

1.4

L'attività delle cellule:
energia, trasporti,
respirazione, fotosintesi

Omar Rota Stabelli

L'energia si presenta in diverse forme

L'energia è definita come la *capacità di eseguire un lavoro*.

Le forme dell'energia si possono classificare in diversi tipi:

- l'**energia radiante** (o solare) è prodotta dal Sole e viene emessa sotto forma di onde elettromagnetiche;

- l'**energia chimica** è racchiusa nelle molecole organiche, in particolare nei legami chimici;

- l'**energia meccanica** riguarda ogni tipo di movimento.

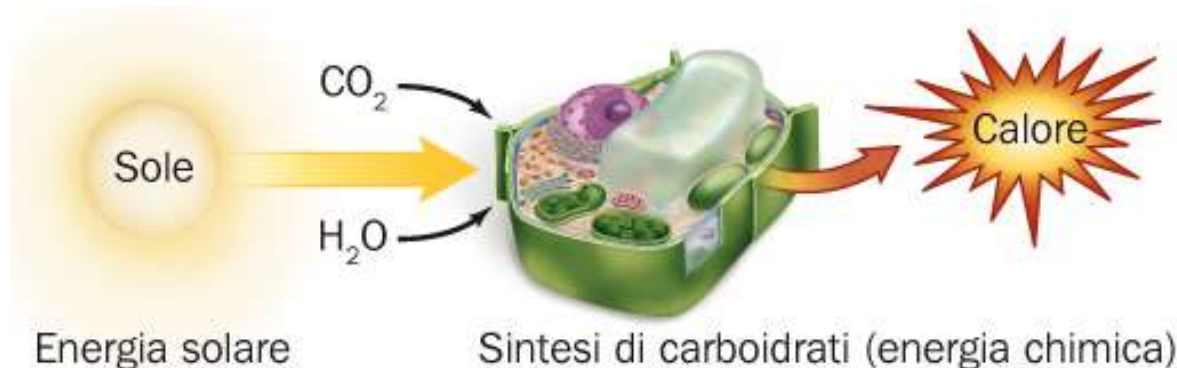
Il movimento di *sistemi microscopici* come gli atomi, gli ioni o le molecole è associato a un tipo di energia meccanica comunemente definito calore, o **energia calorica**.

1 caloria (cal) = quantità di calore richiesta per innalzare la temperatura di 1 g di acqua di 1 ° C.

Due principi importanti regolano le trasformazioni dell'energia

Primo principio della termodinamica (o principio della conservazione dell'energia) – l'energia non può essere né creata né distrutta, ma soltanto cambiare da una forma all'altra;

Secondo principio della termodinamica – l'energia non può essere trasformata da una forma all'altra senza una perdita di energia utile. Una conversione di energia aumenta sempre il grado di **entropia** (disordine) di un sistema.



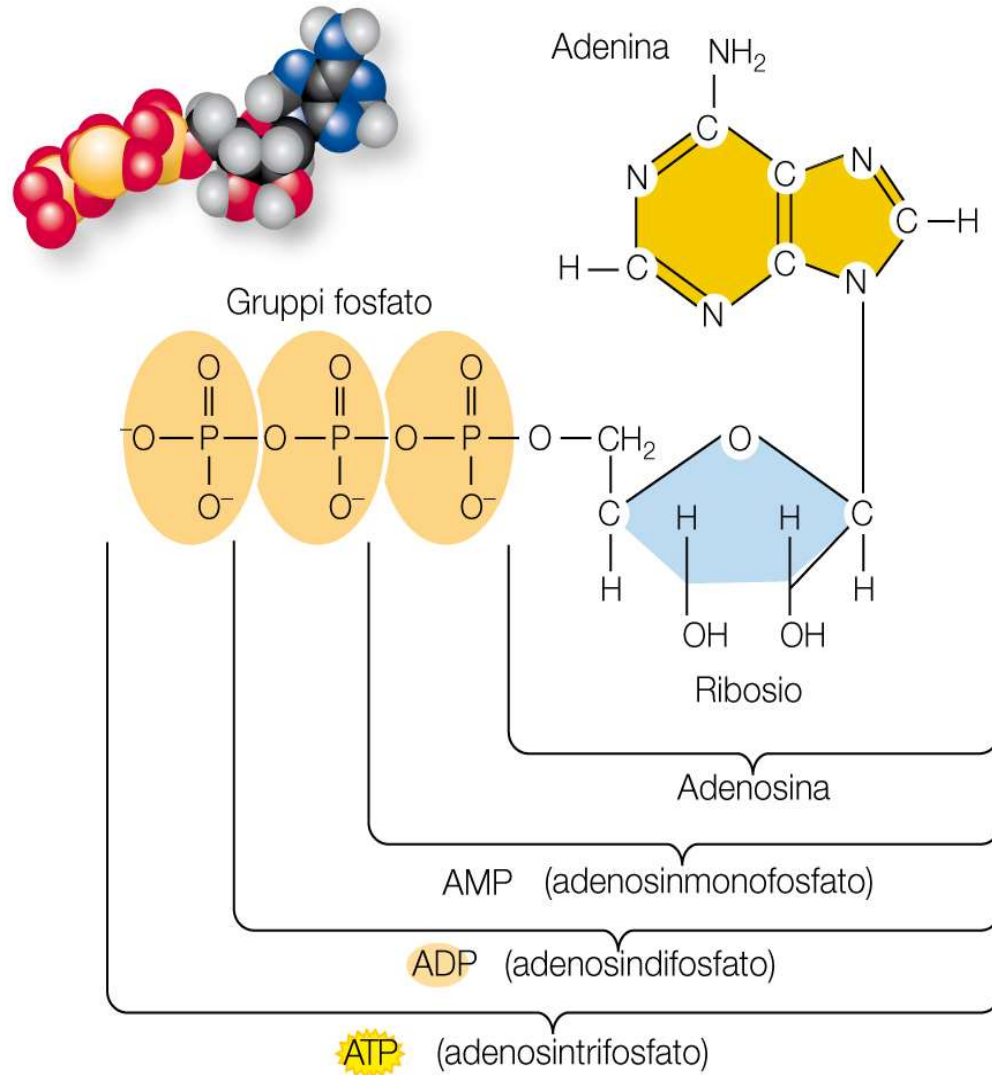
Il metabolismo cellulare

Il **metabolismo cellulare** è l'insieme delle reazioni chimiche con cui le cellule ricavano l'energia necessaria per crescere e per compiere tutte le funzioni vitali.

Le reazioni metaboliche sono di due tipi:

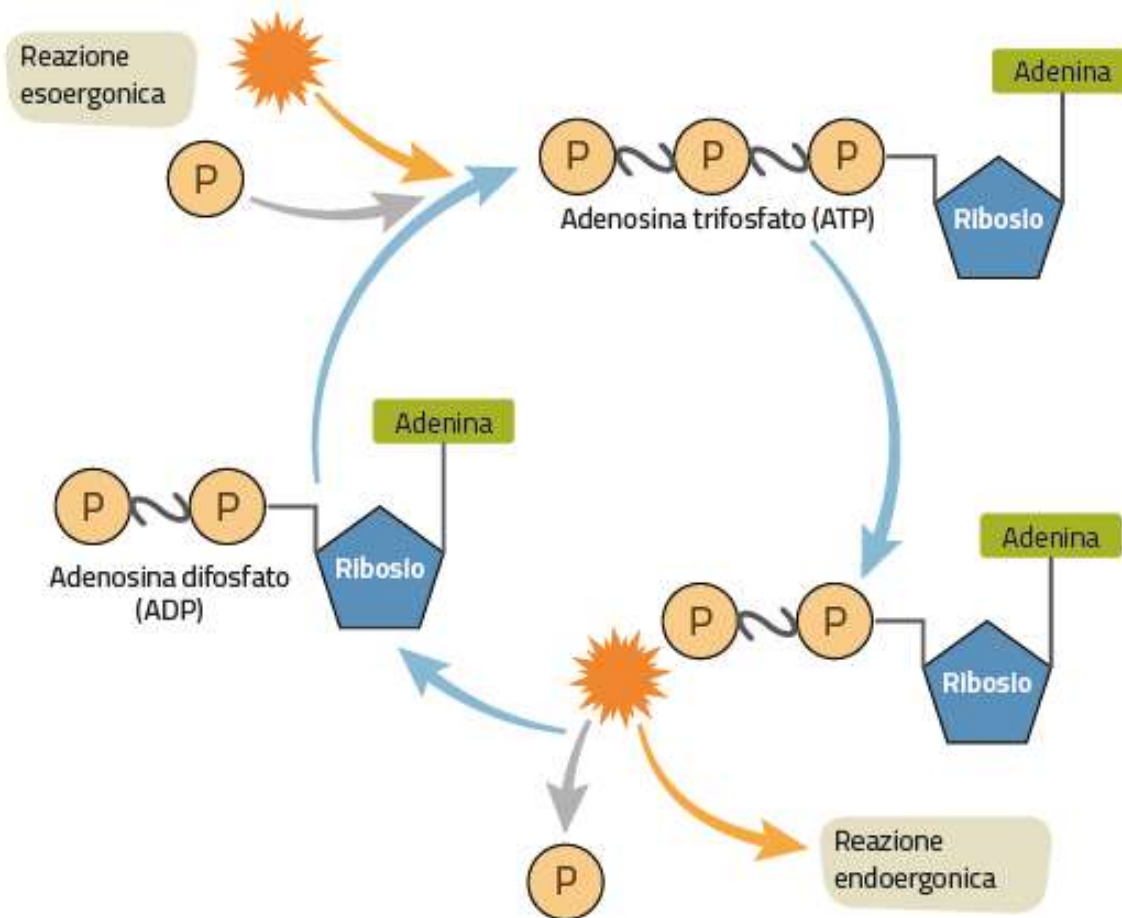
- **reazioni anaboliche** (endoergoniche, cioè richiedono energia);
- **reazioni cataboliche** (esoergoniche, cioè liberano energia).

La molecola dell'energia: l'ATP Adenosine TriPhosphate



Le reazioni anaboliche e cataboliche sono accoppiate. L'**ATP** è la molecola che fornisce l'energia per le reazioni accoppiate.

Le cellule sintetizzano molecole di **ATP** utilizzando l'energia prodotta dalle reazioni cataboliche, e poi le idrolizzano per attivare le reazioni anaboliche.



L'ATP perde facilmente il terzo gruppo fosfato, poiché i prodotti della reazione di scissione sono più stabili della molecola di partenza.

Si tratta di una reazione **esoergonica** (*che libera energia*).

La reazione opposta, di produzione dell'ATP a partire dall'ADP e un gruppo fosfato, è detta **endoergonica** e avviene soltanto con un *rifornimento di energia*.

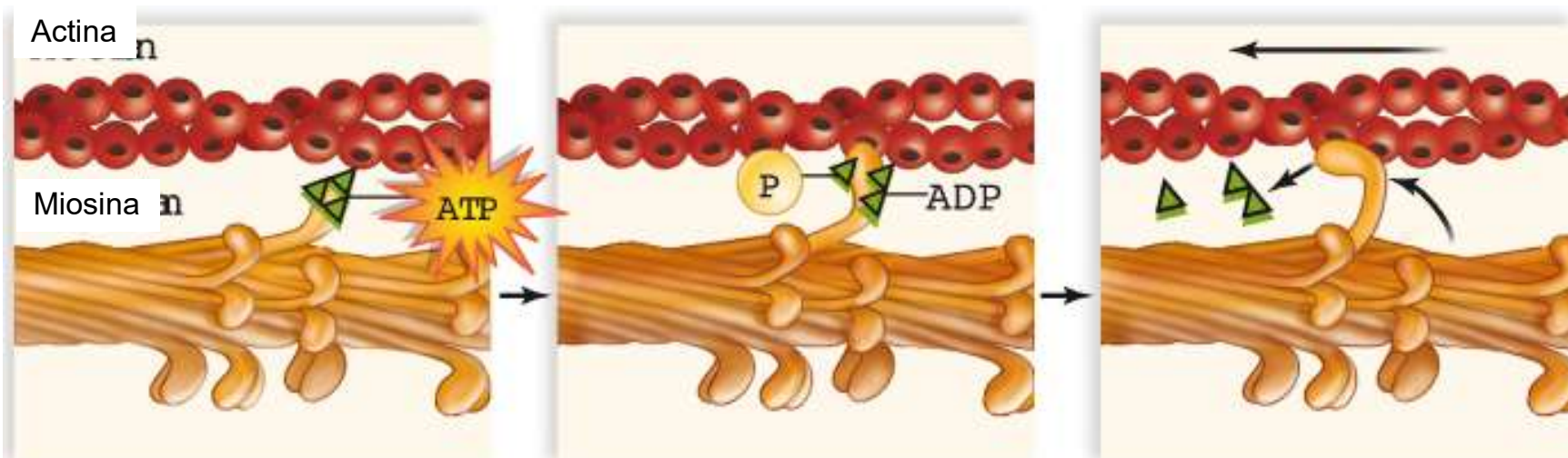
L'idrolisi dell'ATP è accoppiata con reazioni che richiedono energia

Le **reazioni accoppiate** avvengono in identica sede e praticamente nello stesso istante, in modo che la reazione *esoergonica* (che rilascia energia) permetta lo svolgimento della reazione *endoergonica* (che consuma energia).

1. Quando si combina con l'ATP, la testa di miosina acquista la posizione «di riposo».

2. Quando l'ATP si scinde in ADP e P, la testa della miosina si attacca all'actina.

3. Quando l'ADP e il P vengono rilasciati, la testa di miosina «tira» il filamento di actina.

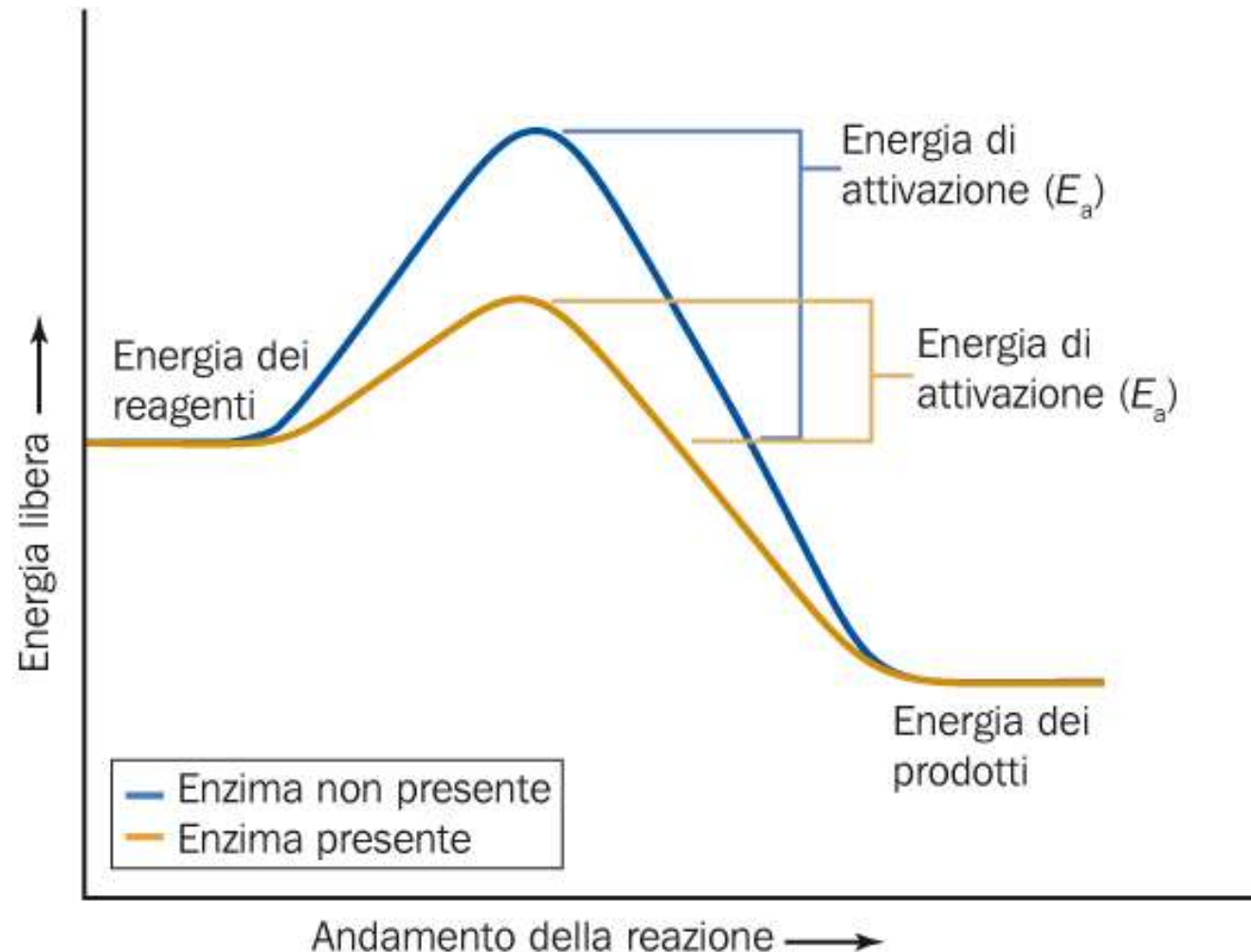


La contrazione muscolare può avvenire solo se è associata all'idrolisi dell'ATP.

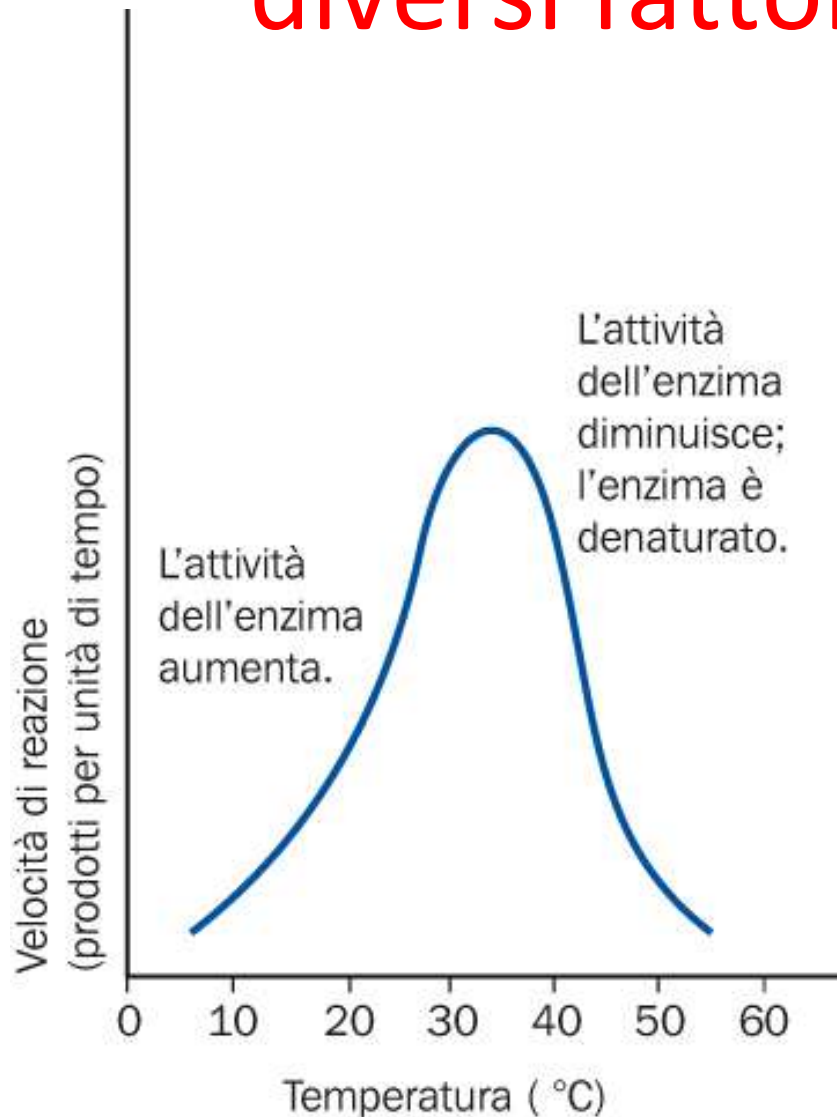
Cosa succede se manca ossigeno?

Gli enzimi velocizzano le reazioni chimiche

Gli enzimi rendono più rapide le reazioni abbassando l'**energia di attivazione** (E_a) necessaria perché una reazione si inneschi. Sono catalizzatori e sono specifici per una reazione chimica.



L'attività enzimatica è influenzata da diversi fattori chimici e fisici



- La **concentrazione del substrato**;
- La **temperatura**;
- Il **pH**;
- I **cofattori**, come le *vitamine* e i *coenzimi*.

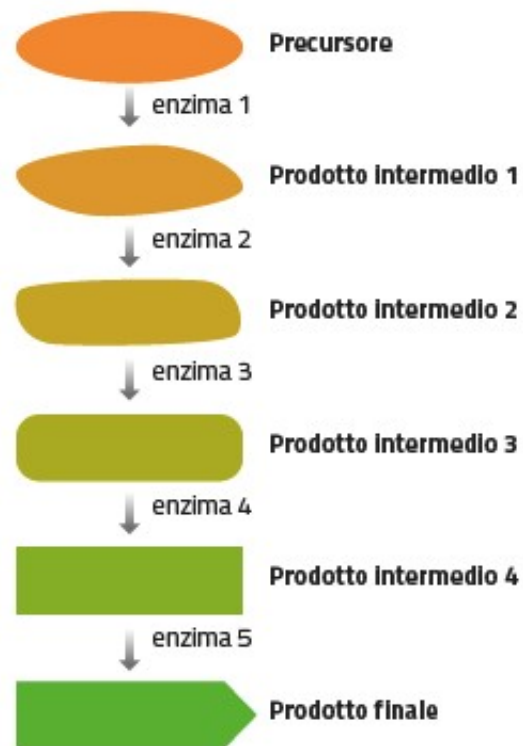
Il funzionamento degli enzimi

Le molecole di substrato si legano al **sito attivo** di un enzima. Si forma il **complesso enzima-substrato**, che dà origine al prodotto e rilascia l'enzima.



Le vie metaboliche

Una **via metabolica** è una serie ordinata di reazioni, ciascuna delle quali è catalizzata da uno specifico enzima.

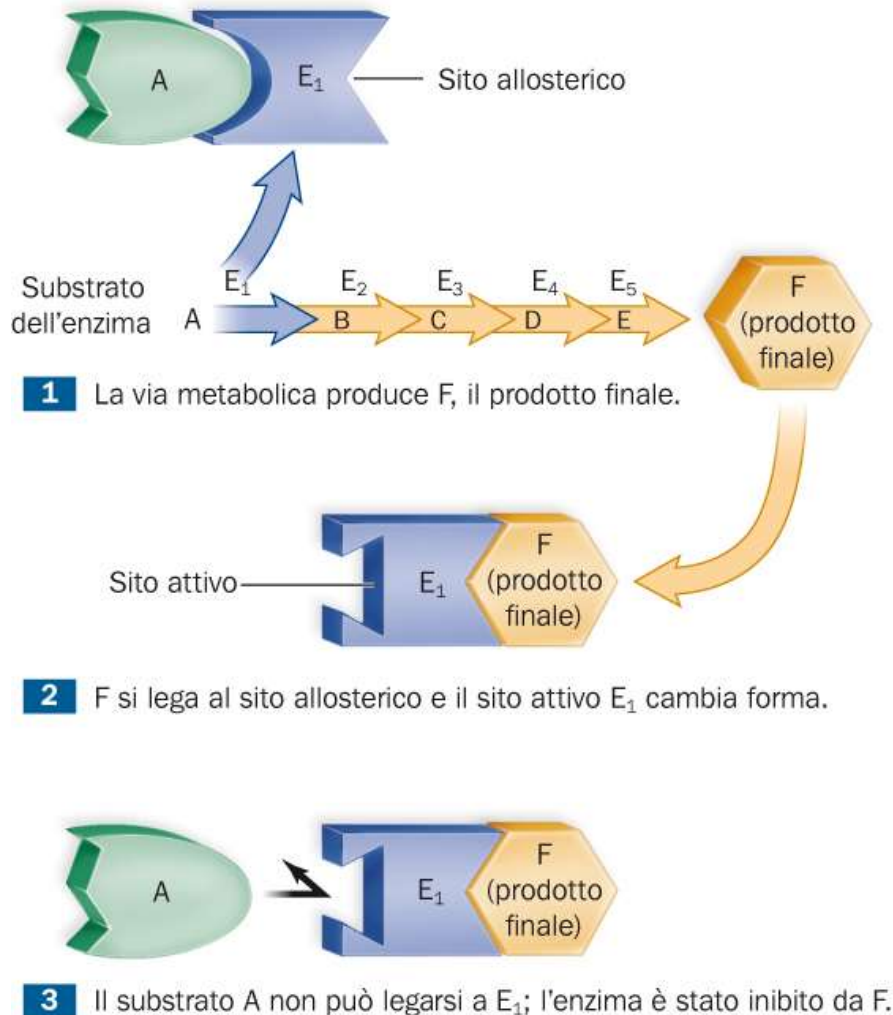


Ogni via metabolica è regolata da enzimi chiave, che determinano la velocità con cui avviene il processo.

Le vie metaboliche sono attive in specifici compartimenti, per esempio il citoplasma o alcuni organuli.

Esempi di vie metaboliche: sintesi di terpeni, flavonoidi e giberelline, ma anche glicolisi, krebs

Gli enzimi possono essere inibiti in modo competitivo o non competitivo



Le reazioni nelle cellule sono sempre parte di **vie metaboliche** (serie di reazioni a catena).

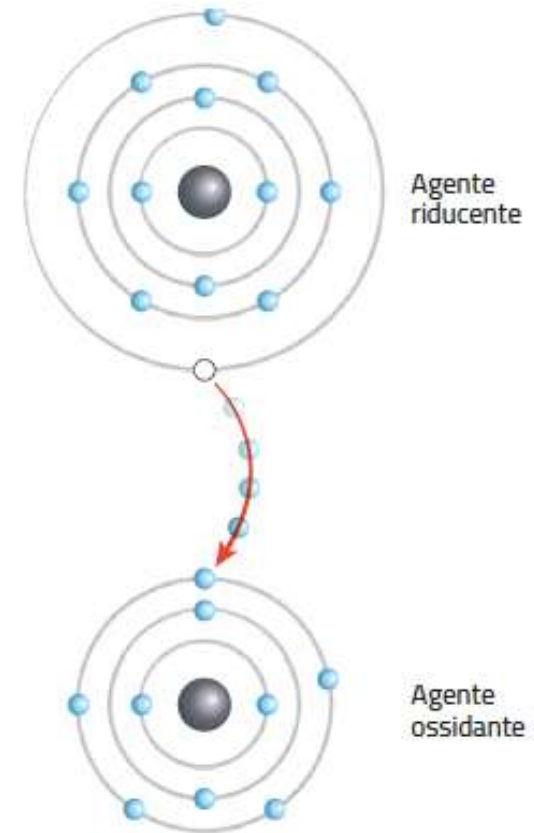
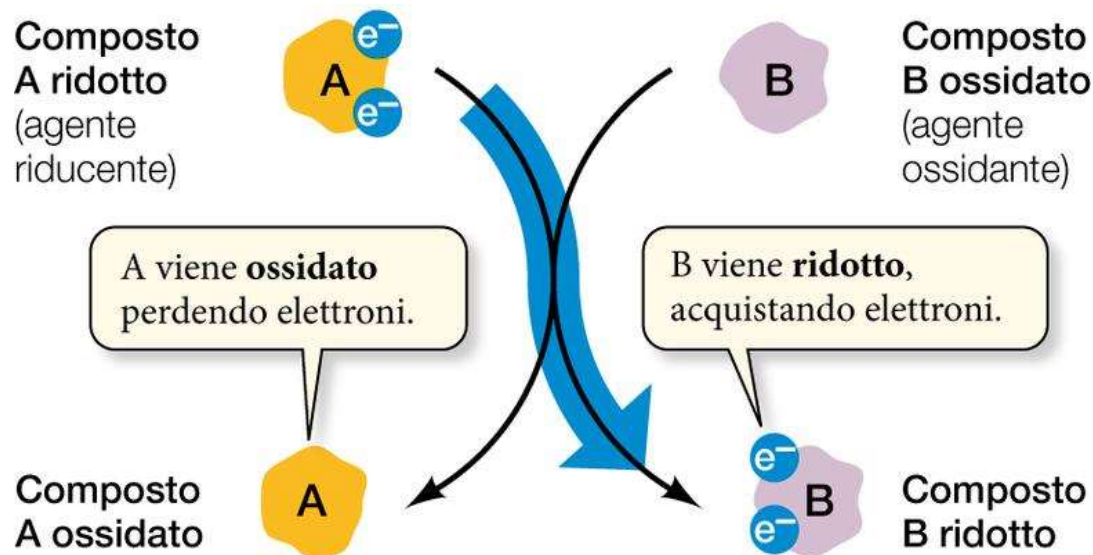
L'**inibizione degli enzimi** avviene quando un *inibitore* si lega a un enzima e ne diminuisce l'attività.

L'inibizione è **non competitiva** quando l'inibitore si lega al *sito allosterico* dell'enzima,

competitiva se inibitore e substrato competono per legarsi al *sito attivo* dell'enzima.

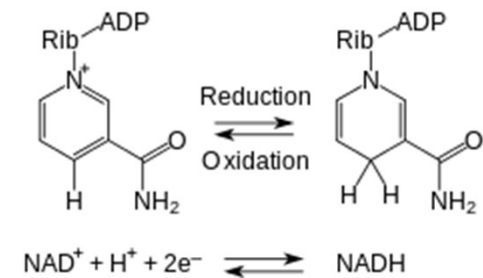
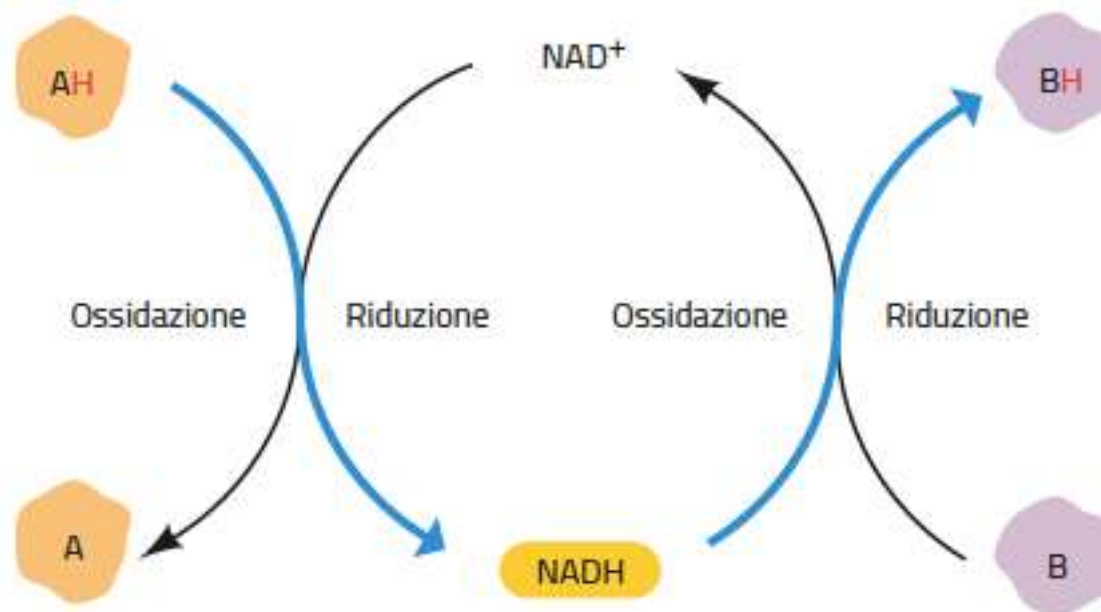
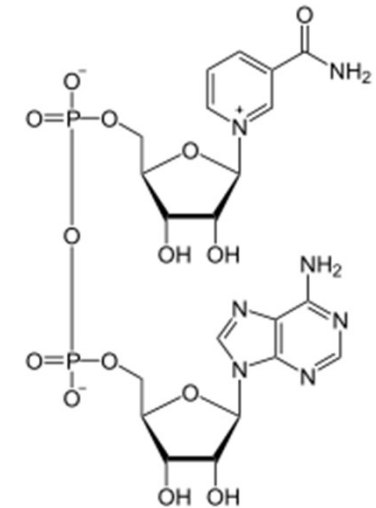
Le ossidoriduzioni

Molte reazioni chimiche nel metabolismo sono **reazioni di ossidoriduzione** (o **redox**), in cui uno o più elettroni sono trasferiti da un composto (agente riducente) a un altro (agente ossidante).



Il coenzima NAD

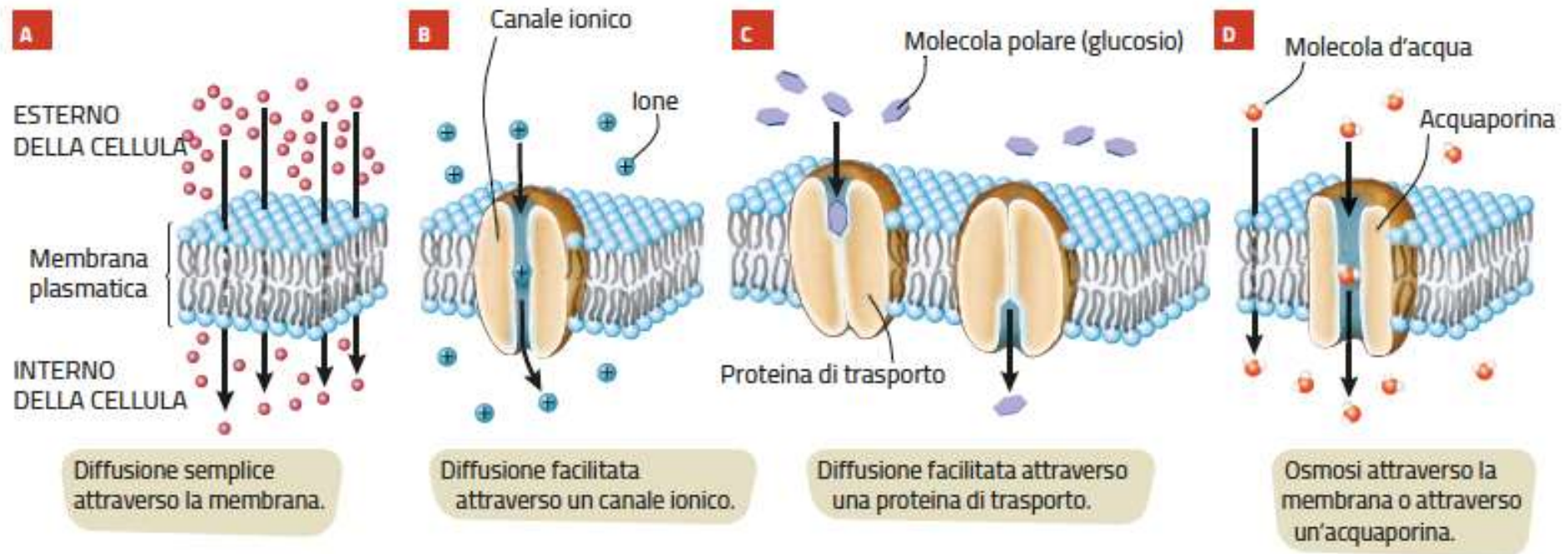
Il **coenzima NAD** (nicotinammide adenin dinucleotide) lavora insieme agli enzimi nelle reazioni redox. NAD funziona come una navetta, trasportando gli elettroni da una via metabolica all'altra.



Il trasporto passivo

Esistono tre tipi di trasporto passivo:

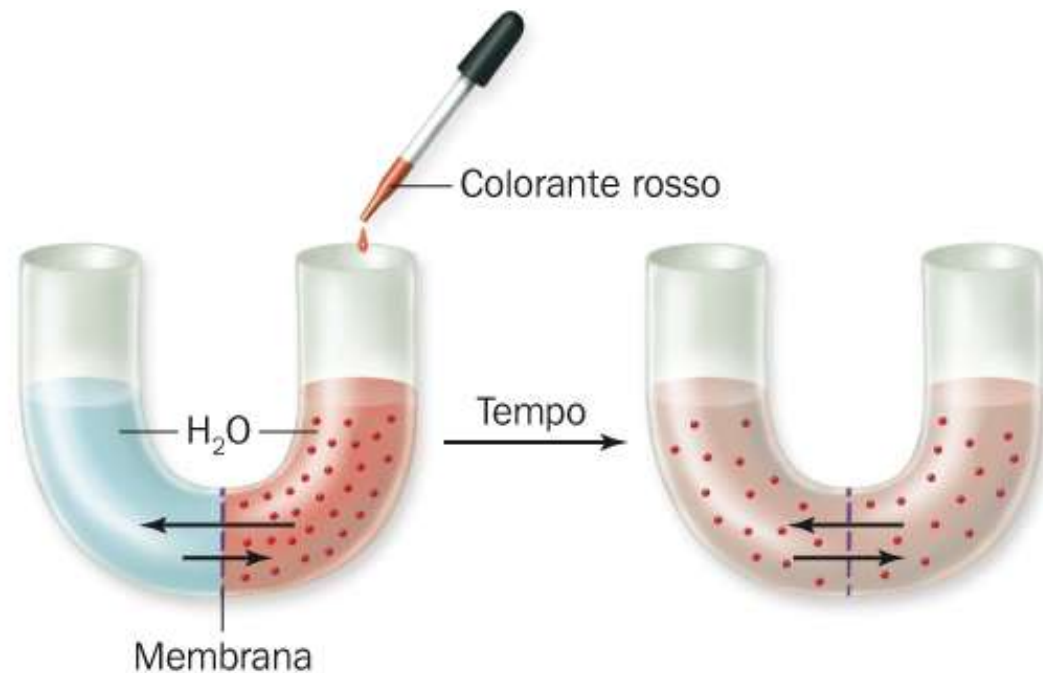
- **diffusione semplice;**
- **diffusione facilitata;**
- **diffusione per osmosi.**



La diffusione semplice

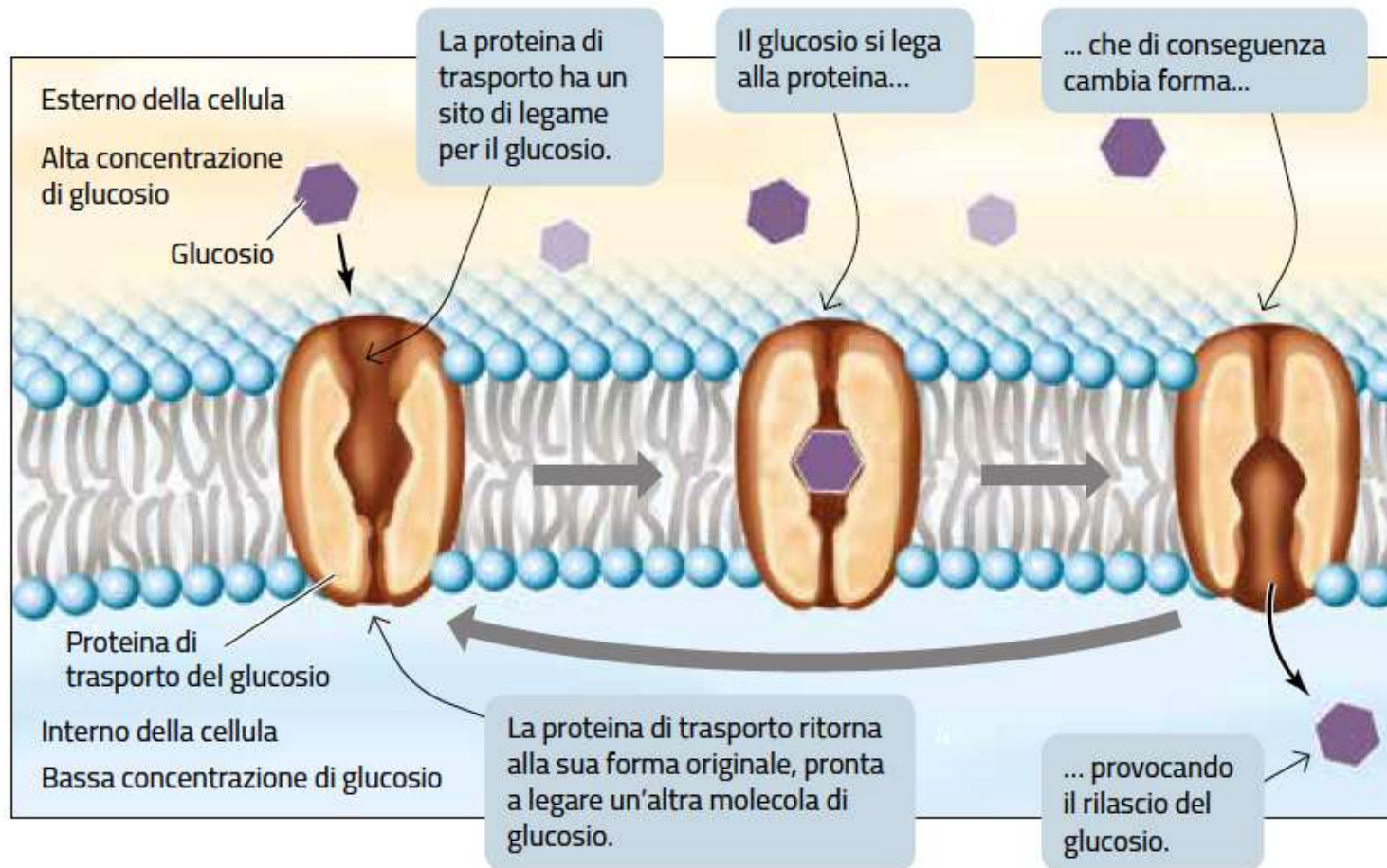
Le molecole più piccole, come l'acqua, e quelle solubili nei lipidi attraversano facilmente la membrana per **diffusione semplice**; le molecole grandi o dotate di carica elettrica diffondono con difficoltà.

Le molecole si spostano seguendo il loro **gradiente di concentrazione**; si muovono quindi da dove sono più concentrate a dove lo sono meno, fino a quando si raggiunge un equilibrio

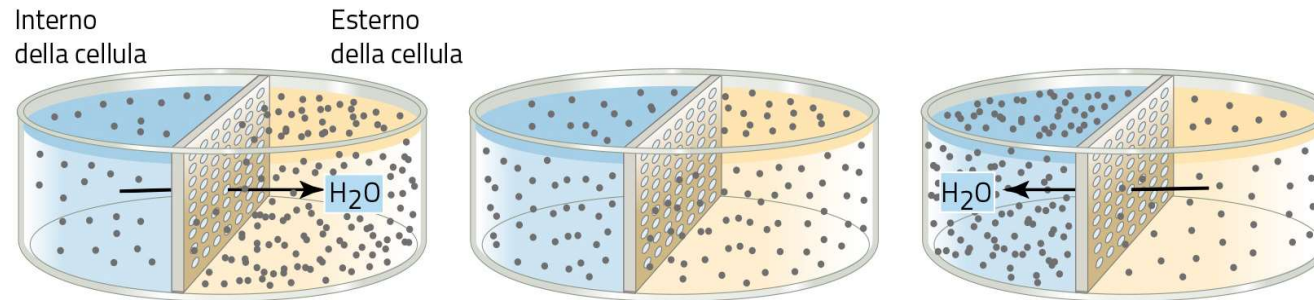


La diffusione facilitata

Alcune molecole non liposolubili attraversano la membrana grazie all'intervento di una **proteina di trasporto**, che le aggancia e «assiste» il loro passaggio. La diffusione facilitata non richiede un dispendio di energia.

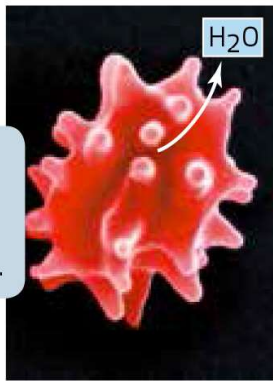


L'osmosi



Cellula animale
(globulo rosso)

Le cellule perdono acqua e si raggrinziscono.



La velocità di ingresso e di uscita dell'acqua è la stessa; la cellula mantiene la sua forma.

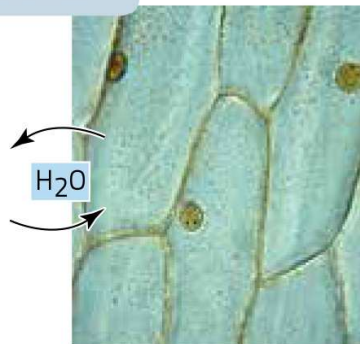
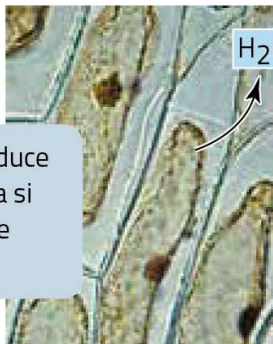


Le cellule assorbono acqua e si gonfiano fino a scoppiare.

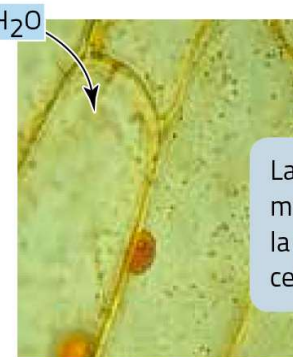


Cellula vegetale
(cellula di epitelio fogliare)

Il volume delle cellule si riduce e la membrana plasmatica si ritrae dalla parete cellulare (appassimento).

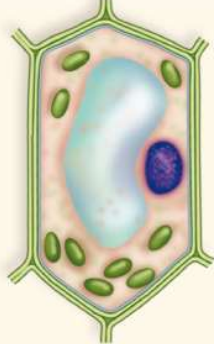
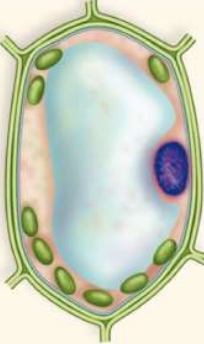
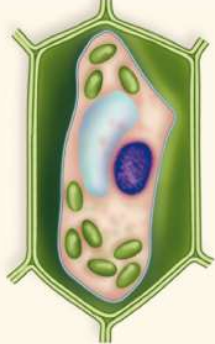


La cellula si gonfia, ma mantiene la sua forma per la presenza della parete cellulare.



L'osmosi è la diffusione dell'acqua attraverso una membrana semipermeabile, da una **soluzione ipotonica** a una soluzione **ipertonica**.
l'**acqua** si muove verso la soluzione a maggiore concentrazione finché le concentrazioni ai due lati della membrana sono identiche.

L'osmosi può influenzare le dimensioni e la forma delle cellule

Soluzione	Isotonica	Ipotonica	Ipertonica
Cellula animale	 La cellula è normale.	 La cellula si gonfia e scoppia.	 La cellula raggrinzisce.
Cellula vegetale	 La cellula è normale.	 La cellula è ben turgida.	 Il citoplasma si contrae e si distacca dalla parete cellulare.

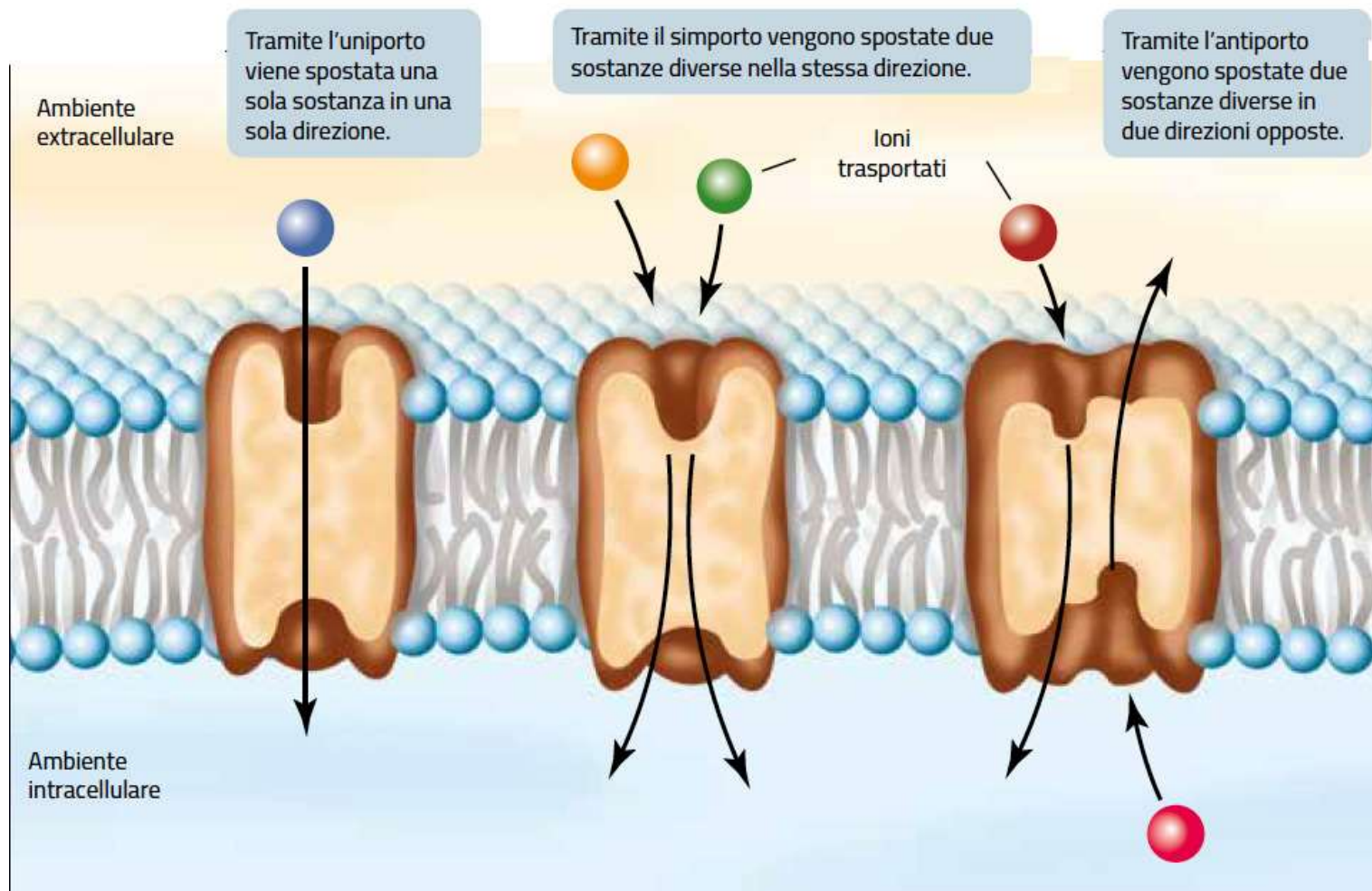
Le cellule in soluzione **isotonica** non perdono né assumono acqua, quelle in soluzione **ipotonica** assumono acqua, quelle in soluzione **iperotonica** perdono acqua.

Il trasporto attivo

Quando una sostanza si sposta contro il suo gradiente di concentrazione, il trasporto richiede un consumo di energia.

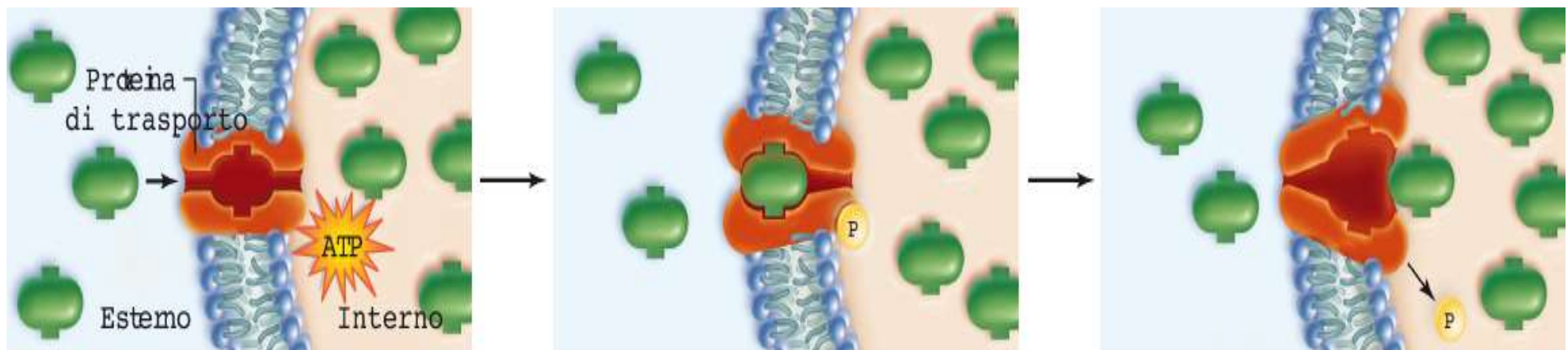
Può essere di tre tipi:

- **uniporto**;
- **simporto**;
- **antiporto**.



Il trasporto attivo richiede l'intervento di energia e di una proteina di trasporto

Il trasporto attivo permette il movimento di molecole contro il loro gradiente di concentrazione. Questo tipo di trasporto richiede il **consumo di energia** sotto forma di ATP e l'intervento di specifiche proteine di trasporto, indicate con il nome di *pompe*.



Il trasporto di macromolecole implica l'intervento di vescicole

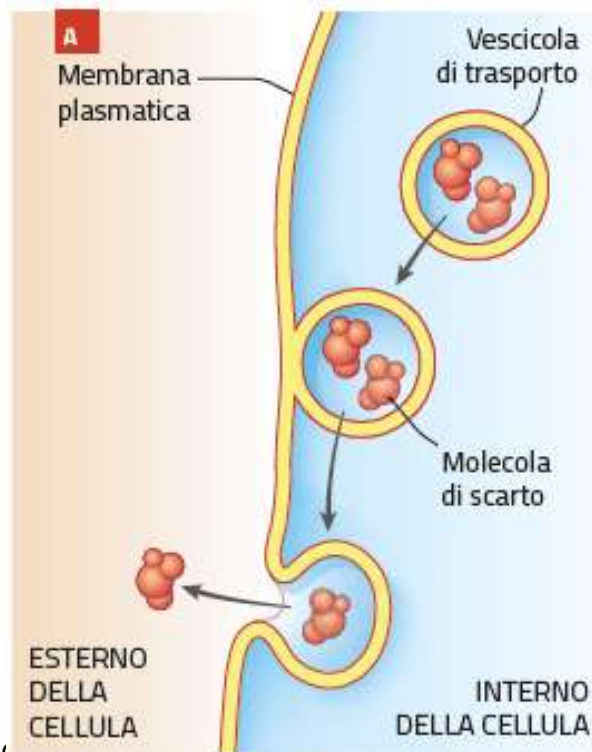
Molte sostanze importanti per la vita sono macromolecole. Queste particelle sono di dimensioni troppo grosse per passare direttamente attraverso la membrana; vengono quindi inglobate nella cellula in una vescicola, con un processo definito **endocitosi**.

Quando materiali come gli enzimi o gli ormoni vengono invece secreti dalla cellula, grazie alla formazione di vescicole che riversano il loro contenuto all'esterno, si parla di **esocitosi**.

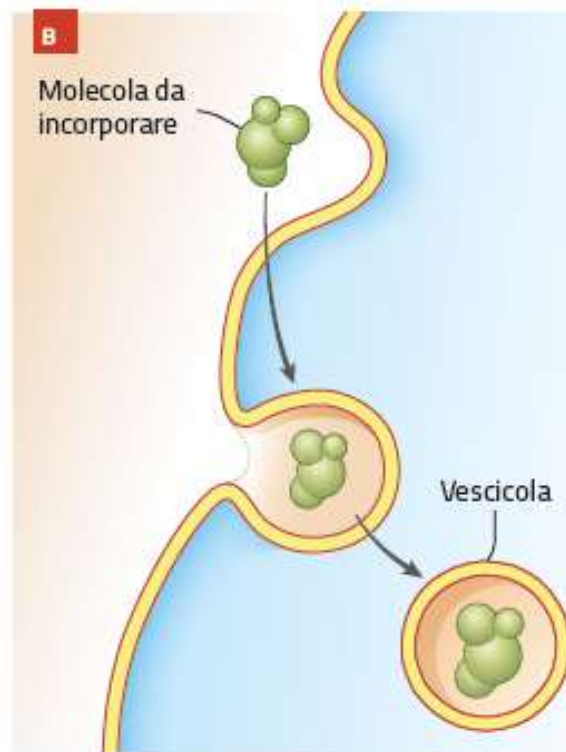
Esocitosi ed endocitosi

Per trasportare molecole o particelle di grosse dimensioni, la cellula utilizza il trasporto mediante **vescicole**.

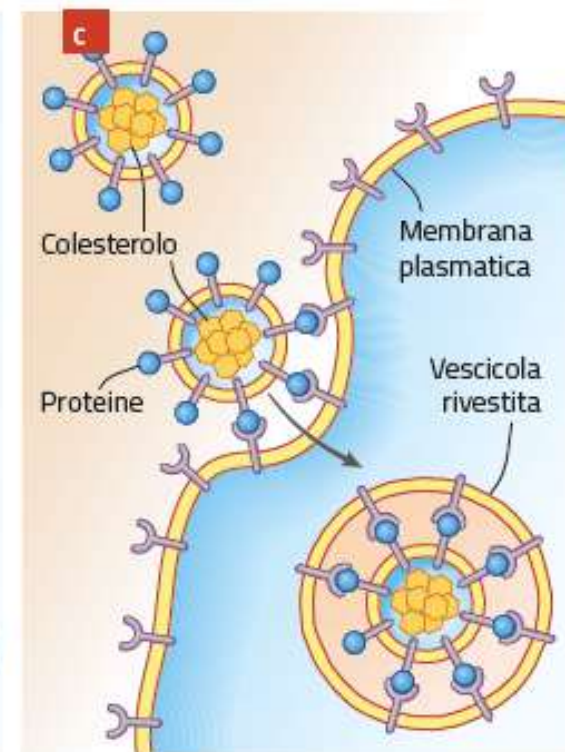
Esocitosi



Endocitosi

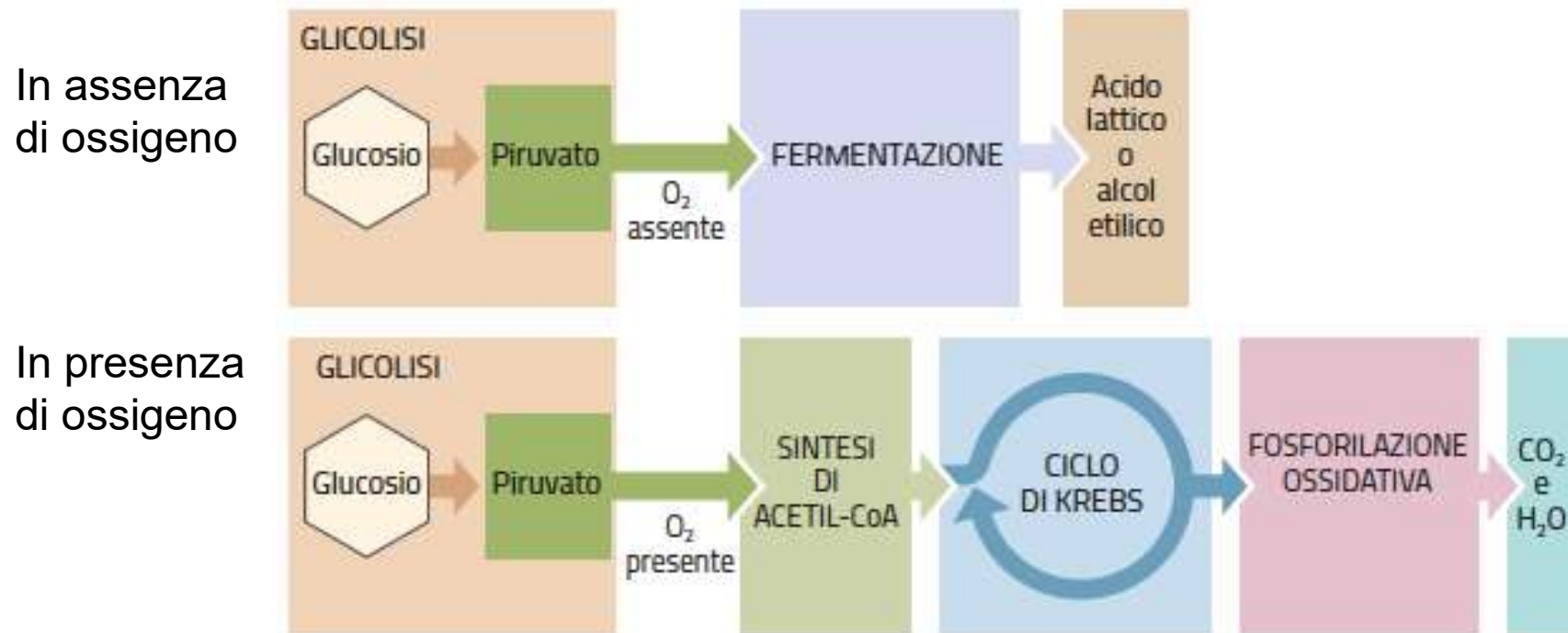


Endocitosi mediata da recettori



Il metabolismo del glucosio

I processi metabolici più importanti per il rilascio dell'energia del glucosio sono la **glicolisi**, la **fermentazione** e la **respirazione cellulare**.



La glicolisi

La **glicolisi** si svolge nel citoplasma e comprende una sequenza di 10 reazioni, ognuna catalizzata da uno specifico enzima.

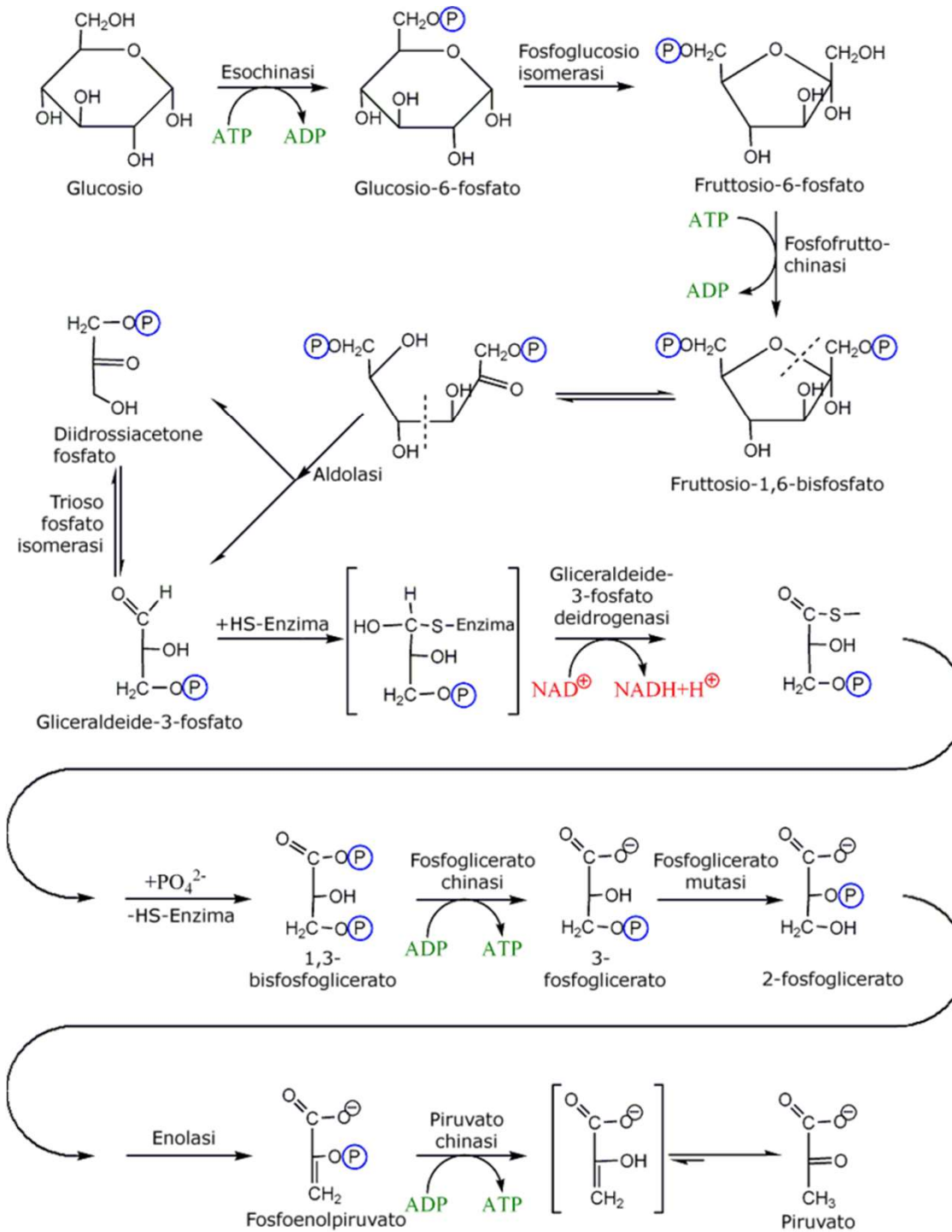


Guadagno netto: 2 molecole di ATP e 2 molecole di NADH per ogni molecola di glucosio.

**Pensavate di cavarvela
con così poco?**

Fase preparatoria

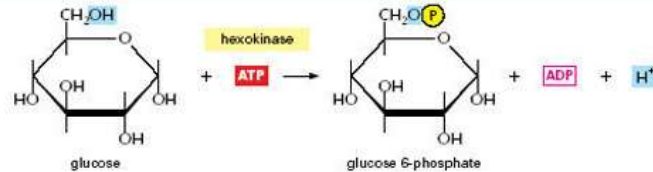
La cellula investe 2ATP



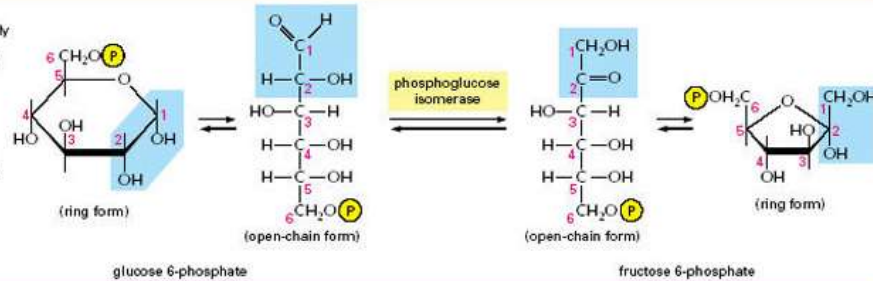
Panel 13-1 Details of the 10 steps of glycolysis

For each step, the part of the molecule that undergoes a change is shadowed in blue, and the name of the enzyme that catalyzes the reaction is in a yellow box.

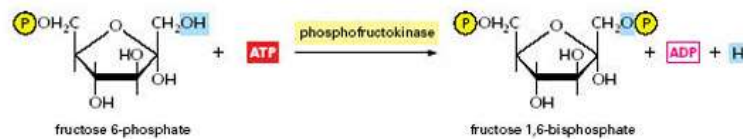
Step 1 Glucose is phosphorylated by ATP to form a sugar phosphate. The negative charge of the phosphate prevents passage of the sugar phosphate through the plasma membrane, trapping glucose inside the cell.



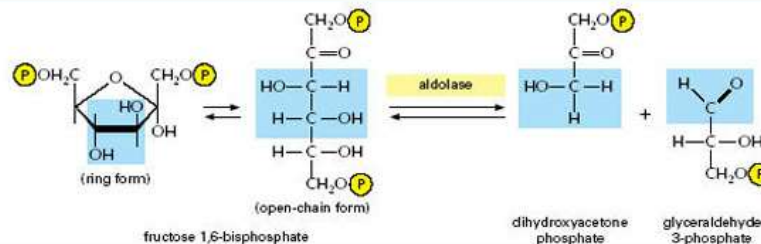
Step 2 A readily reversible rearrangement of the chemical structure (isomerization) moves the carbonyl oxygen from carbon 1 to carbon 2, forming a ketose from an aldose sugar. (See Panel 2-3, pp. 70-71.)



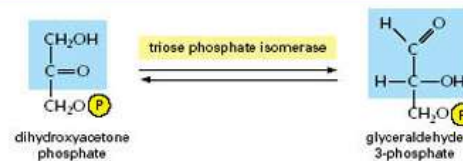
Step 3 The new hydroxyl group on carbon 1 is phosphorylated by ATP, in preparation for the formation of two three-carbon sugar phosphates. The entry of sugars into glycolysis is controlled at this step, through regulation of the enzyme *phosphofructokinase*.



Step 4 The six-carbon sugar is cleaved to produce two three-carbon molecules. Only the glyceraldehyde 3-phosphate can proceed immediately through glycolysis.

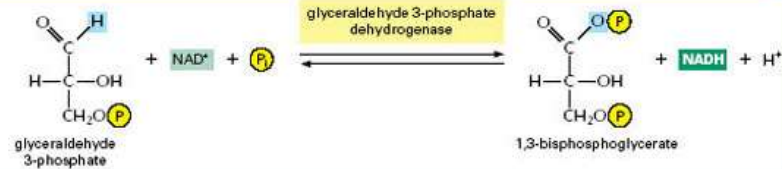


Step 5 The other product of step 4, dihydroxyacetone phosphate, is isomerized to form glyceraldehyde 3-phosphate.

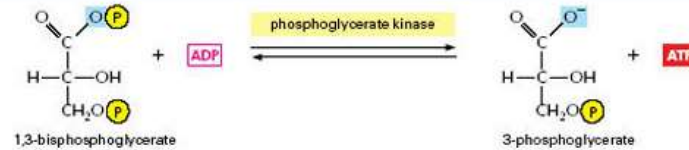


Glicolisi
chiedo le
formule

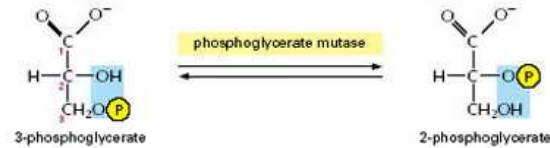
Step 6 The two molecules of glyceraldehyde 3-phosphate are oxidized. The energy-generation phase of glycolysis begins, as NADH and a new high-energy anhydride linkage to phosphate are formed (see Figure 13-5).



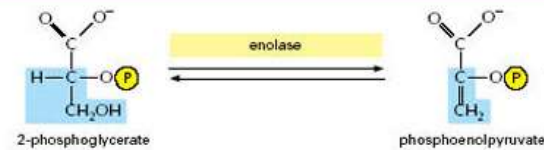
Step 7 The transfer to ADP of the high-energy phosphate group that was generated in step 6 forms ATP.



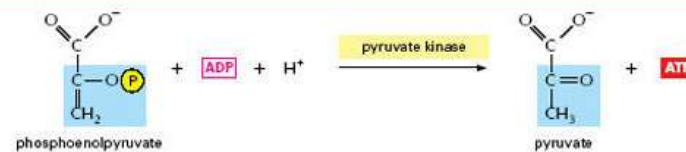
Step 8 The remaining phosphate ester linkage in 3-phosphoglycerate, which has a relatively low free energy of hydrolysis, is moved from carbon 3 to carbon 2 to form 2-phosphoglycerate.



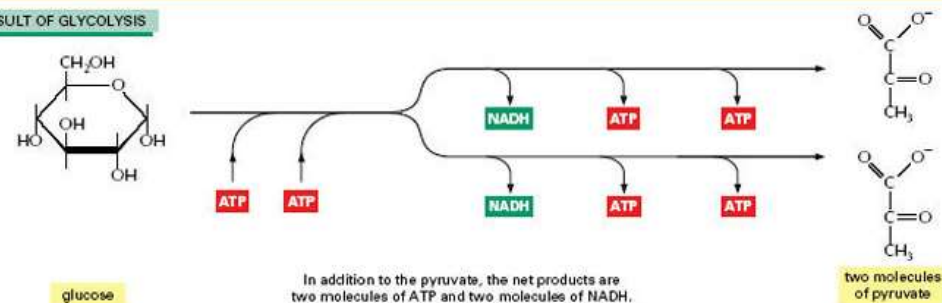
Step 9 The removal of water from 2-phosphoglycerate creates a high-energy enol phosphate linkage.



Step 10 The transfer to ADP of the high-energy phosphate group that was generated in step 9 forms ATP, completing glycolysis.



NET RESULT OF GLYCOLYSIS



<https://www.youtube.com/watch?v=plEv6VKxz0Q&list=RDbSbfuffFqAI&index=4>

La fermentazione

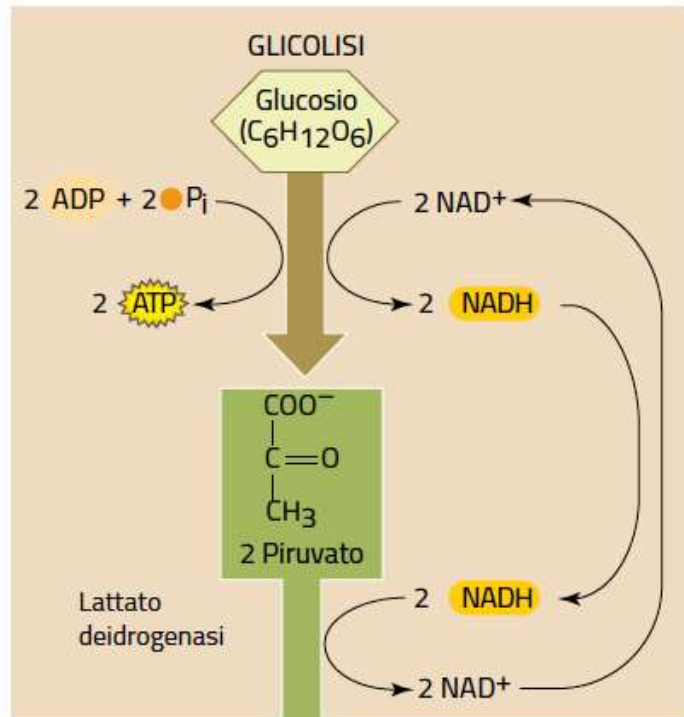
In assenza di ossigeno, la glicolisi è seguita dalla **fermentazione**.

Durante la fermentazione non si produce energia e non c'è alcun guadagno in termini di ATP, ma viene riossidato il NADH a NAD⁺.

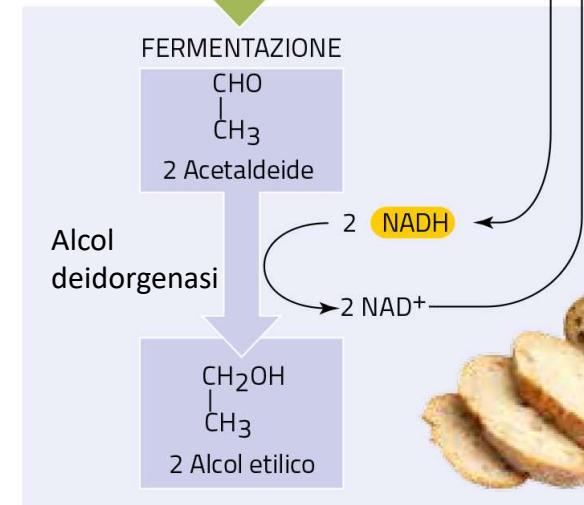
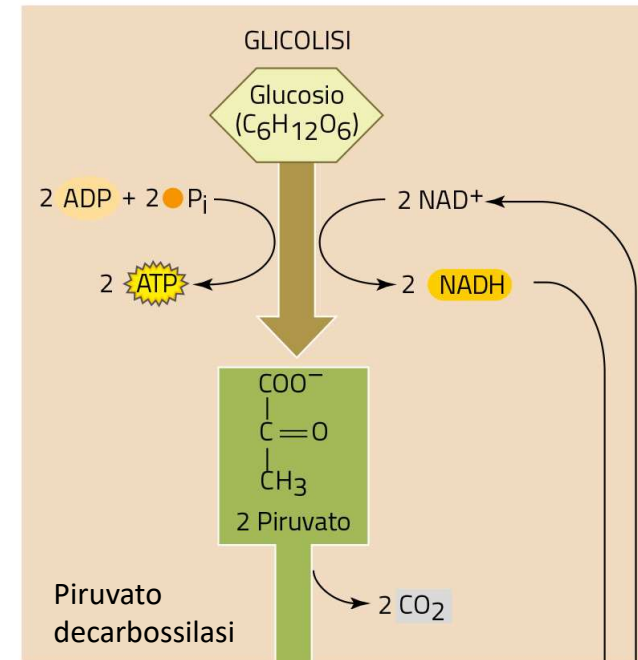
La fermentazione avviene nel citoplasma e può essere di due tipi:

- La **fermentazione alcolica** sfrutta i lieviti che fermentano e viene impiegata per la panificazione e la produzione di vino e birra. Alcuni batteri svolgono la **fermentazione acetica**, che produce l'aceto di vino.
- **fermentazione lattica**. Lo yogurt, la panna acida e i formaggi sono invece prodotti sfruttando i batteri della. Anche i muscoli in carenza di ossigeno....

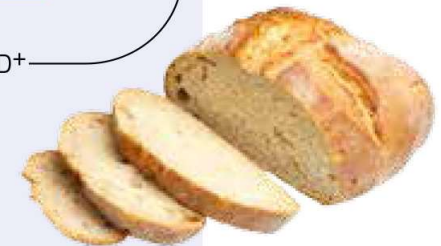
La fermentazione



Riassunto dei reagenti e dei prodotti:
 $C_6H_{12}O_6 + 2 ADP + 2 P_i \rightarrow 2 \text{ Acido lattico} + 2 ATP$



Riassunto dei reagenti e dei prodotti:
 $C_6H_{12}O_6 + 2 ADP + 2 P_i \rightarrow 2 \text{ alcol etilico} + 2 CO_2 + 2 ATP$

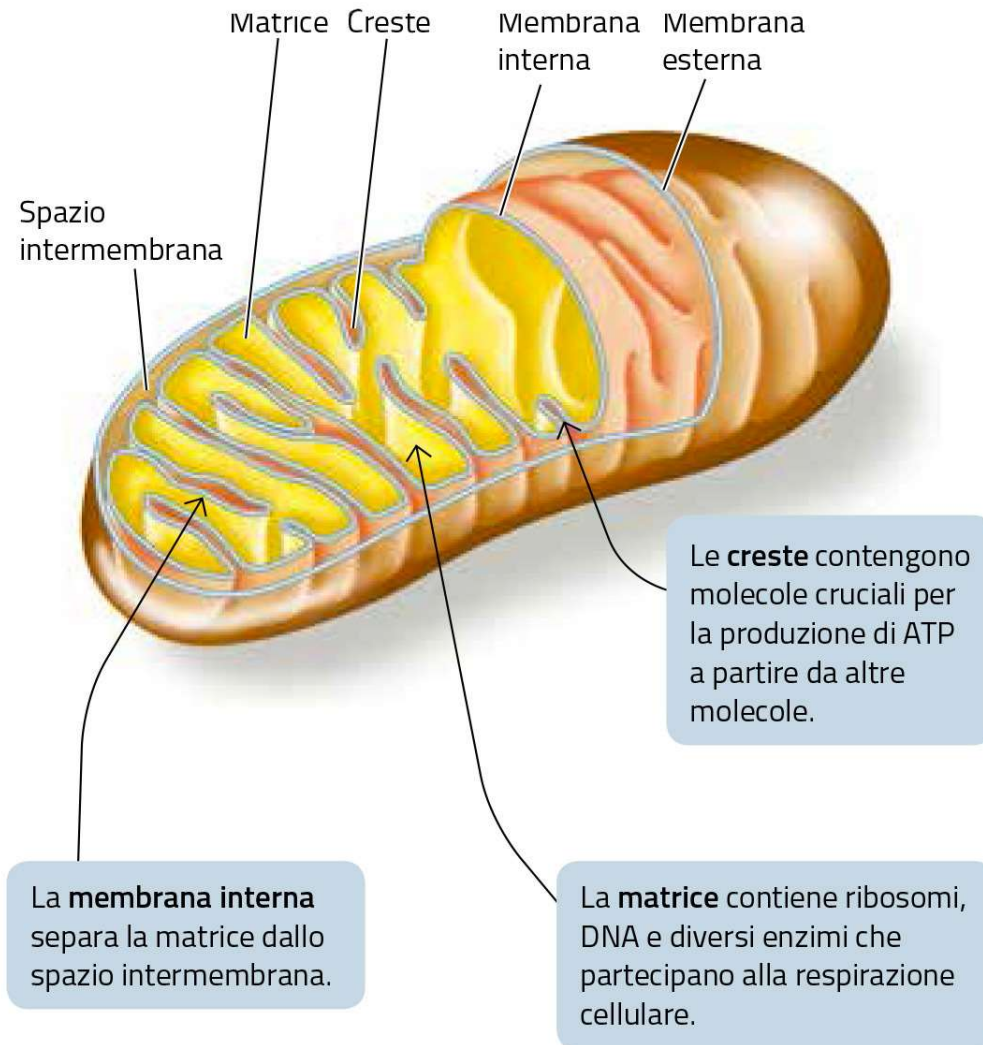


La respirazione cellulare

In ambiente aerobico, il piruvato è trasportato all'interno dei mitocondri, dove si svolge la **respirazione cellulare**.

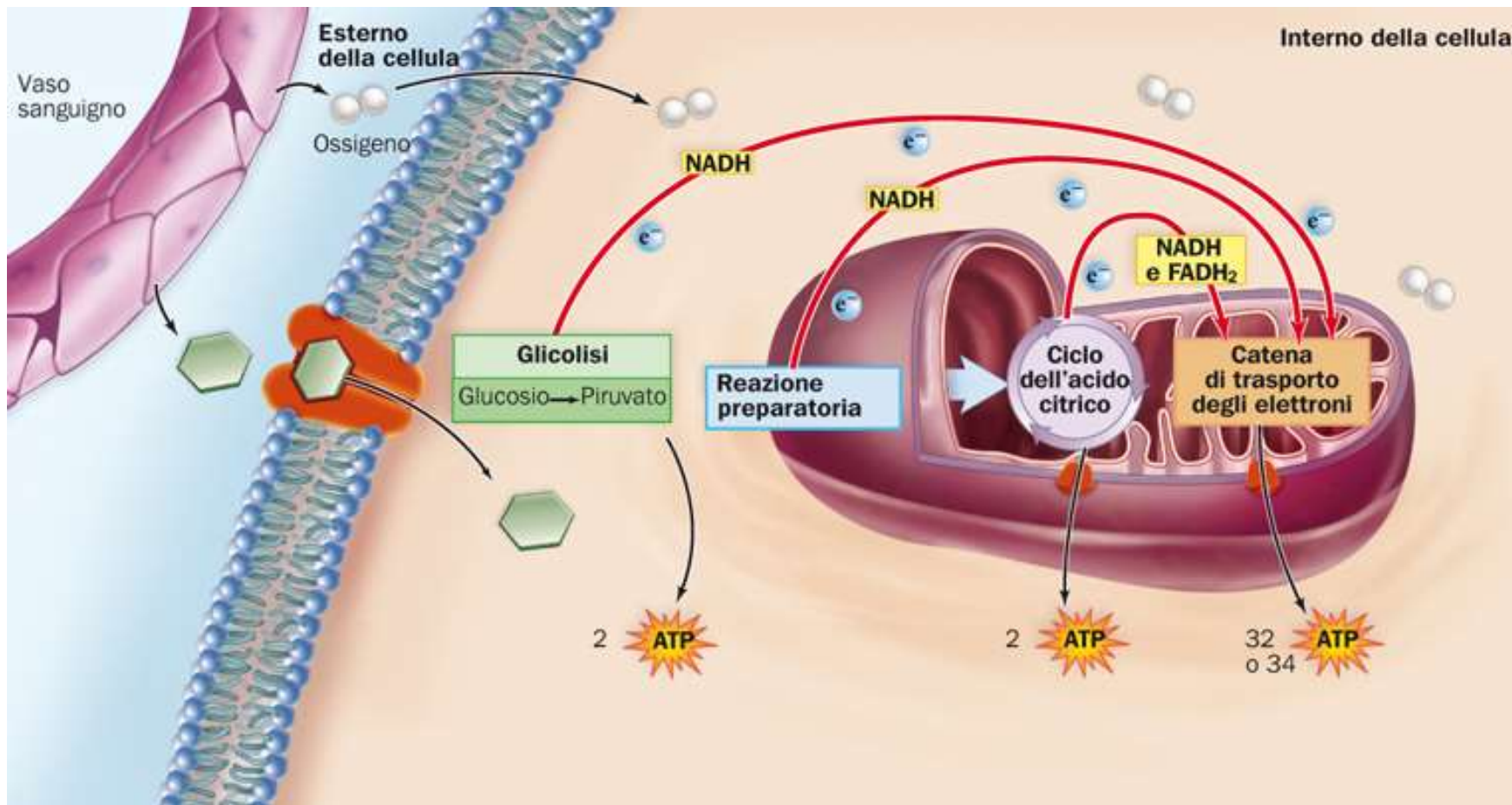
Nella matrice avvengono la produzione di **acetil-CoA** e il **ciclo di Krebs**.

La fosforilazione ossidativa si svolge sulle creste della membrana interna.



La respirazione cellulare si può suddividere in tre tappe:

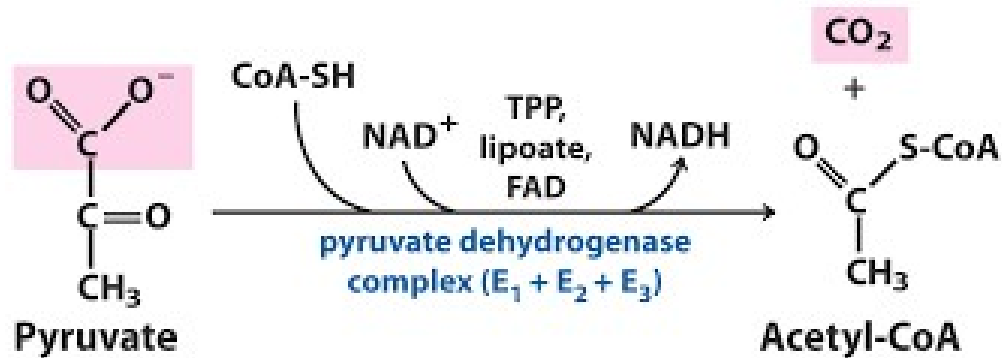
- la **reazione preparatoria (AcetylCoA)**;
- il **ciclo di Krebs** (o dell'acido citrico);
- la **catena di trasporto degli elettroni**.



La reazione preparatoria

Dopo la glicolisi il piruvato in presenza di ossigeno può continuare la sua ossidazione nel mitocondrio.

Essendo una molecola di piccole dimensioni riesce ad attraversare la membrana esterna ma ha bisogno di un trasportatore specifico per attraversare la membrana interna. Il trasportatore permette l'entrata del piruvato effettuando un *simporto con un protone*.



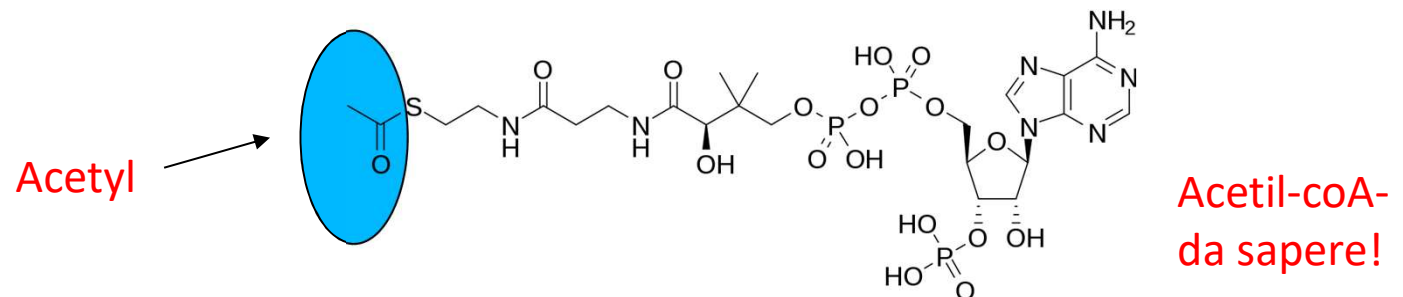
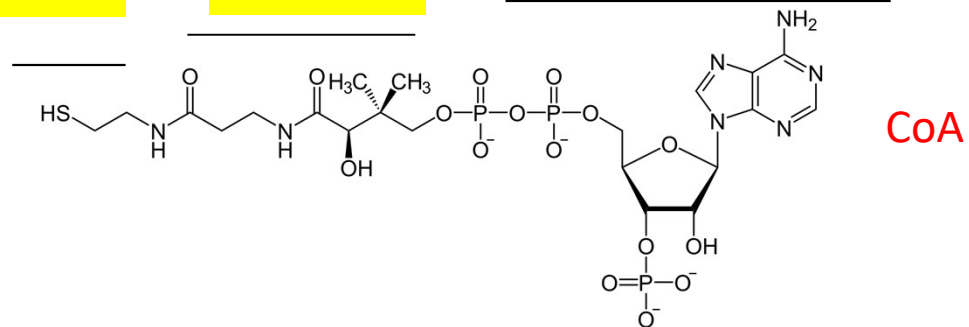
$$\Delta G'^{\circ} = -33.4 \text{ kJ/mol}$$

Una volta dentro la matrice mitocondriale, il piruvato viene convertito in acetil-CoA dal complesso della **piruvato deidrogenasi** (PDH), che consiste in tre enzimi, cinque coenzimi e due proteine regolatrici. Questo complesso multienzimatico catalizza la **decarbossilazione ossidativa** del piruvato.

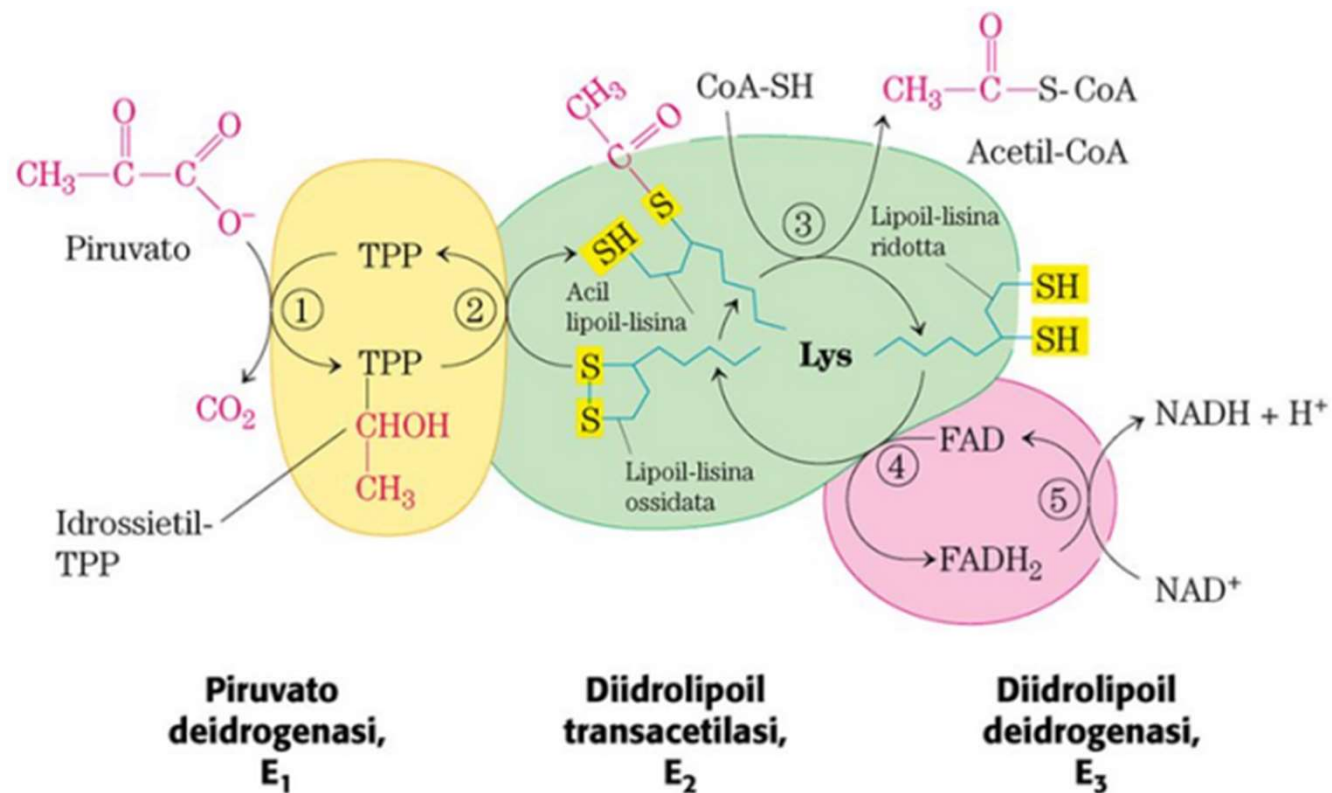
Che gruppo è questo?

Che gruppo è questo?

Che gruppo è questo?

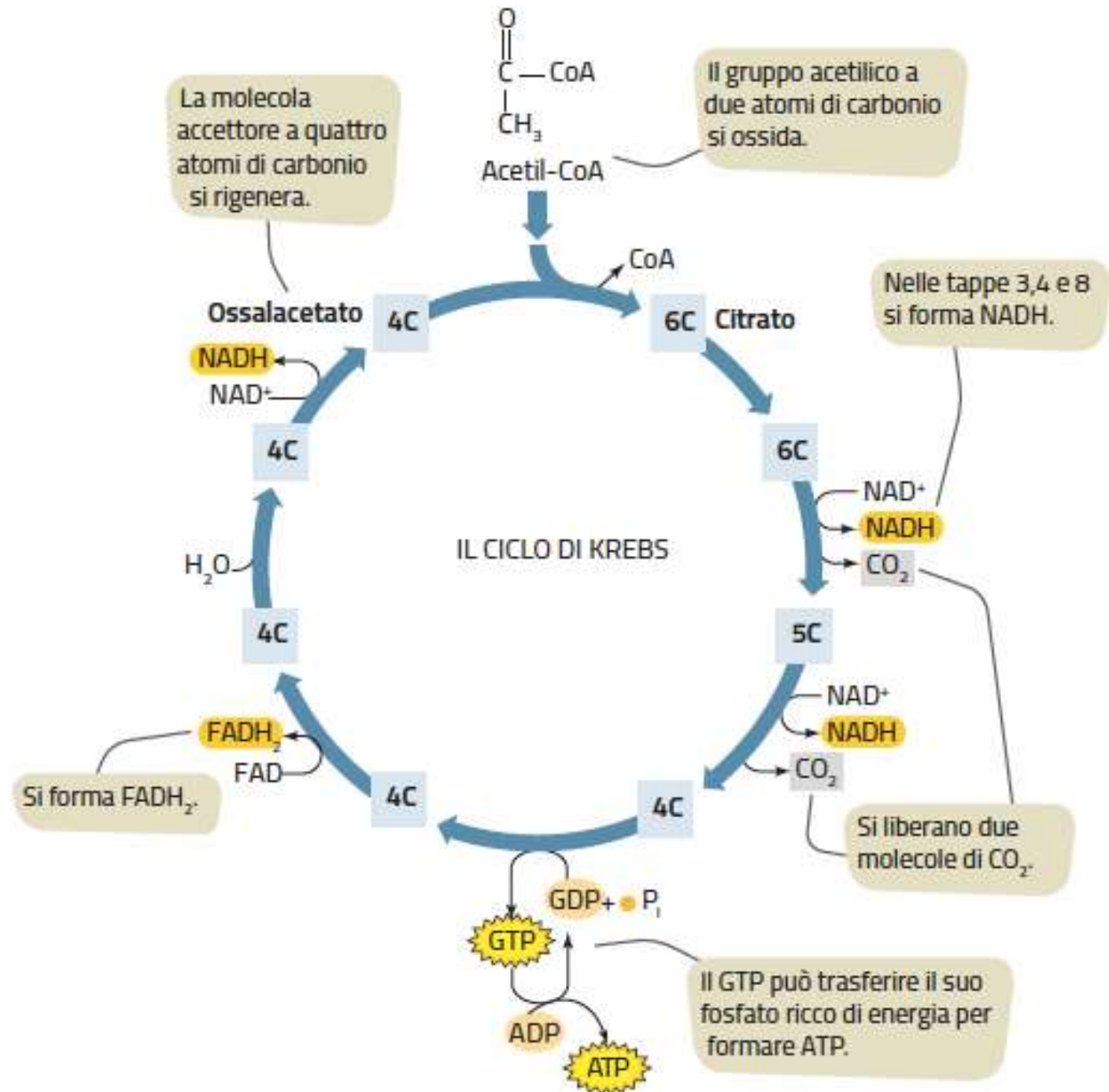


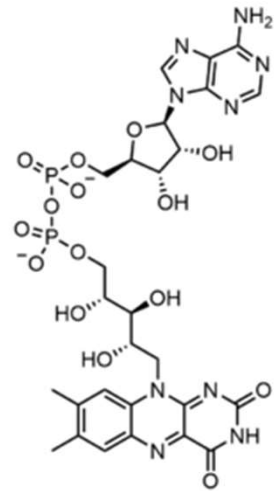
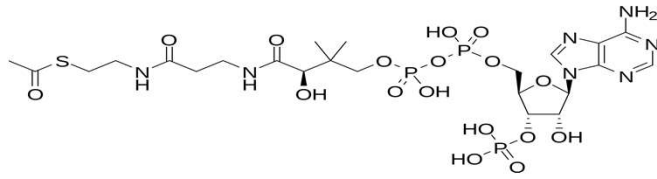
Questo non lo chiedo



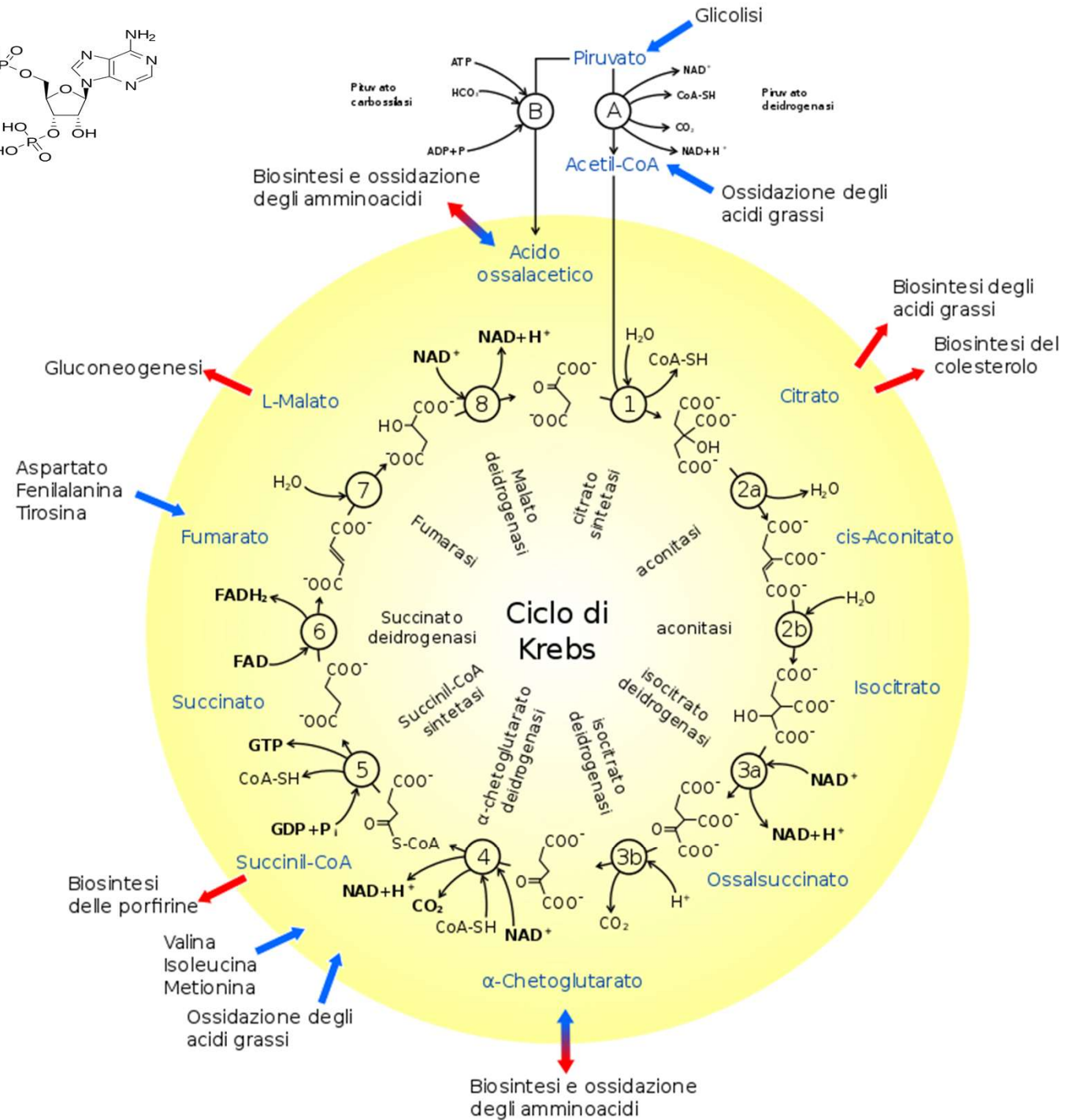
Il ciclo di Krebs

Guadagno energetico complessivo del ciclo di Krebs per ogni molecola di glucosio:
2 ATP,
6 NADH
2 FADH₂.

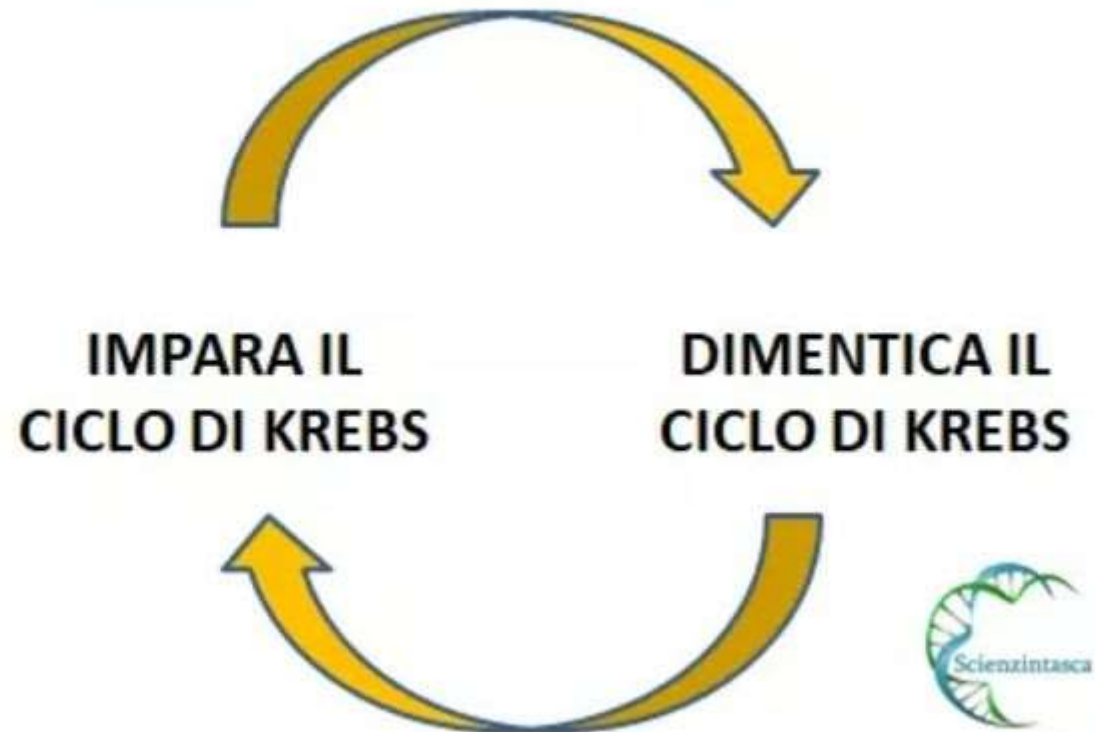




FAD e Krebs
non chiedo le
formule



IL VERO CICLO DI KREBS



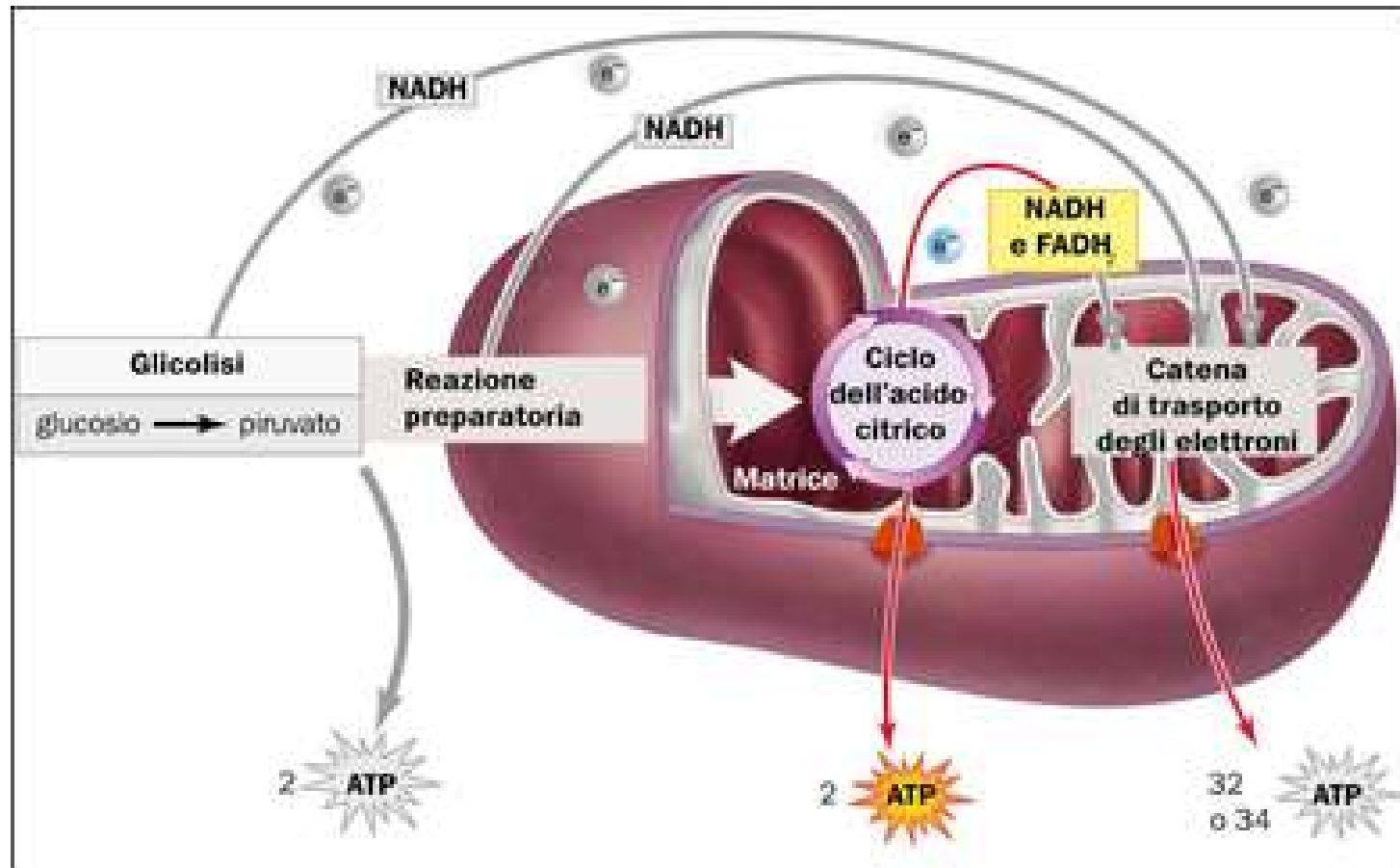
<https://www.youtube.com/watch?v=X6aJJwxrDQg&list=RDbSbfuffFqAI&index=10>

Chiedere per cambio gruppo 2
dal 4 novembre al 28 ottobre

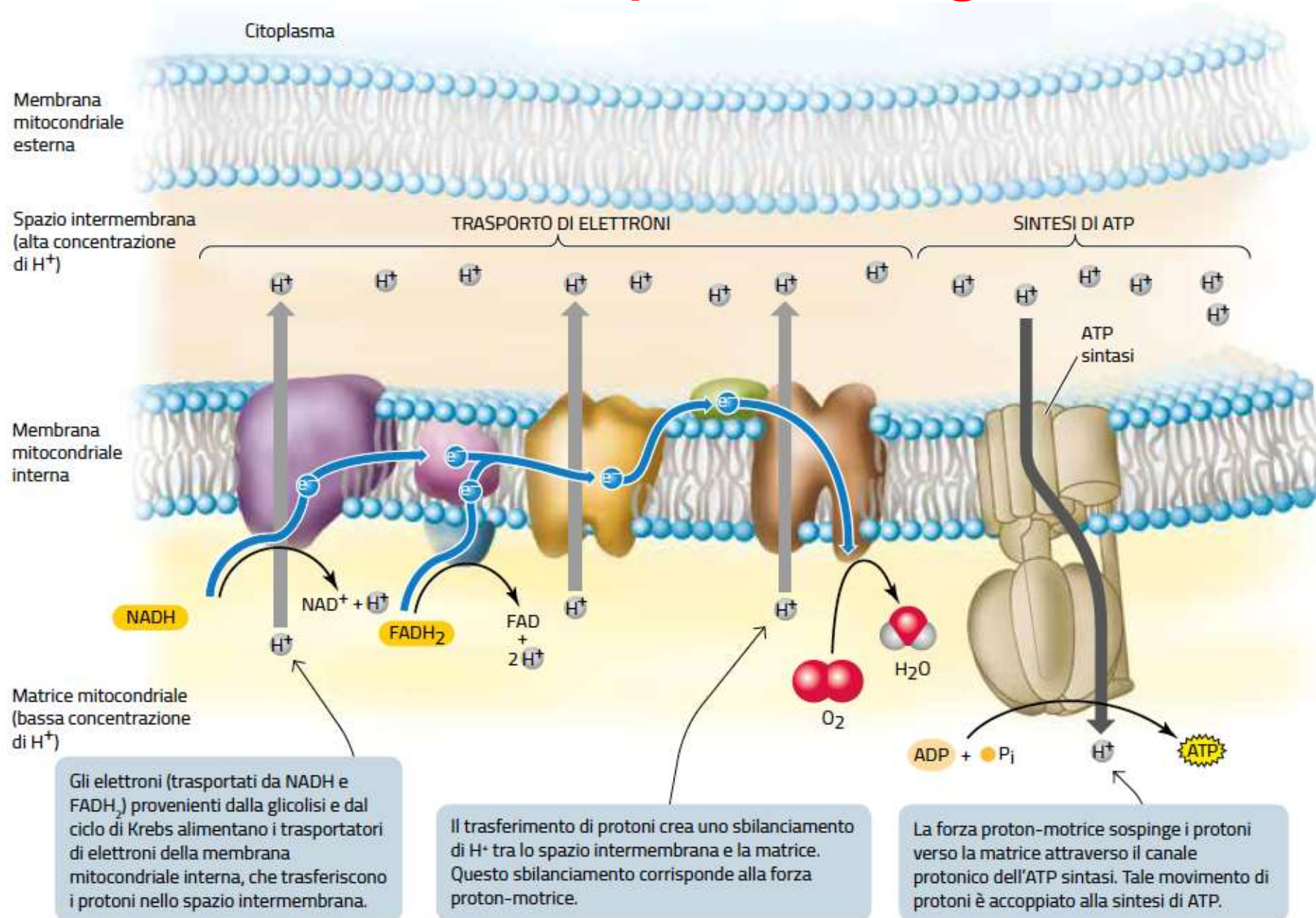
La catena di trasporto degli elettroni produce molte molecole di ATP

La **catena di trasporto degli elettroni** è localizzata nelle *creste mitocondriali*, e consente di immagazzinare energia nelle molecole di **ATP**.

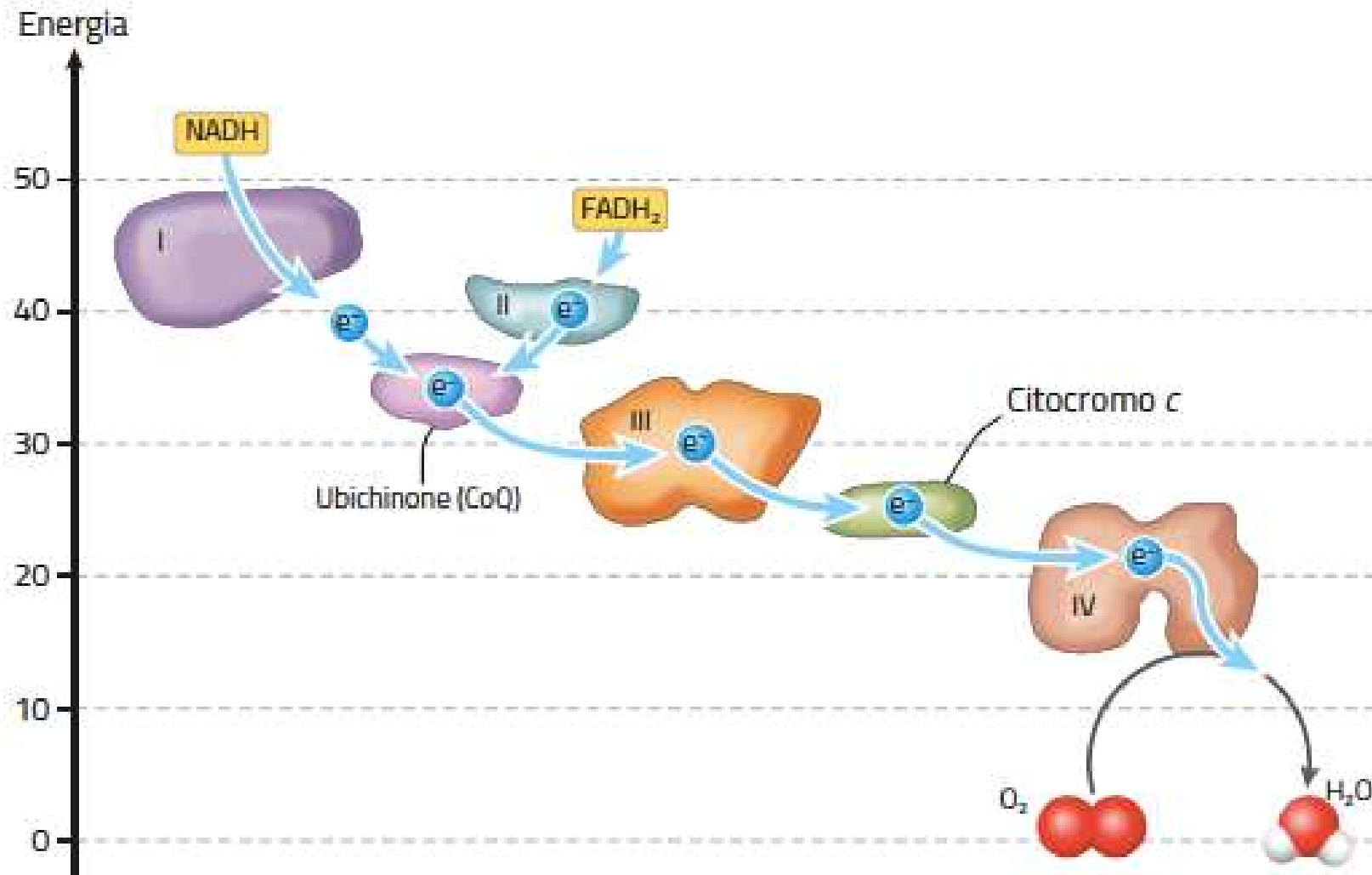
Gli elettroni che fanno il loro ingresso nella catena di trasporto sono veicolati dal **NADH** e dal **FADH₂**.



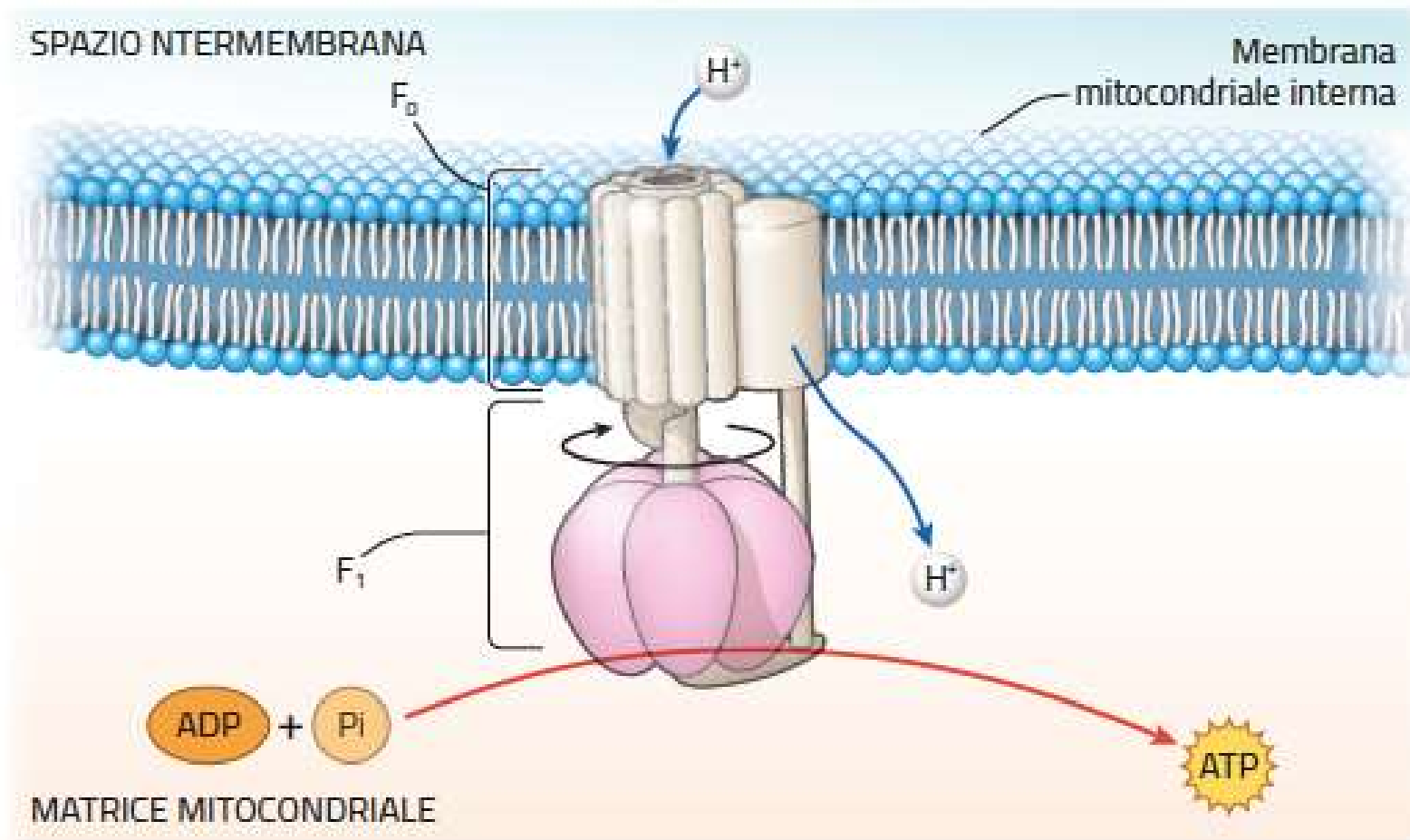
La catena di trasporto degli elettroni



La **catena respiratoria** è formata da una serie di trasportatori di elettroni che si trovano nella membrana mitocondriale interna

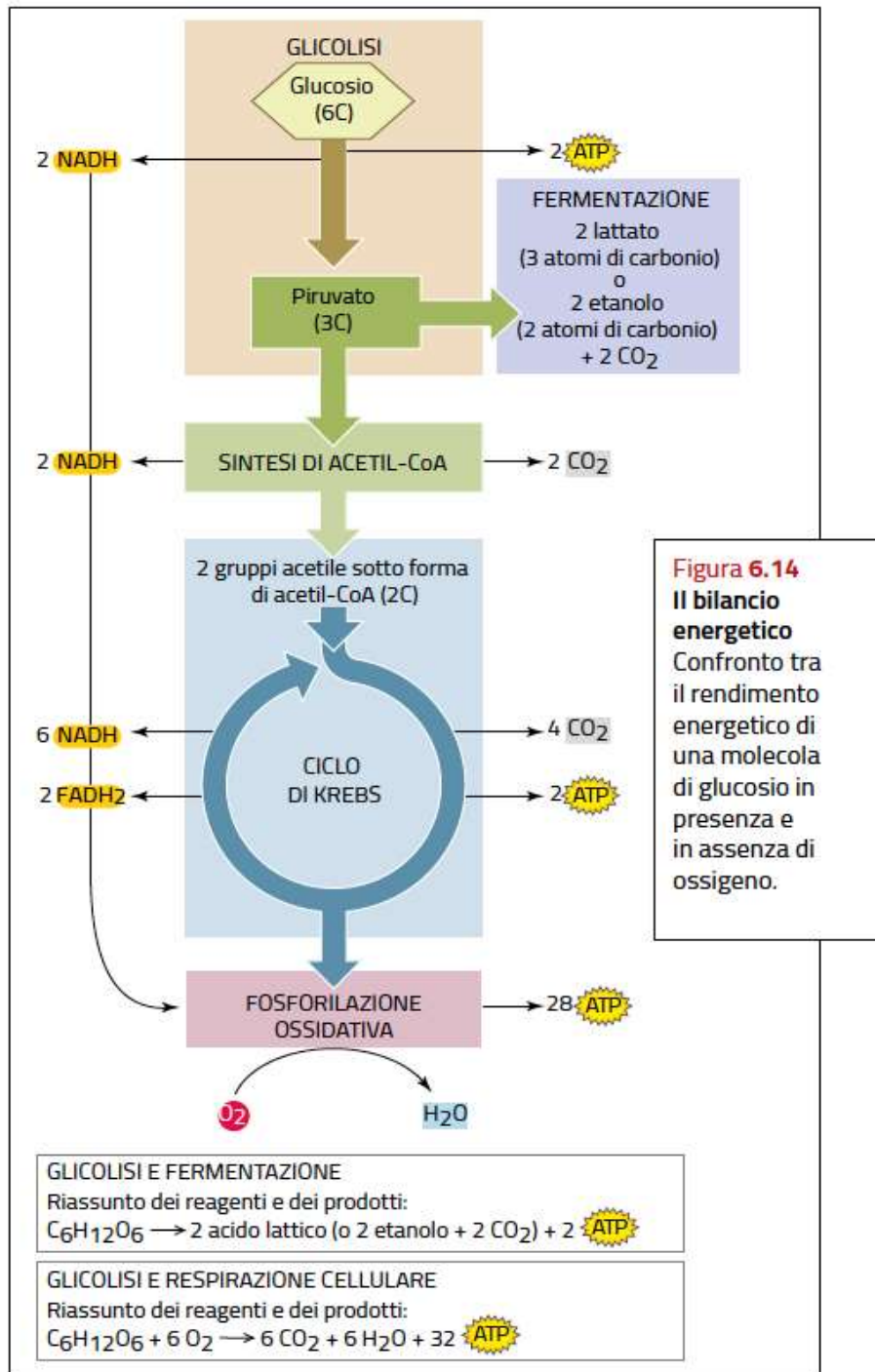


La **chemiosmosi** è l'accoppiamento tra la forza proton-motrice e la sintesi dell'ATP per mezzo del complesso **ATP sintasi**.



<https://www.youtube.com/watch?v=LQmTKxl4Wn4>

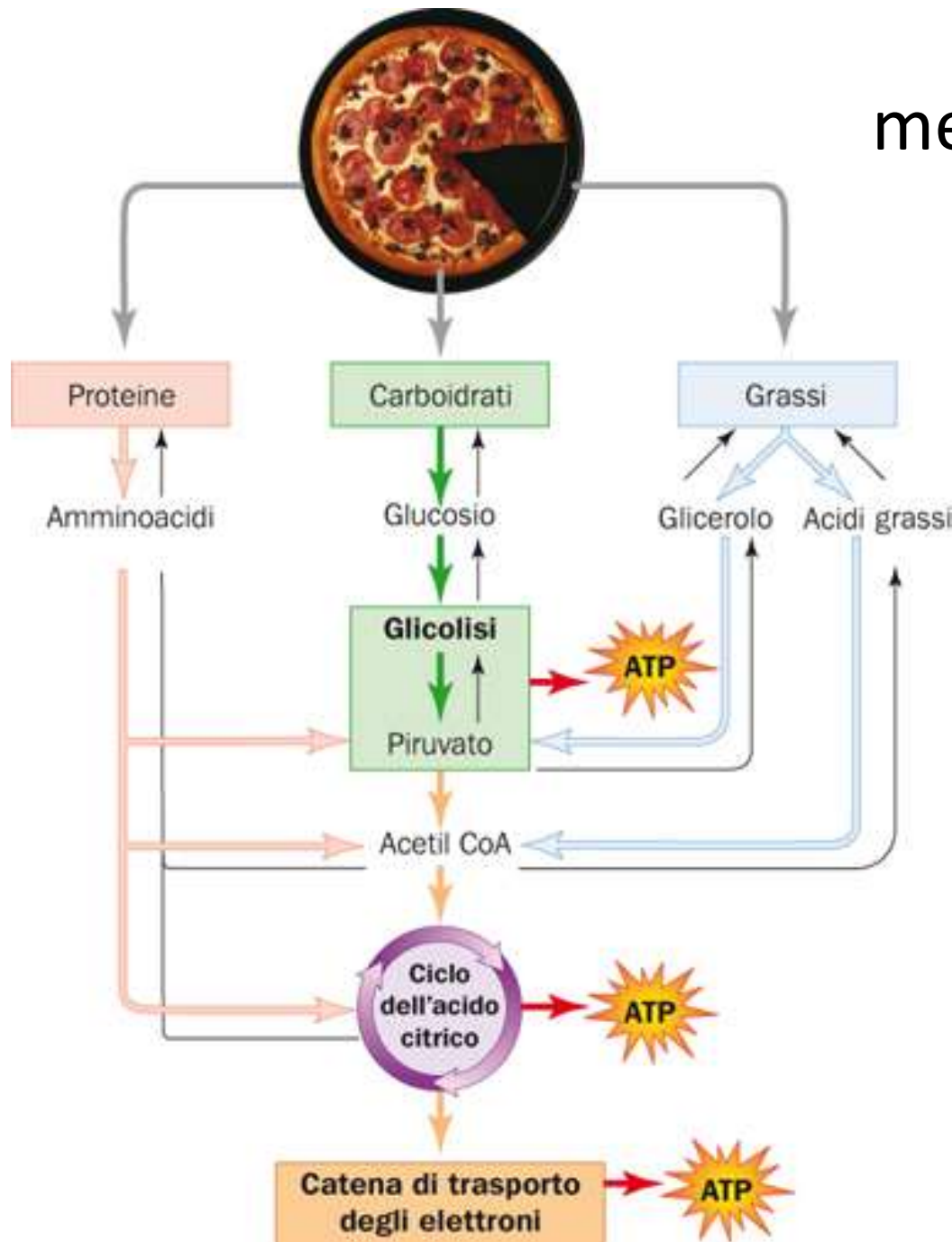
Il bilancio energetico della respirazione cellulare



In presenza di ossigeno la glicolisi è seguita dalla respirazione cellulare e il rendimento energetico della molecola di glucosio arriva a 32 molecole di ATP perché il glucosio viene ossidato completamente.

Con la fermentazione ottengo solo 2 ATP!

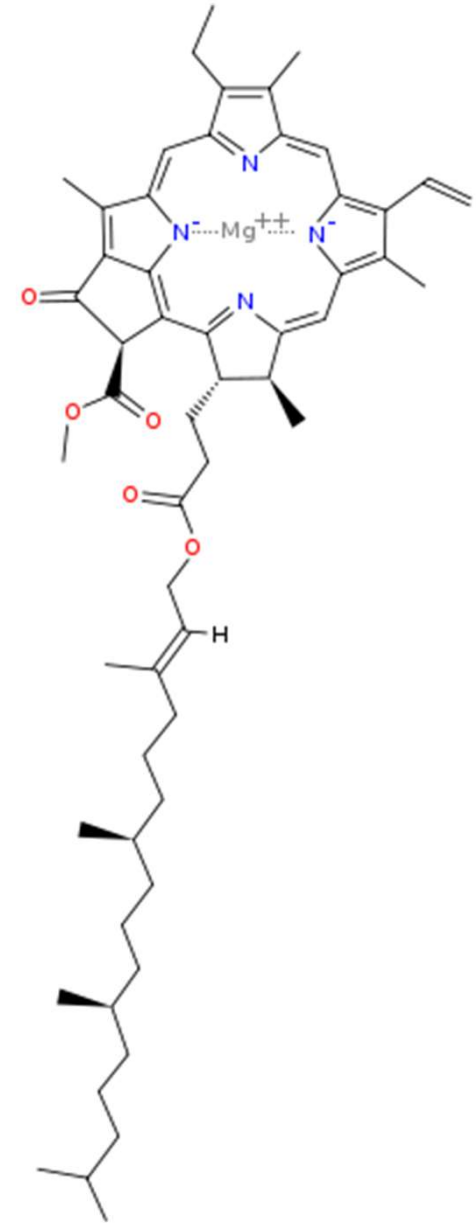
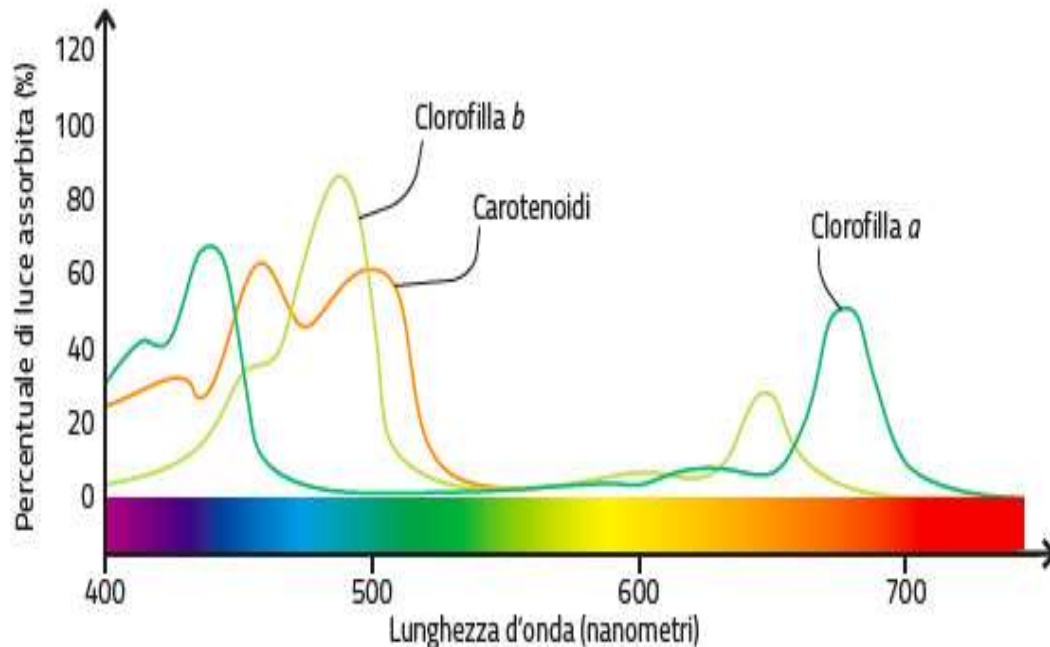
Le diverse vie metaboliche hanno punti chiave comuni



Il metabolismo implica il **catabolismo** (degradazione) e l'**anabolismo** (sintesi). I carboidrati, le proteine e i grassi possono essere metabolizzati secondo vie di degradazione, dette **reazioni cataboliche**, in diversi punti chiave del metabolismo, per sintetizzare ATP.

I pigmenti dei cloroplasti

La clorofilla assorbe le lunghezze d'onda del violetto, del rosso e del blu e riflette quelle del verde. E' una [clorina](#) prodotta attraverso lo stesso processo metabolico delle [porfirine](#) come l'[eme](#), alle quali è strutturalmente simile. La molecola ha una struttura ad anello, al centro del quale c'è un atomo di magnesio che ha la funzione di mantenere la struttura rigida per evitare che l'energia solare si disperda sotto forma di calore prima che possa essere utilizzata per il processo fotosintetico. Dall'anello poi parte una lunga catena idrofoba o idrorepellente che serve per ancorare la molecola di clorofilla alle membrane tilacoidi.



Nelle piante la fotosintesi avviene nei cloroplasti

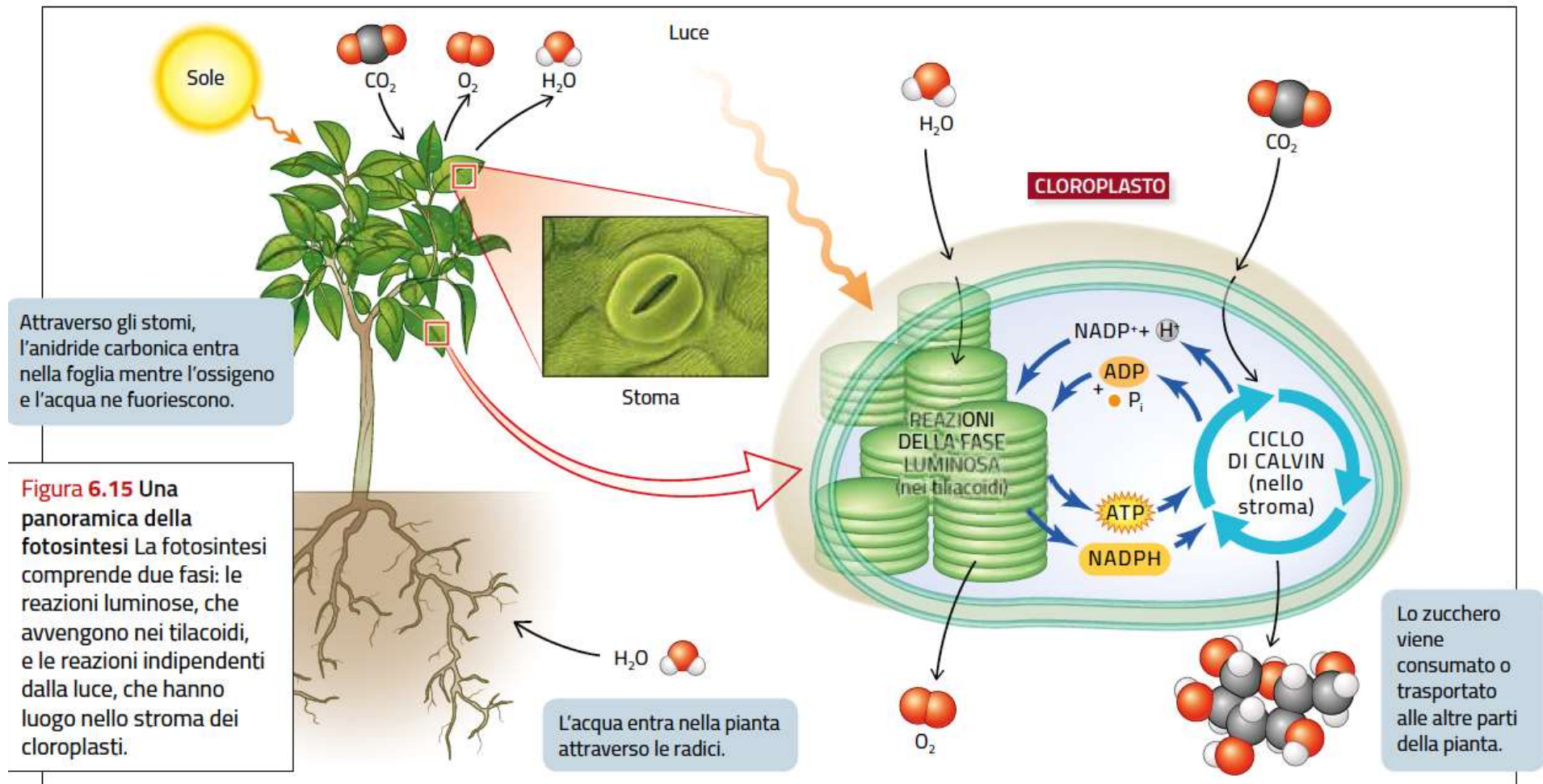
Il diossido di carbonio è assorbito nelle foglie dall'aria, attraverso delle piccole aperture dell'epidermide chiamate **stomi**.

Una volta nella foglia, il diossido di carbonio e l'acqua diffondono nei **cloroplasti**, gli organuli in cui ha luogo la fotosintesi.

La **membrana tilacoidale** contiene la clorofilla e altri pigmenti che assorbono la luce solare utile alla fotosintesi.

La via metabolica in cui il diossido di carbonio viene dapprima legato a un composto organico, quindi convertito in un carboidrato, si svolge nello **stroma** del cloroplasto.

La fotosintesi: energia dal Sole



Le reazioni della fotosintesi si svolgono in due fasi:

- le **reazioni dipendenti dalla luce** (sui tilacoidi);
- le reazioni del **ciclo di Calvin** (nello stroma).

La fotosintesi è una reazione redox che libera ossigeno gassoso

La fotosintesi è una **reazione redox** (ossia, l'ossidazione e la riduzione avvengono in modo associato) in cui il diossido di carbonio viene ridotto e l'acqua ossidata, con liberazione di ossigeno e formazione di glucosio.

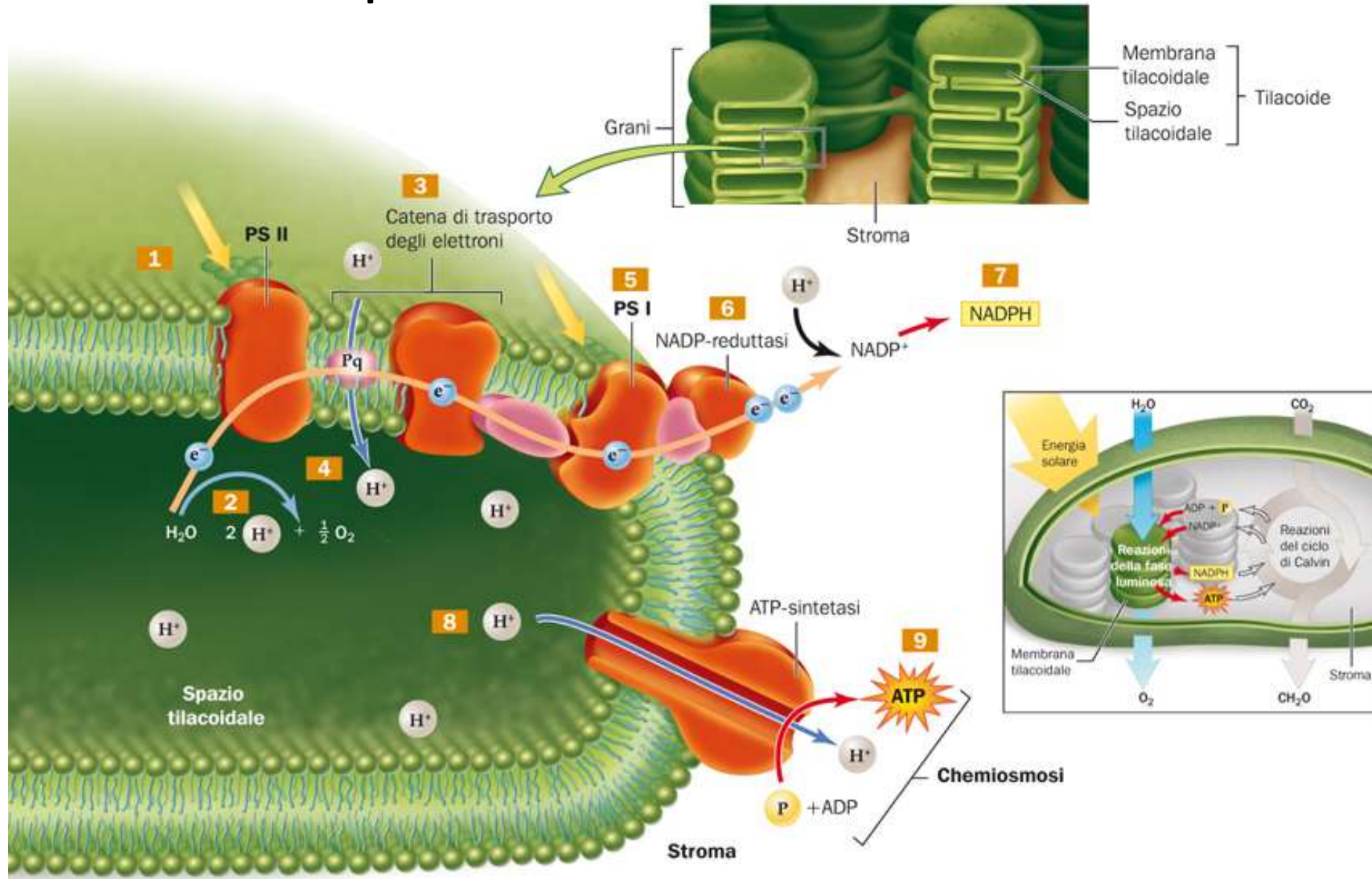


Durante la fotosintesi è attivo un **coenzima di ossidoriduzione** chiamato NADP^+ , che accetta gli elettroni riducendosi secondo la seguente reazione:



L'ossigeno liberato dalla fotosintesi proviene dall'acqua. L'uso di *isotopi* ha permesso di dimostrare sperimentalmente che l'**ossigeno** liberato dalla fotosintesi deriva dall'acqua e non dal diossido di carbonio.

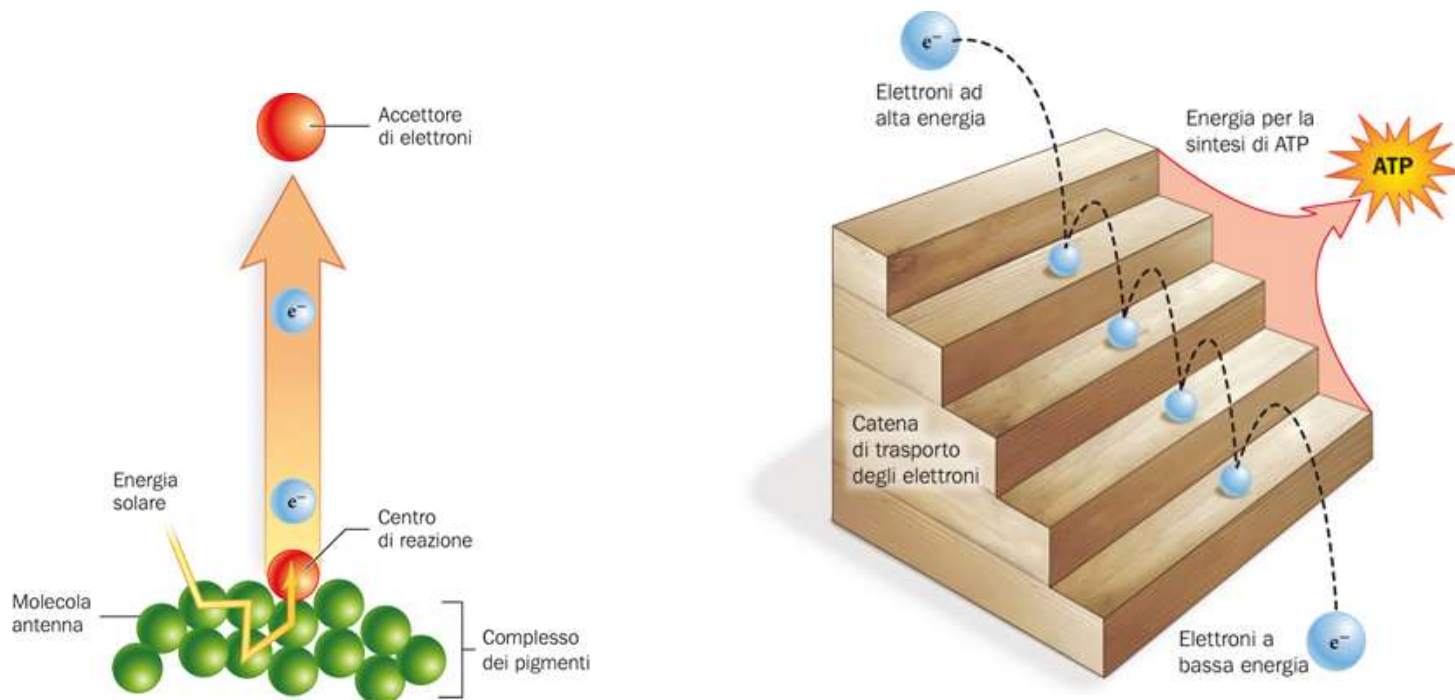
La membrana tilacoidale è organizzata per produrre ATP e NADPH

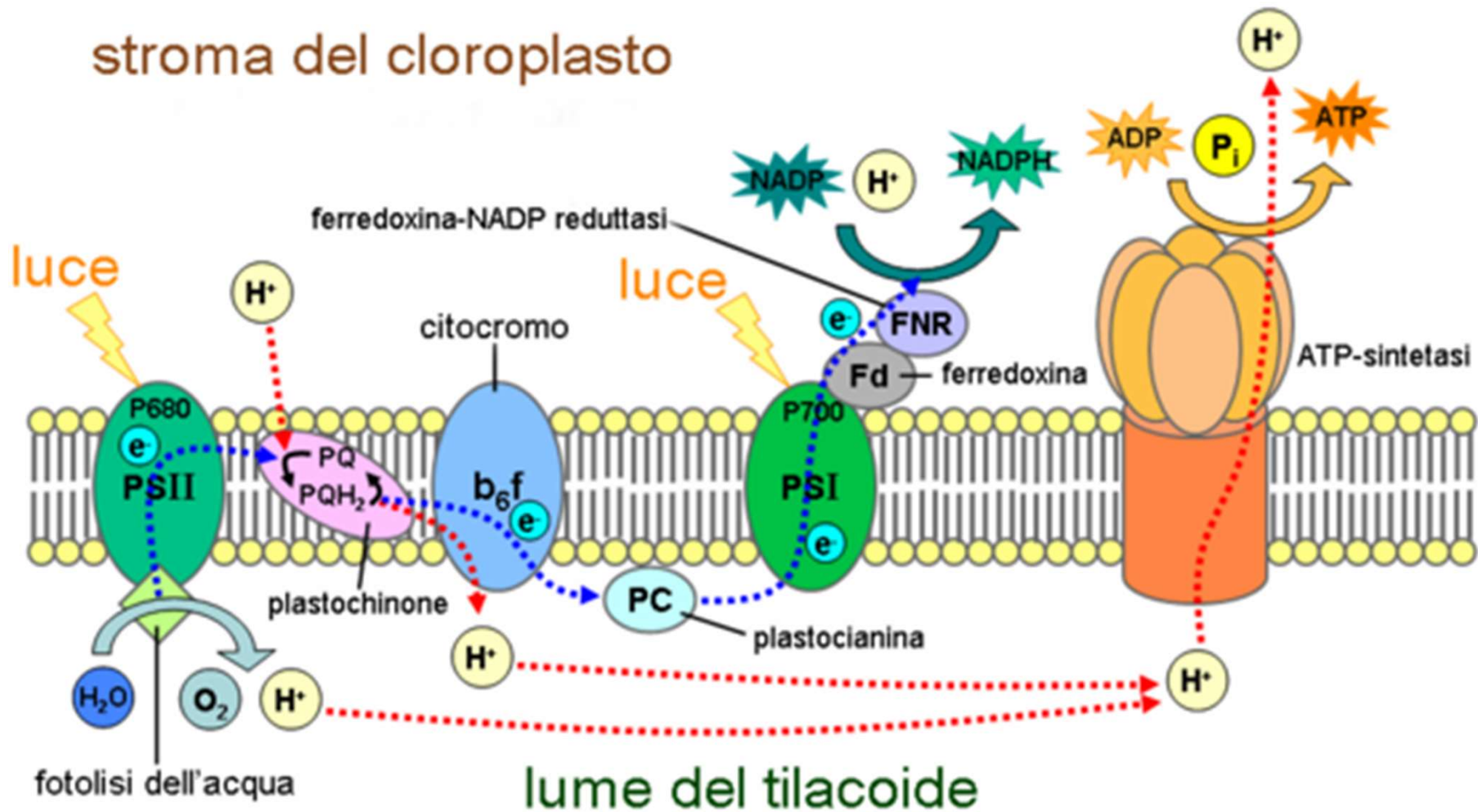


L'energia degli elettroni eccitati dalla luce serve per produrre ATP

Nella membrana tilacoidale, la clorofilla e altri pigmenti fotoassorbenti formano **complessi inseriti in fotosistemi**.

Il ruolo della luce nella fotosintesi è quello di eccitare gli elettroni (e^-) nei fotosistemi. I cloroplasti usano questi e^- eccitati per generare ATP, grazie a una **catena di trasporto degli elettroni** che rilascia energia in corrispondenza di ogni passaggio.





Durante la fase luminosa gli e^- si spostano dall'acqua al $NADP^+$ seguendo un percorso non ciclico, che ha inizio nel **fotosistema II (PS II)** e si conclude nel **fotosistema I (PS I)** attraverso una **catena di trasporto degli elettroni**. Nel PS I gli e^- sono trasferiti alle molecole di $NADP^+$ che si riducono a NADPH.

La membrana tilacoidale è organizzata per produrre ATP e NADPH

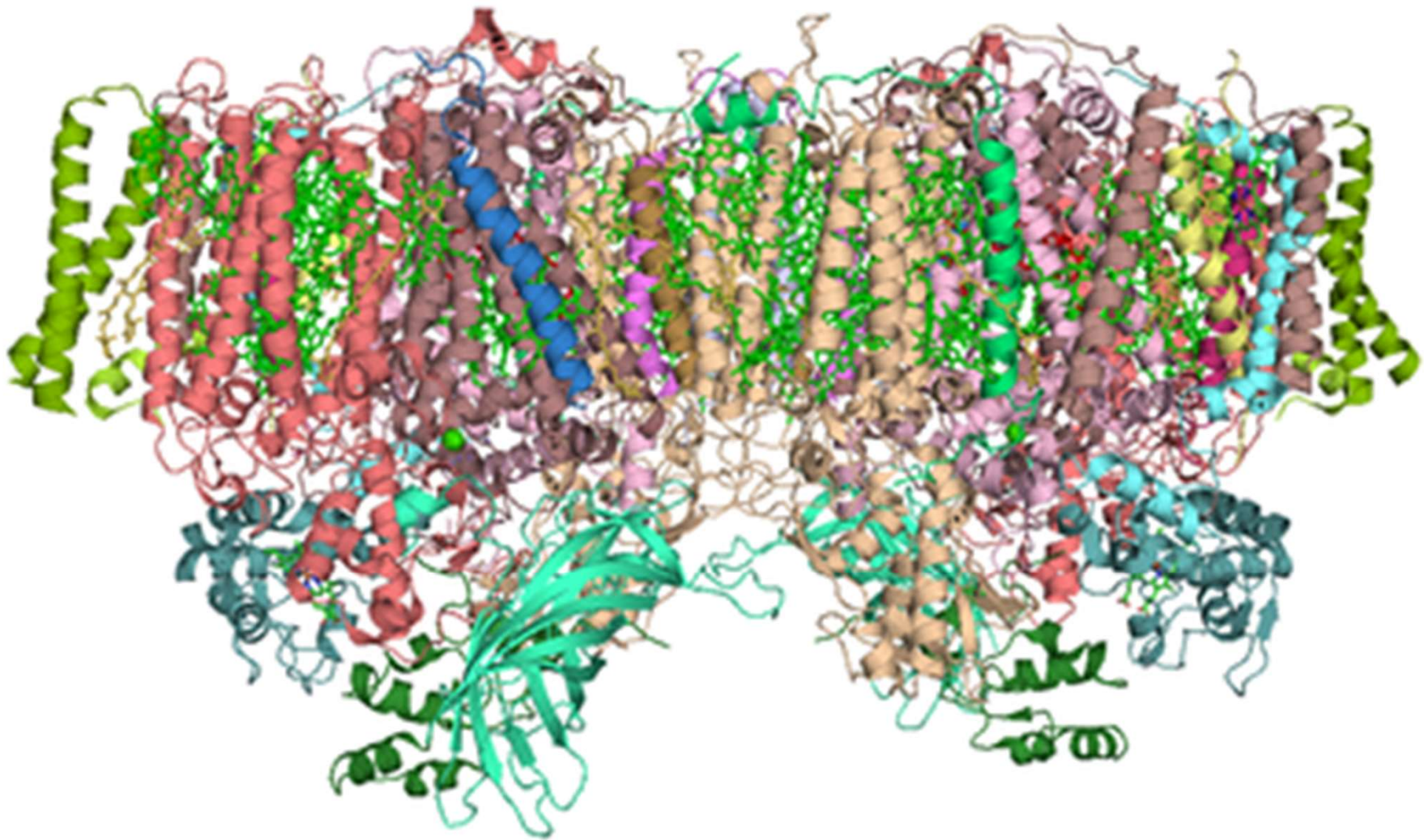
La produzione delle molecole energetiche ATP e NADPH si può suddividere in due serie di passaggi: la **preparazione** e l'**esito**.

Come risultato finale, la NADP-reduttasi riduce NADP^+ , che si combina con H^+ diventando **NADPH**.

Gli ioni H^+ scorrono secondo gradiente attraverso il complesso dell'ATP-sintetasi, che contiene un enzima il quale lega l'ADP al gruppo fosfato producendo **ATP**.

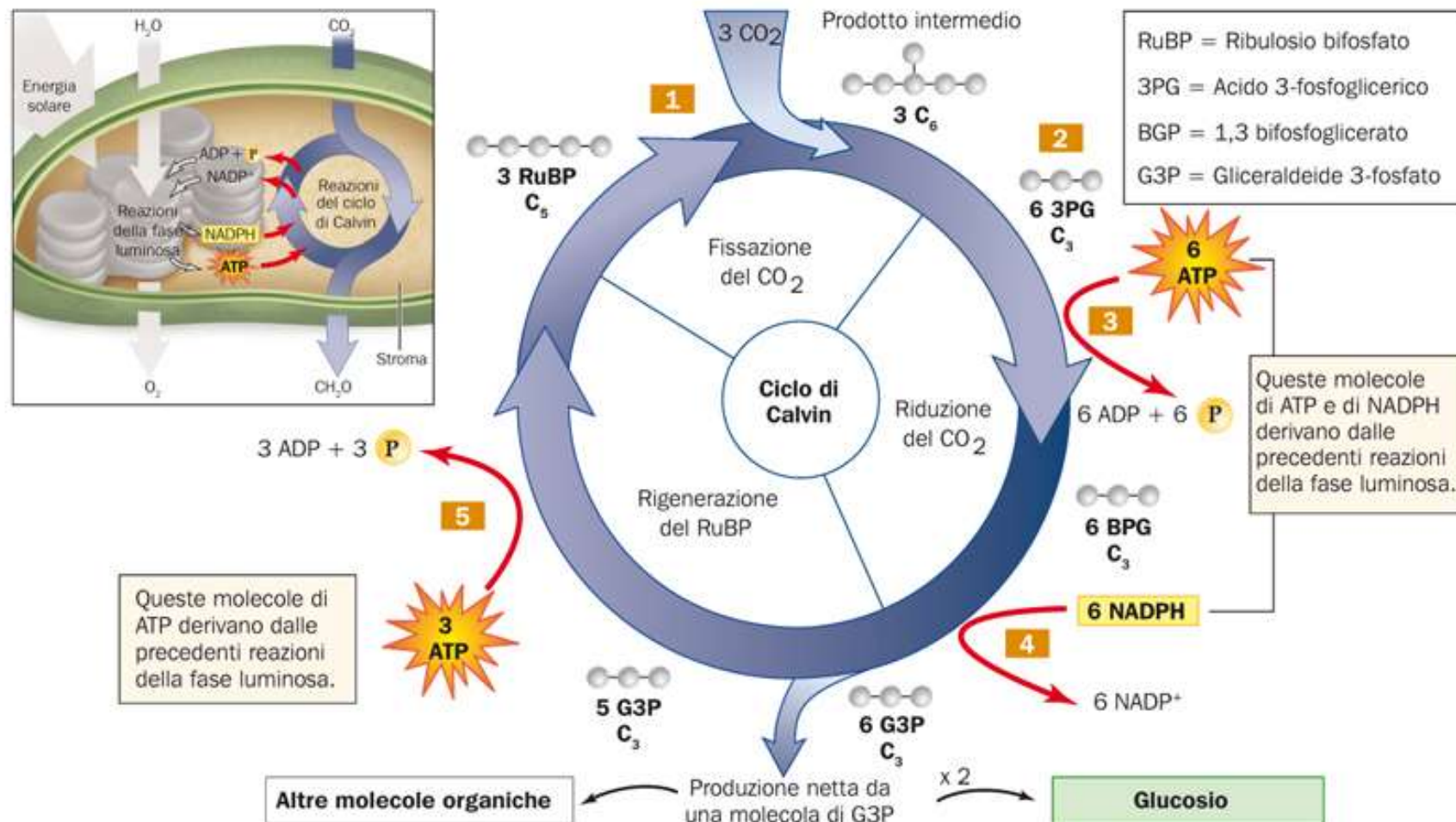
Il metodo sfruttato per la produzione di ATP si chiama **chemiosmosi**, poiché la sintesi è innescata dal gradiente di H^+ che si stabilisce tra i due lati di una membrana.

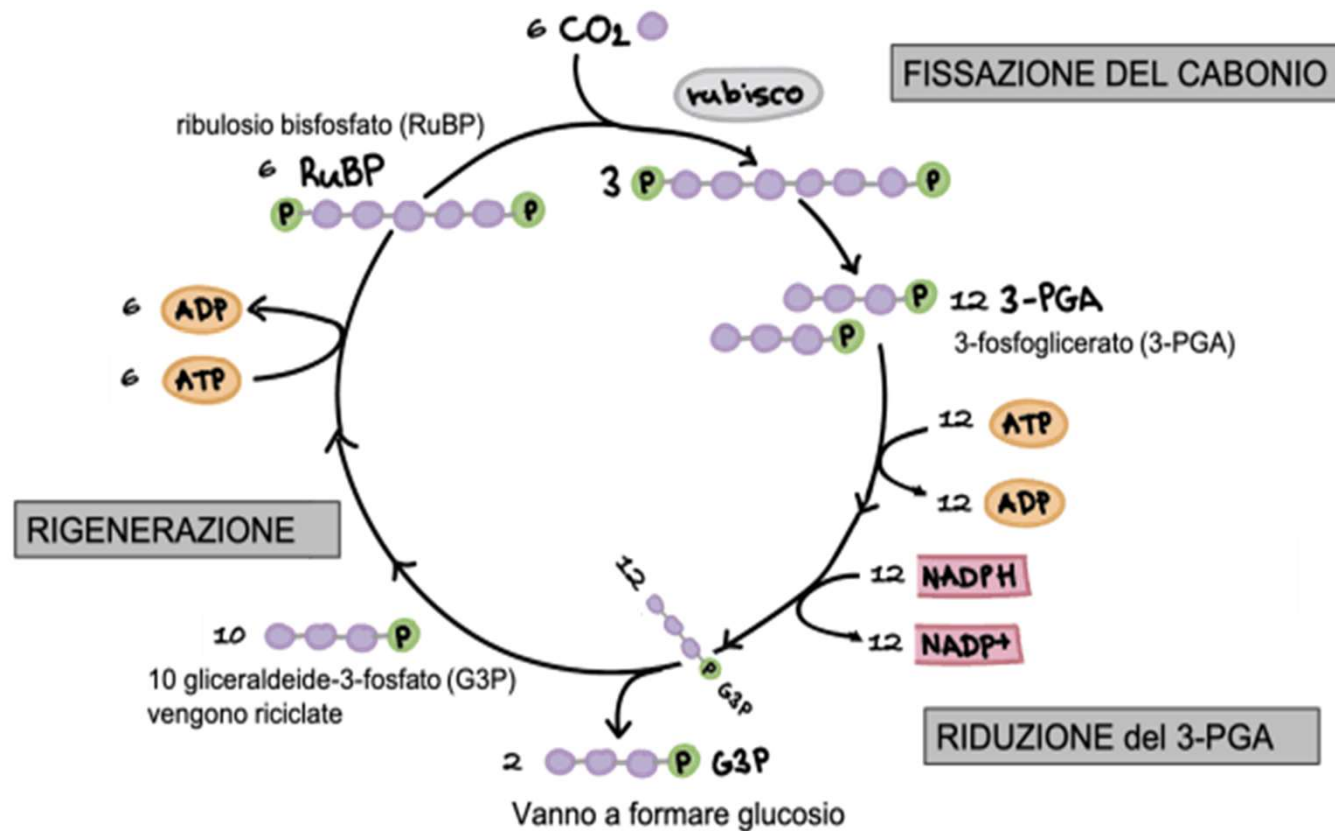
La complessità del fotosistema 2:
un complesso di proteine
associate



Il ciclo di Calvin produce carboidrati

Durante le reazioni indipendenti dalla luce, il **ciclo di Calvin nello stroma** consuma l'ATP e il NADPH (rilasciati nello stroma dalla fase luminosa) per produrre carboidrati. Nel corso di questo processo ha luogo la fissazione e la riduzione del **CO₂**.





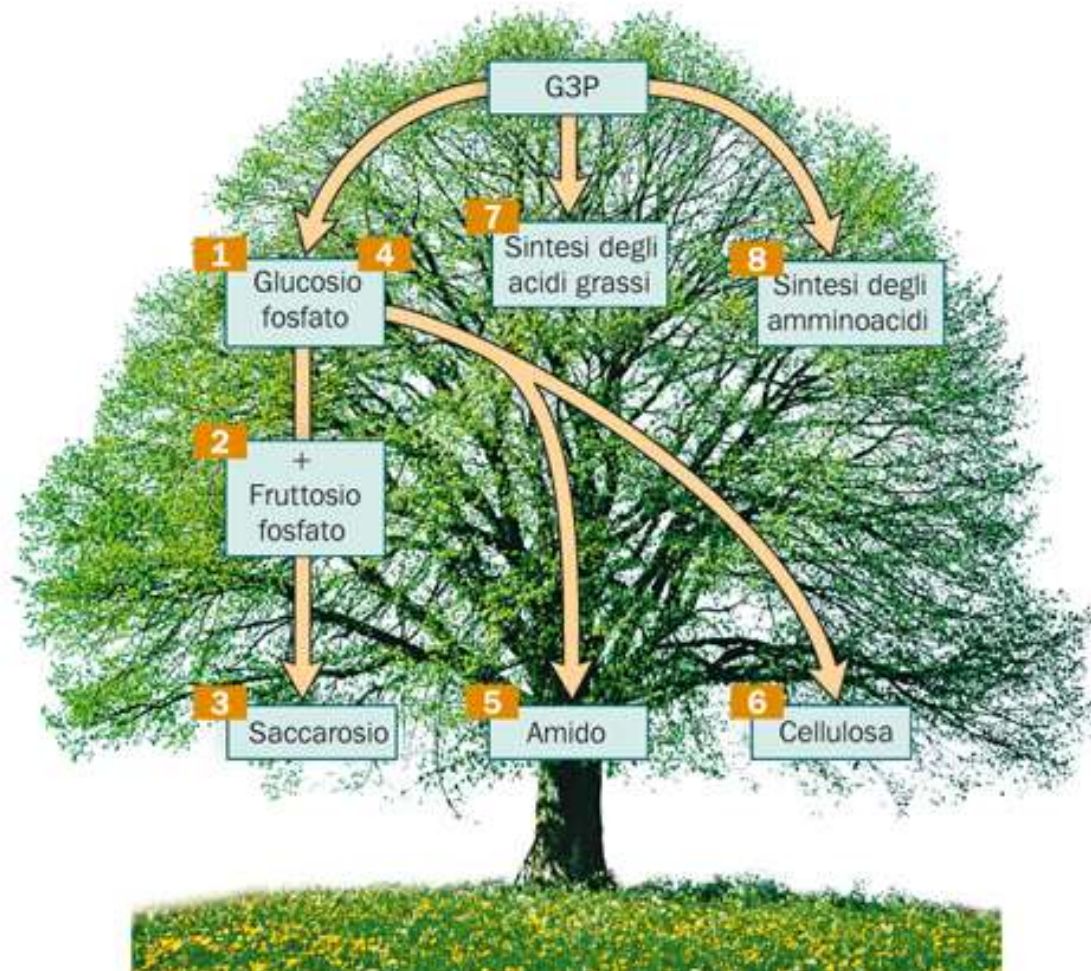
Il ciclo di Calvin prevede tre fasi:

- 1. la fissazione del CO_2** - il CO_2 atmosferico si combina con il RuBP (ribulosio bifosfato), producendo una molecola C_6 che si scinde immediatamente in due molecole C_3 (3PG);
- 2. la riduzione del CO_2** - ciascuna molecola di 3PG viene ridotta in G3P (gliceraldeide-3-fosfato);
- 3. la rigenerazione del RuBP** - le molecole di G3P sono usate per riformare le molecole di RuBP, in modo che il ciclo non si arresti.

Le 2 molecole di gliceraldeide-3-fosfato prodotte dal ciclo di Calvin si uniscono per formare il fruttosio bisfosfato dal quale poi si origina, nella maggior parte dei casi, il glucosio fosfato. Il G3P entra anche in altri processi metabolici.

Il Glucosio appena sintetizzato, può essere:

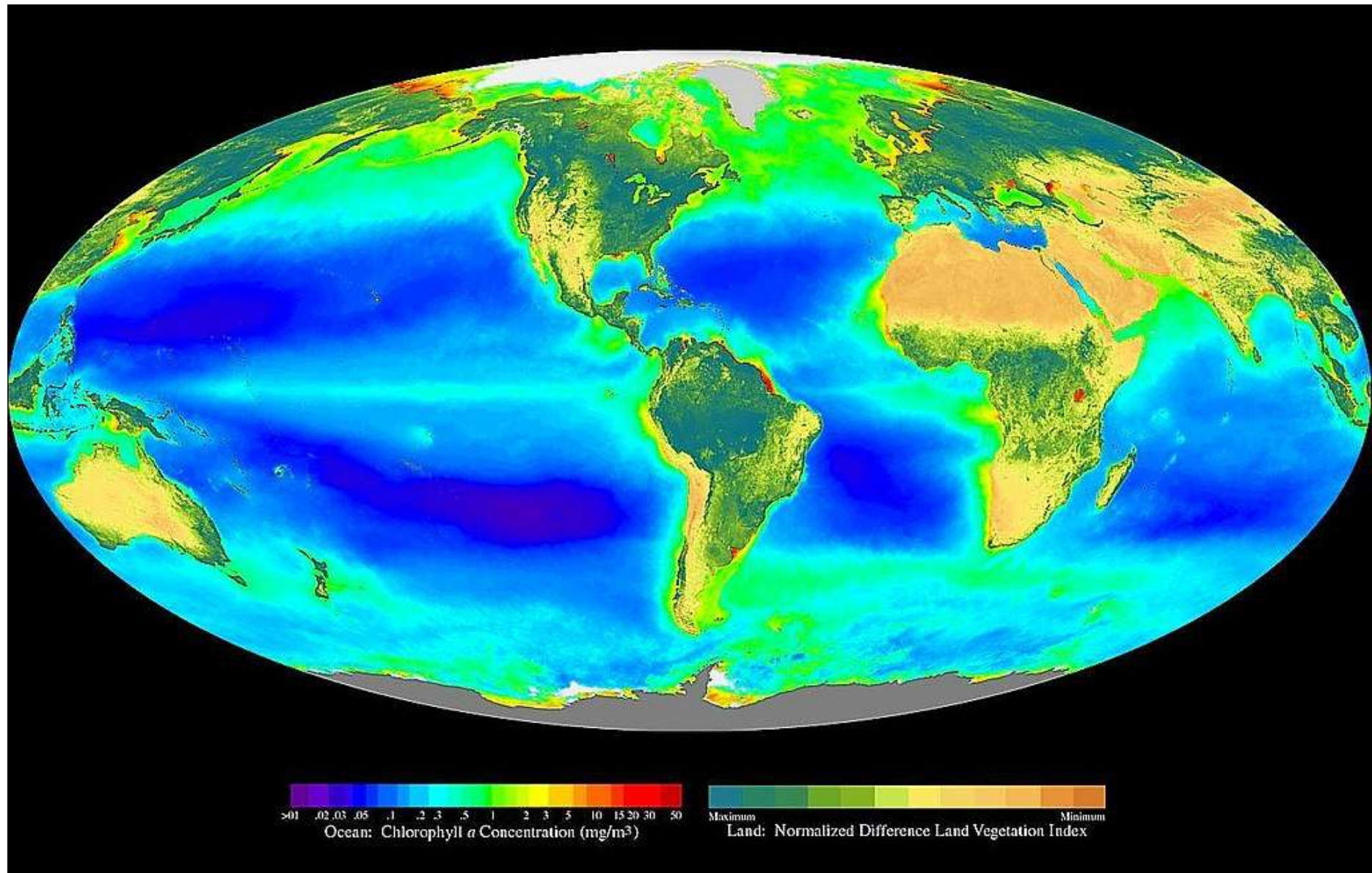
- unito al fruttosio fosfato per formare saccarosio che, attraverso il sistema conduttore, viene trasportato alle varie parti della pianta;
- polimerizzato per formare amido primario all'interno dello stesso cloroplasto;
- sintesi di altre molecole quali, ad esempio, la cellulosa



Ripasso musicale:

<https://www.youtube.com/watch?v=IcLVcz8ldg4>

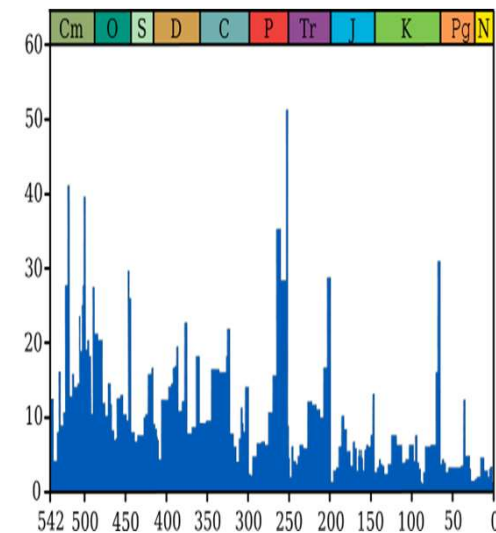
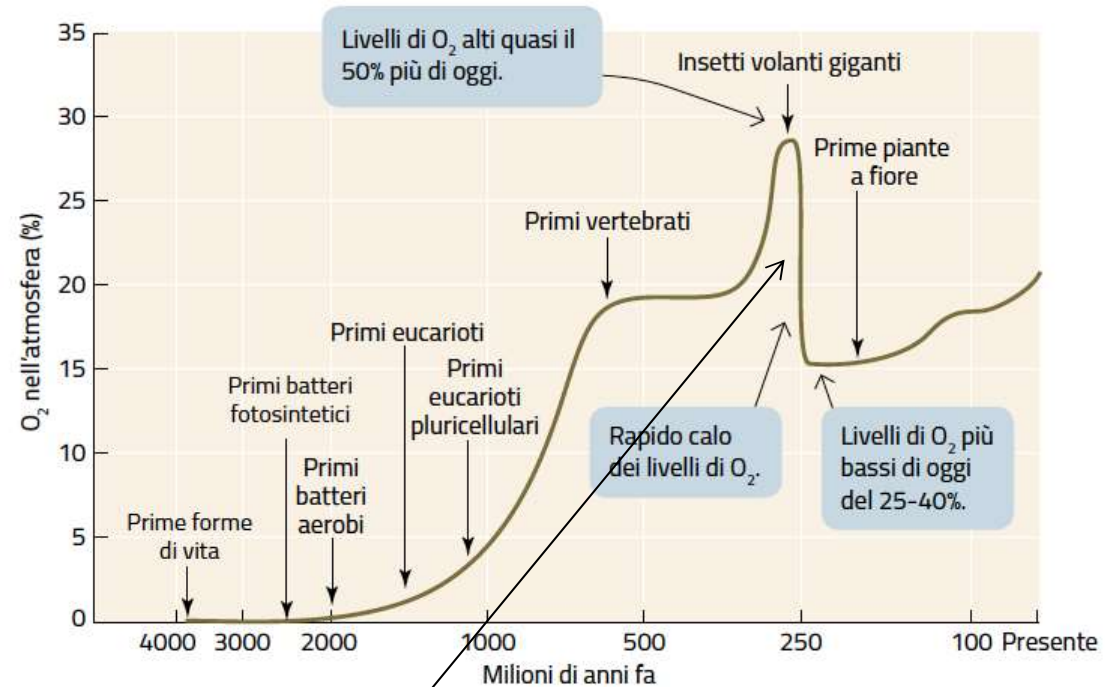
La fotosintesi sul pianeta



La comparsa dell'ossigeno sulla Terra

La variazione della quantità di ossigeno nell'atmosfera ha influenzato l'evoluzione dei viventi e la morfologia del pianeta nelle diverse ere geologiche.

Perché è calato l'ossigeno qui? Temperatura? Incendi? Sicuramente il calo di ossigeno si correla con la più forte estinzione di massa del pianeta (La grande moria del Permiano che ha estinto tra gli altri i trilobiti e gli euripteridi)



Estinzioni di massa

Un sito eccezionale per rivedere alcuni dei processi/strutture studiati e soprattutto per capire meglio l'enorme complessità dell'informazione in cellula:

http://www.digizyme.com/cst_landscapes.html?fbclid=IwAR0u3mDMBYEf11yGkodU8lhfydJM30bJq9MHqVVOOnkvMcuezbiB9b4FkLdw