

**FACOLTA' DI BIOSCIENZE E TECNOLOGIE AGRO-ALIMENTARI E
AMBIENTALI**

CORSO DI STUDI IN VITICOLTURA ED ENOLOGIA

**CORSO DI BIOLOGIA ANATOMIA E
MORFOLOGIA VEGETALE**

Dr. Nicola Olivieri

ARGOMENTO: LA FOTOSINTESI parte I

Fotosintesi clorofilliana

Il termine fotosintesi deriva dal greco φῶτο (foto-), “luce” e σύνθεσις (synthesis) “costruzione, assemblaggio”.



Fotosintesi clorofilliana

Il termine fotosintesi è stato introdotto nel 1893 da Charles Barnes (1858 -1910) per indicare il processo biologico che porta alla sintesi di composti complessi del carbonio a partire da anidride carbonica, in presenza di clorofilla e sotto l'influenza della luce.

In natura esistono due tipi di fotosintesi, quella definita ossigenica, che produce ossigeno e quella anossigenica, più antica, tipica di batteri fotosintetici verdi e purpurei, che non rilascia ossigeno, poiché non utilizza come substrato H_2O , ma H_2S o H_2 , molecole che non contenendo ossigeno, non possono rilasciarlo per ossidazione.

Fotosintesi clorofilliana

- **La fotosintesi clorofilliana ossigenica, attuata inizialmente dai cianobatteri e successivamente da protisti e vegetali, ha modificato la composizione dell'atmosfera terrestre rendendola respirabile ed ha consentito la formazione dell'ozonosfera**
- **L'ozonosfera, costituita dall'ozono (O_3) assorbendo una parte delle radiazioni ultraviolette provenienti dal Sole, ha consentito la colonizzazione delle terre emerse da parte dei viventi.**



**Sezione di
stromatolite**

**Stromatoliti in formazione sulle
coste dell'Australia Meridionale, in
un ambiente ipersalino ove è ridotta
la presenza di invertebrati brucatori**



Fotosintesi clorofilliana

- La fotosintesi è un processo che converte l'energia luminosa in energia chimica per mezzo di una serie di reazioni che hanno luogo nei cloroplasti.**
- L'energia luminosa viene utilizzata per sintetizzare carboidrati a partire da anidride carbonica ed acqua.**
- Queste reazioni coinvolgono i pigmenti fotosintetici, molecole grandi e scarsamente mobili che non sono in grado di attraversare le membrane.**
- Con la fotosintesi viene prodotto adenosintrifosfato (ATP), molecola dotata di elevata energia potenziale.**
- Ciascuna molecola di ATP veicola energia tra reazioni che liberano energia (esoergoniche) e reazioni che consumano energia (endoergoniche).**

Fotosintesi clorofilliana

- Nelle reazioni della fotosintesi l'ATP può essere convertito in adenosindifosfato (ADP) e fosfato, mediante il distacco di un gruppo fosfato terminale. L'ATP è una molecola essenziale ma nelle cellule vegetali è presente in quantità ridotta poiché ogni molecola di ATP viene riciclata continuamente. L'ADP può essere nuovamente fosforilato ad ATP tramite la fotofosforilazione che coinvolge la luce ed è legata al processo fotosintetico.

Fotosintesi clorofilliana

L'anidride carbonica e l'acqua sono largamente disponibili nell'ambiente e le piante possono assumerle con ridotto dispendio energetico.

I carboidrati che si formano con la fotosintesi rappresentano un sistema di conservazione dell'energia, che può essere disponibile grazie alla loro scissione.

Con la fotosintesi l'energia luminosa viene utilizzata per la riduzione del carbonio.

Nell'anidride carbonica il carbonio ha livello di ossidazione +4, mentre nei carboidrati il livello di ossidazione è per lo più 0

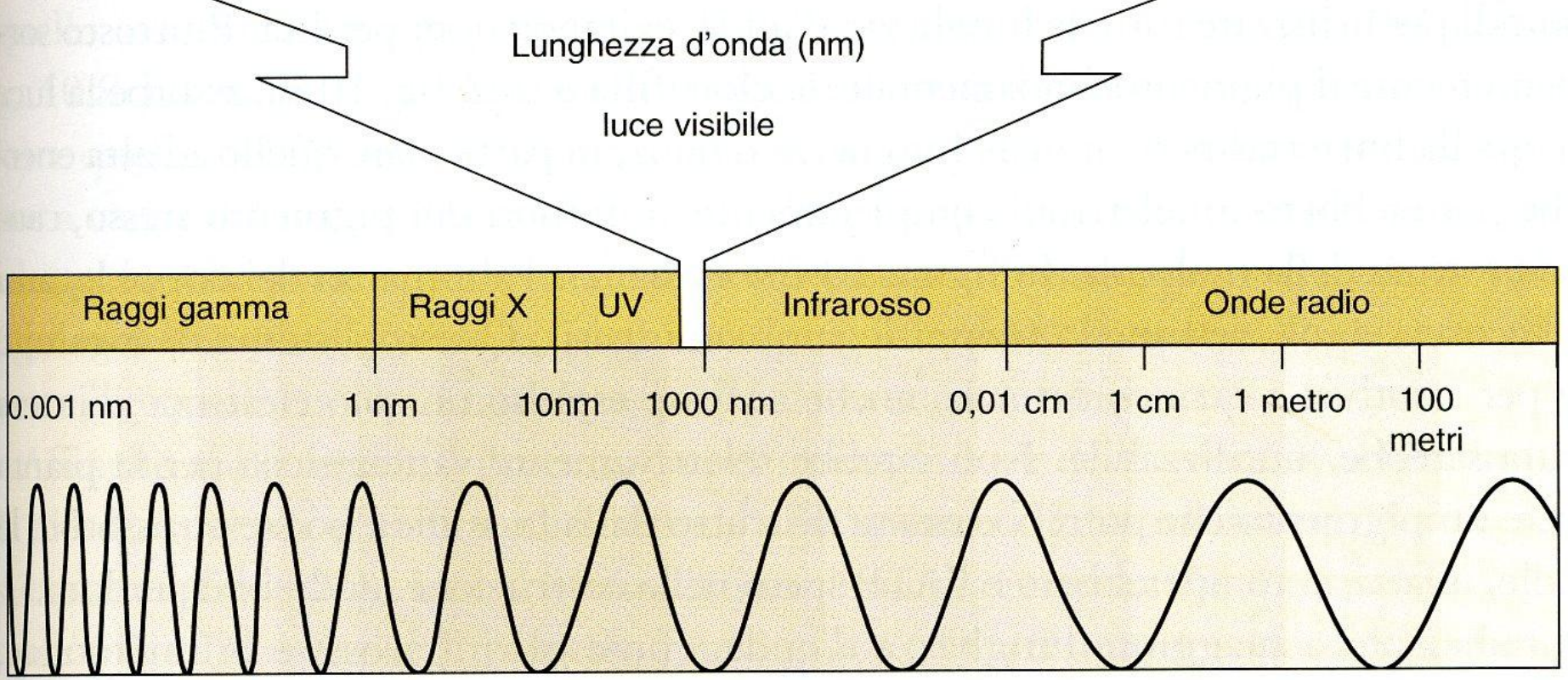
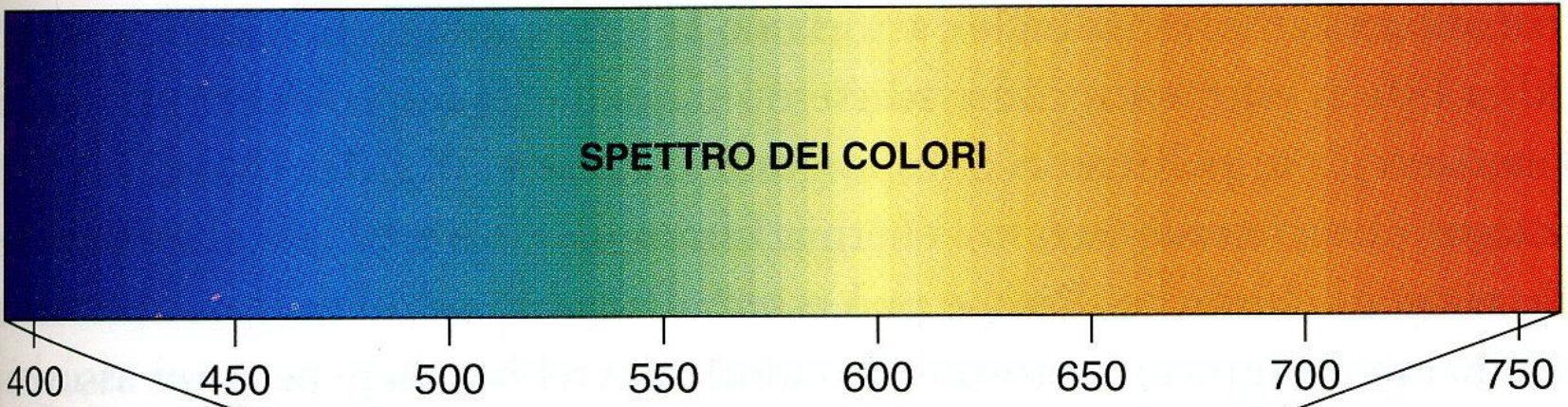
Fotosintesi clorofilliana

Per ridurre il carbonio servono 4 elettroni, tenendo conto del fatto che il carbonio è più stabile nello stato ossidato che in quello ridotto. Per lo svolgimento della fotosintesi devono intervenire una fonte di elettroni ed una di energia. Gli elettroni provengono dall'acqua e l'energia proviene dalla luce.

La luce e l'acqua intervengono indirettamente sull'anidride carbonica, tramite ATP e NADPH che vengono prodotte durante la cosiddetta fase luminosa della fotosintesi, quando avvengono reazioni dipendenti dalla luce. Con una diversa serie di reazioni note come fase oscura o stromatica ATP e NADPH reagiscono con l'anidride carbonica per produrre carboidrati.

Luce e pigmenti fotosintetici

La luce visibile rappresenta una piccola parte (finestra visibile) dell'intero spettro elettromagnetico, che va dai raggi gamma alle onde radio. In generale per gli animali la luce è visibile tra i 350 ed 760 nm di lunghezza d'onda, mentre le piante utilizzano per la fotosintesi le lunghezze d'onda comprese tra 380 e 710 nm, cioè la luce fotosinteticamente attiva o PAR (Photosynthetically Active Radiation)



Luce e pigmenti fotosintetici

Le diverse sostanze possono assorbire radiazioni dello spettro elettromagnetico di lunghezza d'onda diversa. Le componenti della luce visibile non assorbite vengono riflesse e conferiscono una colorazione alla sostanza. I pigmenti sono sostanze che assorbono radiazioni di determinate d'onda e ne riflettono altre che forniscono loro un particolare colore.

Le piante appaiono di colore verde poiché i pigmenti più diffusi nelle loro cellule sono le clorofille

Luce e pigmenti fotosintetici

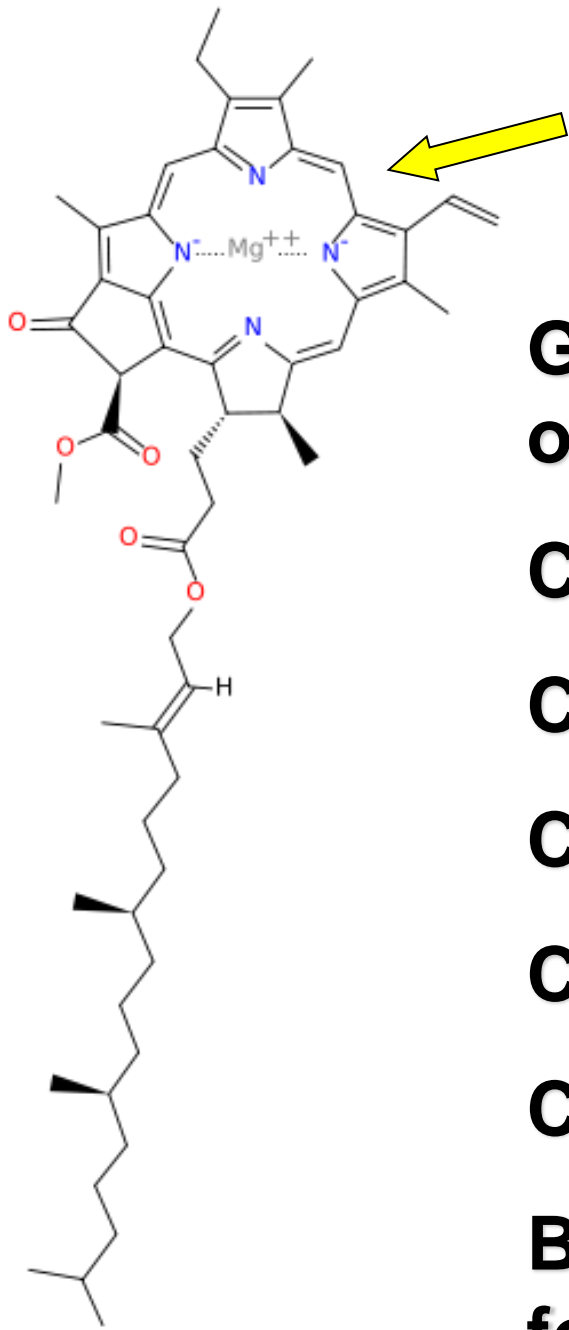
Il termine clorofilla deriva dal greco $\chi\lambda\omega\rho\acute{o}\varsigma$, *chloros* = verde e $\phi\acute{\upsilon}\lambda\lambda\omicron\nu\nu$, *phyllon* = foglia.

Le clorofille appartengono alla categoria delle clorine, molecole simili alle metallo-porfirine (ad esempio il gruppo eme delle emoproteine, come l'emoglobina, che contiene ferro).

La molecola delle clorine è costituita da un anello tetrapirrolico al cui centro è posizionato un atomo di magnesio che conferisce stabilità alla struttura.

Nelle clorine, a differenza delle porfirine, uno dei pirroli è ridotto.

Il resto della molecola della clorofilla è costituito da una coda idrofoba formata da un alcool a lunga catena, il fitolo e da un residuo di acido propionico che ancora la clorofilla alla membrana dei tilacoidi.



Molecola della clorofilla a

Gli organismi fotosintetici ospitano diversi tipi di clorofille:

Clorofilla a in tutti i vegetali

Clorofilla b in molte piante

Clorofilla c1 in alcune alghe

Clorofilla c2 in alcune alghe

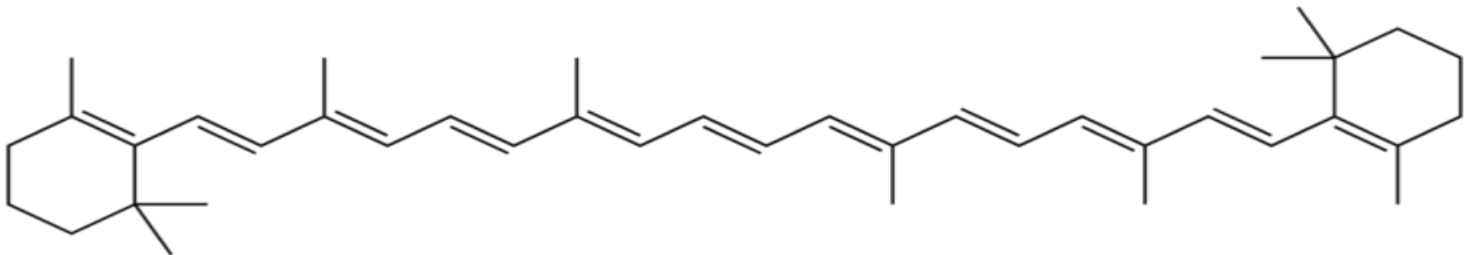
Clorofila d nei cianobatteri

Batterioclorofille nei batteri fotosintetici

Luce e pigmenti fotosintetici

Altri pigmenti fotosintetici definiti accessori sono i carotenoidi che comprendono: i caroteni, che non contengono ossigeno e le xantofille, che invece lo contengono.

Un esempio di carotene è il β -carotene, un esempio di xantofilla è la luteina.



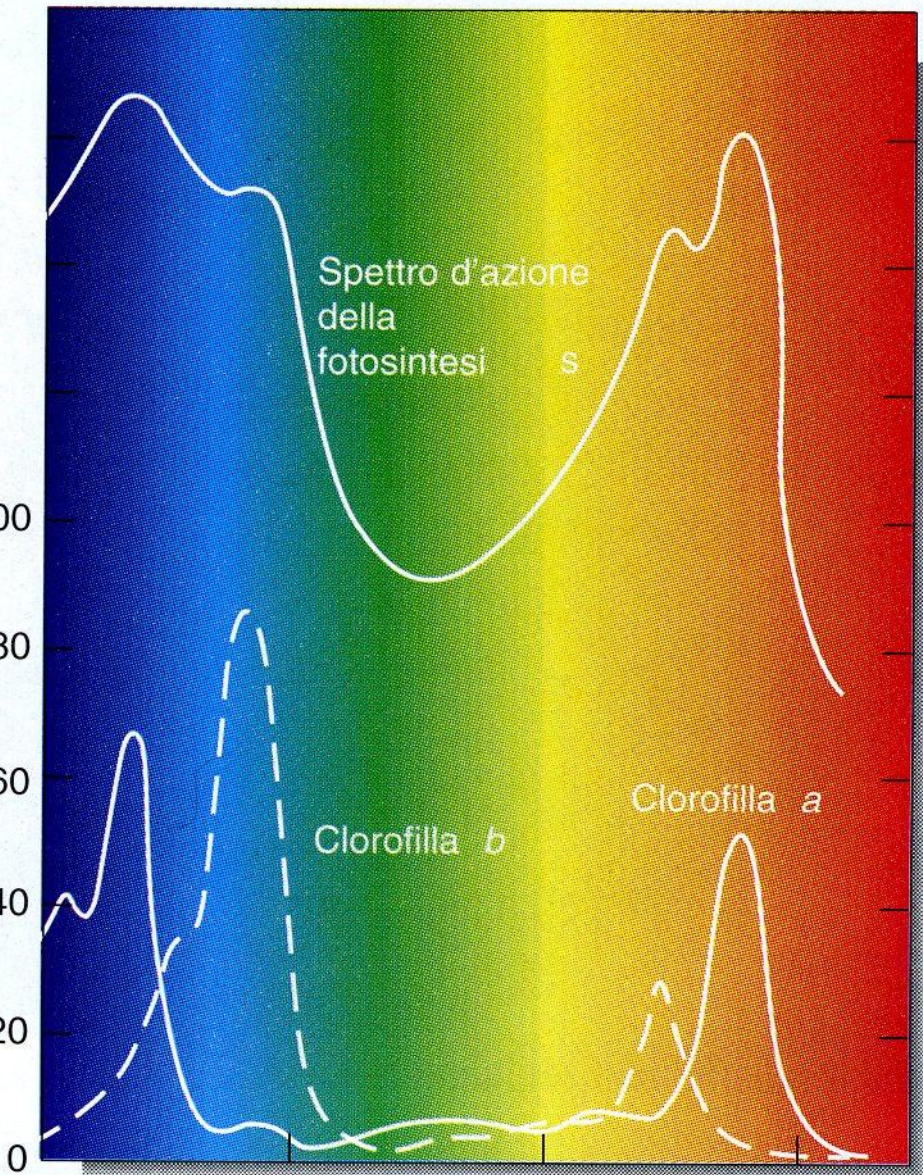
Molecola del β -carotene

Luce e pigmenti fotosintetici

- **Le alghe possono contenere ulteriori pigmenti fotosintetici detti ficobiliproteine che possono dare colorazioni rossastre o brune ed assorbono soprattutto nel campo delle radiazioni verdi e gialle.**
- **La clorofilla a ha uno spettro di assorbimento che si estende soprattutto nel campo dell'arancione e dell'indaco, mentre la clorofilla b soprattutto nell'ambito delle radiazioni blu. Insieme esse determinano lo spettro d'azione della fotosintesi.**
- **L'energia radiante di provenienza solare può essere convertita in energia chimica grazie all'azione di fotosistemi, complessi costituiti da diversi pigmenti.**

Spettro assorbimento misurato (%)

100
80
60
40
20
0



Spettro d'azione
della
fotosintesi

s

Clorofilla *b*

Clorofilla *a*

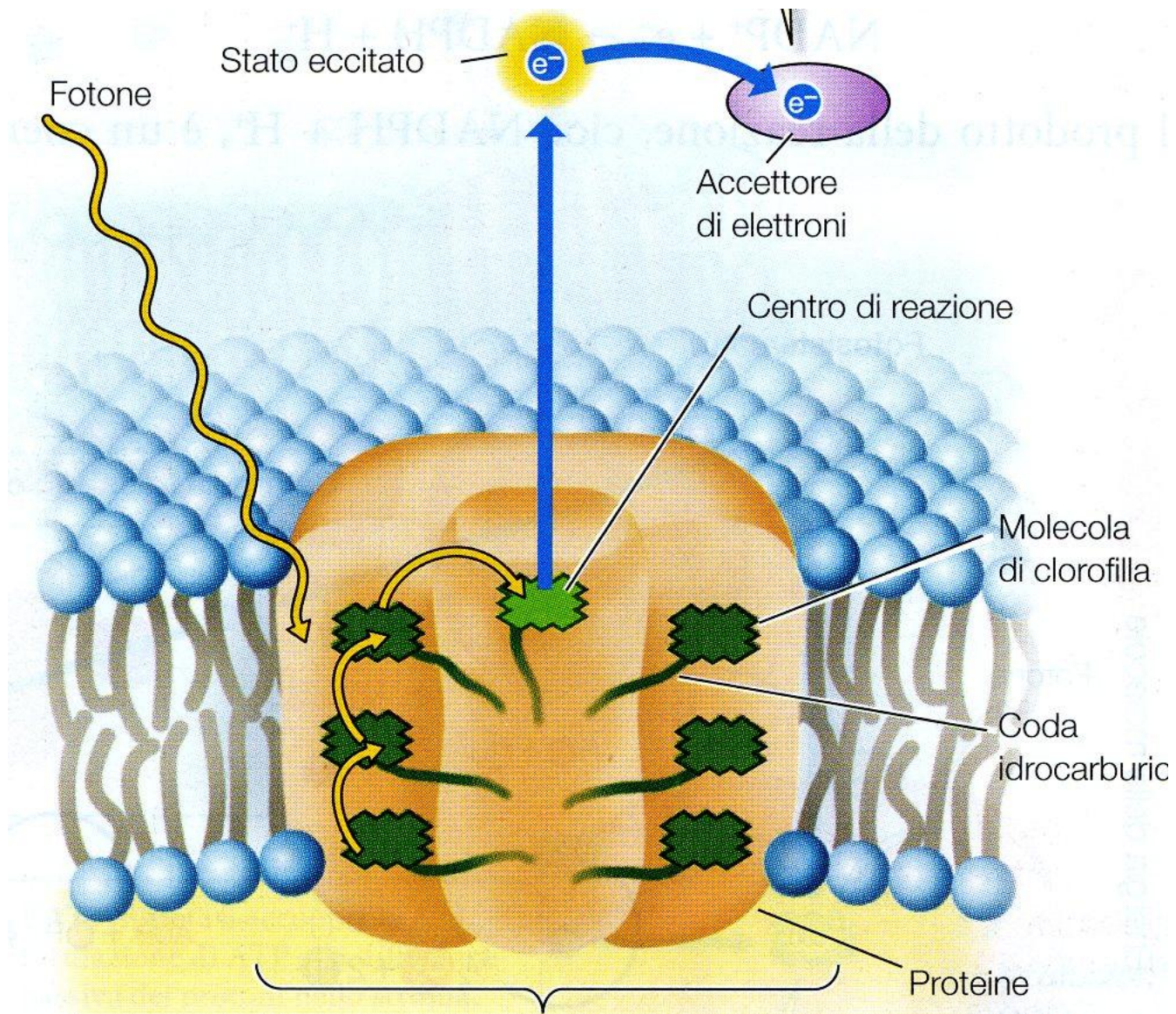
100
80
60
40
20
0

Tasso di fotosintesi
(come % del tasso misurato a 670 nm)

400 500 600 700

Lunghezza d'onda (nm)

- **Ogni fotosistema è costituito da un sistema antenna e da un centro di reazione.**
- **I fotosistemi sono inseriti nelle membrane, nella cellula eucariotica sono legati alla membrana tilacoidale.**
- **Il sistema antenna è costituito da complessi pigmento-proteina dotati di differenti caratteristiche spettrali di assorbimento della luce.**
- **Il sistema antenna contiene diversi pigmenti: clorofille, carotenoidi, ficobiline, situati a stretto contatto. L'antenna capta l'energia solare sotto forma di fotoni grazie ai suoi pigmenti. Questa energia di eccitazione procede lungo il sistema passando da una molecola di pigmento all'altra. Il trasferimento di energia procede dai pigmenti che assorbono luce di lunghezza d'onda inferiore (energia più alta) verso i pigmenti che assorbono luce di lunghezza d'onda maggiore (energia più bassa), fino al raggiungimento della molecola di pigmento che assorbe le lunghezze d'onda più lunghe.**
- **Questa molecola si trova nel centro di reazione del fotosistema ed è rappresentata da clorofilla fotochimicamente attiva (P).**

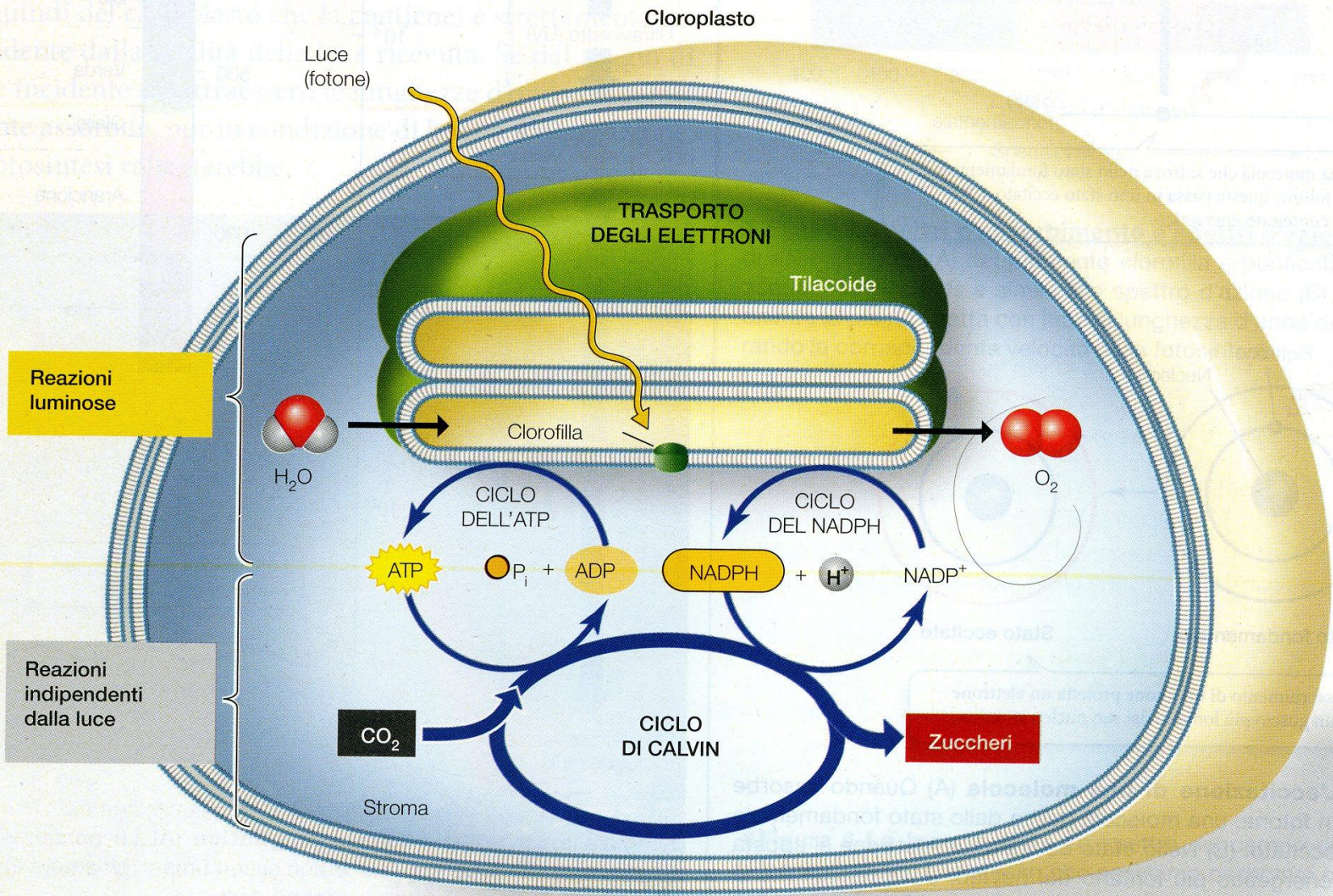


Trasferimento di energia e trasporto di elettroni in un fotosistema

- **Nelle piante la molecola di clorofilla situata nel centro di reazione dei fotosistemi è sempre la clorofilla a**
- **Nel centro di reazione l'energia luminosa assorbita viene convertita in energia chimica.**
- **La molecola di clorofilla presente nel centro di reazione riceve una quantità di energia che riesce a farle perdere un elettrone (cioè ad ossidarsi), assumendo una carica positiva.**

- **L'elettrone perso dalla clorofilla a viene acquistato da un accettore primario di elettroni che si riduce e si ha quindi una reazione di ossido-riduzione.**
- **La clorofilla recupera il proprio elettrone ossidando una molecola d'acqua. A causa della rottura del legame tra idrogeno ed ossigeno dell'acqua si genera ossigeno molecolare (O₂) che fuoriesce dalle foglie per mezzo degli stomi. In questo modo la fotosintesi ossigenica produce ossigeno.**

- **Nelle piante sono stati individuati due tipi di fotosistemi definiti fotosistema I e fotosistema II.**
- **Il centro di reazione del fotosistema I è rappresentato da due molecole di clorofilla a, detta P 700, perché assorbe soprattutto luce di lunghezza d'onda 700 nm.**
- **Nel fotosistema II il centro di reazione è rappresentato da due molecole di clorofilla a, detta P 680 perché il suo massimo assorbimento si ha con luce della lunghezza d'onda di 680 nm (quindi con maggiore energia rispetto a 700 nm).**
- **Le molecole di clorofilla a (P700 e P680) dei centri di reazione dei due fotosistemi sono uguali ed il loro diverso comportamento dipende dalle proteine con le quali sono associate.**



Da Sadava et al.

- **Nella fotosintesi entra in azione prima il fotosistema II.**
- **Gli elettroni persi dalla clorofilla P680 del centro di reazione del fotosistema II passano dall'acceptore primario di questo fotosistema (feofitina) al fotosistema I attraverso una catena di trasportatori (plastoquinone, plastocianina, etc.). Durante questo passaggio viene liberata energia che servirà per la sintesi di ATP.**
- **Questa sintesi di ATP a partire da ADP + P che si verifica all'interno dei cloroplasti è detta fotofosforilazione.**

- **Attraverso la catena di trasportatori gli elettroni liberatisi nel fotosistema II vengono convogliati nel fotosistema I.**
- **Nel fotosistema I questi elettroni vanno a sostituire quelli ceduti dalla clorofilla P680 del centro di reazione ad un accettore primario (ferredossina) a seguito dell'assorbimento di un fotone.**
- **Gli elettroni ricevuti dall'accettore primario del fotosistema I sono utilizzati per ridurre il NADP^+ (nicotinammide adenina dinucleotide fosfato) a $\text{NADPH} + \text{H}^+$ utilizzando i due idrogeni provenienti dalla scissione (fotolisi) dell'acqua.**