

# Programma del Corso

**Biomolecole:** cenni strutturali e funzionali.

**Flusso dell'energia negli organismi viventi:** principi di bioenergetica e relazioni termodinamiche.

**ATP e composti ricchi di energia.** I substrati energetici.

**Concetti generali del metabolismo:** vie anaboliche, cataboliche ed anfiboliche.

**Metabolismo del muscolo scheletrico:** classificazione delle fibre muscolari e biochimica della contrazione. Bioenergetica del muscolo scheletrico: le fonti energetiche e meccanismi di sintesi dell'ATP.

**Meccanismi anaerobici alattacidi:** fosfocreatina e miochinasi.

**Meccanismi anaerobici lattacidi:** glicolisi e destini del piruvato.

Fermentazione lattica. Trasportatori dei monocarbossilati (MCT). Utilizzo del lattato. Ciclo di Cori. Metodi di determinazione della concentrazione ematica del lattato. Debito d'ossigeno.

**Il glicogeno:** struttura, funzione e metabolismo. Ruolo del glicogeno muscolare in funzione dell'attività fisica e resa energetica.

# Programma del Corso

- **Meccanismi aerobici:** complesso della piruvato deidrogenasi e sua regolazione. Ciclo di Krebs e bilancio energetico. Trigliceridi e tessuto adiposo. Mobilizzazione e trasporto degli acidi grassi. Attivazione degli acidi grassi ed il sistema di trasporto mitocondriale della carnitina. **Beta-ossidazione** e bilancio energetico dell'acido palmitico. Cenni sull'ossidazione degli amminoacidi: transamminasi e produzione dell'urea. Mitocondri e sistemi di trasporto di membrana; sistemi navetta.
- **Fosforilazione ossidativa:** reazioni d'ossido-riduzione; catena di trasporto degli elettroni e sintesi dell'ATP. Meccanismo di sintesi dell'ATP e complesso dell'ATP sintasi ( $F_0F_1$ ). Resa energetica. Proteine e agenti disaccoppianti.
- **I radicali liberi:** specie reattive dell'ossigeno (ROS). ROS e salute. Attività fisica e produzione di ROS.
  
- Lettura e commento di articoli scientifici su aspetti applicativi della Bioenergetica alle Scienze Motorie
- **Testi consigliati:**
  - Nelson D.L., Cox M.M. *“Principi di Biochimica di Lehninger”* – sesta edizione – Zanichelli.
  - Arienti G., Fiorilli A. *“Biochimica dell'attività Motoria”* – Piccin.
  - Di Giulio A., Fiorilli A., Stefanelli C. *“Biochimica per le scienze motorie”* – CEA
  
  - *Qualsiasi altro testo recente di bioenergetica per le scienze motorie conforme al programma*

# **Attività didattiche e verifiche di apprendimento**

- **Le verifiche d'apprendimento si svolgeranno mediante Test scritti, costituiti da domande a risposta multipla, sugli argomenti trattati a lezione e si svolgeranno sulla pagina e-learning del corso della piattaforma Moodle.**
- **Ad inizio corso si svolgerà una prova autovalutativa sulle pregresse conoscenze di Biochimica Umana (prenotarsi su Prova parziale Esse3).**
- **A metà ed al termine del Corso, saranno svolti Test scritti valutativi di verifica dell'apprendimento (prenotarsi su Prova parziale Esse3).**
- **L'esame consiste in una prova scritta che consente l'accesso alla prova orale**
- **Il punteggio medio sufficiente, conseguito ai due Test scritti valutativi svolti durante il Corso, consentirà l'accesso alla prova orale solo per il primo appello dell'AA. Il voto finale d'esame comprenderà sia il punteggio dei Test scritti sia quello della prova orale.**

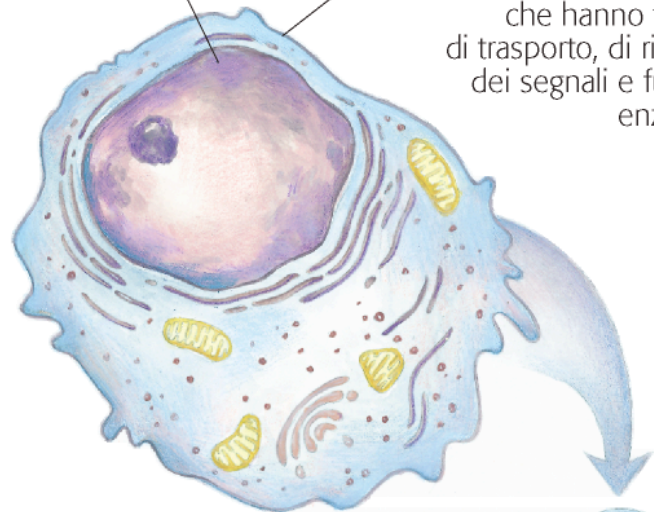
# La cellula

## Nucleo (eucarioti) o nucleotide (batteri)

Contiene il materiale genetico: DNA e proteine associate. Il nucleo è circondato da una membrana

## Membrana plasmatica

Doppio strato lipidico flessibile e resistente. Selettivamente permeabile alle sostanze polari. Comprende proteine di membrana che hanno funzioni di trasporto, di ricezione dei segnali e funzione enzimatica



## Citoplasma

Il contenuto acquoso della cellula, le particelle sospese e gli organelli

centrifugare a 150000 g

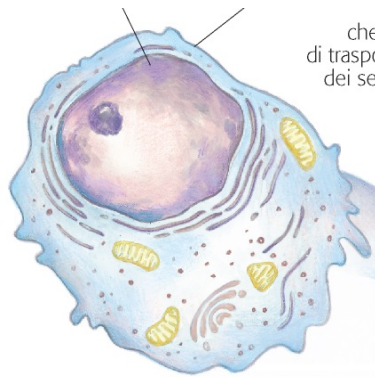
Sopranatante: il citosol  
Soluzione concentrata di enzimi, RNA, molecole di precursori, metaboliti, ioni inorganici

Sedimento: particelle e organelli.  
Ribosomi, granuli di riserva, mitocondri, cloroplasti, lisosomi, reticolo endoplasmatico

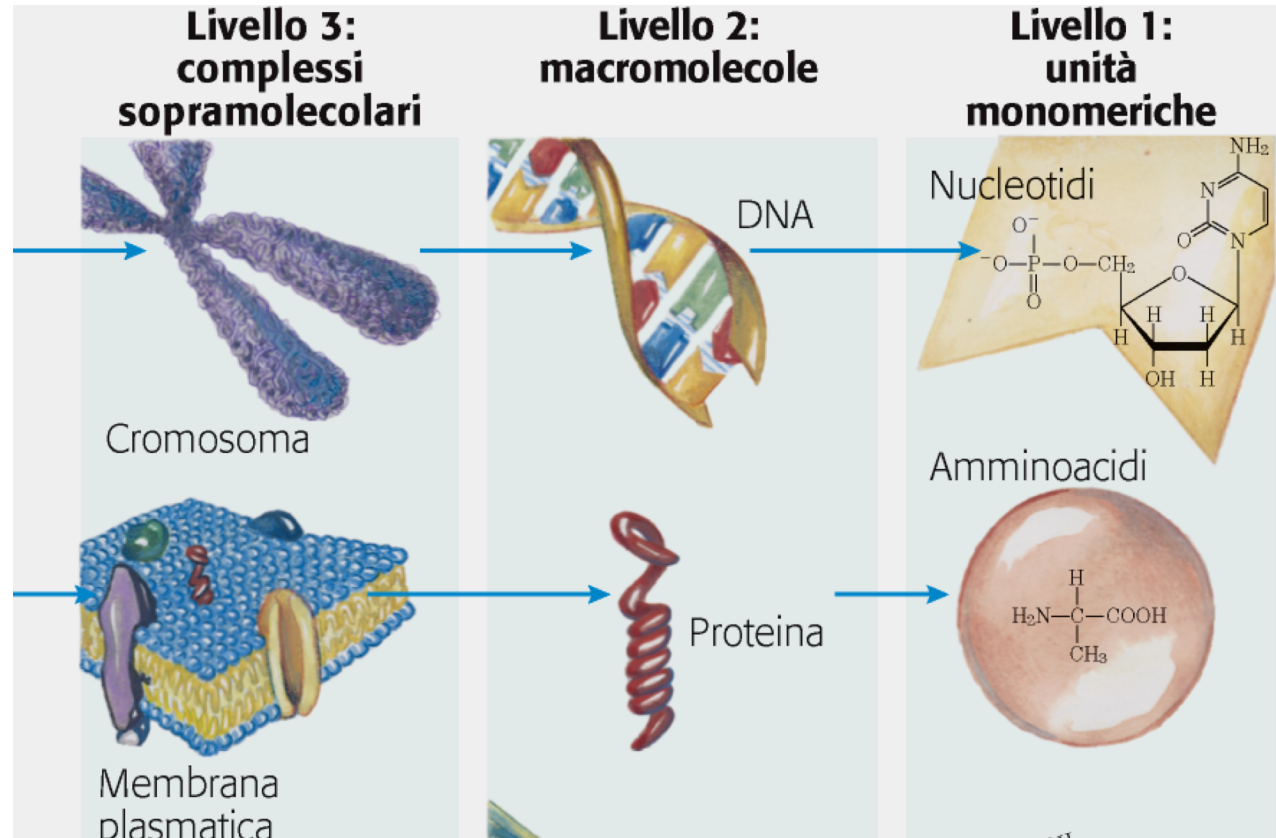


# Livelli d'organizzazione strutturale

## Livello 4: la cellula



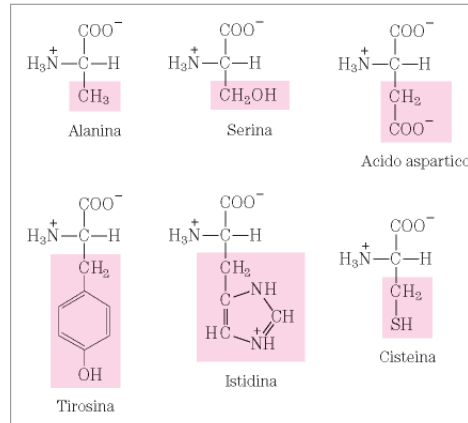
che  
di traspc  
dei se



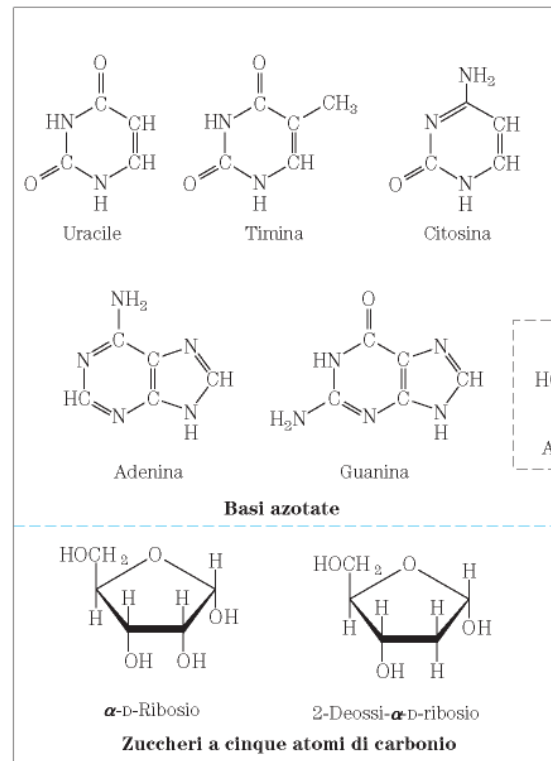
# Le biomolecole

## Proteine

(a) Alcuni aminoacidi delle proteine



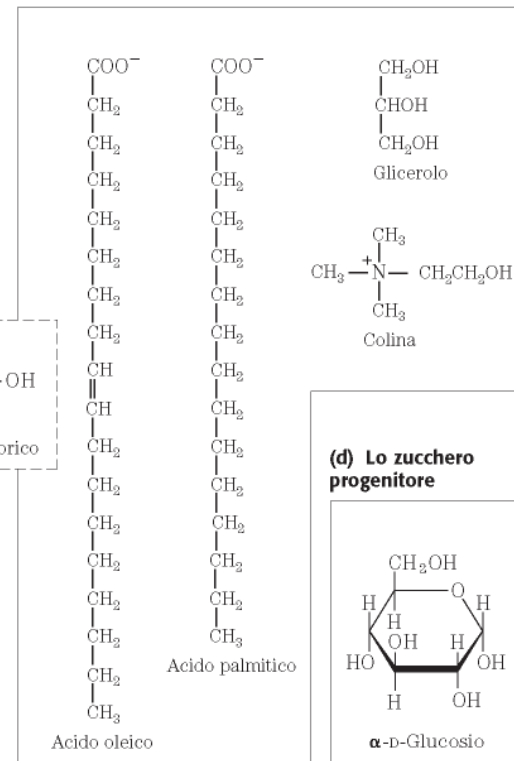
(b) I componenti degli acidi nucleici



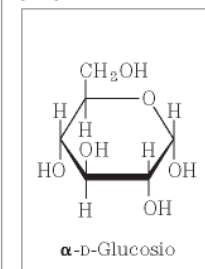
## Acidi nucleici

## Lipidi

(c) Altri componenti dei lipidi



(d) Lo zucchero progenitore



## Carboidrati

# **PROTEINE**

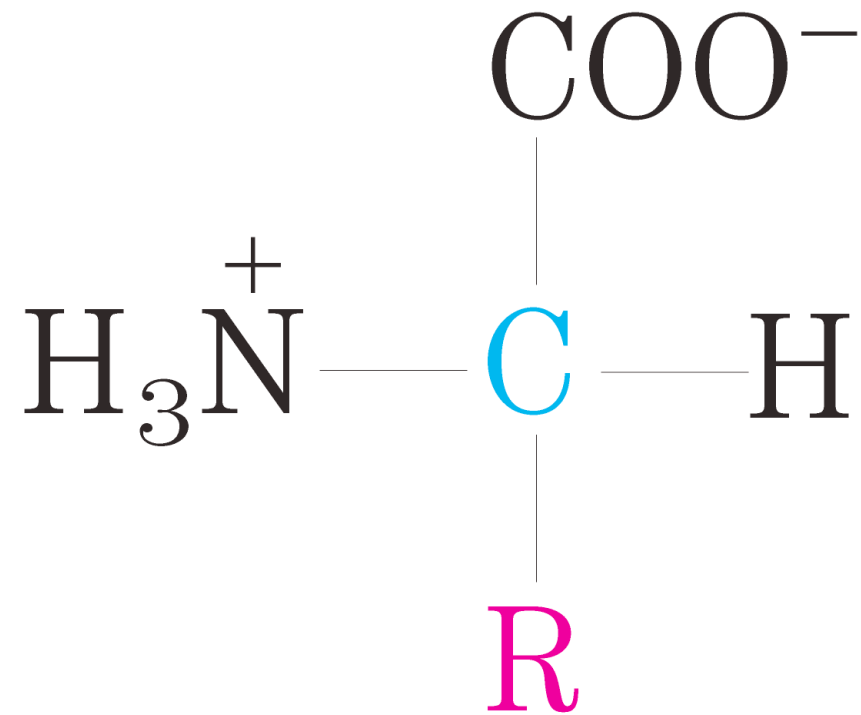
**Le proteine svolgono numerose funzioni fondamentali all'interno della cellula. Le più ricorrenti sono:**

- Funzione strutturale (cheratine, collagene, ecc.)**
- Funzione di trasporto (emoglobina, albumina, ecc.)**
- Funzione catalitica (enzimi)**
- Funzione specializzate (immunoglobuline)**

**Sono biopolimeri costituiti da  $\alpha$ -L-amminoacidi legati tra loro mediante legame peptidico**

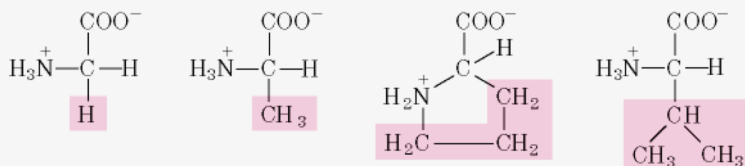
**In base alla struttura si possono classificare in proteine fibrose e proteine globulari**

# Amminoacido





### Gruppi R alifatici, non polari

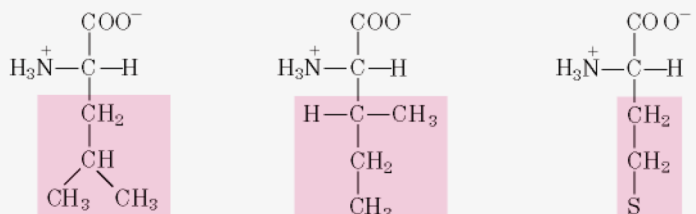


Glicina

Alanina

Prolina

Valina

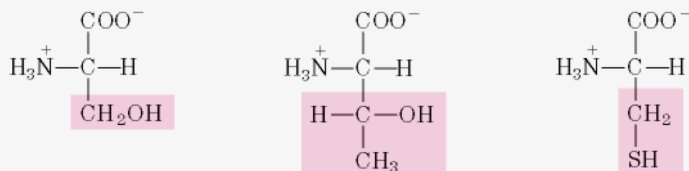


Leucina

Isoleucina

Metionina

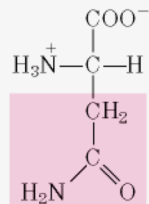
### Gruppi R polari, non carichi



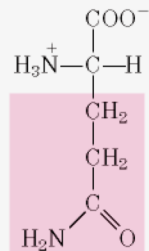
Serina

Treonina

Cisteina

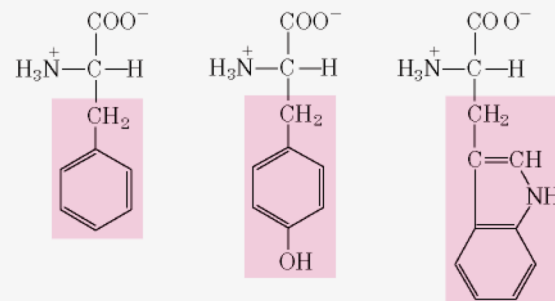


Asparagina



Glutamina

### Gruppi R aromatici

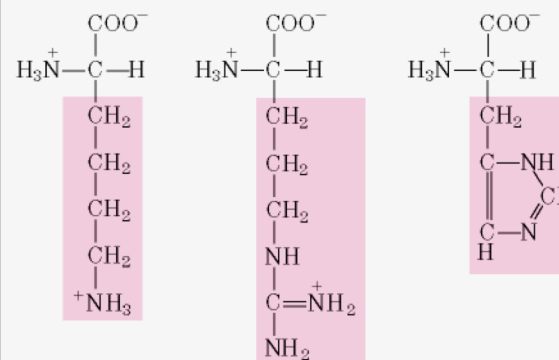


Fenilalanina

Tirosina

Triptofano

### Gruppi R carichi positivamente

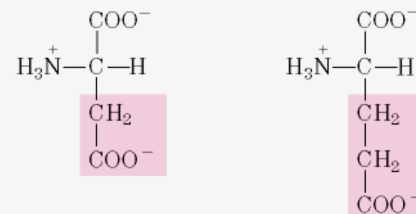


Lisina

Arginina

Istidina

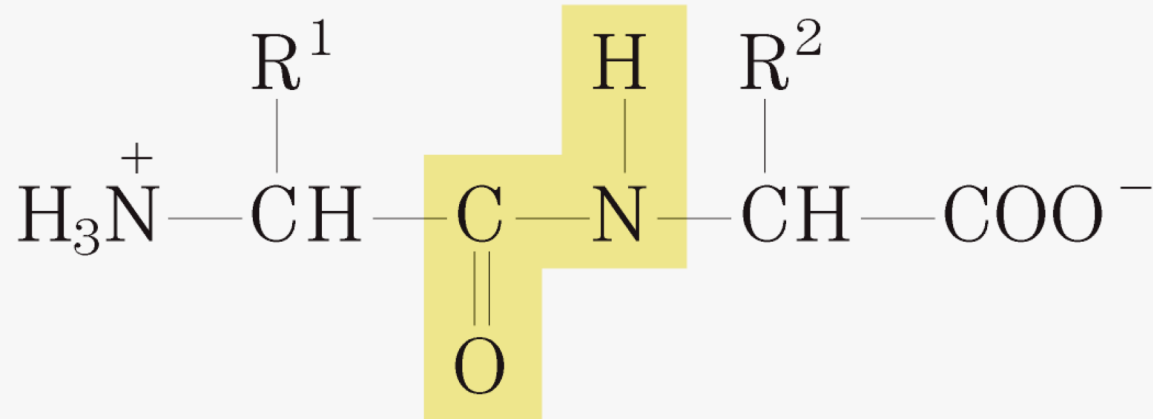
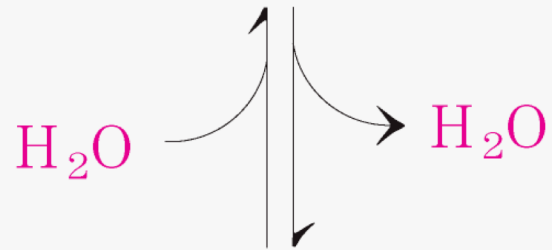
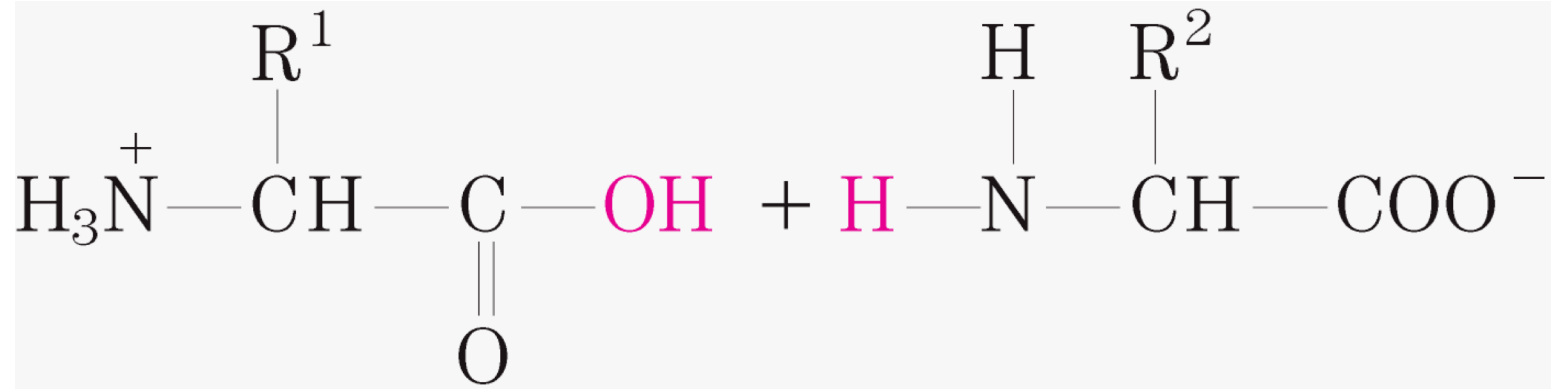
### Gruppi R carichi negativamente



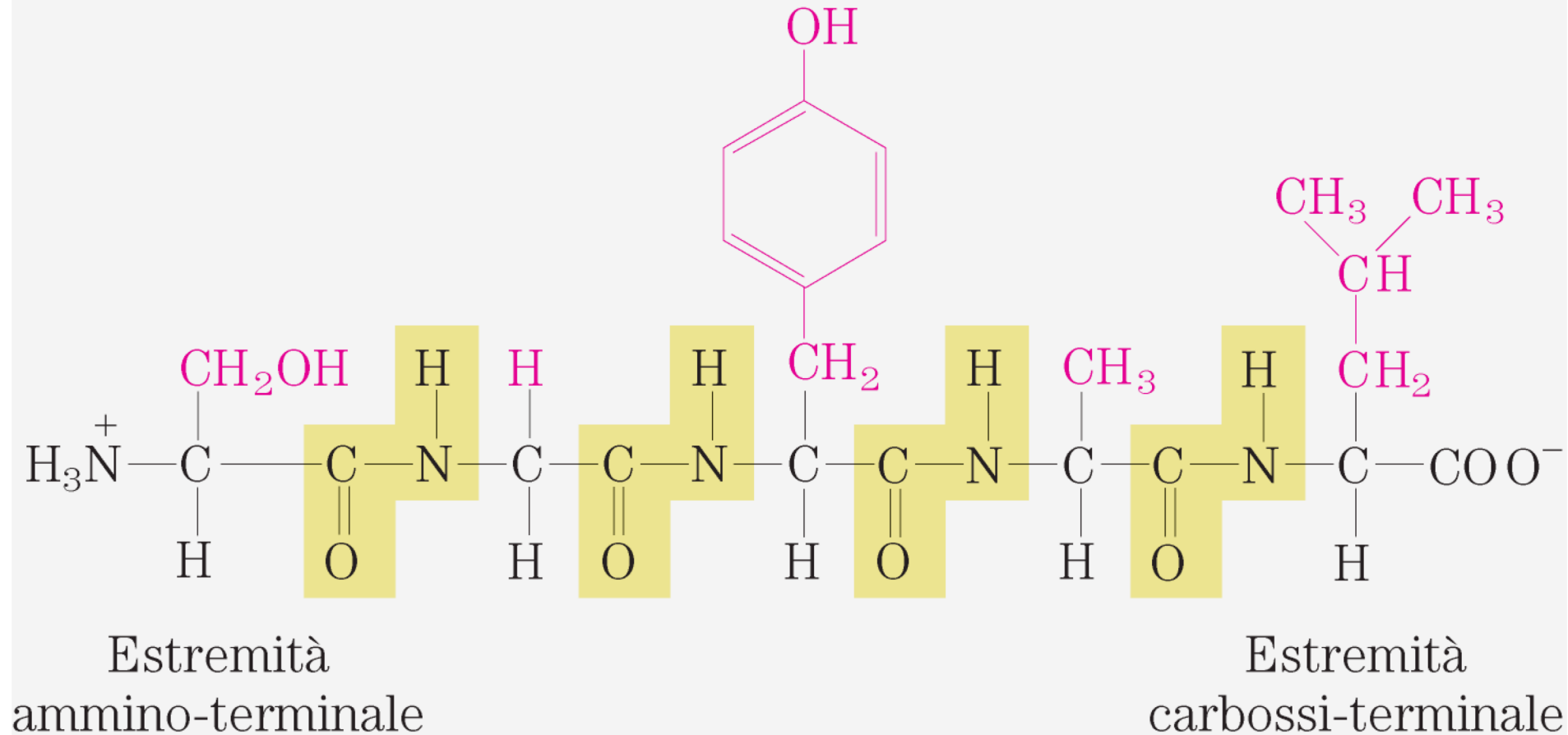
Aspartato

Glutammato

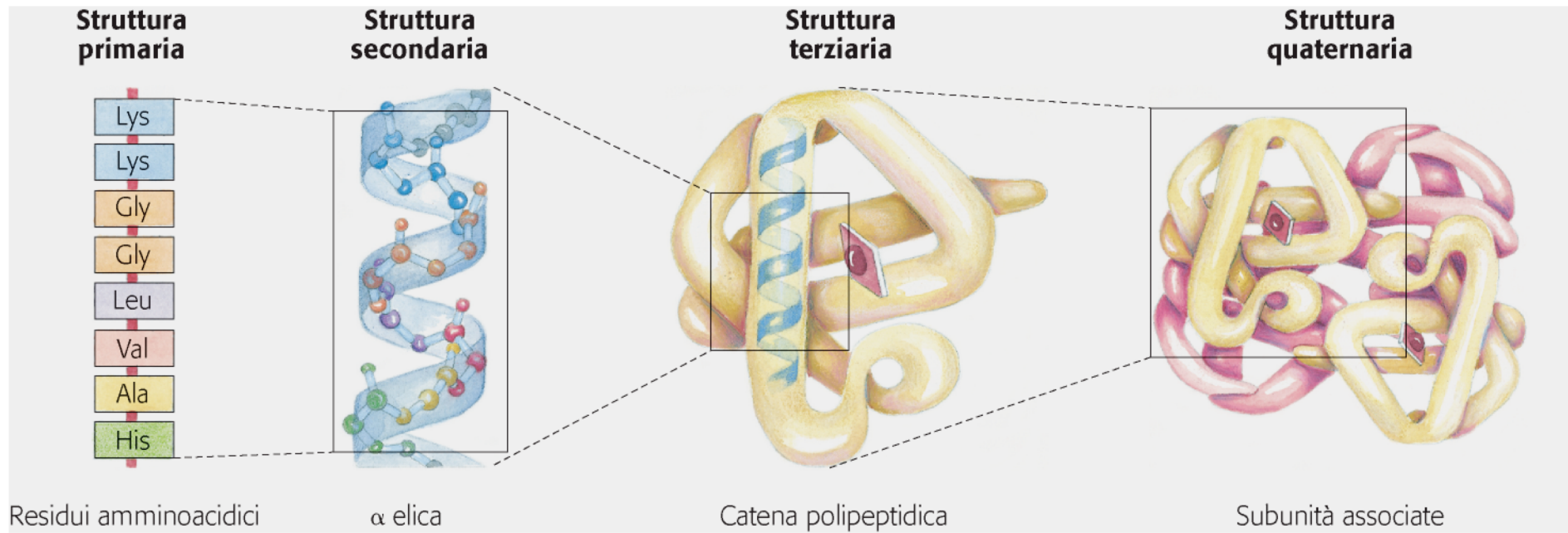
## Legame peptidico



# Peptidi



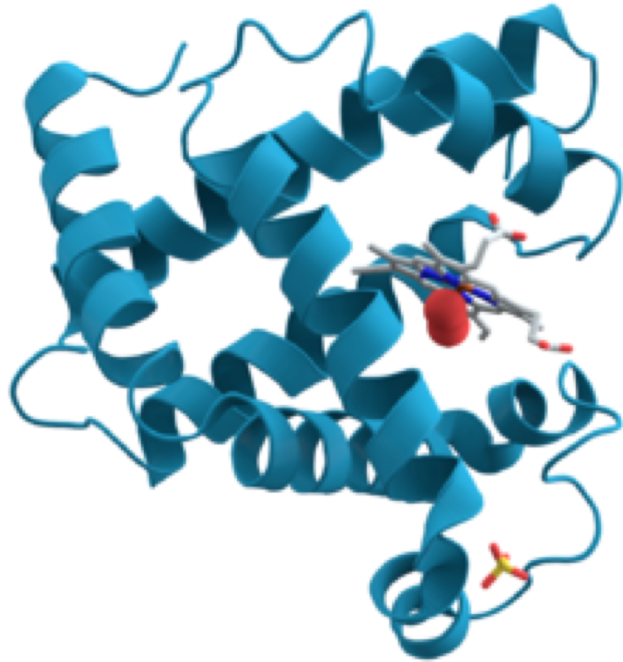
# Proteine: livelli di organizzazione strutturale



# **PROTEINE: quattro livelli di organizzazione strutturale**

- **Struttura primaria: sequenza amminoacidica**  
**(legame peptidico)**
- **Struttura secondaria: alfa-elica e beta-foglietto**  
**(legami ad idrogeno tra gruppi peptidici)**
- **Struttura terziaria: ripiegamento spaziale della catena polipeptidica**  
**(legami intermolecolari tra le catene laterali)**
- **Struttura quaternaria: associazione tra più catene polipeptidiche**  
**(legami intermolecolari tra le catene laterali di catene polipeptidiche diverse)**

# Proteine che legano l'ossigeno



## Mioglobina (Mb)

Deposito di O<sub>2</sub> nei tessuti



## Emoglobina (Hb)

Trasporta O<sub>2</sub> dai polmoni ai  
tessuti periferici

# Proteine specializzate: gli ENZIMI

**Sono macromolecole deputate alla catalisi delle reazioni biologiche.**

**Rimangono inalterate alla fine della reazione.**

**Si differenziano dai catalizzatori utilizzati nelle reazioni chimiche per le seguenti proprietà.**

- **Molto più efficaci**

**Aumentano la velocità di una reazione di alcuni ordini di grandezza in più rispetto alla catalisi chimica**

- **Condizioni di reazione molto più moderate**

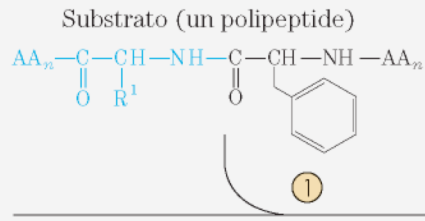
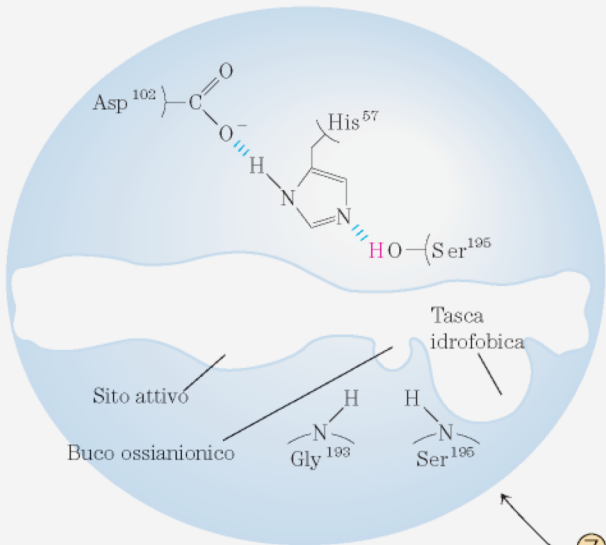
**$T_{\max} < 100^{\circ} \text{ C}$ ; pH ~ neutro; Pressione atmosferica**

- **Specificità della reazione**

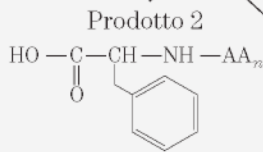
- **Possibilità di regolazione**

# Gli enzimi: catalizzatori biologici

## Chimotripsina (enzima libero)

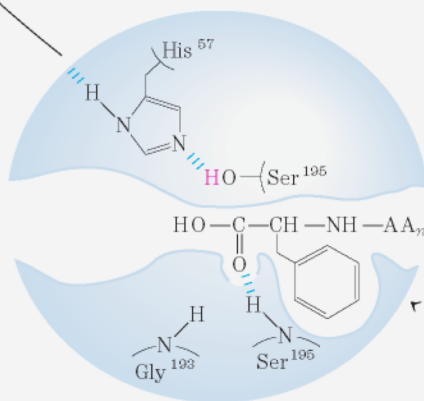


Quando il substrato si lega, la catena laterale del residuo adiacente al legame peptidico che verrà tagliato si inserisce in una tasca idrofobica dell'enzima in modo da posizionare il legame in maniera corretta per l'attacco.

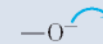


L'allontanamento del secondo prodotto dal sito attivo ripristina nuovamente l'enzima libero

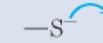
## Complesso enzima-prodotto 2



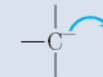
## Nucleofili



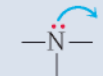
Ossigeno carico negativamente (come in un gruppo ossidrilico non protonato o un acido carbossilico ionizzato)



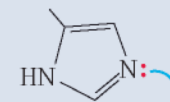
Sulfidrilico carico negativamente



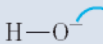
Carbanione



Gruppo amminico senza carica



Imidazolo

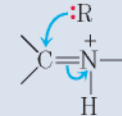


lone ossidrilico

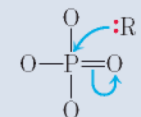
## Elettrofili



Atomo di carbonio del gruppo carbonilico (l'ossigeno del gruppo carbonilico più elettronegativo allontana gli elettroni dal carbonio)



Gruppo imminico protonato (attivato per attacco nucleofilo al carbonio mediante protonazione dell'immina)



Fosforo di un gruppo fosfato



Protone



# ENZIMI: cofattori

Molto spesso, gli enzimi richiedono per la catalisi molecole relativamente piccole, che partecipano al meccanismo della reazione enzimatica. Possono essere di diverso tipo e vengono denominati in maniera diversa anche in dipendenza di come sono legati all'enzima

**Cofattori: ioni metallici, molecole inorganiche.**

**Molecole organiche più complesse.**

**Coenzimi (NAD<sup>+</sup>, CoA, etc).**

**Gruppi prostetici (FAD, etc).**

Cofattori e coenzimi sono legati all'enzima attraverso interazioni deboli, i gruppi prostetici sono legati invece covalentemente.

La presenza del cofattore-coenzima è essenziale per l'attività dell'enzima.

Il complesso enzima-cofattore viene definito **oloenzima (attivo)**

L'enzima senza il cofattore viene definito **apoenzima (inattivo)**

# Carboidrati

- Sono i composti organici più comuni in natura. Sono noti anche come zuccheri, saccaridi, glucidi, o idrati di carbonio.
- Tale nome deriva dal fatto che hanno formula generale:



- Sono composti bifunzionali in quanto presentano nella stessa molecola sia un gruppo carbonilico (aldeidico o chetonico) che almeno due gruppi alcolici, che coinvolgono atomi di carbonio diversi.

**Per cui uno zucchero deve essere costituito da almeno tre atomi di carbonio**

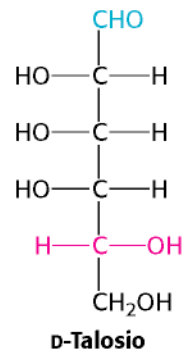
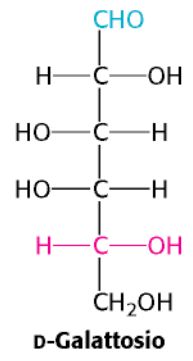
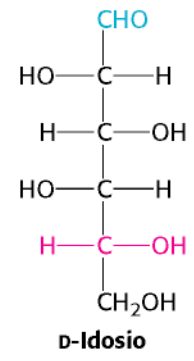
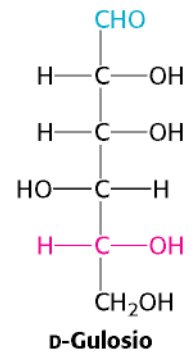
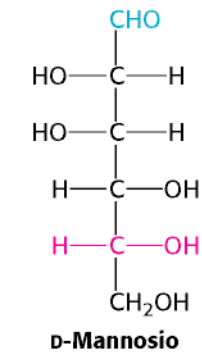
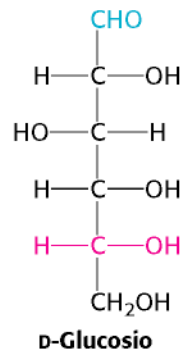
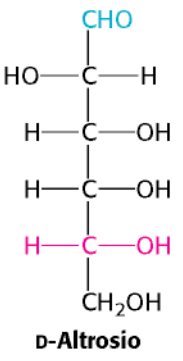
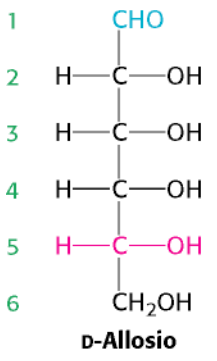
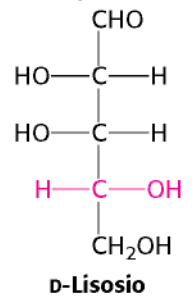
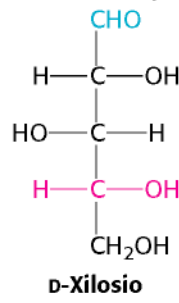
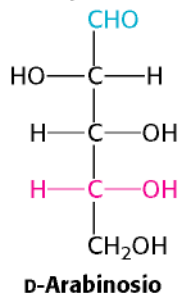
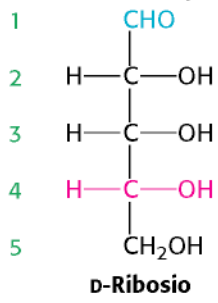
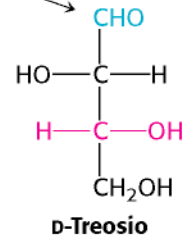
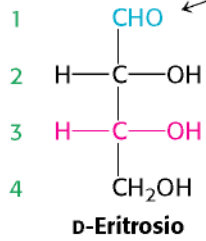
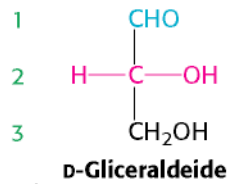
# Carboidrati: classificazione

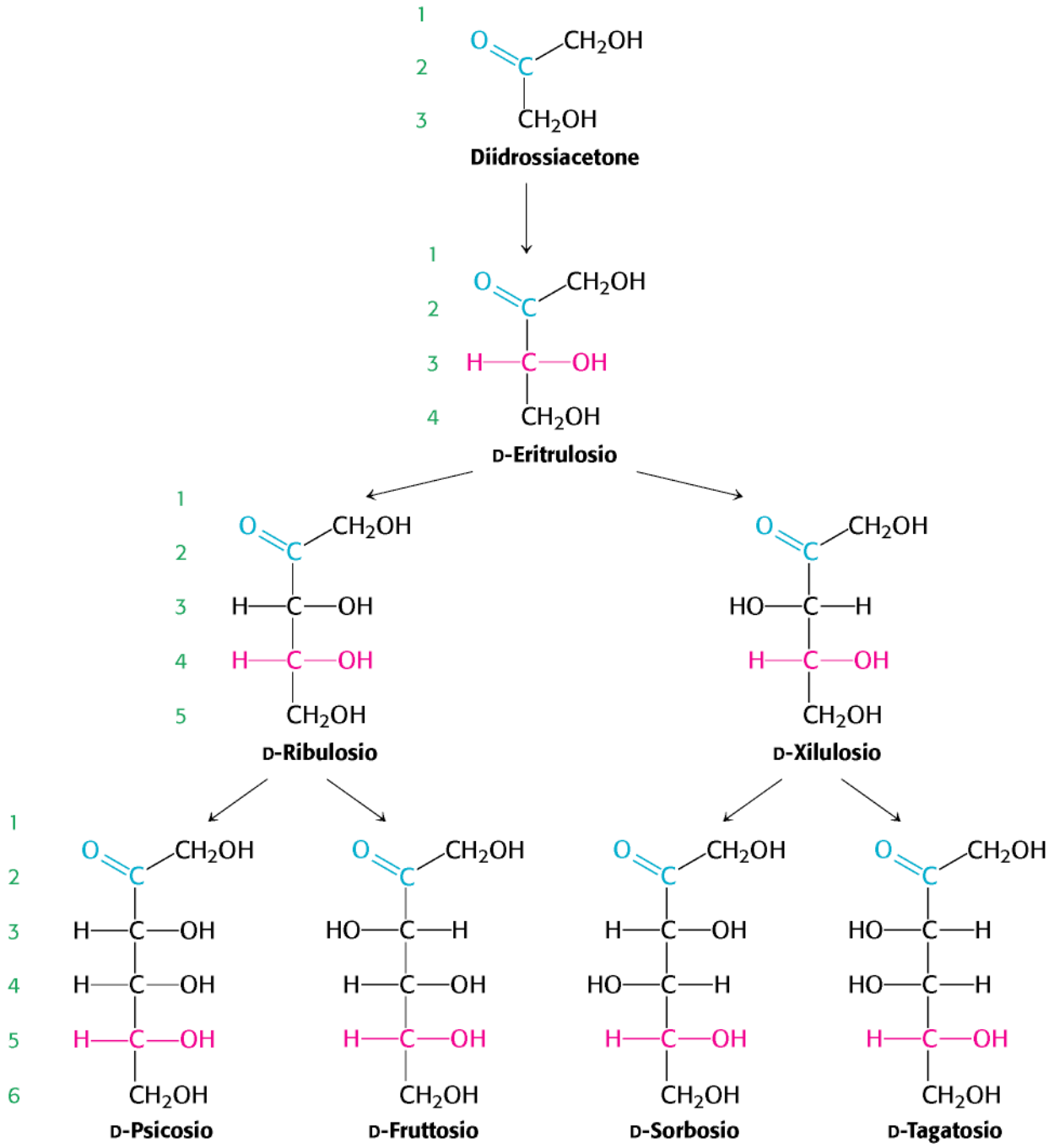
**Monosaccaridi:** presentano un'unica funzione carbonilica

**Disaccaridi:** per idrolisi danno due molecole di monosaccaridi

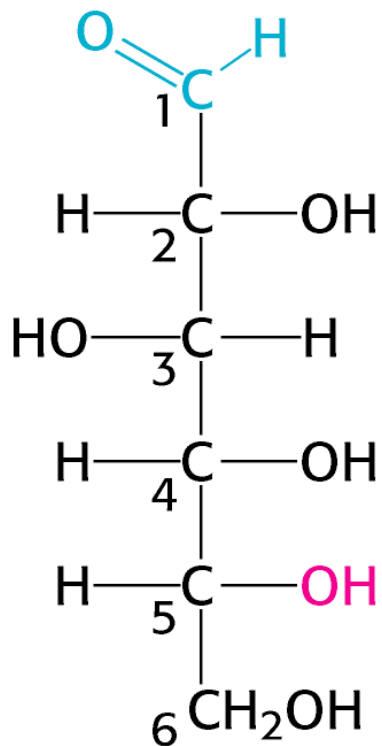
**Oligosaccaridi:** sono costituiti da due molecole a dieci molecole di monosaccaridi

**Polisaccaridi:** per idrolisi danno molte (diverse decine o centinaia) molecole di monosaccaridi

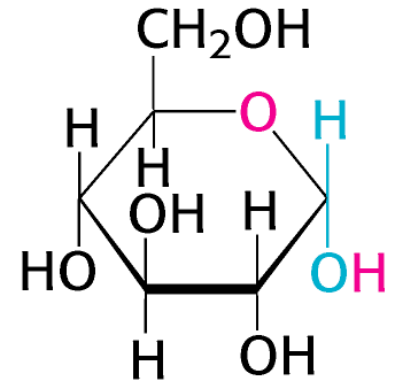
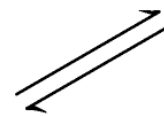
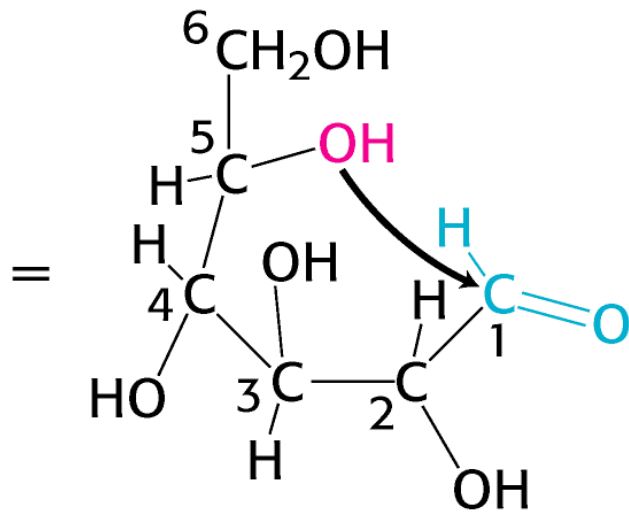




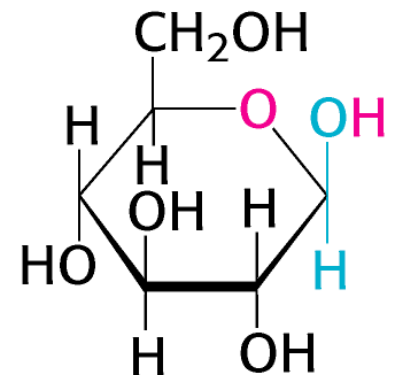
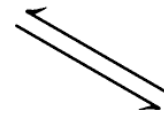
# D - Glucosio e forme emiacetaliche



**D-Glucosio**  
(forma a catena aperta)

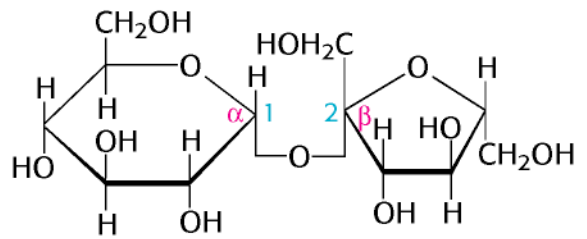


**α-D-Glucopiranosio**

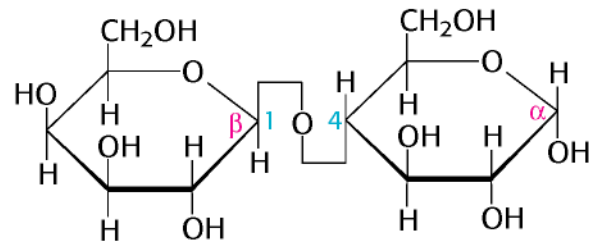


**β-D-Glucopiranosio**

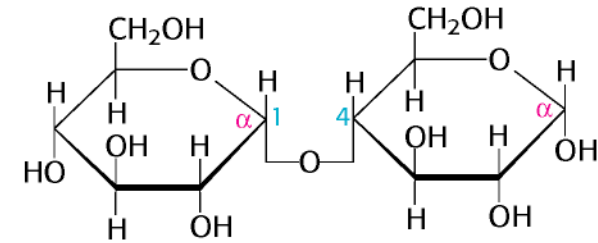
# Disaccaridi



**Saccarosio**  
 $\alpha$ -D-Glucopiranosil-(1 $\rightarrow$ 2)- $\beta$ -D-fruttofuranosio



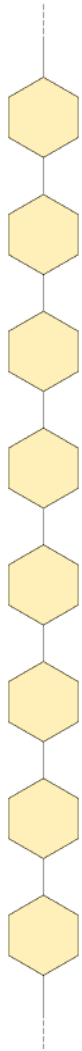
**Lattosio**  
 $\beta$ -D-Galattopiranosil-(1 $\rightarrow$ 4)- $\alpha$ -D-glucopiranosio



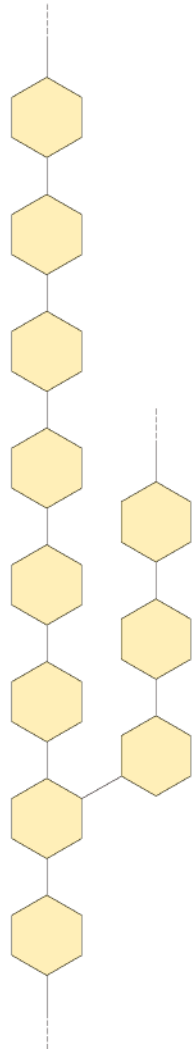
**Maltosio**  
 $\alpha$ -D-Glucopiranosil-(1 $\rightarrow$ 4)- $\alpha$ -D-glucopiranosio

# Omopolisaccaridi

Non ramificato



Ramificato

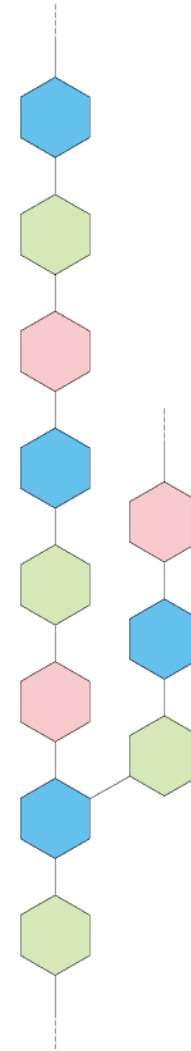


# Eteropolisaccaridi

Due tipi  
di monomero,  
non ramificato



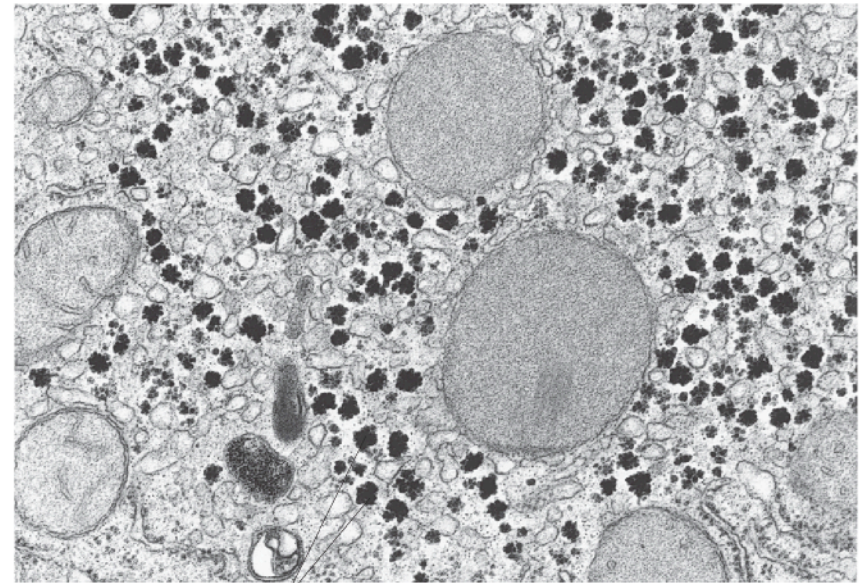
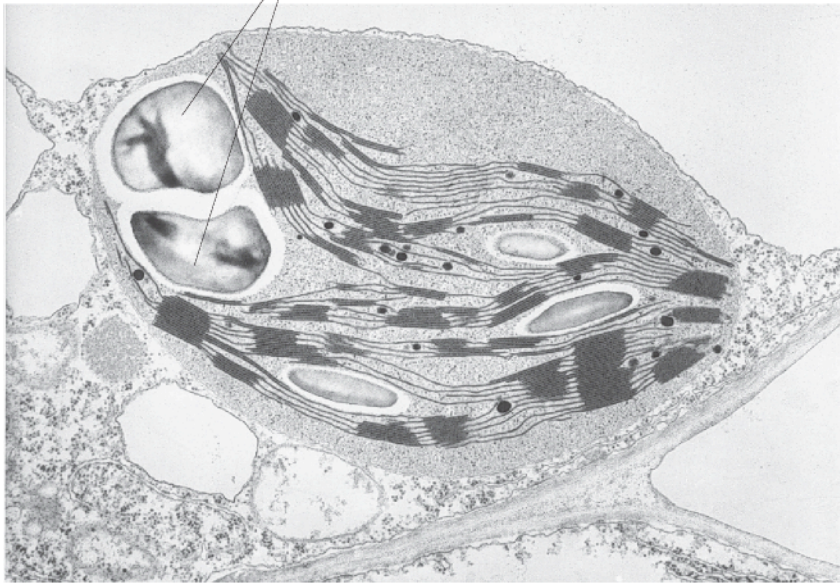
Diversi tipi  
di monomero,  
ramificato





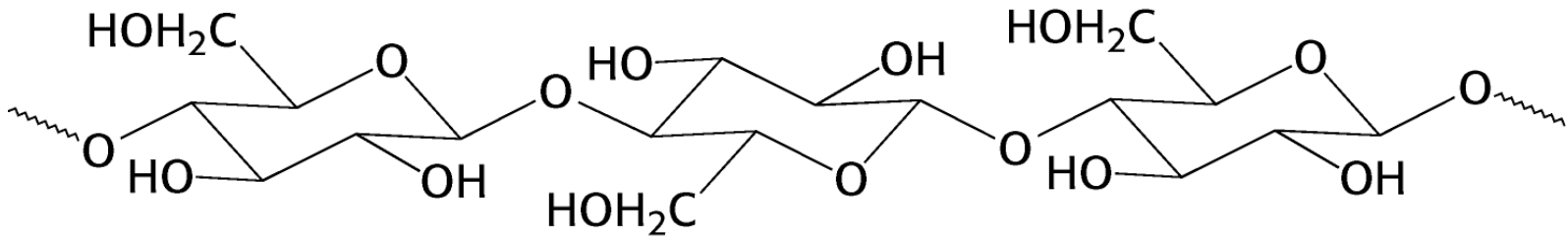
## Polisaccaridi di riserva

Granuli di amido

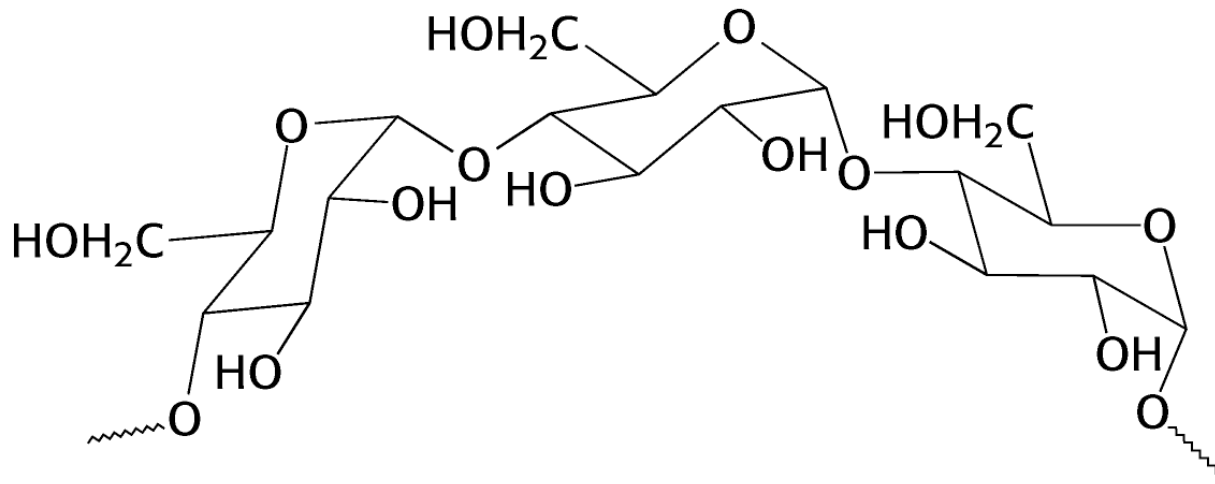


Granuli di glicogeno

# Polisaccaridi



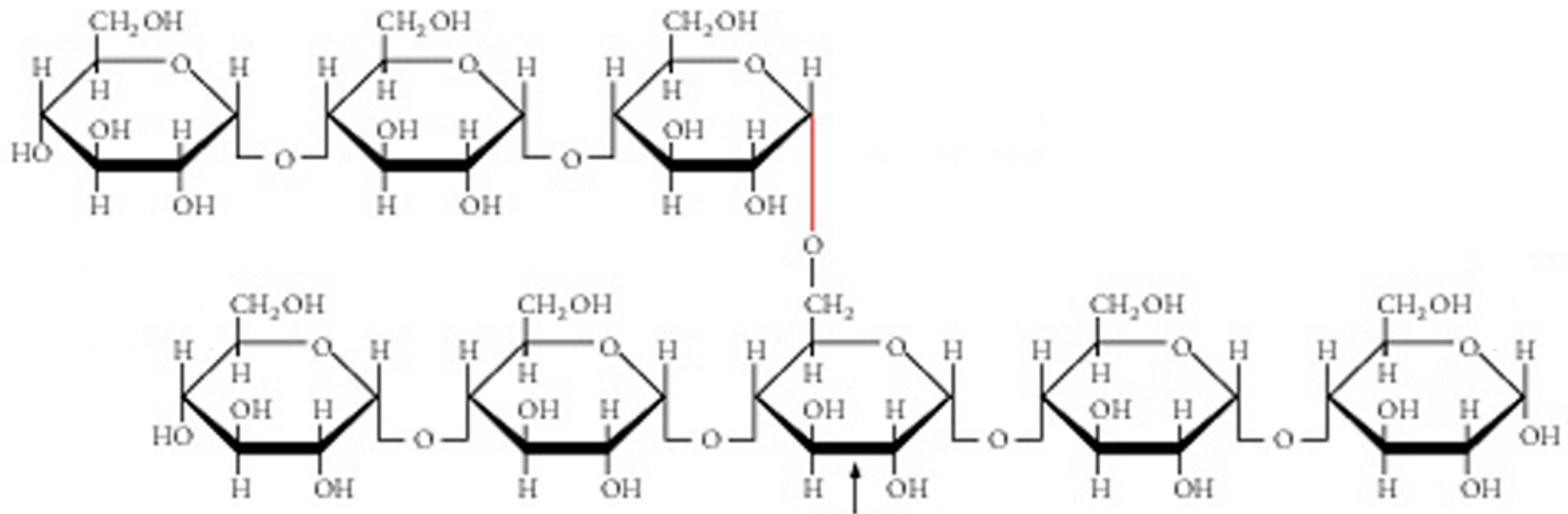
**Cellulosa**  
(legami  $\beta$ -1,4)



**Amido e Glicogeno**  
(legami  $\alpha$ -1,4)

# Il glicogeno

- Il glicogeno è un polisaccaride costituito da molecole di D-glucosio tenute insieme da legami  $\alpha(1-4)$  glicosidici con ramificazioni delle catene dovute alla formazione di legami  $\alpha(1-6)$  glicosidici.



Legame  
 $\alpha(1-6)$  glicosidico

Punto di  
ramificazione

Legame  
 $\alpha(1-4)$  glicosidico

- Dall'idrolisi del glicogeno si ottiene glucosio-1-fosfato che può essere utilizzato per diversi scopi.
- Questo processo viene catalizzato da tre enzimi.

# **Il glicogeno**

**Il glicogeno rappresenta la forma di conservazione del glucosio all'interno delle cellule (animali, funghi e batteri).**

**Il glicogeno si accumula nelle cellule formando dei granuli. Rappresenta circa il 10% in peso delle cellule epatiche e 2% di quelle muscolari.**

**In questi granuli sono anche contenuti gli enzimi che sono preposti alla sintesi e alla degradazione del glicogeno e molte proteine regolatrici.**

**La disponibilità del glucosio come unica fonte di energia in alcuni tipi cellulari (cellule nervose, eritrociti) deve essere continuamente assicurata.**

**Questa disponibilità viene assicurata attraverso un sistema integrato di idrolisi (glicogenolisi) e di sintesi (glicogenosintesi) del glicogeno.**

**Questo processo avviene essenzialmente nelle cellule epatiche, dove sono attivi gli enzimi del metabolismo del glicogeno.**

**Il bilancio tra glicogenolisi e glicogenosintesi a livello epatico, assicura la costanza della concentrazione sanguigna del glucosio (~ 5 mM).**

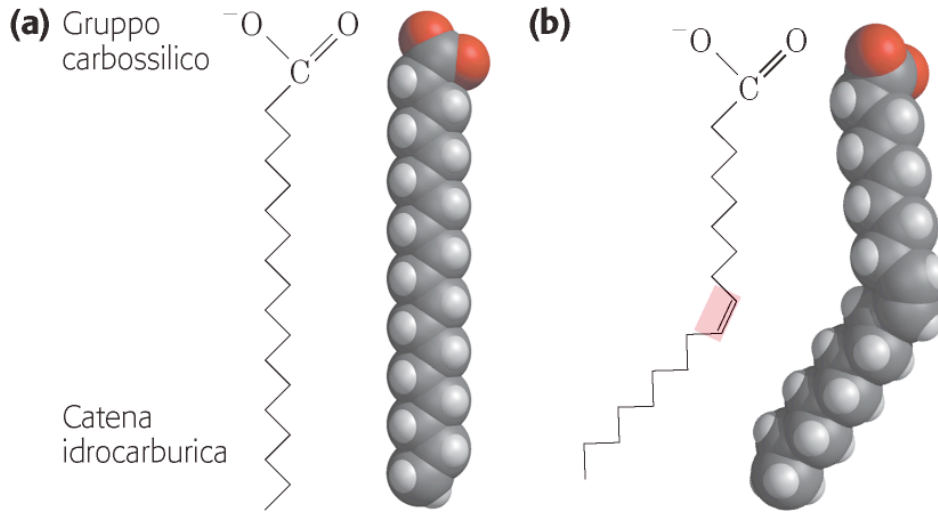
# I LIPIDI

**Gruppo eterogeneo di composti chimici la cui proprietà più importante è la loro insolubilità in acqua**

## **Funzioni:**

- principali forme di conservazione dell'energia (grassi e oli derivati)**
- costituenti strutturali delle membrane biologiche (fosfolipidi e steroli)**
- cofattori, trasportatori di elettroni, agenti emulsionanti, messaggeri intracellulari**

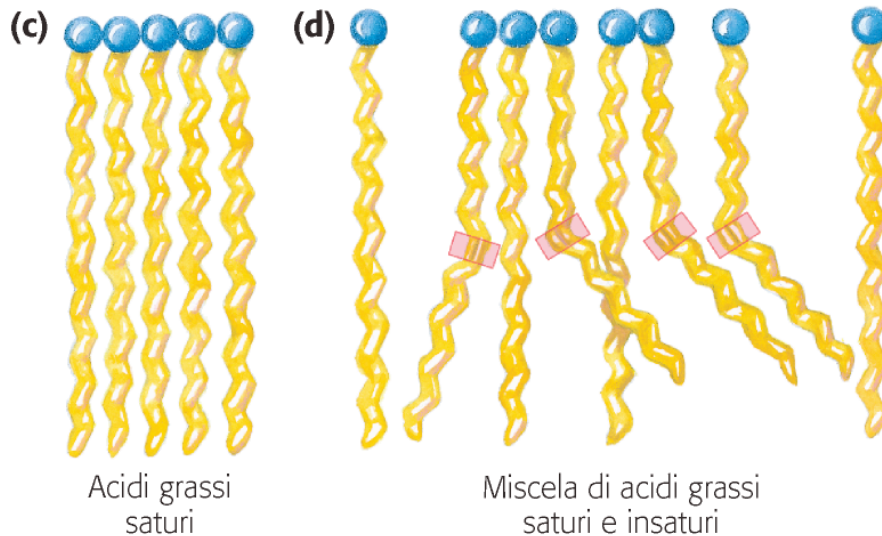
# Gli acidi grassi

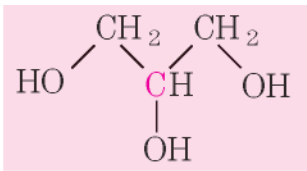


**Impacchettamento degli acidi grassi in aggregati stabili**

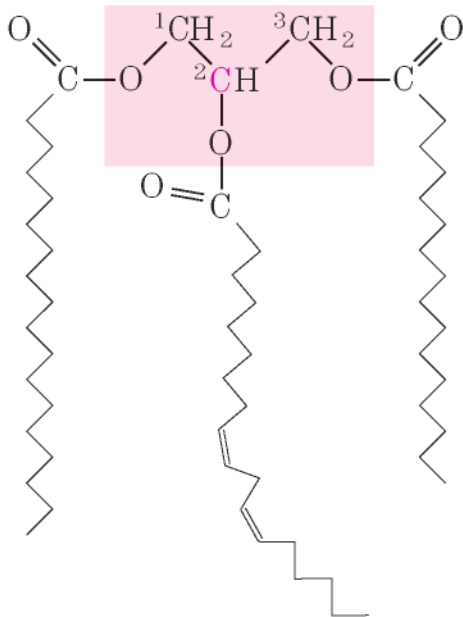
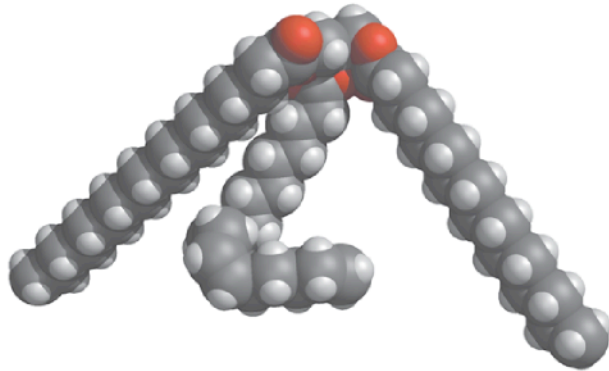
**a) Acido stearico (C18) completamente saturato**

**b) Acido oleico (C18) con doppio legame cis ombreggiato**

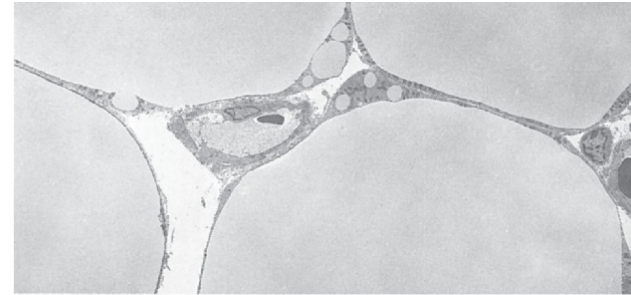




Glicerolo

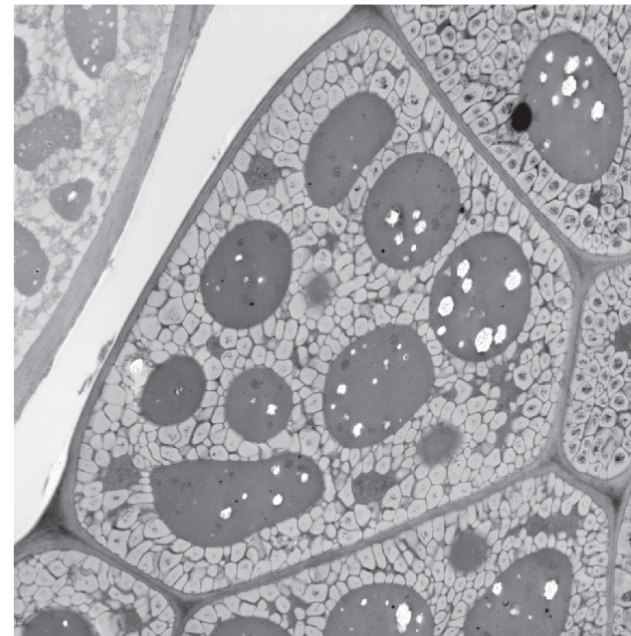


# Trigliceridi



(a)

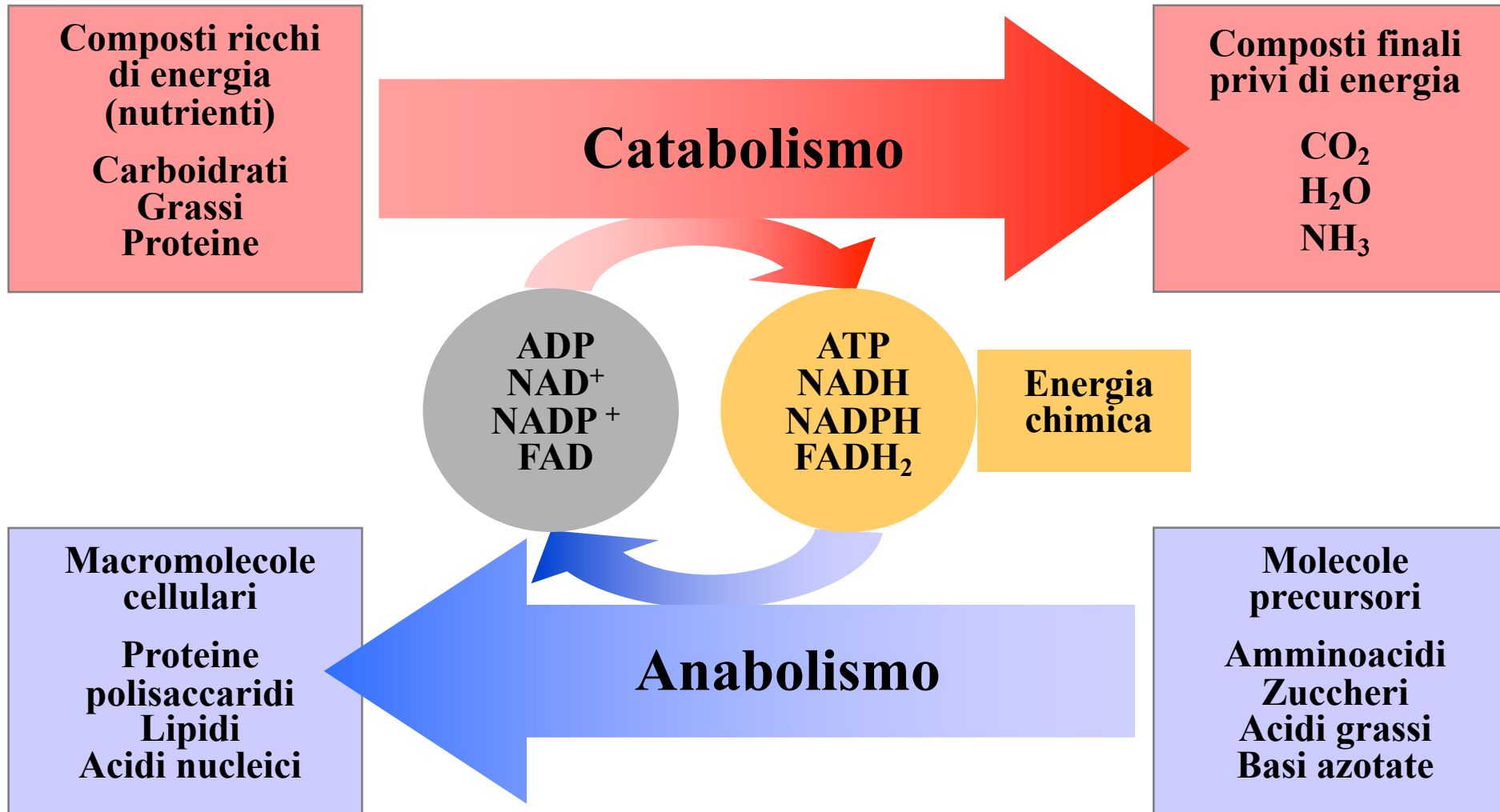
8 μm



(b)

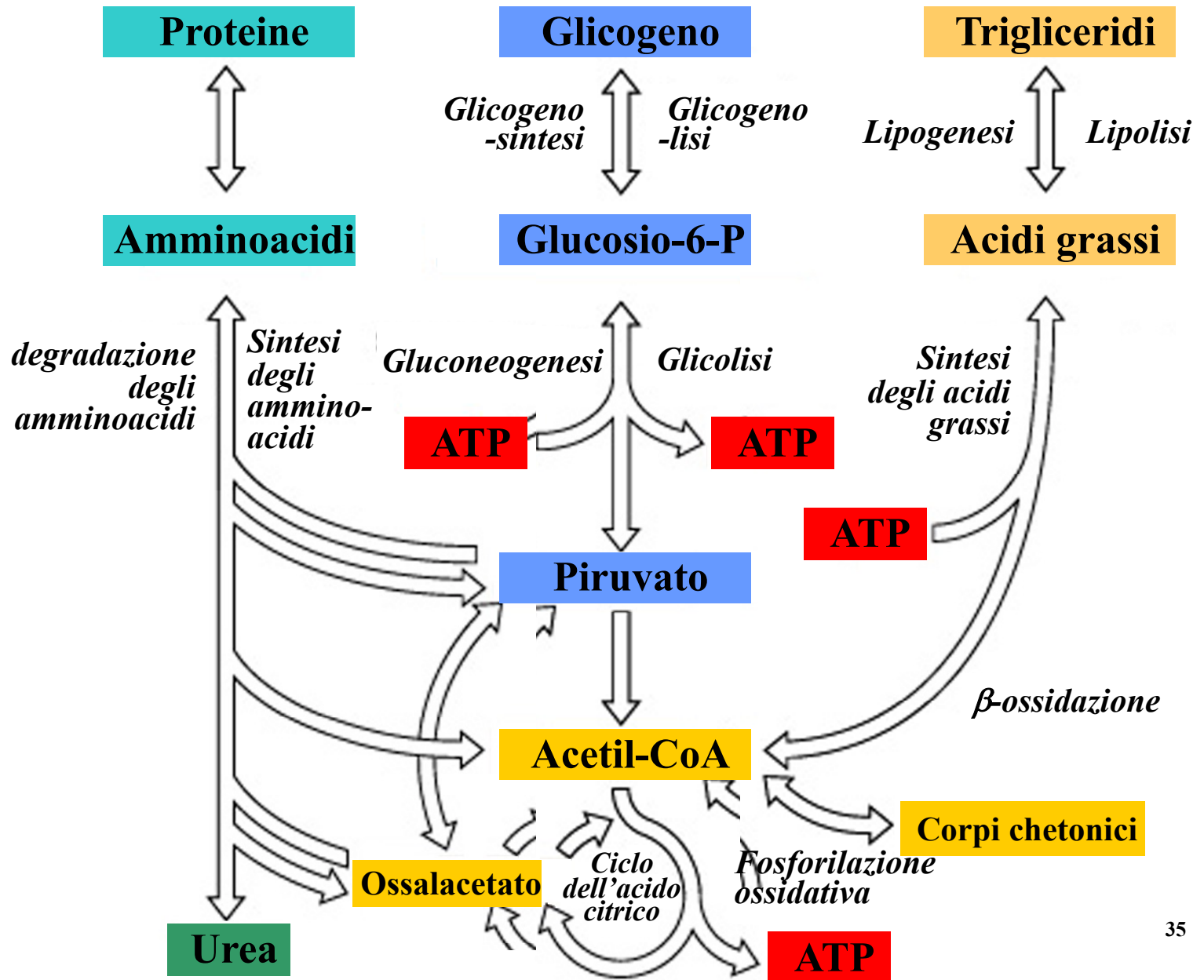
3 μm

# Schema generale del metabolismo



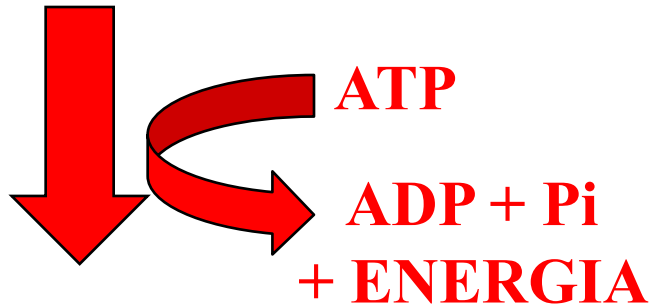


# Metabolismo energetico nei mammiferi



# I substrati energetici del muscolo scheletrico

**Muscolo a riposo**



**Muscolo contratto**

**Carboidrati**

**Acidi grassi**

**Amminoacidi**

**Attività fisica**