

Liceo Classico “G. Garibaldi” – Classe IV I – Anno Scolastico 2019/2020

Materia: Fisica

Docente: Prof.ssa Alessandra Provenzano

METABOLISMO E BIOENERGETICA

Le implicazioni che comportano il I e il II principio della
Termodinamica nei processi biologici e chimici

ABSTRACT

Le leggi della termodinamica regolano i processi chimici e biologici che avvengono in natura. Eppure, gli esseri viventi, sistemi ordinati e organizzati, sembrano costituire un vero e proprio paradosso davanti a tali principi. Gli organismi possono mantenere il loro sistema ordinato pur interagendo con l'ambiente esterno disordinato? Come possono contrastare la naturale tendenza dell'Universo all'aumento dell'entropia? Gli esseri viventi si sono dovuti ingegnare per mantenere l'ordine del loro sistema e quindi per sopravvivere: hanno bisogno di servirsi di grandi apporti di energia. Ma questa energia come viene ricavata? La risposta è attraverso i processi metabolici: con l'ossidazione di sostanze organiche o attraverso l'immagazzinamento di energia luminosa, i sistemi viventi riescono ad acquistare energia libera e a trasformarla in ATP. Di primaria importanza è l'idrolisi dell'ATP che fa in modo che avvengano negli organismi una serie di reazioni termodinamicamente impossibili; proprio per questo motivo tale processo viene considerato il combustibile della vita. Tali interazioni tra fenomeni termodinamici e reazioni biochimiche vengono studiate dalla bioenergetica. La bioenergetica studia infatti i cambiamenti dell'energia da una forma ad un'altra che avvengono nelle cellule. Negli esseri umani però, interviene nei processi metabolici e nella formazione dell'ATP anche una ghiandola, la tiroide, che gioca un ruolo fondamentale attraverso la produzione di alcuni ormoni. Ma se la tiroide non funziona a dovere, l'organismo ne risente? Esiste un modo per sopperire al deficit della ghiandola? Sì, l'organismo risente degli "errori" della tiroide ma la medicina, in particolare l'endocrinologia, è riuscita a trovare un rimedio: esistono dei farmaci appositi che colmano le mancanze ormonali, ristabilendo nei processi biochimici quell'equilibrio perfetto che caratterizza gli esseri viventi.

INTRODUZIONE

Gli esseri viventi sono forme di materia che nel corso dell'evoluzione si sono organizzati e perfezionati passando dall'essere semplici molecole ad organismi sempre più complessi. Una delle esigenze principali che ha dato inizio a tale processo evolutivo è stata la necessità di fronteggiare il I e II principio della termodinamica. Ogni processo che avviene in natura è infatti regolato dalle leggi della termodinamica.

La I legge, della conservazione dell'energia, dice che, in qualsiasi modificazione chimica o fisica, la quantità totale di energia dell'universo resta costante; l'energia può cambiare forma o essere trasferita da una zona ad un'altra, ma non può essere né creata né distrutta.

$$\Delta U + W = Q$$

ΔU è la variazione di energia interna subita dal sistema durante la trasformazione, W è il lavoro compiuto durante la trasformazione e Q il calore scambiato con l'ambiente. Da tale legge deriva che un sistema può variare la propria energia interna solo attraverso scambi di calore e di lavoro con l'ambiente.

La II legge dà informazioni circa il criterio di spontaneità di un processo chimico: un processo può avvenire spontaneamente solo se la somma delle variazioni di entropia del sistema e dell'ambiente aumenta. La grandezza che fornisce il grado di disordine di un sistema è l'entropia S . L'entropia in tutti i processi naturali tende ad aumentare; quindi in altre parole la II legge della termodinamica dice che un processo può avvenire spontaneamente solo se la somma delle variazioni di entropia del sistema e dell'ambiente aumenta:

$$\Delta S_{\text{sistema}} + \Delta S_{\text{ambiente}} > 0$$

COME GLI ORGANISMI FRONTEGGIANO LA TERMODINAMICA

Alla luce del fatto che gli organismi viventi sono costituiti da un insieme di molecole più organizzate di quelle dell'ambiente circostante e che quindi contengono e producono ordine, ogni cellula vivente rappresenta un sistema in contrasto soprattutto col secondo principio della Termodinamica. Gli organismi viventi hanno infatti sviluppato modalità per contrastare la naturale tendenza dell'Universo all'aumento dell'entropia e per tale ragione quando perdono questa capacità, muoiono.



ordine, tipico degli organismi viventi



disordine, tipico dell'ambiente esterno

Le macromolecole che costituiscono i sistemi viventi si aggregano in strutture non covalenti con un ulteriore notevole aumento dell'ordine, e questo stato viene mantenuto per tutta la durata della vita stessa dell'organismo. Mantenere tale ordine però è possibile solo utilizzando grandi quantità di energia. Le cellule e gli organismi viventi sono infatti sistemi aperti, cioè scambiano continuamente energia e materia con l'ambiente esterno senza mai raggiungere un equilibrio con esso. Una situazione di **equilibrio** tra ambiente esterno e sistema vivente significa infatti la **morte del sistema** stesso. L'ordine prodotto dalle cellule dell'organismo durante la loro crescita e riproduzione è superato dal disordine che le stesse creano nell'ambiente circostante come conseguenza. I viventi sono infatti dei sistemi termodinamici aperti in stato stazionario. Con stato stazionario si intende un disequilibrio

permanente, mantenuto da un flusso di energia in entrata e in uscita dal sistema. Negli organismi viventi l'ordine interno viene conservato prelevando l'energia circostante sotto forma di sostanze nutrienti o luce solare e restituendo all'ambiente una quantità uguale di energia sotto forma di calore e di entropia, quindi attraverso dei **processi metabolici**.

IL METABOLISMO

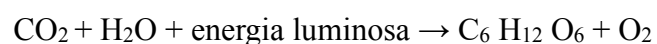
Il metabolismo è una rete altamente integrata di reazioni chimiche che avvengono in una cellula o in un organismo in cui cooperano molti sistemi multienzimici (le vie metaboliche) per rendere possibili due processi fondamentali:

- 1- estrarre energia e potere riducente dall'ambiente;
- 2- sintetizzare i precursori delle macromolecole biologiche e poi le macromolecole stesse.

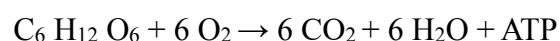
La possibilità che una reazione si svolga in un sistema biologico dipende dalla sua rilevanza o utilità in un particolare sistema metabolico e dalla velocità con cui deve svolgersi. Le reazioni che si svolgono nella cellula rappresentano un meccanismo che l'evoluzione ha messo in atto per potere eludere reazioni impossibili, cioè reazioni troppo lente per potere fornire un contributo al funzionamento della cellula, anche in presenza di enzimi.

Esistono due tipi di metabolismo: quello autotrofo e quello eterotrofo.

Gli organismi **autotrofi**, come le piante, ottengono energia attraverso l'immagazzinamento di energia luminosa, costruendo da sé a partire dall'acqua e dall'anidride carbonica molecole di glucosio e altre biomolecole (fotosintesi clorofilliana).



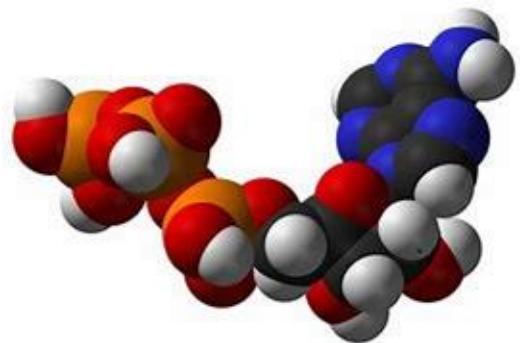
Gli organismi **eterotrofi**, come gli animali, acquistano energia attraverso l'ossidazione di sostanze organiche e per questo vengono detti anche chemiotrofi.



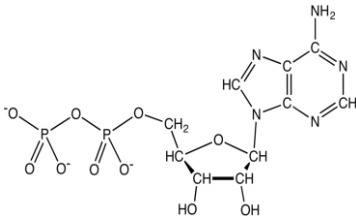
In entrambi i tipi di organismi, l'energia viene poi trasformata in **ATP**, una particolare forma di energia atta al trasporto e all'immagazzinamento.

L'operato del metabolismo si articola in due fasi specifiche:

- 1) il catabolismo, ovvero la fase degradativa del metabolismo nella quale le molecole organiche dei nutrienti vengono convertite in prodotti finali più semplici e in cui parte dell'energia viene conservata attraverso la produzione di ATP;
- 2) l'anabolismo, ovvero la fase di biosintesi in cui i precursori semplici vengono uniti tra di loro per costruire molecole più grandi.



IL COMBUSTIBILE DELLA VITA



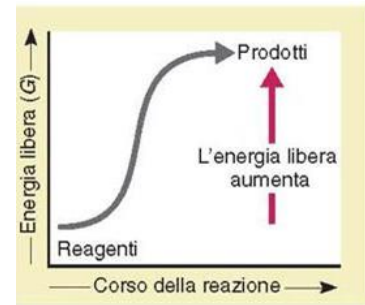
L'ATP, cioè l'adenosina trifosfato, formato da legami fosfolipidici, è fondamentale nei processi biochimici degli organismi: la sua **idrolisi**, ovvero la caduta di elettroni da un livello di energia superiore a uno inferiore, permette reazioni termodinamicamente impossibili, al punto che l'idrolisi stessa può essere considerata '**combustibile della vita**'.

I meccanismi alla base di tali processi di caduta degli elettroni e dell'assemblaggio di ATP ad essi associato vengono studiati dalla bioenergetica.

LA BIOENERGETICA

La bioenergetica è lo studio quantitativo delle **trasduzioni energetiche**, ovvero dei cambiamenti dell'energia da una forma ad un'altra che avvengono nelle cellule. È proprio la bioenergetica che studia i fenomeni termodinamici applicati alle reazioni biochimiche, quindi i processi biologici che riguardano l'utilizzo, l'immagazzinamento e il rilascio di energia.

Gli organismi viventi richiedono un continuo rifornimento di energia (ricavata dall'ambiente) per produrre lavoro meccanico, per trasportare ioni e molecole, per sintetizzare le macromolecole. L'energia totale di un sistema corrisponde alla somma tra l'energia libera, che produce lavoro, e l'energia vincolata, che è calore latente. Le reazioni compiute dagli organismi avvengono perlopiù in condizioni **isotermiche** ed **isobare**, quindi rispettivamente a temperatura e a pressione costante. La condizione di isotermità comporta che ogni lavoro svolto da un organismo, che sia una contrazione muscolare o la sintesi di una cellula o un impulso nervoso, non modifica la temperatura dell'ambiente esterno. Quindi l'energia necessaria per compiere un lavoro non deriva dal calore.



Le reazioni biologiche in cui si ha trasferimento di energia diversa dal calore sono:

- **endoergoniche**, cioè il prodotto che si forma si arricchisce di energia;

- **esoergoniche**, in cui si libera energia.



L'unica energia usata dagli organismi è quella chimica, cioè l'energia contenuta nei legami dei composti e che viene liberata quando questi sono sottoposti a particolari reazioni.

Nei sistemi biologici a temperatura e pressione costanti calcolare l'entropia del sistema è possibile, mentre il processo si complica per calcolare quella dell'ambiente esterno. Per calcolare ΔS ambiente si ricorre alla funzione dell'**energia libera G di Gibbs** che tiene conto dei parametri interni al sistema ed esclude i parametri legati all'ambiente:

$$\Delta G_{\text{ sistema }} = \Delta H_{\text{ sistema }} - T\Delta S_{\text{ sistema }}$$

Sono proprio queste 3 entità termodinamiche che descrivono le variazioni di energia in una reazione chimica:

- G, l'energia libera di Gibbs permette di conoscere la spontaneità di un fenomeno conoscendo solamente le proprietà del sistema in esame e ignorando quelle dell'ambiente circostante. Ci dice se un fenomeno è una trasformazione spontanea o no: $\Delta G < 0$ esoergonico spontaneo, $\Delta G > 0$ endoergonico non spontaneo, $\Delta G = 0$ processo all'equilibrio. Ci dice quindi se una trasformazione può compiere un lavoro generando energia o no.

- H, l'entalpia esprime le variazioni termiche dell'ambiente, quindi la quantità di energia che il sistema può scambiare con l'ambiente. H corrisponde all'energia totale del sistema e ci dice se una trasformazione produce calore o assorbe calore: se $\Delta H < 0$, il processo è esotermico con cessione di calore ed è la condizione più favorevole; se $\Delta H > 0$, il processo è endotermico quindi si assorbe calore ed è a condizione meno favorevole.

-S, l'entropia del sistema, aumenta quando una trasformazione avviene spontaneamente. Sono appunto favoriti i processi in cui aumenta il disordine. Il prodotto tra la temperatura assoluta T e la variazione di entropia ΔS corrisponde all'energia vincolata del sistema.

Questi parametri permettono di valutare l'energia effettivamente spendibile dal sistema.

L' ENERGIA LIBERA DI GIBBS E IL PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

La funzione dell'energia libera di Gibbs è strettamente legata alla prima legge della termodinamica $\Delta U + W = Q$. Sostituendo le grandezze di entropia e di entalpia alla prima legge è possibile ricavare la funzione dell'energia libera di Gibbs.

- Nelle trasformazioni a pressione costante, come nel caso dei sistemi biologici, il lavoro W è uguale al prodotto $p \times \Delta V$.

Il primo principio può quindi essere sviluppato nei seguenti passaggi:

1) $\Delta U + p \times \Delta V = Q$

2) $U_2 - U_1 + p \times (V_2 - V_1) = Q$, infatti Δ è la variazione

3) $U_2 - U_1 + pV_2 - pV_1 = Q$, si sviluppa il prodotto $p \times (V_2 - V_1)$

4) $(U_2 + pV_2) - (U_1 + pV_1) = Q$.

La somma tra energia interna U e lavoro $p \times \Delta V$ indica il contenuto termico totale del sistema, cioè l'entalpia H. Quindi nelle trasformazioni a pressione costante il calore Q coincide con la variazione di entalpia ΔH . Il primo principio può essere riscritto come:

$$\Delta U + p \Delta V = \Delta H.$$

A sua volta la funzione dell'energia libera di Gibbs può essere riscritta come:

$$\Delta G = \Delta U + p \Delta V - T \Delta S$$

- L'entropia S si calcola come $S = \frac{Q}{T}$ e quindi come $S \times T = Q$.

Si può dunque riscrivere il primo principio come:

$$\Delta U + W = T \Delta S$$

- Le due equazioni ricavate $\Delta U + p \Delta V = \Delta H$ e $\Delta U + W = T \Delta S$ possono essere uguagliate alla seguente maniera:

$$\Delta H - p \Delta V = T \Delta S - W$$

L'uguaglianza può essere ulteriormente riscritta:

$$\Delta H - T\Delta S = p \Delta V - W \rightarrow \Delta (H - TS) = p \Delta V - W$$

Quest'ultima equazione $\Delta (H - TS) = p \Delta V - W$ corrisponde proprio all'equazione dell'energia libera di Gibbs. ΔH sostituito a Q nella prima legge della termodinamica rappresenta infatti l'energia totale del sistema; $T\Delta S$, sostituito a Q sempre nella prima legge, rappresenta l'energia vincolata o calore latente; la variazione di lavoro $p \Delta V - W$ corrisponde a G , l'energia libera e quindi il lavoro utile.

UN CASO PARTICOLARE: LA TIROIDE DEGLI ESSERI UMANI

La tiroide è una piccola **ghiandola** dalla caratteristica forma a "farfalla" situata alla base del collo. È come un piccolo termostato interno a cui serve un aiuto per essere regolato, aiuto che è



costituito dall'asse endocrino che parte dall'ipotalamo (componente del nostro cervello più antico, deputata alla regolazione di tutti gli orfani endocrini) e passa per l'ipofisi (altro pezzettino di cervello deputato alla regolazione endocrina). La tiroide è responsabile della sintesi di **ormoni**, quali: triiodotironina (o **T3**), tiroxina (o **T4**) e calcitonina. Quest'ultima

mantiene in equilibrio i livelli di calcio, mentre T3 e T4 esercitano numerosi ruoli, fra cui la regolazione del metabolismo basale (o metabolismo energetico a riposo) dell'intero organismo. Nel dettaglio, gli ormoni tiroidei sono in grado di stimolare l'uso dell'energia e di regolare le riserve energetiche, stimolandone sintesi o degradazione a seconda delle loro concentrazioni: attraverso i suoi ormoni la tiroide indica all'organismo quanto veloce deve lavorare e come usare l'energia. Il metabolismo energetico a riposo costituisce, nei soggetti normali, la maggiore quota di energia spesa dall'organismo. I due fattori dai quali è influenzato più profondamente sono la quantità di massa magra presente nell'organismo e, appunto, le concentrazioni nel sangue degli ormoni della tiroide e gli effetti che essi esercitano sulle cellule. Gli ormoni tiroidei stimolano la **produzione** nella cellula dell' **ATP**, che modula alcune funzioni dei mitocondri, specificatamente coinvolte nell'utilizzo dei substrati energetici. La tiroide induce uno spostamento nel risultato della trasformazione dell'energia contenuta nel cibo. Se c'è tanto ormone tiroideo, si produrrà poco ATP e tanto calore (propensione al consumo), mentre se di ormone ce n'è poco si produrrà molto ATP e poco calore (propensione



all'accumulo), indipendentemente dalle calorie assunte. Ne consegue che, in presenza di **iper-** e **ipotiroidismo**, ci sono un maggiore o un minore consumo di energia per il metabolismo energetico a riposo che, a parità di assunzione di calorie, possono determinare riduzioni o aumenti di peso. Per colmare il deficit degli ormoni tiroidei e per ripristinare i valori ottimali si assumono farmaci a base di Levotiroxina.

In conclusione, un corretto livello degli ormoni della tiroide contribuisce a mantenere il giusto equilibrio di:

- metabolismo energetico a riposo;
- utilizzo dell'energia nella termogenesi, cioè un particolare processo metabolico che consiste nella produzione di calore da parte dell'organismo, soprattutto nel tessuto adiposo e muscolare;
- assunzione di cibo;
- peso corporeo.

TIRANDO LE SOMME

Per riassumere, grazie alla bioenergetica si spiega come sia possibile che gli esseri viventi riescano a sopravvivere e quindi a non raggiungere mai l'equilibrio termodinamico con l'ambiente esterno. I processi metabolici, che permettono agli organismi viventi di mantenere il proprio sistema ordinato e di scambiare e immagazzinare energia libera attraverso complesse reazioni biochimiche, si dimostrano essere le fondamenta della vita stessa.

SITOGRAFIA

<file:///C:/Users/sergi/Desktop/docsity-metabolismo-e-bioenergetica.pdf>

<http://www.treccani.it/vocabolario/>

<https://www.slideshare.net/SimonaButo/gli-essenziali-della-bioenergetica>

<https://cupratodilitio.blogspot.com/2014/04/bioenergetica-e-metabolismo.htm>

<http://wpage.unina.it/sacoppol/GuidaMicrogen/4Gener.htm>

<https://www.antonioamegna.it/tiroide-e-metabolismo/>

<https://www.fondazione-serono.org/tiroide/effetti-ormoni-tiroide/effetti-ormoni-tiroidei-metabolismo-zuccheri-grassi/>

<https://online.scuola.zanichelli.it/chimicafacile/files/2014/09/La-termodinamica.pdf>

Marina Garofalo, 4[°]I