ZANICHELLI

Simonetta Klein

Il racconto delle scienze naturali

ZANICHELLI

Capitolo 3

Il metabolismo cellulare

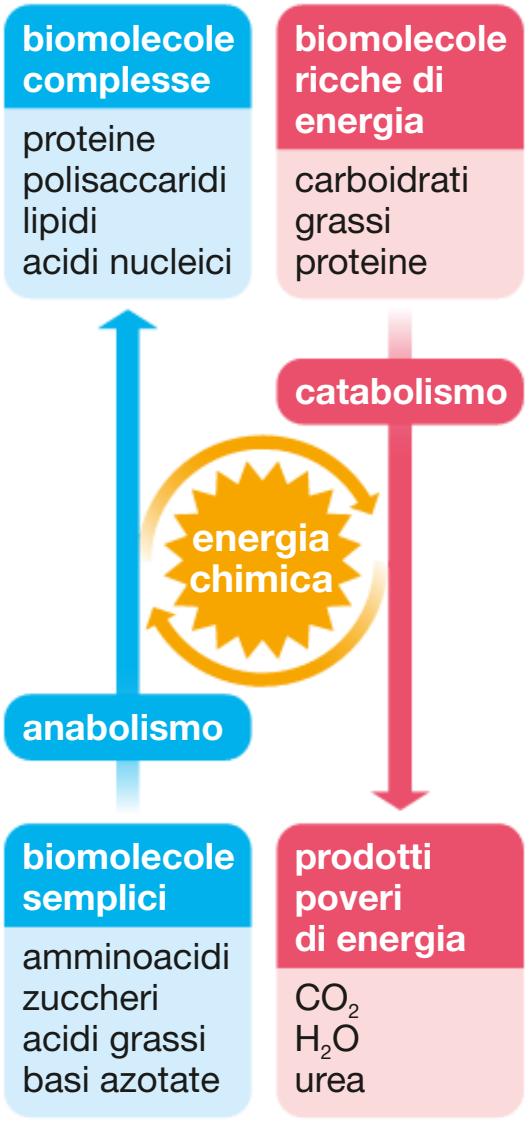
ZANICHELLI

Sommario

1. Energia per le reazioni metaboliche
2. La velocità nei processi biologici: gli enzimi
3. Il metabolismo del glucosio
4. Fermentazioni
5. La respirazione cellulare
6. La fotosintesi

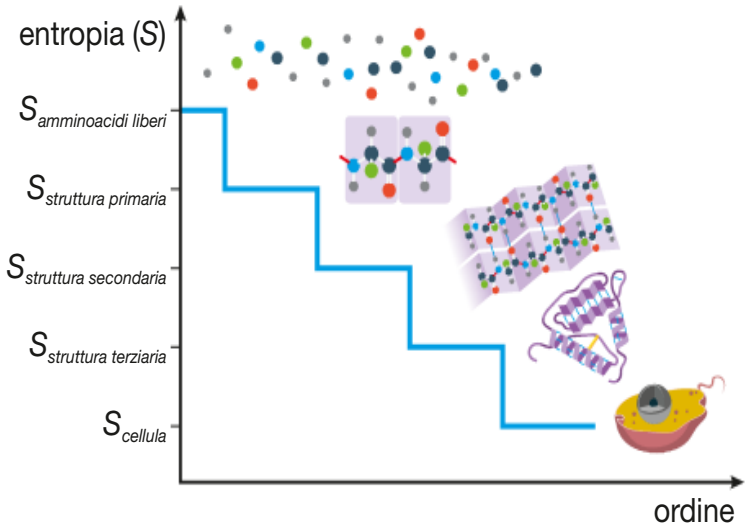
Energia per le reazioni metaboliche

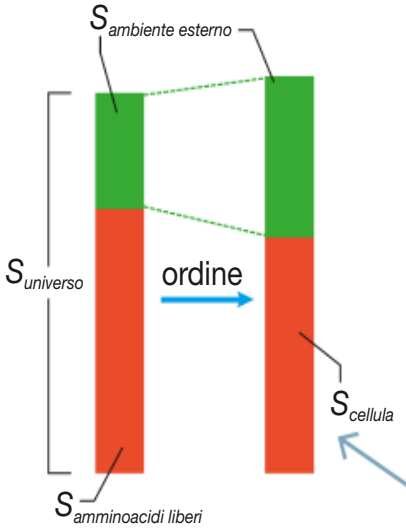
- Il **metabolismo** è l'insieme dei processi chimici che avvengono in un organismo vivente.
- Le reazioni che avvengono nel metabolismo sono distinte in *anaboliche* e *cataboliche*.
- L'**anabolismo** consiste nei processi di sintesi delle biomolecole.
- Il **catabolismo** comprende l'insieme di reazioni che determinano la degradazione di molecole complesse.
- Anabolismo e catabolismo agiscono in armonia, con un incessante flusso di energia e sostanze dall'uno all'altro.



Energia per le reazioni metaboliche

- Le cellule e gli organismi sono sistemi aperti che mantengono un flusso costante di materia ed energia con l'ambiente esterno.
- L'interazione con l'ambiente esterno è continua e molto stretta: se, all'interno di un organismo, si crea ordine, lo stesso processo produce disordine al suo esterno.

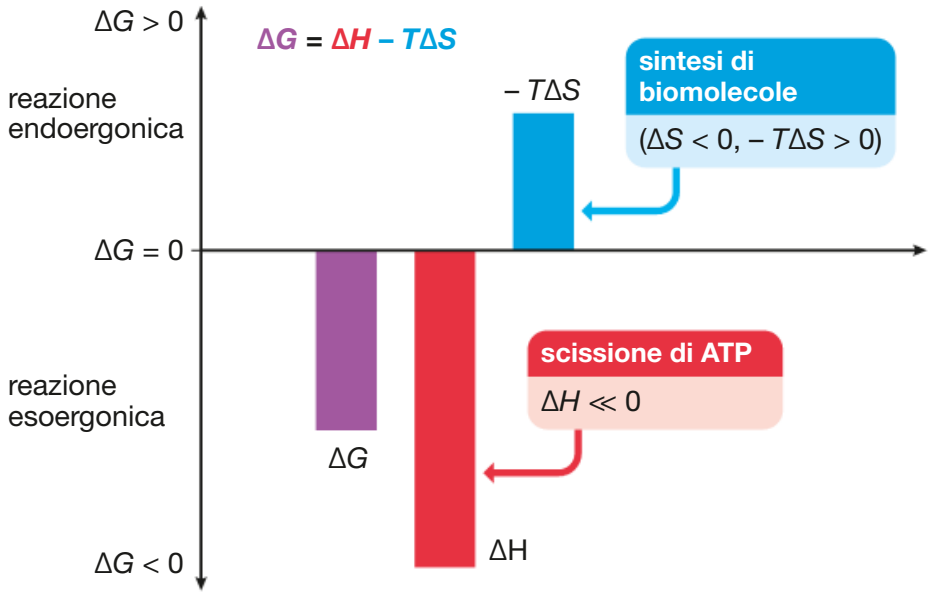




L'entropia dell'Universo tende a crescere, per cui quando aumenta l'ordine all'interno della cellula, *S* diminuisce all'interno (in rosso), ma cresce all'esterno (in verde).

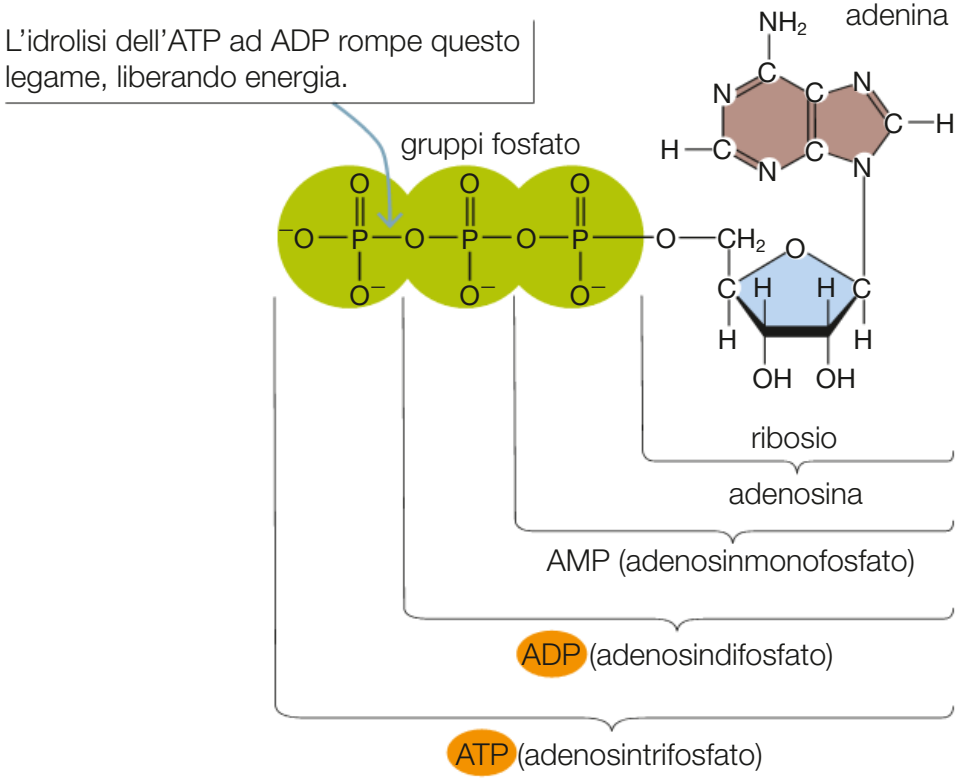
Energia per le reazioni metaboliche

- Tutte le reazioni chimiche, comprese quelle che avvengono nelle cellule, possono verificarsi in modo spontaneo o meno.
- Per essere spontaneo un processo deve rilasciare **energia libera**, ossia la quantità di energia riutilizzabile che viene scambiata in un processo.
- La spontaneità di una reazione è favorita nei processi esoergonici (con $\Delta H < 0$) e in quelli che avvengono con aumento di disordine (con $\Delta S > 0$).



Energia per le reazioni metaboliche

- Per rendere spontanee le reazioni biologiche è necessaria una **continua spesa energetica** in grado di compensare lo svantaggio entropico.
- A garantire questa energia alla quasi totalità dei processi biologici è una molecola formata da un nucleotide e tre gruppi fosfato: l'adenosintrifosfato o **ATP**, che interviene attraverso la **reazione esoergonica**:



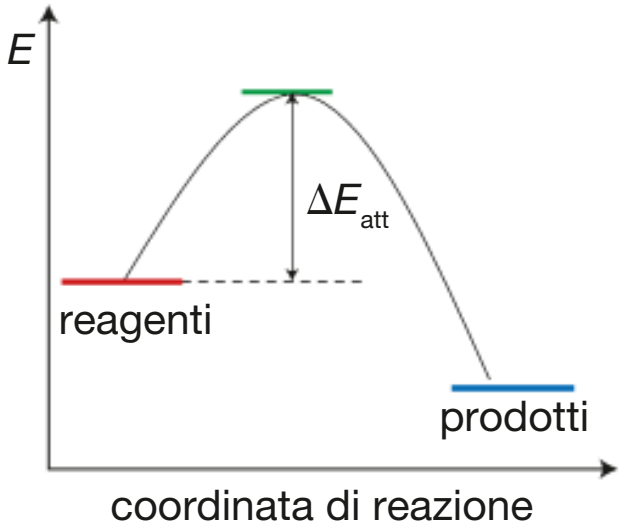
$$ATP + H_2O \longrightarrow ADP + P_i + \text{energia}$$

La velocità nei processi biologici: gli enzimi

- Le reazioni metaboliche avvengono grazie alla presenza di opportuni **catalizzatori**: gli **enzimi**.

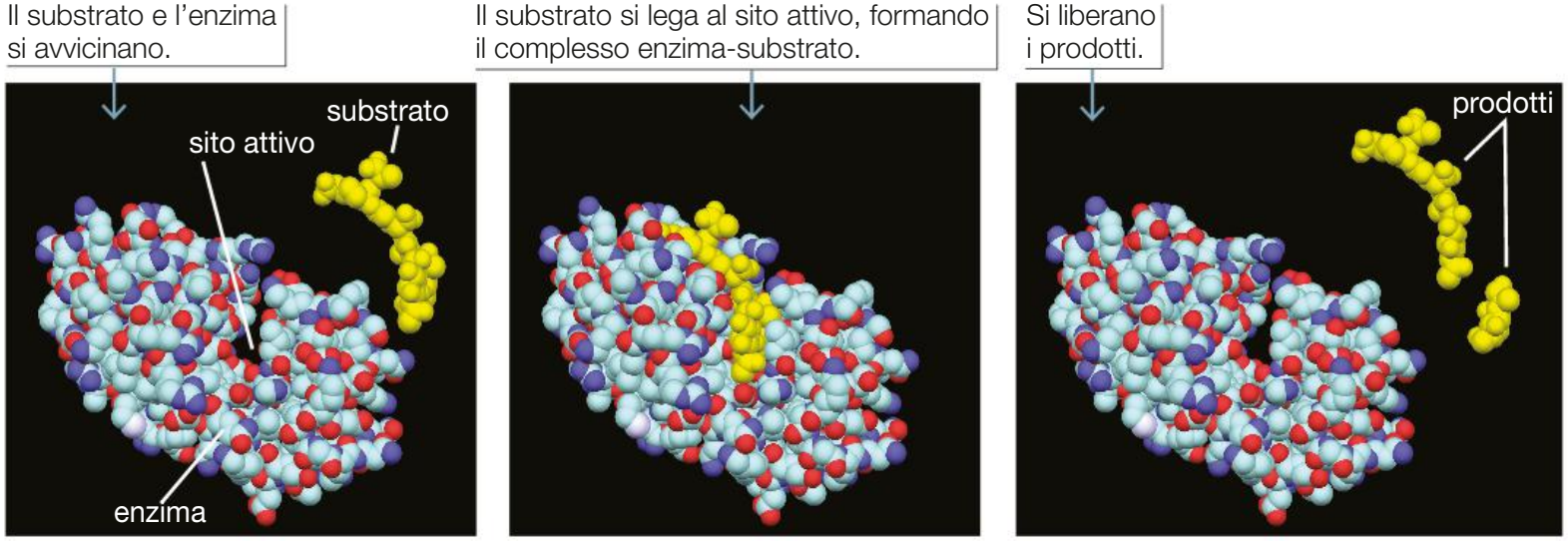
- I catalizzatori, e quindi gli enzimi, abbassano l'energia di attivazione ossia, l'energia iniziale che deve sempre essere fornita ai sistemi chimici per innescare la reazione.

- l'azione degli enzimi garantisce che le tappe del metabolismo si susseguano in tempi compatibili con la vita.



La velocità nei processi biologici: gli enzimi

- Le molecole che devono reagire, dette **substrati**, entrano in contatto in una zona dell'enzima chiamata **sito attivo**.
- Fondamentale è la forma geometrica del sito attivo: come una chiave con la serratura corrispondente, così un substrato deve essere complementare alla conformazione del sito attivo affinché l'enzima entri in azione (**modello chiave-serratura**).



La velocità nei processi biologici: gli enzimi

Per evitare lo spreco di energia e risorse occorre che un interruttore cellulare attivi o disattivi certe reazioni metaboliche.

Per bloccare o accelerare una reazione è sufficiente agire sull'enzima che la catalizza, meccanismo che può avvenire in due modi.

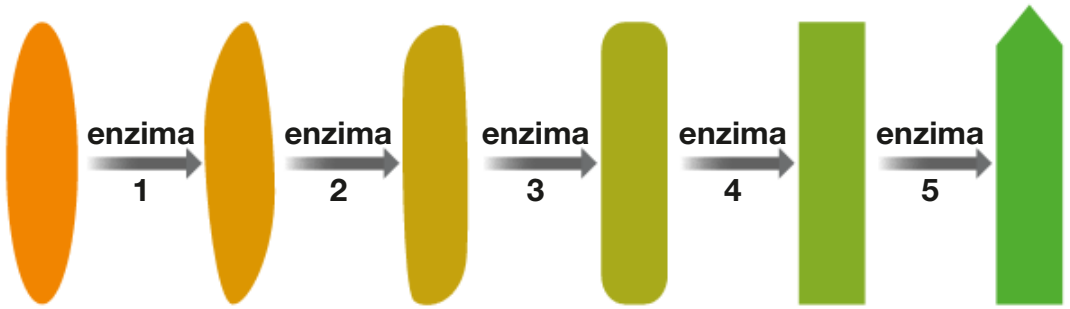
- **Inibizione e induzione.** Alcune molecole chiamate induttori agiscono sull'enzima promuovendone l'azione, mentre altre, dette inibitori, la bloccano.
- **Controllo sul DNA.** Come per tutte le proteine, anche la sintesi degli enzimi avviene quando sul DNA si avvia il processo di trascrizione.

La velocità nei processi biologici: gli enzimi

Molti enzimi agiscono l'uno dopo l'altro in una successione chiamata **via metabolica** (o *pathway metabolico*). In ciascuna via il prodotto della reazione catalizzata da un enzima è il substrato della successiva.

Via metabolica lineare

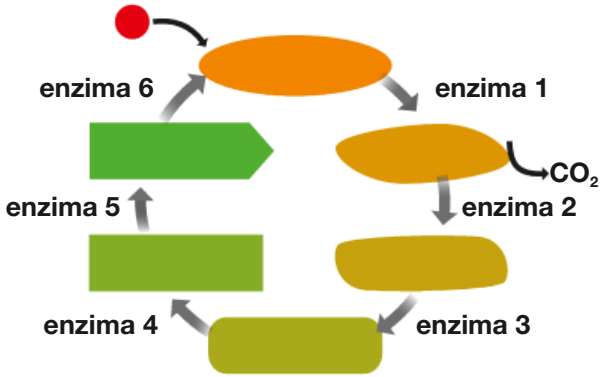
Una **via metabolica lineare** comprende una serie di reazioni in sequenza in cui si parte da un precursore e si ottiene un prodotto finale. Nel metabolismo del glucosio sono vie lineari la glicolisi e la fermentazione, mentre in quello dei lipidi è lineare la β-ossidazione, ossia la degradazione degli acidi grassi.



La velocità nei processi biologici: gli enzimi

Via metabolica ciclica

In una **via metabolica ciclica**, una delle molecole che inizialmente reagiscono, dopo una serie di reazioni, viene rigenerata per poter dare avvio a un nuovo ciclo. Sono clicliche vie come il ciclo di Krebs, in cui l'ossalacetato è la molecola che viene rigenerata dopo otto reazioni, e il ciclo di Calvin-Benson, in cui viene rigenerata la molecola di partenza, il ribulosio 1,5-bisfosfato.



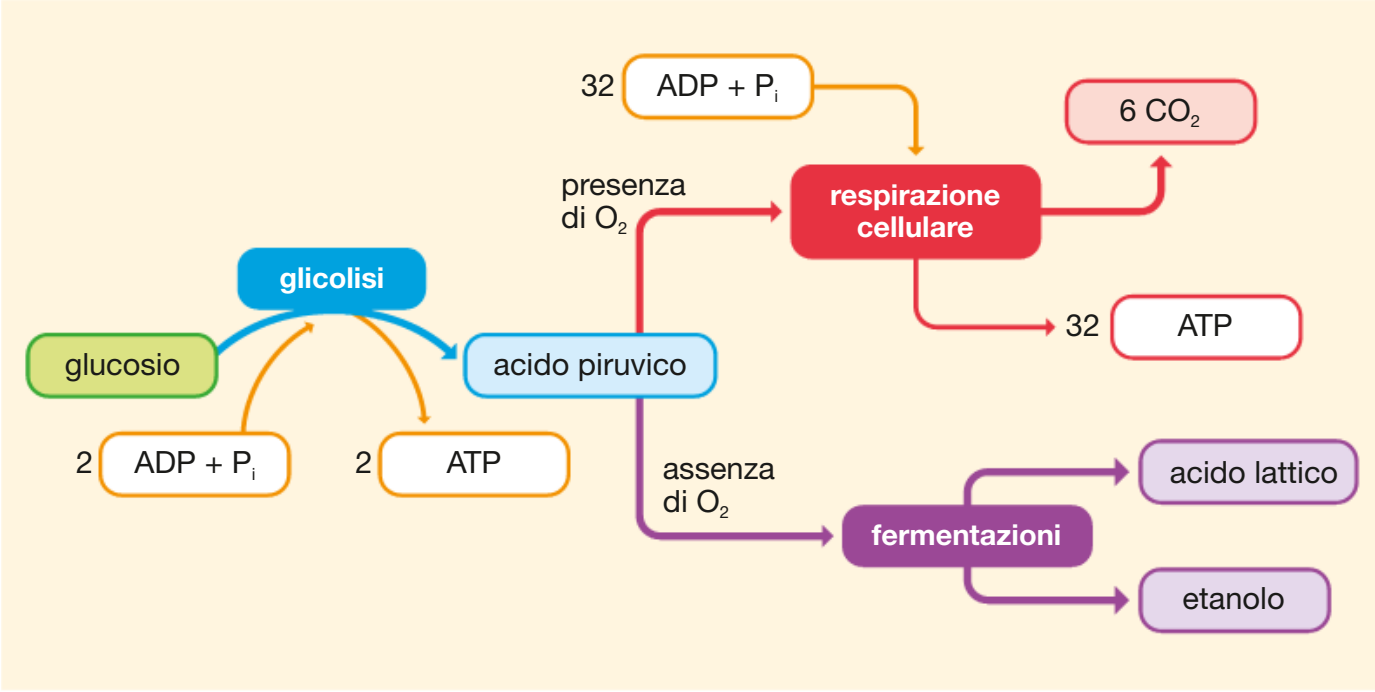
Vie metaboliche compartimentate

Negli eucarioti, le vie metaboliche sono **compartimentate**, cioè separate in organuli diversi per evitare che «entrino in conflitto». Per esempio, la β-ossidazione avviene nei mitocondri, mentre la sintesi degli acidi grassi è localizzata nel citosol.

Sede	Vie metaboliche
Citosol	Glicolisi, fermentazione, sintesi di acidi grassi e colesterolo, gluconeogenesi, transaminazione degli amminoacidi, via dei pentoso fosfati
Mitocondrio	Ciclo di Krebs, β-ossidazione, deaminazione degli amminoacidi
Cloroplasto	Fase luminosa della fotosintesi (sulle membrane tilacoidali dei cloroplasti), ciclo di Calvin-Benson (nello stroma dei cloroplasti)

Il metabolismo del glucosio

- Il glucosio è la principale fonte di energia per tutti gli organismi.
- Il **metabolismo del glucosio** è l'insieme dei processi mediante i quali il glucosio si scinde e si ossida, producendo molecole come diossido di carbonio (in presenza di ossigeno) o acido lattico ed etanolo (in assenza di ossigeno).



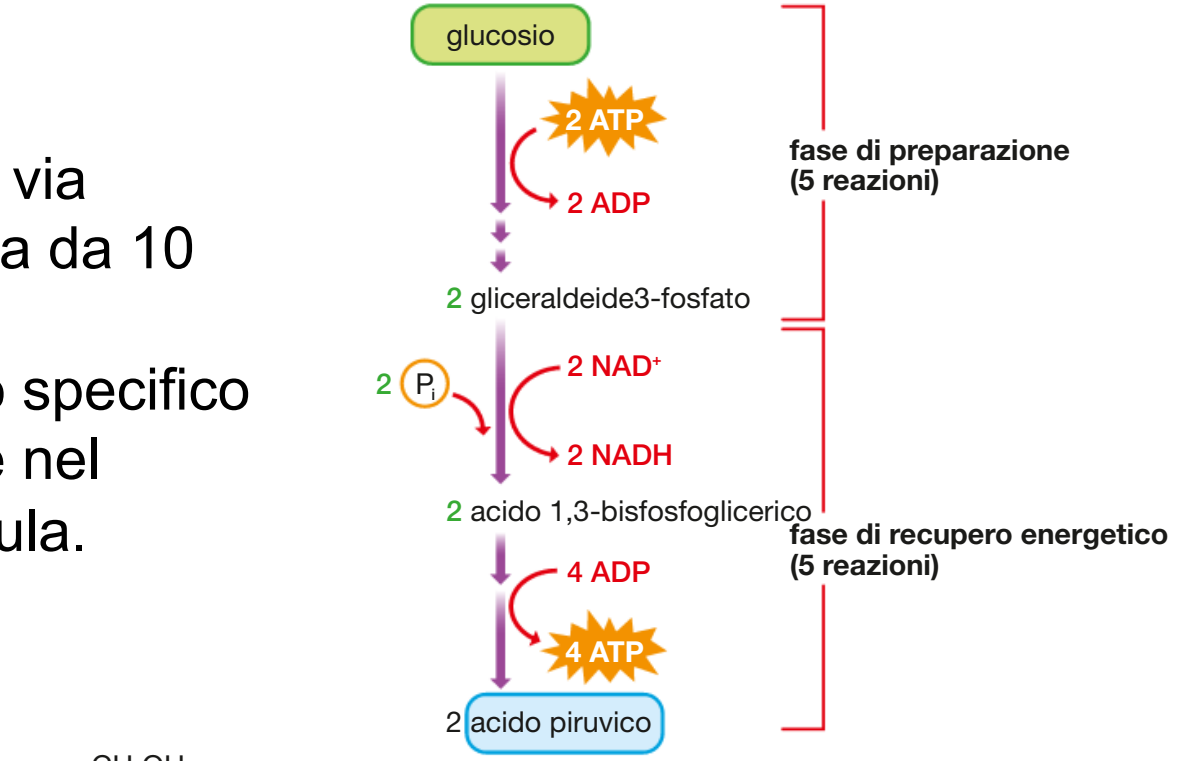
Il metabolismo del glucosio

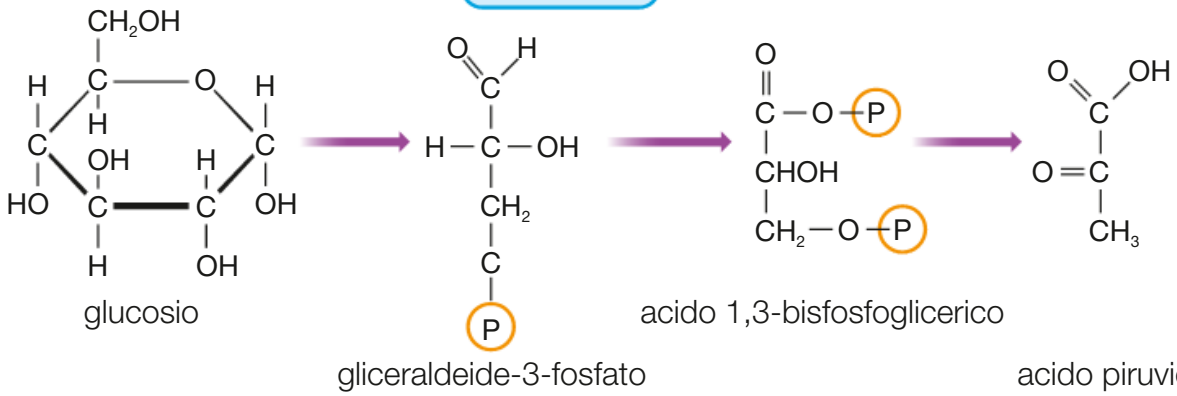
- In presenza di ossigeno (*processo aerobico*), il **bilancio energetico** totale (glicolisi + respirazione cellulare) è di **32 molecole di ATP** sintetizzate per ogni molecola di glucosio completamente trasformata in CO_2.

- In assenza di ossigeno (*processo anaerobico*), il **bilancio energetico** totale (glicolisi + fermentazione) è perciò uguale a quello della sola glicolisi: **2 molecole di ATP** per ogni molecola di glucosio.

Il metabolismo del glucosio

- La **glicolisi** è una via metabolica formata da 10 reazioni, ciascuna catalizzata da uno specifico enzima, e avviene nel citosol di ogni cellula.





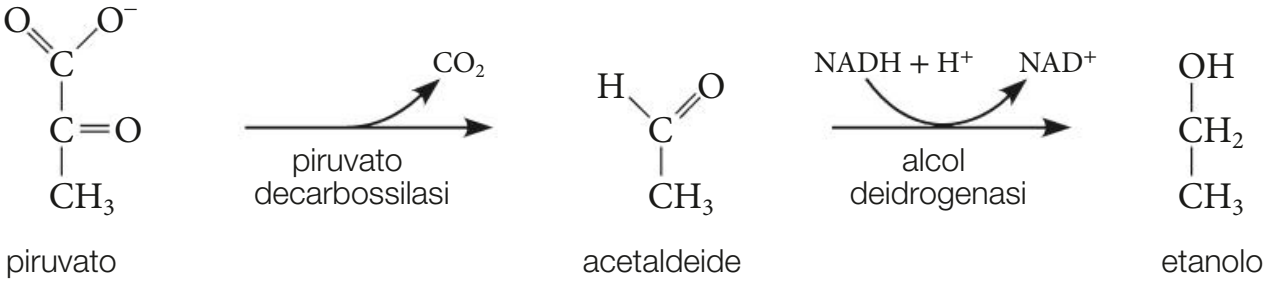
Fermentazioni

Nelle cellule anaerobie, o in certe cellule aerobie nelle quali però l'apporto di ossigeno non è adeguato alla richiesta energetica, la via metabolica intrapresa dall'acido piruvico dopo la glicolisi è la **fermentazione**, che avviene nel citosol delle cellule.

Fermentazioni

Fermentazione alcolica.

- È una via metabolica in cui l'acido piruvico viene decarbossilato, con eliminazione di una molecola di CO_2 e formazione di una molecola di acetaldeide (CH_3CHO). In seguito, questa molecola viene ridotta a etanolo (CH_3CH_2OH).

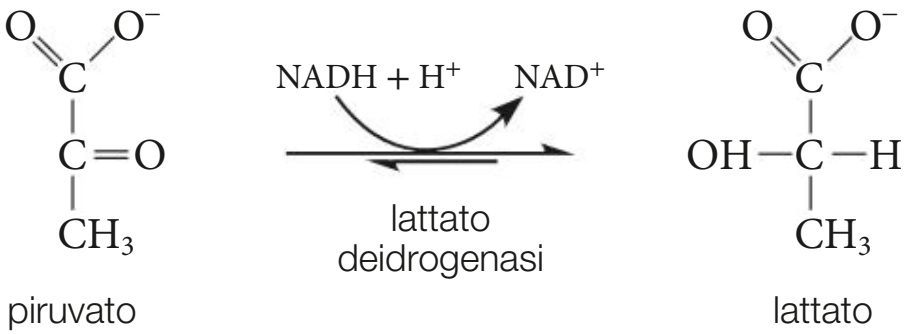


- A svolgere la fermentazione alcolica sono molti batteri e funghi unicellulari detti **lieviti** che sono usati nei processi di produzione di bevande alcoliche e di panificazione.

Fermentazioni

Fermentazione lattica.

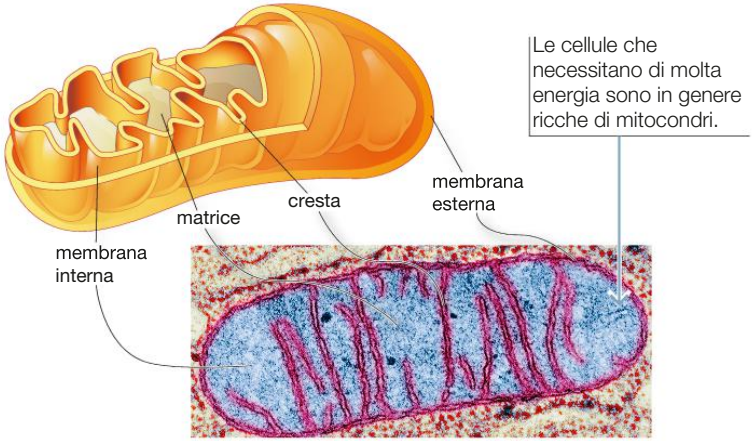
- Consiste nella riduzione dell'acido piruvico ad acido lattico grazie all'azione di un enzima. In questa via metabolica non si ha la produzione di CO_2, ma si osserva comunque l'ossidazione di una molecola di NADH a NAD^+.



- Questo processo viene impiegato da batteri del genere *Lactobacillus* ed è alla base della produzione di yogurt e formaggi.

La respirazione cellulare

- Gli **organismi eucarioti** (e alcuni procarioti) sono in grado di sfruttare l'ossigeno atmosferico e riescono a ossidare completamente la molecola di glucosio a diossido di carbonio.
- La **respirazione cellulare** è il processo aerobico che porta all'ossidazione del glucosio.
- Negli eucarioti la sede della respirazione cellulare è il **mitocondrio**.

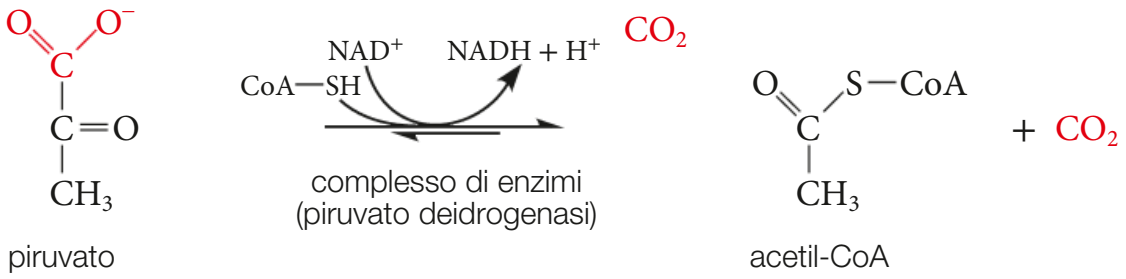


- La respirazione cellulare comprende **tre grandi vie metaboliche**: la *fase preparatoria*, il *ciclo di Krebs* e la *fosforilazione ossidativa*.

La respirazione cellulare

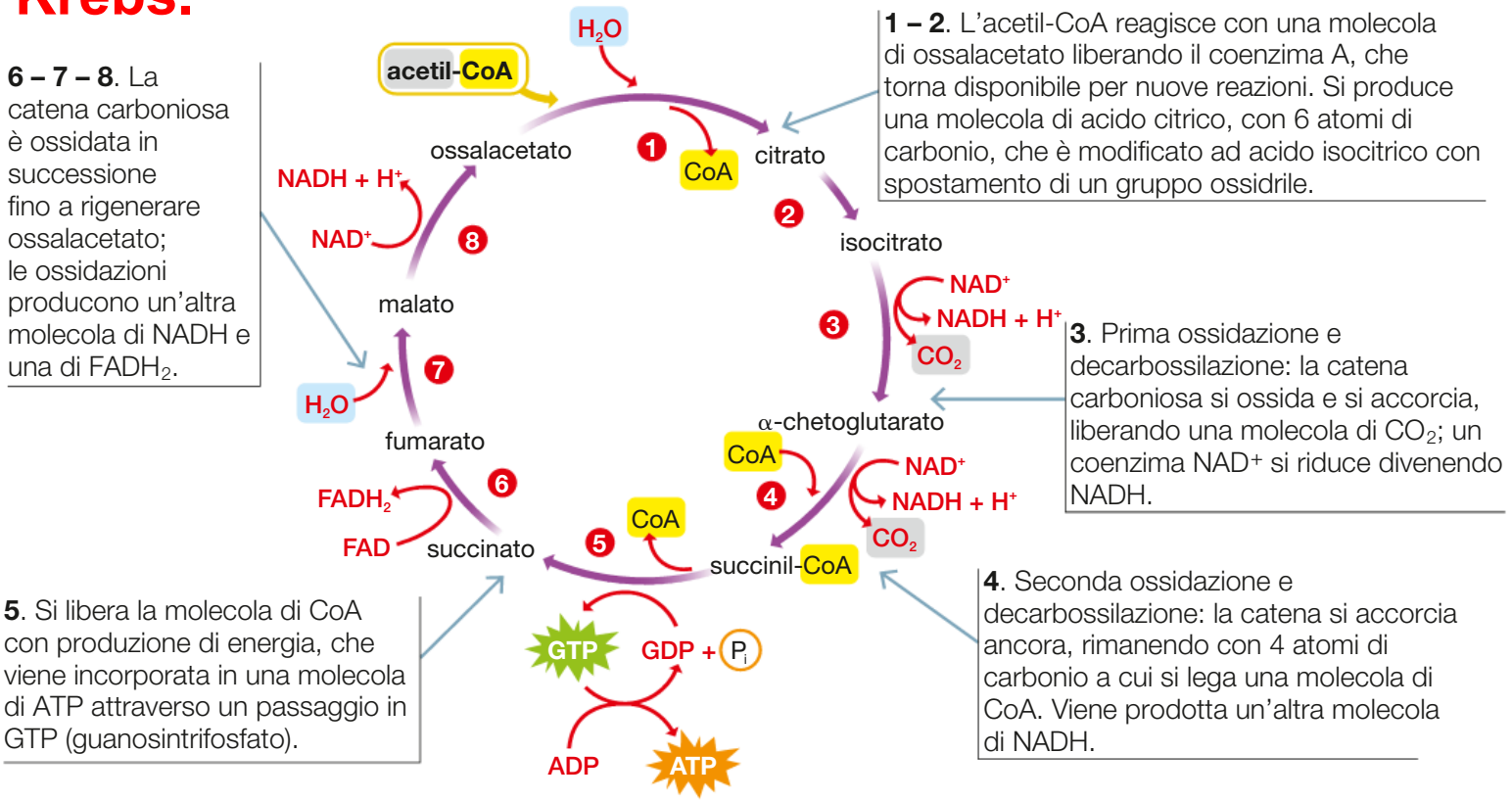
La fase preparatoria.

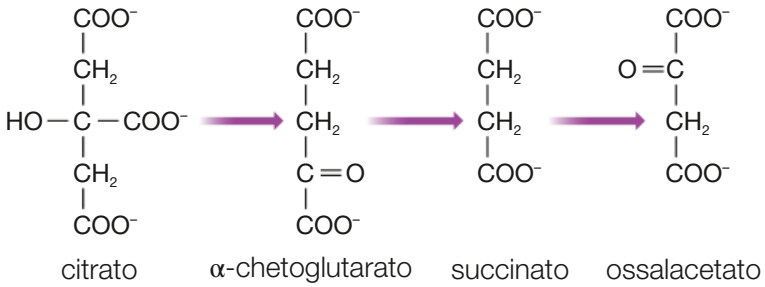
- Il piruvato penetra nella matrice del mitocondrio dove avviene la reazione di **decarbossilazione ossidativa**, con la quale viene eliminata una molecola di CO_2 e il piruvato viene ossidato per formare un gruppo acetile a due atomi di carbonio (CH_3CO—).
- La reazione è catalizzata da un opportuno sistema di enzimi e coenzimi, il complesso della **piruvato deidrogenasi**, fra cui vi è il coenzima A (CoA).
- Alla fine si forma una molecola di acetil-CoA per ogni molecola di piruvato e una molecola di NAD^+ si riduce a NADH.



La respirazione cellulare

Il ciclo di Krebs.





La respirazione cellulare

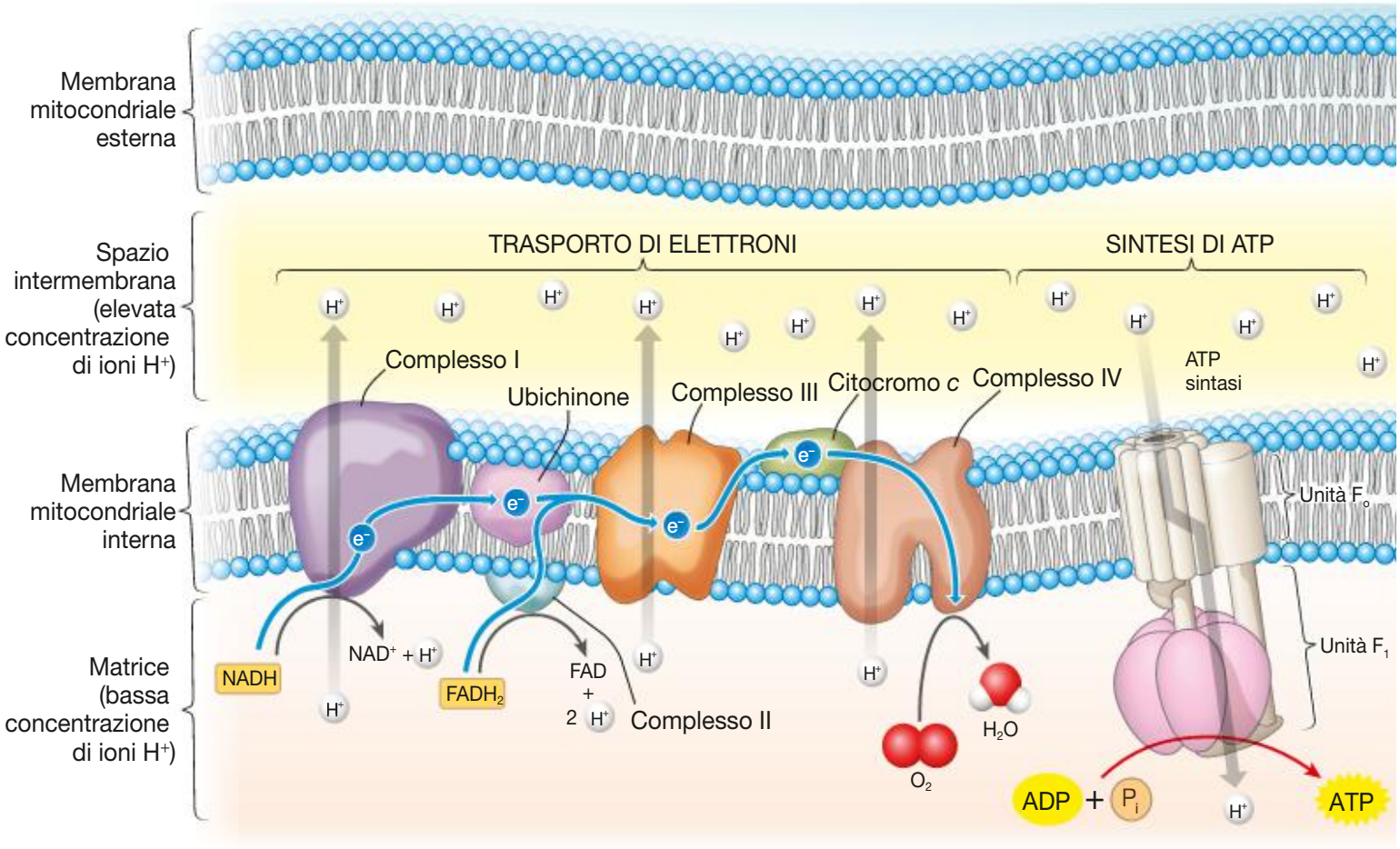
Fosforilazione ossidativa e produzione di ATP.

- Le reazioni mediante le quali la cellula utilizza l'energia incorporata nei processi esaminati in precedenza, producendo molecole di ATP, avvengono nella membrana interna del mitocondrio dove è inserito un vasto sistema di complessi enzimatici, chiamato **catena di trasporto degli elettroni** o **catena respiratoria**.

- Questi complessi enzimatici provvedono alla riossidazione dei coenzimi NADH e $FADH_2$.

La respirazione cellulare

La catena di trasporto degli elettroni pompa ioni H^+ nello spazio intermembrana e l'ATP sintasi sfrutta questa energia per **sintetizzare ATP**.



La respirazione cellulare

Per quanto riguarda il **bilancio energetico**, si consideri l'energia libera sviluppata da un'ipotetica reazione tra il coenzima NADH e l'accettore finale degli e^- della catena respiratoria, ossia l'ossigeno:

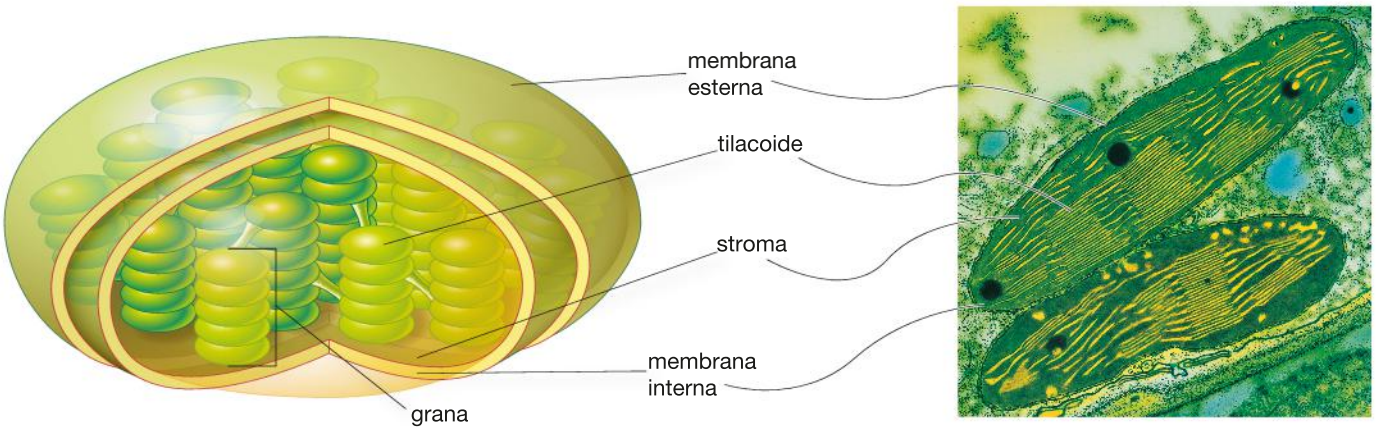
$$2NADH + O_2 + 2H^+ \longrightarrow 2NAD^+ + 2H_2O$$

in cui il NADH si ossida, cedendo elettroni all'ossigeno, che si riduce.

Il **rendimento energetico** complessivo ricavato dall'ossidazione completa di ogni molecola di glucosio è di **32 molecole di ATP**.

La fotosintesi

- Gli **organismi autotrofi**, a differenza degli animali e degli altri organismi eterotrofi, sintetizzano molecole organiche a partire da diossido di carbonio e acqua.
- Il processo complessivamente è **endoergonico** e richiede lo sfruttamento di una fonte esterna di energia.
- Le piante, le alghe e un'ampia varietà di microrganismi usano la **luce** come fonte di energia per produrre zuccheri attraverso una via metabolica chiamata **fotosintesi**.
- Nelle piante avviene all'interno dei **cloroplasti**.



La fotosintesi

- La fotosintesi è formata da due serie di reazioni che operano in sequenza.

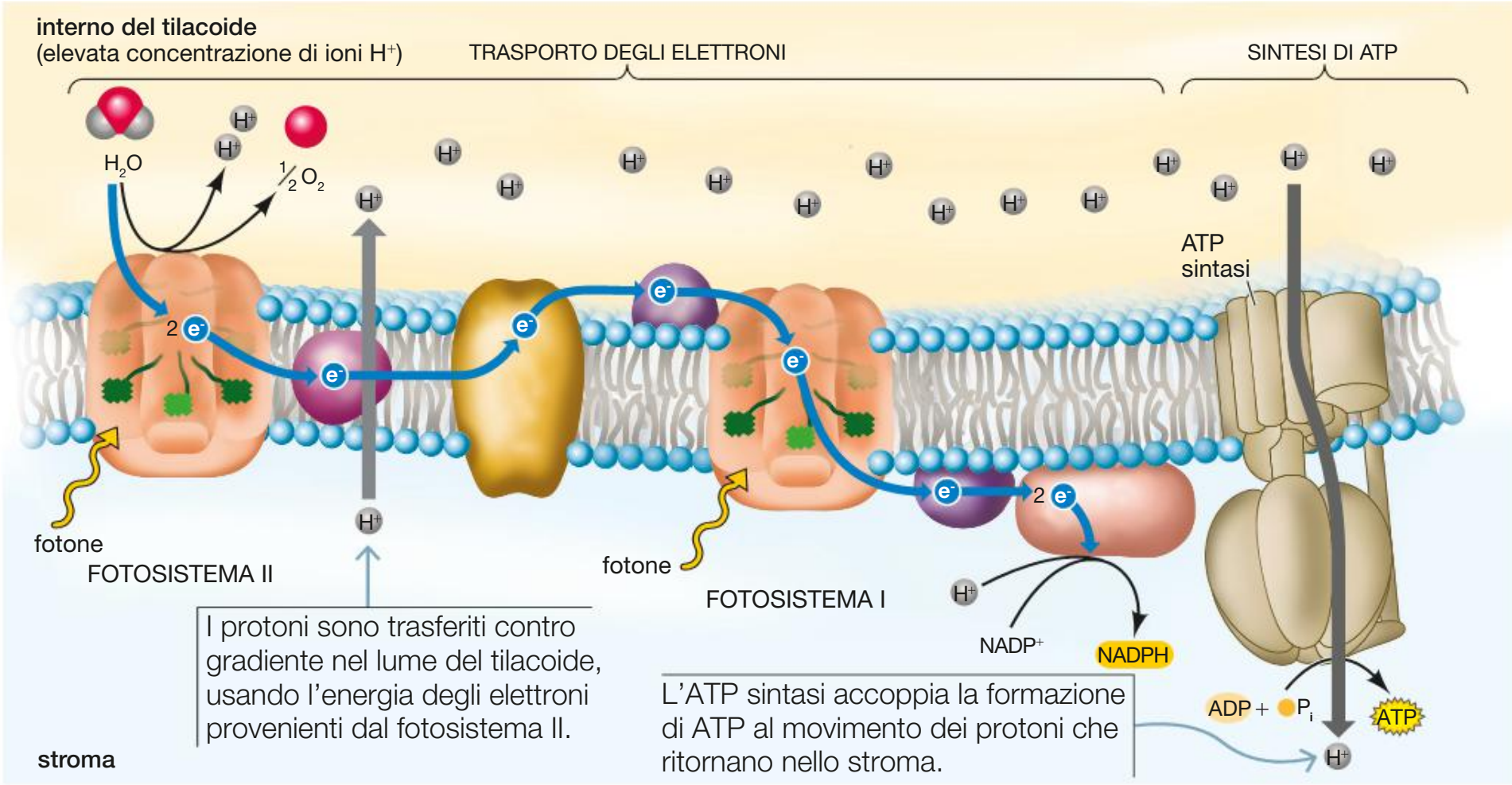
- Le **reazioni della fase luminosa** avvengono sui tilacoidi e dipendono direttamente dalla presenza della luce solare per poter avvenire.

- Le **reazioni della fase oscura**, invece, avvengono nello stroma e non coinvolgono direttamente la luce (ma non avvengono al buio).

- Le reazioni della fase luminosa producono **ATP** e coenzimi ridotti **NADPH**, mentre le reazioni della fase oscura usano queste molecole per produrre **zuccheri** a partire da CO_2.

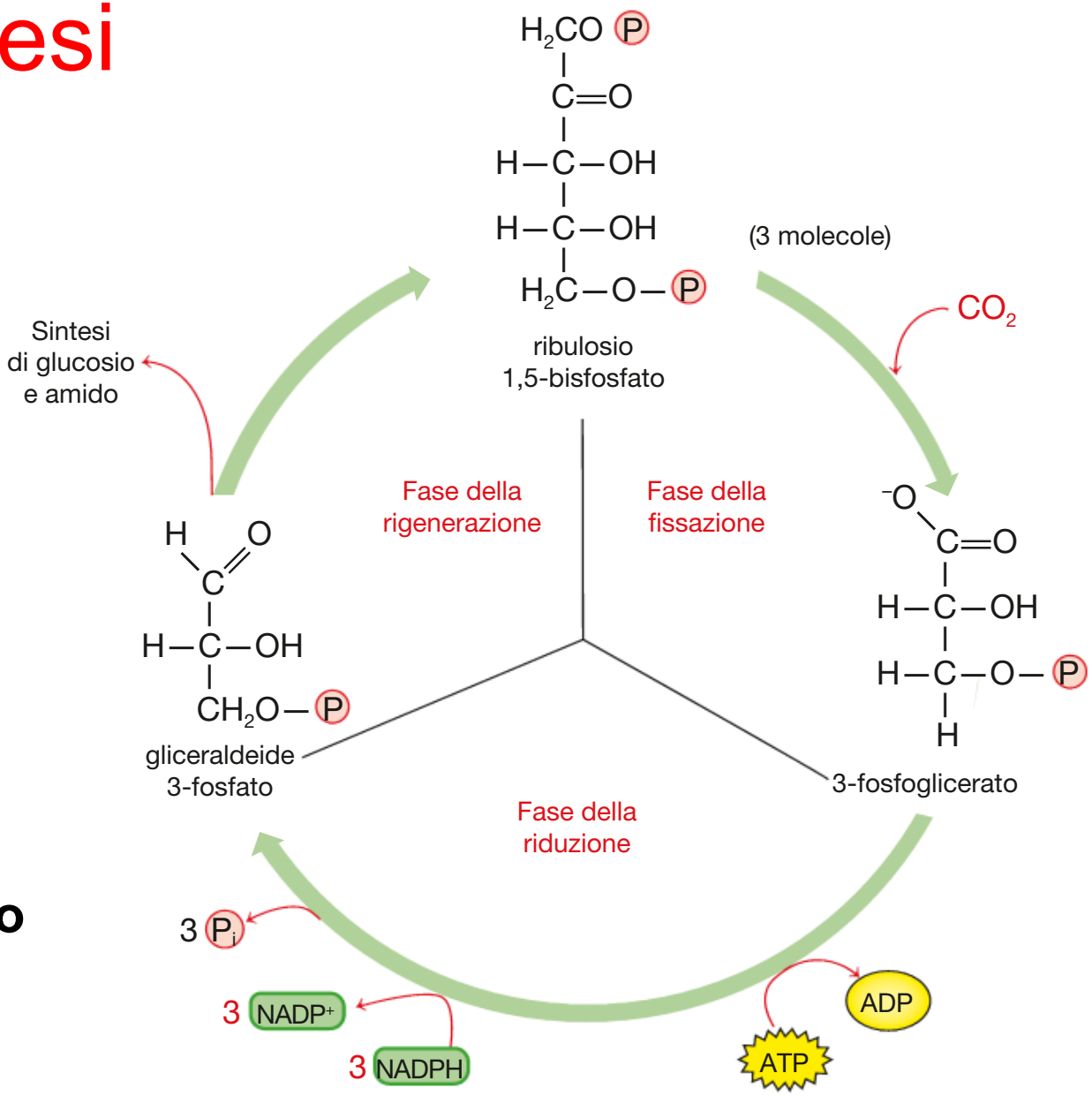
La fotosintesi

La fase luminosa.



La fotosintesi

La fase oscura.



Le reazioni della fase oscura consistono nel **ciclo di Calvin-Benson**, dai nomi degli scopritori.