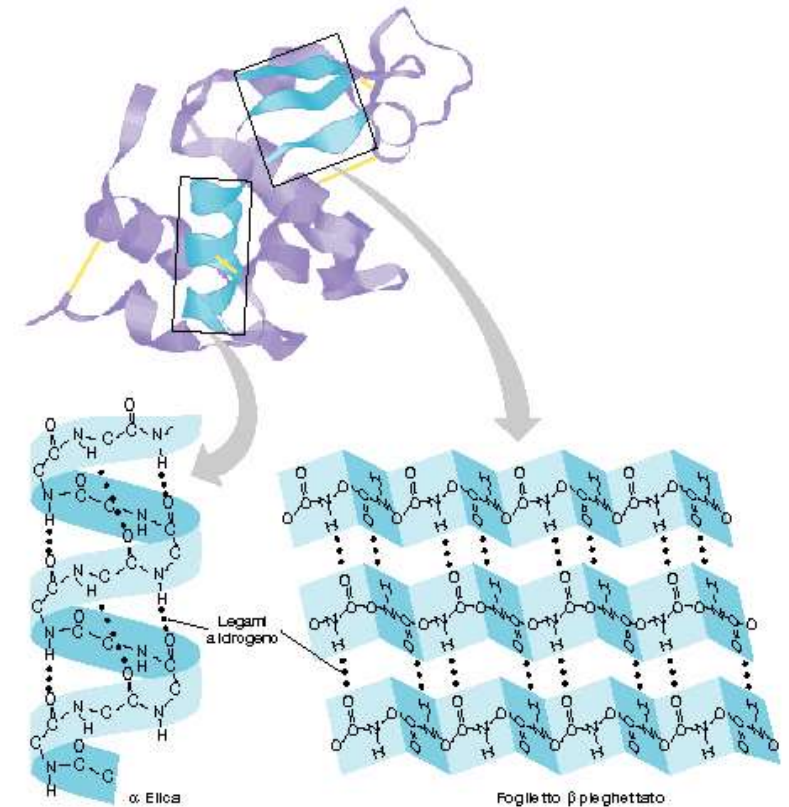


Figura 3.8 Strutture elicoidali sinistrorse e destrorse Una proteina presenta spesso uno o più tratti elicoidali destrorsi come parte della struttura secondaria.



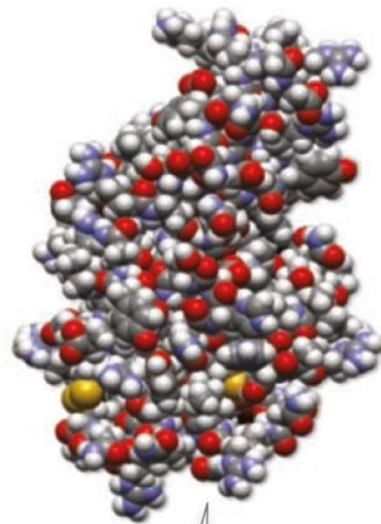
Il **foglietto β** si forma a partire da due o più catene polipeptidiche distese che si affiancano parallelamente l'una all'altra. Il foglietto è tenuto insieme da legami a idrogeno tra i gruppi N–H di una catena e i gruppi C=O dell'altra.
 La **struttura terziaria** è il modo in cui i segmenti della proteina con diverse strutture secondarie si ripiegano su sé stessi **nello spazio**.

Figura 3.9 Tre rappresentazioni del lisozima Rappresentando in vari modi una molecola proteica, si mettono in evidenza aspetti diversi della sua struttura terziaria: i contorni della superficie, i siti in cui si curva e si ripiega o i siti dove predominano le strutture alfa o beta. Queste tre rappresentazioni del lisozima sono orientate nello stesso modo.

? Sai identificare le regioni della proteina che sono idrofiliche? E quelle idrofobiche?

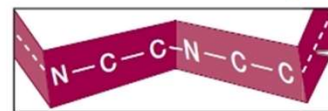
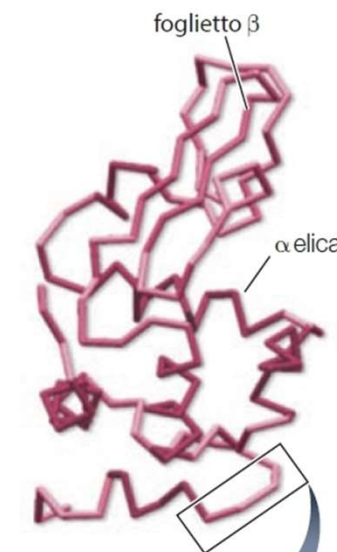
Media Clip 3.1 Strutture proteiche in 3D
Protein Structures in 3D

(A) Modello a spazio pieno



Una rappresentazione realistica del lisozima mostra che i suoi atomi riempiono molto densamente lo spazio.

(B) Modello a bastoncini



(C) Modello a nastro

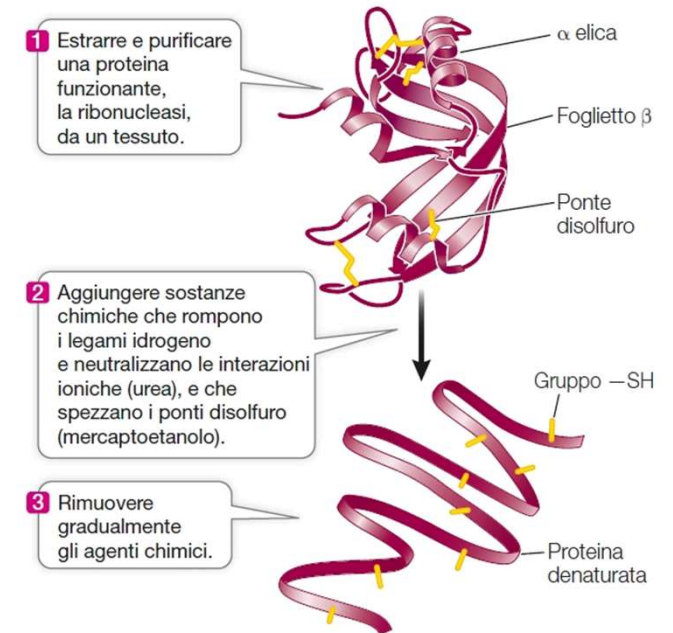


L'ossatura del lisozima consiste di una serie ripetitiva di unità N–C–C tante quanti sono gli amminoacidi.

La **struttura terziaria** di una proteina → le interazioni tra i gruppi R degli amminoacidi che la compongono.

- Fra le catene laterali di molecole di cisteina si possono formare **ponti disolfuro covalenti**.
- Le catene laterali **idrofobiche** tendono a posizionarsi all'**interno della proteina**, lontano dall'acqua .
- Tra catene laterali cariche positivamente e negativamente all'interno della proteina si possono formare **legami ionici**.
- Alla stabilizzazione dei ripiegamenti di una proteina contribuiscono, infine, anche i **legami a idrogeno** fra catene laterali idrofile.

Figura 3.10A La struttura primaria determina la struttura terziaria



RISULTATI

In seguito alla rimozione delle sostanze denaturanti, la struttura tridimensionale si ripristina e la proteina torna a essere funzionante.

CONCLUSIONI

Nelle condizioni normalmente presenti nelle cellule, la struttura primaria di una proteina specifica il modo in cui essa si ripiega in una struttura tridimensionale funzionante.



La **struttura quaternaria** deriva dal modo in cui le varie subunità che costituiscono una proteina si legano e interagiscono tra loro.

La proteina emoglobina, qui mostrata in un modello a nastro (A) e in un modello spazio pieno (B), consiste di quattro subunità polipeptidiche che si assemblano nella struttura quaternaria.

Le subunità sono uguali a due a due e sono indicate con colori diversi (blu per la α e verde per la β). I gruppi eme, in rosso, contengono ferro e sono i siti di legame per l'ossigeno.

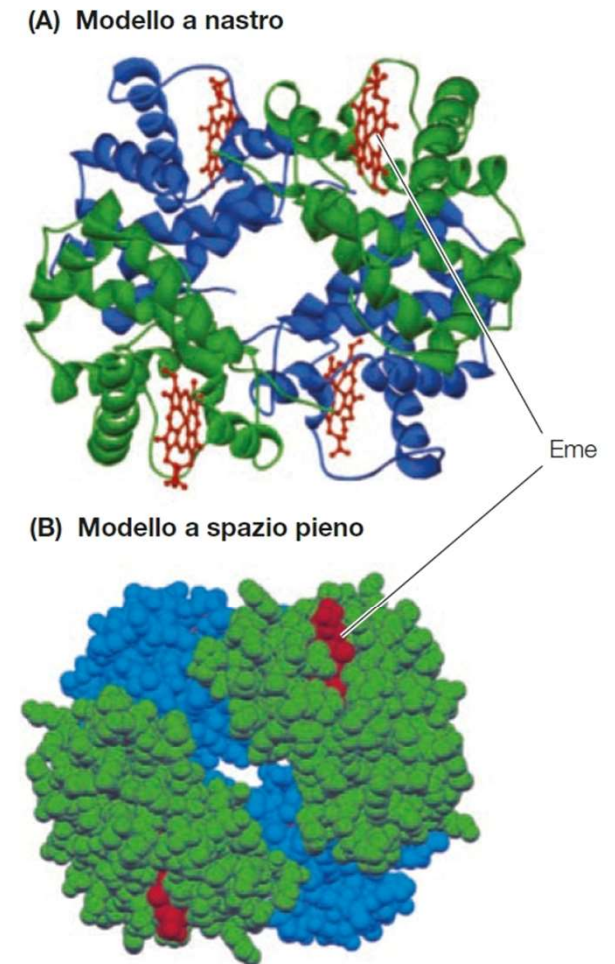


Figura 3.11 **Struttura quaternaria di una proteina** L'emoglobina consiste di quattro subunità polipeptidiche che si aggregano nella struttura quaternaria rappresentata nei modelli a nastro (A) e a spazio pieno (B). In entrambe le rappresentazioni grafiche, ogni tipo di subunità ha un colore diverso (le subunità α sono azzurre e le subunità β sono verdi). I gruppi eme (in rosso) contengono ferro e sono i siti di trasporto dell'ossigeno.

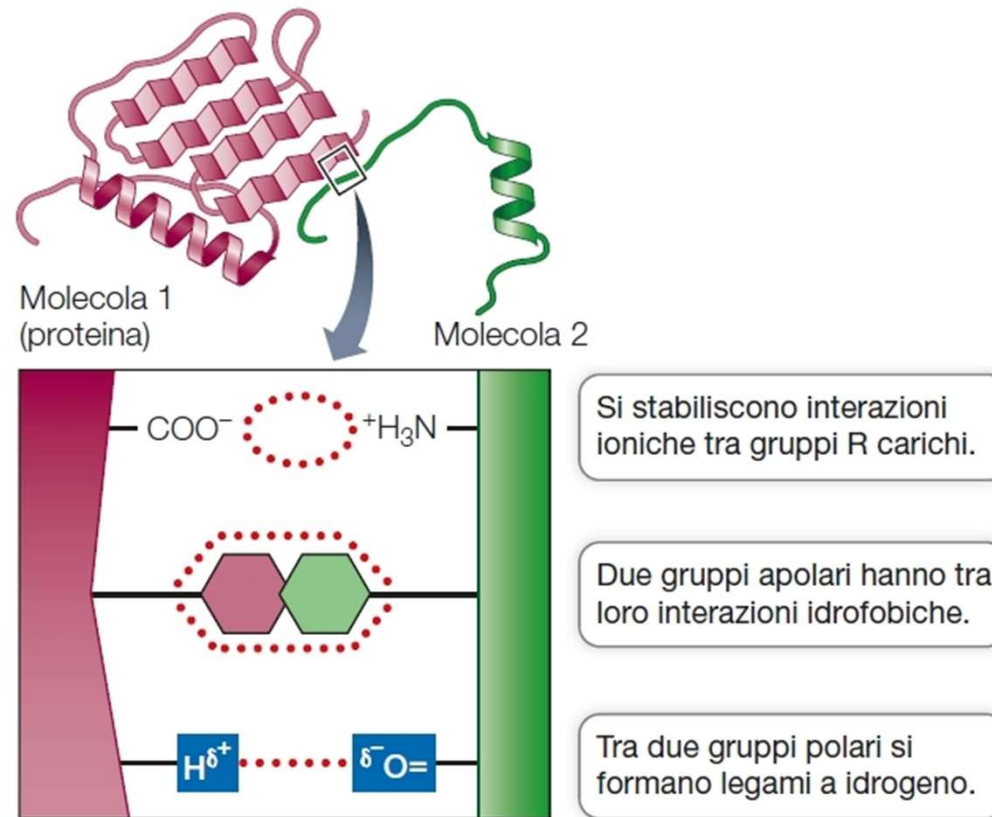


Figura 3.12 Interazioni non covalenti tra proteine e altre molecole Le interazioni non covalenti (▶ pp. 53 e 54 consentono a una proteina (in magenta) di stabilire un legame forte con un'altra molecola (verde) dotata di proprietà specifiche. Interazioni non covalenti si stabiliscono anche tra regioni diverse di una stessa proteina.

? Perché queste interazioni sono sensibili al calore?
Suggerimento: ▶ Tabella 2.1.

La struttura tridimensionale di una proteina dipende da interazioni deboli che si instaurano tra gli amminoacidi; di conseguenza, è molto sensibile alle condizioni ambientali come la temperatura e l'acidità.

Riscaldando una proteina, il calore romperà i legami deboli responsabili della struttura secondaria e quella terziaria, modificando la forma e la funzione della molecola: a questo punto, si dice che una **proteina si è denaturata**.

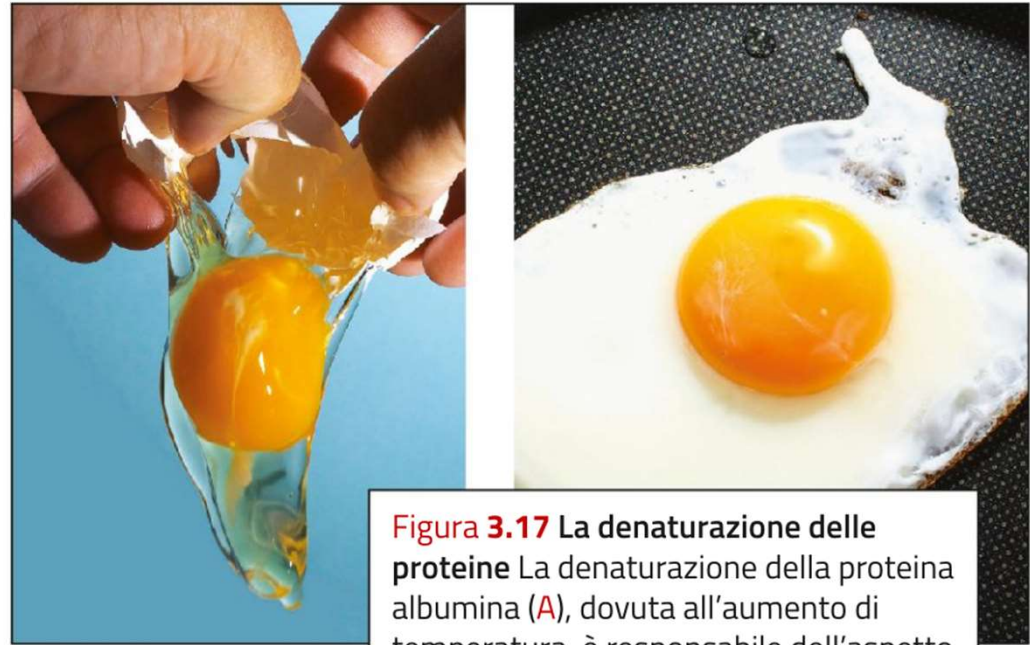


Figura 3.17 La denaturazione delle **proteine** La denaturazione della proteina albumina (A), dovuta all'aumento di temperatura, è responsabile dell'aspetto dell'uovo cotto (B); in questo caso si tratta di un processo irreversibile.

La maggior parte delle proteine interagisce con altre molecole più piccole alle quali si lega con un meccanismo «a incastro» simile a quello di una chiave che entra nella sua serratura.

Come sappiamo, ogni chiave ha la forma adatta per fare scattare una sola serratura.

Le proteine però non sono rigide come una serratura, ma presentano una notevole flessibilità; per questo in realtà, durante il legame, esse adattano la loro conformazione per ottimizzare l'interazione con l'altra molecola.

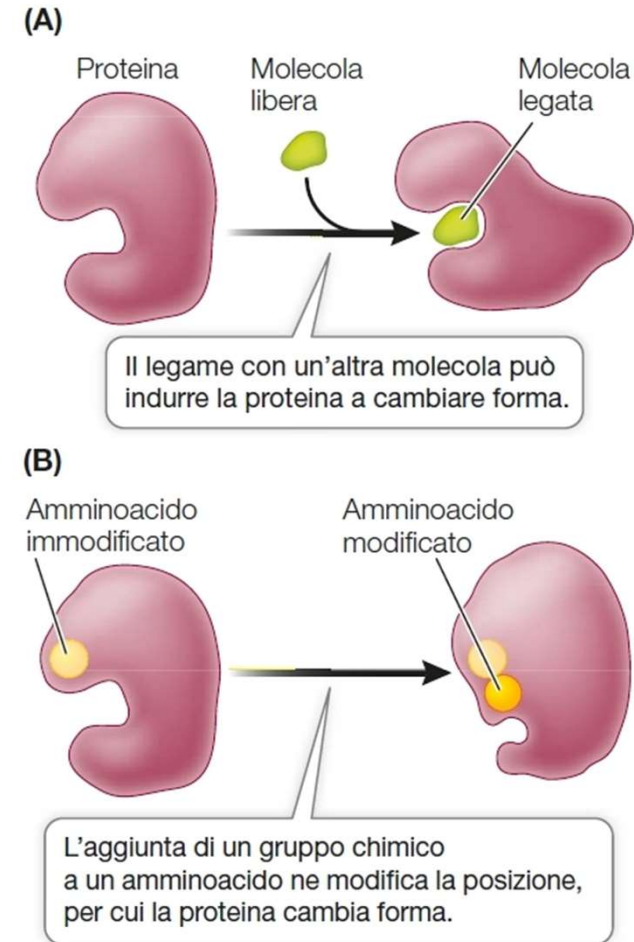


Figura 3.13 La struttura delle proteine può cambiare

Le proteine possono cambiare a livello di struttura terziaria quando si legano ad altre molecole (A) o quando vanno incontro a modificazioni chimiche (B).

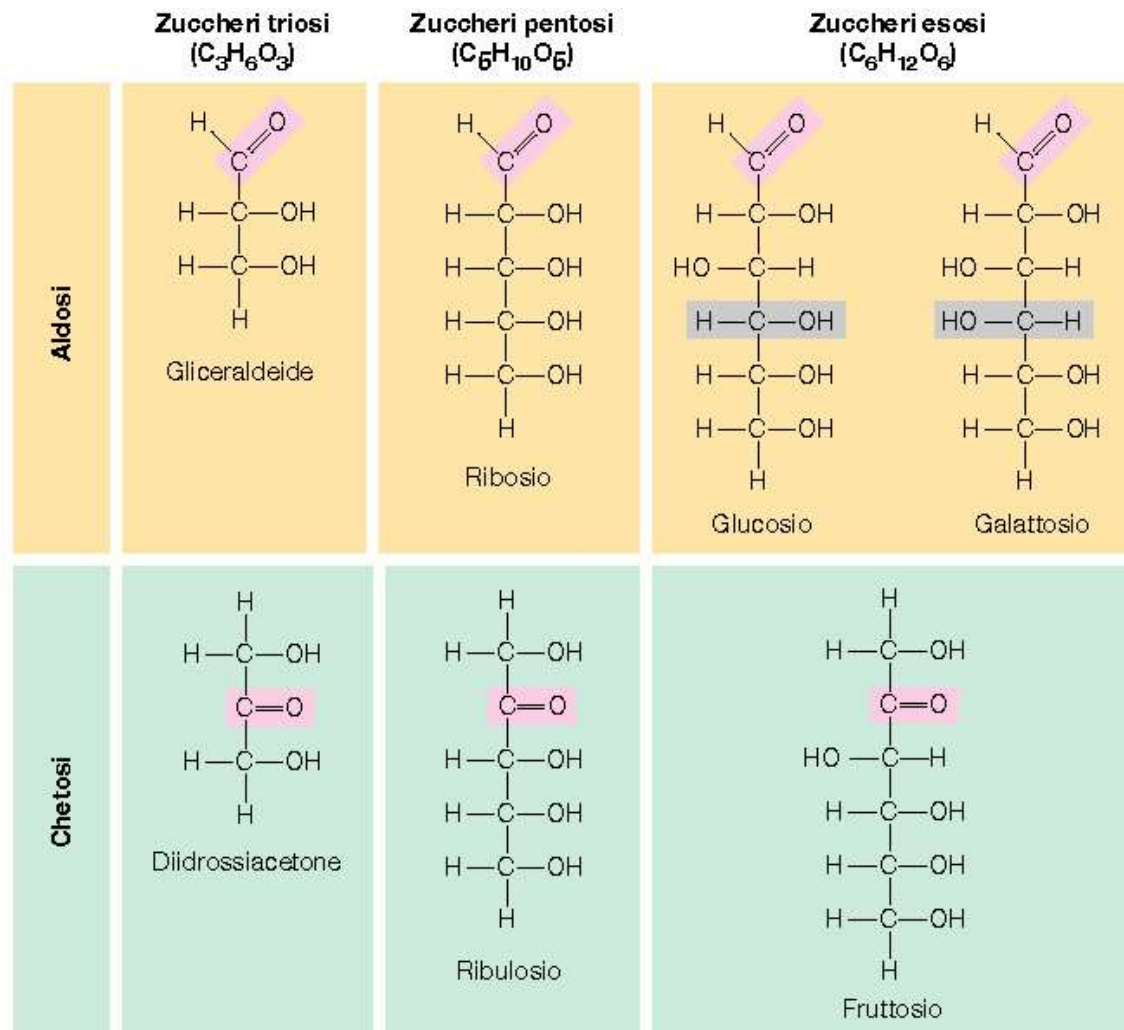
I CARBOIDRATI

Le categorie di **carboidrati** biologicamente importanti sono 4:

1. i **monosaccaridi** , molecole di piccole dimensioni che contengono da tre a sette atomi di carbonio → il glucosio;
2. i **disaccaridi** sono formati da due monosaccaridi tenuti insieme da un legame covalente → saccarosio;
3. gli **oligosaccaridi** contengono da 3 a 20 monosaccaridi → meleccitiosio è un trisaccaride presente nella linfa degli alberi e miele;
4. i **polisaccaridi** → amido e cellulosa, sono polimeri di grandi dimensioni, formati da centinaia o migliaia di monosaccaridi.



1 GRUPPO CARBONILICO E PIU GRUPPI OSSIDRILICI
 A SECONDA DELLA POSIZIONE DEL GRUPPO CARBONILICO:



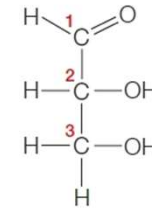
GLUCOSIO E GALATTOSIO
 DIFFERISCONO SOLO PER LA DISPOSIZIONE DEI GRUPPI AL CARBONIO 4: FORME MOLECOLARI E COMPORTAMENTI CHIMICI DIVERSI

GLUCOSIO GALATTOSIO FRUTTOSIO:
ISOMERI DI STRUTTURA
STESSA FORMULA
 $C_6H_{12}O_6$

I **monosaccaridi** hanno una composizione e una struttura caratteristiche:

- hanno una catena carboniosa che contiene da **3 a 7 atomi di carbonio**;
- un atomo di carbonio porta il gruppo carbonilico (C=O);
- tutti gli altri atomi di carbonio portano un gruppo ossidrilico (-OH).

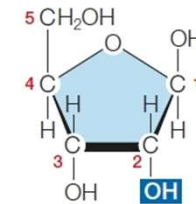
Zucchero a tre atomi di carbonio



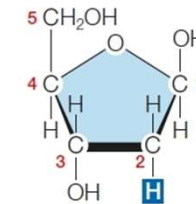
La gliceraldeide è il monosaccaride più piccolo ed esiste solo nella conformazione a catena aperta.

Gliceraldeide

Zuccheri a cinque atomi di carbonio (pentosi)



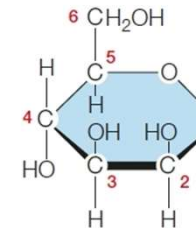
Ribosio



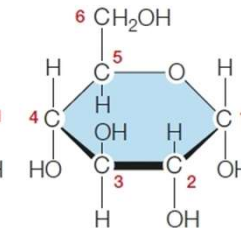
Deossiribosio

Il ribosio e il deossiribosio hanno cinque atomi di carbonio ciascuno, ma proprietà chimiche e compiti biologici molto diversi.

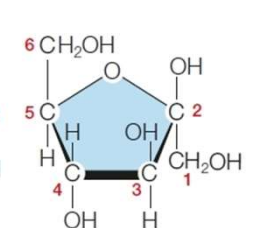
Zuccheri a sei atomi di carbonio (esosi)



α -Mannosio



α -Glucosio



Fruttosio

Questi esosi sono isomeri strutturali. Hanno tutti formula $C_6H_{12}O_6$, ma ognuno ha proprietà biochimiche distinte.

Figura 3.16 I monosaccaridi sono zuccheri semplici

I monosaccaridi sono composti di atomi di carbonio in numero variabile. Alcuni esosi sono isomeri strutturali che hanno lo stesso tipo e numero di atomi, ma gli atomi sono disposti diversamente. Per esempio il fruttosio è un esoso, ma forma un anello a cinque atomi di carbonio come i pentosi.

I **monosaccaridi** sono gli zuccheri più semplici; comprendono i pentosi come il **ribosio** (a cinque atomi di carbonio) e gli esosi come il **glucosio** e il **fruttosio** (a sei atomi di carbonio).

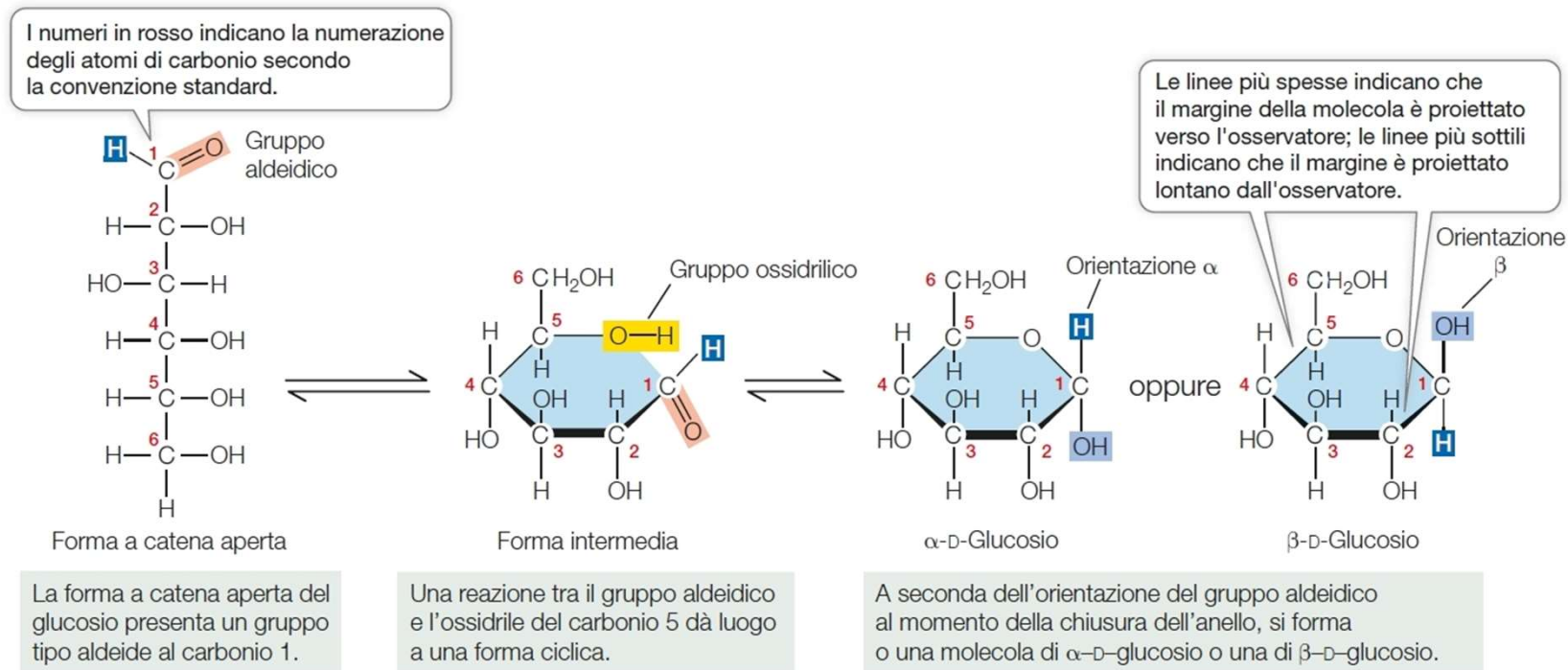


Figura 3.15 Da una configurazione del glucosio all'altra Tutte le molecole del glucosio hanno la formula $C_6H_{12}O_6$, ma la loro struttura è variabile. Quando la molecola si trova in soluzione acquosa, le configurazioni cicliche (ad anello) α e β si convertono una nell'altra. Notare la numerazione convenzionale biochimica standard degli atomi di carbonio qui applicata.

Un singolo legame glicosidico tra due monosaccaridi forma un **disaccaride**.

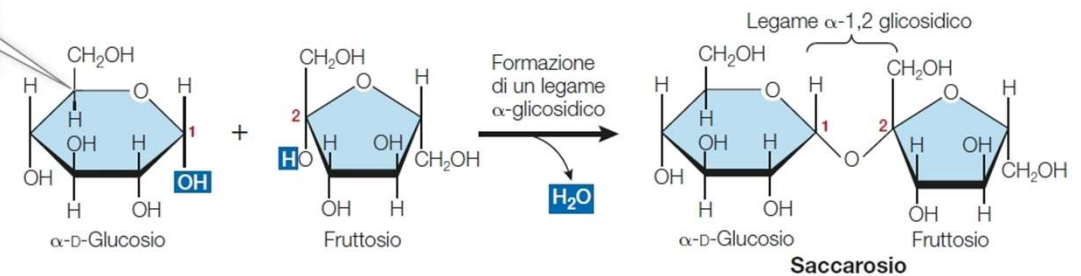
Una molecola di **saccarosio** è un disaccaride formato da una molecola di glucosio e una di fruttosio.

Il **lattosio** (lo zucchero contenuto nel latte) è invece un disaccaride formato da glucosio e galattosio.

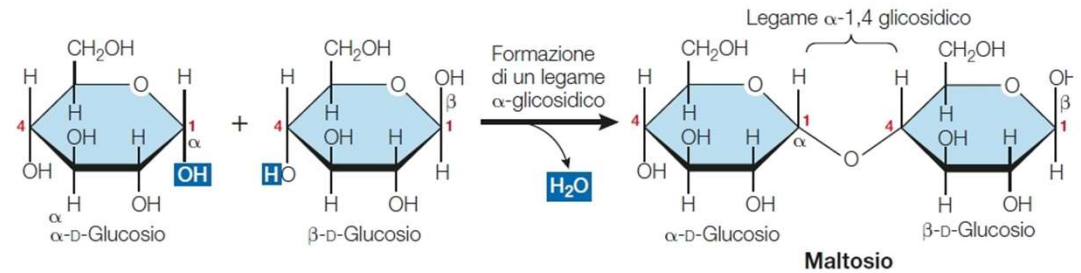


Un punto di unione così indicato sottintende la presenza di un atomo di carbonio (C).

Nel saccarosio, un glucosio e un fruttosio si uniscono con un legame α -1,2 glicosidico.



Si ottiene maltosio quando si forma un legame α -1,4 glicosidico tra due molecole di glucosio. Il gruppo ossidrilico sul carbonio 1 di un α -D-glucosio nella posizione α (verso il basso) reagisce con il gruppo ossidrilico sul carbonio 4 dell'altro glucosio.



Nel cellobiosio due molecole di glucosio sono unite da un legame β -1,4 glicosidico.

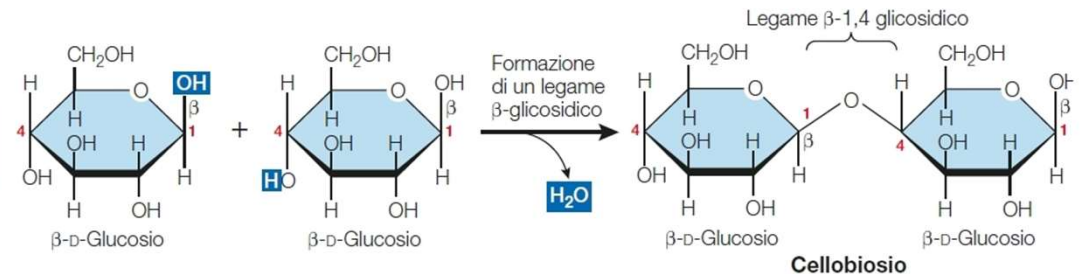
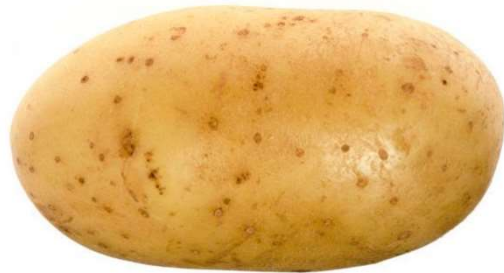


Figura 3.17 I disaccaridi si formano tramite legami glicosidici I legami glicosidici tra due monosaccaridi possono dare luogo a molti disaccaridi diversi. Il particolare disaccaride che si ottiene dipende da quali monosaccaridi si legano, dal punto in cui si forma il legame (cioè, da quali sono gli atomi di carbonio che vi partecipano) e dal tipo di legame (α o β).

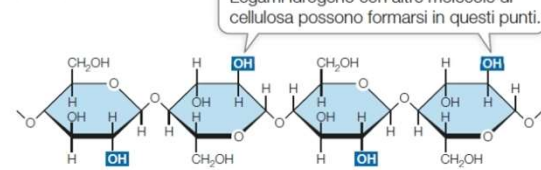
I **polisaccaridi** più diffusi sono l'**amido**, il **glicogeno** e la **cellulosa**, 3 polimeri del glucosio.

Amido e cellulosa sono prodotti dai **vegetali**, mentre il glicogeno è un polisaccaride prodotto da alcune **cellule animali**.



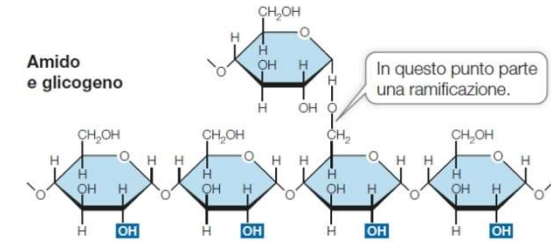
(A) Struttura molecolare

Cellulosa



La cellulosa è un polimero non ramificato di molecole di glucosio, unite da legami β -1,4 glicosidici particolarmente stabili.

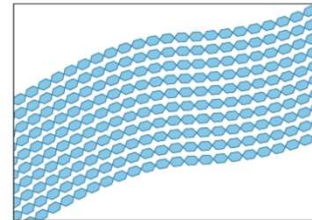
Amido e glicogeno



Il glicogeno e l'amido sono polimeri del glucosio con legami α -1,4 glicosidici. Legami α -1,6 glicosidici producono ramificazioni a partire dal carbonio 6.

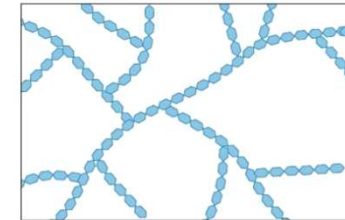
(B) Struttura macromolecolare

Lineare (cellulosa)



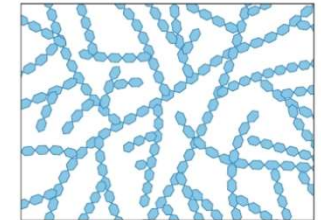
Tra molecole di cellulosa parallele si stabiliscono legami idrogeno, per cui si formano sottili fibre.

Ramificata (amido)



La ramificazione molecolare limita il numero dei legami idrogeno che si possono formare nelle molecole di amido, quindi l'amido risulta meno compatto della cellulosa.

Molto ramificata (glicogeno)



L'elevato numero di ramificazioni rende i depositi di glicogeno più compatti dell'amido (solidi).

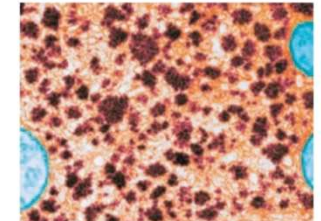
(C) Polisaccaridi nelle cellule



Come si può vedere in questa immagine ottenuta con il microscopio elettronico a scansione, gli strati di fibre di cellulosa conferiscono grande robustezza alle pareti delle cellule vegetali.



All'interno di queste cellule di patata si vedono depositi di amido a struttura granulare (colorati in rosso in questa micrografia elettronica).



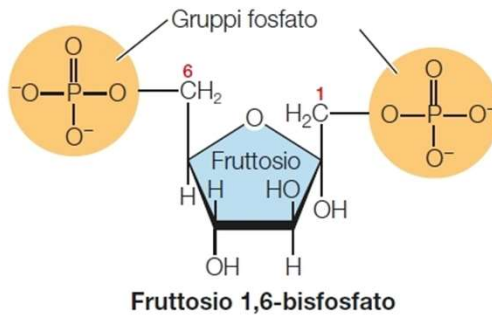
In questa immagine ottenuta con il microscopio elettronico gli aggregati scuri sono depositi di glicogeno.

Figura 3.18 Polisaccaridi rappresentativi La cellulosa, l'amido e il glicogeno sono polisaccaridi che hanno livelli diversi di ramificazione e pertanto si aggregano in modo più o meno compatto.

CARBOIDRATI MODIFICATI CHIMICAMENTE

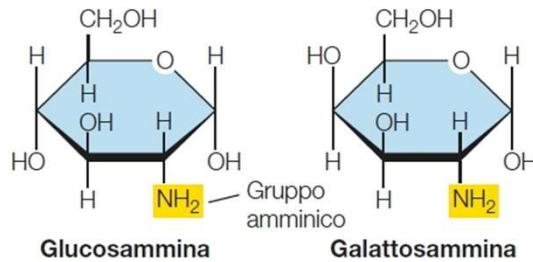
(A) Zucchero fosfato

Il fruttosio 1,6-bisfosfato partecipa alle reazioni che estraggono energia dal glucosio. (I numeri 1 e 6 nel nome della molecola indicano gli atomi di carbonio che entrano nel legame con il fosfato; *bis-* significa che i gruppi fosfato legati sono due.)



(B) Amminozuccheri

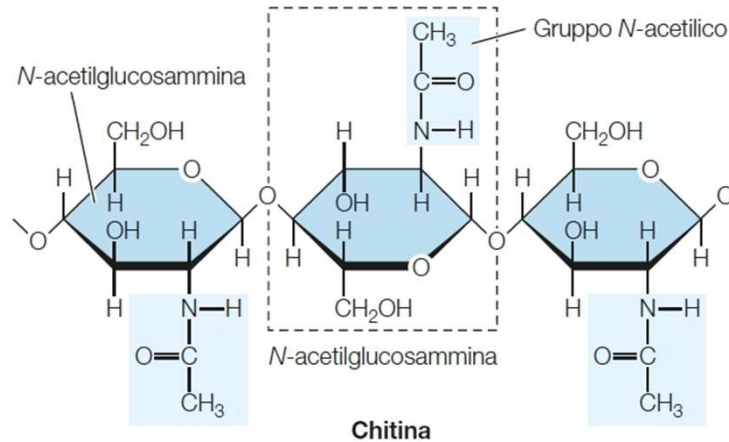
I monosaccaridi glucosammina e galattosammina sono amminozuccheri che portano un gruppo amminico al posto di un gruppo ossidrilico.



La galattosammina è un componente importante della cartilagine, un tipo di tessuto connettivo dei vertebrati.

(C) Chitina

La chitina è un polimero della *N*-acetilglucosammina; i gruppi *N*-acetillici offrono siti aggiuntivi per formare legami idrogeno tra polimeri.



L'esoscheletro degli insetti è fatto di chitina.

Figura 3.19 Carboidrati modificati chimicamente L'aggiunta di gruppi funzionali a un carboidrato può modificarne la forma e le proprietà.

I LIPIDI

I lipidi sono **molecole insolubili in acqua** composte prevalentemente da **carbonio e idrogeno**; sono i costituenti delle **membrane cellulari** e hanno funzioni **isolanti**, di **regolazione** o di **riserva**.

Figura 3.5 Isolante termico

Trichechi, foche, orsi e altri animali che vivono in zone polari presentano spessi strati di grasso che li proteggono dal freddo.



I trigliceridi: grassi e oli

I lipidi più semplici sono i **trigliceridi**: se a temperatura ambiente essi sono solidi, vengono chiamati **grassi**, mentre se sono allo stato liquido, sono detti **oli**. Un trigliceride è formato da una molecola di **glicerolo** unita a 3 molecole di **acidi grassi**.

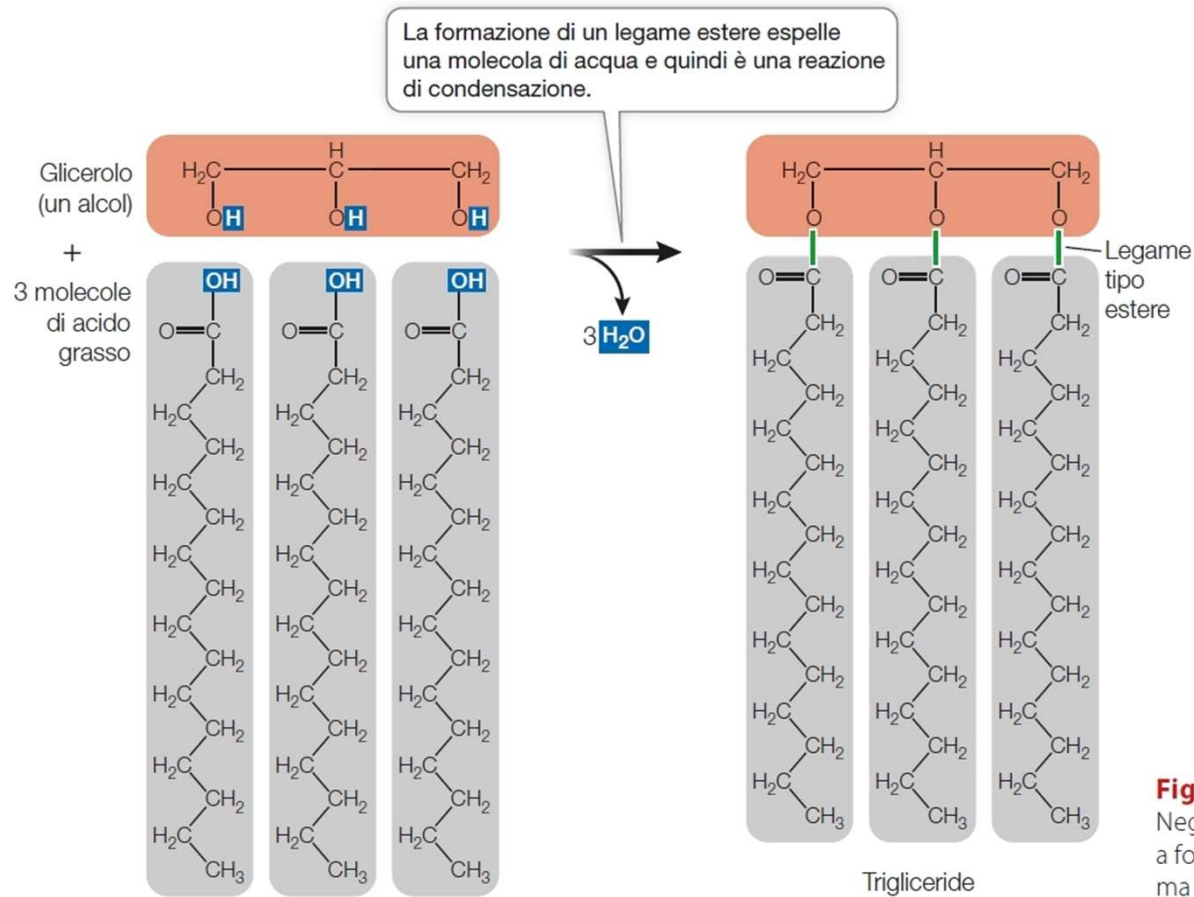


Figura 3.20 Sintesi di un trigliceride
Negli esseri viventi la reazione che porta a formare un trigliceride è più complessa, ma il risultato finale è quello illustrato qui.

- Negli **acidi grassi saturi**, tutti i legami fra gli atomi di carbonio sono legami semplici: non compaiono doppi legami. Le molecole di questi acidi grassi sono **rigide e lineari**, cosicché tendono ad affiancarsi come le matite dentro un portamatite.

- Negli **acidi grassi insaturi**, le catene idrocarburiche contengono uno o più doppi legami che producono pieghe o «gomiti» nella catena.

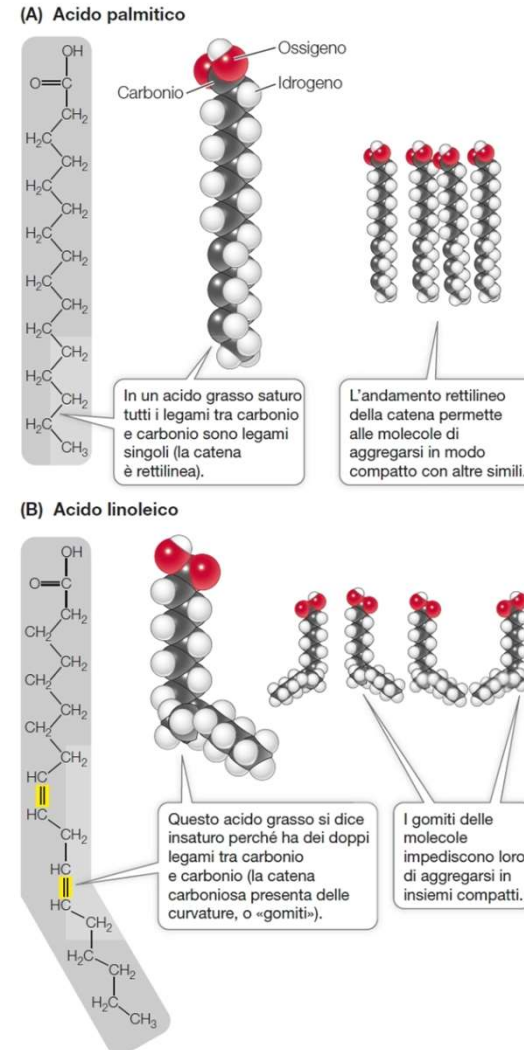
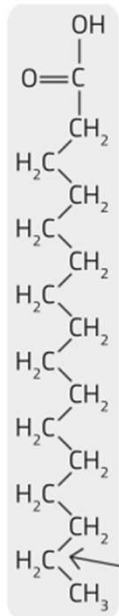
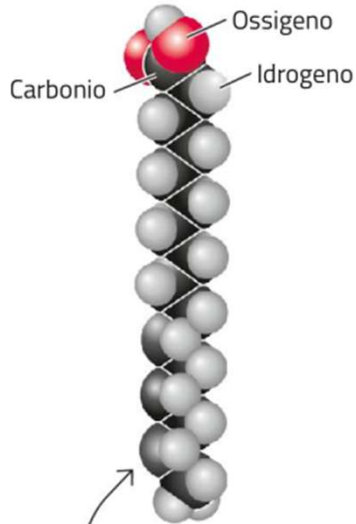


Figura 3.21 Acidi grassi saturi e insaturi (A) L'andamento rettilineo della catena idrocarburica di un acido grasso saturo rende più facile alla molecola aggregarsi in insiemi compatti con altre molecole simili. (B) Negli acidi grassi insaturi, le curvature nella catena impediscono alle molecole di formare aggregati compatti. I colori di questi modelli molecolari seguono la convenzione d'uso (grigio per H, rosso per O, nero per C).

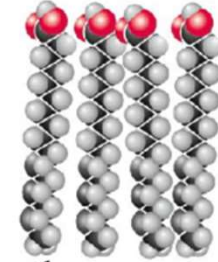
A GRASSI SATURI



Acido palmitico

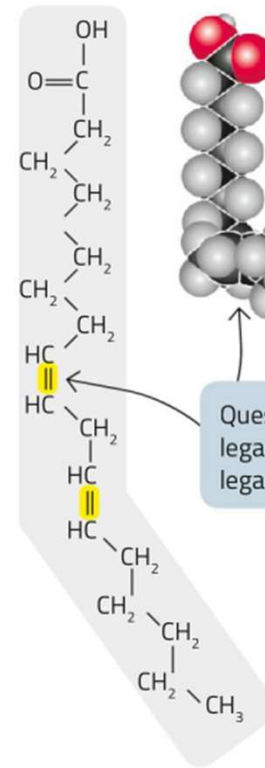


In un acido grasso saturo, i legami tra carbonio e carbonio sono tutti singoli, e la catena è diritta.



L'andamento rettilineo delle catene permette alle molecole di addossarsi strettamente le une alle altre.

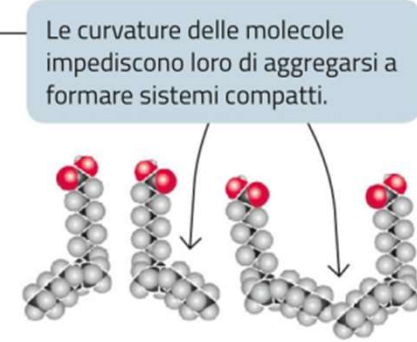
B GRASSI INSATURI



Acido linoleico



Questo acido grasso è insaturo perché possiede dei doppi legami tra atomi di carbonio; in corrispondenza del doppio legame, la catena presenta delle curvature o «gomiti».

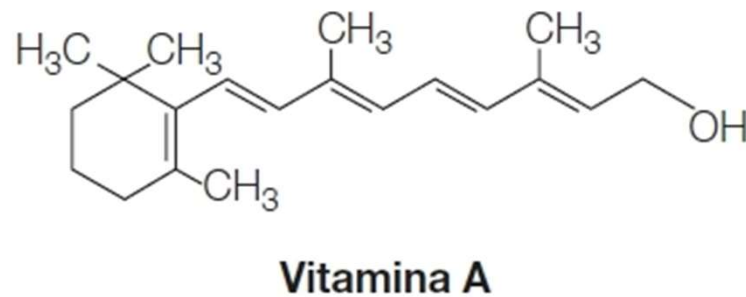
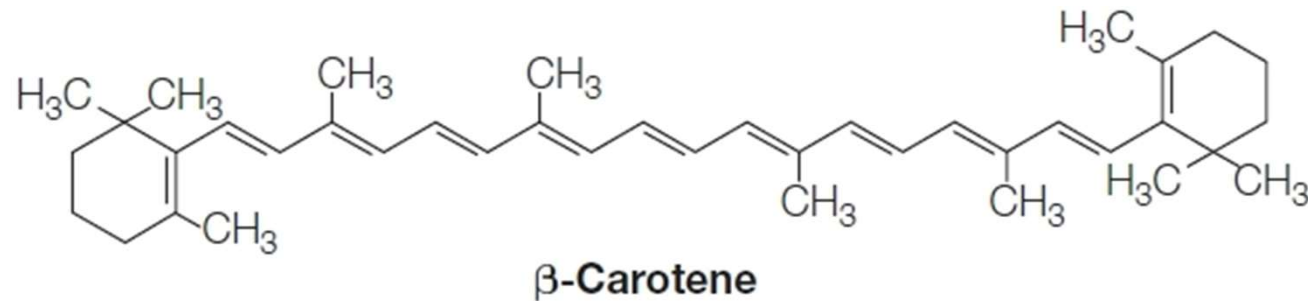


Le curvature delle molecole impediscono loro di aggregarsi a formare sistemi compatti.

Figura 3.7 Acidi grassi saturi e insaturi (A) La catena idrocarburica diritta di un acido grasso saturo permette alle molecole di impacchettarsi strettamente; si formano così grassi come il burro, solidi a temperatura ambiente. **(B)** Negli acidi grassi insaturi, i gomiti presenti nella catena impediscono alle molecole di formare aggregati compatti; si formano così gli oli, liquidi a temperatura ambiente.

I **carotenoidi** sono pigmenti capaci di assorbire la luce, presenti nelle piante e negli animali. Nelle foglie, il **β -carotene** è uno dei pigmenti che catturano l'energia luminosa durante la fotosintesi.

In molti animali una molecola di β -carotene si scinde in due molecole di **vitamina A** → precursore del **pigmento rodopsina**, necessario alla vista. I carotenoidi sono responsabili del colore delle carote, dei pomodori, delle zucche e del tuorlo d'uovo.



I **fosfolipidi** possiedono un'**estremità idrofila** e due lunghe code **idrofobiche**; disponendosi coda contro coda, formano un doppio strato che costituiscono le **membrane cellulari**.

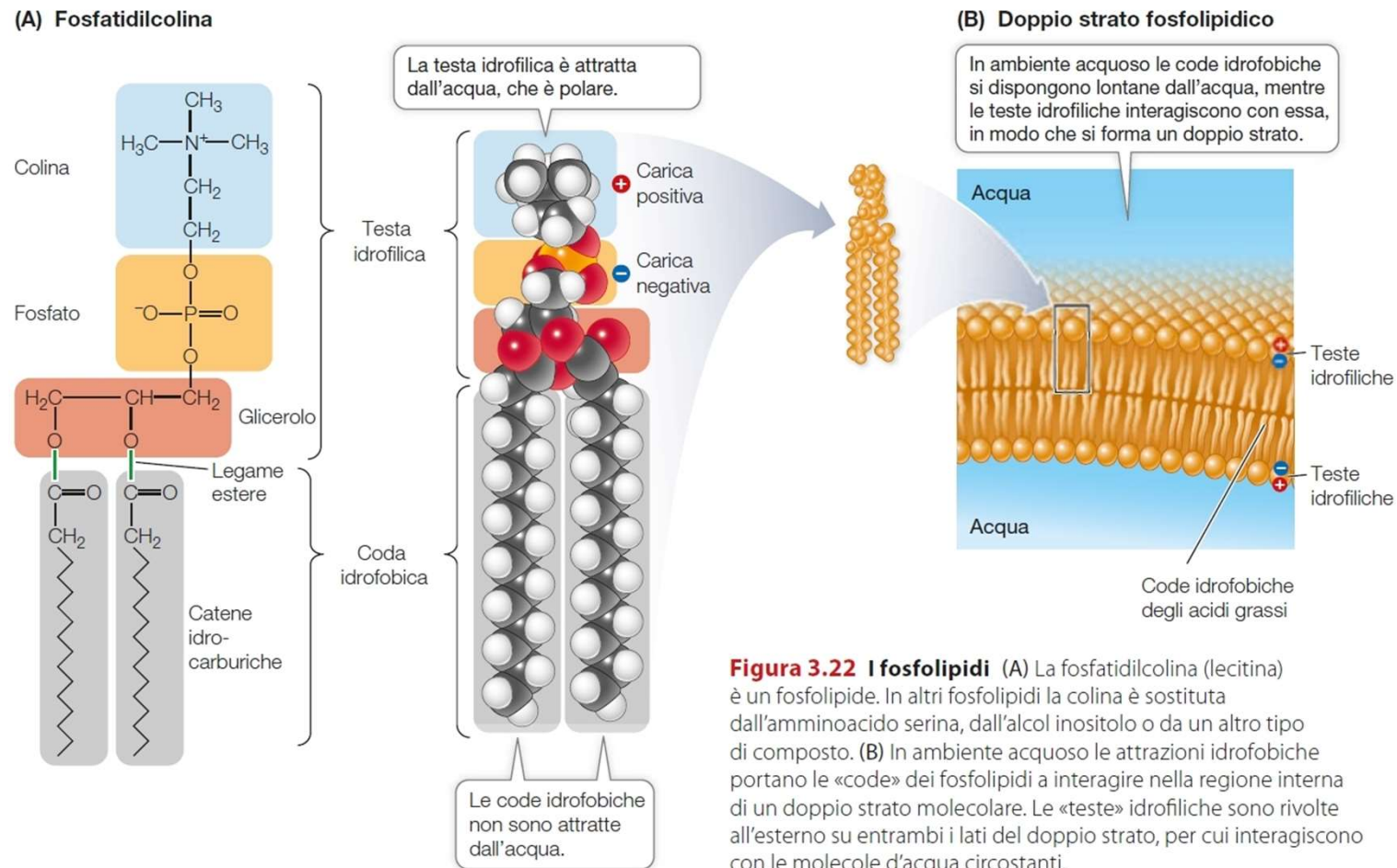
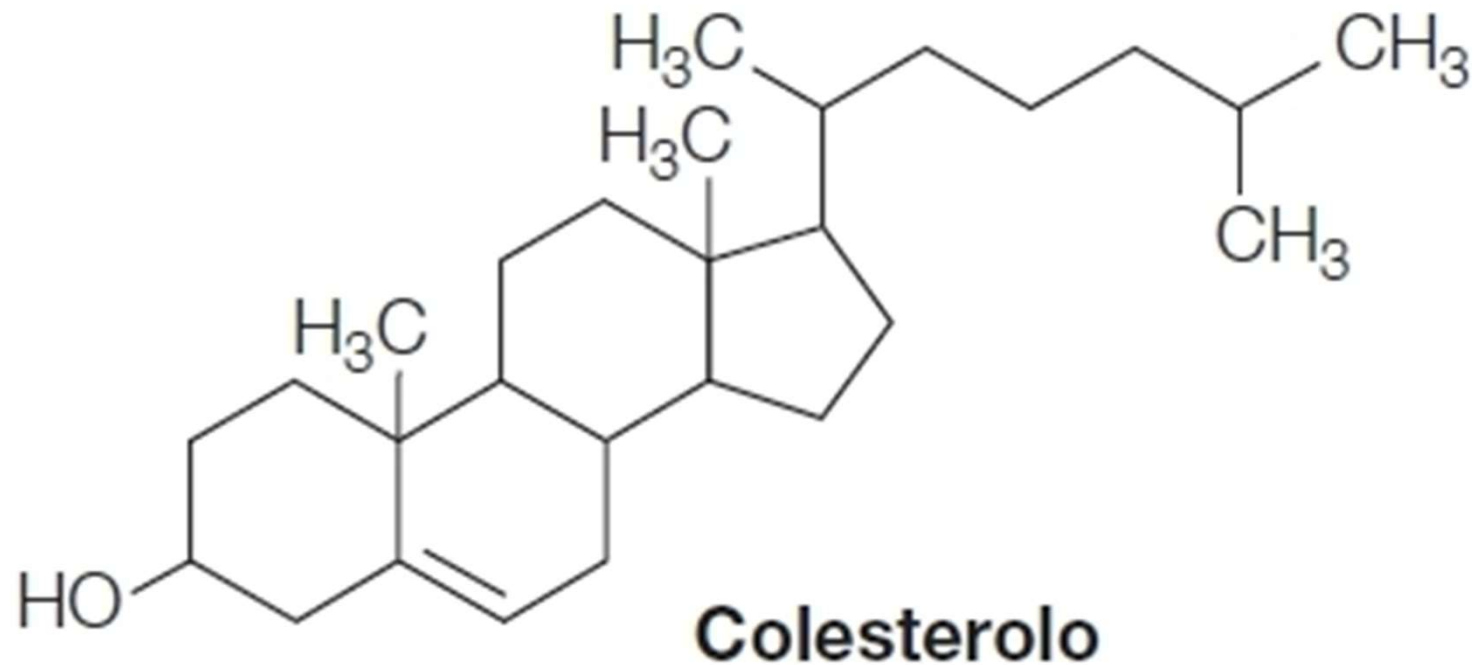


Figura 3.22 I fosfolipidi (A) La fosfatidilcolina (lecitina) è un fosfolipide. In altri fosfolipidi la colina è sostituita dall'amminoacido serina, dall'alcol inositolo o da un altro tipo di composto. (B) In ambiente acquoso le attrazioni idrofobiche portano le «code» dei fosfolipidi a interagire nella regione interna di un doppio strato molecolare. Le «teste» idrofiliche sono rivolte all'esterno su entrambi i lati del doppio strato, per cui interagiscono con le molecole d'acqua circostanti.

Gli **steroidi** sono contraddistinti da uno scheletro di anelli che hanno in comune alcuni atomi di carbonio.

Il **colesterolo** è un costituente delle membrane animali.

Il colesterolo è prodotto nel **fegato** e rappresenta il materiale di partenza per la sintesi del **testosterone** e di altri **ormoni steroidei**, come anche dei **sali biliari** che servono a **emulsionare i lipidi** alimentari per agevolarne la digestione.



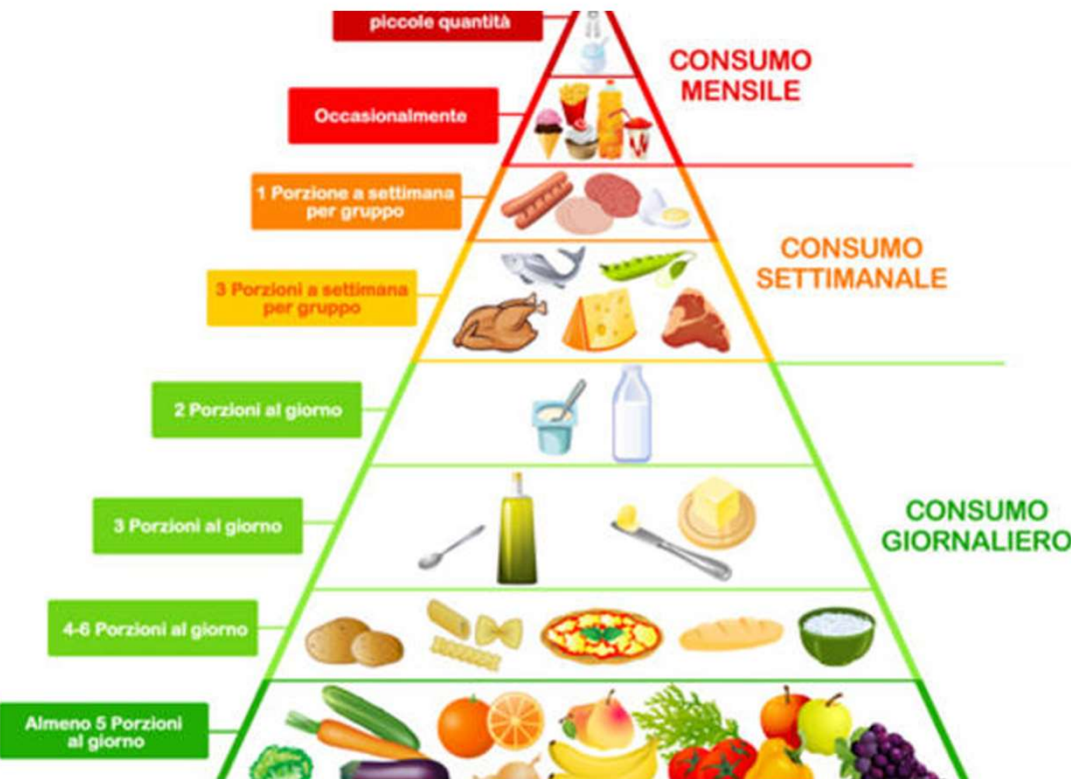
Le **cere** sono molecole molto lunghe, contenenti da 40 a 60 atomi di carbonio.
Gli uccelli acquatici possiedono un **rivestimento ceroso sulle penne** → capelli.
Le foglie dell'agrifoglio sono lucide perché anch'esse hanno un rivestimento ceroso.
Le **api** usano la cera per costruire gli alveari.



Figura 3.11 Le cere Le penne degli uccelli acquatici possiedono un rivestimento ceroso che le rende impermeabili all'acqua e permette loro di nuotare anche in profondità.

Gli amminoacidi che non possiamo sintetizzare sono chiamati **amminoacidi essenziali**. Per gli esseri umani essi sono 8: isoleucina, leucina, metionina, fenilalanina, treonina, lisina, triptofano e valina.

Nutriente	kJ/g	kcal/g
Carboidrati	17	4
Proteine	17	4
Grassi	37	9
Fibre	8	2







Otto amminoacidi essenziali per gli esseri umani adulti

- Triptofano
- Metionina
- Valina
- Treonina
- Fenilalanina
- Leucina
- Isoleucina
- Lisina

Cereali
(tortillas di mais)

Legumi
Salsa di fagioli

Figura 50.5 Una strategia per i vegetariani Combinando i cereali con i legumi, un adulto vegetariano è in grado di ottenere tutti e otto gli amminoacidi essenziali.

Vitamine	Fonti nella dieta	Funzioni	Sintomi da carenza
Idrosolubili			
B ₁ (tiamina)	fegato, legumi, cereali integrali	È un coenzima nella respirazione cellulare.	beriberi, perdita di appetito, stanchezza
B ₂ (riboflavina)	prodotti caseari, carne, uova, verdure a foglia verde	È un costituente del coenzima FAD.	lesioni agli angoli della bocca, irritazioni degli occhi, malattie della cute
Niacina	carne, cacciagione, fegato, lievito	È un costituente dei coenzimi NAD e NADP.	pellagra, malattie della cute, diarrea, disturbi mentali
B ₆ (piridossina)	fegato, cereali integrali, prodotti caseari	È un coenzima attivo nel metabolismo degli amminoacidi.	anemia, crescita rallentata, malattie della cute, convulsioni
Acido pantotenico	fegato, uova, lievito	Si trova nell'acetil-CoA.	problemi alle surrenali, malattie riproduttive
Biotina	fegato, lievito, batteri intestinali	Si trova in vari coenzimi.	malattie della cute, perdita di capelli
B ₁₂ (cobalamina)	fegato, carne, prodotti caseari, uova	Necessario per formare gli acidi nucleici, le proteine e i globuli rossi.	anemia perniciosa
Acido folico	verdure, uova, fegato, cereali integrali	Prende parte alla formazione dei gruppi eme e dei nucleotidi.	anemia (la carenza di acido folico in gravidanza può provocare malformazioni del sistema nervoso fetale)
C (acido ascorbico)	agrumi, pomodori, patate	Necessario per formare i tessuti connettivi; ha funzione antiossidante.	scorbuto, coagulazione rallentata, crescita ossea indebolita
Liposolubili			
A (retinolo)	frutta, verdure, fegato, prodotti caseari	Si trova nei pigmenti visivi.	cecità notturna
D (coleciferolo)	latte arricchito, olio di pesce; sintetizzata nella cute in seguito all'esposizione al Sole	Contribuisce all'assorbimento del calcio e del fosforo.	rachitismo
E (tocoferolo)	carne, prodotti caseari, cereali integrali	Mantiene attivi i muscoli, ha funzione antiossidante.	anemia
K (menadione)	batteri intestinali, fegato	Necessaria per la coagulazione del sangue.	problemi nella coagulazione del sangue

Tabella 4.2 Le vitamine nella nostra dieta.