



# FOTOSINTESI





Aristotele, e gli altri studiosi greci, osservando che i processi vitali degli animali dipendevano dalle disponibilità di cibo, pensavano che le piante traessero il loro nutrimento dal terreno.



Aristotele riteneva che le piante fossero un po' il rovescio degli animali. Esse, invece che tenere la testa in alto, affondano la loro bocca (le radici) nel suolo, da cui ricavano il nutrimento.





Questa visione venne posta in dubbio dall'evidenza che le piante avevano anche bisogno di acqua.

All'inizio si pensò che l'acqua fosse solo un mezzo di trasporto per veicolare i nutrienti dal terreno alle piante, ovvero che l'acqua avesse solo un ruolo passivo.

Con un semplice ma efficace esperimento, circa 400 anni fa, in uno dei primi esperimenti biologici accuratamente documentati, il medico belga **Jean Baptiste van HELMONT** (ca. 1577-1644), offrì la prima prova sperimentale che il terreno da solo non bastava a nutrire una pianta.

Egli è noto anche per essere colui che inventò la ricetta per generare i topi....

### Recipe for Mice by Dr. Jan Baptista von Helmont



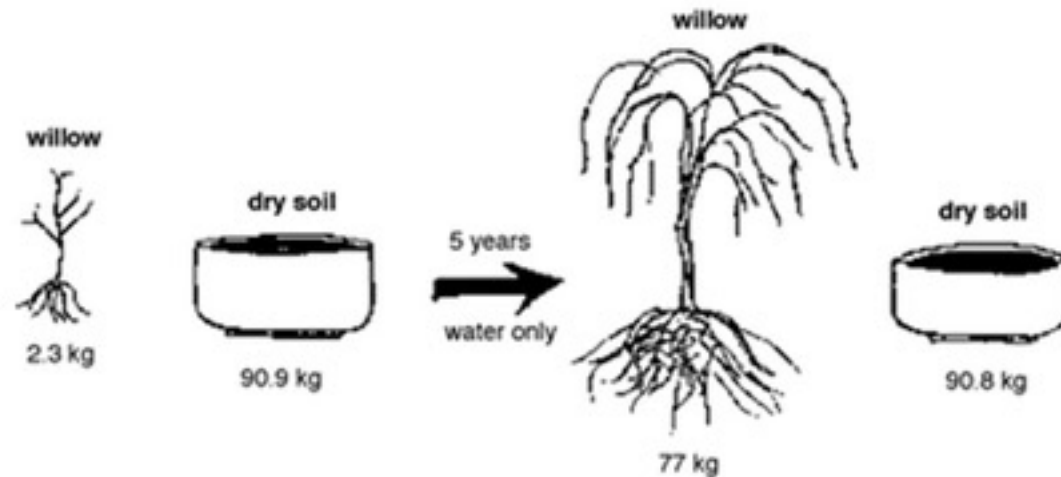


....ma nel caso delle piante il suo esperimento fu semplice e geniale allo stesso tempo.

Egli prese una piantina di salice (5 libbre) e la piantò in un vaso contenente terra (200 libbre).

Dopo 5 anni, la piantina era diventata un alberello di 169 libbre, mentre il peso del terreno era rimasto pressoché invariato.

## Van Helmont's Experiment





J.B. van HELMONT

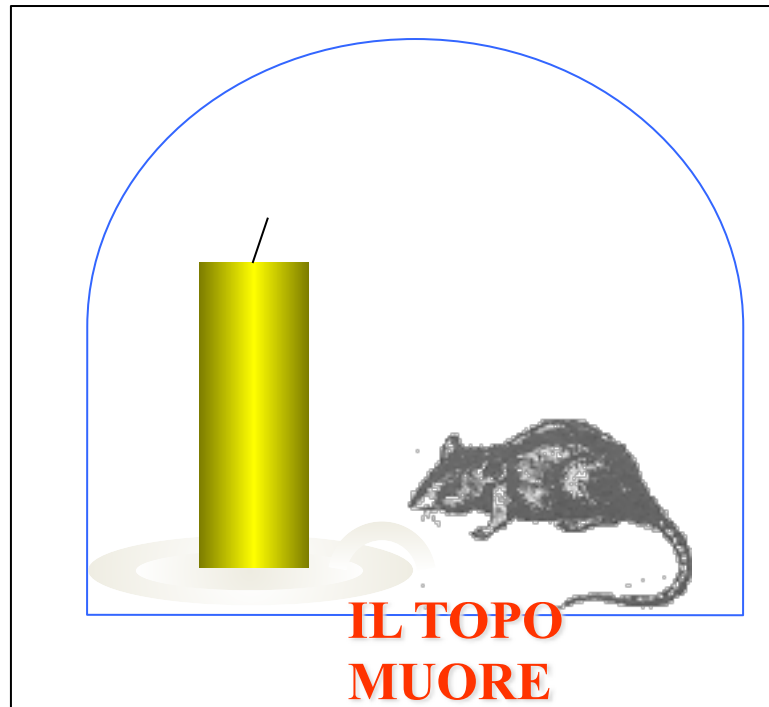
Sulla base di questi risultati **Van Helmont** giungeva alla conclusione che il corpo della pianta non era stato costruito a spese del terreno (vero!), falsificando per la prima volta l'ipotesi di Aristotele su base sperimentale.

Purtroppo ipotizzò anche (**falso!**) che la materia derivasse dall'acqua piovana somministrata alla pianta nei cinque anni.

Non lo sfiorò l'idea che ad essere coinvolto fosse un costituente dell'aria, cosa del resto logica perché a quei tempi le conoscenze su cosa fosse l'aria erano molto primitive.



Verso la fine del diciottesimo secolo era opinione comune che un oggetto che brucia libera nell'ambiente una sostanza, il "**flogisto**". L'aria è necessaria per la combustione perché diluisce questo flogisto. In un ambiente chiuso, se l'aria si satura di flogisto, la combustione non può continuare. L'aria che non permette la combustione, cioè "ricca di flogisto", non permette neanche la vita animale.



A quel tempo i fenomeni di combustione venivano interpretati con la teoria del flogisto (da un termine greco che significa “arso”). Essa era stata formulata intorno al 1700 dal chimico tedesco Georg Ernest Stahl (1660-1734) e prevedeva che tutti i corpi soggetti a mutare mediante ignizione fossero ricchi di flogisto, una sostanza misteriosa che conferiva loro vita ed energia ma che si allontanava quando bruciavano mentre ciò che rimaneva era privo di flogisto e quindi non bruciava più: il flogisto ad esempio era presente nel legno ma non nella cenere.

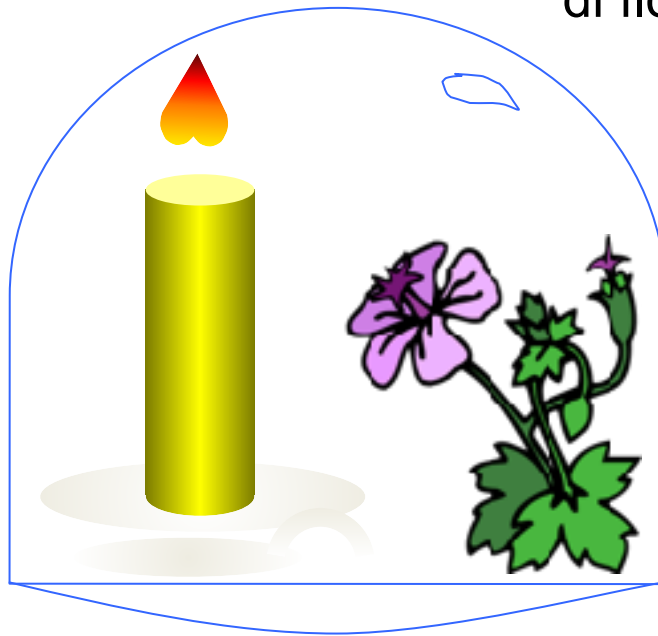






J. PRIESTLEY

Nel 1774 un sacerdote inglese, **Joseph Priestley** (1733-1804), riporta di aver scoperto per caso un metodo per rigenerare l'aria trasformata precedentemente dalla fiamma di una candela. Il 17 agosto 1771 Priestley "mise un rametto di menta (*sic!*) in un ambiente in cui aveva precedentemente bruciato una candela, avendo così riempito l'aria di flogisto".



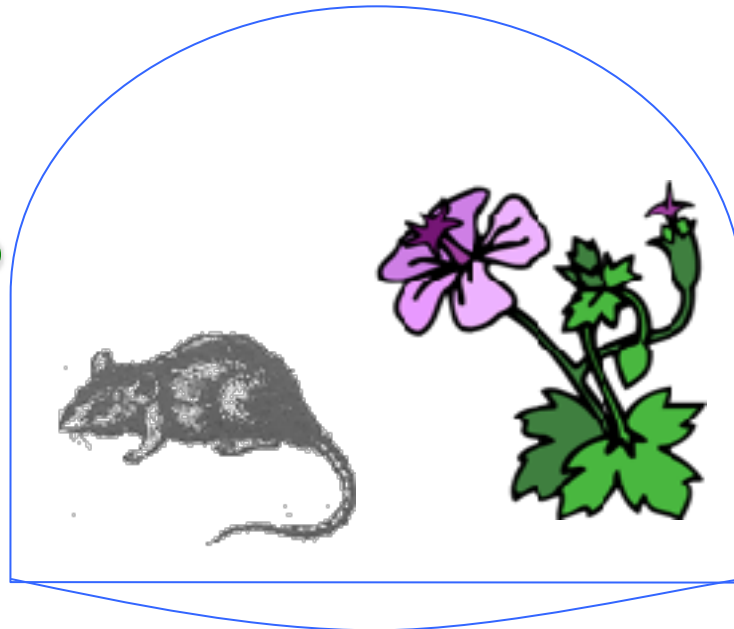
Il 27 dello stesso mese Priestley constatava che in quella stessa aria poteva bruciare un'altra candela.



Su questa base **PRIESTLEY** concludeva che: "**la natura utilizza le piante per la rigenerazione dell'aria**".

Priestley, in seguito descrittore della  $\text{CO}_2$ , dell' $\text{O}_2$ , dell'ammoniaca e dell'ossido di azoto, ampliò le sue osservazioni constatando che l'aria, rigenerata dalle piante, permetteva la vita di un topo.

**IL TOPO  
VIVE**





Gli esperimenti di Priestley gli portarono molti onori, culminati nella consegna di una medaglia d'oro della Royal Society di Londra, che portava inciso: "*per le scoperte che ci hanno permesso di capire che nessuna pianta cresce invano [!!!] ma ripulisce e purifica l'atmosfera*".

Oggi possiamo spiegare gli esperimenti di Priestley dicendo semplicemente che le piante assorbono la  $\text{CO}_2$  prodotta dalla combustione e dalla respirazione e liberano ossigeno, che viene consumato dalla combustione e dai processi respiratori (di tutti gli organismi! piante comprese).



Fu il chimico francese Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) a demolire, nel 1775, la teoria flogistica dimostrando che la combustione di una sostanza non consiste nella perdita di qualche cosa ma al contrario nella combinazione di parte della sostanza che brucia con un gas presente nell'aria, ossia con l'ossigeno.

Lavoisier, intorno al 1775, era giunto alla conclusione che l'aria è costituita fondamentalmente di due gas: un quinto del suo volume era ossigeno (dal greco "generatore di acido", perché si pensava che quell'elemento fosse presente in tutti gli acidi, ma ciò non è vero in quanto esistono anche acidi senza ossigeno, e tuttavia il nome rimase)



Antoine Laurent  
Lavoisier



I restanti quattro quinti erano invece costituiti di azoto (cioè sempre dal greco “privo di vita” perché un qualsiasi organismo, animale o vegetale, posto in un recipiente saturo di azoto, moriva). Aveva pertanto scoperto che l’ossigeno era necessario alle combustioni, ma anche ai processi vitali di animali e piante.


Lavoisier pensava che negli organismi viventi dovesse verificarsi una sorta di combustione, che forniva l’energia per vivere. Oggi la lenta combustione prevista da Lavoisier, si chiama respirazione: essa brucia gli alimenti con l’apporto di ossigeno, mentre l’azoto, se presente da solo, la impedisce. La respirazione può essere sintetizzata dalla seguente equazione:





**Jan INGENHOUSZ** (1730-1799), confermando gli esperimenti di Priestley, dimostrò che la rigenerazione dell'aria avveniva solo in presenza di luce solare e solo ad opera della parte verde delle piante.

Nel 1796, Ingenhousz, facendo proprie le idee di **Lavoisier**, identifica in  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  i gas coinvolti. Nella sua ipotesi, la  $\text{CO}_2$  sarebbe scissa dal processo fotosintetico per dare carbonio, utilizzato per costruire la materia organica della pianta, e  $\text{O}_2$  che si libera come gas. Egli quindi introdusse una ipotesi errata, che sarà falsificata solo molto tempo dopo.



Secondo Ingenhousz, quindi, il processo fotosintetico si basava sulla reazione:




Agli inizi del 1800 lo studioso ginevrino **Nicolas Theodore de Saussure** (1767-1845) affrontò il problema della nutrizione delle piante da un punto di vista quantitativo misurando la quantità di anidride carbonica assunta dalla pianta e l'aumento di peso dei suoi tessuti. Egli dimostrò che le foglie verdi alla luce del sole decompongono l'anidride carbonica dell'aria ed emettono ossigeno.



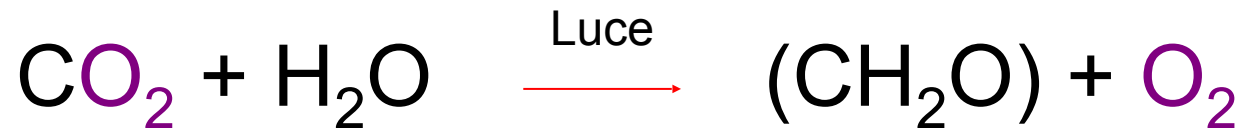
La respirazione dei vegetali come quella degli animali consiste nella immissione di ossigeno e nella emissione di anidride carbonica, ma di giorno l'anidride carbonica emessa dalle piante non si aggiunge a quella presente nell'aria perché viene immediatamente utilizzata nell'assimilazione.

Saussure scoprì che la somma dei pesi delle sostanze organiche e dell'ossigeno prodotti era maggiore del peso della  $\text{CO}_2$  consumata. Dato che le sue piante da esperimento ricevevano solo acqua la differenza di peso doveva essere necessariamente legata all'acqua. Concluse in seguito che negli zuccheri e nell'amido il rapporto era di un atomo di carbonio per molecola d'acqua  $(\text{CH}_2\text{O})_n$  da cui il termine da lui introdotto di **"carboidrati"**.





**DE SAUSSURE** propose che nell'equazione globale della fotosintesi [parzialmente fuorviante!!!] si dovesse assumere che i carboidrati derivino da una combinazione del carbonio e dell'acqua, anche se l'ossigeno liberato continuava ad essere fatto derivare dalla molecola di anidride carbonica.



Questa ipotesi, abbastanza ragionevole, fu largamente accettata ma, messa in questi termini, è sbagliata.

Si dimostrerà solo negli anni successivi alla II guerra mondiale che l'ossigeno deriva dalla molecola di acqua.



Cornelis Bernardus van  
Niel

A mettere in crisi questa ipotesi più di un secolo dopo la sua formulazione fu uno studente universitario, **Cornelis Bernardus van Niel** (Stanford University), che conduceva esperimenti su diversi tipi di batteri fotosintetici.

Tra i vari tipi di batteri studiati, alcuni, noti come solfobatteri purpurei, riducono l'anidride carbonica a carboidrati senza liberare ossigeno.

Questi solfobatteri utilizzano l'acido solfidrico per la fotosintesi, e ciò comporta un accumulo di granuli di zolfo all'interno delle loro cellule.



van Niel propose per questi la seguente reazione per la fotosintesi:



Questa scoperta non destò particolare interesse finché **van Niel** non fece una coraggiosa estrapolazione, generalizzando la sua equazione.

Egli propose per la fotosintesi la seguente equazione generale:



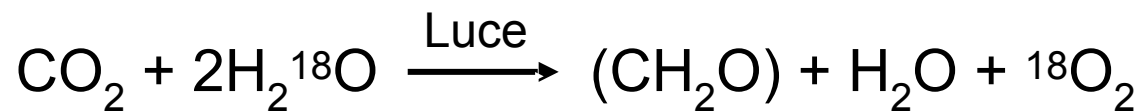


In questa equazione  $\mathbf{H_2A}$  sta sia per « $\mathbf{H_2O}$ », sia per qualsiasi altra sostanza ossidabile, come, ad esempio, l'acido solfidrico ( $\mathbf{H_2S}$ ) o l'idrogeno molecolare ( $\mathbf{H_2}$ ).

Nelle alghe e nelle piante verdi  $\mathbf{H_2A}$  sta per  $\mathbf{H_2O}$  e  $\mathbf{2A}$  sta per  $\mathbf{O_2}$  («fotosintesi ossigenica»).

In poche parole, van Niel ipotizzava che ad essere scissa fosse l' $\mathbf{H_2O}$ , non la  $\mathbf{CO_2}$ .

Questa brillante ipotesi, proposta nel **1930**, fu provata solo un ventennio più tardi, quando, usando un isotopo dell'ossigeno ( $\mathbf{^{18}O_2}$ ), si poté dimostrare che l'ossigeno gassoso che si sviluppa nella fotosintesi deriva effettivamente dall'acqua e non dall'anidride carbonica:





Un'altro esperimento molto importante per comprendere la natura della fotosintesi e dei suoi processi biochimici fu condotto nel 1937 da **Robin Hill**.

Questi sottopose dei cloroplasti alla luce in assenza di anidride carbonica, ed osservò che questo producevano comunque ossigeno molecolare.

Ovviamente, questo sarebbe stato impossibile se l'ossigeno, come era credenza comune, fosse derivato dalla scissione della molecola di anidride carbonica.

Questo fenomeno è detto reazione di Hill, e prevede che i cloroplasti siano illuminati e forniti di un'accettore artificiale di elettroni.



Sulla base di questi risultati nelle alghe e nelle piante verdi, dove l'acqua funziona da donatore di elettroni, l'equazione globale e bilanciata della fotosintesi viene comunemente riportata come:



Tuttavia, come vedremo nelle prossime lezioni, nelle cellule che fanno la fotosintesi non viene praticamente sintetizzato glucosio. In realtà, il primo prodotto stabile del Ciclo di Calvin è un trioso (zucchero a tre atomi di carbonio), da cui il nome di ciclo C3:





Oggi sappiamo che il processo fotosintetico consta di due fasi nettamente distinte, chiamate “**fase luminosa**” e “**fase oscura**”, poste in serie.

Nella **fase luminosa** predominano le reazioni fotochimiche, c'è l'assorbimento dell'energia luminosa, il trasporto di elettroni, che derivano dalla molecola dell' $\text{H}_2\text{O}$ , il cui ossigeno viene ossidato, con cambiamento dello stato redox di molte molecole, che fanno parte di catene di trasporto. Si formano alla fine  $\text{NADPH}+\text{H}^+$  (= potere riducente), e ATP, che saranno utilizzati nella fase oscura.

Nella **fase oscura** predominano le reazioni enzimatiche che, sfruttando l'ATP e il NADPH, legano la molecola di  $\text{CO}_2$  ad una molecola organica preesistente, e finalmente riducono l'atomo di carbonio.







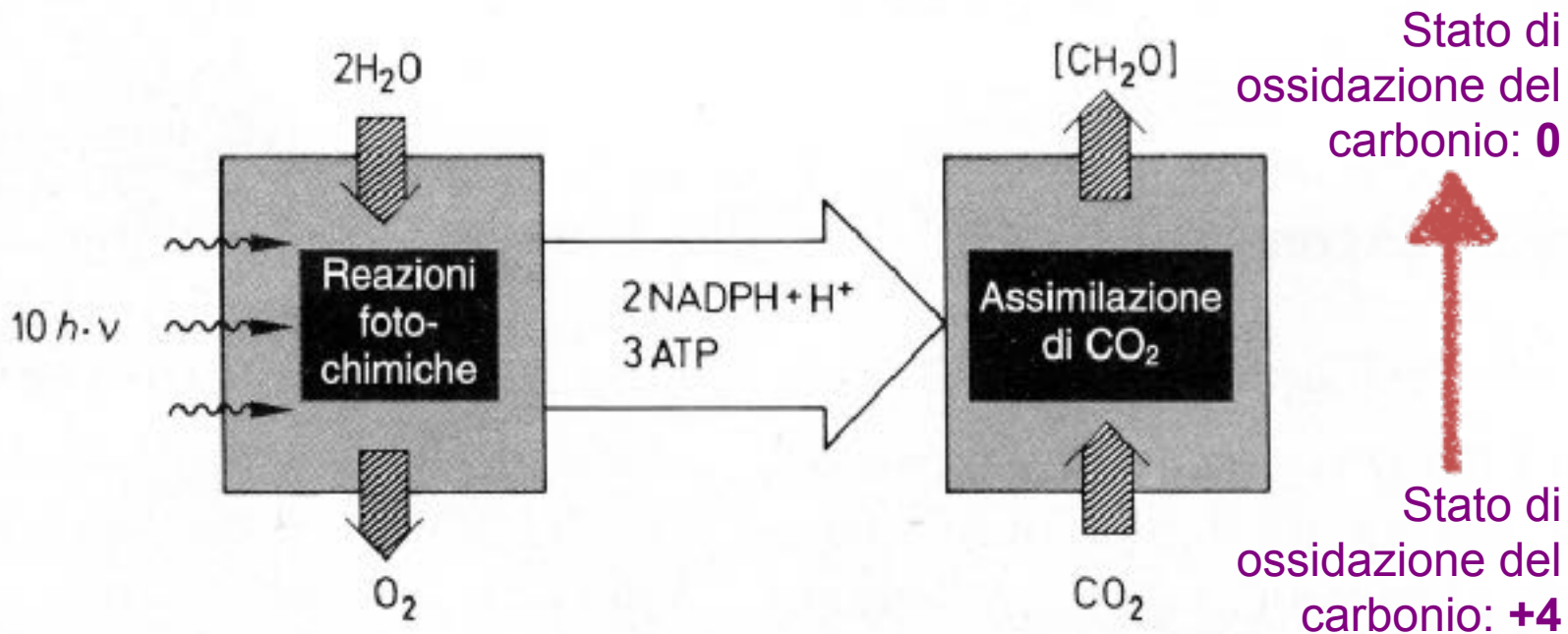
NADP<sup>+</sup> riceve due e<sup>-</sup> e un H<sup>+</sup>, diventando NADPH.

Quando viene utilizzato per ridurre un'altra molecola, ridiventa NADP<sup>+</sup>.

NADP<sup>+</sup> è un agente ossidante (ossida la molecola con cui reagisce), e diventa NADPH, ovvero un agente riducente.

# FASE LUMINOSA

# FASE OSCURA



DIPENDENTE DALLA  
LUCE

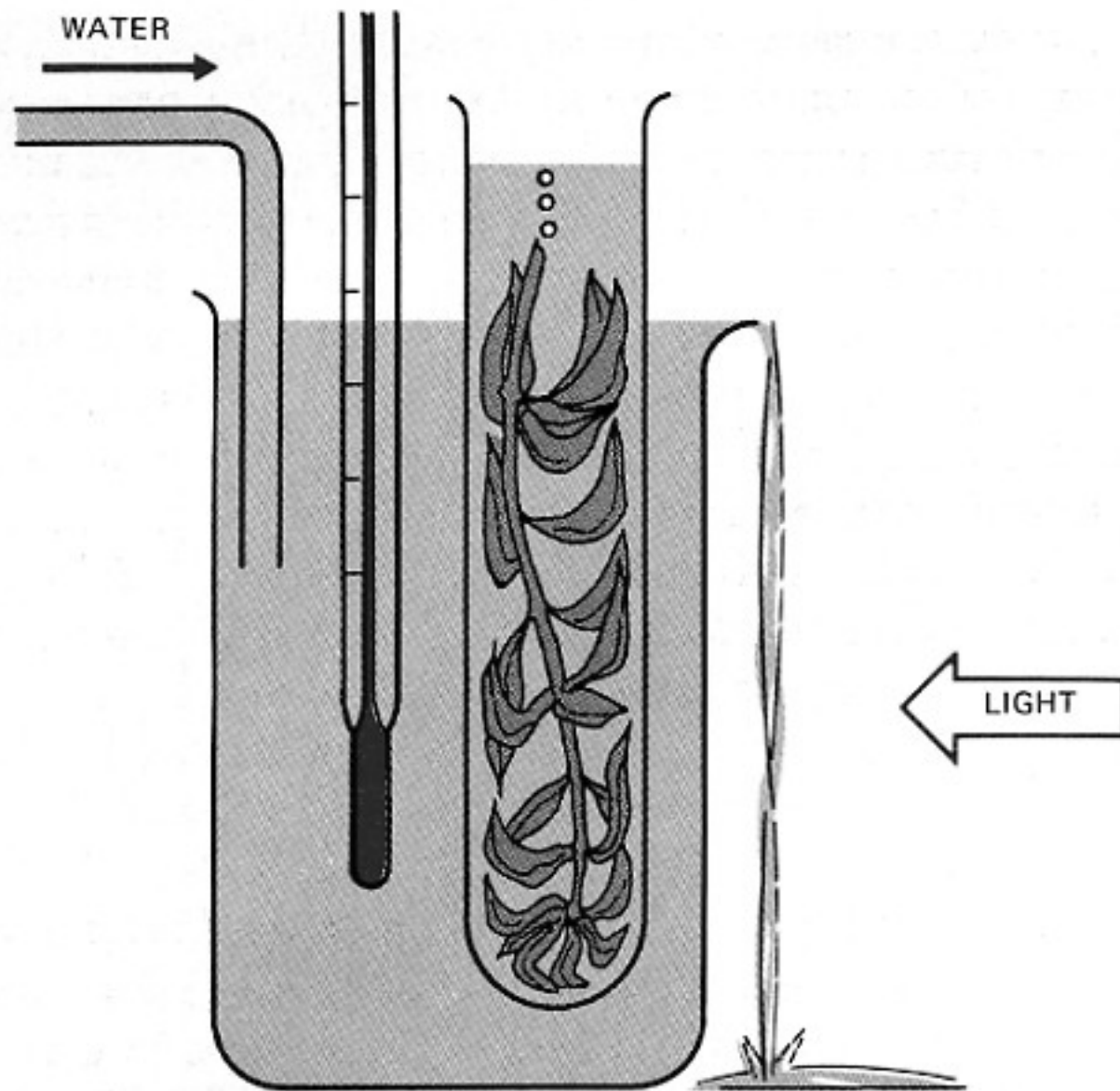
DIPENDENTE DAI  
PRODOTTI DELLA  
FASE LUMINOSA



Le prime prove per un processo a due fasi furono pubblicate nel 1905 dal fisiologo vegetale inglese **F.F. Blackman**.

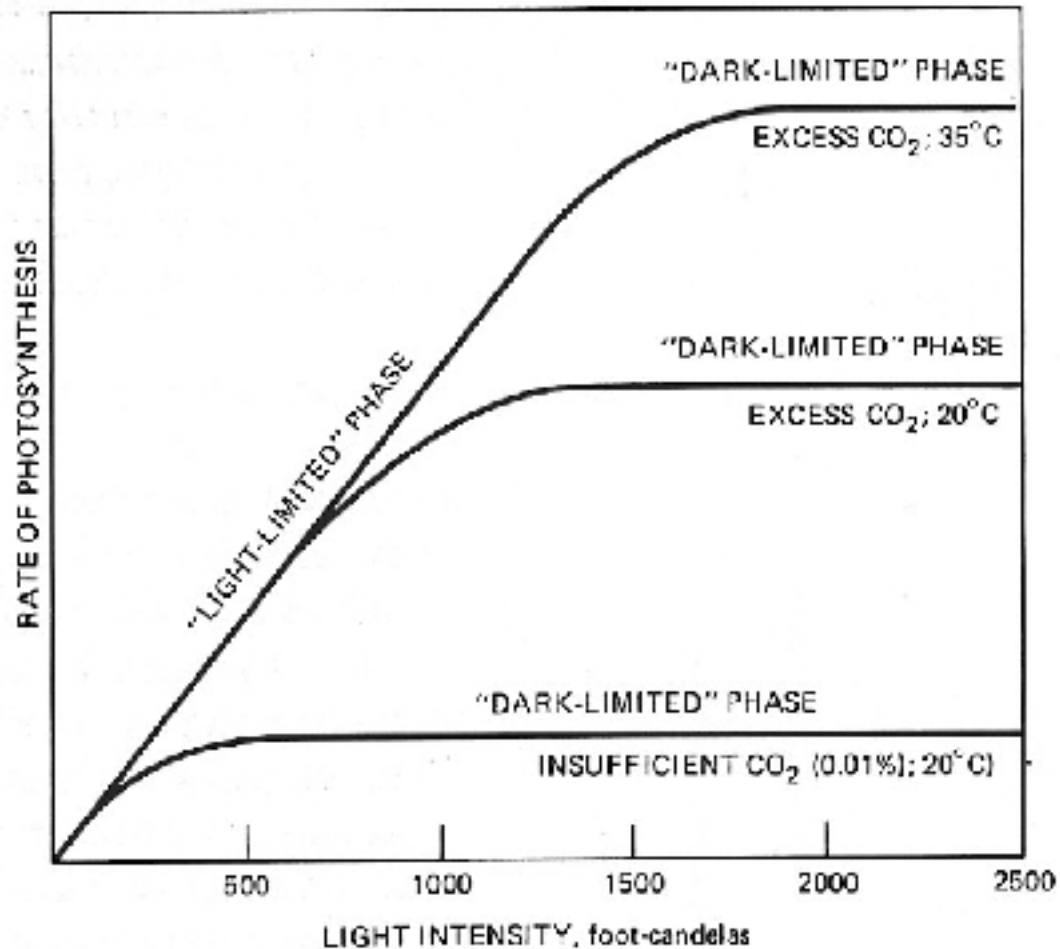
Blackman misurava singolarmente, e in combinazione, gli effetti dell'intensità di luce e della temperatura sulla velocità di fotosintesi.

L'esperimento di Blackman usava una pianta acquatica del genere *Elodea*. Un ramo di *Elodea* veniva immerso in una soluzione di  $\text{NaHCO}_3$ . Nell'ambiente sperimentale, Blackman poteva variare o mantenere costanti sia la temperatura che l'intensità luminosa, che la concentrazione di  $\text{NaHCO}_3$  (lo ione bicarbonato,  $\text{HCO}_3^-$ , è la forma in cui si trova l'anidride carbonica in soluzione acquosa).





Grazie alla luce che proviene da una lampada, la pianta fa fotosintesi, e produce quindi un certo numero di bollicine di ossigeno nell'unità di tempo. La conta delle bolle da una misura dell'intensità della fotosintesi.





La prima evidenza che Blackman ottenne fu che la quantità di fotosintesi non continua a crescere indefinitamente con l'intensità luminosa.

Questo fece ipotizzare a Blackman che nella fotosintesi siano coinvolti due processi, uno che utilizza la luce, e l'altro che non ha bisogno della luce per funzionare. Questo venne definito fase oscura, sebbene esso sia attivo anche in presenza di luce.

Blackman ipotizzò che a intensità luminose moderate i processi dipendenti dalla luce sono quelli che limitano il passo dell'intera fotosintesi. In altre parole, a modeste intensità luminose, le reazioni della fase oscura riescono a utilizzare completamente i prodotti della fase luminosa.



Aumentando l'intensità della luce, la fotosintesi accelera, fino ad arrivare a uno stato stazionario, quando sono le reazioni della fase oscura a non riuscire più a "tenere il passo", ovvero a utilizzare tutti i prodotti della fase luminosa. A questo punto, qualsiasi aumento della quantità di luce non produce alcun effetto. Tuttavia, aumentando la temperatura vi è uno spostamento in alto dello stato stazionario.

Il fatto che un aumento della temperatura provochi un aumento della velocità della fotosintesi dimostra che nella fase oscura sono coinvolte reazioni enzimatiche, che è noto accelerino a temperature più elevate. Tuttavia, questo aumento non è illimitato, in quanto oltre una certa temperatura gli enzimi della cellula coinvolti nella fase oscura si degradano.



Il fatto che a temperature elevate (e quindi con gli enzimi della fase oscura che lavorano speditamente) la fotosintesi sia lenta a basse intensità luminose dimostra che la velocità delle reazioni della fase luminosa è invece direttamente dipendente dalla quantità di luce fornita.

Quindi, la velocità delle reazioni della fase luminosa dipende dall'intensità luminosa, mentre quella delle reazioni della fase oscura dipende dalla temperatura.

Tuttavia, l'aumento di velocità con la temperatura non avviene se la quantità di anidride carbonica è limitata.





Come si può vedere dal grafico, la velocità di fotosintesi raggiunge uno stato stazionario più basso se la quantità di anidride carbonica è limitata. All'aumento dell'anidride carbonica, anche la velocità della fotosintesi aumenta.

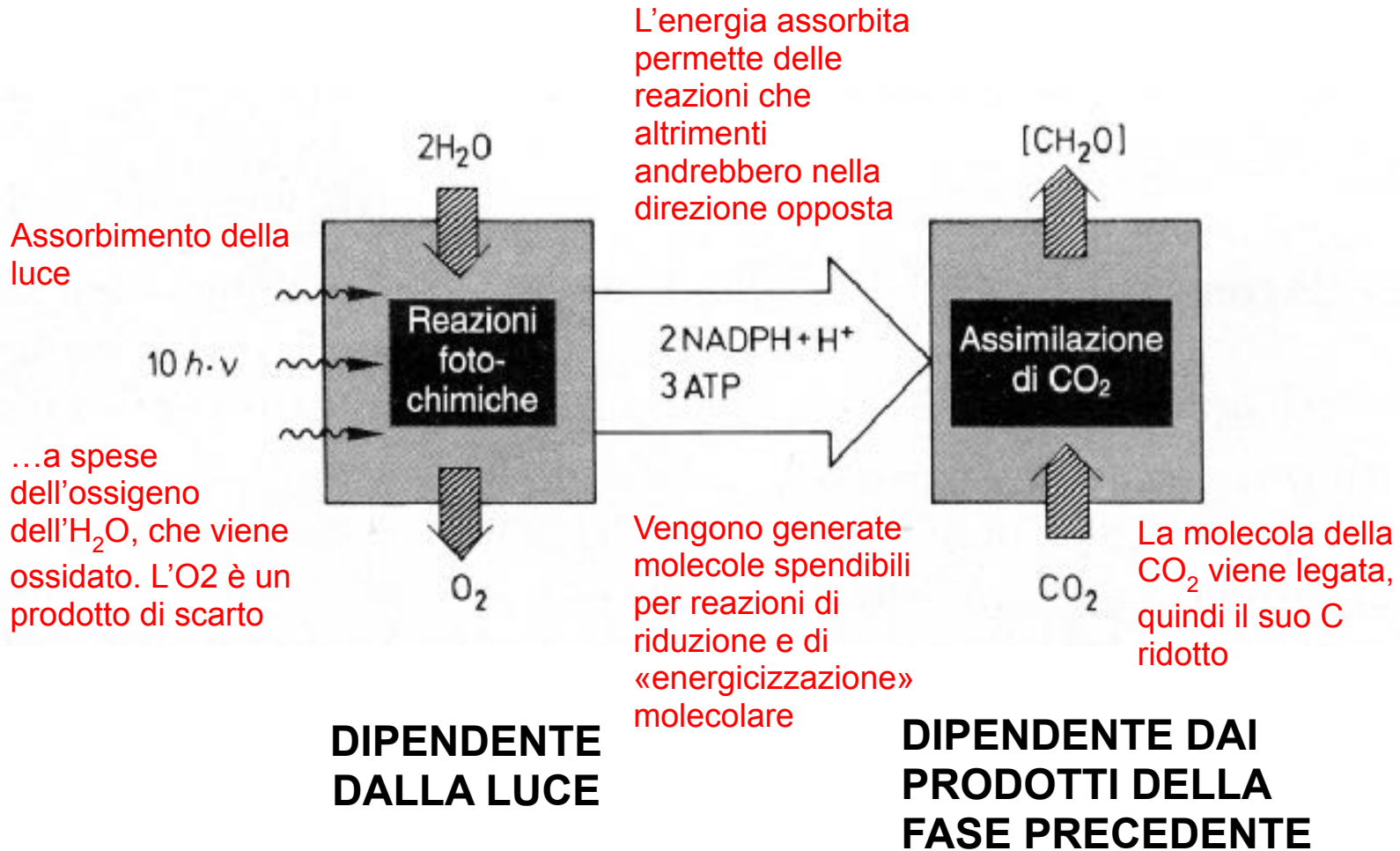
Per cui la concentrazione di anidride carbonica è il terzo fattore che regola, assieme a intensità luminosa e temperatura, la velocità della fotosintesi.

In atmosfera, la quantità di anidride carbonica disponibile è di 35 parti per milione, ovvero il 0.035%. Tuttavia vedremo che non sempre le piante hanno a disposizione un quantitativo così "elevato", ma spesso sono costrette a lavorare con molto meno.



# FASE LUMINOSA

# FASE OSCURA





**NB:** La sintesi di carboidrati nella fase oscura a partire da anidride carbonica è una reazione **endoergonica**, e non potrebbe avvenire senza un input energetico, fornito dalla fase luminosa.

Questa usa l'energia luminosa, e produce ATP ("moneta" energetica degli organismi viventi) e NADPH (potere riducente).



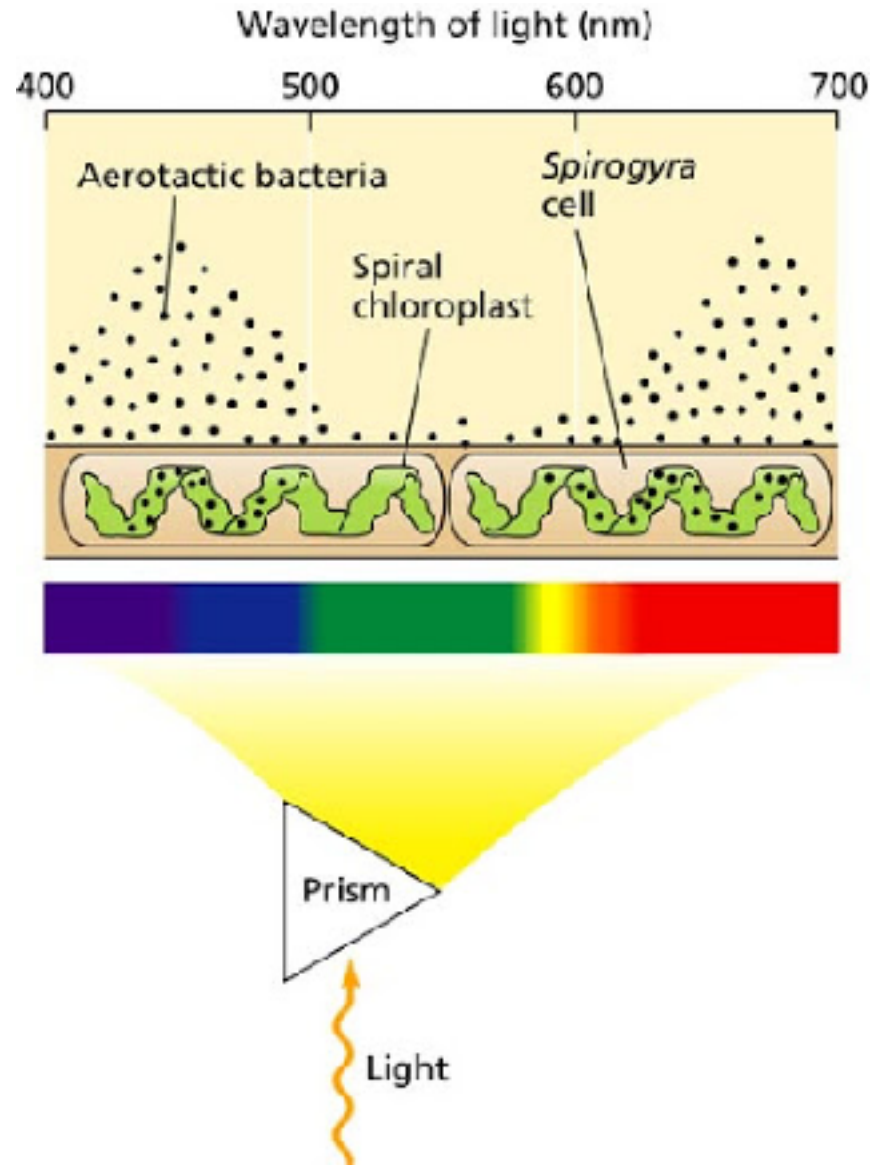
Il nome di “fase oscura” è alquanto infelice in quanto essa comunque avviene in presenza di luce in quanto  
(a) richiede i prodotti della fase luminosa;  
(b) alcuni enzimi sono addirittura attivati dalla luce.

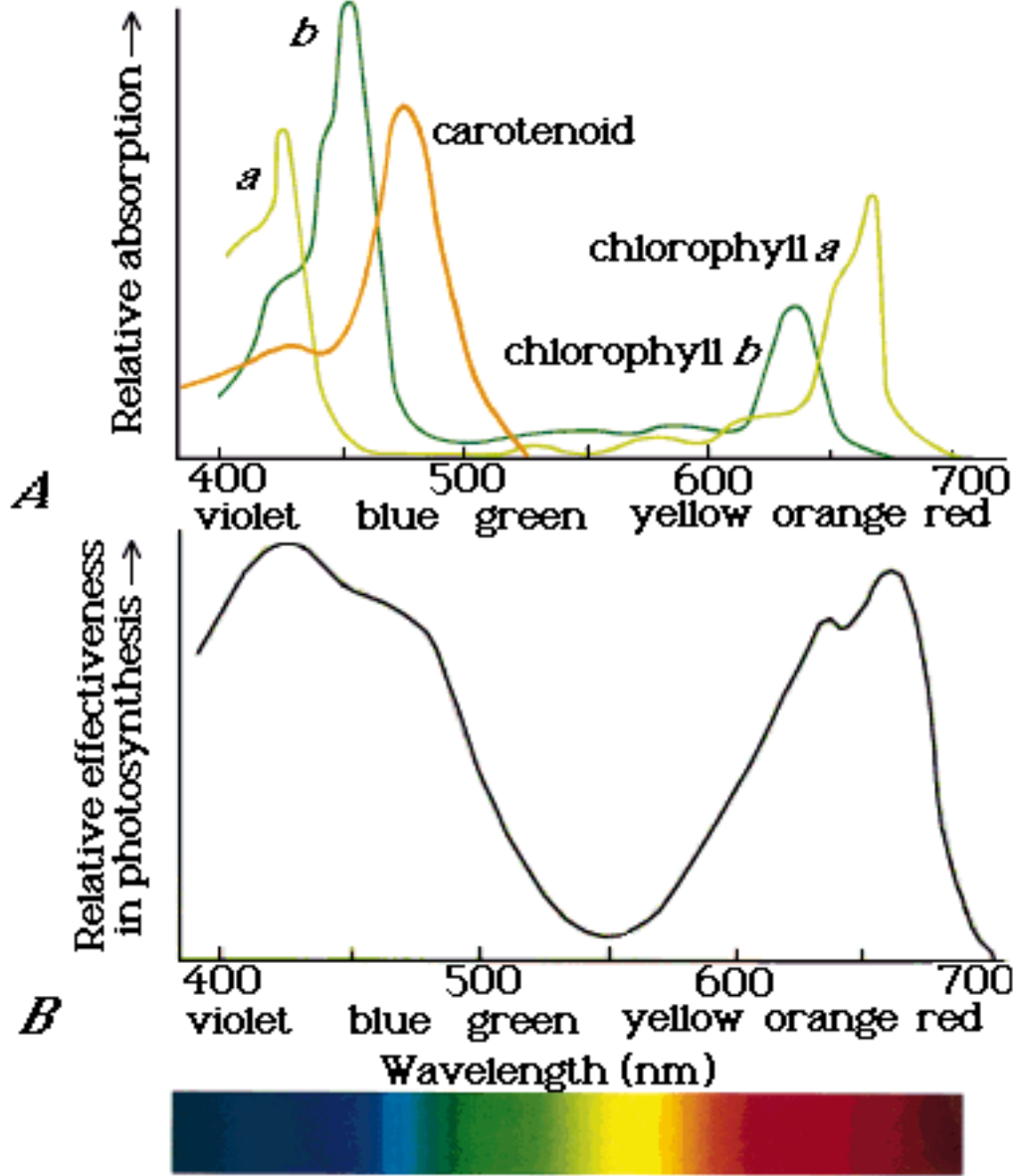
L' espressione "fase oscura" si usa ancora adesso per indicare che la luce non è coinvolta direttamente in queste reazioni.

La comprensione delle lunghezze d'onda capaci di attivare la fotosintesi venne da un elegante esperimento di **Theodore Wilhelm Engelmann** (1843-1909), nel 1882. Volendo comprendere lo spettro d'azione della fotosintesi, usò come organismo modello un'alga filamentosa del genere *Cladophora*.



Egli usò dei batteri mobili attratti dall'ossigeno come bioindicatori. Illuminando porzioni diverse dell'alga con lunghezze d'onda diverse, osservò in quali zone si concentrassero i batteri, indicando quindi le porzioni dell'alga che maggiormente producevano ossigeno, e che quindi erano più attive dal punto di vista fotosintetico.





Osservò che i batteri si concentravano nelle aree illuminate dalla luce blu-violetta e da quella rossa.

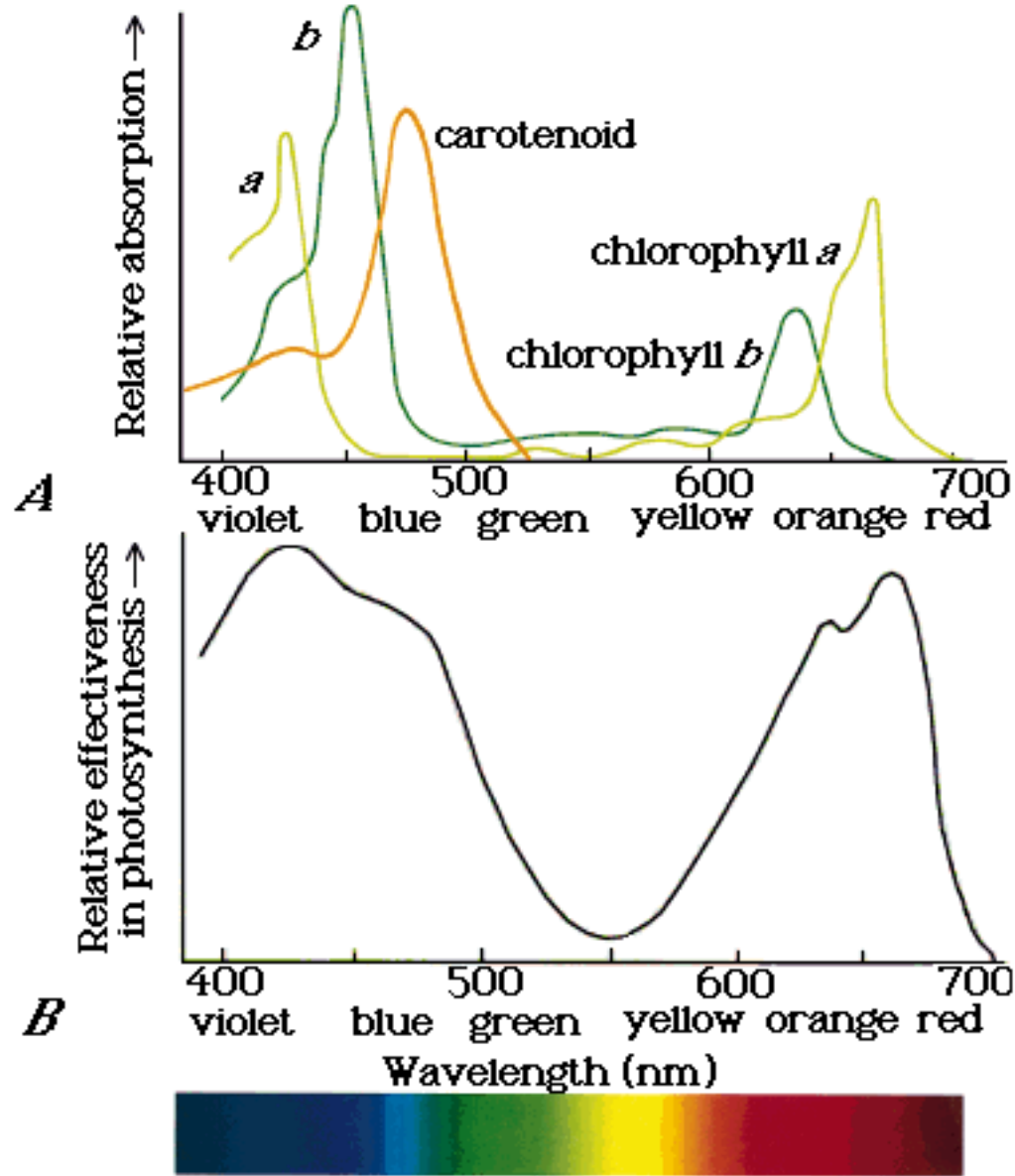
La(e) clorofilla(e), che assorbe(ono) in quei range dello spettro, è(sono) il(i) pigmento(i) coinvolto(i) nel processo fotosintetico.



Un altro aspetto ormai consolidato legato alla fase luminosa derivò dagli esperimenti di **Emerson**, che descrisse (1957) un fenomeno ora noto come **effetto Emerson**: l'assorbimento della luce è legato alla presenza di due gruppi macromolecolari distinti, a cui sono associate specifiche reazioni fotochimiche.

Emerson giunse a queste conclusioni studiando l'efficienza fotosintetica nella porzione rossa dello spettro. Questa scelta era dovuta a due fattori:

1. In questa porzione l'assorbimento è quasi interamente a carico delle clorofille. L'azione di pigmenti accessori è nulla o limitata, e quindi praticamente ininfluenza sui risultati.
2. Questa banda dello spettro contiene quanti di luce con minore energia, e ci si aspetta che quasi tutta la loro energia venga utilizzata per i processi fotochimici.

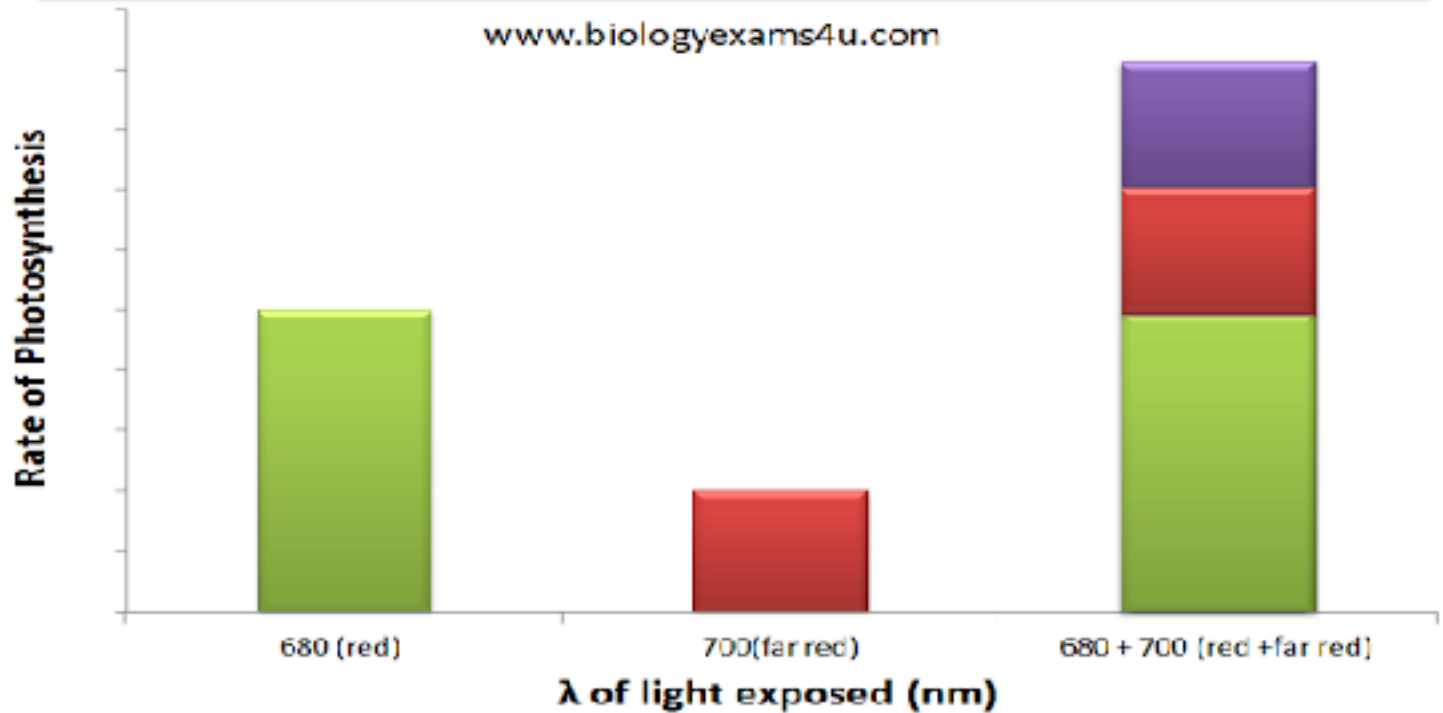






## Emerson Red Drop and Enhancement Effect

www.biologyexams4u.com



Emerson osservò che fornendo solo luce a lunghezza d'onda superiore ai 680 nm, l'efficienza del processo fotosintetico in *Chlorella* (un'alga) diminuiva bruscamente (**red drop effect**), mentre era molto alto e costante per lunghezze d'onda tra 600 e 680 nm. Questo poteva essere dovuto al quantitativo di energia troppo basso dei quanti di luce oltre questa lunghezza d'onda.





Tuttavia, egli notò anche che, contrariamente alle sue ipotesi, fornendo contemporaneamente luce delle due lunghezze d'onda (680 e 700 nm) l'effetto non era additivo, ovvero il risultato non era la somma delle due efficienze, come ci si sarebbe potuti aspettare. Al contrario l'efficienza risultava molto maggiore della somma delle due efficienze misurate in condizioni di isolamento. La radiazione a 700 nm, se supplementata da quella a 680 nm, non solo non causava il **red drop**, ma permetteva una migliore efficienza totale del processo fotosintetico (**effetto Emerson**).

Le osservazioni di **Emerson** su *Chlorella* furono completate da **French & Myers** i quali osservarono che le due luci collaborano insieme con effetto più che additivo anche se non vengono date contemporaneamente, bensì separate da un intervallo buio lungo sino a 1 secondo.

La spiegazione più plausibile è che esistano due serie di reazioni fotochimiche distinte che vengono messe in moto a due diverse lunghezze d'onda. Le due reazioni sono però connesse l'una all'altra, anzi una sta a valle dell'altra.





Oggi noi sappiamo che il fotosistema I (che contiene clorofilla a con un picco di assorbimento a 700 nm) da solo funziona, ma ha una efficienza bassa, in quanto non è in grado di produrre tutti i metaboliti necessari alla fase oscura (produce solo ATP, ma non NADPH+, che deve essere prodotto per altre vie, consumando energia).

Le esperienze di **Emerson** e **Arnold** con flash di luce portarono a un'altra importante conclusione. Se si calcola il rapporto tra quantità di ossigeno emessa dalle alghe unicellulari dopo un brevissimo lampo di luce e quantità di clorofilla in esse contenuta si ottiene un valore costante.

La costanza del rapporto “ossigeno : clorofilla” (1 molecola di O<sub>2</sub> prodotto per 2500 molecole di clorofilla nelle particolari condizioni sperimentali dei due ricercatori) suggeriva che fosse necessaria la collaborazione di più molecole di clorofilla per evolvere una sola molecola di ossigeno.



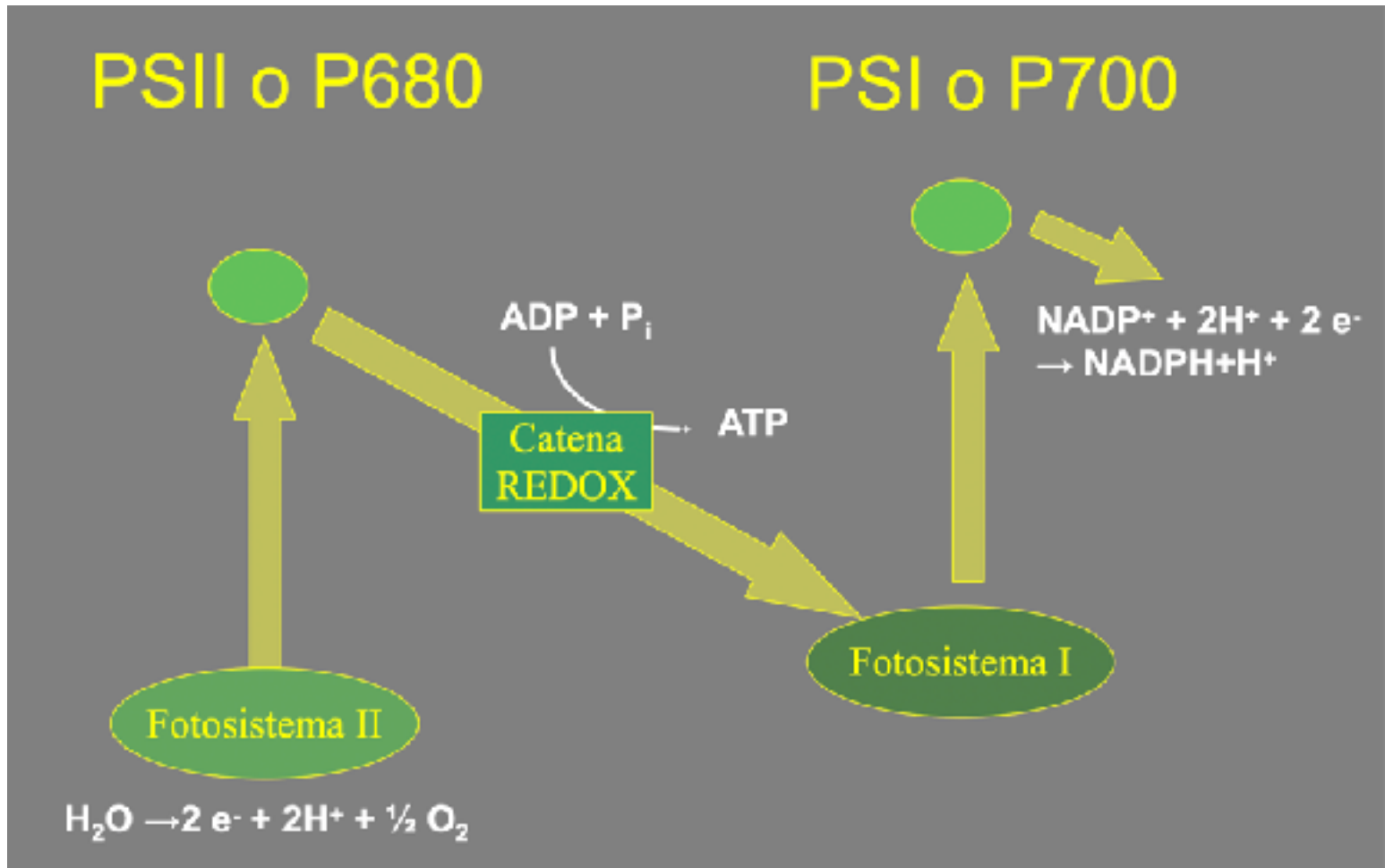


Nasceva così l'idea di  
**unità fotosintetiche o**  
**FOTOSISTEMI,**  
che sono di due tipi (I e II).

L'acronimo è **PS**, che sta per  
**PhotoSystem(s)**



Lo schema a Z del trasporto di elettroni tra i due fotosintesi fu proposto per la prima volta da **Hill & Bendall** nel **1959**.





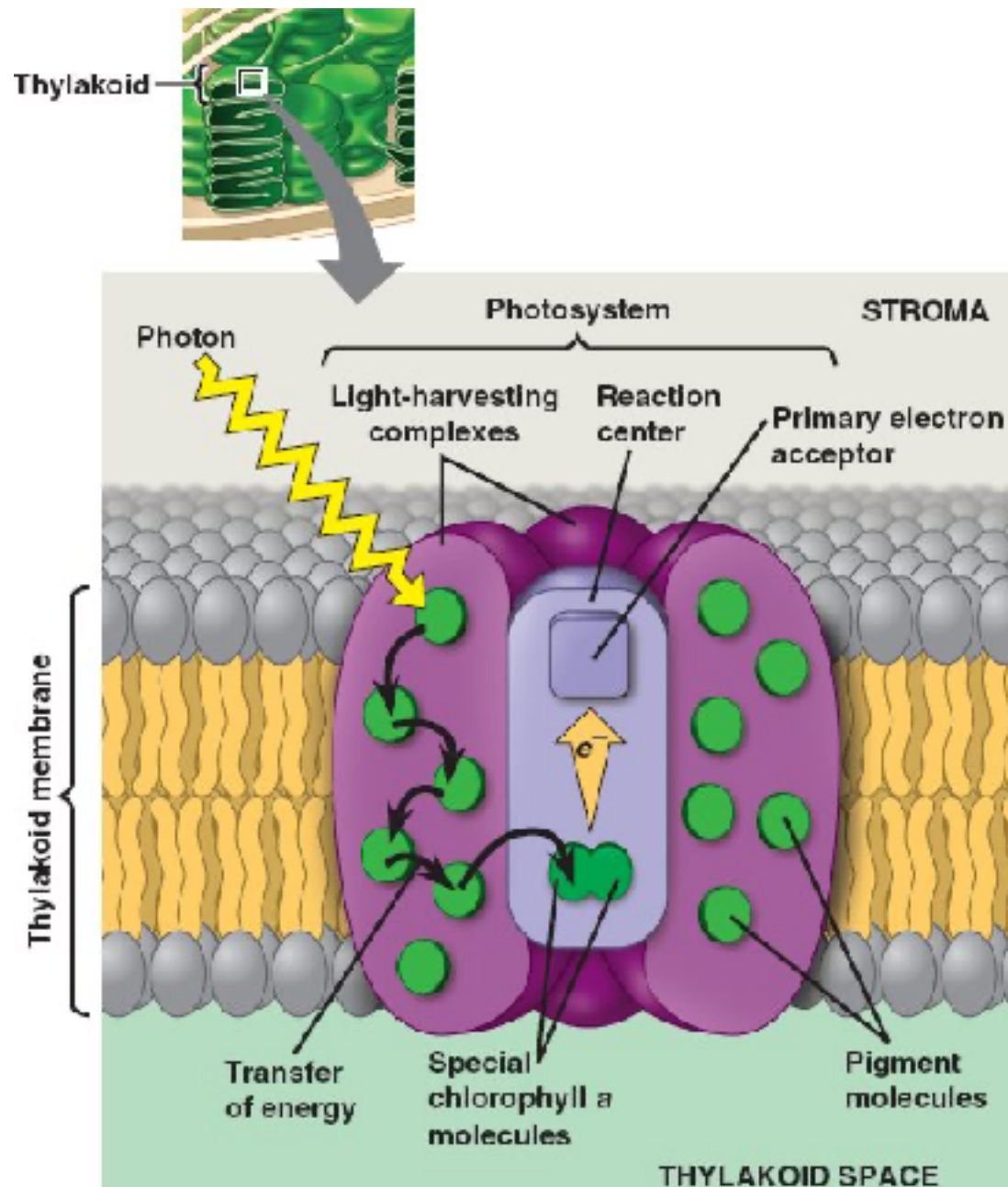
I fotosistemi sono complessi di molecole inseriti nelle membrane tilacoidali dei cloroplasti. Le sigle che li contraddistinguono, P680 e P700, sono le lunghezze d'onda di massimo assorbimento delle clorofille negli “*special pair*” dei centri di reazione.

Ogni fotosistema contiene da 200 a 400 molecole di pigmenti (non solo clorofille), e può essere diviso in un **complesso antenna**, e un **centro di reazione**.

Il ruolo del complesso antenna è quello di “raccolgere” l'energia luminosa, e di convogliare al centro di reazione. Qui, una coppia speciale di molecole di clorofilla a (lo *special pair*) è in grado di trasferire un elettrone a un accettore. Tutte le altre molecole di pigmento invece non hanno questa capacità, e servono esclusivamente per far arrivare l'energia allo *special pair*.

I pigmenti sono mantenuti in posizione nei fotosintesi grazie al legame con specifiche proteine di membrana, che hanno quindi una funzione strutturale.

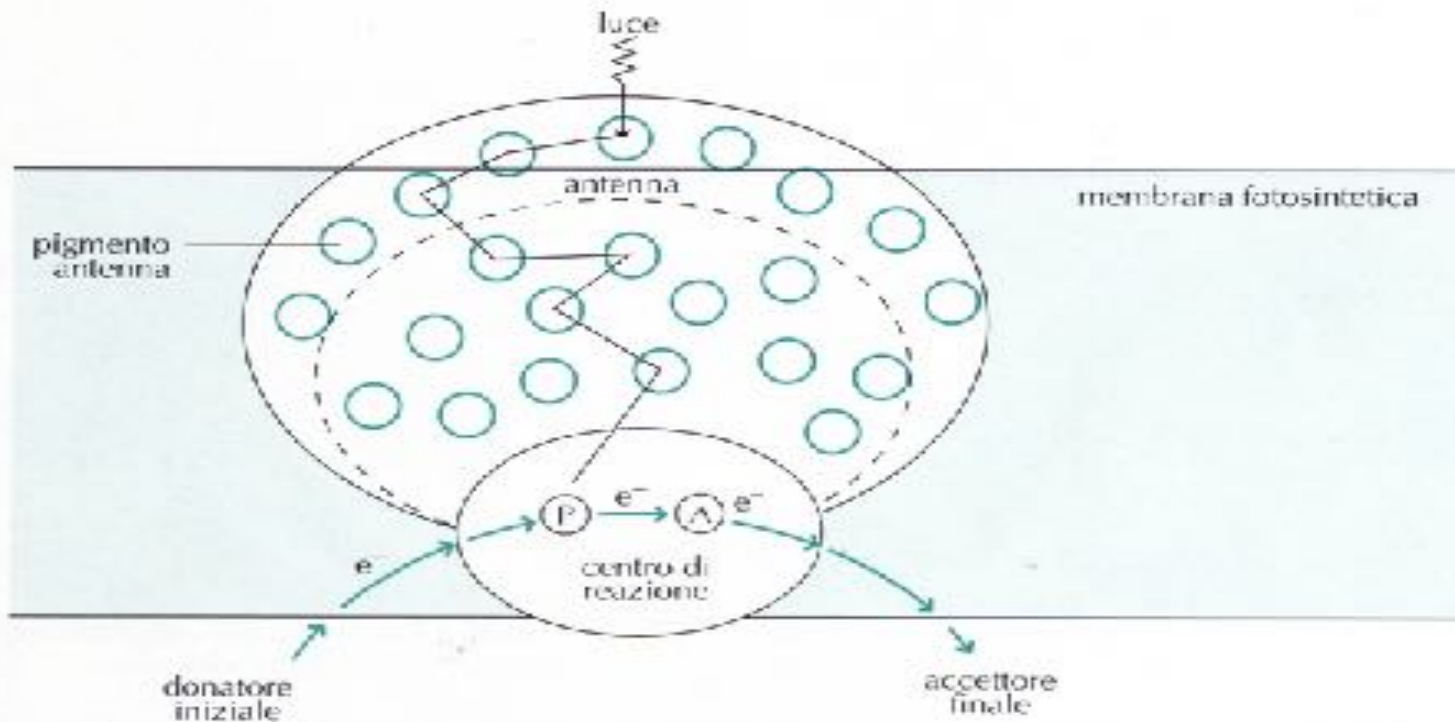




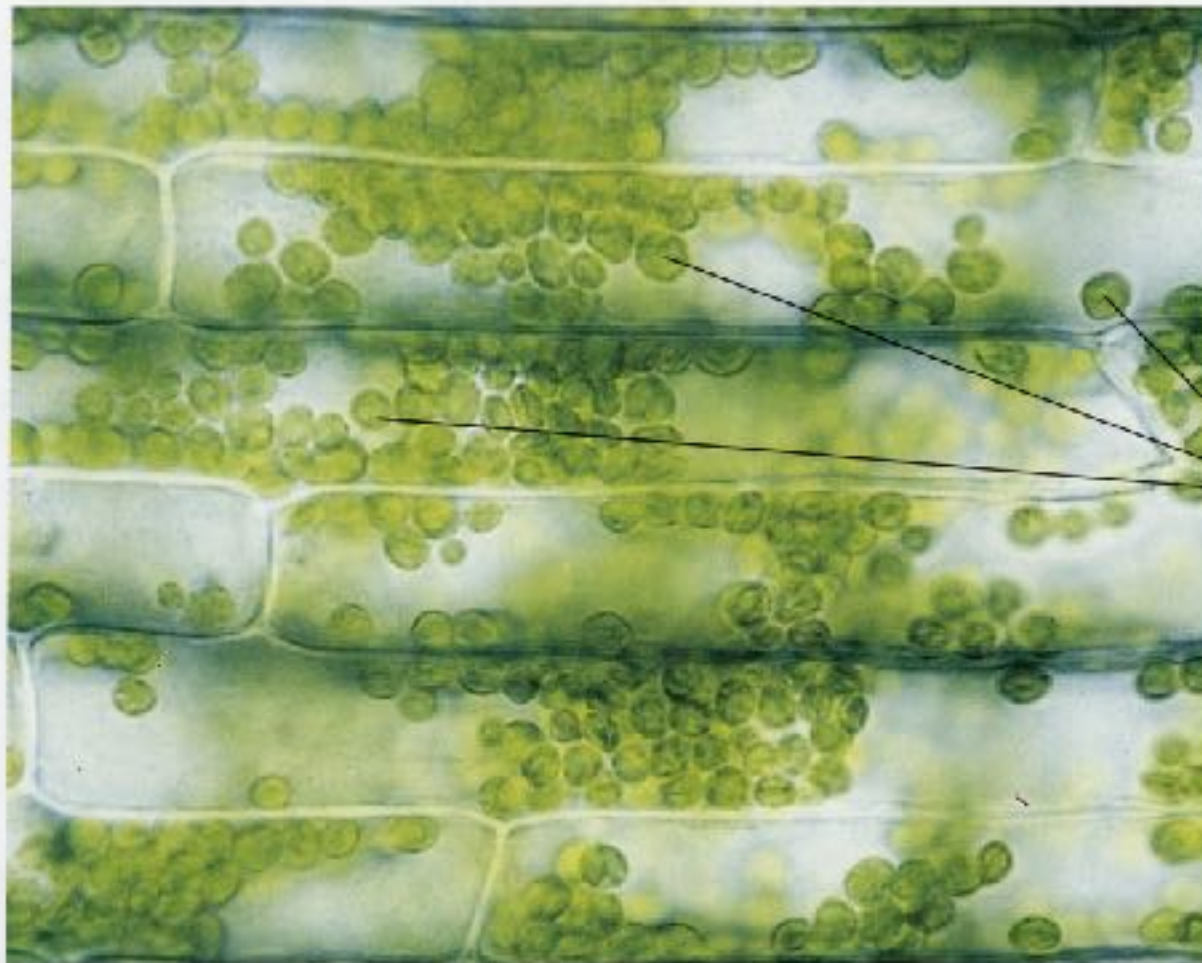
**CLOROFILLE**  
**CAROTENOIDI**

**PROTEINE**  
**STRUTTURALI**

**FICOBILIPROTEINE** (limitate a  
*Cyanophyta, Rhodophyta, Cryptophyta*)



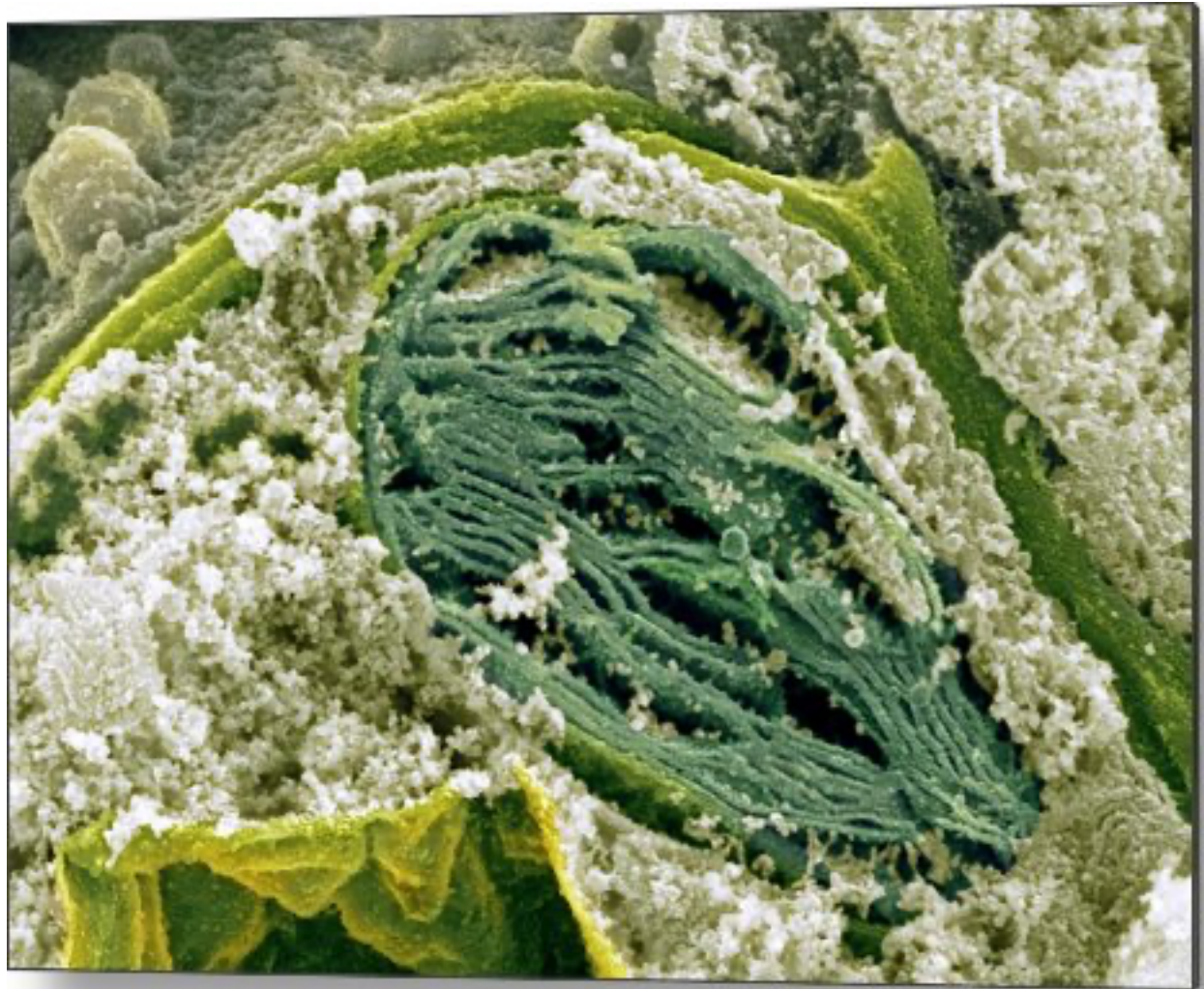


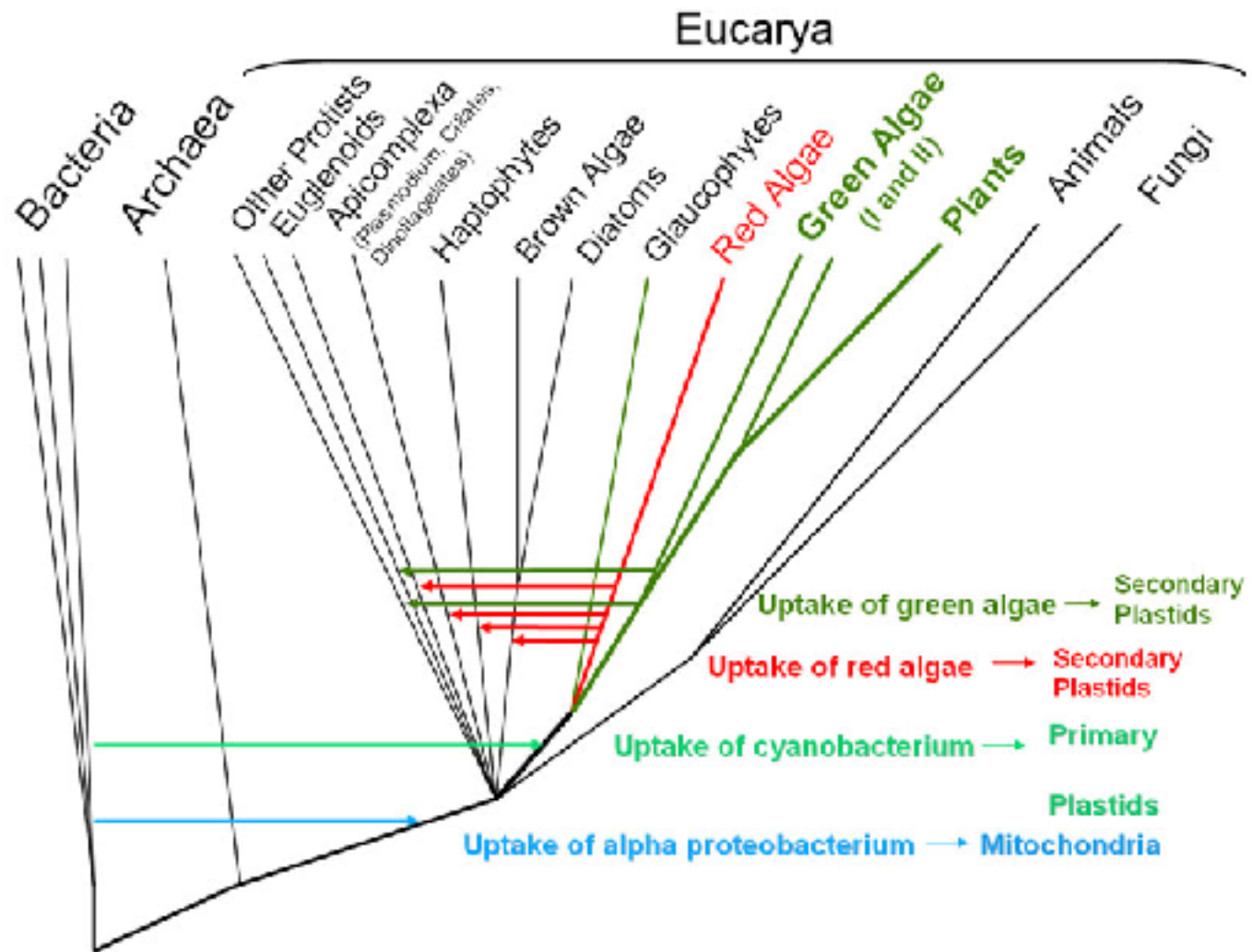


*cloroplasti*

**Cloroplasti nella foglia di peste d'acqua (*Elodea canadensis* Michx., fam. Hydrocharitaceae).**  
x 1000 (950)









Almeno un nuovo evento, molto recente, di endosimbiosi primaria è stato riscontrato in alcune specie del genere *Paulinella*. Si tratta di organismi ameboidi, in cui l'endosimbiosi di un cianobatterio, probabilmente di un "sister group" dei gruppi di cianobatteri *Synechococcus* è avvenuta in tempi relativamente recenti, tra 60 e 140 milioni di anni fa, se comparati con il primo evento di endosimbiosi, che è datato a circa 1,5 miliardi di anni fa.

Il genoma dei plastidi  
in *Paulinella* ha  
dimensioni molto più  
elevate di quello dei  
plastidi più "antichi",  
segno che la fase di  
riduzione del genoma  
conseguente  
all'endosimbiosi è  
probabilmente  
ancora in atto.

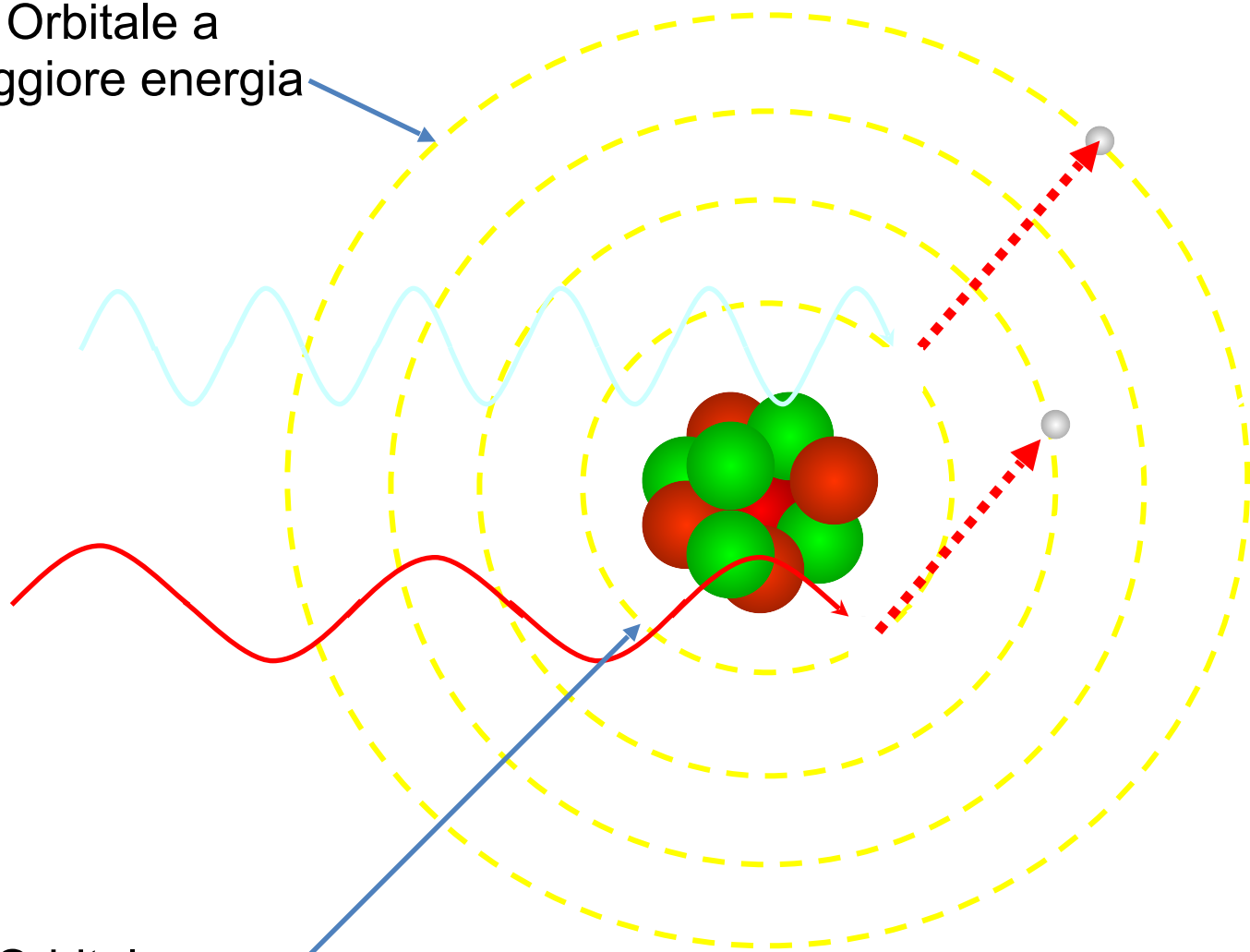






Orbitale a  
maggiore energia

Orbitale a  
minore energia





Quando una radiazione elettromagnetica colpisce una molecola, causa una oscillazione elettronica. Se la radiazione ha una lunghezza d'onda pari o superiore a quella della differenza energetica tra due orbitali, può provocare il “salto” di un elettrone da un orbitale a bassa energia ad uno ad alta energia. La molecola ha quindi assorbito il fotone, e passa uno stato “eccitato”.

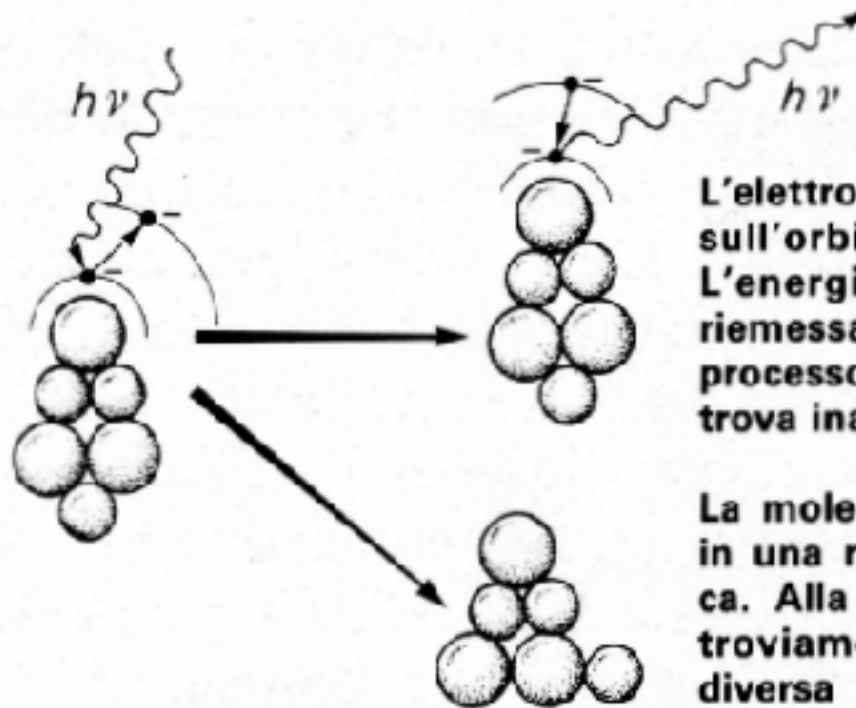
Nel caso dei pigmenti (non solo quelli fotosintetici), la radiazione elettromagnetica deve cadere nel campo del visibile. Per quelli fotosintetici, la lunghezza d'onda massima deve essere di circa 700 nm (anche due vedremo che ci sono alcuni casi particolari, come la clorofilla d).

Una molecola però non può permanere in eterno in uno stato eccitata, e prima o poi restituirà l'energia in qualche forma, come una radiazione elettromagnetica di lunghezza d'onda inferiore.

Tuttavia, i pigmenti fotosintetici possono anche comportarsi in modo diverso.



## ULTRAVIOLETTO E VISIBILE : eccitazione elettronica



L'elettrone può ricadere sull'orbitale originario. L'energia assorbita viene riemessa. Alla fine del processo la molecola si ritrova inalterata.

La molecola eccitata entra in una reazione fotochimica. Alla fine del processo troviamo una molecola diversa da quella di partenza.







I pigmenti fotosintetici hanno la capacità di trasferire l'energia per risonanza induttiva, senza perdere l'elettrone.

Tuttavia le due clorofille dello special pair nel centro di reazione sono in grado di ossidarsi, trasferendo un elettrone a un accettore primario.

Perché il centro di reazione possa di nuovo funzionare, a questo punto, è necessario che la molecola di clorofilla venga ridotta, ottenendo un nuovo elettrone a sostituzione di quello perso.

