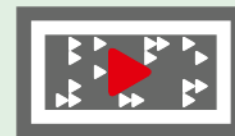





LA TRASCRIZIONE E LA TRADUZIONE DEL DNA

GUARDA!



 Scheda
Approfondisci
l'attività

OBIETTIVO

Costruire un **foglio di calcolo** che simuli l'attività cellulare di trascrizione e traduzione del DNA.

Il foglio di calcolo, dopo aver ricevuto in ingresso le informazioni relative a un filamento di DNA, dovrà dare in uscita la sequenza di amminoacidi del polipeptide corrispondente.

INTRODUZIONE

La trascrizione e la traduzione del DNA sono processi essenziali per la cellula. La **trascrizione** consente di copiare le informazioni contenute all'interno del DNA in un filamento di mRNA, che trasporta l'informazione genetica ai ribosomi. Qui le lunghe catene nucleotidiche sono trasformate in polipeptidi e proteine mediante la **traduzione**.

I meccanismi biochimici secondo cui avvengono i diversi passaggi sono oggi ben conosciuti e la loro attenta regolazione da parte della cellula consente il loro corretto funzionamento.

Negli eucarioti la trascrizione avviene all'interno del nucleo. I geni, ossia i tratti di DNA deputati alla sintesi proteica, vengono copiati su un filamento singolo di mRNA. Affinché la trascrizione sia il più possibile precisa, si sfrutta il meccanismo dell'**appaiamento delle basi azotate**, in particolare:

- nella molecola di DNA, le basi azotate sono appaiate tra i due filamenti della doppia elica secondo lo schema: adenina-timina (A-T) e citosina-guanina (C-G);
- tra DNA e mRNA la complementarità delle basi è la stessa, ma con una piccola differenza: nei filamenti di mRNA l'adenina si appaia con la base azotata uracile (A-U) invece che con la timina.

La successiva fase di traduzione si svolge nel citoplasma. L'mRNA esce dal nucleo e raggiunge i ribosomi. Qui viene letto a blocchi di tre nucleotidi. Per ogni **tripletta** esiste un tRNA, associato a uno specifico amminoacido, con tre basi azotate complementari. Facendo scorrere il filamento attraverso il ribosoma si va mano a mano a formare la catena polipeptidica e la proteina.

La sequenza di eventi che caratterizza la trascrizione e la traduzione è, in sostanza, un processo estremamente meccanico, in cui ogni singolo tassello deve avere una precisa collocazione. Questo ci permette di simularlo utilizzando un foglio di calcolo.

Grazie agli strumenti messi a disposizione da applicazioni come Excel o Fogli Google, vedremo come possiamo passare dalla sequenza del filamento di DNA a quella della catena polipeptidica.

DESCRIZIONE E FASI DELL'ATTIVITÀ

1. Scelta della proteina da costruire

Prima di tutto è necessario scegliere la proteina che si vuole andare a costruire utilizzando Excel o Fogli Google.

Scarica il file abbinato a questa attività, nel quale potrai trovare alcune sequenze nucleotidiche che fanno riferimento a geni che codificano per proteine che svolgono un ruolo essenziale per il corretto funzionamento del nostro organismo. Per esempio, nel file troverai la sequenza relativa al gene dell'insulina, un importante ormone prodotto dal pancreas che regola la glicemia, cioè la quantità di glucosio presente nel sangue. Tra le stringhe di geni disponibili nel file, scegline una su cui concentrerai il tuo lavoro per questa attività.



(SEGUE)

LE BIOMOLECOLE: STRUTTURA E FUNZIONE

1 DAI POLIMERI ALLE BIOMOLECOLE

Tra i composti organici rientrano molte molecole che svolgono un ruolo nei sistemi biologici e che, per questo motivo, vengono indicate con il nome di **biomolecole**. La disciplina che si occupa dello studio di questi composti è la **biochimica**.

La **biochimica** comprende lo studio delle **biomolecole**, della loro organizzazione, delle interazioni e delle trasformazioni che subiscono nelle cellule.

La biochimica si occupa anche dello studio degli scambi energetici e della produzione di energia, degli scambi di informazioni all'interno degli organismi, del funzionamento di strutture complesse a livello molecolare.

Ogni disciplina scientifica di area biomedica trova nella biochimica e nello studio delle biomolecole gli elementi per spiegare fenomeni e processi complessi (**Figura 1**).

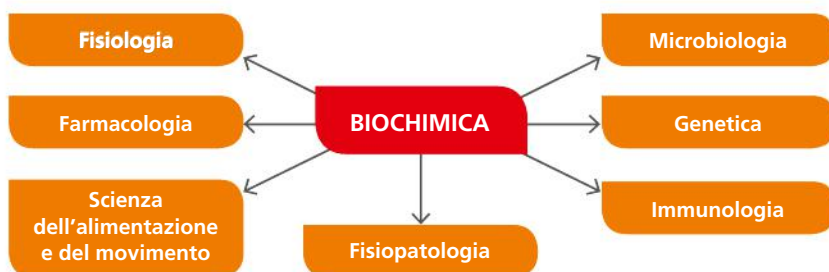


Figura 1

Il ruolo centrale della biochimica.

Tutte le biomolecole presentano alcune caratteristiche chiave:

- nella maggior parte dei casi si tratta di *macromolecole*, ovvero molecole complesse che possono contenere anche migliaia di atomi (principalmente C, H e O);
- dal punto di vista chimico, le biomolecole sono *composti polifunzionali*, sono cioè costituite da molecole che contengono due o più gruppi funzionali diversi;
- le biomolecole sono in molti casi *polimeri* formati dall'unione di composti organici più piccoli chiamati *monomeri*.

TI RICORDI?

I monomeri si uniscono a formare i polimeri grazie a una reazione di **condensazione**, che porta alla perdita di una molecola d'acqua per ciascun legame che si forma. La degradazione di un polimero è invece mediata da reazioni di **idrolisi**, che portano alla rottura dei legami tra i singoli monomeri.

LE PRINCIPALI CLASSI DI BIOMOLECOLE

Nonostante la loro grande eterogeneità strutturale e funzionale, le biomolecole possono essere suddivise in quattro classi fondamentali: *carboidrati*, *lipidi*, *proteine* e *acidi nucleici*.

Carboidrati e lipidi costituiscono le principali fonti energetiche degli organismi e svolgono importanti funzioni strutturali.

Le proteine, oltre ad avere un ruolo strutturale, sono i principali regolatori degli organismi viventi e sono in grado di ricoprire molteplici ruoli: in pratica consentono lo svolgimento di tutte le funzioni vitali di una cellula.

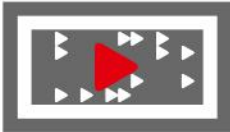
Gli acidi nucleici contengono le informazioni necessarie per la biosintesi delle proteine e garantiscono la riproduzione degli organismi e il perpetuarsi della vita. Inoltre, alcuni nucleotidi, i monomeri costituenti gli acidi nucleici, ricoprono nell'organismo alcune funzioni speciali, tra cui il trasporto di energia per lo svolgimento delle reazioni chimiche e per la contrazione delle fibre muscolari.

2 I CARBOIDRATI

TI RICORDI?

Il gruppo **carbonile** (C=O) caratterizza aldeidi e chetoni; il gruppo **ossidrilico** (—OH) è tipico degli alcoli.

GUARDA!



Video

Che cosa sono i carboidrati?

Figura 2

I carboidrati svolgono diverse funzioni.

I **carboidrati** (o *glicidi* o *saccaridi*) sono un gruppo di sostanze organiche naturali costituite generalmente da tre soli elementi: carbonio, idrogeno e ossigeno.

Da un punto di vista chimico i carboidrati sono un esempio di composti *polifunzionali*, perché contengono un gruppo carbonile (aldeidico o chetonico) insieme a più gruppi ossidrilici: per questo motivo vengono definiti *poliidrossialdeidi* o *poliidrossichetoni*. Sono considerati carboidrati anche tutte le sostanze di tipo polimerico che, per idrolisi, danno composti di questo tipo.

I carboidrati svolgono due principali funzioni nel mondo vivente:

1. **riserva energetica:** l'*amido* nel mondo vegetale e il *glicogeno* in quello animale sono carboidrati con funzione di riserva energetica;
2. **ruolo strutturale:** la *cellulosa*, la biomolecola più abbondante sulla Terra, è il costituente principale della parete delle cellule vegetali, cui conferisce rigidità e resistenza; la *chitina* forma l'esoscheletro di insetti e crostacei (**Figura 2**) e si trova anche nella parete cellulare dei funghi.

I cereali hanno un elevato contenuto di **amido**, il più importante fra i carboidrati di riserva.



Il cotone è costituito da **cellulosa** allo stato quasi puro.



L'esoscheletro degli insetti è formato da **chitina**, un polisaccaride che costituisce fibre molto resistenti.



In base alla complessità strutturale, i carboidrati sono così divisi (Figura 3):

- i **monosaccaridi** sono le molecole più semplici e rappresentano le unità costitutive di carboidrati più complessi;
- gli **oligosaccaridi** sono formati dall'associazione di pochi monosaccaridi;
- i **polisaccaridi** sono polimeri formati da numerosi monosaccaridi (da poche decine fino a molte migliaia).

Dal punto di vista nutrizionale, si distinguono i *carboidrati semplici* (mono- e oligosaccaridi) o **zuccheri**, e quelli *complessi* (polisaccaridi).

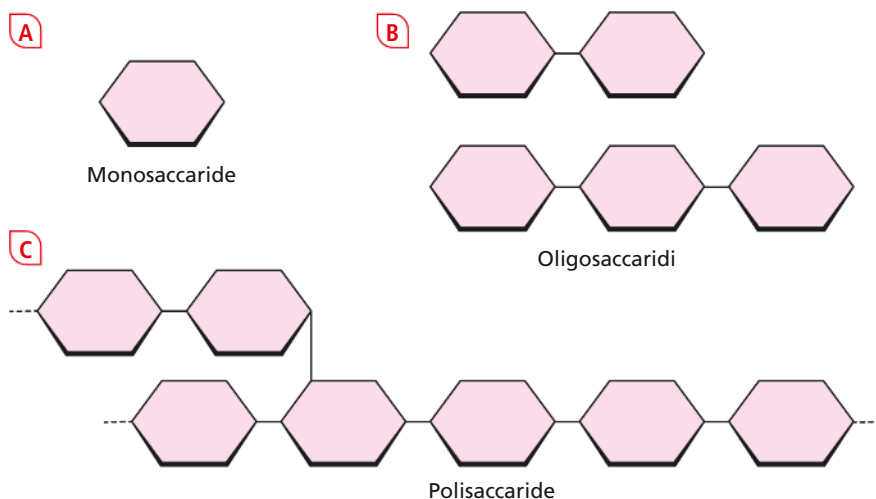


Figura 3

Rappresentazione schematica di monosaccaridi (A), oligosaccaridi (B) e polisaccaridi (C).

I GLICOCONIUGATI

I carboidrati si trovano talvolta associati anche a molecole di natura diversa, formando molecole ibride chiamate **glicoconiugati**.

Le **glicoproteine** e i **glicolipidi** sono esempi di glicoconiugati in cui la porzione glicidica si unisce, rispettivamente, a proteine e lipidi.

La presenza di carboidrati aumenta la diversità biologica della proteina o del lipide di partenza; queste molecole ibride sono importanti perché mediano la comunicazione fra le cellule.

3

I MONOSACCARIDI

I monosaccaridi sono i carboidrati più semplici: in natura esistono liberi o, più spesso, legati in molecole complesse. Si distinguono in base al numero di atomi di carbonio presenti nelle loro molecole e al gruppo funzionale che contengono. Hanno formula molecolare generale $C_nH_{2n}O_n$; n è un numero mai inferiore a tre e, salvo poche eccezioni, non superiore a sei.

I **triosi** hanno tre atomi di carbonio, i **tetrosi** ne hanno quattro, i **pentosi** cinque e così via. Gli **aldosi** possiedono un gruppo funzionale aldeidico ($-C=O$); i **chetosi** un gruppo chetonico ($>C=O$).

H

In tutti i casi, le molecole dei monosaccaridi contengono anche tanti *gruppi ossidrilici* quanti sono gli atomi di carbonio meno uno.

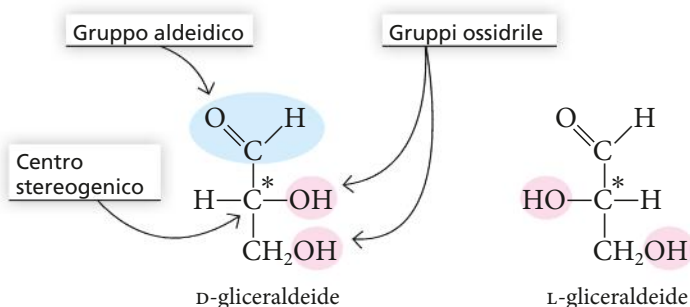
TI RICORDI?

L'**isomeria ottica** caratterizza una molecola che contenga almeno un atomo di carbonio legato a quattro sostituenti diversi, detto **centro stereogenico**. Il centro stereogenico implica l'esistenza di due isomeri ottici, o **enantiomeri**, detti D e L.

LA GLICERALDEIDE, LO ZUCCHERO PIÙ SEMPLICE

L'aldoso più semplice è la gliceraldeide $C_3H_6O_3$, della quale esistono due possibili isomeri, chiamati *D-gliceraldeide* e *L-gliceraldeide*.

Le molecole di *D-gliceraldeide* e *L-gliceraldeide* sono **enantiomeri**, cioè l'una è l'immagine speculare e non sovrapponibile dell'altra. Si tratta di due *isomeri ottici* per la presenza di un *centro stereogenico*.



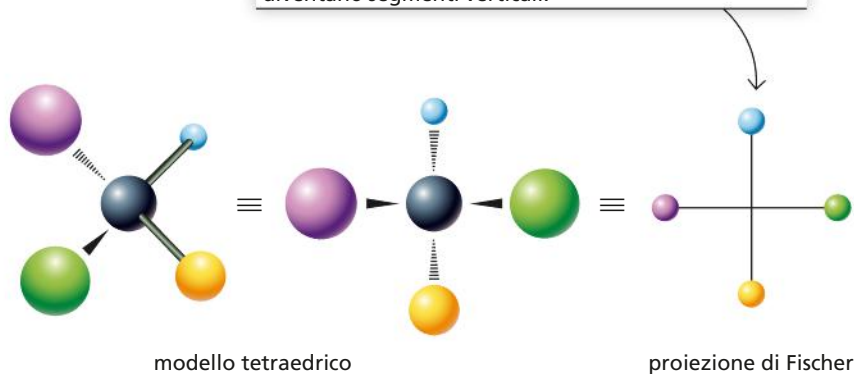
LE FORMULE DI PROIEZIONE DI FISCHER

Le lettere D (destra) e L (destra) che precedono il nome dello zucchero si riferiscono alla posizione del gruppo $-OH$ sul secondo atomo di carbonio della gliceraldeide (C-2). L'assegnazione della lettera D oppure L dipende dalla convenzione proposta dal chimico tedesco Emil Fischer (1852-1919), da cui derivano le **formule di proiezione di Fischer**, o più semplicemente **proiezioni di Fischer**. Esse si ottengono immaginando di proiettare l'atomo di carbonio tetraedrico (C-2) su un piano; i suoi quattro legami diventano in questo modo due segmenti perpendicolari e il punto della loro intersezione è l'atomo di carbonio stesso (Figura 4).

Figura 4

Le sfere colorate indicano quattro sostituenti generici diversi.

Quando si proietta un atomo di carbonio tetraedrico su un piano, i legami diretti verso chi legge (i cunei pieni) diventano segmenti orizzontali; quelli diretti verso il retro della pagina (i cunei tratteggiati) diventano segmenti verticali.



PER SAPERNE DI PIÙ

La differente disposizione dei sostituenti non influenza la maggior parte delle proprietà chimiche e fisiche delle due sostanze ma ha profonde conseguenze sulla loro funzione biologica: infatti solo la *D-gliceraldeide* è utilizzata dagli organismi viventi mentre la *L-gliceraldeide* è una molecola biologicamente inerte.

Per convenzione, nelle formule di proiezione di Fischer si pone in alto l'atomo di carbonio più ossidato (C-1, ovvero quello del gruppo funzionale CHO) e in verticale la catena di atomi di carbonio; si assegna poi la lettera D alla configurazione della gliceraldeide in cui l'ossidrilico si trova a destra della catena e la lettera L al suo enantiomero con l'ossidrilico a sinistra.

IL GLUCOSIO E GLI ALTRI MONOSACCARIDI

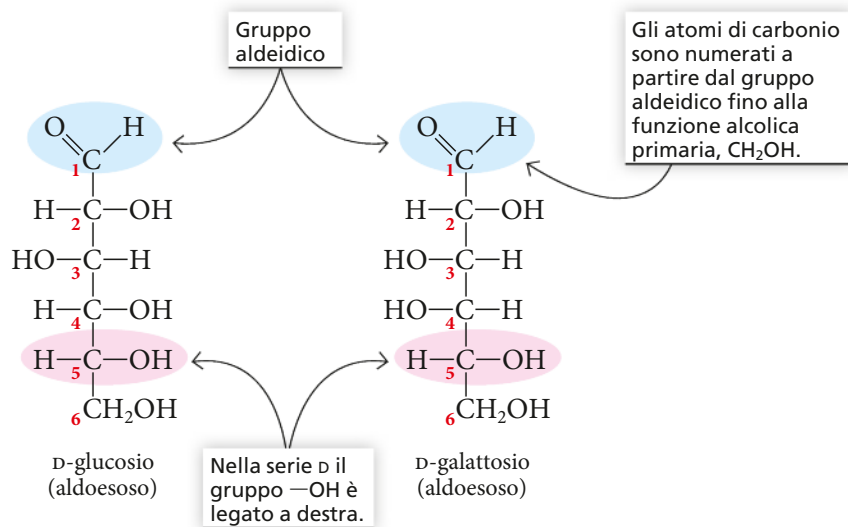
Con l'aumentare del numero di atomi di carbonio nella molecola, aumenta il numero dei centri stereogenici e quindi il numero di isomeri ottici possibili. Una molecola di monosaccaride appartiene alle serie D oppure L a seconda della disposizione del gruppo $-OH$ legato all'atomo di carbo-

nio stereogenico più lontano dal gruppo aldeidico (o chetonico): se, nella proiezione di Fisher, questo gruppo —OH è disposto a destra, la molecola appartiene alla serie D, altrimenti appartiene alla serie L. Come nel caso della gliceraldeide, solo i monosaccaridi della serie D hanno rilevanza biologica e si ritrovano negli organismi viventi.

Le molecole dei **monosaccaridi della serie D** sono quelle biologicamente rilevanti: esse presentano il gruppo —OH del centro stereogenico più lontano dal gruppo aldeidico (o chetonico) legato sulla destra.

Tra gli aldosi di maggiore rilevanza biologica ci sono il D-glucosio e il D-galattosio. Il **D-glucosio**, un esoso di formula molecolare $C_6H_{12}O_6$, è lo zucchero più usato dagli organismi viventi come fonte di energia; è anche il composto di partenza per la costruzione di molecole più complesse.

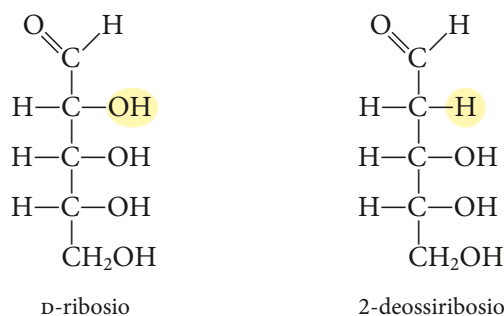
Il **D-galattosio** ($C_6H_{12}O_6$) forma, combinandosi con il glucosio, il lattosio, lo zucchero del latte.



Le molecole del D-glucosio e del D-galattosio presentano più centri chirali (gli atomi di carbonio da 2 a 5) e *non sono* l'una immagine speculare dell'altra. Non sono dunque enantiomeri, ma prendono il nome di **diastereoisomeri**.

Quando due diastereoisomeri differiscono per la disposizione dei sostituenti a livello di *un solo* centro chirale, le due molecole si dicono **epimeri**. D-glucosio e D-galattosio sono pertanto epimeri in posizione 4.

Tra gli aldosi rientrano anche due monosaccaridi che partecipano alla formazione degli acidi nucleici. Il **D-ribosio**, un pentoso di formula molecolare $C_5H_{10}O_5$, entra nella costituzione dell'RNA. Il **2-deossiribosio** si ottiene dal ribosio per eliminazione dell'atomo di ossigeno legato al carbonio C-2. Questo deossizucchero entra nella costituzione delle molecole di DNA.



PER SAPERNE DI PIÙ

La IUPAC ha fissato delle **regole di priorità tra gruppi funzionali**, in base alle quali, nei composti polifunzionali, il gruppo carbossilico è «più importante» (perché più ossidato) dei carbonili aldeidico e chetonico, a loro volta più importanti dell'ossidrile alcolico. Di conseguenza, quando si numerano gli atomi C della molecola dei monosaccaridi, si deve assegnare il numero più basso possibile all'atomo di carbonio che porta il gruppo più importante, quindi al carbonile aldeidico (C-1) o chetonico (C-2).

TI RICORDI?

Gli isomeri configurazionali si suddividono in **enantiomeri** (o isomeri ottici), quando i due isomeri sono uno l'immagine speculare dell'altro, e **diastereoisomeri** quando invece non lo sono.

ORA PROVA TU

Scrivi la formula di Fischer del **D-mannosio**, epimero del glucosio in posizione 2.

Il chetoso più semplice è il **diidrossiacetone**, un intermedio a tre atomi di carbonio (C₃H₆O₃) del metabolismo degli zuccheri che non presenta centri stereogenici.

Appartiene ai chetosi anche il **D-fruttosio**, un esoso (C₆H₁₂O₆) che si trova nella frutta e nel miele. La **Tabella 1** illustra i principali monosaccaridi di importanza biologica.

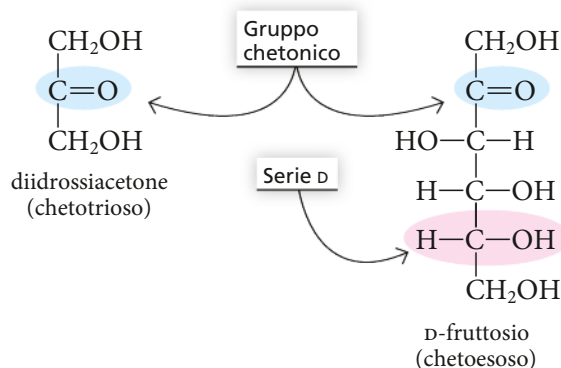


Tabella 1

Le proprietà dei principali monosaccaridi.

Monosaccaride	Fonti	Funzione biochimica nell'essere umano
D-ribosio	Derivato dal glucosio.	Entra nella costituzione dell'RNA e di alcune molecole biologicamente importanti come ATP, NAD ⁺ , FAD. È il precursore del deossiribosio.
D-deossiribosio	Derivato dal ribosio.	Entra nella costituzione del DNA.
D-glucosio	Frutta; prodotto per idrolisi di saccarosio, lattosio, maltosio e amido.	È lo zucchero presente nel sangue e nelle cellule, dove viene degradato a scopo energetico. È precursore di altri carboidrati ma anche dei grassi.
D-galattosio	Prodotto per idrolisi del lattosio.	È trasformato in glucosio e metabolizzato nel fegato. Nella ghiandola mammaria, insieme al glucosio, costituisce il lattosio del latte materno.
D-fruttosio	Contenuto in frutta, miele; prodotto per idrolisi del saccarosio.	È metabolizzato nel fegato.

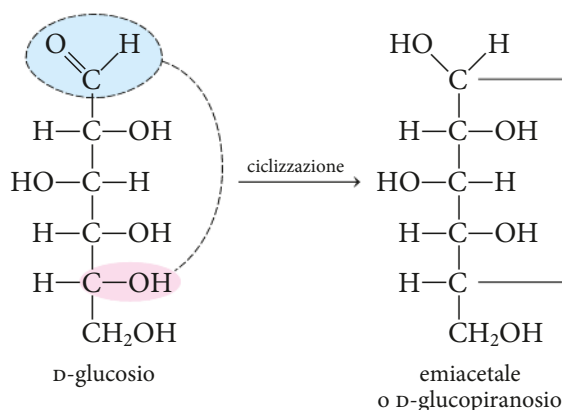
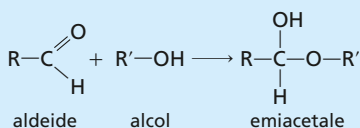
LA STRUTTURA CICLICA DEI MONOSACCARIDI IN SOLUZIONE

In soluzione, le molecole dei monosaccaridi a cinque e sei atomi di carbonio formano prevalentemente **strutture cicliche**. La chiusura dell'anello avviene tramite una reazione di addizione nucleofila fra il gruppo —OH legato a uno degli atomi di carbonio terminali della catena e il gruppo aldeidico (o chetonico), con la formazione di un **emiacetale ciclico**.

Circa il 99% delle molecole di glucosio in soluzione si trova in forma di emiacetale, in cui il gruppo aldeidico ha reagito con il gruppo alcolico in posizione C-5.

TI RICORDI?

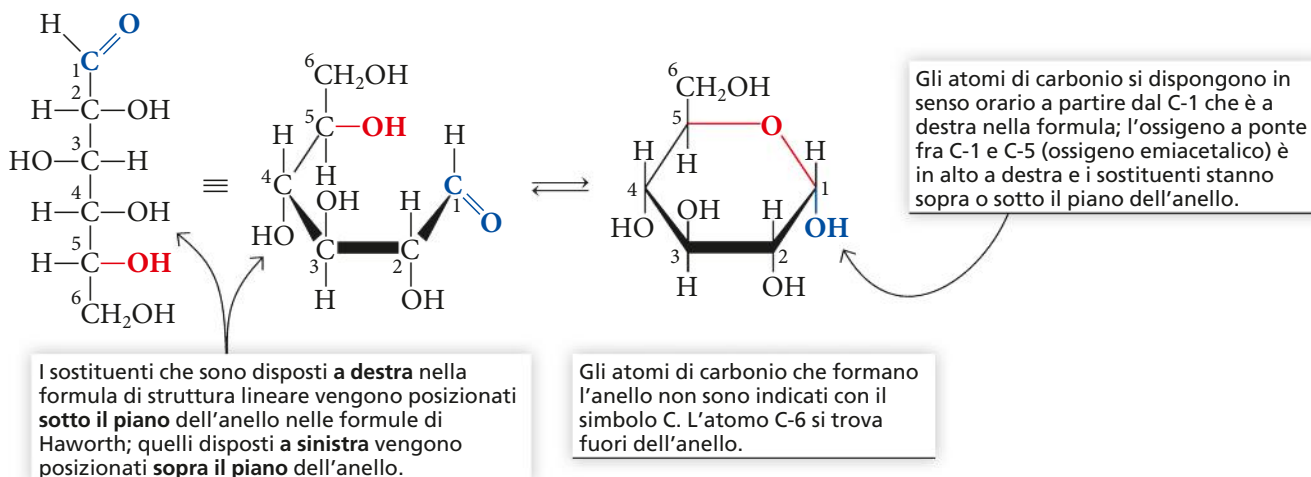
Gli **emiacetali** si ottengono quando un gruppo aldeidico reagisce con un gruppo alcolico in una reazione di **addizione nucleofila**.



In soluzione acquosa, il glucosio tende a formare **anelli a sei atomi** perché questi garantiscono la massima stabilità strutturale della molecola.

LE FORMULE DI PROIEZIONE DI HAWORTH

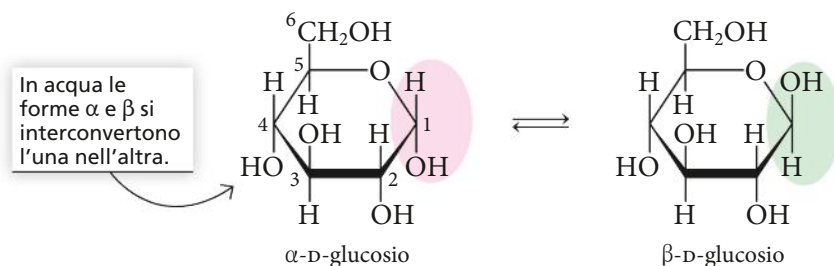
La miglior rappresentazione dei monosaccaridi in forma ciclica si deve al chimico britannico Norman Haworth (1883-1950). Nelle **proiezioni di Haworth** si disegna l'anello come se fosse piano e leggermente inclinato. La tridimensionalità della molecola è evidenziata dal bordo spesso tra i due atomi di carbonio più vicini all'osservatore (C-2 e C-3).



L'ANOMERIA

La formazione dell'emiacetale e la chiusura dell'anello hanno importanti conseguenze sulle proprietà della molecola poiché l'atomo di carbonio C-1, inizialmente aldeidico, diventa anch'esso un centro stereogenico (*carbonio anomero*). Ciò dà origine a due nuovi isomeri ottici, detti **anomeri**, in equilibrio fra loro. Nel caso del D-glucosio, si hanno due anomeri, con diverse funzioni biochimiche:

- **α -D-glucosio**, con il gruppo —OH disposto sotto il piano dell'anello (in *trans* rispetto al gruppo CH₂OH legato al C-5);
- **β -D-glucosio**, con il gruppo —OH disposto sopra il piano dell'anello (in *cis* rispetto al gruppo CH₂OH legato al C-5).



ORA PROVA TU

Se il carbonile del glucosio reagisce con il gruppo ossidrilico in C-4, quale struttura si ottiene?

Le strutture cicliche dei monosaccaridi possono essere a cinque o sei atomi. Gli anelli a cinque atomi sono detti *furanosi* e quelli a sei atomi sono detti *piranos* (ricordano infatti le strutture del furano e del pirano). In natura (**Figura 5**) sono presenti miscele del β -D-glucosio e del β -D-fruttosio:

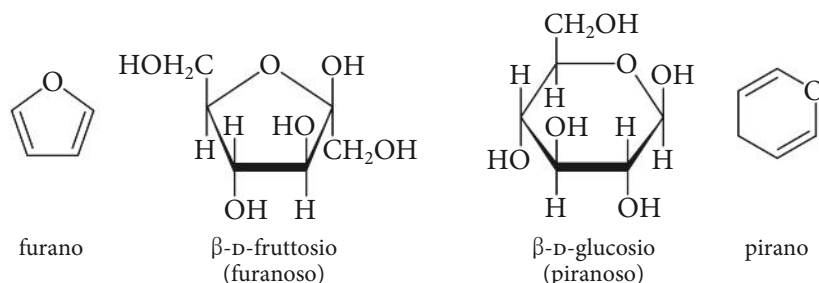


Figura 5

Il miele è una miscela composta principalmente da glucosio e fruttosio.

4 IL LEGAME O-GLICOSIDICO E I DISACCARIDI

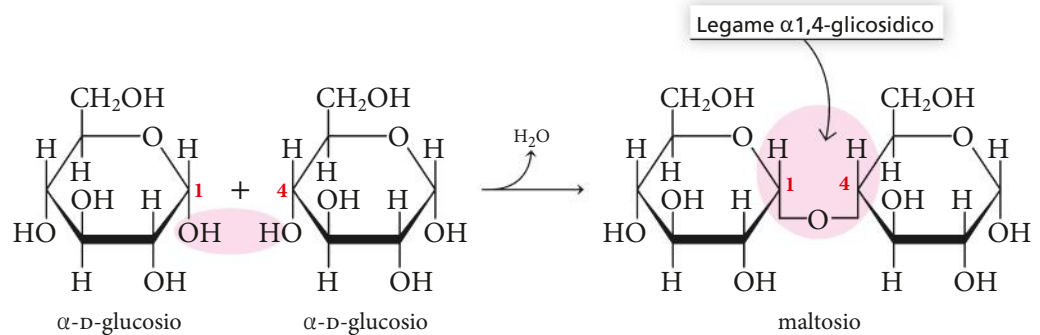
Il legame fra alcune molecole di monosaccaridi (da due fino a una decina) porta alla formazione degli **oligosaccaridi**. Tra questi, i **disaccaridi** derivano dall'unione di due monosaccaridi per reazione dell'ossidrilico anomero di un monosaccaride con un ossidrilico dell'altro attraverso una reazione di condensazione (*acetalizzazione*): la reazione porta alla liberazione di una molecola di acqua e alla formazione di un **legame O-glicosidico**, in cui un atomo di ossigeno si pone a ponte tra i due anelli.

Un **disaccaride** è un acetale in cui il gruppo —OH anomero è sostituito da un gruppo —OR.

Il legame glicosidico viene indicato specificando la posizione degli atomi di carbonio coinvolti nel legame tra le due molecole che si uniscono. Il maltosio, per esempio, presenta un legame α 1,4-glicosidico fra due molecole di α -D-glucosio, a indicare che il C-1 della prima molecola (anomero α) è legato al C-4 della seconda.

ORA PROVA TU

Riassumi la reazione di sintesi di un disaccaride.



Tra gli oligosaccaridi diffusi in natura, oltre al maltosio hanno particolare rilevanza due disaccaridi: *saccarosio* e *lattosio*.

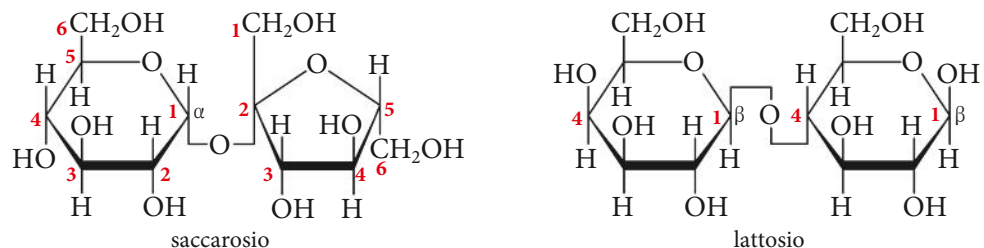





Tabella 2
Disaccaridi di rilevanza biologica.

La **Tabella 2** illustra la composizione e le fonti naturali dei disaccaridi che abbiamo descritto.

Nome	Costituenti	Fonti
Maltosio <small>Danielli Souza/ Shutterstock</small> 	Due molecole di α -D-glucosio unite con legame α 1,4-glicosidico.	Digestione dell'amido. Cereali e malto.
Saccarosio <small>Africa Studio/ Shutterstock</small> 	Una molecola di α -D-glucosio e una di β -D-fruttosio unite con legame α 1,2-glicosidico.	Canna da zucchero e barbabietola da zucchero.
Lattosio <small>Photography/ Shutterstock</small> 	Una molecola di β -D-galattosio e una di β -D-glucosio unite con legame β 1,4-glicosidico.	Latte e derivati.

Il potere dolcificante degli edulcoranti

Gli **edulcoranti** o **dolcificanti** sono sostanze che conferiscono un sapore dolce agli alimenti. Il dolcificante più diffuso è il saccarosio o zucchero da tavola, la cui assunzione si accompagna all'introduzione di un numero rilevante di calorie (4 kcal/g). I soggetti affetti da diabete mellito – una malattia caratterizzata dall'incapacità di utilizzare lo zucchero a causa di un deficit dell'ormone insulina – devono limitare l'uso di questa sostanza. Sono stati quindi introdotti sul mercato edulcoranti alternativi, naturali o di sintesi, che sostituiscono il saccarosio nei prodotti dietetici o per diabetici.



Il **potere dolcificante** di una sostanza è un valore numerico che consente di esprimere la sua capacità addolcente. Per convenzione, al saccarosio si attribuisce potere dolcificante 1; il potere dolcificante di tutte le altre sostanze si esprime in riferimento a quello del saccarosio. Il potere dolcificante di una sostanza è espresso come rapporto fra la concentrazione di una soluzione di saccarosio e la concentrazione di una soluzione dell'edulcorante che ha la stessa intensità di dolcezza. Per esempio, una soluzione di saccarosio, a parità di solvente, ha lo stesso grado di dolcezza di una soluzione di saccarina la cui concentrazione è 300 volte inferiore; dunque la saccarina ha un potere dolcificante pari a 300.

Fra gli **edulcoranti naturali** è da ricordare il **fruttosio**, il monosaccaride della frutta e del miele. Il fruttosio ha lo stesso contenuto calorico del saccarosio, ma il suo potere dolcificante è più elevato rispetto al saccarosio (1,8): per ottenere lo stesso effetto addolcente basta una quantità inferiore, da cui un minor apporto calorico. Il fruttosio ha un metabolismo indipendente dall'insulina e per questo può essere usato anche dai diabetici.

Gli **edulcoranti di sintesi** (o artificiali) hanno in genere un potere dolcificante molto elevato e possono essere assunti in piccolissime quantità.

La **saccarina**, per esempio, è stata utilizzata in passato anche se il retrogusto metallico e amaro ne ha successivamente ridotto l'impiego. L'**aspartame** (un derivato degli amminoacidi) ha potere dolcificante pari a circa 200 ma non può essere assunto da soggetti affetti da fenilchetonuria perché contiene l'amminoacido fenilalanina, che essi non possono metabolizzare; la stessa sostanza non resiste alle elevate temperature e non può dunque essere aggiunta a cibi che devono essere cotti. L'**acesulfame K** ha potere dolcificante 200, è resistente al calore e alle variazioni di pH e non ha retrogusto amaro. Oggi è uno degli edulcoranti più diffusi.

Negli ultimi anni, è entrata in uso la **stevia**, una pianta originaria dell'America del Sud, le cui foglie hanno un contenuto elevato di principi attivi come lo **stevioside** e il **rebaudioside**. Rispetto al saccarosio, la stevia ha un potere dolcificante circa 200-300 volte superiore e il suo contenuto calorico è nullo.

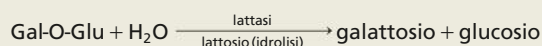


Dionisverai/Shutterstock

Nutrizione e prodotti dietetici

Un numero sempre più elevato di persone in tutto il mondo soffre di **intolleranza al lattosio**, una sindrome caratterizzata da disturbi digestivi, dolori addominali, diarrea e produzione di gas intestinali (*meteorismo*).

Il lattosio introdotto con il latte alimentare è normalmente digerito grazie all'azione di un enzima, chiamato **lattasi**, prodotto dalle ghiandole intestinali.



Per motivi diversi, in alcune persone si può manifestare un deficit di lattasi che causa un accumulo di lattosio indigerito nell'intestino. Lo zucchero richiama acqua per osmosi e viene fermentato dai batteri intestinali, il cui metabolismo genera gas e altre sostanze irritanti responsabili dei sintomi clinici. La terapia di questa sindrome consiste nel seguire una dieta priva del latte e di tutti i suoi derivati. Oggi sono disponibili formulazioni commerciali di latte dietetico a contenuto ridotto di lattosio, più facilmente digeribile.

L'intolleranza al lattosio ha basi genetiche e non deve essere confusa con l'**intolleranza al latte** o, più propriamente, **allergia al latte**. Mentre l'intolleranza al lattosio è dovuta a un deficit enzimatico, l'allergia al latte è scatenata dalla reazione del sistema immunitario contro le proteine del latte. In questo caso, oltre ai sintomi gastrointestinali si manifestano anche reazioni cutanee e, talvolta, attacchi di asma. A lungo termine, l'allergia al latte può portare alla degenerazione della mucosa intestinale e a una perdita della capacità di assorbire nutrienti. La terapia consiste nell'uso dietetico di latte artificiale che contiene proteine idrolizzate o, nei casi meno gravi, di latte di soia.



Pheelings media/Shutterstock

5 I POLISACCARIDI CON FUNZIONE DI RISERVA ENERGETICA

L'unione mediante legami glicosidici di numerose molecole di monosaccaridi porta alla formazione dei **polisaccaridi**.

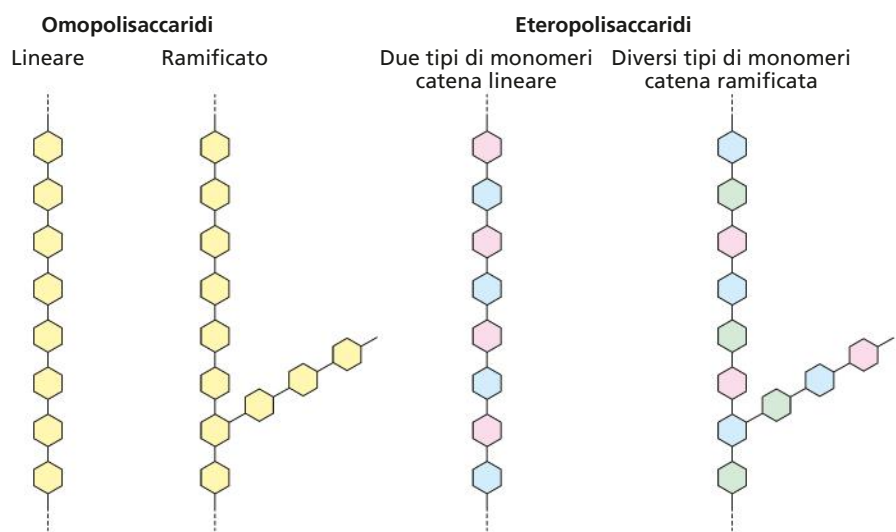
Alcuni di questi sono formati dall'associazione di qualche decina di unità monosaccaridiche, altri possono formare catene anche di decine di migliaia di molecole.

Gli *omopolisaccaridi* sono costituiti dalla ripetizione di un solo tipo di monosaccaride; gli *eteropolisaccaridi* contengono, invece, due o più tipi diversi di monosaccaride.

I polisaccaridi si classificano anche in base alla presenza di ramificazioni nelle loro molecole: esistono così polisaccaridi a catena *lineare* e polisaccaridi a catena *ramificata* (Figura 6).

Figura 6

I polisaccaridi possono essere composti da uno, due o più tipi di monosaccaridi, disposti in catene lineari o ramificate di varie lunghezze.



L'AMIDO

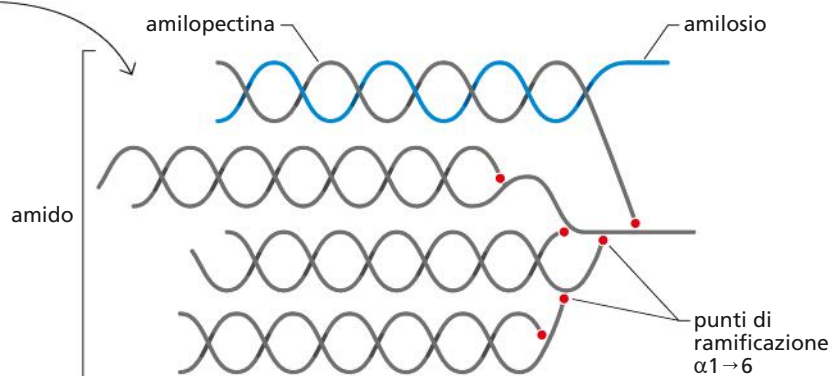
L'**amido**, un omopolisaccaride assai diffuso nelle piante, è formato dall'associazione di numerose molecole di α -D-glucosio. È il più importante polisaccaride di riserva; si trova nei cereali, nelle patate e nei legumi, e ha una notevole importanza alimentare per l'essere umano (Figura 7).

I costituenti principali dell'amido sono l'*amilosio* (15-20%), formato da una catena lineare che assume un andamento elicoidale nello spazio, e l'*amilopectina* (80-85%), costituita da catene ramificate.



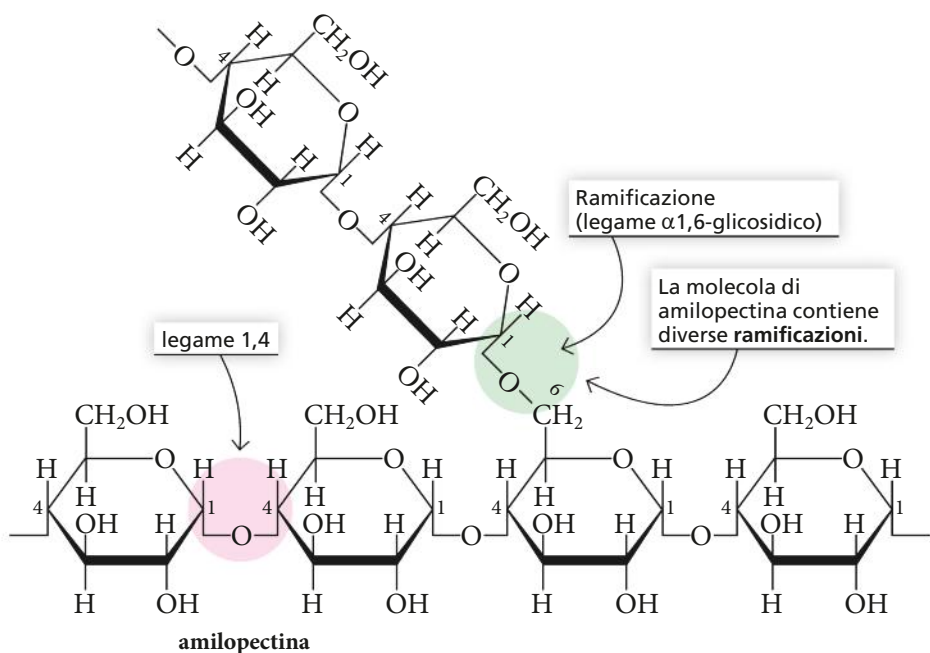
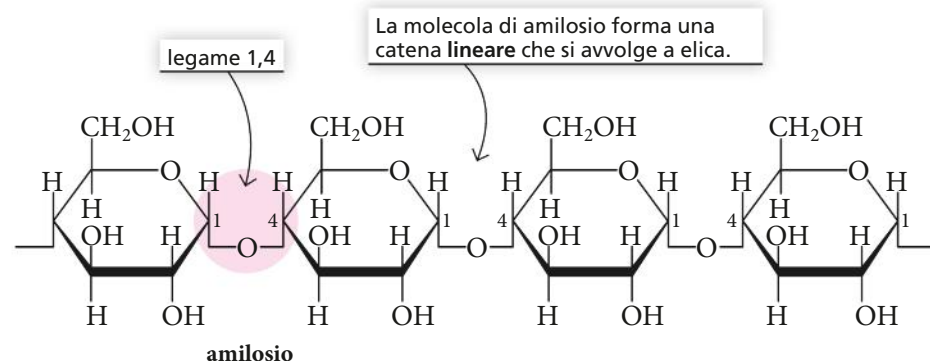
Figura 7

Le piante accumulano grandi quantità di amido nei tuberi.



L'amido è un omopolisaccaride costituito da unità di α -D-glucosio che, nelle molecole di amilosio e amilopectina, sono legate fra loro con legami α 1,4-glicosidici.

Ogni 25-30 unità di glucosio sono presenti, nei punti di ramificazione dell'amilopectina, legami α 1,6-glicosidici.



In blu sono visibili i depositi di glicogeno all'interno delle cellule del fegato.

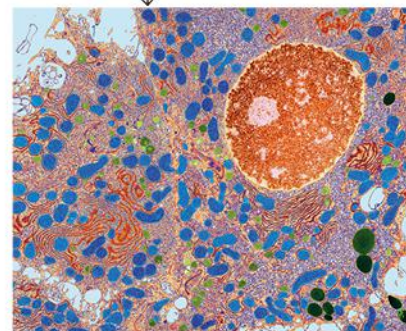


Figura 8
Immagine al microscopio elettronico a trasmissione di una sezione di tessuto epatico trattato con coloranti artificiali per evidenziare le diverse componenti cellulari.

IL GLICOGENO, UN POLISACCARIDE DI RISERVA DI ORIGINE ANIMALE

Nel mondo animale, il glicogeno è l'analogo dell'amido e si trova nel citoplasma delle cellule del fegato e del muscolo, dove è depositato sotto forma di granuli (Figura 8).

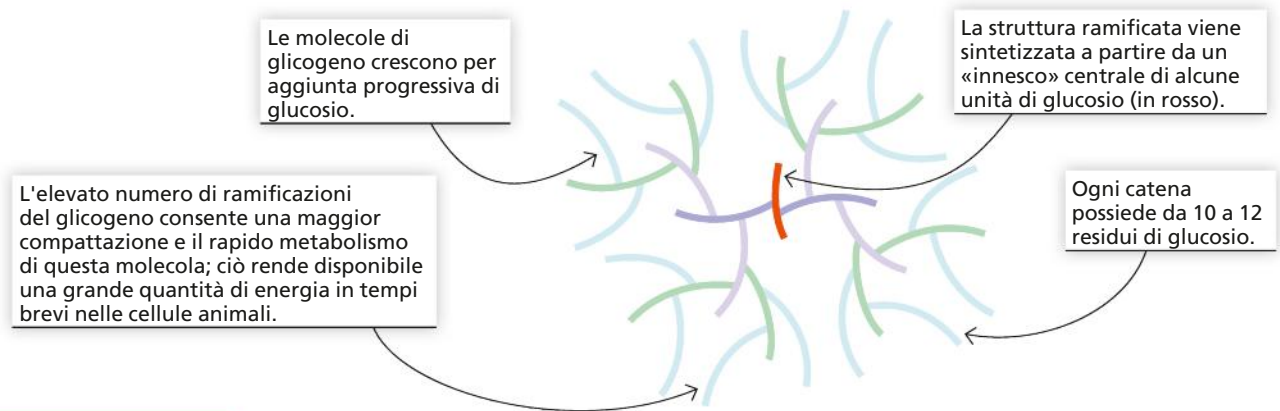
Questo polisaccaride svolge una funzione di riserva energetica anche se, negli animali, la maggior parte dell'energia è conservata sotto forma di grasso nel tessuto adiposo.

Il glicogeno è un omopolimero ramificato di α -D-glucosio.

Anche il glicogeno, come l'amido, mostra una struttura globulare ed è costituito da catene in cui le unità di α -D-glucosio sono legate con legami α 1,4-glicosidici in presenza di ramificazioni mediante legami α 1,6-glicosidici; in questo caso, tuttavia, le ramificazioni sono più frequenti, ogni 10-12 unità di glucosio. Nel complesso, una molecola di glicogeno può

Figura 9

Rappresentazione schematica della struttura di un granulo di glicogeno.



PER SAPERNE DI PIÙ

La sintesi e la demolizione del glicogeno sono regolate dagli ormoni pancreatici **insulina** e **glucagone**, che controllano la concentrazione di glucosio nel sangue (omeostasi della glicemia).

Il glicogeno depositato nelle cellule animali va incontro a modifiche continue in base alle esigenze dell'intero organismo: in condizioni di abbondanza energetica, come accade dopo un pasto, è sintetizzato a partire dal glucosio e si accumula; in condizioni di deficit energetico, come a digiuno o in seguito a uno sforzo fisico, il glicogeno accumulato è demolito a glucosio, la cui successiva degradazione fornisce energia per l'organismo.

6 I POLISACCARIDI CON FUNZIONE STRUTTURALE

Numerosi polisaccaridi hanno una funzione strutturale. Alcuni formano robuste *strutture fibrose* che conferiscono resistenza e protezione a cellule e organismi; altri costituiscono la *matrice extracellulare* e, legandosi a proteine, formano l'impalcatura molecolare che sostiene i tessuti e permette alle cellule di interagire.

LA CELLULOSA

La cellulosa è il principale costituente della parete delle cellule vegetali (**Figura 10**).

La **cellulosa** è un omopolisaccaride insolubile costituito da numerose unità di β -D-glucosio unite fra loro con legami β 1,4-glicosidici a formare catene lineari, prive di ramificazioni.

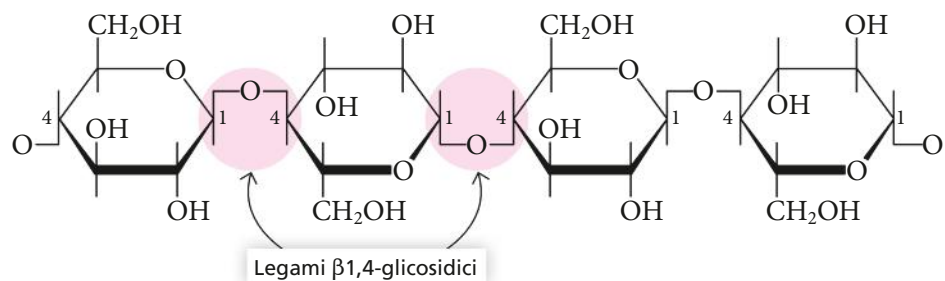


Figura 10

Il legno degli alberi è costituito da fibre di cellulosa ed emicellulosa legate insieme dalla lignina.

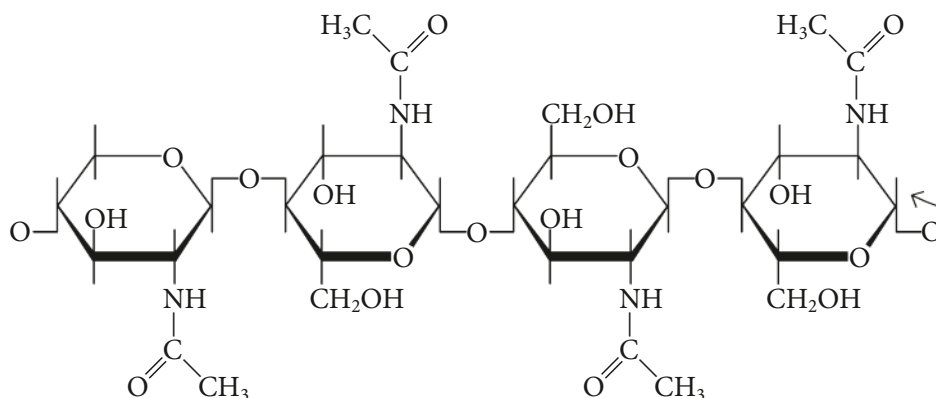
A differenza di ciò che accade nell'amido e nel glicogeno, la presenza dell'anomero β del D-glucosio fa sì che le catene polisaccaridiche assumano un andamento lineare, associandosi fra loro per mezzo di *legami idrogeno* e formando fasci: questa struttura permette alla cellulosa di formare fibre molto resistenti alla trazione, in grado di sostenere la pianta.

I legami β -glicosidici della cellulosa non possono essere idrolizzati dai succhi digestivi del nostro organismo e il polisaccaride è pertanto indigeribile. Gli stessi legami sono invece idrolizzati dagli enzimi prodotti da alcuni batteri che abitano nell'apparato digerente degli erbivori: quindi, gli erbivori digeriscono la cellulosa, ottenendo da questa la maggior parte dell'energia di cui hanno bisogno.

LA CHITINA

La chitina è un omopolisaccaride a funzione strutturale che forma l'esoscheletro di crostacei e insetti, oltre alla parete cellulare di alcuni funghi.

La **chitina** è un omopolimero di *N*-acetil- β -D-glucosammina, in cui le unità monosaccaridiche sono unite fra loro da legami 1,4-glicosidici a formare catene prive di ramificazioni.



Come nel caso della cellulosa, anche le catene di chitina non sono ramificate e formano robusti fasci che conferiscono resistenza alla struttura che le contiene.

7 I LIPIDI

I **lipidi** sono un gruppo eterogeneo di sostanze che hanno in comune la caratteristica di essere *insolubili in acqua* e *solubili in solventi organici apolari* come etere, cloroformio e cicloesano.

I lipidi svolgono importanti funzioni nel mondo vivente, prima fra tutte quella di *riserva energetica*, ma hanno anche un ruolo *strutturale*: per esempio, partecipano alla formazione delle membrane biologiche, costituiscono il rivestimento mielinico degli assoni delle cellule nervose e agiscono come isolante termico, come nel caso del grasso dei mammiferi marini e degli animali che vivono in climi freddi. Infine, sono precursori di numerose molecole dotate di attività biologica, quali vitamine e ormoni (**Figura 11**).

TI RICORDI?

I manicotti di **mielina** che avvolgono gli assoni accelerano la trasmissione degli impulsi nervosi. La perdita di mielina è alla base della *sclerosi multipla*.

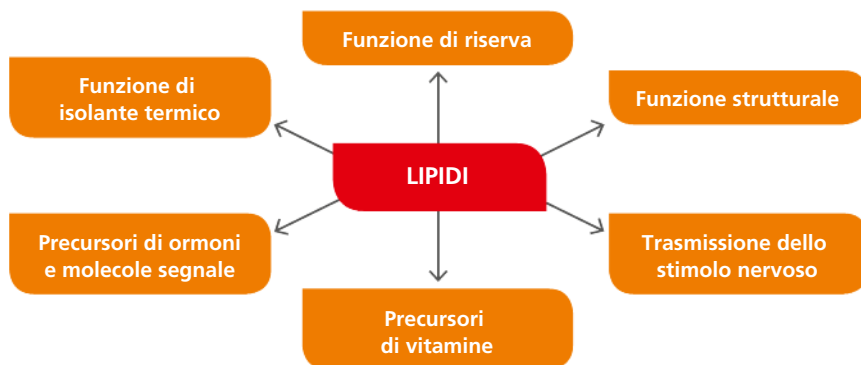
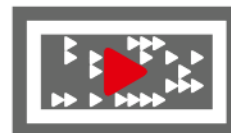


Figura 11

L'importanza dei lipidi in natura.

GUARDA!



Video

Che cosa sono i lipidi?

ORA PROVA TU

Indica almeno una proprietà che distingue i lipidi dagli zuccheri.

Tabella 3

Classificazione dei lipidi in base alla loro complessità strutturale.

Classe	Caratteristiche	Esempi
Lipidi semplici	Esteri di acidi grassi con alcoli.	Grassi: esterii di acidi grassi con glicerolo. Cere: esterii di acidi grassi a catena lunga con alcoli a catena lunga.
Lipidi complessi	Esterii di acidi grassi con alcoli che contengono anche altri gruppi atomici.	Fosfolipidi: contengono gruppi fosfato. Fra questi si riconoscono i <i>glicerofosfolipidi</i> , in cui l'alcol è il glicerolo, e gli <i>sfignofosfolipidi</i> , in cui l'alcol è la sfigosina. Glicosfingolipidi: contengono carboidrati, oltre ad un acido grasso e all'alcol sfigosina. Altri lipidi complessi: solfolipidi e amminolipidi; lipoproteine.
Precursori e derivati lipidici	Composti che non rientrano nelle due categorie precedenti.	Precursori lipidici: acidi grassi, sfigosina, alcoli ad alto peso molecolare. Derivati lipidici: vitamine, ormoni, sali biliari, eicosanoidi, steroidi, terpeni.

L'eterogeneità strutturale dei lipidi rende necessaria una loro classificazione in **lipidi semplici** e **lipidi complessi**; alcune molecole possono poi essere **precursori** o **derivati lipidici** (Tabella 3).

Un altro criterio consente di distinguere i lipidi a seconda che le loro molecole siano o meno in grado di dare saponi a seguito di trattamento a caldo con basi forti, quali NaOH o KOH:

- **lipidi saponificabili** (per esempio triacilgliceroli, fosfogliceridi, sfingolipidi);
- **lipidi non saponificabili** (per esempio steroidi, terpeni).

8 I PRECURSORI LIPIDICI: GLI ACIDI GRASSI

TI RICORDI?

Gli **acidi carbossilici** sono composti organici caratterizzati dalla presenza del gruppo carbossile, $-\text{COOH}$. La formula generale di un acido carbossilico è $\text{R}-\text{COOH}$.

Tra i precursori lipidici più importanti vi sono gli acidi grassi, una classe di composti organici che partecipa alla formazione di molte molecole con importanti funzioni negli organismi viventi.

Gli acidi carbossilici che possiedono quattro o più atomi di carbonio sono detti **acidi grassi**.

Sono presenti nei lipidi naturali prevalentemente sotto forma di esterii ma esistono anche come acidi grassi liberi. Gli acidi grassi più diffusi in natura sono provvisti di una lunga catena costituita da almeno dodici atomi di carbonio (acidi grassi a catena lunga) e hanno formula generale $\text{R}-\text{COOH}$, dove R contiene 11 o più atomi di carbonio.

Gli acidi grassi a catena lunga sono insolubili in acqua ma si sciolgono in soluzione alcalina, formando sali detti *saponi*:



La catena R può essere *satura*, se non sono presenti doppi legami fra gli atomi di carbonio, o *insatura*, se sono presenti uno o più doppi legami; questi ultimi sono sempre nella configurazione *cis*.

Gli acidi grassi in cui sono presenti due o più doppi legami fra gli atomi di carbonio della catena sono noti come *acidi grassi polinsaturi*.

Gli **acidi grassi saturi** sono provvisti di una catena in cui gli atomi di carbonio si legano fra loro mediante legami singoli. Le catene degli **acidi grassi insaturi** contengono uno o più doppi legami.

Gli acidi grassi che prendono parte alla formazione dei lipidi hanno in genere catene formate da un numero pari di atomi di carbonio, compreso tra 4 e 30, e con struttura lineare: non presentano, quindi, strutture chiuse ad

Nome comune	N° atomi di carbonio	Formula chimica	Punto di fusione	Fonte
Acidi grassi saturi				
a. laurico	12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	44,2 °C	Bianco di cetaceo (una sostanza oleo-cerosa che si trova in una concavità esterna del cranio dei cetacei), olio di cocco
a. miristico	14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	53,9 °C	Noce moscata, semi di palma, burro
a. palmitico	16	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	63,1 °C	Tutti i grassi animali e vegetali
a. stearico	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	69,6 °C	Tutti i grassi animali e vegetali
Acidi grassi insaturi				
a. oleico	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	13,4 °C	Tutti i grassi animali e vegetali
a. linoleico	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_2(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-5 °C	Arachidi, semi di soia, altri oli vegetali
a. α -linolenico	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_3(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-11 °C	Olio di semi di lino, altri oli vegetali
a. arachidonico	20	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_4(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	-49,5 °C	Grassi animali, arachidi

anello. La **Tabella 4** riporta alcuni fra gli acidi grassi saturi e insaturi più rilevanti nei sistemi biologici.

La lunga catena idrocarburica degli acidi grassi saturi ha un andamento pressoché rettilineo: questa caratteristica consente alle molecole di compattarsi strettamente l'una con l'altra e determina un *punto di fusione* relativamente elevato. Al contrario, negli acidi grassi insaturi, in prossimità dei doppi legami in configurazione *cis* la catena subisce un cambiamento di direzione che ostacola il compattamento serrato delle molecole (**Figura 12**). Gli acidi insaturi hanno perciò un punto di fusione relativamente basso che diminuisce all'aumentare del numero di doppi legami.

LA DENOMINAZIONE ω DEGLI ACIDI GRASSI

In chimica organica, la catena carboniosa degli acidi grassi si numera a partire dall'atomo di carbonio del gruppo carbossile (carbonio C-1). In biochimica si preferisce spesso una denominazione tradizionale che fa uso delle lettere greche: la lettera α viene attribuita al carbonio adiacente al gruppo carbossile (carbonio C-2), mentre la lettera ω è assegnata al carbonio metilico posto all'altra estremità della catena (*vedi Figura 12*).

Il carbonio ω è usato come riferimento nella cosiddetta *denominazione ω* degli acidi grassi insaturi, particolarmente diffusa in ambito nutrizionale. I composti sono classificati in base alla distanza in atomi di carbonio fra l'estremità metilica della molecola, appunto il carbonio ω , e l'ultimo doppio legame della catena. Per esempio, l'acido oleico è un $\omega 9$.

Tabella 4

Acidi grassi a catena lunga di rilevanza biologica.

TI RICORDI?

Le catene idrofobe degli acidi grassi interagiscono fra loro grazie alle **forze di London**, un tipo particolare di forze di Van der Waals.

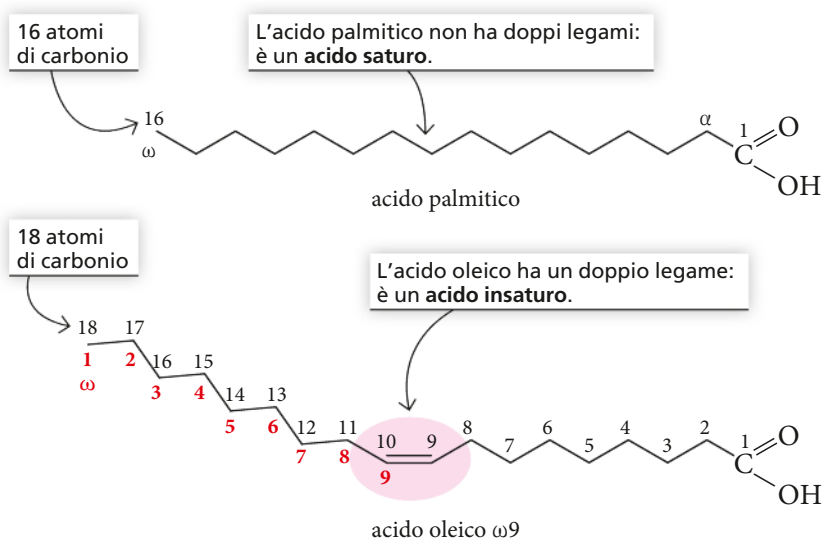


Figura 12

Rappresentazione schematica dell'acido palmitico e dell'acido oleico. Si notino i due diversi modi di numerare la catena carboniosa.

Gli acidi grassi polinsaturi e il rischio cardiovascolare

Gli acidi grassi polinsaturi della serie $\omega 3$ sono l'acido α -linolenico, l'acido eicosapentaenoico (EPA) e l'acido docosaesaenoico (DHA).

Gli acidi grassi polinsaturi sono particolarmente abbondanti in alimenti quali pesce azzurro, crostacei, noci e certi oli vegetali. Per molti anni è stata attribuita un'azione quasi miracolosa alle diete ricche in acidi grassi polinsaturi della serie $\omega 3$, ritenendo che queste avessero un effetto benefico sul sistema cardiovascolare e nella prevenzione di gravi malattie, come infarto del miocardio e ictus, grazie alla loro capacità di abbassare i livelli ematici di trigliceridi e ridurre la pressione arteriosa. Per questo molti medici hanno prescritto negli anni integratori a base di olio di pesce a soggetti in cui il rischio di contrarre malattie cardiovascolari era elevato.

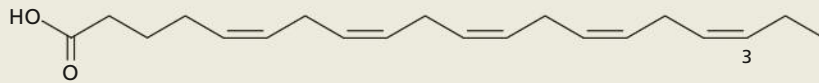
Due recenti studi scientifici condotti su campioni di pazienti molto vasti hanno, tuttavia, dimostrato l'infondatezza di tali principi, indicando che la somministrazione di integratori a base di acidi polinsaturi $\omega 3$ non influenza in modo significativo il rischio cardiovascolare.

Negli ultimi tempi è salito all'attenzione dei media il possibile ruolo dell'**olio di palma** nel rischio cardiovascolare causato da un aumento della concentrazione del colesterolo nel sangue. L'olio di palma è ricco di acidi grassi saturi a lunga catena ma anche di acido oleico ed è ampiamente utilizzato nell'industria alimentare (**Figura A**).

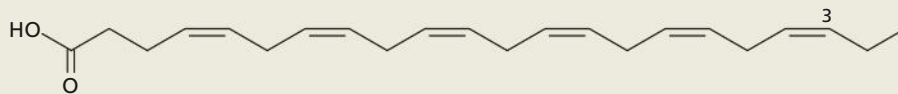


Figura A
Frutti della palma da olio.

Gli studi più recenti non dimostrano un effetto diverso dell'olio di palma rispetto ad altri grassi di composizione simile. In altre parole, l'olio di palma non ha un effetto negativo specifico: se l'assunzione di alimenti contenenti olio di palma avviene in un quadro nutrizionale bilanciato (con assunzione di quantità adeguate di acidi grassi polinsaturi), il rischio cardiovascolare non aumenta in modo rilevante in individui sani e di peso normale.



acido eicosapentaenoico (EPA, $\omega 3$)

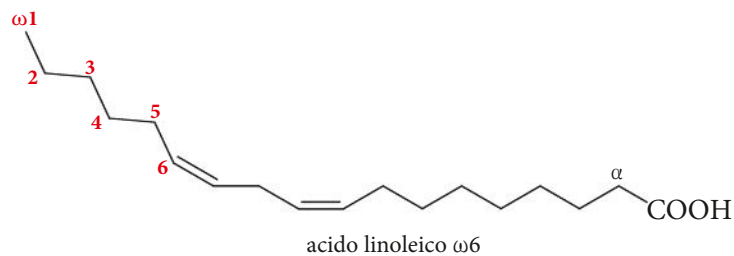


acido docosaesaenoico (DHA, $\omega 3$)



Figura 13
L'olio di germe di grano contiene grandi quantità di acido α -linolenico, un acido grasso essenziale.

Gli acidi grassi delle serie $\omega 6$ (per esempio, l'acido linoleico) e $\omega 3$ (per esempio, l'acido α -linolenico) non possono essere prodotti dalle cellule del corpo umano perché mancano gli enzimi necessari alla loro sintesi e, pertanto, sono detti acidi grassi essenziali (**Figura 13**).



acido linoleico $\omega 6$

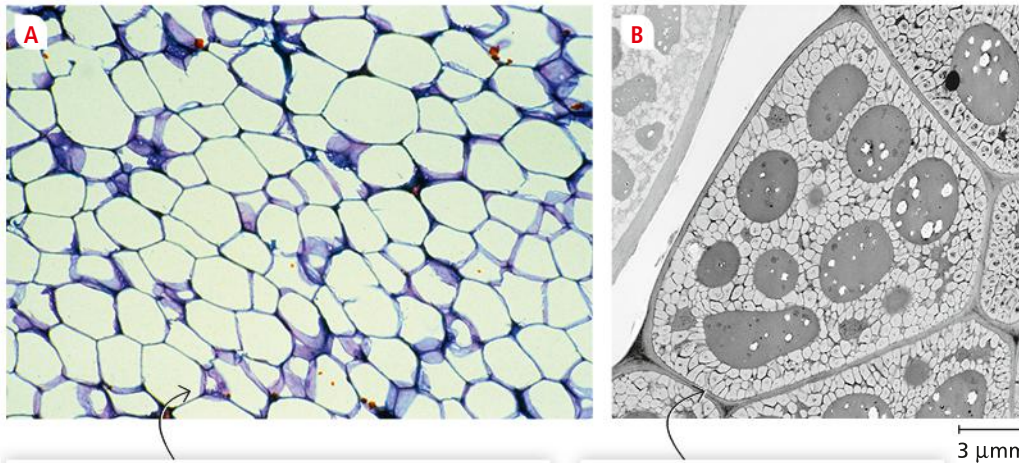
Gli acidi grassi essenziali non possono essere sintetizzati dal metabolismo cellulare umano e devono essere assunti con la dieta.

Come tutte le sostanze definite in biochimica *essenziali*, ossia non biosintetizzabili da un organismo, questi acidi grassi devono essere necessariamente introdotti mediante l'alimentazione. È importante ricordare che il concetto di «essenzialità» dipende dalla specie: ciò che è essenziale per una specie può non esserlo per un'altra e viceversa.

9

I TRIACILGLICEROLI

I **triacilgliceroli** (o *trigliceridi*) sono la principale *riserva energetica* dei viventi; formano anche il tessuto adiposo negli animali (*grassi*), e i depositi lipidici delle piante (*oli*) (Figura 14).



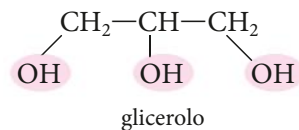
I **lipidi** sono immagazzinati nel citoplasma delle cellule adipose sotto forma di una singola grande goccia (aree chiare); i nuclei e il citoplasma (aree più scure) sono schiacciati nella periferia della cellula.

Nelle piante, i **depositi oleosi** sono le goccioline chiare che circondano le parti più scure e occupano gran parte del citoplasma.

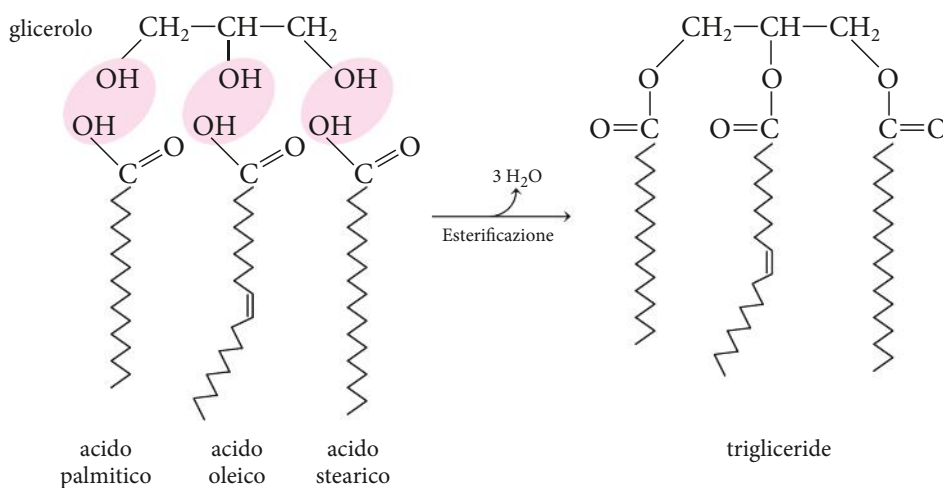
Figura 14

(A) Sezione di tessuto adiposo osservato al microscopio. (B) Cellula della pianta *Arabidopsis thaliana*.

L'impalcatura strutturale di base dei triacilgliceroli è data dall'1,2,3-propantriolo o *glicerolo*, una molecola con tre funzioni alcoliche.

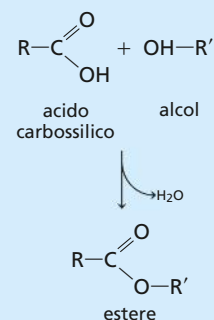


Nei triacilgliceroli, la molecola di glicerolo lega tre molecole di acido grasso attraverso *reazioni di esterificazione* che eliminano tre molecole di acqua.



TI RICORDI?

Gli **esteri** si formano per reazione fra un acido carbossilico e un alcol con eliminazione di una molecola d'acqua.



I triacilgliceroli sono una famiglia di molecole molto simili che differiscono per il tipo di acido grasso legato.

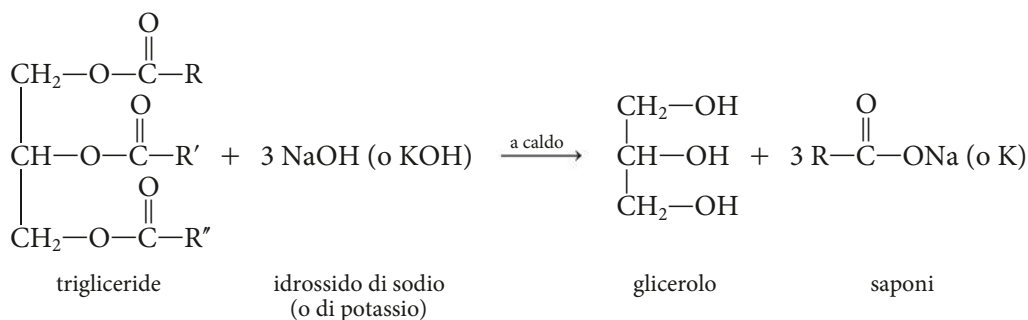
I **grassi animali**, che sono allo stato solido a temperatura ambiente, sono ricchi di acidi grassi saturi; negli **oli vegetali**, che sono liquidi a temperatura ambiente, predominano invece gli acidi grassi insaturi.

PER SAPERNE DI PIÙ

La produzione dei saponi è stata progressivamente soppiantata da quella di detergenti sintetici, o **detersivi**, allo scopo di preservare maggiormente i tessuti. Infatti, essendo sali di acidi deboli, in acqua i saponi danno **idrolisi basica**: l'aumento del pH è dannoso per alcuni tipi di fibre. Inoltre, se l'acqua utilizzata per il lavaggio è «dura», cioè ricca di ioni calcio e magnesio, si formano **sali insolubili** degli acidi grassi con questi ioni, che precipitano.

LA REAZIONE DI SAPONIFICAZIONE DEI TRIACILGLICEROLI

Il trattamento a caldo di una miscela di grassi o oli con una soluzione concentrata di NaOH o KOH dà luogo ad una *reazione di saponificazione* in cui si formano saponi (sali di acidi grassi e glicerolo):

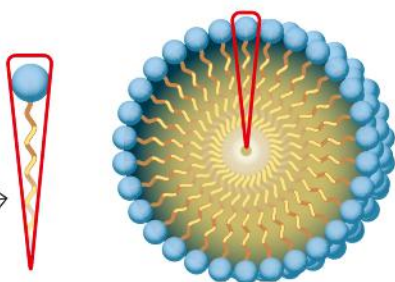


Le molecole di sapone possiedono una *porzione idrofila*, costituita dal gruppo carbossilato carico negativamente e dal catione metallico (Na^+ o K^+) associato, e una *porzione idrofoba*, la catena idrocarburica. Le molecole con questa duplice natura sono chiamate **anfipatiche**; a contatto con l'acqua, tendono a disporsi in modo da esporre verso il solvente la minore superficie possibile e per questo formano strutture sferiche dette **micelle**: a questa caratteristica si deve il loro potere detergente (**Figura 15**).

Figura 15

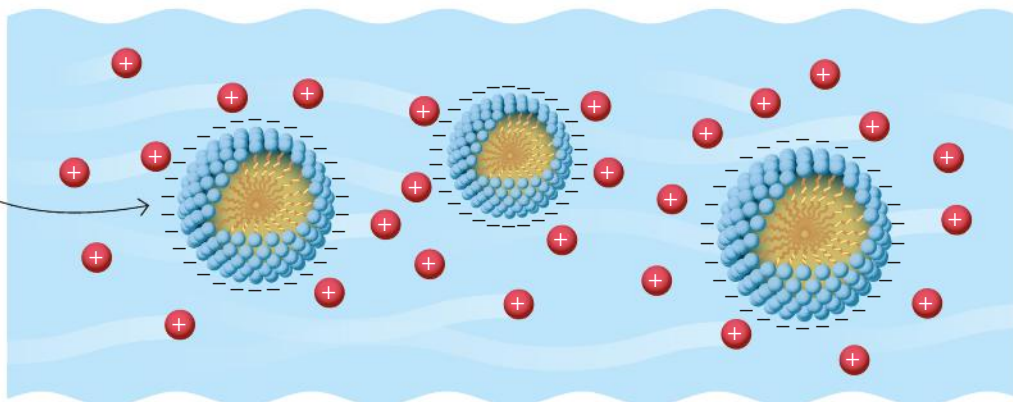
Il potere detergente dei saponi è dovuto alla formazione di micelle.

Le molecole di sapone sono anfipatiche e possono formare micelle, aggregati molecolari di forma sferica.



Nelle micelle, le parti idrofile dei saponi (cerchietti azzurri) sono rivolte esternamente verso il solvente acquoso e quelle idrofobe (catene gialle) vengono racchiuse all'interno.

Lo sporco inglobato nelle micelle viene lavato via insieme all'acqua.



LA REAZIONE DI IDROGENAZIONE DEGLI OLI VEGETALI

Gli oli vegetali possono essere trasformati in sostanze solide, dette **margarine**, attraverso una semplice addizione di atomi di idrogeno ai doppi legami (*reazione di idrogenazione*), in presenza di un opportuno catalizzatore.

Nell'industria questo processo è alla base della produzione di prodotti alimentari che possono sostituire il burro animale. La saturazione dei doppi legami diminuisce anche la possibilità di attacchi da parte di sostanze ossidanti e, di conseguenza, limita la formazione di sottoprodotti che hanno odori sgradevoli (come nel burro irrancidito) e sono potenzialmente tossici.