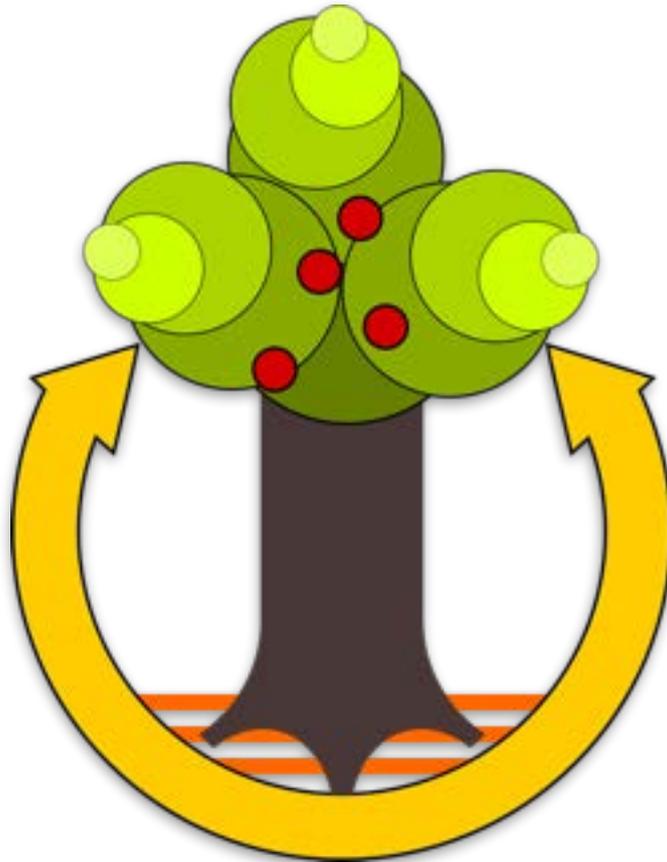

Bioenergetica

Semplici riassunti di Biologia



Il seguente materiale è stato scritto ed elaborato da me come preparazione ad alcuni esami universitari / di stato o nel tempo libero per aiutare "colleghi" in difficoltà. L'obiettivo era duplice: ricercare una semplicità assoluta nel linguaggio utilizzato e operare un'estrema sintesi, in modo da poter fornire il giusto punto di partenza per studi approfonditi o una solida base per delle conoscenze teoriche.

Vanessa Ripari - ripari.vanessa@gmail.com

ENERGIA E ATP

Delle diverse forme di energia disponibili, gli organismi possono utilizzarne due:

- energia luminosa (limitatamente a determinate lunghezze d'onda) da parte degli organismi autotrofi;
- energia chimica (contenuta nei composti chimici), utilizzata dagli organismi eterotrofi.

Nei processi fisici e chimici l'energia non può essere né creata né distrutta, negli organismi essa viene:

- in parte immagazzinata sotto forma di composti chimici;
- in parte dispersa nell'ambiente sotto forma di calore;
- in parte restituita all'ambiente come lavoro.

Qualunque sia la forma di energia utilizzata, essa viene trasformata in energia chimica contenuta nell'**ATP** (adenosintrifosfato), che verrà poi utilizzata per fornire energia a tutti i processi che la richiedono. Quando l'ATP viene utilizzato per fornire energia, viene idrolizzato il legame tra l'ultimo e il penultimo fosfato, con formazione di adenosindifosfato (ADP) e fosfato inorganico, con liberazione di **30,5 kJ** per mole di ATP idrolizzata. L'idrolisi può avvenire anche a carico del legame tra il primo ed il secondo fosfato, con formazione di AMP (adenosinmonofosfato) e pirofosfato, liberando la stessa quantità di energia.

Per sintetizzare ATP a partire da ADP è necessaria la stessa quantità di energia, che deve provenire da energia luminosa o reazioni chimiche. La quantità di 30,5 kJ rappresenta quindi il "pacchetto" minimo indivisibile di scambio dell'energia.

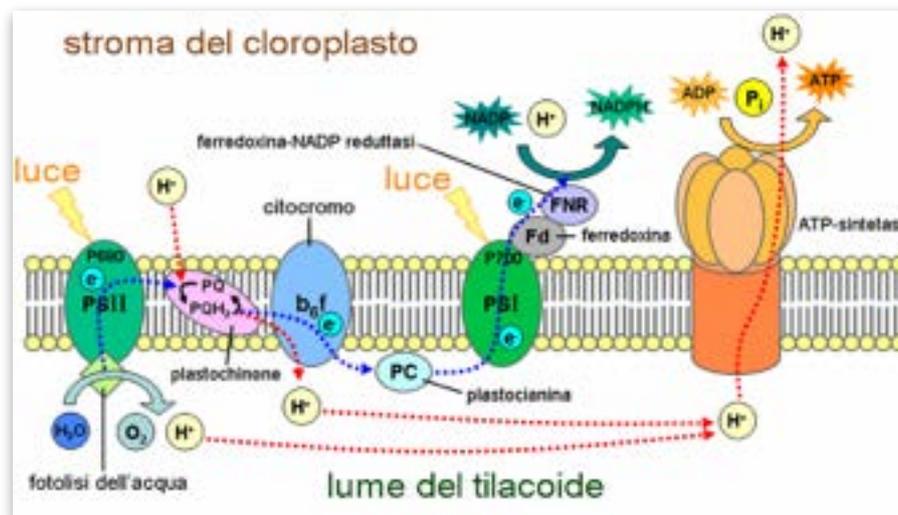
FOTOSINTESI

Gli organismi fototrofi (autotrofi) trasformano l'energia luminosa in energia chimica che utilizzano per ridurre l'anidride carbonica, trasformandola in carboidrati (glucosio) e poi in tutti gli altri composti della materia vivente. Questo processo, chiamato fotosintesi, si svolge nei **cloroplasti** delle alghe e piante verdi. Nello spessore delle membrana dei

cloroplasti sono presenti dei pigmenti, tra cui la clorofilla, capace di assorbire radiazioni blu e rosse (e quindi appare colorata in verde).

Durante la **fase luminosa** (o luce-dipendente) avvengono una serie di ossidoriduzioni innescate dall'energia luminosa, che portano all'ossidazione dell'ossigeno dell'acqua (liberato sotto forma di ossigeno molecolare) e all'accumulo di ATP e del coenzima NAD ridotto (NADPH).

Un quanto di luce, colpendo la clorofilla (del cosiddetto fotosistema I) di un centro di reazione chiamato P700, cede la propria energia ad una coppia di elettroni alla clorofilla stessa. La clorofilla eccitata cede immediatamente questi elettroni ad un accettore primario (avviene quindi una ossidoriduzione). I due elettroni, che hanno conservato l'energia acquisita dalla luce, si trovano ad un livello energetico più elevato rispetto a quello che avrebbero se fossero legati al NADP e quindi il loro passaggio al coenzima è un processo spontaneo: entrano dunque in una catena di trasferimento di elettroni a livello delle membrane interne del cloroplasto che si conclude con la riduzione del NADP a NADPH + H⁺, prelevando 2 idrogeni dalla soluzione circostante.



Per essere di nuovo eccitabile la clorofilla ha bisogno di recuperare gli elettroni persi. La clorofilla P680 del cosiddetto fotosistema II viene eccitata in modo analogo a quella del

fotosistema I ma cede elettroni ad un accettore primario diverso. Gli elettroni, che si trovano in uno stato a maggior energia rispetto a quelli del P700 e vi si trasferiranno attraverso una serie di ossidoriduzioni. Il passaggio di protoni crea un gradiente di concentrazione protonico che verrà utilizzato da una ATPasi come fonte di energia per sintetizzare ATP da ADP e fosfato inorganico attraverso un meccanismo di fosforilazione ossidativa.

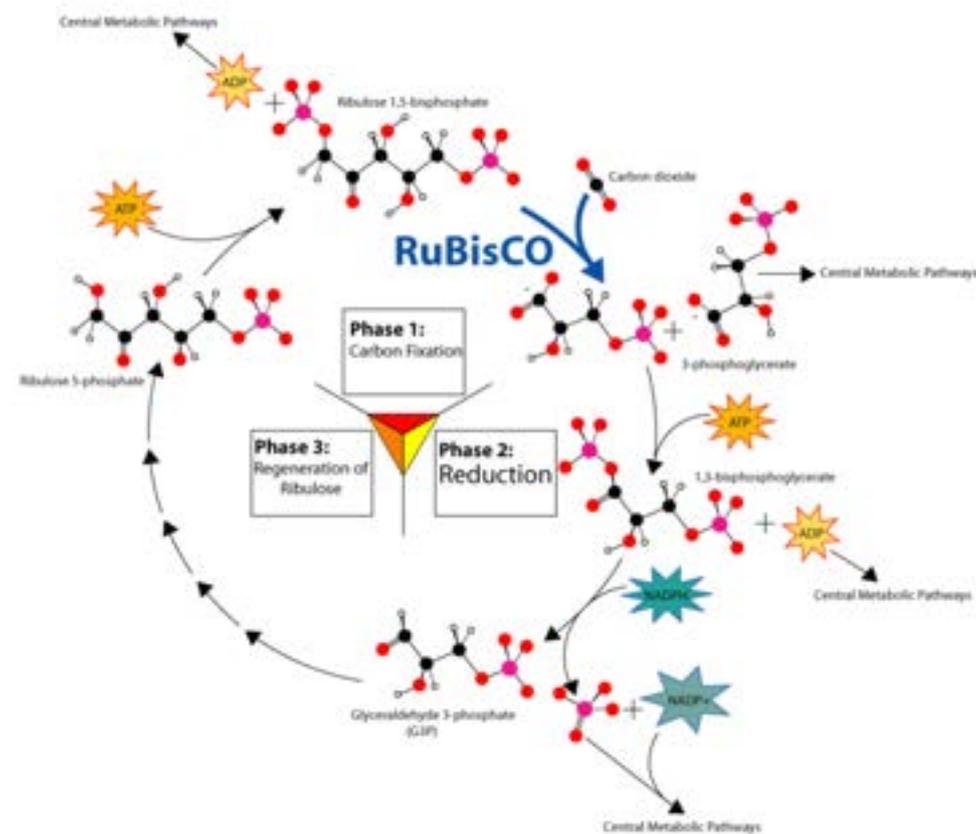
A questo punto la clorofilla P680 deve recuperare la coppia di elettroni persa e a tal scopo interviene un sistema enzimatico del fotosistema II capace di ossidare l'ossigeno dell'acqua (fotolisi dell'acqua), liberando due elettroni che vengono trasferiti direttamente al P680.

Le reazioni della fase luminosa portano alla liberazione di ossigeno molecolare che viene immesso nell'atmosfera.

Durante la **fase oscura** della fotosintesi, l'utilizzazione dell'ATP e del NADPH per ridurre l'anidride carbonica e originare glucosio, avviene attraverso le diverse reazioni enzimatiche che prendono il nome di **Ciclo di Calvin-Benson**. Partendo da 6 molecole di uno zucchero a 5 atomi di carbonio combinato con due molecole di acido fosforico, il ribulosio 1,5-bisfosfato, e da 6 molecole di anidride carbonica, si ottengono una molecola di glucosio e 6 molecole dello zucchero di partenza, con il consumo di 18 ATP (e formazione di altrettanti ADP e fosfato inorganico) e l'ossidazione di 12 molecole di NADPH (con formazione di NADP).

Si calcola che si verifichi il fenomeno dell'ossigenazione ogni 2 o 3 carbosilazioni, con conseguente abbassamento dell'efficienza della fotosintesi. Per ovviare a questo, ci sono diversi meccanismi, tra cui il più diffuso (anche se il meno efficiente) è la fotorespirazione, che utilizza ossigeno per produrre anidride carbonica (consumando ATP). Un sistema più efficiente consiste nell'avere foglie dalla struttura specializzata in cui gli enzimi specifici per il ciclo di Calvin si trovano solo nelle cellule che presentano un'alta concentrazione di CO₂. Il ciclo di Calvin viene preceduto da un'altra serie di reazioni cicliche, che fissano l'anidride carbonica in un composto a 3 atomi di carbonio. Il prodotto a 4 atomi di

carbonio così ottenuto viene trasferito alle cellule più interne, dove rilascia anidride carbonica per poi tornare alle zone di partenza per “ricaricarsi”. Le piante che utilizzano questo efficiente sistema sono dette C₄ perchè il primo composto dove si ritrova il carbonio della CO₂ è un composto a 4 atomi di carbonio, mentre la fotorespirazione, per motivi analoghi, avviene in piante dette C₃.



ORGANISMI ETERTROFI

Utilizzano composti organici complessi come fonte simultanea di materia ed energia. L'utilizzazione dei composti avviene attraverso diverse reazioni che nel loro complesso costituiscono il **metabolismo**. Le molecole complesse vengono scisse in monomeri o molecole più semplici (nell'uomo avviene attraverso la digestione) e possono:

- essere utilizzate così come sono, per la sintesi di macromolecole, attraverso consumo di energia;
- essere immagazzinati;

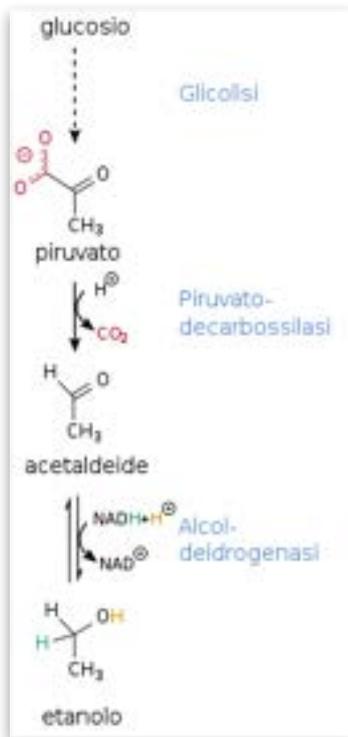
-
- essere ossidati, liberando energia che viene intrappolata sotto forma di ATP, attraverso una serie di reazioni che nel loro insieme costituiscono il **catabolismo**. Gli elettroni sottratti ai composti ossidati vengono indirizzati verso i coenzimi FAD e NAD. I diversi tessuti possono seguire diverse strategie metaboliche a seconda dell'accettore finale degli elettroni, ma qualunque sia la strategia, i composti formati vengono poi rilasciati nell'ambiente.

In base al tipo di accettore finale, si distinguono due principali tipi di metabolismo:

- ❖ FERMENTAZIONE, in cui l'accettore finale è rappresentato da un altro composto organico, in base al quale vengono classificati i vari tipi di fermentazione (alcolica, lattica, ecc.). In questi processi viene spesso liberata anidride carbonica.
- ❖ RESPIRAZIONE CELLULARE, in cui l'accettore finale è generalmente rappresentato dall'ossigeno, che si riduce formando acqua.

Alcuni organismi effettuano esclusivamente fermentazioni e possono quindi vivere senza ossigeno (sono i cosiddetti **organismi anaerobi**); altri utilizzano esclusivamente la respirazione e hanno quindi bisogno di ossigeno per la sopravvivenza (**organismi aerobi**); altri ancora posseggono gli enzimi adatti ad entrambi i processi ed utilizzano l'uno o l'altro a seconda delle condizioni e delle esigenze (organismi aerobi facoltativi). L'uomo è un organismo aerobio ma in alcuni tessuti può avvenire la fermentazione in assenza di ossigeno (es. fermentazione lattica).

La **fermentazione** è particolarmente diffusa tra i microrganismi e trova molteplici applicazioni industriali. Le fermentazioni possono interessare carboidrati, amminoacidi o altre tipologie di composti, ma le più diffuse ed efficienti sono le fermentazioni degli zuccheri, in particolare del glucosio. Nella maggior parte degli esseri viventi il glucosio viene parzialmente demolito ed ossidato attraverso la **glicolisi**, che produce fruttosio 1,6-bisfosfato consumando due molecole di ATP. Il fruttosio viene poi scisso in due composti a 3 atomi di carbonio che vanno incontro ad una serie di ossidazioni e riarrangiamenti dei legami e che consentono la sintesi di 4 molecole di ATP e 2 di NADPH per ogni molecola di glucosio utilizzata. I prodotti di questa serie di reazioni sono rappresentati da due



molecole di acido piruvico e due NADPH, con produzione netta di 2 ATP.

In assenza di un accettore di elettroni che rigeneri NAD, la glicolisi si arresterebbe rapidamente.

Nella fermentazione lattica, l'accettore di elettroni è l'acido piruvico stesso, che viene ridotto ad acido lattico, riossidando il NADPH. Nella fermentazione alcolica, il piruvato viene dapprima decarbossilato ad aldeide acetica, con liberazione di anidride carbonica, e successivamente ridotta ad alcol etilico, a spese del NADPH.

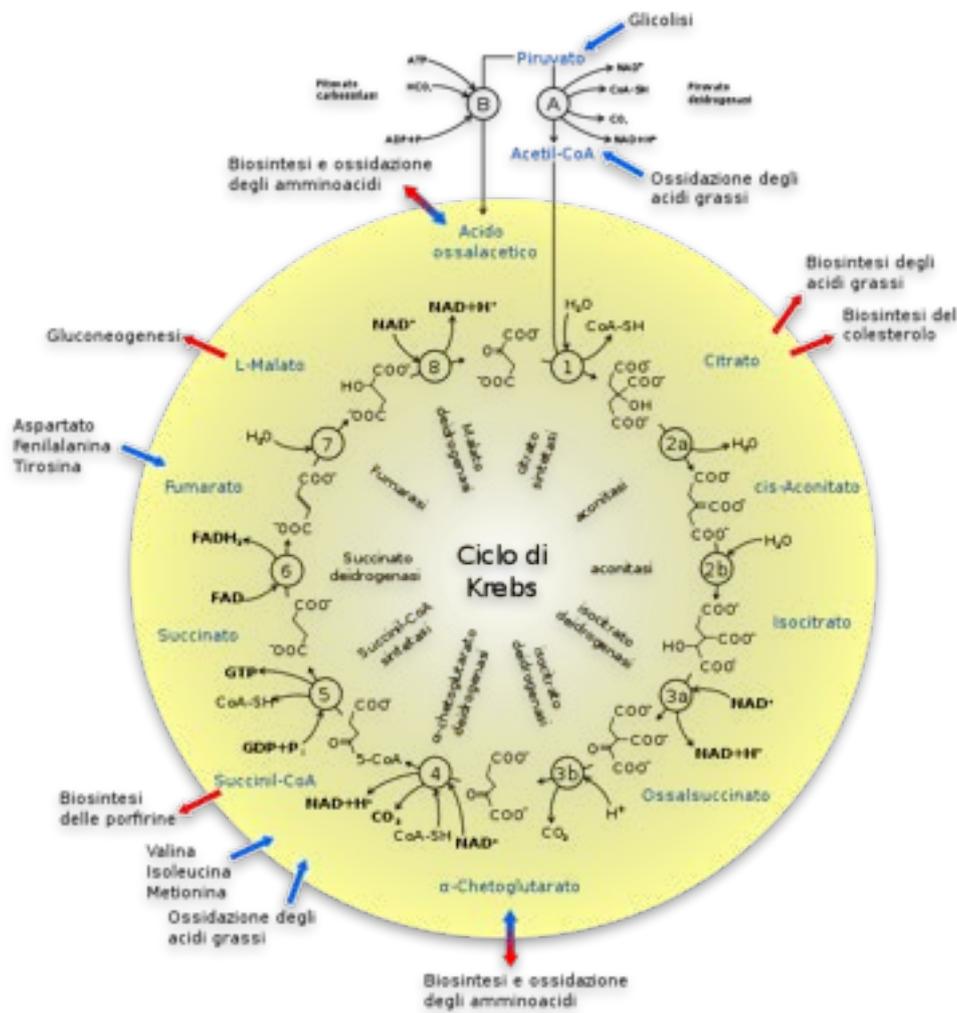
Le fermentazioni consentono alle cellule di estrarre solo una parte dell'energia potenzialmente contenuta nei composti ossidati.

La **respirazione cellulare** consente invece di sfruttare la notevole quantità di energia ancora associata agli elettroni legati ai coenzimi ridotti. L'accettore finale è rappresentato dall'ossigeno molecolare che origina a fine processo due molecole di acqua. La respirazione avviene grazie alla presenza, nella membrana interna dei mitocondri, di piccole molecole di trasporto di elettroni che nel loro insieme costituiscono la catena respiratoria. Nel corso del passaggio degli elettroni, l'energia man mano liberata da una successione di ossidoriduzioni viene utilizzata dai componenti della catena per pompare protoni nello spazio intermembrana del mitocondrio. Poichè la membrana interna è impermeabile ai protoni, si crea un gradiente (pH) che rappresenta una forma di energia potenziale utilizzabile per compiere un lavoro, come la sintesi di ATP attraverso la **fosforilazione ossidativa**.

Questo processo avviene a livello della membrana mitocondriale interna, dove è presente l'ATP sintetasi, che dovrebbe trasportare protoni dalla matrice allo spazio intermembrana utilizzando energia derivata dall'idrolisi dell'ATP, ma che a causa dell'alta concentrazione di protoni è costretta a funzionare in maniera contraria: i protoni, spinti dal loro gradiente,

rientrano nella matrice, fornendo energie per la sintesi di ATP, che continua fin tanto che persiste il gradiente protonico.

L'efficienza della fosforilazione ossidativa è notevole: durante la riossidazione del NADH vengono sintetizzate 3 molecole di ATP; durante la riossidazione del FADH le molecole di ATP prodotte sono 2.



Qualora le immagini o parti integrali di testo non provengano da librerie gratuite o fossero di mia proprietà, la fonte verrà sempre citata. In caso di involontaria omissione o errore, Vi pregherei di segnalarmi il problema.
Per domande o richieste particolari, scrivetemi pure.

ripari.vanessa@gmail.com