

Sommario: 1. La radioattività. - 2. Il decadimento radioattivo. - 3. Reazioni nucleari.

1. LA RADIOATTIVITÀ

Le reazioni fra i diversi atomi possono essere spiegate in base alla loro configurazione elettronica. La materia, però, può subire trasformazioni ben più profonde: variazioni della struttura e della composizione del nucleo atomico. Tali trasformazioni, indicate come **reazioni nucleari**, sono oggetto di studio della **Chimica nucleare**.

Alla fine del 1800, il fisico francese *Becquerel* e i coniugi francesi *Pierre e Marie Curie* scoprirono che alcuni minerali hanno la capacità di emettere radiazioni molto penetranti e in grado di rendere l'aria conduttrice di elettricità, ionizzandola. I composti con tali proprietà furono chiamati **radioattivi**. I tre studiosi, assieme, ebbero il premio Nobel nel 1903.

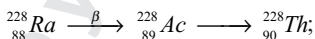
Il fisico inglese *Rutherford*, premio Nobel nel 1911, dimostrò che le **radiazioni** emesse dalle **sostanze radioattive** possono essere classificate in tre tipi:

- **radiazioni α** , costituite da *due neutroni* e *due protoni*, pari quindi a un nucleo di elio (${}^4_2\text{H}$). Sono radiazioni poco penetranti arrestate già da pochi cm d'aria; impressionano le lastre fotografiche, destano fluorescenza in alcune sostanze, ionizzano i gas, sono deviate da un campo elettrico o magnetico; viaggiano a 12.000-20.000 km/sec.

La perdita di una particella α fa *diminuire il numero atomico di due unità* e il *numero di massa di quattro unità*, trasformando così l'elemento di partenza in



- **radiazioni β** , costituite da *elettroni* che derivano dalla scissione di un neutrone in protone e elettrone. Sono radiazioni con forte potere penetrante, in grado di attraversare anche lamine di alluminio di qualche mm; impressionano le lastre fotografiche, ionizzano i gas, destano fluorescenza in alcune sostanze. Sono deviate da un campo elettrico o magnetico; viaggiano a 270.000 km/sec. La perdita di una particella β *aumenta di un unità il numero atomico*, es:



- **radiazioni γ** , sono *onde elettromagnetiche* con energia più alta dei raggi X. Hanno forte potere penetrante e attraversano anche lamine di piombo; impressionano le lastre fotografiche, destano fluorescenza in alcune sostanze. Viaggiano all'incirca con la stessa velocità della luce. La loro emissione non fa variare l'elemento coinvolto: sono infatti *senza carica* e di *massa non rilevabile*.

Nel nucleo, i protoni e i neutroni rimangono uniti gli uni agli altri, poiché legati hanno un'energia minore che isolati; infatti, quando più nucleoni si legano, la loro massa diminuisce e la quantità che scompare si trasforma in energia liberata dal nucleo. Il *difetto di massa* è piccolissimo ($\cong 0,7\%$ in peso), ma la quantità di energia che si produce è grandissima. La relazione esistente tra la massa m e l'energia E è chiaramente espressa dalla *relazione di Einstein*:

$$E = mc^2$$

dove c è la velocità della luce. Da tale relazione si evince che da masse anche infinitesimamente piccole si ottengono quantità di energia molto grandi. Non tutti gli atomi però sono ugualmente stabili, a causa soprattutto del *rapporto tra il numero dei neutroni e dei protoni* presenti nel nucleo; quando tale rapporto è molto diverso da 1, i nuclei per stabilizzarsi, tendono a emettere radiazioni.

La **radioattività** è il fenomeno per cui un nucleo instabile emette radiazioni per stabilizzarsi. Gli atomi che emettono radiazioni sono definiti **isotopi radioattivi**.

Durante l'emissione di tali radiazioni, un nucleo si trasforma in un altro nucleo: se quest'ultimo è ancora instabile si trasforma nuovamente e il processo continua fino alla formazione di un nucleo stabile.

2. IL DECADIMENTO RADIOATTIVO

Il processo in seguito al quale un nucleo emette radiazioni trasformandosi, è definito **decadimento radioattivo**. La velocità di questa trasformazione non è costante: *in tempi uguali non si consuma la stessa quantità, bensì la stessa percentuale di radioisotopo*.

Il tempo in cui la metà del numero iniziale dei nuclei di un isotopo radioattivo viene disintegrata, è detto **tempo di dimezzamento**, può oscillare da miliardi di anni a milionesimi di secondo.

Es. Il Ra ha un t. di dim. = 1.600 anni, per cui partendo da 1 g di Ra, dopo 1.600 anni la metà si è trasformata e la metà è ancora Ra, dopo altri 1.600 anni la metà del rimanente Ra si trasforma per cui rimane 1/4 di quella iniziale, e così via:

t_0	=	1 g
$t_{1.600}$	=	0,5 g
$t_{3.200}$	=	0,25
$t_{6.400}$	=	0,125

3. REAZIONI NUCLEARI

Le trasformazioni nucleari non avvengono solo per effetto della radioattività, ma anche quando qualche particella dotata di sufficiente energia colpisce il nucleo di un atomo. Molto spesso l'atomo colpito si trasforma in un atomo diverso, il più

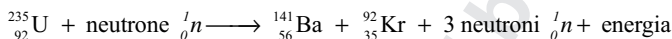
delle volte radioattivo. La formazione di nuclei diversi e la contemporanea emissione di particelle aventi caratteristiche totalmente nuove, è definita **radioattività artificiale**.

A) La fissione nucleare

La **fissione nucleare** è un caso particolare di reazione nucleare, nella quale un elemento radioattivo a elevato peso atomico, se viene colpito, si spezza in due nuclei di massa totale leggermente inferiore, liberando energia.

La massa perduta si trasforma in energia secondo la relazione $E = mc^2$.

Un esempio di reazione di fissione nucleare è il seguente:

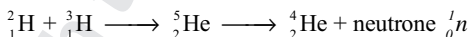


Tale reazione ha questa caratteristica: i neutroni che si formano possono colpire altri nuclei innescando così una **reazione a catena**, per cui se la massa di sostanza radioattiva è sufficiente, la reazione diventa incontrollata, così come accade nelle *bombe atomiche*. In condizioni particolari, limitando il numero di neutroni che producono nuove fissioni, attraverso una reazione controllata si riesce a produrre energia, così come avviene nelle *centrali elettronucleari*.

B) La fusione nucleare

La **reazione di fusione nucleare** è un altro tipo di reazione nucleare, nella quale due nuclei leggeri si incontrano e si fondono, producendo un nucleo più pesante e moltissima energia.

Quando due nuclei si uniscono, infatti, si libera una grande quantità di energia dovuta al difetto di massa ($E = mc^2$). Ad esempio:



quindi, un atomo di *deuterio* si fonde con uno di *tritio* per dare un atomo di elio ${}_2^4\text{He}$ che, essendo instabile, si scinde in ${}_2^4\text{He}$ e un neutrone. La fusione nucleare libera un'energia dieci volte superiore a quella liberata dalla fissione. Nel Sole continuamente avvengono tali reazioni, che sono alla base dell'enorme quantità di energia termica e luce che da miliardi di anni riscalda e illumina la Terra. Perché la reazione nucleare avvenga, è necessario che i due nuclei si avvicinino, e per questo occorre che essi siano dotati di forze superiori alla forza di repulsione di tipo elettrostatico, esercitata dalle cariche entrambe negative dei due nuclei. Ecco perché tali reazioni avvengono solo a temperature molto elevate. Gli scienziati sono riusciti a produrre la fusione nucleare nelle bombe a idrogeno, o *bombe H*, in cui l'idrogeno pesante, ossia il deuterio, viene riscaldato in seguito all'esplosione di una bomba atomica. Una bomba H è, quindi, ancor più disastrosa di una bomba atomica e la sua esplosione equivale all'esplosione di 100 milioni di tonnellate di tritolo, e produce la temperatura di 1 miliardo di gradi.

Sommario: 1. Flusso di energia nella biosfera. - 2. Il metabolismo. - 3. La fotosintesi. - 4. L'ossidazione del glucosio: glicolisi e respirazione. - 5. Altre vie metaboliche: la fermentazione.

Prima di studiare le reazioni metaboliche cellulari è opportuno chiarire, sinteticamente, qual è la principale *fonte di energia* degli organismi viventi, quali sono le *leggi fisiche* che governano il flusso di energia nell'universo, e come questo flusso regola le *reazioni chimiche cellulari* e dell'*organismo in toto* in tutte le forme viventi.

1. FLUSSO DI ENERGIA NELLA BIOSFERA

La vita sulla Terra è possibile grazie al **flusso di energia** proveniente dalle reazioni termonucleari solari. Il premio Nobel *A. Szent Gyorgyi* affermava che: «*Ciò che guida la vita [...] è una piccola corrente elettrica, alimentata dalla luce del Sole*». L'energia solare viene dapprima convertita in energia chimica e quindi trasformata in energia termica, meccanica ed elettrica, attraverso due processi fondamentali:

- la **fotosintesi**: l'energia solare è immagazzinata, nei legami chimici delle molecole organiche sintetizzate dagli *organismi autotrofi* quali piante verdi e alcuni batteri, che utilizzano come unica fonte di carbonio, l'anidride carbonica (CO_2);
- la **respirazione**: consiste nella demolizione *per ossidazione* dei composti ricchi di energia, formati durante il primo processo. L'energia viene in parte convertita in calore e in parte conservata nei legami fosforici delle molecole di **ATP** (*adenosintrifosfato*), per poi essere liberata quando la cellula compie un lavoro. Tale processo è svolto sia dagli organismi *autotrofi*, sia *eterotrofi*; questi ultimi, ossia la maggior parte degli organismi viventi quali l'uomo, gli animali, i funghi e molti batteri, sono incapaci di sintetizzare sostanze organiche a partire da CO_2 e di conseguenza devono nutrirsi di sostanze complesse prodotte dagli autotrofi.

Il *lavoro*, inteso quindi come *liberazione di energia*, consente agli organismi viventi di svolgere tutte le funzioni vitali, mentre parte del calore non utilizzato viene disperso nell'ambiente. Tutte le trasformazioni energetiche tanto della materia vivente quanto di quella non vivente sono regolate da due principi fondamentali: *le leggi della Termodinamica*:

- la **I legge** afferma che: *l'energia non è né creata, né distrutta, bensì viene convertita da una forma all'altra*;
- la **II legge** afferma che: *nelle trasformazioni energetiche, l'energia utile, cioè capace di compiere un lavoro, diminuisce poiché parte viene dispersa sotto forma di calore*.

2. IL METABOLISMO

Il *metabolismo* è l'insieme delle reazioni di trasformazione dell'energia e della materia che avvengono in ogni singola cellula e quindi nell'intero organismo. Consiste di due fasi:

- il **catabolismo** è la fase degradativa durante la quale molecole organiche complesse (lipidi-glucidi-proteine) vengono degradate a molecole semplici con rilascio di energia, quest'ultima poi conservata nei legami fosforici dell'ATP;
- l'**anabolismo** è la fase di ritorno, ossia di biosintesi, durante la quale da precursori più semplici si formano molecole complesse. L'energia richiesta da tale processo viene fornita dall'ATP prodotto durante la fase catabolica.

I due meccanismi avvengono simultaneamente, con sequenze di reazioni proporzionate fra loro e lunghe anche fino a 20 passaggi; ciò per permettere interconversioni nella rete metabolica che in un unico passaggio non sarebbero possibili.

L'energia usata durante le reazioni metaboliche viene misurata in **calorie (cal)**. 1 cal è la quantità di calore necessaria per innalzare di 1°C la temperatura di 1 g di acqua da 14,5°C a 15,5°C; in biologia si usa un multiplo della caloria che è la **chilocaloria (Kcal)**.

A) Regolazione del metabolismo

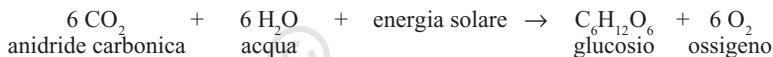
Le cellule viventi possono controllare le reazioni chimiche del loro metabolismo sia variandone la velocità attraverso l'uso di catalizzatori proteici chiamati **enzimi**, sia sintetizzando molecole **trasportatrici di energia** (ad es. ATP). Tali molecole si caricano con l'energia prodotta dalle *reazioni esoergoniche* (= reazioni che avvengono con produzione di energia) e la trasferiscono in un altro punto della cellula restituendola attraverso una *reazione endoergonica* (= reazione che richiede energia per avvenire). Tutte le reazioni, anche le esoergoniche che in teoria potrebbero avvenire spontaneamente, per iniziare hanno bisogno di un apporto di energia. La velocità di una qualsiasi reazione è, quindi, determinata dalla sua *energia di attivazione*, che può essere considerata l'energia utile affinché le molecole si urtino, permettendo così alle loro nubi elettroniche di vincere le forze di repulsione e di compenetrarsi. Lo svolgersi di molte reazioni è, infatti, limitato dalla velocità con cui le molecole reagenti si uniscono. In laboratorio per aumentare l'energia cinetica delle molecole viene somministrata energia sotto forma di calore; nella realtà ciò non può accadere, in quanto il calore spezzerebbe numerosi legami chimici e avrebbe effetti deleteri sulle cellule. Il tutto viene ovviato dalla presenza di **catalizzatori**, molecole proteiche capaci di accelerare una reazione senza modificarsi o consumarsi. Gli **enzimi** sono catalizzatori biologici che formano un'associazione temporanea con le molecole reagenti. Questa associazione indebolisce i legami chimici esistenti e facilita la formazione di altri. Ogni enzima possiede una regione detta *sito attivo* a cui si legano le molecole reagenti, chiamate *substrati* dell'enzima. Sia le molecole dei substrati, sia i siti attivi dell'enzima hanno forme e cariche elettriche complementari e specifiche. Il catalizzatore, al termine del processo, è inalterato e può essere usato più volte.

Gli enzimi talvolta lavorano in serie con altre molecole organiche non proteiche come l' NAD^+ e l' FAD , dette **coenzimi** che funzionano come trasportatori di elettroni. L'energia sviluppata durante le reazioni esoergoniche della fase catabolica e fotosintetica permette negli organismi viventi, lo svolgersi di fondamentali reazioni endoergoniche: la sintesi di molecole complesse (anabolismo), l'attività cerebrale, motoria ecc. Poiché le due fasi, esoergonica ed endoergonica, avvengono spesso in distretti cellulari differenti, all'interno della cellula vi sono molecole **trasportatrici di energia**, prima fra tutte l'**ATP (adenosintrifosfato)**. L'ATP è un **nucleotide** formato da tre subunità: una base azotata quale l'*adenina*, uno zucchero a cinque atomi di carbonio detto *ribosio* e *tre gruppi fosfato*.

I gruppi fosfato hanno forte carica negativa e, siccome cariche negative vicine tendono a respingersi, i legami che uniscono gli ultimi due fosfati sono instabili in quanto «altamente energetici» e quindi destinati a rompersi con facilità, liberando energia. Generalmente solo l'ultimo fosfato viene usato, trasformando l'ATP in **ADP (adenosindifosfato)** con liberazione di circa 7 Kcal/mole; l'ADP può, con l'apporto di 7 Kcal/mole e riguadagnando il terzo gruppo fosfato, essere riconvertito in ATP.

3. LA FOTOSINTESI

Gli *organismi eterotrofi* risolvono i loro processi energetici attraverso l'ossidazione di molecole organiche che prendono già formate da altri esseri viventi. Se tutti gli organismi fossero eterotrofi, una volta degradata l'intera materia organica, la vita cesserebbe. Esistono perciò *organismi autotrofi* capaci di sintetizzare molecole complesse a partire da CO_2 e H_2O a spese dell'energia solare, attraverso il processo di **fotosintesi clorofilliana**, così schematizzabile:



Sede della fotosintesi nelle piante verdi sono i **cloroplasti**. L'intero processo è suddiviso in due fasi: la **fase luminosa** che si sviluppa sulle membrane dei tilacoidi e la **fase oscura** che avviene nello stroma.

A) Fase luminosa

La luce visibile è costituita da «pacchetti» di energia, detti **fotoni**. L'energia di un fotone è inversamente proporzionale alla sua lunghezza d'onda. I pigmenti contenuti sulle membrane dei tilacoidi dei cloroplasti quali la **clorofilla**, i **carotenoidi** e le **ficocianine**, assorbono la luce a lunghezze d'onda diverse riuscendo a coprire la banda dello spettro elettromagnetico compreso fra 400 e 750 nanometri che corrisponde alle *radiazioni visibili*. I *carotenoidi* ad esempio, ci appaiono giallo-arancio perché assorbono prevalentemente le radiazioni di *lunghezza d'onda* intorno ai 450-550 nm che corrispondono al violetto-blu-verde, e rimandano indietro quelle fra 550-750 nm, ossia quelle giallo-arancio-rosso. Le *clorofille a e b* assorbono una a 680 nm e l'altra a 440 nm (rosso e blu): ecco perché ci appaiono verdi. Poiché i pigmenti dei tilacoidi sono vari e assorbono a lunghezze d'onda varie, possiamo dire che la fotosintesi è stimolata in una certa misura da tutti i colori dello spettro del visibile.

I cloroplasti per catturare meglio la luce solare non restano immobili, bensì si spostano all'interno della cellula, orientandosi opportunamente in direzione dei raggi solari. Il loro numero, in una cellula può variare da uno a più di cento ed in una stessa cellula varia anche in funzione delle condizioni di illuminazione.

Nelle membrane dei tilacoidi, la clorofilla, i pigmenti accessori e le molecole trasportatrici di elettroni, costituiscono i **fotosistemi I e II** (Fig. 1).

La fase luminosa inizia con l'assorbimento dell'energia luminosa a livello del II fotosistema. La clorofilla eccitata libera elettroni (e^-) i quali, proprio perché eccitati, raggiungono, contro gradiente, dei recettori di e^- e cominciano a fluire verso livelli di energia più bassi attraverso una catena di trasporto di e^- ; in seguito a tale flusso liberano energia, che viene immagazzinata come ATP. Il centro del fotosistema II, rimasto con un buco elettronico, viene neutralizzato dai prodotti della *fotolisi dell'acqua* secondo la reazione: $H_2O \xrightarrow{\text{luce}} 1/2 O_2 + 2e^- + 2H^+$.

Nel frattempo il fotosistema I, anch'esso colpito dalla luce, libera e^- i quali, eccitati, si spostano contro gradiente verso un livello di energia superiore andando a ridurre una proteina accettrice di e^- ; questa a sua volta li cede all' $NADP^+$ riducendolo ad NADPH. Il buco di e^- del fotosistema I viene poi riempito dagli e^- provenienti dal fotosistema II. Durante tale fase luminosa si accumula, quindi, energia solare nei legami chimici dell'ATP e dell'NADPH e si libera ossigeno. È grazie a questo "catabolita di scarto" che viene versato nell'aria, che sulla Terra si sono prodotte le condizioni ambientali adatte allo sviluppo di forme di vita, e questa condizione è unica all'interno del Sistema Solare. Trascurando la stechiometria il processo può essere così schematizzato:



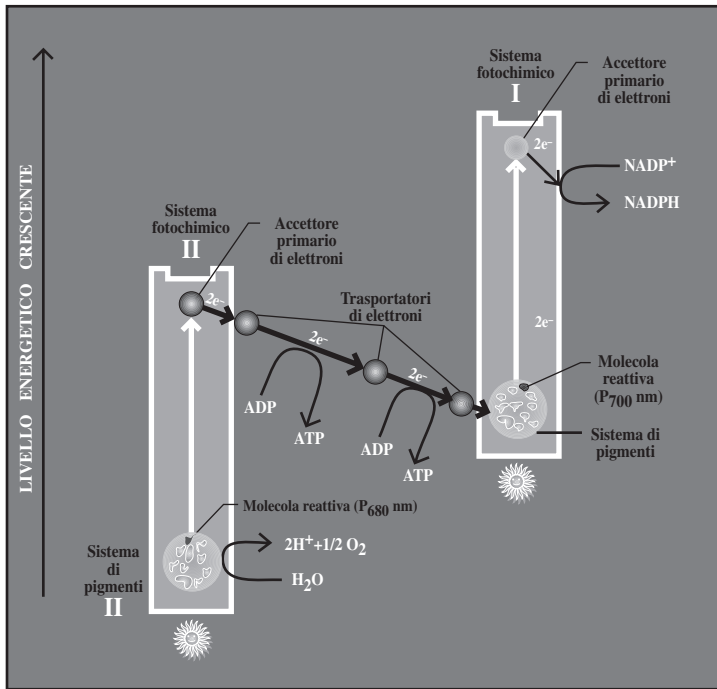


Fig. 1 - Schema della fase luminosa della fotosintesi

B) Fase oscura o ciclo di Calvin-Benson

Durante la fase oscura, così chiamata perché non richiede la presenza di luce ed avviene quindi durante qualsiasi ora del giorno e della notte, l' $NADPH$ e l' ATP formati precedentemente, vengono usati come fonte di energia per produrre carboidrati, attraverso la fissazione dell'anidride carbonica.

Tale ciclo (Fig. 2) si compie nello stroma dei cloroplasti e inizia e si conclude con uno zucchero a cinque carboni, il *ribuloso 1,5 difosfato (RuDP)*; a ogni giro del ciclo entra un atomo di carbonio sotto forma di CO_2 ; tre giri del ciclo producono una molecola a tre carboni, la *fosfogliceraldeide (PGA)*. Due molecole di PGA (sei giri del ciclo) si combinano per formare una molecola di *glucosio*. A ogni giro del ciclo si rigenera il RuDP, mentre la PGA può essere usata come materiale di partenza per la sintesi di altri composti organici.

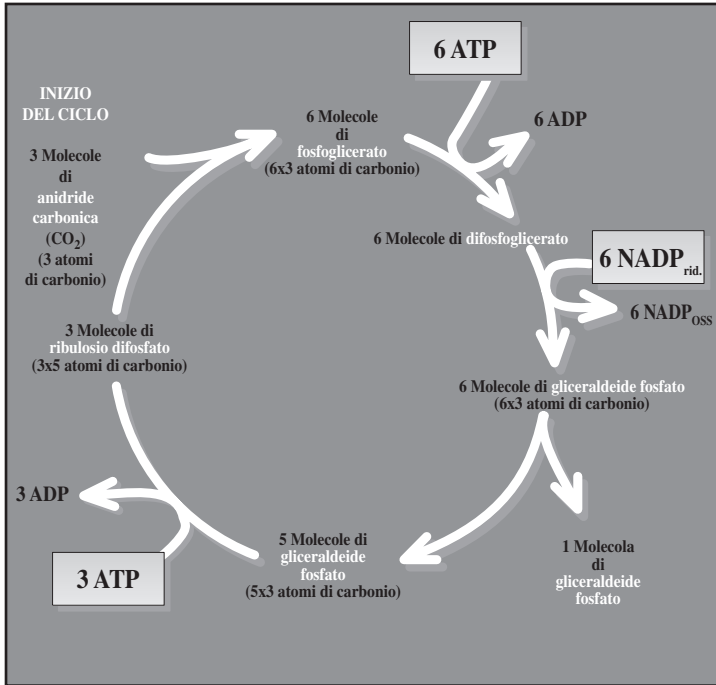


Fig. 2 - Schema del ciclo di Calvin

4. L'OSSIDAZIONE DEL GLUCOSIO: GLICOLISI E RESPIRAZIONE

Sebbene nelle molecole di glucosio prodotte dalla fotosintesi vi sia molta energia, questa per essere usata dagli organismi viventi deve essere trasferita nell'energia più accessibile dei legami dell'ATP. I processi di **ossidazione biologica** del glucosio sono suddivisi in due tappe fondamentali: la **glicolisi** e la **respirazione**, quest'ultima a sua volta suddivisa in **ciclo di Krebs** e **fosforilazione ossidativa**. In assenza di ossigeno, alla glicolisi segue la **fermentazione**. La glicolisi si svolge nel citoplasma cellulare, la respirazione nei mitocondri.

A) La glicolisi

Ha luogo senza bisogno di ossigeno ed è comune a tutte le cellule viventi, dai procarioti agli eucarioti. Si tratta di un processo che avviene da più di 3,5 miliardi di anni, il che sottolinea ancora una volta come gli esseri viventi, pur ognuno diverso dall'altro, siano in realtà assai simili tra loro. Si svolge nel citoplasma con una serie

di nove reazioni, ognuna catalizzata da un enzima specifico, tutti posti lungo tratti del citoscheletro cellulare. Se l'energia chimica del glucosio venisse liberata tutta in una volta la cellula non sarebbe in grado di utilizzarla e dovrebbe liberarsene sotto forma di calore, con un aumento di temperatura letale per la cellula. In questo modo l'energia viene liberata gradualmente e poi conservata sotto forma di molecole di ATP.

Nel primo stadio il glucosio, sfruttando l'energia dell'ATP, si trasforma in fruttosio 1,6-difosfato che si scinde in due molecole, una di fosfogliceraldeide (PGAL) ed una di diidrossiacetonfosfato (DHAP), la quale ultima si trasforma anch'essa in PGAL. A questo punto ogni molecola di PGAL viene ossidata e l'atomo di idrogeno viene aggiunto all' NAD^+ «esaurito» per ottenere NADH, ed un gruppo fosfato si lega alla catena di carbonio formando un legame ad alta energia. Ne risultano 2 molecole di 1,3 difosfoglicerato che perdono poi un fosfato che viene trasferito all'ADP per formare ATP per un totale di 2 ATP che compensano quelli inizialmente usati.

Dopo un altro riarrangiamento, il secondo fosfato dal fosfoenolpiruvato viene trasferito all'ADP per dare ATP, lasciando il piruvato come prodotto finale della glicolisi. Si ha quindi un guadagno netto di 2 ATP per ogni molecola di glucosio.

B) La respirazione cellulare: ciclo di Krebs e fosforilazione ossidativa

Come vedremo è questa la strada catabolica più efficiente per liberare energia dal glucosio.

La respirazione cellulare avviene solo in *aerobiosi* in due distretti mitocondriali: la **matrice** e lo **spazio intermembranico**. Nella matrice, le due molecole di acido piruvico ottenute per glicolisi di una molecola di glucosio, reagiscono con il coenzima A (CoA) formando CO_2 e *acetil-CoA*. Durante tale reazione un NAD^+ si trasforma per aggiunta di un idrogeno in NADH.

L'acetil-CoA è un prodotto intermedio di grande importanza poiché non proviene solo dalla glicolisi ma anche da altre vie metaboliche come la degradazione degli acidi grassi e degli aminoacidi. È importante sottolineare che da questo passaggio in poi tutte le trasformazioni a cui andrà incontro la molecola di acetil-CoA si verificano *due volte* per ciascuna molecola di glucosio, cioè è importante quando alla fine si calcola il bilancio energetico totale che deriva dalla demolizione ossidativa di una molecola di glucosio.

L'acetil-CoA è una molecola molto ricca di energia per cui le due molecole di acetil-CoA entrano nel **Ciclo di Krebs** e unendosi all'*acido ossalacetico* danno origine ad una serie di nove reazioni, ognuna catalizzata da un enzima specifico. Per ogni ciclo completo si formano dall'ossidazione dell'acetil-CoA: tre molecole di NADH, una di FADH_2 , due di CO_2 ed una di ATP.

A questo punto la cellula ha ottenuto solo 4 molecole di ATP dalla molecola iniziale di glucosio: 2 nella glicolisi e 2 nel Ciclo di Krebs. La cellula, tuttavia, ha anche catturato molti elettroni sotto forma di 2 molecole di NADH durante la glicolisi, nonché 8 di NADH e 2 di FADH_2 nelle reazioni della matrice, per un totale di 10 NADH e 2 FADH_2 .

Sommario: 1. Flusso di energia nella biosfera. - 2. Il metabolismo. - 3. La fotosintesi. - 4. L'ossidazione del glucosio: glicolisi e respirazione. - 5. Altre vie metaboliche: la fermentazione.

Prima di studiare le reazioni metaboliche cellulari è opportuno chiarire, sinteticamente, qual è la principale *fonte di energia* degli organismi viventi, quali sono le *leggi fisiche* che governano il flusso di energia nell'universo, e come questo flusso regola le *reazioni chimiche cellulari* e dell'*organismo in toto* in tutte le forme viventi.

1. FLUSSO DI ENERGIA NELLA BIOSFERA

La vita sulla Terra è possibile grazie al **flusso di energia** proveniente dalle reazioni termonucleari solari. Il premio Nobel *A. Szent Gyorgyi* affermava che: «*Ciò che guida la vita [...] è una piccola corrente elettrica, alimentata dalla luce del Sole*». L'energia solare viene dapprima convertita in energia chimica e quindi trasformata in energia termica, meccanica ed elettrica, attraverso due processi fondamentali:

- la **fotosintesi**: l'energia solare è immagazzinata, nei legami chimici delle molecole organiche sintetizzate dagli *organismi autotrofi* quali piante verdi e alcuni batteri, che utilizzano come unica fonte di carbonio, l'anidride carbonica (CO_2);
- la **respirazione**: consiste nella demolizione *per ossidazione* dei composti ricchi di energia, formati durante il primo processo. L'energia viene in parte convertita in calore e in parte conservata nei legami fosforici delle molecole di **ATP** (*adenosintrifosfato*), per poi essere liberata quando la cellula compie un lavoro. Tale processo è svolto sia dagli organismi *autotrofi*, sia *eterotrofi*; questi ultimi, ossia la maggior parte degli organismi viventi quali l'uomo, gli animali, i funghi e molti batteri, sono incapaci di sintetizzare sostanze organiche a partire da CO_2 e di conseguenza devono nutrirsi di sostanze complesse prodotte dagli autotrofi.

Il *lavoro*, inteso quindi come *liberazione di energia*, consente agli organismi viventi di svolgere tutte le funzioni vitali, mentre parte del calore non utilizzato viene disperso nell'ambiente. Tutte le trasformazioni energetiche tanto della materia vivente quanto di quella non vivente sono regolate da due principi fondamentali: *le leggi della Termodinamica*:

- la **I legge** afferma che: *l'energia non è né creata, né distrutta, bensì viene convertita da una forma all'altra*;
- la **II legge** afferma che: *nelle trasformazioni energetiche, l'energia utile, cioè capace di compiere un lavoro, diminuisce poiché parte viene dispersa sotto forma di calore*.

2. IL METABOLISMO

Il *metabolismo* è l'insieme delle reazioni di trasformazione dell'energia e della materia che avvengono in ogni singola cellula e quindi nell'intero organismo. Consiste di due fasi:

- il **catabolismo** è la fase degradativa durante la quale molecole organiche complesse (lipidi-glucidi-proteine) vengono degradate a molecole semplici con rilascio di energia, quest'ultima poi conservata nei legami fosforici dell'ATP;
- l'**anabolismo** è la fase di ritorno, ossia di biosintesi, durante la quale da precursori più semplici si formano molecole complesse. L'energia richiesta da tale processo viene fornita dall'ATP prodotto durante la fase catabolica.

I due meccanismi avvengono simultaneamente, con sequenze di reazioni proporzionate fra loro e lunghe anche fino a 20 passaggi; ciò per permettere interconversioni nella rete metabolica che in un unico passaggio non sarebbero possibili.

L'energia usata durante le reazioni metaboliche viene misurata in **calorie (cal)**. 1 cal è la quantità di calore necessaria per innalzare di 1°C la temperatura di 1 g di acqua da 14,5°C a 15,5°C; in biologia si usa un multiplo della caloria che è la **chilocaloria (Kcal)**.

A) Regolazione del metabolismo

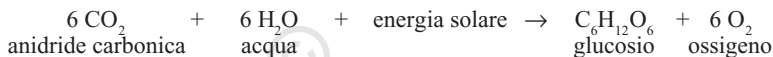
Le cellule viventi possono controllare le reazioni chimiche del loro metabolismo sia variandone la velocità attraverso l'uso di catalizzatori proteici chiamati **enzimi**, sia sintetizzando molecole **trasportatrici di energia** (ad es. ATP). Tali molecole si caricano con l'energia prodotta dalle *reazioni esoergoniche* (= reazioni che avvengono con produzione di energia) e la trasferiscono in un altro punto della cellula restituendola attraverso una *reazione endoergonica* (= reazione che richiede energia per avvenire). Tutte le reazioni, anche le esoergoniche che in teoria potrebbero avvenire spontaneamente, per iniziare hanno bisogno di un apporto di energia. La velocità di una qualsiasi reazione è, quindi, determinata dalla sua *energia di attivazione*, che può essere considerata l'energia utile affinché le molecole si urtino, permettendo così alle loro nubi elettroniche di vincere le forze di repulsione e di compenetrarsi. Lo svolgersi di molte reazioni è, infatti, limitato dalla velocità con cui le molecole reagenti si uniscono. In laboratorio per aumentare l'energia cinetica delle molecole viene somministrata energia sotto forma di calore; nella realtà ciò non può accadere, in quanto il calore spezzerebbe numerosi legami chimici e avrebbe effetti deleteri sulle cellule. Il tutto viene ovviato dalla presenza di **catalizzatori**, molecole proteiche capaci di accelerare una reazione senza modificarsi o consumarsi. Gli **enzimi** sono catalizzatori biologici che formano un'associazione temporanea con le molecole reagenti. Questa associazione indebolisce i legami chimici esistenti e facilita la formazione di altri. Ogni enzima possiede una regione detta *sito attivo* a cui si legano le molecole reagenti, chiamate *substrati* dell'enzima. Sia le molecole dei substrati, sia i siti attivi dell'enzima hanno forme e cariche elettriche complementari e specifiche. Il catalizzatore, al termine del processo, è inalterato e può essere usato più volte.

Gli enzimi talvolta lavorano in serie con altre molecole organiche non proteiche come l' NAD^+ e l' FAD , dette **coenzimi** che funzionano come trasportatori di elettroni. L'energia sviluppata durante le reazioni esoergoniche della fase catabolica e fotosintetica permette negli organismi viventi, lo svolgersi di fondamentali reazioni endoergoniche: la sintesi di molecole complesse (anabolismo), l'attività cerebrale, motoria ecc. Poiché le due fasi, esoergonica ed endoergonica, avvengono spesso in distretti cellulari differenti, all'interno della cellula vi sono molecole **trasportatrici di energia**, prima fra tutte l'**ATP (adenosintrifosfato)**. L'ATP è un **nucleotide** formato da tre subunità: una base azotata quale l'*adenina*, uno zucchero a cinque atomi di carbonio detto *ribosio* e *tre gruppi fosfato*.

I gruppi fosfato hanno forte carica negativa e, siccome cariche negative vicine tendono a respingersi, i legami che uniscono gli ultimi due fosfati sono instabili in quanto «altamente energetici» e quindi destinati a rompersi con facilità, liberando energia. Generalmente solo l'ultimo fosfato viene usato, trasformando l'ATP in **ADP (adenosindifosfato)** con liberazione di circa 7 Kcal/mole; l'ADP può, con l'apporto di 7 Kcal/mole e riguadagnando il terzo gruppo fosfato, essere riconvertito in ATP.

3. LA FOTOSINTESI

Gli *organismi eterotrofi* risolvono i loro processi energetici attraverso l'ossidazione di molecole organiche che prendono già formate da altri esseri viventi. Se tutti gli organismi fossero eterotrofi, una volta degradata l'intera materia organica, la vita cesserebbe. Esistono perciò *organismi autotrofi* capaci di sintetizzare molecole complesse a partire da CO_2 e H_2O a spese dell'energia solare, attraverso il processo di **fotosintesi clorofilliana**, così schematizzabile:



Sede della fotosintesi nelle piante verdi sono i **cloroplasti**. L'intero processo è suddiviso in due fasi: la **fase luminosa** che si sviluppa sulle membrane dei tilacoidi e la **fase oscura** che avviene nello stroma.

A) Fase luminosa

La luce visibile è costituita da «pacchetti» di energia, detti **fotoni**. L'energia di un fotone è inversamente proporzionale alla sua lunghezza d'onda. I pigmenti contenuti sulle membrane dei tilacoidi dei cloroplasti quali la **clorofilla**, i **carotenoidi** e le **ficocianine**, assorbono la luce a lunghezze d'onda diverse riuscendo a coprire la banda dello spettro elettromagnetico compreso fra 400 e 750 nanometri che corrisponde alle *radiazioni visibili*. I *carotenoidi* ad esempio, ci appaiono giallo-arancio perché assorbono prevalentemente le radiazioni di *lunghezza d'onda* intorno ai 450-550 nm che corrispondono al violetto-blu-verde, e rimandano indietro quelle fra 550-750 nm, ossia quelle giallo-arancio-rosso. Le *clorofille a e b* assorbono una a 680 nm e l'altra a 440 nm (rosso e blu): ecco perché ci appaiono verdi. Poiché i pigmenti dei tilacoidi sono vari e assorbono a lunghezze d'onda varie, possiamo dire che la fotosintesi è stimolata in una certa misura da tutti i colori dello spettro del visibile.