

Introduzione ai Metabolismi Batterici

La Nutrizione Microbica (come i microrganismi ricavano l'energia per poter crescere) e la Diversità Metabolica (i batteri hanno diverse possibilità di fare metabolismo)

Qual'è lo scopo della vita? Lo scopo della vita è quello di riprodursi perché da un punto di vista ecologico ogni popolazione ha l'obiettivo di potersi riprodurre questo infatti rappresenta il successo ecologico (da un punto di vista di interazione con l'ambiente che ci circonda), per una popolazione la possibilità di continuare nel tempo è quella di trovare il modo di riprodursi e questo rappresenta il successo ecologico, trovare il modo di riprodursi vuole dire trovare il modo di fare metabolismo, cioè trovare l'energia e i precursori per potersi dividere e far crescere la popolazione <- questo per i batteri è molto importante perché hanno un significato non come singolo individuo ma come popolazione, una popolazione che non riesce più a fare metabolismo, non riesce a trovare le risorse per dividersi, non cresce, e quindi rischia di avere un insuccesso ecologico e quindi diminuire di numero, infatti i batteri siccome sanno che le condizioni ecologiche che li circondano sono molto variabili hanno sviluppato un'alternativa fra successo e insuccesso (scopo sopravvivenza, mantenimento della popolazione).

Lo scopo di ogni popolazione, e questo nei batteri è ancora più vero, è quello di riprodursi, se una popolazione smette di riprodursi è destinata al declino e quindi alla scomparsa; per riprodursi la popolazione (soprattutto i batteri) deve continuamente trovare energia e precursori, deve quindi avere la capacità di fare metabolismo (riproduzione e metabolismo sono concetti legati).

In questo contesto di relazione con l'ambiente l'evoluzione ha una grossa importanza, perché il successo/insuccesso è ecologico, cioè dipende dall'ambiente in cui quella popolazione si trova, quindi la possibilità di fare metabolismo, e quindi riprodursi, della popolazione dipende dall'ambiente in cui si trova e soprattutto dipende da quanto quella popolazione è adatta a quell'ambiente, e l'ambiente seleziona gli esseri viventi più adatti perché il genoma è continuamente sottoposto a modifiche, e quando le modifiche sono migliorative abbiamo un miglior adattamento all'ambiente, un miglior metabolismo, e un miglior metabolismo è quello che porta a selezionare quegli esseri viventi che fanno parte di una popolazione che sono più adatti all'ambiente e questo vuol dire evoluzione. (fra metabolismo e adattamento all'ambiente c'è un feedback, sono legati)

Ecco perché **riproduzione ed evoluzione** sono i due meccanismi trainanti della vita sulla terra.

Metabolismo e riproduzione sono legati e sono due caratteristiche imprescindibili della vita della cellula.

La cellula è fatta di funzioni codificanti (informazioni) e funzioni metaboliche (macchina cellulare), che sono interdipendenti.

I batteri sono gli esseri viventi più antichi e hanno acquisito la capacità di fare innumerevoli metabolismi diversi (capacità di ricavare energia e i substrati per crescere in tutti gli ambienti, in tutte le condizioni ecologiche, in tutti gli ecosistemi, perché hanno avuto più tempo per adattarsi ed evolversi), non sono stati solo gli ambienti ad aver plasmato la diversità metabolica dei batteri, ma è anche il contrario: negli ecosistemi tutte le forme di vita giocano un ruolo nel mantenimento di questi ecosistemi e i batteri essendo le forme di vita più antiche e più numerose non solo giocano un ruolo predominante ma molto spesso anche esclusivo

I processi usati dagli organismi per ottenere energia e per svolgere lavoro chimico sono alla base del funzionamento degli ecosistemi.

Metabolismi Microbici: Concetti di Base

Il **metabolismo** è l'insieme delle reazioni chimiche che avvengono in una cellula (che siccome avvengono all'interno di un essere vivente le chiameremo reazioni BIOchimiche) che le permettono tutte le attività vitali (il funzionamento e la vita della cellula).

Il metabolismo comporta:

- assunzione dei nutrienti (da modificare) dall'ambiente
- trasformazione (di queste sostanze) all'interno della cellula
- eliminazione dei prodotti (di scarto) nell'ambiente

La maggior parte delle sostanze che ogni essere vivente prende dall'ambiente gli servono come fonte di energia, di fatto il metabolismo si basa su flussi di energia, e sulla base di questi flussi il metabolismo può essere distinto didatticamente in:

- Catabolismo = reazioni di utilizzo (degradazione) dei nutrienti per generare energia (conservata come ATP)
- Anabolismo = reazioni di biosintesi (costruzione) dei componenti cellulari (partendo dai precursori) con l'utilizzo di energia (ATP prodotto dal catabolismo)

In realtà questi due concetti viaggiano insieme, non sono due fasi differenti, non sono fenomeni separati nello spazio e nel tempo, sono contemporanei e la maggior parte delle vie metaboliche biochimiche sono al tempo stesso sia cataboliche che anaboliche;

Esempio di una via biochimica che è al tempo stesso (nella stessa direzione) una via sia catabolica che anabolica, che porta sia alla produzione di energia che alla sintesi di nuove sostanze: il ciclo di

krebs, perché non serve solo per bruciare lo zucchero e ricavare energia ma anche per utilizzarlo in parte per produrre gli intermedi che servono a fare amminoacidi, lipidi (fare biosintesi). Non ci può essere catabolismo senza anabolismo.

L'ATP non è un modo per conservare energia, è un flusso di energia, la quale passa dalle reazioni dove viene generata direttamente alle reazioni dove viene utilizzata, e l'atp non è altro che il modo di farla passare, porta E dalle reazioni anaboliche a quelle cataboliche, è un passaggio continuo, molto spesso questa energia neanche viene trasformata in ATP perché basta la forza proton-motrice (come abbiamo visto nel movimento del flagello).

Metabolismo -> unico processo nel quale la maggior parte delle volte le reazioni C ed A non sono distinte, infatti le reazioni in cui si produce energia sono contemporaneamente quelle in cui questa energia viene usata per produrre molecole più grandi, le molecole più grandi che vengono catabolizzate a molecole più piccole molto spesso neanche vengono degradate completamente perché le molecole più grandi servono direttamente all'anabolismo. Le reazioni metaboliche sono basate sui flussi di energia

Metabolismo & Termodinamica

Nel metabolismo le cellule generano (catabolismo) e utilizzano (anabolismo) ENERGIA

La Termodinamica ci fornisce le regole per spiegare tutte le reazioni metaboliche (e non) sulla base dello stato energetico dei reagenti e dei prodotti (cambiamenti di energia, ogni reazione comporta una perdita o un'acquisto di energia). Il cambiamento di energia (ΔG) prevede le reazioni che producono energia ($\Delta G < 0$) e quelle che consumano energia ($\Delta G > 0$)

deltaG è la differenza di energia contenuta nei substrati della reazione e quella dei suoi prodotti, quando i prodotti hanno più energia dei substrati abbiamo deltaG positivo perché è stata consumata energia, mentre le reazioni che rilasciano energia cioè in cui i substrati hanno più energia dei prodotti hanno deltaG negativo

nelle reazioni biochimiche la cellula ha dei meccanismi enzimatici molto complessi che sono in grado di convogliare quell'energia che si libera, non sprecarla come calore e luce ma convogliarla verso qualcosa che la può veicolare (es. ATP) all'utilizzo nelle biosintesi della cellula, ma dal punto di vista termodinamico combustione e respirazione sono la stessa cosa, tanto che possiamo calcolare per entrambe il deltaG negativo, l'energia liberata sotto forma di luce e calore nel fiammifero nella cellula viene convogliata e indirizzata alla produzione di energia utilizzabile -> l'energia chimica intrappolata nel carboidrato anziché essere sprecata come calore e luce viene ritrasformata in energia chimica (ATP) che viene trasportata e utilizzata dalla cellula per fare lavoro.

(in entrambi i casi dal carboidrato si libera energia, nel legno che brucia è calore e luce, invece nella cellula questa energia è veicolata sotto forma di energia chimica nella respirazione, pur partendo dallo stesso substrato organico, gli elettroni che vengono staccati, nel metabolismo vengono trasferiti a qualcos'altro, mentre nella combustione vengono liberati ad aumentare l'entropia, nelle reazioni metaboliche siccome sono basate su delle reazioni ossidative, gli elettroni che si staccano non vanno persi ma vengono veicolati ad un'altra molecola che si riduce -> reazioni redox, in questo salto (di energia) che compiono gli elettroni passando dal donatore (sostanza che viene ossidata) fino all'accettore di elettroni (sostanza che viene ridotta) c'è la resa energetica, gli elettroni fanno un salto di potenziale, un salto energetico)

il metabolismo è legato alle reazioni esoergoniche ed endoergoniche, tant'è che anche un concetto prettamente biochimico come gli enzimi rientra proprio nel facilitare queste reazioni, e anche quando le reazioni sono esoergoniche (cioè che rilasciano energia) c'è comunque bisogno di un catalizzatore che abbassa l'energia di attivazione, e non solo, i catalizzatori enzimatici non hanno solo la funzione di favorire la reazione stessa da un punto di vista termodinamico ma hanno anche la funzione di regolare quali reazioni possono avvenire o meno, senza l'energia di attivazione tutte le reazioni avverrebbero e non sarebbero regolabili, è grazie ad essa che i meccanismi sono controllabili

Ruolo degli Enzimi (deriva dalla visione termodinamica del metabolismo)

ENZIMI = CATALIZZATORI

Abbassano l'energia di attivazione delle reazioni aumentandone notevolmente la velocità,

sono il modo che la cellula ha per regolare finemente il metabolismo e non fare mai sezioni metaboliche che non servono e spingere invece verso le reazioni che servono

Le reazioni di ossido-riduzione (redox) sono alla base del metabolismo:

metabolismo -> flussi di energia -> passaggio di elettroni -> reazioni redox.

le reazioni redox sono quelle che comportano dei flussi di elettroni, le sostanze che sono buone fonti di energia sono le sostanze che possono essere donatori di elettroni cioè le sostanze che vengono ossidate

Il metabolismo cellulare genera e utilizza energia attraverso le reazioni di ossido-riduzione: un composto che viene **OSSIDATO** cede i propri elettroni (e-) ad uno che viene **RIDOTTO**.

I donatori di elettroni vengono spesso definiti fonti di energia perché quando vengono ossidati rilasciano energia che in parte viene conservata dalla cellula come ATP.

Nel fiammifero che brucia la luce e il calore sono elettroni che vengono liberati (energia che viene liberata), quindi in questo caso non c'è stata una reazione di ossido-riduzione perché calore e luce (questi elettroni liberati) vanno persi, ma c'è comunque stata una reazione ossidativa. Nella respirazione che avviene all'interno dei nostri mitocondri stiamo degradando gli zuccheri con reazioni ossidative, le reazioni ossidative sono la chiave, il ciclo di Krebs è un insieme di ossidazioni infatti entra una molecola organica ed escono molecole inorganiche completamente ossidate (bruciate), così come dal fiammifero che brucia si libera CO₂, tutte le ossidazioni nella glicolisi e nel ciclo di Krebs portano alla produzione di CO₂, però nelle sezioni metaboliche le ossidazioni (cioè togliere gli elettroni alle fonti di energia [cioè ossidare i nutrienti]) sarebbero solo delle combustioni se in parallelo non ci fosse un'altra sostanza che funge da accettore di elettroni -> la chiave delle reazioni metaboliche non sono le ossidazioni singole, ma sono le ossido-riduzioni, vuol dire che le reazioni ossidative in cui gli elettroni vengono staccati sono per forza accoppiate alle reazioni riduttive in cui c'è un accettore finale di elettroni (che si prende gli elettroni), infatti la reazione globale della respirazione aerobica è l'ossidazione completa del glucosio in CO₂, e in contemporanea questi elettroni che vengono liberati vengono convogliati da sistemi biologici per andare a finire all'accettore, cioè all'ossigeno che si riduce ad acqua. Le reazioni chiave del metabolismo sono reazioni redox che devono sempre essere accoppiate, non ci può essere un'ossidazione senza una riduzione e globalmente la reazione deve bilanciare gli elettroni, gli elettroni vanno incanalati dal donatore all'accettore, ed è nel salto di elettroni dal donatore all'accettore che si ricava l'energia.

La diversità metabolica (tutti i vari modi che i microrganismi hanno di fare metabolismo) sta nel trovare sostanze da ossidare diverse, fonti di energia diverse, e sta anche nel trovare sostanze da ridurre diverse, perché se la respirazione aerobica fosse l'unico metabolismo possibile non sarebbe possibile la vita in moltissimi ambienti nei quali non c'è zucchero come sostanza da ossidare e soprattutto non c'è ossigeno come sostanza da ridurre, inoltre se la respirazione aerobica fosse stato l'unico metabolismo possibile non ci sarebbe stato l'inizio della vita perché nella terra primordiale non c'era sostanza organica, non c'era la luce per fare la fotosintesi, e c'era pochissimo ossigeno

La torre degli elettroni

La torre degli elettroni serve a capire la diversità metabolica da un punto di vista termodinamico: è un diagramma in cui sono rappresentate le possibili reazioni metaboliche divise per reazione ossidativa e reazione riduttiva, quindi in questo diagramma possiamo individuare subito chi è il donatore di elettroni e chi è l'accettore di elettroni finale e quali sono le sostanze in cui vengono trasformati, e siccome le coppie redox (date dalla sostanza che viene ossidata e il suo prodotto e dalla sostanza che viene ridotta e il suo prodotto) sono messe in ordine di potenziale possiamo facilmente calcolare il salto di potenziale che fanno i nostri elettroni, che passano dal donatore all'accettore e tanto più alto è il salto di potenziale tanto più alta è l'energia liberata (ΔG) e quindi possiamo non solo vedere quali sono le possibili reazioni metaboliche che possono usare le cellule ma possiamo anche capirne la resa energetica.

Nelle reazioni metaboliche c'è sempre bisogno sia di un donatore di elettroni (fonte di energia, dalla quale partono gli elettroni) sia di un accettore finale, l'evoluzione non ha portato solo alla necessità di adattare i metabolismi a trovare le fonti di energia ma ha portato anche a diversificare gli esseri viventi cercando l'accettore finale di elettroni, infatti i batteri respirano anche senza l'ossigeno, ad esempio

nel nostro tratto gastro-intestinale, in particolare nell'intestino, c'è pochissimo ossigeno ma abbiamo comunque comunità batteriche molto abbondanti che fanno respirazioni anaerobiche

(semireazioni: c'è una sostanza che è il donatore di elettroni che quando si ossida si trasforma in qualcosa, e c'è anche la sostanza che accetta gli elettroni quindi si riduce e si trasforma anch'essa, quindi sono due semi reazioni che insieme formano una reazione completa)

Le reazioni redox complete possono essere scomposte in due semi-reazioni (OX & RED) in cui il reagente e il prodotto sono una coppia redox (scritte per convenzione come riduzioni). Le coppie redox possono essere ordinate in una "torre" secondo il loro potenziale di riduzione (E^0), cioè la loro tendenza ad ossidarsi (donare e^-) o a ridursi (accettare e^-)

Le sostanze che hanno un potenziale di riduzione molto negativo (elettronegative) sono una buona fonte di energia perché sono buoni donatori di elettroni in quanto tendono a ossidarsi (l'energia si ricava mediante il passaggio di elettroni),

Le sostanze che hanno un potenziale di riduzione molto positivo (elettropositive) sono invece dei buon accettore di elettroni perché tendono a ridursi.

Se i due substrati di una reazione globale sono una sostanza che è un buon donatore di elettroni e una sostanza che è un buon accettore di elettroni, avremo un saldo di elettroni molto alto e quindi un ΔG molto negativo (viene rilasciata molta energia dalla redox) e infatti nella torre più alto è il salto degli elettroni maggiore è la resa, quello che conta non sono gli elettroni in se ma quanto saltano, non basta soltanto ossidare una sostanza molto elettro negativa (buon donatore (es. glucosio) ma ci vuole anche una sostanza molto elettropositiva (buon accettore) che si riduce,

conta il salto e il salto è dato dalla differenza di potenziale (deltag, resa energetica)

Nelle reazioni redox complete, la sostanza ridotta della coppia redox con E_0' più negativo (in cima alla torre) viene ossidata e quindi dona e^- alla sostanza ossidata della coppia redox con E_0' più positivo (in fondo alla torre) che viene ridotta.

Più grande è la differenza di potenziale tra le due coppie redox, tanto maggiore è la quantità di energia rilasciata dalla reazione (ΔG più negativo).

Ad esempio in cima alla torre c'è il glucosio come donatore di e^- che si ossida a CO_2 e in fondo alla torre c'è l'ossigeno che si riduce ad H_2O , dunque la migliore fonte di energia è il glucosio quando viene ossidato in presenza dell'ossigeno che viene ridotto, ma esiste anche il metabolismo in cui il glucosio viene ossidato anche in assenza di ossigeno -> fermentazione, parte da un buon donatore ma non essendoci l'ossigeno il salto è piccolo, invece quando il glucosio donatore, fonte di energia, viene ossidato e l'ossigeno è l'accettore finale che viene ridotto, il salto è grande, deltag molto positivo, la reazione brucia molta energia -> respirazione aerobia.

Non esiste solo il glucosio come donatore e solo l'ossigeno come accettore nei metabolismi, vi è la cosiddetta diversità metabolica

flusso di elettroni = flusso di energia

(nelle reazioni ossido-riduttive il substrato che viene usato come fonte di energia viene ossidato, quindi il glucosio nella respirazione aerobica viene ossidato completamente a CO_2 tanto che per ogni mole di zucchero che viene metabolizzato dalle nostre cellule vengono espulse 6 moli di anidride carbonica, lo zucchero è una fonte di energia perché viene ossidato (cede i propri elettroni, è un buon donatore), ma non basta la sola ossidazione per ricavare energia, è quando il donatore

cede gli elettroni a una sostanza che viene ridotta che l'energia viene utilizzata, in questo caso la sostanza che viene ridotta è l'ossigeno (accettore teminale), che prende gli elettroni e si riduce ad acqua) Coppia ideale: buon donatore e buon accettore, soprattutto perché il salto che compiono gli elettroni, il potenziale, si traduce in ΔG molto negativo, cioè in reazioni che producono molta energia, non a caso la respirazione degli zuccheri è il metabolismo che fanno gli esseri viventi superiori, cioè che hanno bisogno di molta energia, perché rende molta energia, è ciò e cui l'evoluzione è arrivata dopo tanti adattamenti.