

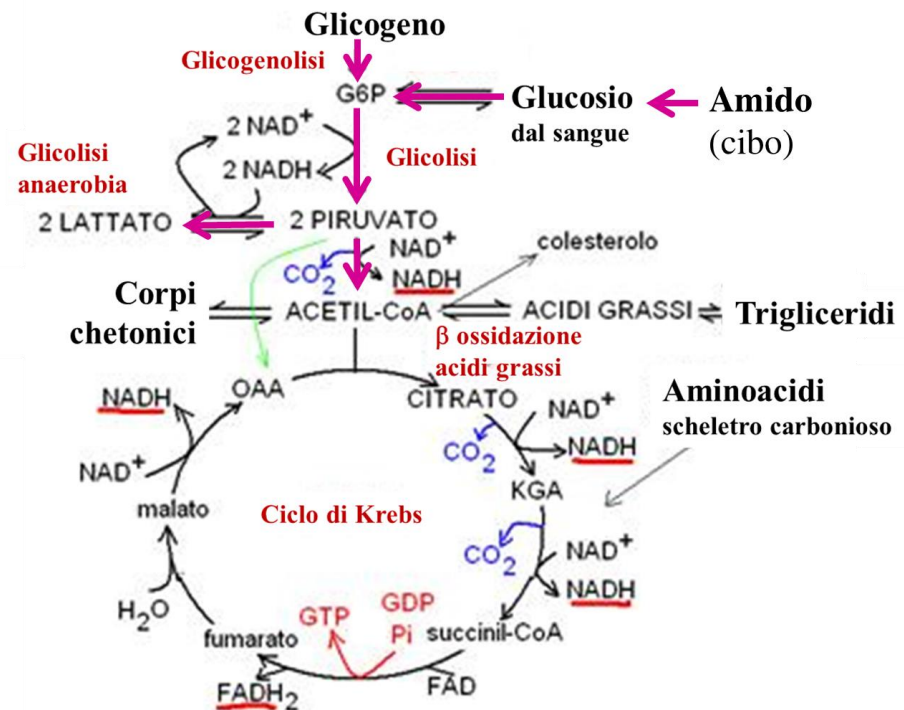
David L. Nelson Michael M. Cox

Introduzione alla biochimica di Lehninger

Sesta edizione italiana a cura di Edon Melloni

BIOCHIMICA ZANICHELLI

Glicolisi



Organizzazione della lezione....

- ✓ Vie di alimentazione della glicolisi
- ✓ Liberazione del glucosio dai polisaccardi
 - Digestione dell'amido (alimentare)
 - Glicogenolisi (endogeno)
 - Maltodestrine e sport
- ✓ La glicolisi
- ✓ Il destino del piruvato in condizioni anaerobiche



Il **GLUCOSIO** occupa un ruolo centrale nel metabolismo di molti esseri viventi

È un **ottimo combustibile** perchè ricco di legami la cui rottura genera energia e permette il ricarico dell'ATP (2840 kJ/mole)

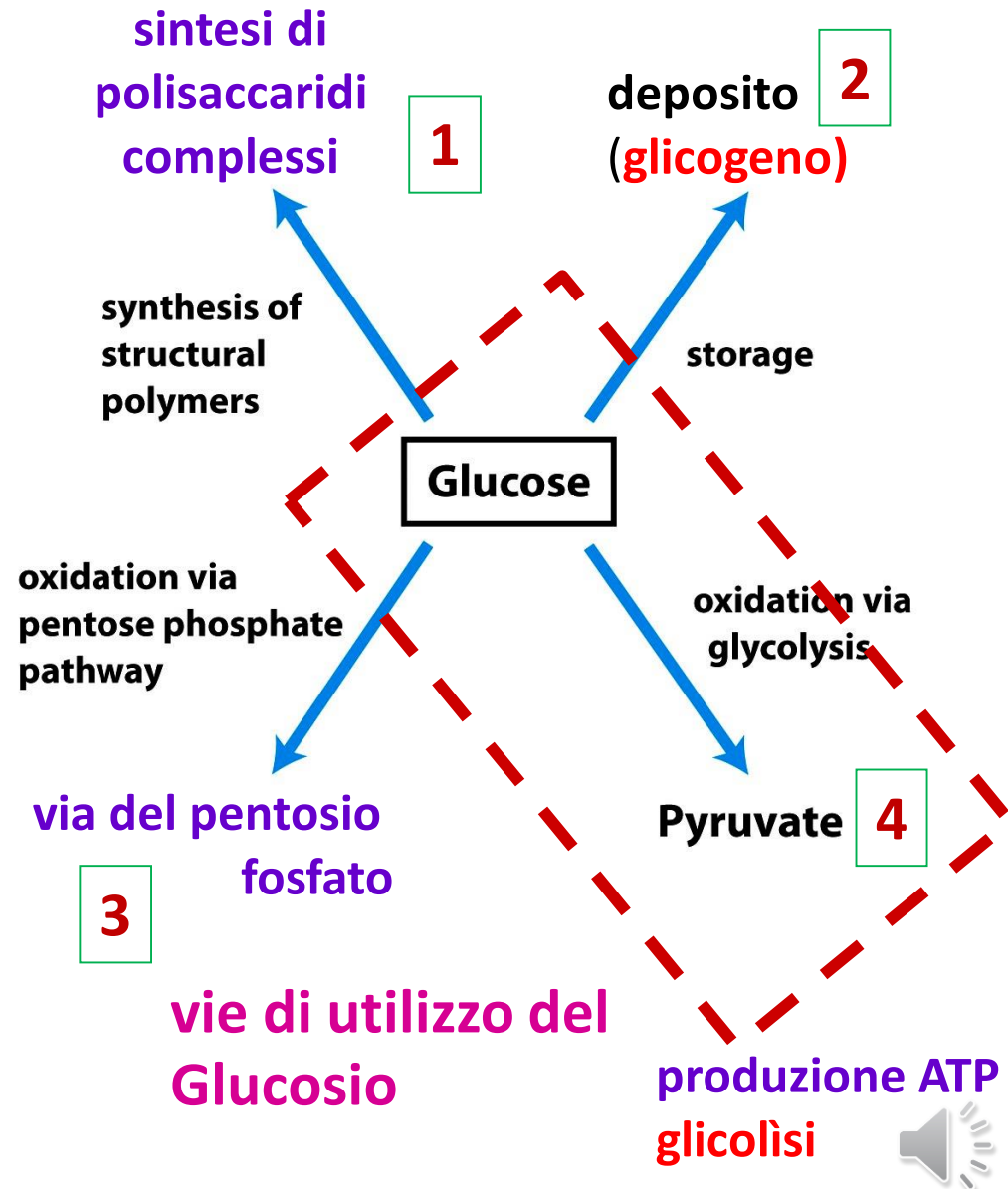
È un **precursore**, fornisce moltissimi **intermedi metabolici** per le biosintesi di molecole complesse (AA, nucleotidi, coenzimi, acidi grassi, etc)

Ha **4 destini principali ...**



Il **GLUCOSIO** ha 4 destini principali:

1. **sintesi di polisaccaridi complessi** destinati alla matrice extracellulare
2. **immagazzinato** nella cellula come **scorta (glicogeno)**
3. **via del pentosio fosfato**, la alimenta per produrre ribosio-5-fosfato (biosintesi dei nucleotidi) e NADPH (biosintesi dei lipidi)
4. **per produrre ATP**, alimenta la **glicolisi** dove viene ossidato a piruvato (3C)



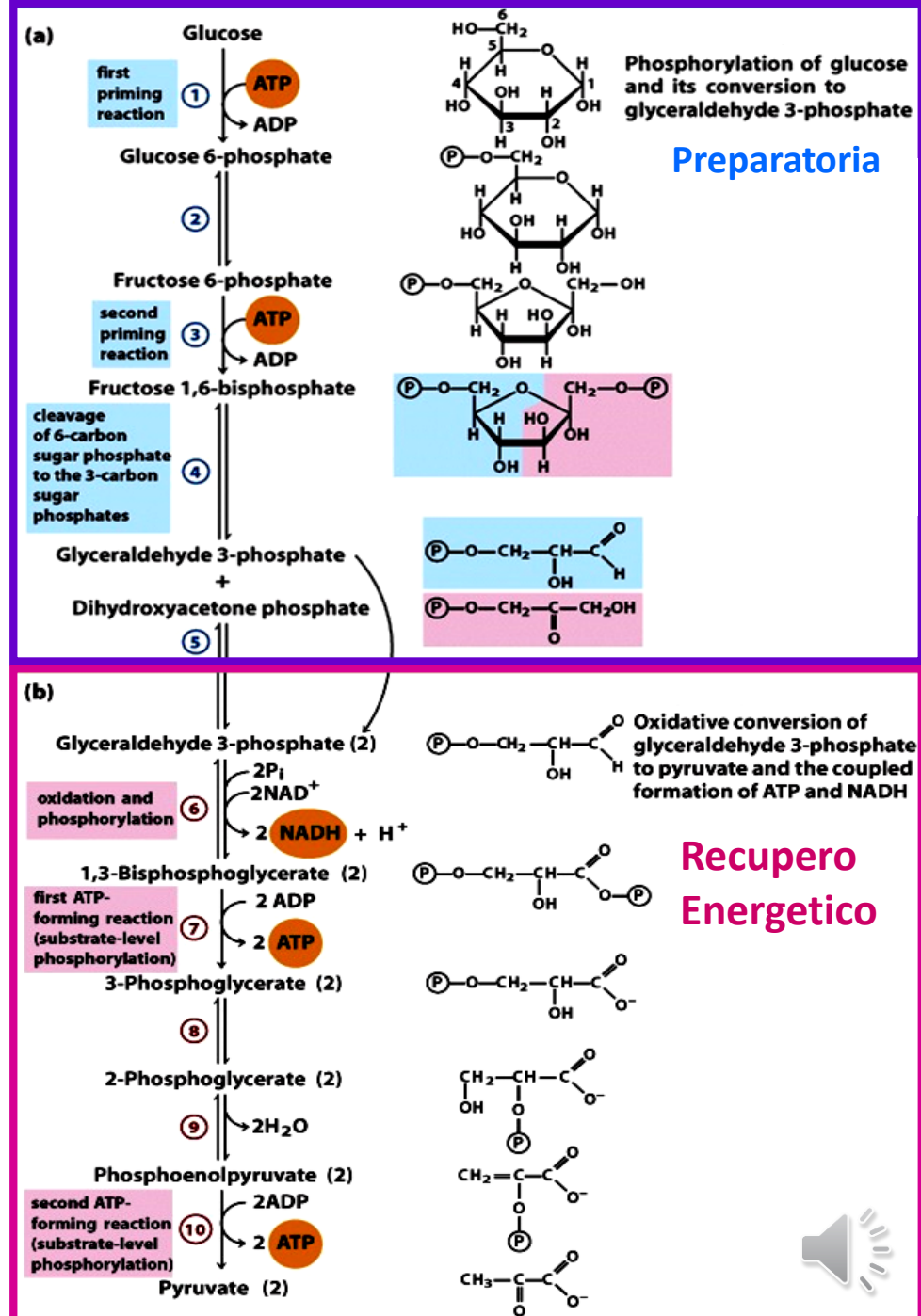
La **Glicolisi** avviene nel **citoplasma** in **10 tappe** e si divide in **due fasi**:

- 1) **Preparatoria** (5 tappe)
- 2) **Recupero Energetico** (5 tappe)

Per ciascuna molecola di glucosio convertita in piruvato vengono consumate **2 ATP** nella fase preparatoria ma ne vengono prodotte **4 ATP** nella fase di recupero energetico

NB: prodotti anche **2 NADH** (in condizioni aerobiche potrebbero essere trasformati in altre **5 ATP** dalla catena di trasporto degli elettroni mitocondriale)

Guadagno energetico: **+ 2 ATP**
+ 2 NADH



Vie di alimentazione della Glicolisi

glucosio, ma non solo, anche altri carboidrati

- **Monosaccaridi** (fruttosio, mannosio, galattosio)
- **Disaccaridi** (lattosio, maltosio, saccarosio)
- **Polisaccaridi** (amido, glicogeno)

gli **zuccheri semplici** o **monosaccaridi**:

- forniscono **energia a breve termine**
- sono **prontamente assimilabili**
- richiedono **tempi di digestione brevi**

gli **zuccheri complessi** o **polisaccaridi**:

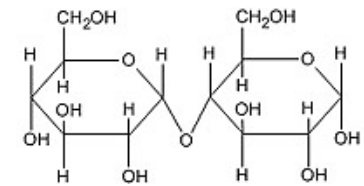
- forniscono **energia a medio e lungo termine**
- richiedono **tempi di digestione superiori**



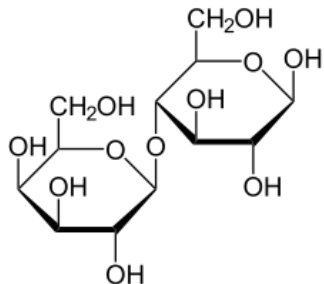
Vie di rifornimento della Glicolisi (oltre al glucosio entrano molti altri carboidrati)

Monosaccaridi

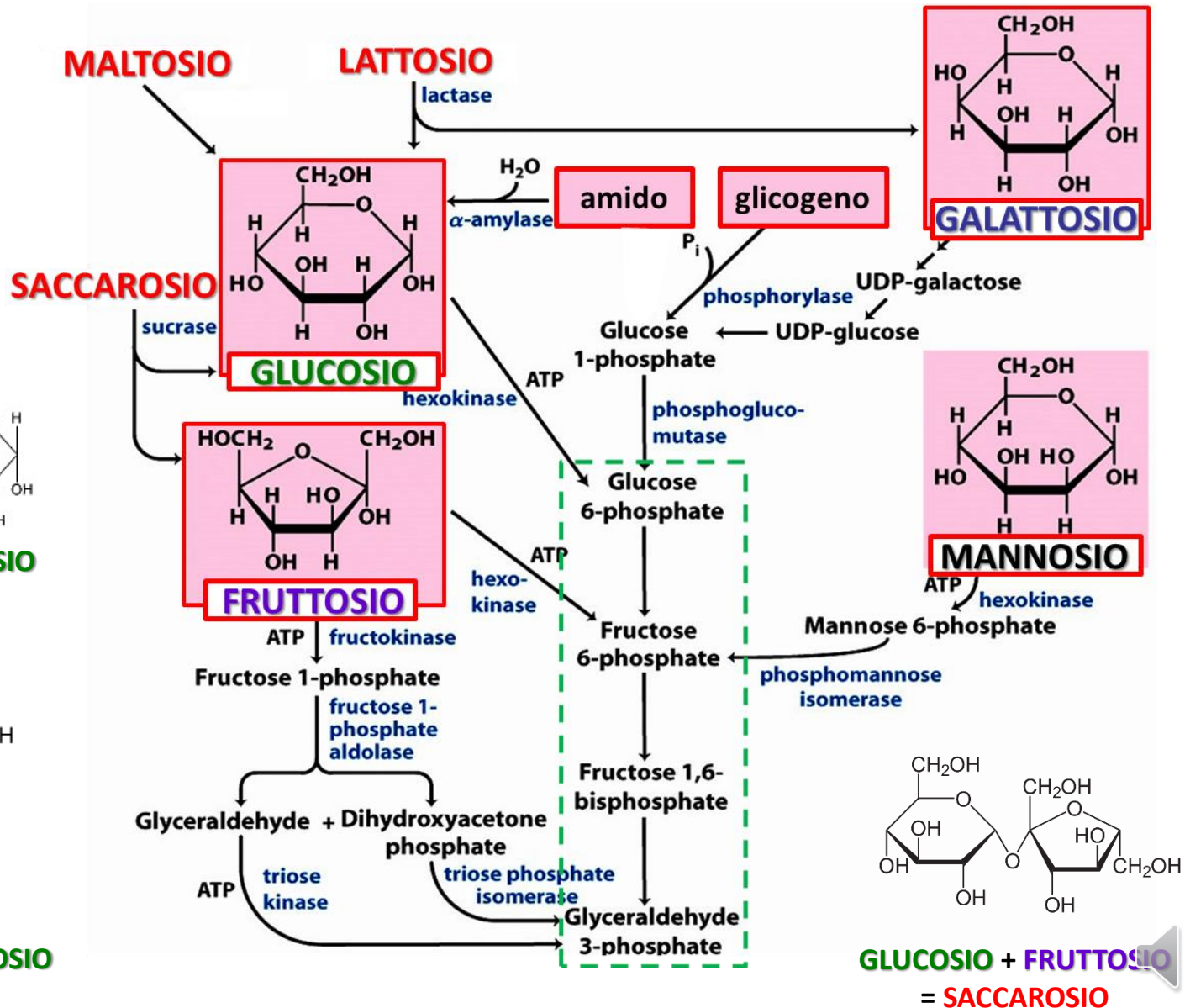
(fruttosio,
mannosio,
galattosio)



GLUCOSIO + GLUCOSIO
= **MALTOSIO**

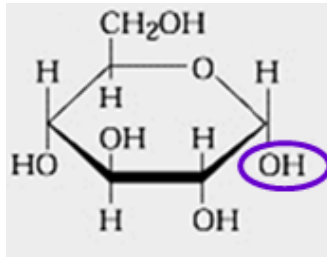


GALATTOSIO + GLUCOSIO
= **LATTOSIO**

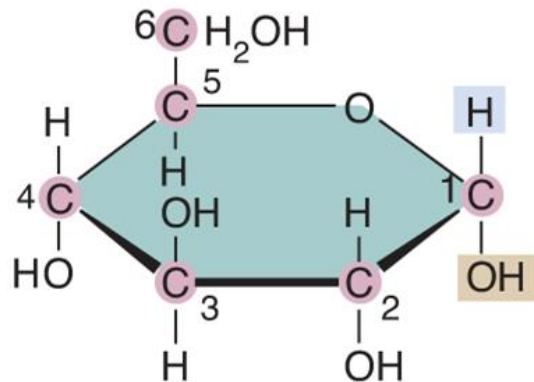
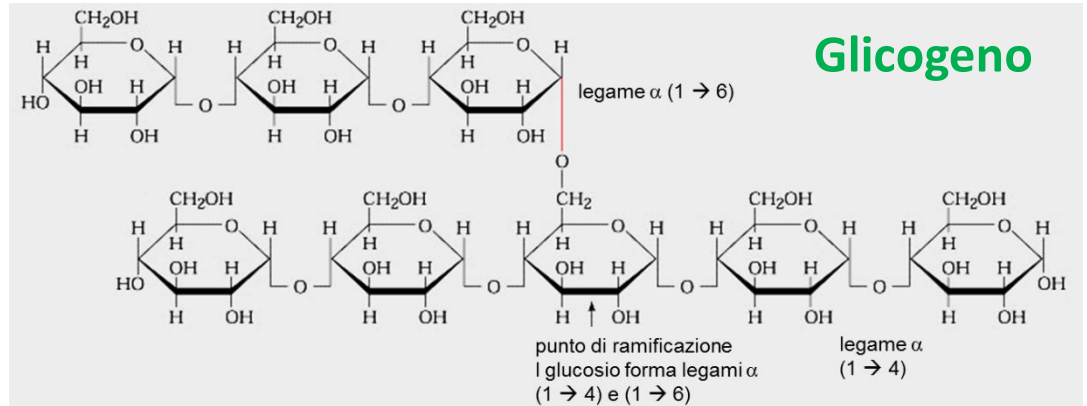
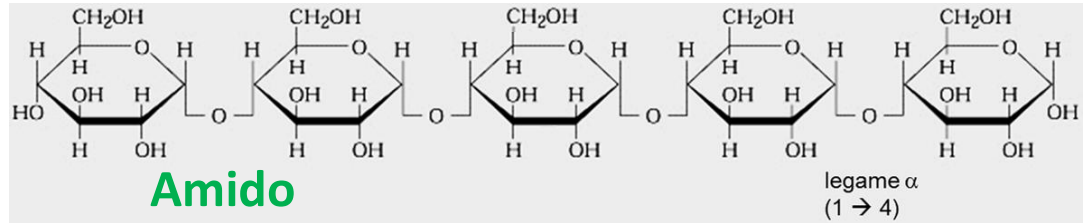


Vie di rifornimento della Glicolisi

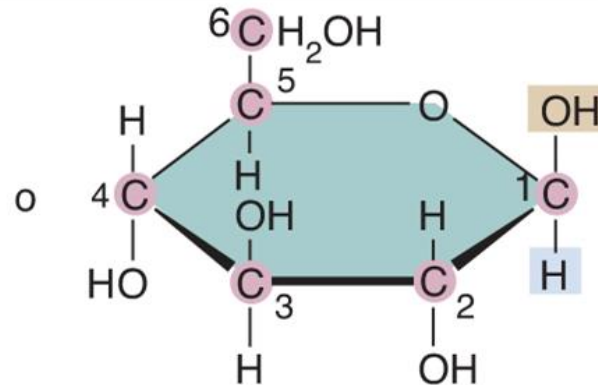
- **Amido**
- **Glicogeno** (alimenti)



α -glucosio
(C1 $\rightarrow$ OH in basso)

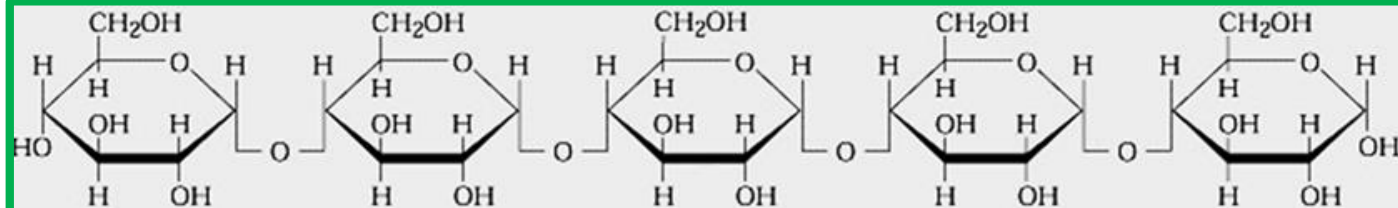


(a) α -Glucosio



(b) β -Glucosio

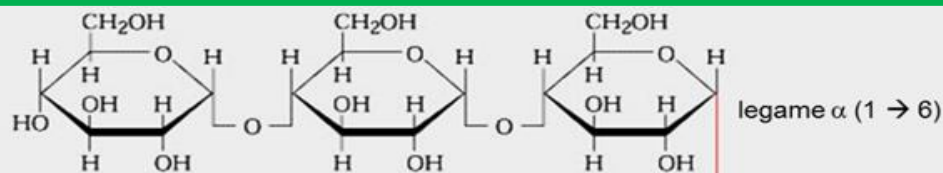
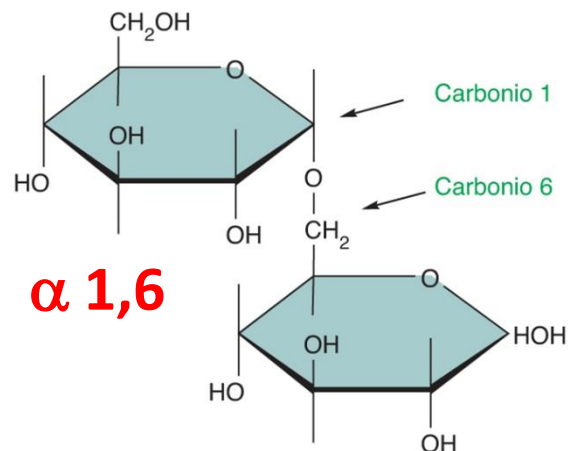
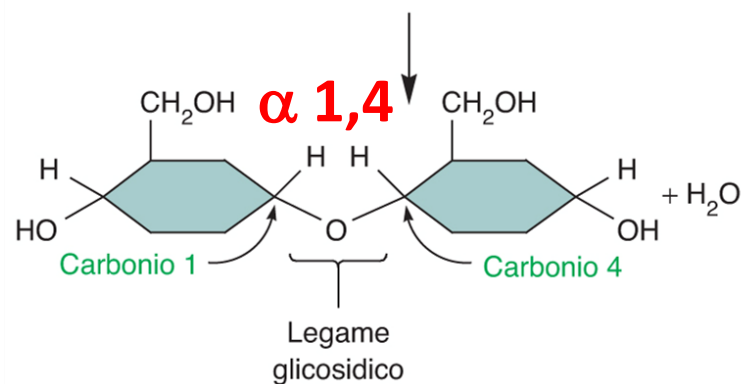
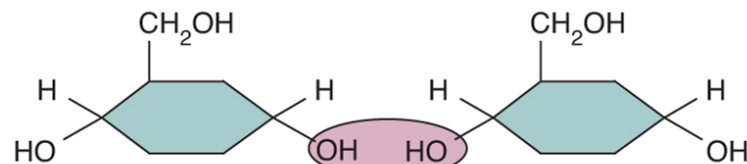




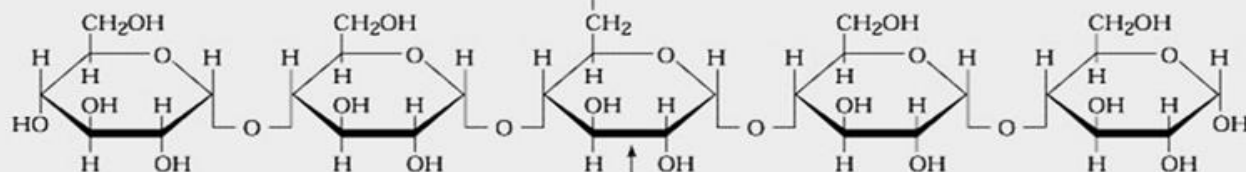
Amido

α 1,4

legame α
(1 $\rightarrow$ 4)



Glicogeno

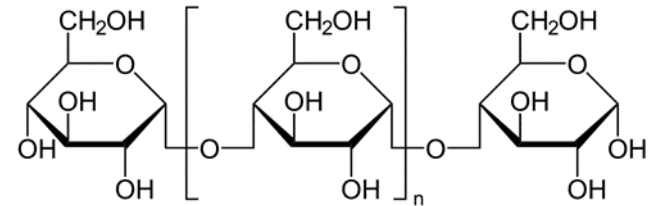


Vie di rifornimento della Glicolisi

- **Amido**
- **Glicogeno** (alimenti)

DIETA - L'amido e il glicogeno (introdotto con gli alimenti) iniziano ad essere digeriti nella bocca (l' **α -amilasi salivare** idrolizza i legami α 1 $\rightarrow$ 4 dell'amido) e vengono prodotti **polisaccaridi**.

L'**amilasi** viene inattivata dai succhi gastrici $\rightarrow$ una **α -amilasi pancreatica** viene riversata nel duodeno e continua la digestione producendo **maltodestrine**. Queste vengono trasformate in **glucosio** dagli **enzimi presenti sui microvilli** degli enterociti (cellule intestinali)



Maltodestrina
legami α 1 $\rightarrow$ 4
 $2 < n < 20$



Il glucosio entra nelle cellule attraverso il trasportatore del GLUCOSIO

TABLE 11-3

Trasportatori del glucosio presenti nell'uomo

Transporter

Tessuto dov'è espresso

GLUT1

UBIQUITARIO

nel fegato: rimuove dal sangue l'eccesso di glucosio;

GLUT2

FEGATO, ISOLE DEL
PANCREAS, INTESTINO

nel pancreas: regola il rilascio di insulina

GLUT3

NEURONI (CERVELLO)

GLUT4

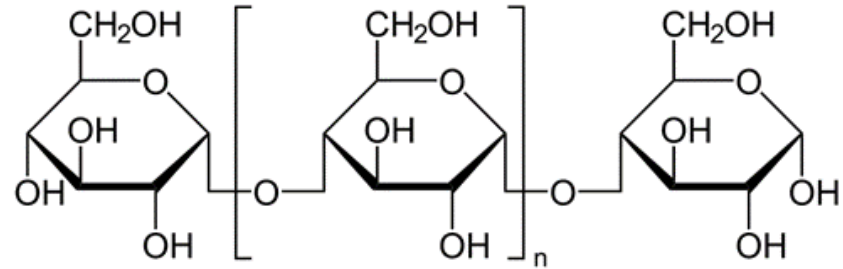
MUSCOLO, CUORE,
TESSUTO ADIPOSO

La sua **attività** viene **regolata dall'insulina**



Maltodestrina (integratore alimentare)

- Struttura - è un **carboidrato complesso (polisaccaride)** idrosolubile



Maltodestrina

legami α 1 $\rightarrow$ 4

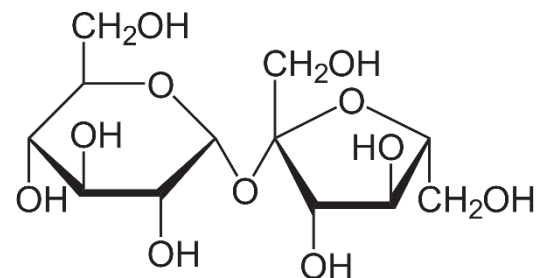
$2 < n < 20$

- È un polimero dell' α -glucosio di **lunghezza variabile** ($2 < n < 20$) con legami 1-4 α -glicosidici
- si ottiene dalla **idrolisi degli amidi** dei **cereali** (mais, avena, frumento, riso) o dei **tuberi** (patate, tapioca).



L'assorbimento dei carboidrati contenuti negli alimenti avviene sottoforma di glucosio, per cui se ingeriti sottoforma di amido **prima dell'esercizio** richiederebbero tempi di digestione lunghi, **sottraendo energie** alla contrazione muscolare.

MALTODESTRINE: **digerite molto rapidamente** dall'intestino, anche più velocemente dello zucchero (**saccarosio**)



Saccarosio
(α -glucosio + fruttosio)

possibilità di assumere le **maltodestrine** durante l'esercizio motorio (sono catalogati come **integratori alimentari**).



Maltodestrine nello SPORT

in ambito sportivo hanno una funzione energetica

PRO

- **digerite facilmente** - per cui possono essere utilizzate durante l'attività fisica senza appesantire l'apparato gastrointestinale ed inficiare la performance. La facilità del processo digestivo fa sì che meno sangue venga richiamato ai visceri e ve ne sarà di più per i muscoli.
- **nelle attività aerobiche** (prolungate) – come nel ciclismo, caratterizzato da tappe di centinaia di chilometri, o nella maratona, sono utili per prevenire l'ipoglicemia da attività che potrebbe intaccare le proteine muscolari.
- **idratazione dei tessuti** – non sono osmoticamente attive per cui se assunte prima, durante e dopo l'allenamento consentono la corretta idratazione dei tessuti. L'acqua bevuta, una volta arrivata al lume intestinale, utilizza un sistema passivo di assorbimento determinato dalla pressione osmotica. Gli zuccheri sono osmoticamente attivi e trattengono l'acqua nel lume intestinale impendendo in suo assorbimento. Il tempo ridotto di assorbimento della maltodestrine, riducendo la loro permanenza nel lume intestinale, favorisce l'assorbimento intestinale dell'acqua.



Maltodestrine nello SPORT

Problematiche derivanti dall'utilizzo

CONTRO

- **difficoltà di digestione** di alcuni soggetti per il mais o intolleranza verso il cereale da cui sono state ricavate.
- **ipoglicemia reattiva** causata dall'assunzione di **alte dosi in poco tempo** (non assumere alte assunzioni prima dell'allenamento, meglio assumere dosi frazionate nel corso dello stesso)



Maltodestrine nello SPORT

- impiegate in **sport di resistenza** (durante l'attività ciclisti su strada, maratoneti) evitano di intaccare le proteine muscolari.
 - *durante l'attività*
 - fornisce un **supporto energetico**
- Impiegate nel post-allenamento in **sport di forza/potenza** (scatti, sollevamento pesi)
 - *recupero post-esercizio*
 - facilita il **recupero del glicogeno**



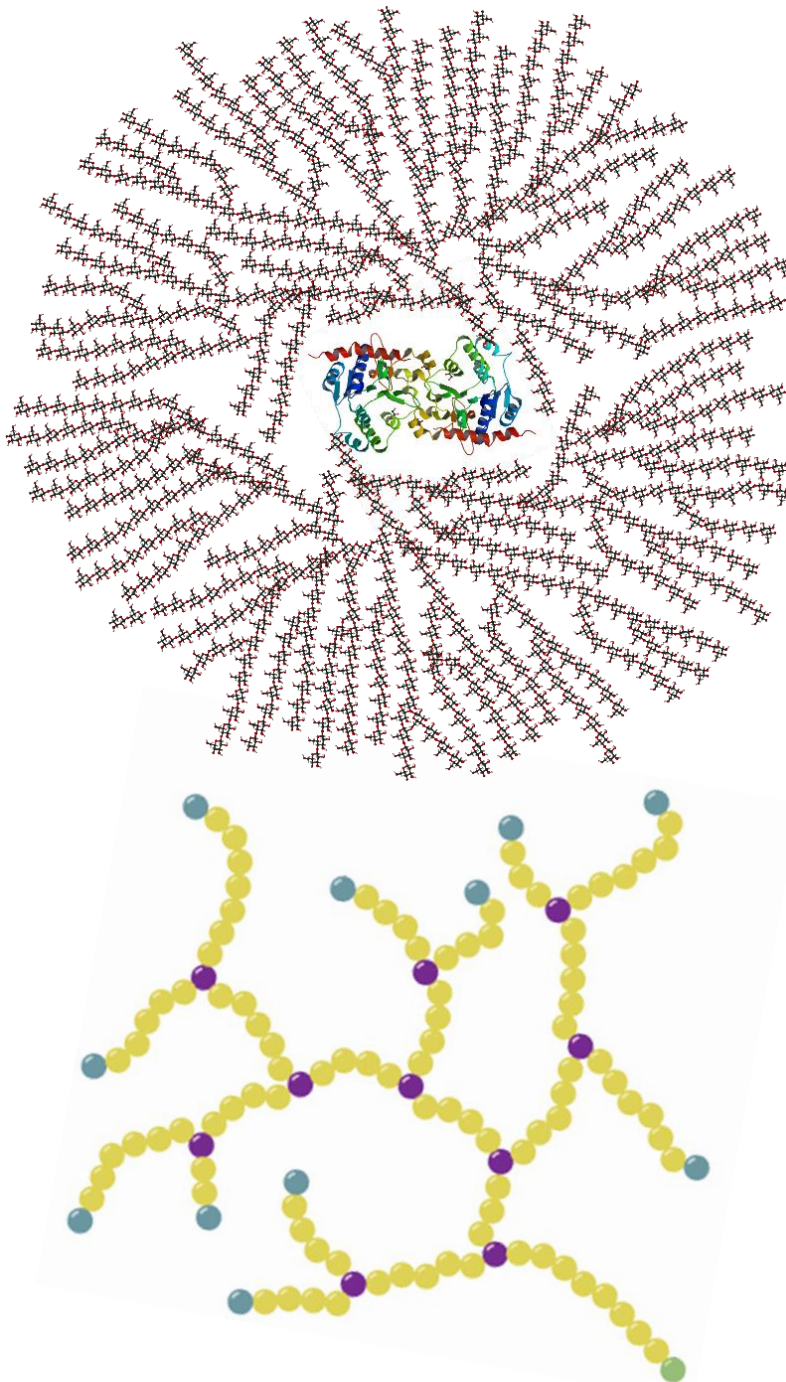
GLICOGENO

Forma molto efficiente **di accumulo** del glucosio:

- maggiore quantità possibile di glucosio nel minore volume possibile
- **osmoticamente inattivo**

FEGATO ≈ 100 g
(2-7% del peso totale)

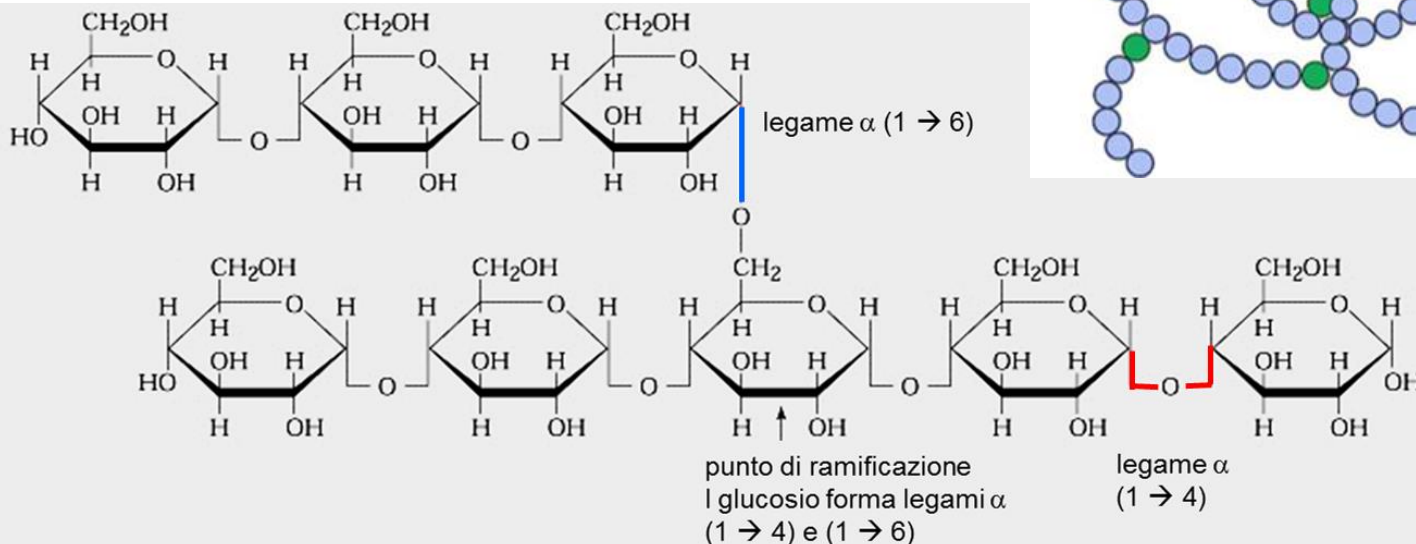
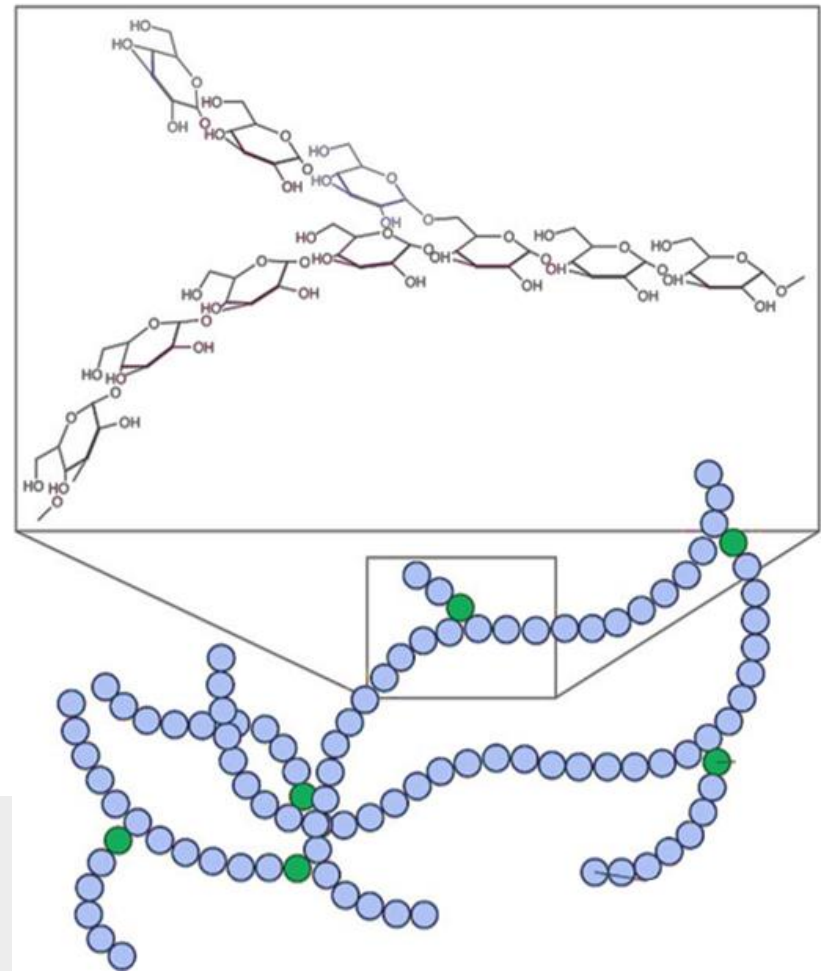
MUSCOLO $\approx 300-500$ g
(1% del peso totale)



Struttura del Glicogeno

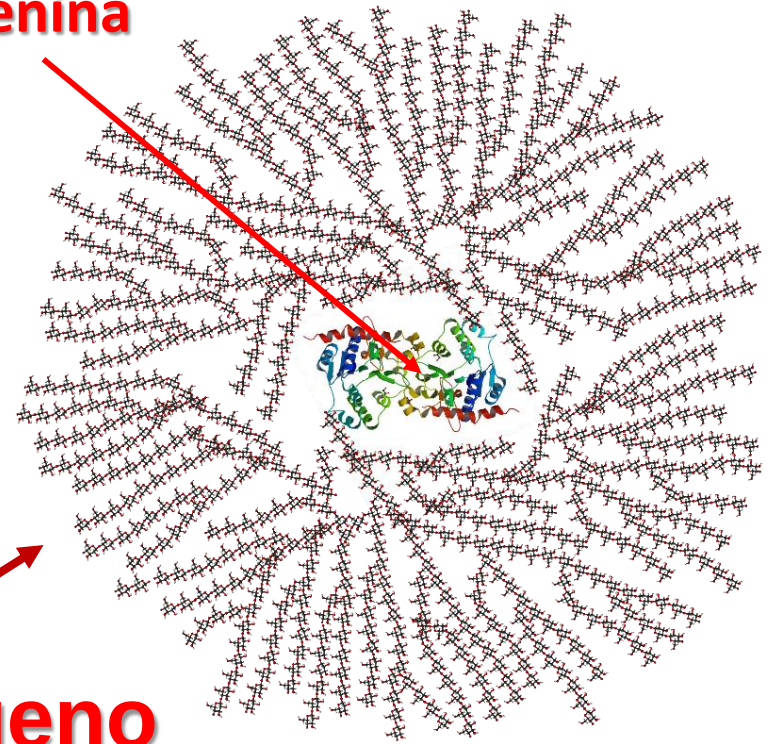
polimero dell' α -glucosio,
residui uniti in catene
attraverso **legami α 1,4**.

Ogni 8-14 residui sono presenti
ramificazioni laterali ottenute
attraverso **legami α (1,6)**

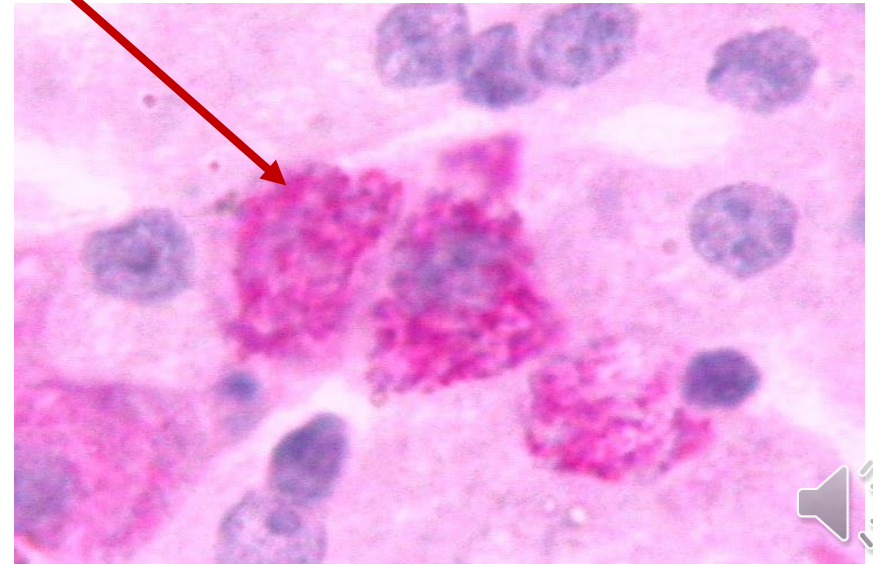
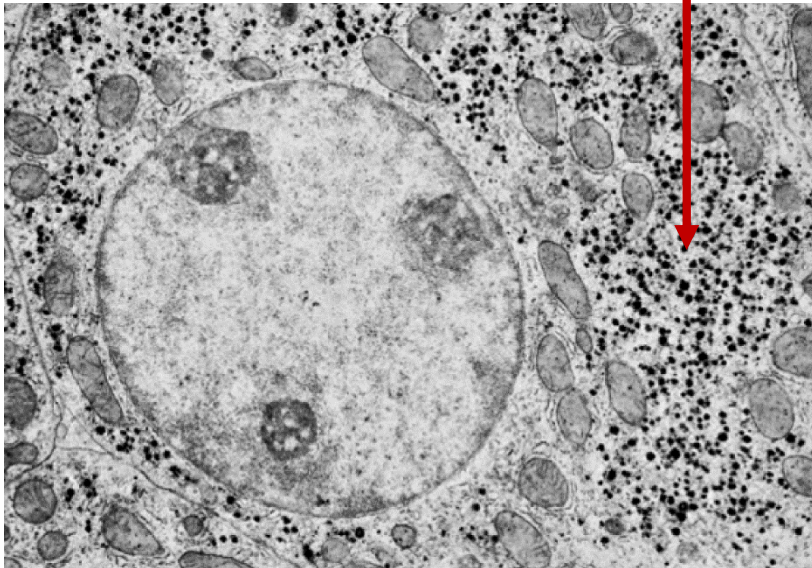


- **Struttura sferica** che contiene più di 100.000 molecole di glucosio
- i granuli contengono anche gli enzimi necessari per la sintesi e la degradazione del glicogeno

glicogenina



Granulo di Glicogeno



GLICOGENOLISI

(demolizione del glicogeno intracellulare nei muscoli e nel fegato)

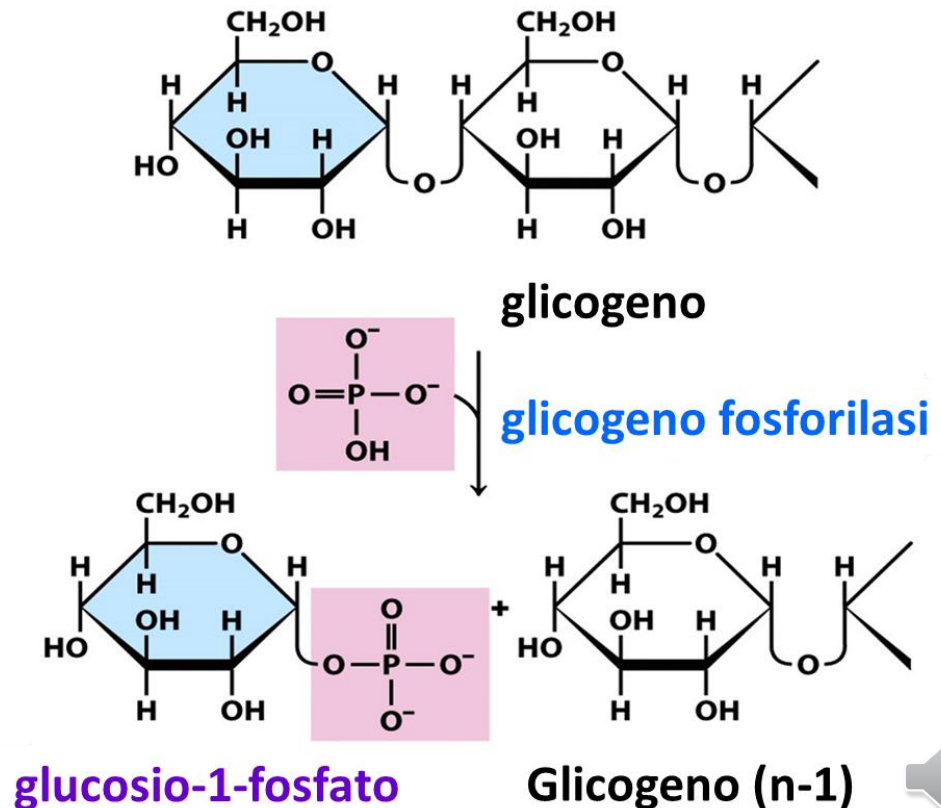
- Il glicogeno presente nel fegato e nei muscoli viene mobilizzato attraverso la **glicogeno fosforilasi**, che stacca dalle estremità una molecola di glucosio sotto forma di **glucosio-1-fosfato**.
- l'enzima **fosfoglucomutasi** trasforma il **glucosio-1-fosfato** in **glucosio-6-fosfato** che entra nella glicolisi (o in altre vie)

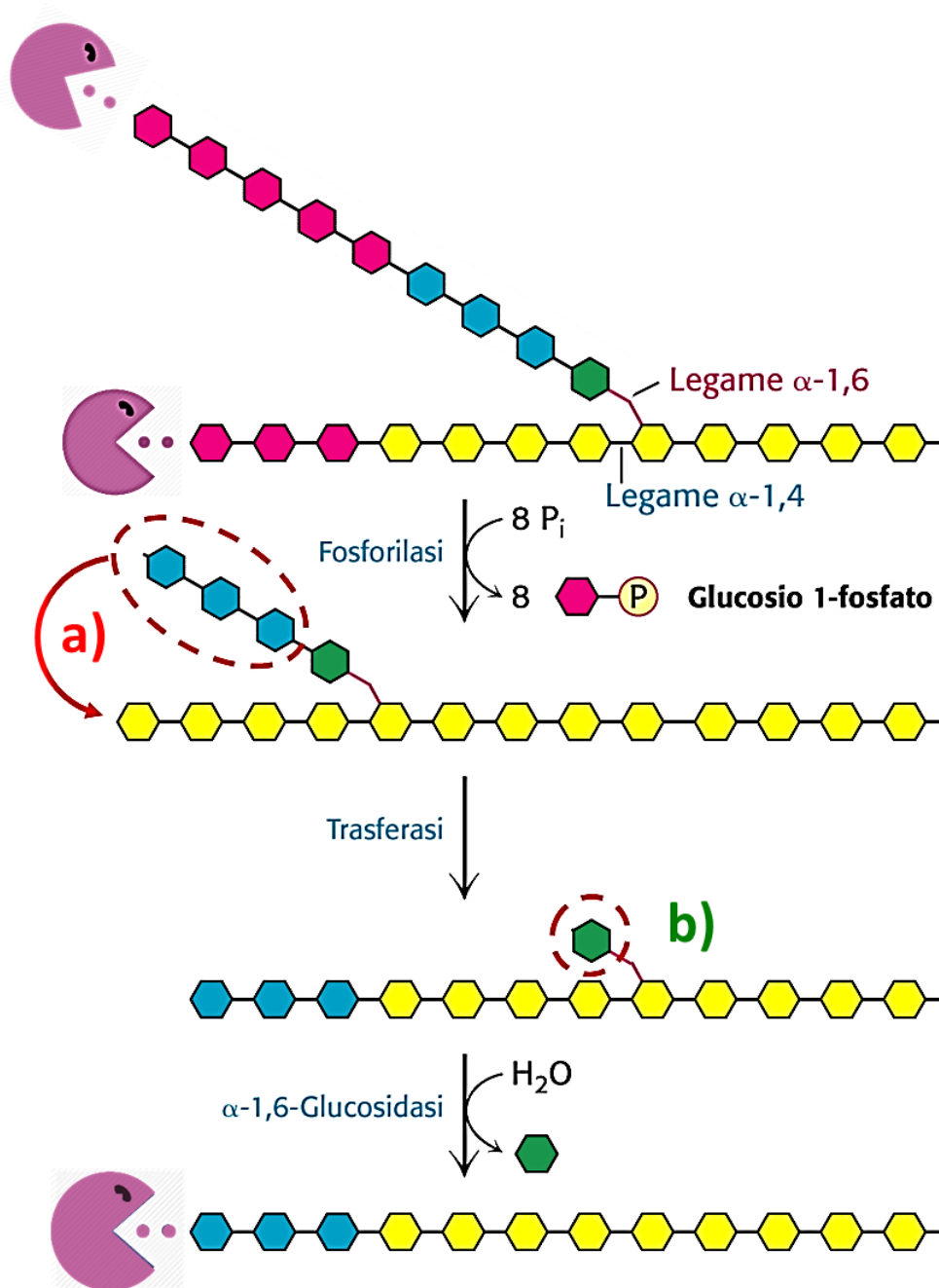
1. glicogeno fosforilasi



- scinde il legame $\alpha 1 \rightarrow 4$ utilizzando *fosfato inorganico* (Pi)

- esce G-1-P, poi trasformato in G-6-P dalla **fosfoglucomutasi**





arriva fino a **4 residui** di glucosio dalla ramificazione interviene l'**enzima deramificante**

2. enzima deramificante

(*doppia funzione*):

- sposta 3 molecole di glucosio** da una catena all'altra (**attività transferasica**) (**scinde un legame α 1 $\rightarrow$ 4** e **forma un nuovo legame α 1 $\rightarrow$ 4**)
- idrolizza un legame α 1 $\rightarrow$ 6** con formazione di **glucosio libero** (**attività α 1 $\rightarrow$ 6 glucosidasi**)

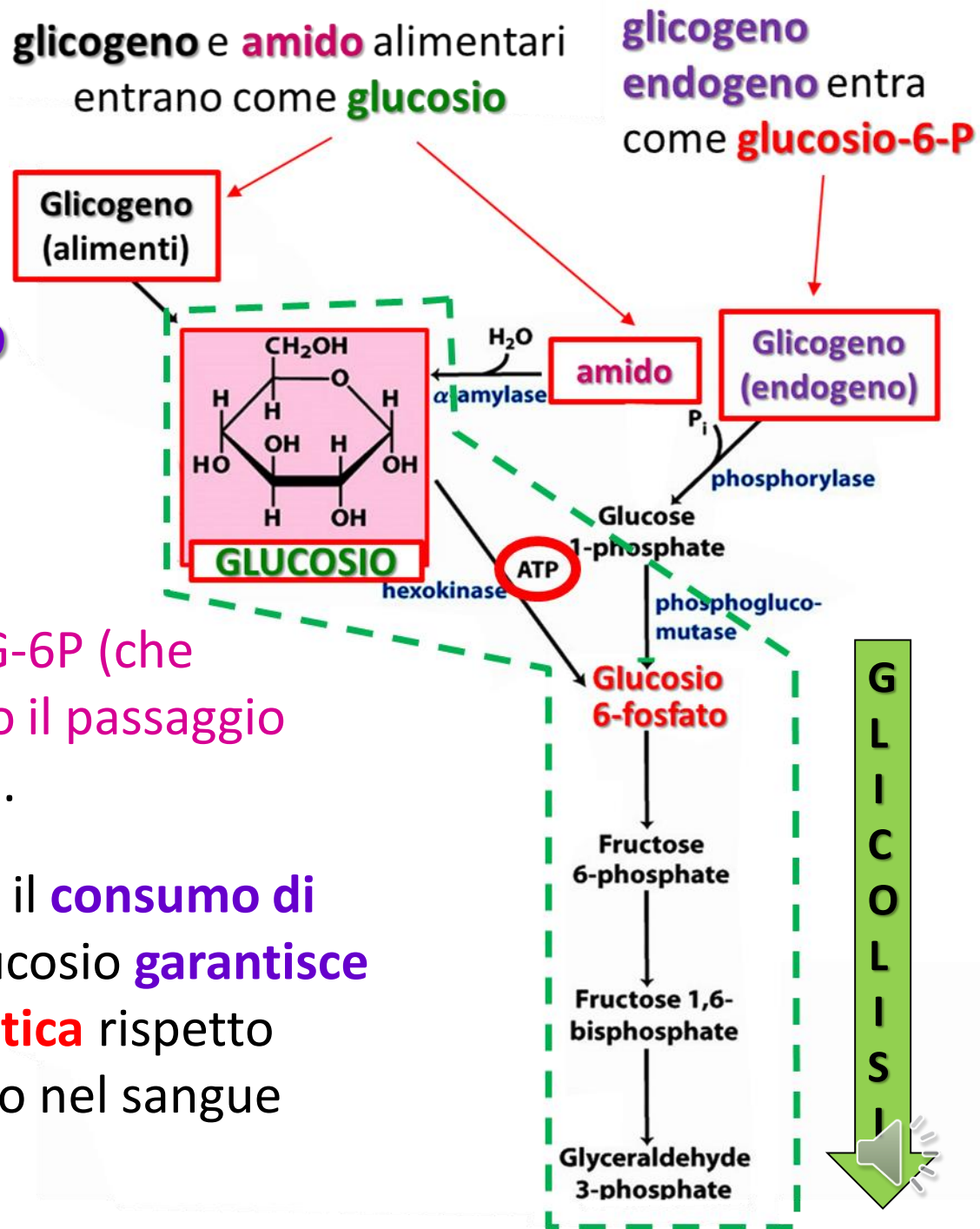


Il glicogeno endogeno viene consumato prima del glucosio ematico

Glicogenolisi → G-1P
(**non consuma ATP**)

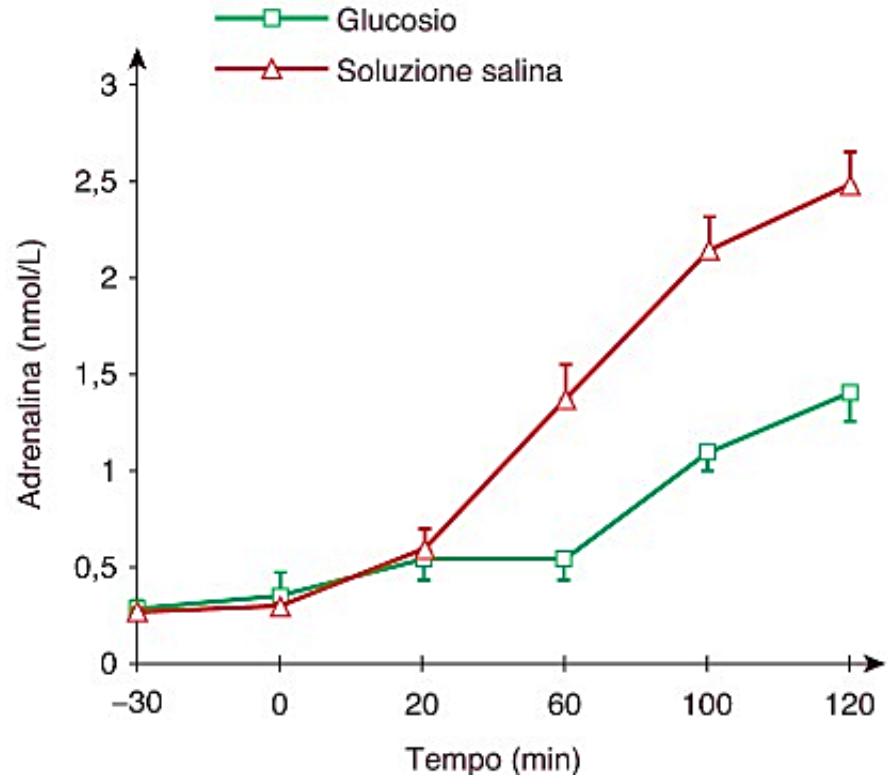
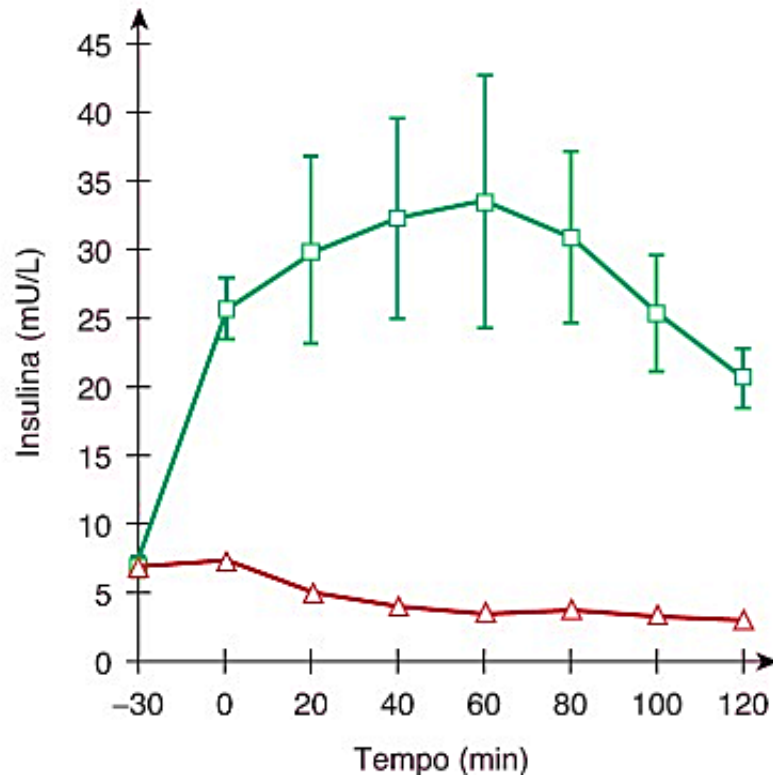
→ il G-1P liberato diventa **G-6P** (che entra nella Glicolisi saltando il passaggio catalizzato dalla **Esochinasi**).

La conseguenza fisiologica: il **consumo di glicogeno** come fonte di glucosio **garantisce maggiore efficienza energetica** rispetto all'utilizzo del glucosio libero nel sangue (**risparmia 1 ATP**)



L'esercizio fisico aumenta il livello di adrenalina nel sangue

Tratto da: *Biochimica metabolica dello sport e dell'esercizio fisico*
MacLaren & Morton – edi-ermes editore

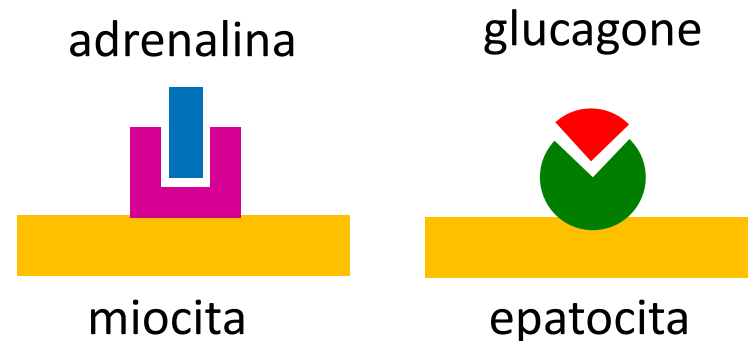
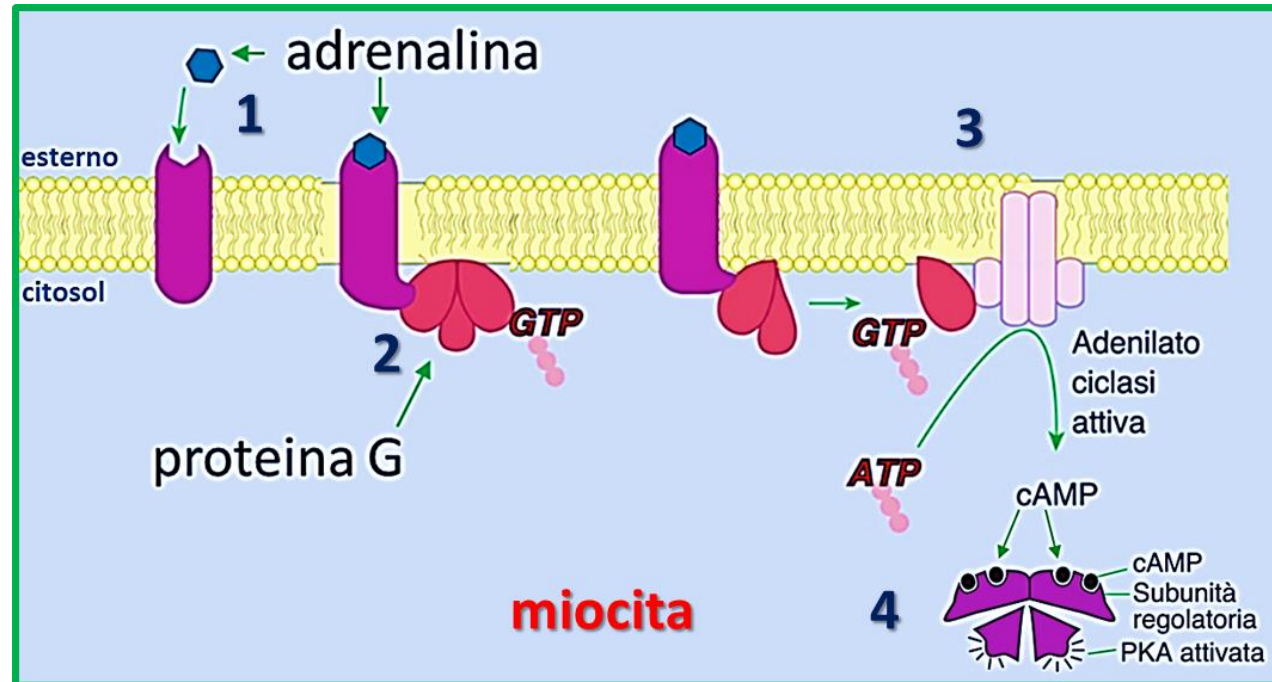


L'adrenalina è secreta dalla midollare del surrene durante l'esercizio fisico (è anche un neurotrasmettitore sintetizzato e secreto dai neuroni).

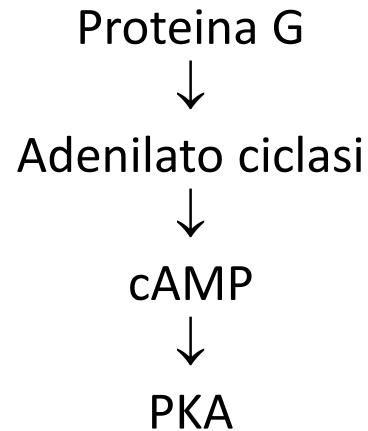
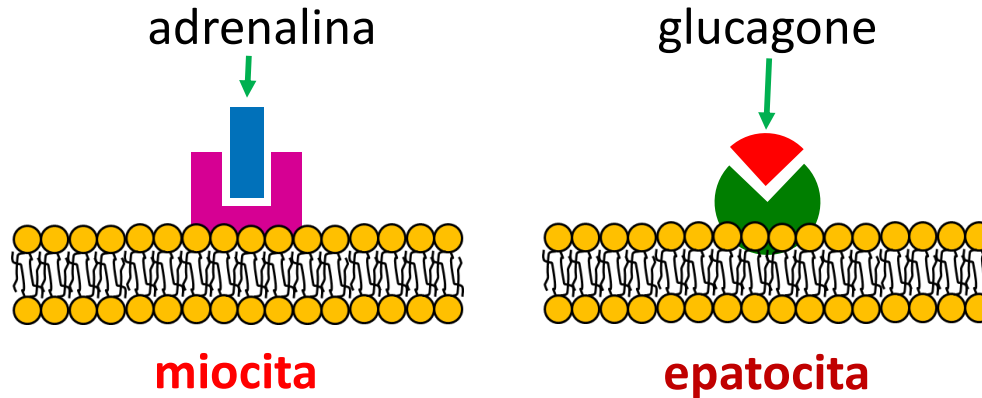


Attivazione della glicogenolisi tramite l'adrenalina

1. L'adrenalina si lega al proprio recettore presente sulla membrana della cellula muscolare
2. Recluta e attiva la proteina G
3. La proteina G a sua volta attiva l'adenilato ciclasi che trasforma un ATP in cAMP (AMP ciclico) nel citoplasma cellulare.
4. Il cAMP attiva quindi la PKA

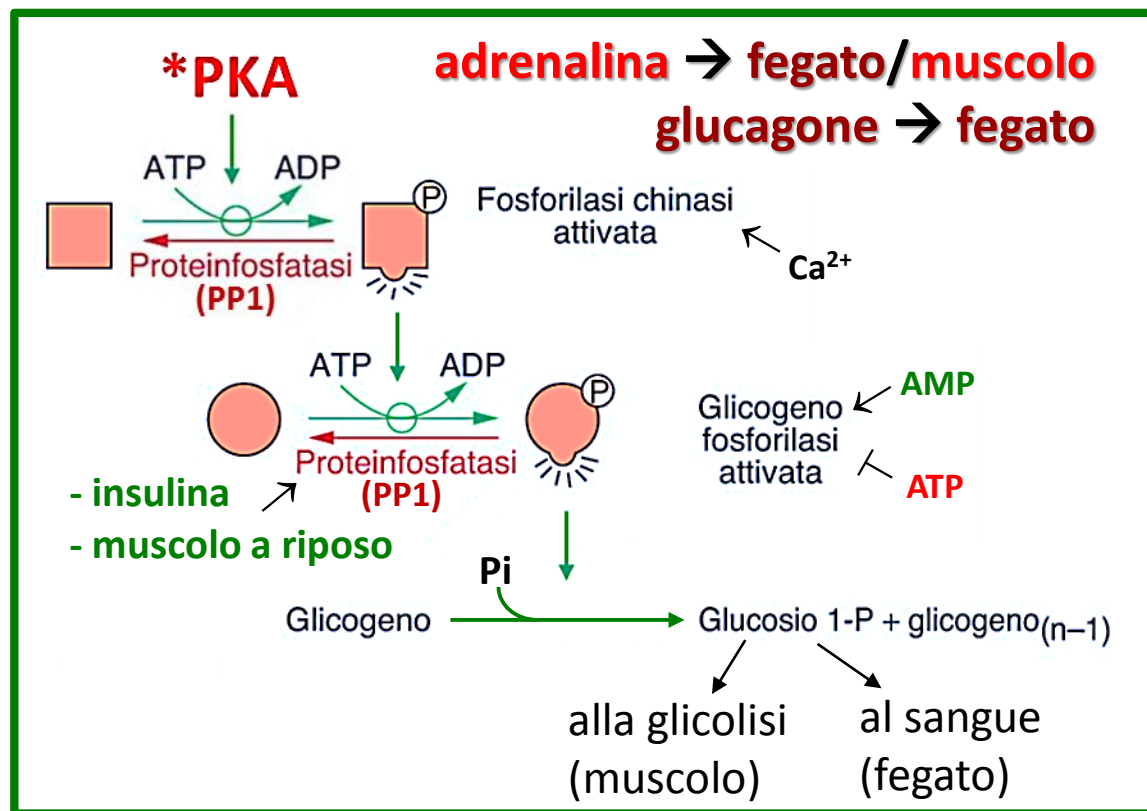


Attivazione della glicogenolisi tramite l'adrenalina



Attivazione della glicogenolisi tramite adrenalina o glucagone

1. Dopo essere stata attivata, la **PKA** attiva la **fosforilasi chinasi (fosforilazione)**
2. A sua volta attiva la glicogeno fosforilasi, l'enzima regolatore della glicogenolisi
3. conseguente liberazione di glucosio-1-P intracellulare dal glicogeno.



l'adrenalina (o glucagone) → determina la fosforilazione della fosforilasi chinasi e la glicogeno fosforilasi attivandole

l'insulina → attiva la **PP1** → inattiva la fosforilasi chinasi e la glicogeno fosforilasi

- L'adrenalina (o glucagone) incrementa la demolizione del glicogeno

- l'insulina la inibisce per favorire il processo opposto, la glicogenosintesi.



Materiale didattico di supporto

- Materiale delle lezioni sarà reperibile nel minisito dell'insegnamento; esso è utile come traccia degli argomenti svolti, ma non sostituisce il libro di testo
- Piattaforma on line Moodle: approfondimenti e test di autovalutazione

Raccomandazione importante: Il materiale delle lezioni è per USO PERSONALE dello studente iscritto al corso di Biochimica per le Scienze Motorie UniFE ed è fatto divieto di diffonderlo in qualsiasi maniera, potendo contenere immagini/filmati per i quali valgono i diritti di copyright.