

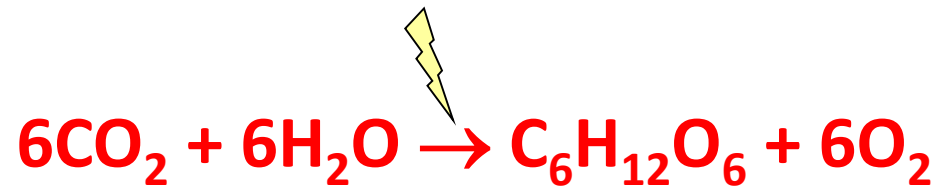
**LA FOTOSINTESI:  
CONCETTI GENERALI E REAZIONI ALLA LUCE**

# FOTOSINTESI

Conversione di energia luminosa in energia di legame da parte di piante, alghe e procarioti.

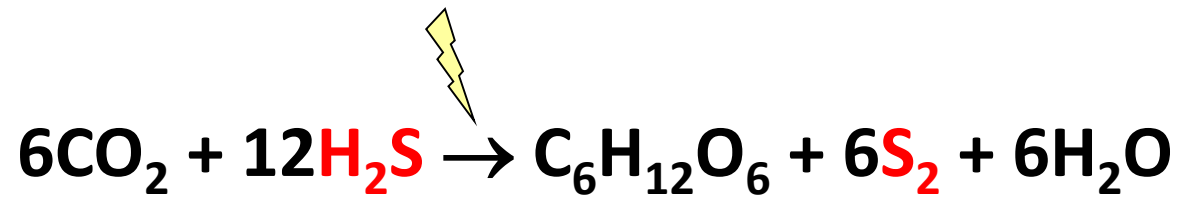


Sintesi di composti organici a partire da composti inorganici



(Fotosintesi ossigenica)

## FOTOSINTESI ANOSSIGENICA



Esperimenti di Hill su cloroplasti isolati utilizzando accettori di elettroni artificiali (benzochinone, ferricyanide..)



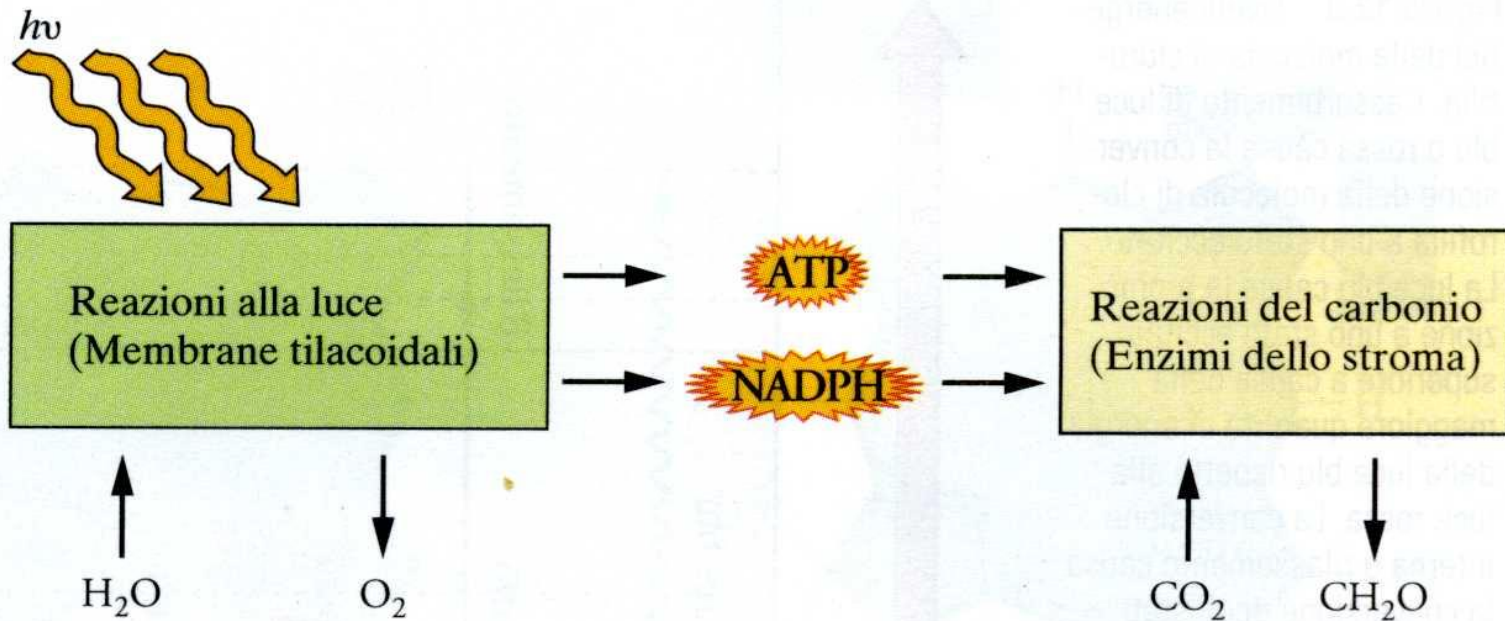
**La fotosintesi è un processo redox**

Produzione di ossigeno avviene in assenza di  $\text{CO}_2$ :  
 $\text{O}_2$  emesso dalle piante deriva da  **$\text{H}_2\text{O}$**  e non da  $\text{CO}_2$

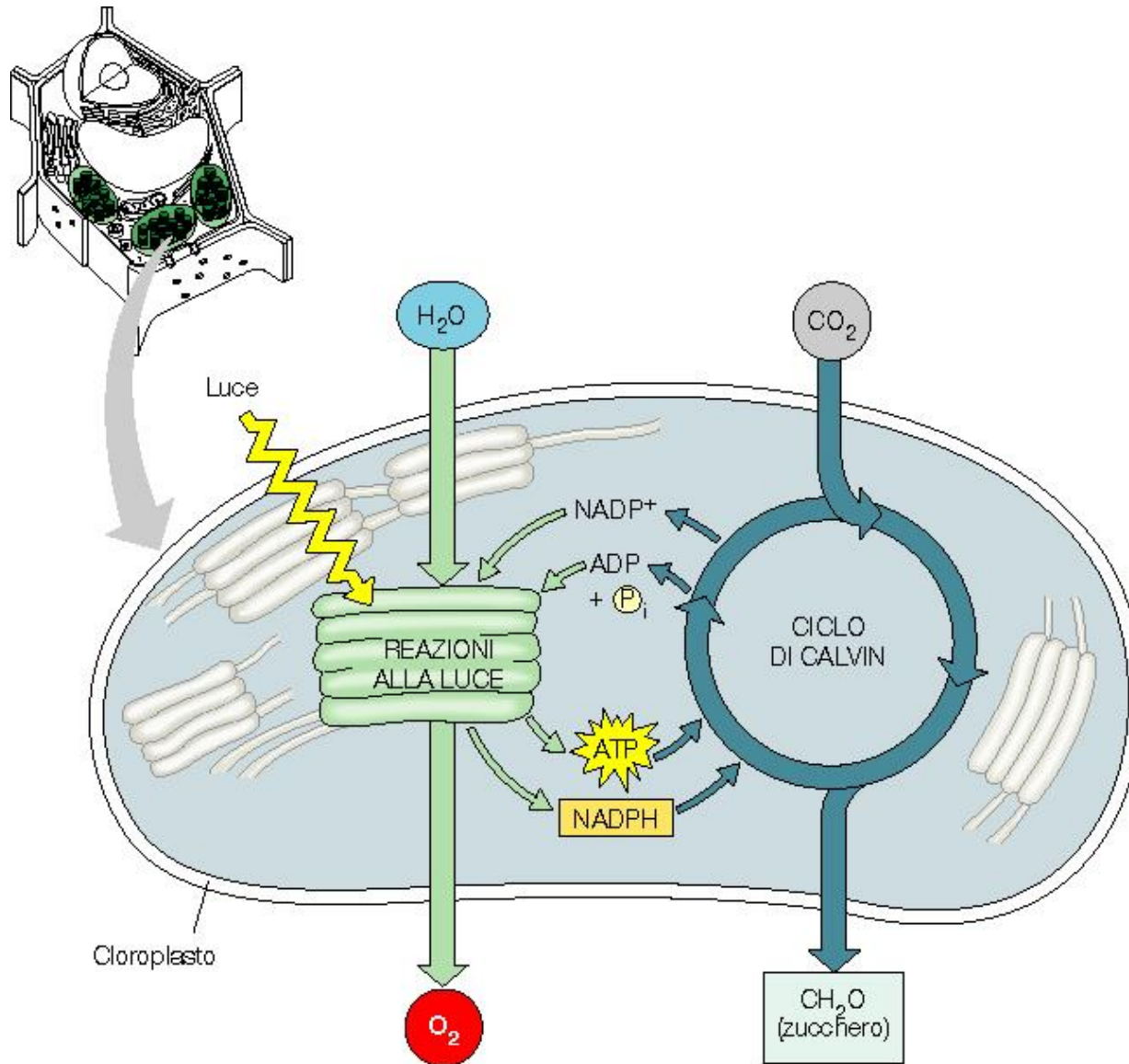
Processo divisibile in due fasi:

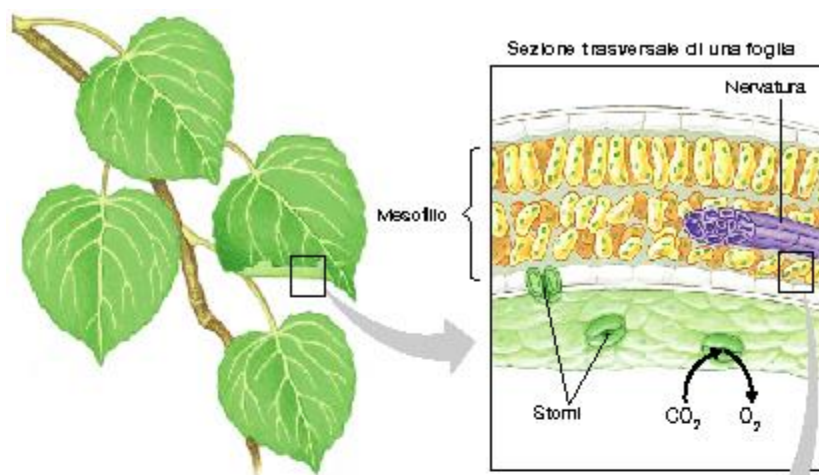
Reazioni alla luce (o tilacoidali)

Reazioni del carbonio (o stromatiche)

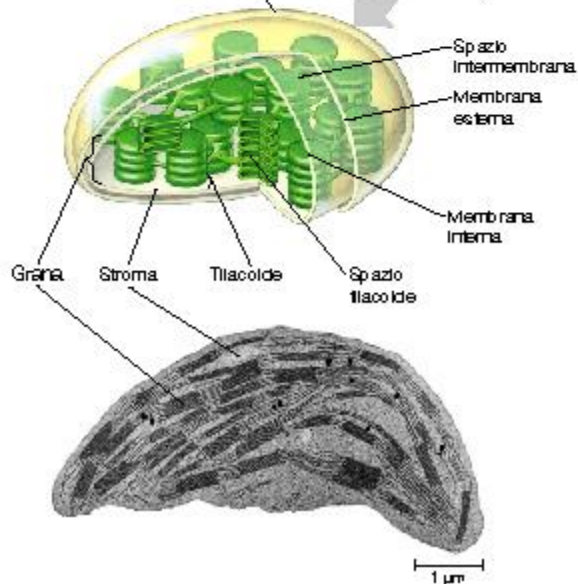
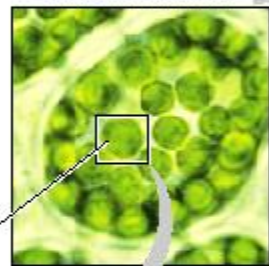


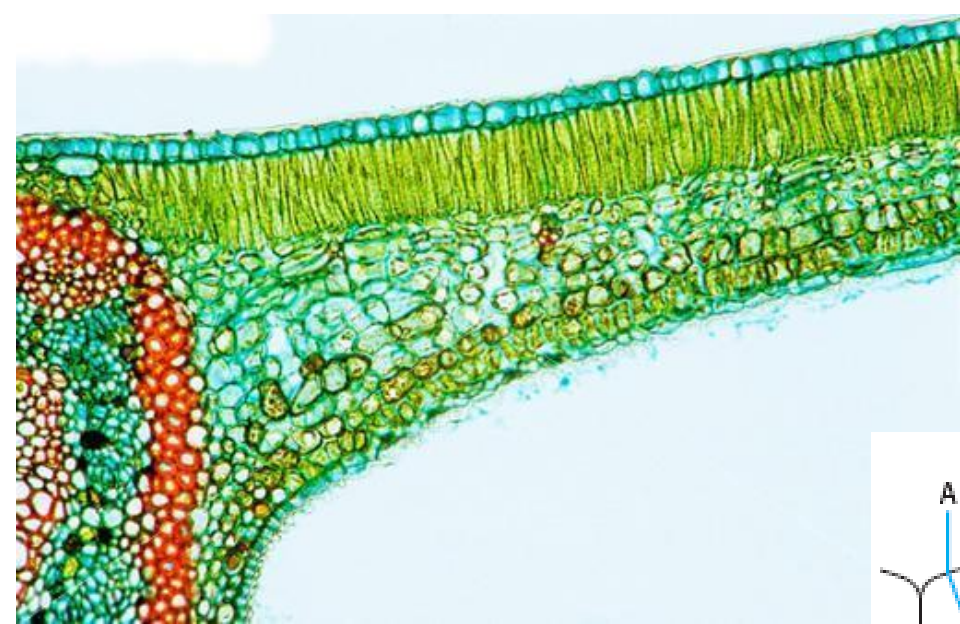
Le due fasi della fotosintesi sono strettamente associate





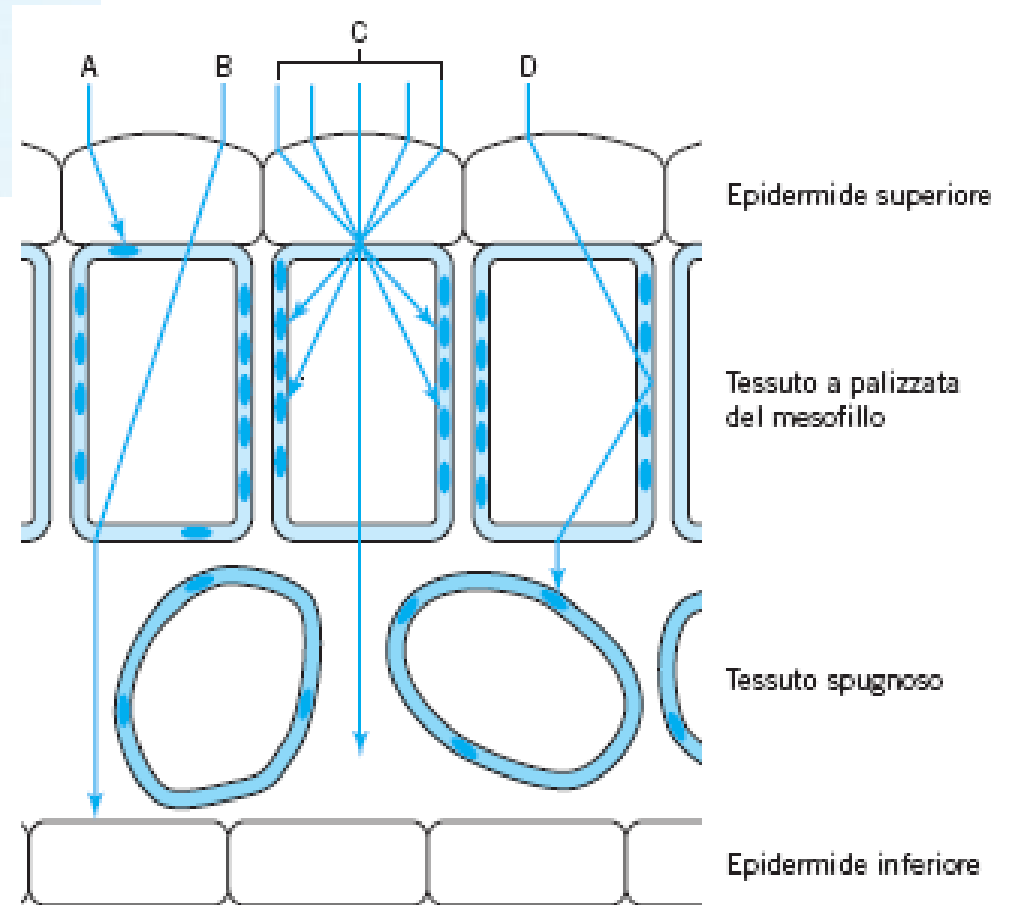
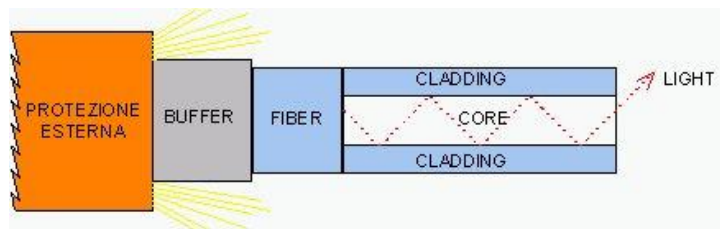
Cellula del mesofillo





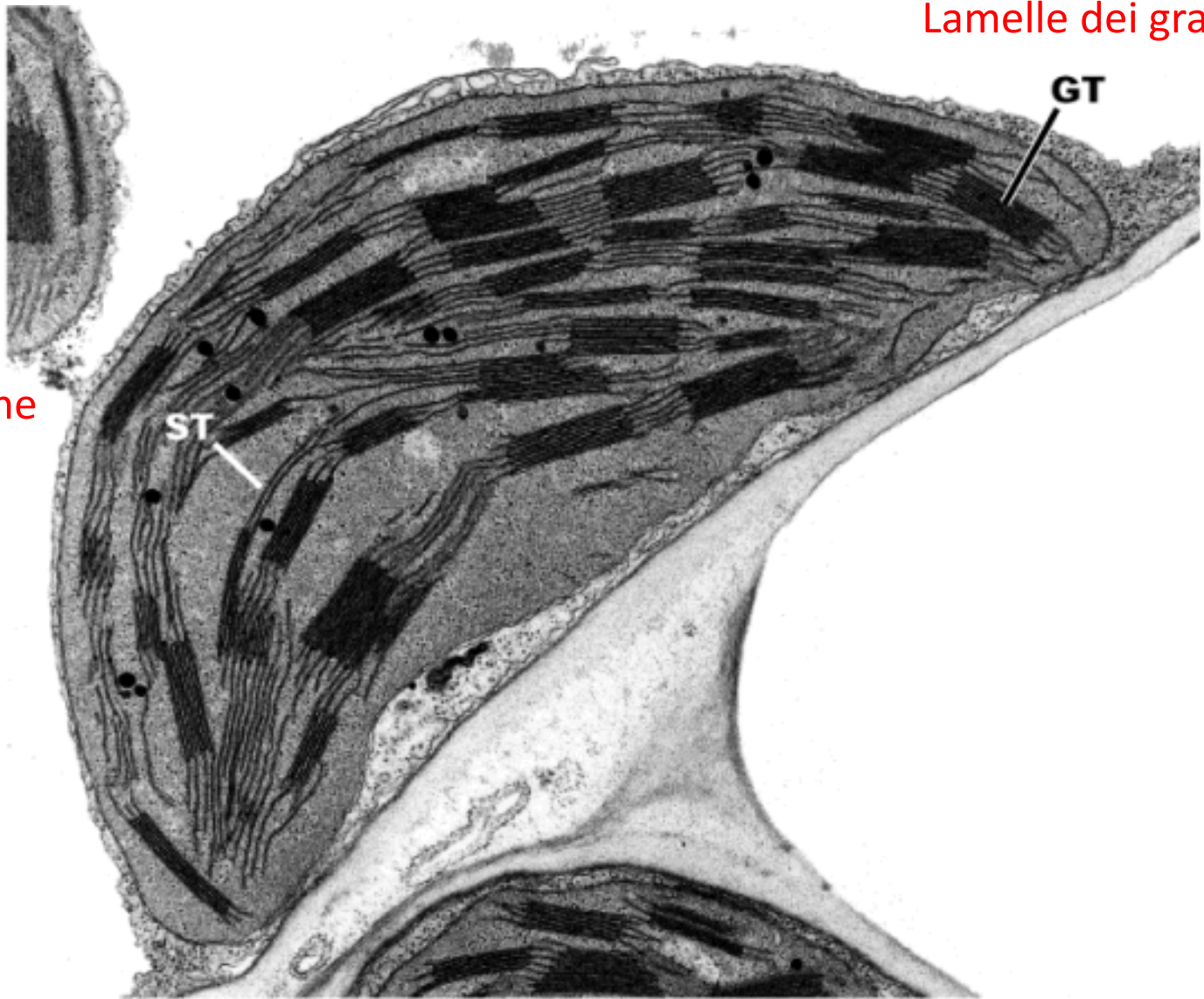
### Massimizzazione dell'assorbimento:

- Effetto setaccio
- Effetto lente
- Effetto guida





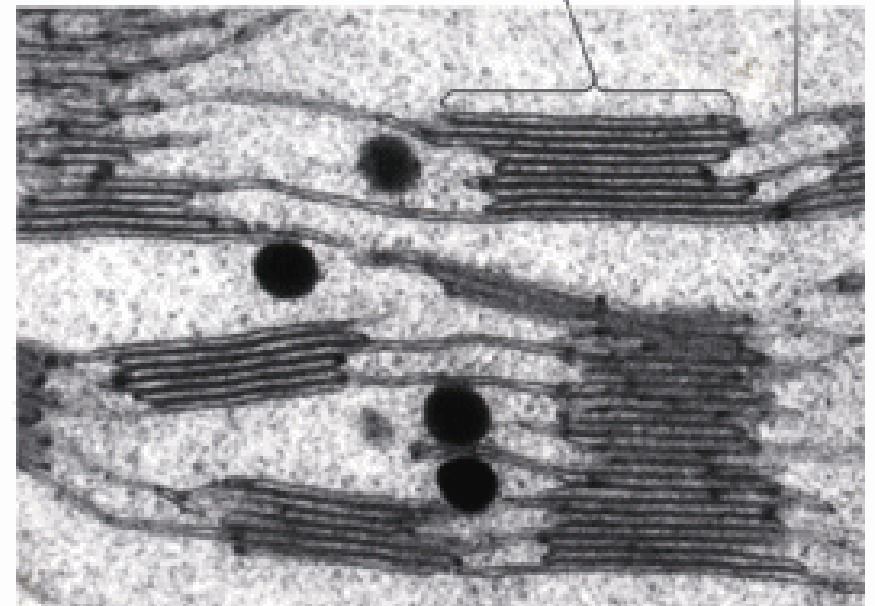
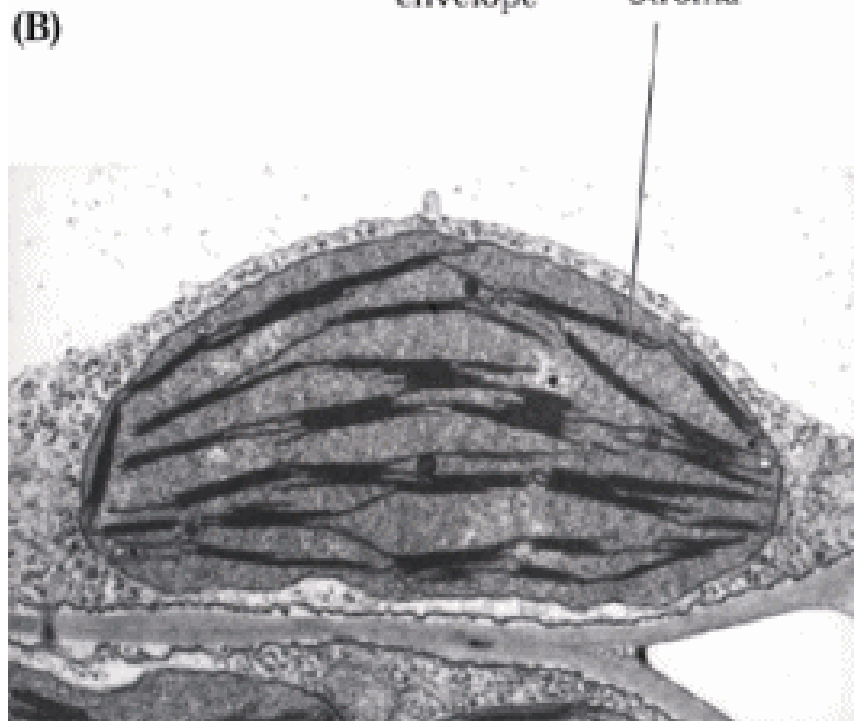
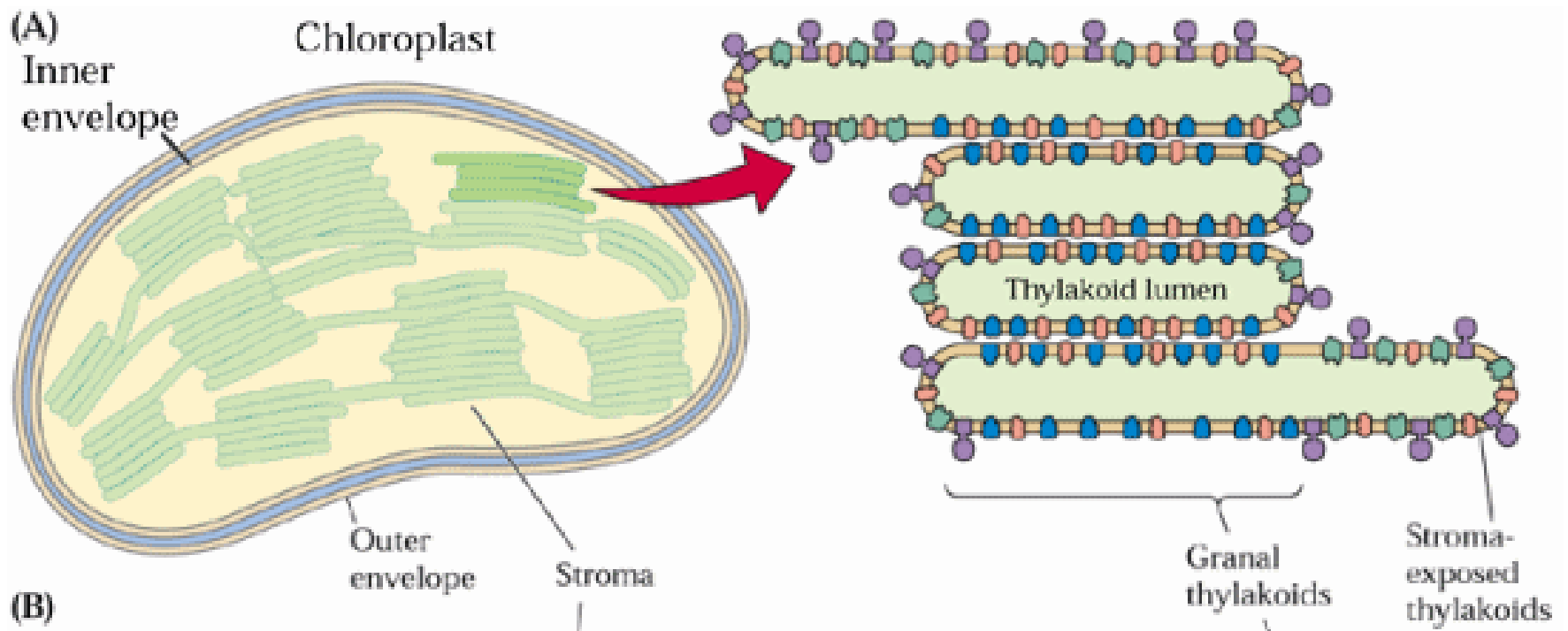
Lamelle  
stromatiche

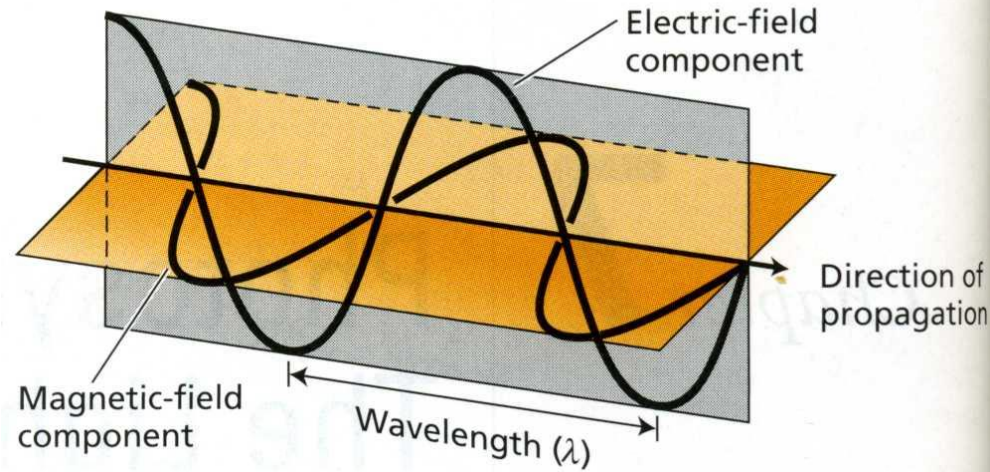
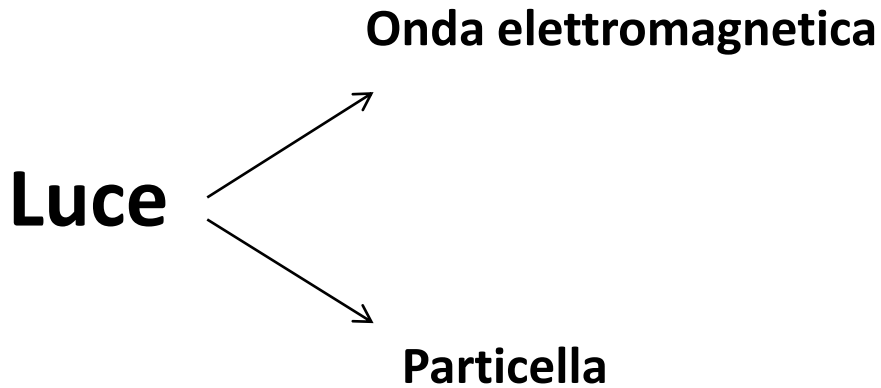


Lamelle dei grana

GT

ST





$\lambda$  = lunghezza d'onda  
 $\nu$  = frequenza

Fotone → contiene una  
quantità di energia definita  
(quanto)

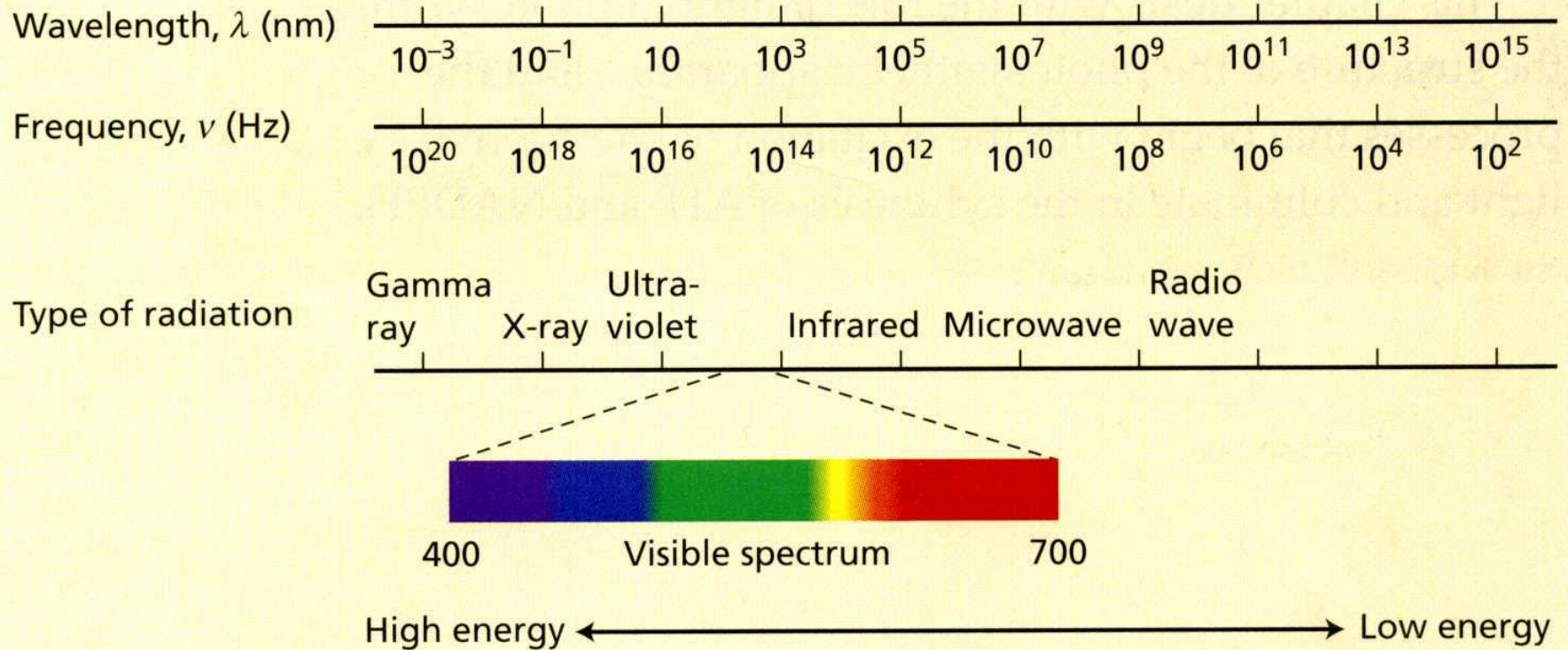
$$E = h\nu = hc/\lambda$$

Legge di Planck

$$c = \lambda \nu$$
$$\nu = c/\lambda$$

$h$  è la costante di Planck ( $6.626 \times 10^{-34}$  J s)  
 $c$  è la velocità della luce ( $3 \times 10^8$  m s<sup>-1</sup>)

## Lo spettro elettromagnetico



La radiazione fotosinteticamente attiva corrisponde alla banda del visibile (tra 400 e 700 nm circa)

Nota: radiazioni a lunghezza d'onda  $>700$  nm o  $<400$  nm non vengono utilizzate nella fotosintesi ma hanno importanti effetti (fotomorfogenetici, fotodistruttivi) sulla vita delle piante.

Fotone di luce rossa,  $\lambda = 660 \text{ nm} = 6.6 \times 10^{-7} \text{ m}$

$h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J s}$

$E_q = hc/\lambda = [(6.62 \times 10^{-34} \text{ J s}) \times (3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1})] / (6.6 \times 10^{-7} \text{ m}) = 3.01 \times 10^{-19} \text{ J}$

Fotone di luce blu,  $\lambda = 435 \text{ nm} = 4.35 \times 10^{-7} \text{ m}$

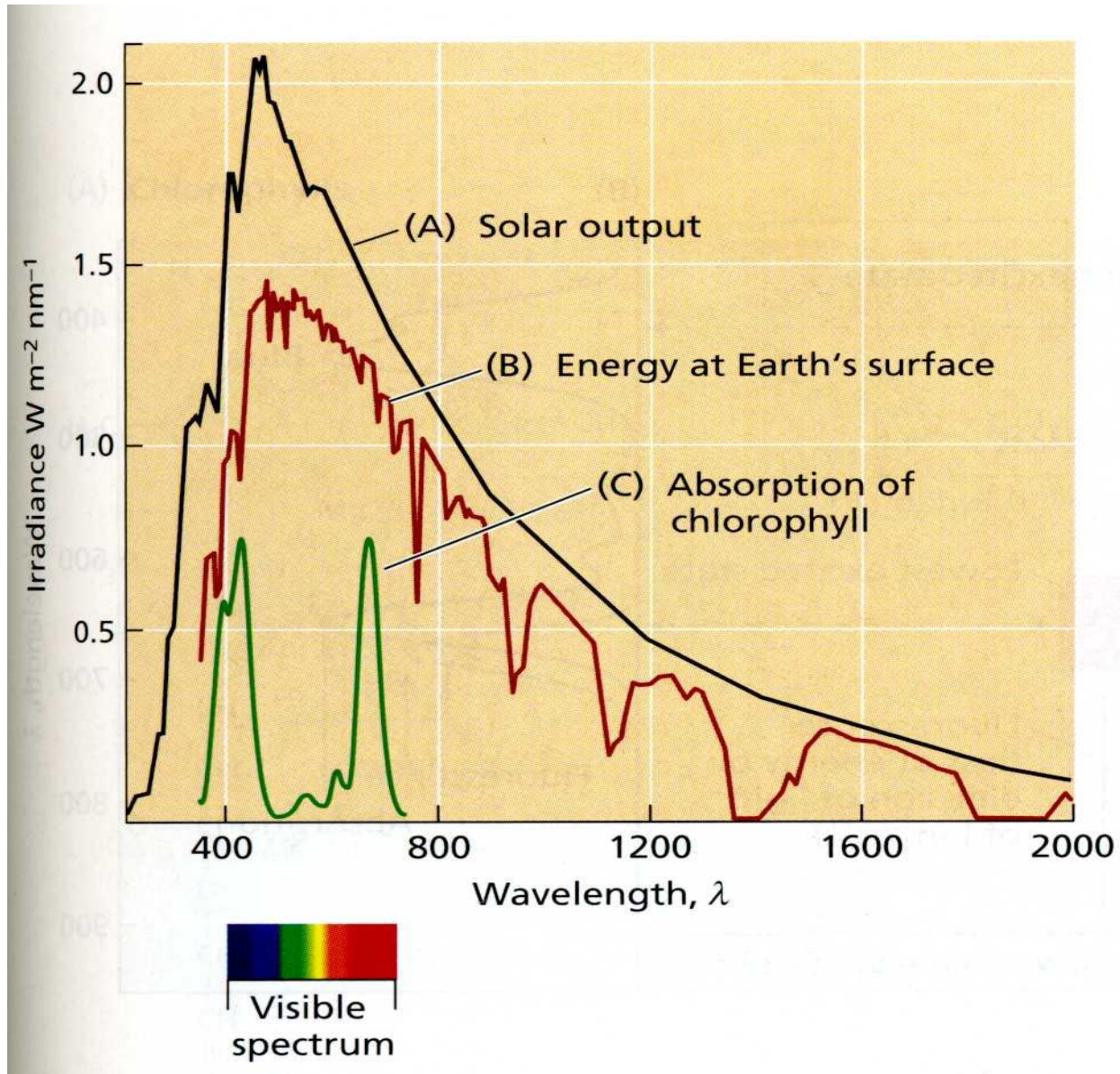
$h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J s}$

$E_q = hc/\lambda = [(6.62 \times 10^{-34} \text{ J s}) \times (3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1})] / (4.35 \times 10^{-7} \text{ m}) = 4.56 \times 10^{-19} \text{ J}$

**TABELLA 3.1** Principali radiazioni di interesse biologico

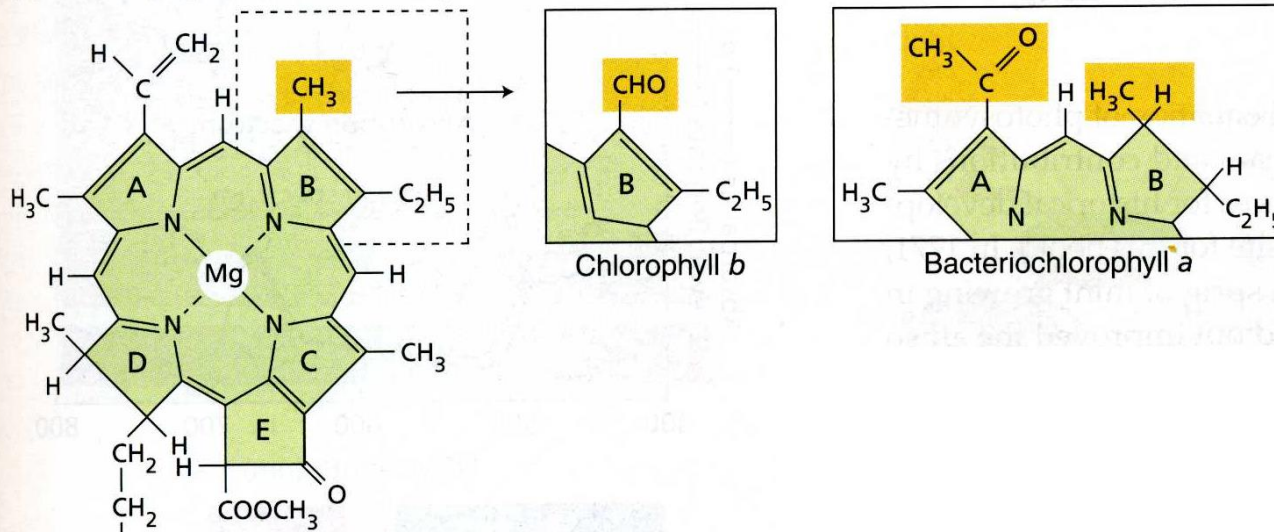
| Colore               | Ambito di lunghezza d'onda (nm) | Energia media (kJ mol <sup>-1</sup> fotoni) |
|----------------------|---------------------------------|---|
| <i>Ultravioletto</i> | <i>100-400</i>                  |   |
| UV-C                 | 100-280                         | 471   |
| UV-B                 | 280-320                         | 399   |
| UV-A                 | 320-400                         | 332   |
| <i>Visibile</i>      | <i>400-740</i>                  |   |
| Violetto             | 400-425                         | 290   |
| Blu                  | 425-490                         | 274   |
| Verde                | 490-550                         | 230   |
| Giallo               | 550-585                         | 212   |
| Arancio              | 585-640                         | 196   |
| Rosso                | 640-700                         | 181   |
| Rosso lontano        | 700-740                         | 166   |
| <i>Infrarosso</i>    | <i>maggiore di 740</i>          | 85  |

Il sole è una sorgente di fotoni a diversa lunghezza d'onda → diversa energia



# **Pigmenti fotosintetici**

## (A) Chlorophylls



## CLOROFILLE

Struttura ad anello derivata dalle porfirine (emoglobina, citocromi)

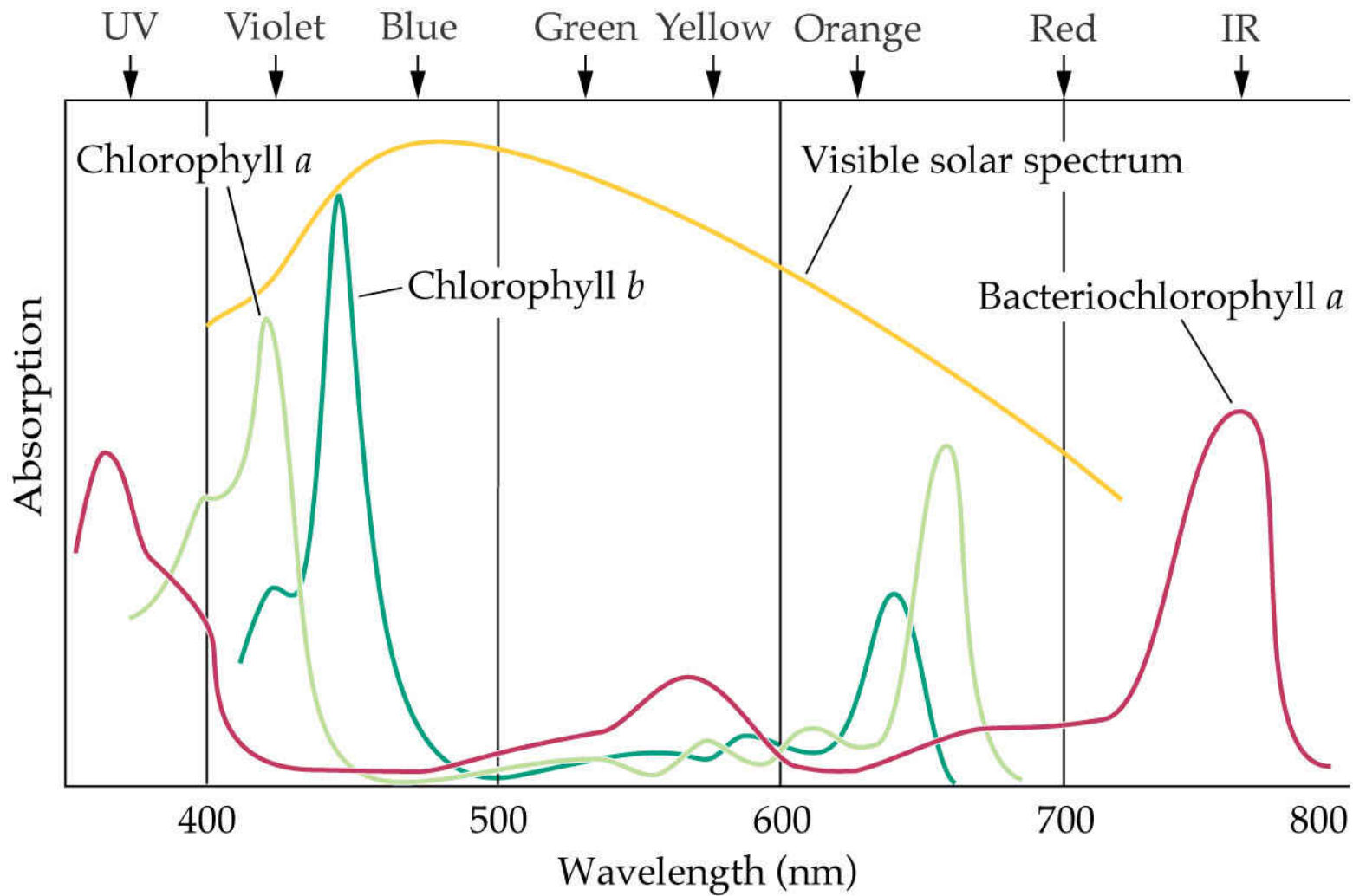
Mg<sup>2+</sup> coordinato nell'anello

Lunga catena idrocarburica (fitolo)

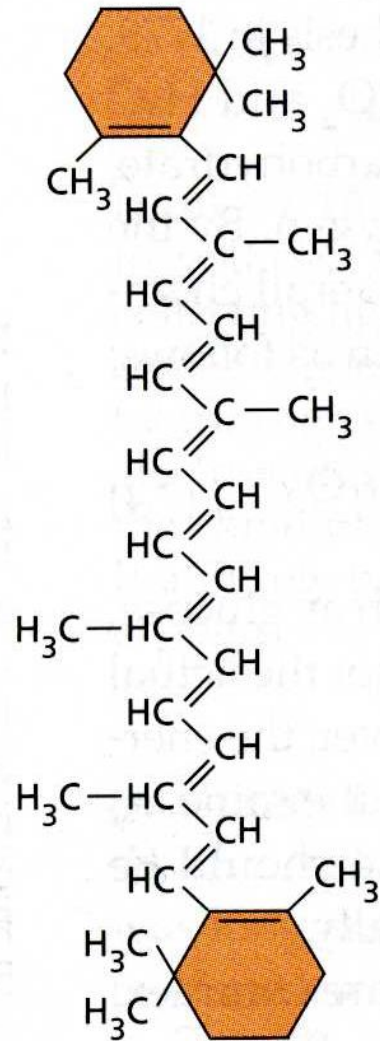
Assorbimento nel visibile dovuto al sistema di doppi legami coniugati dell'anello

Chlorophyll a





## (B) Carotenoids



β-Carotene

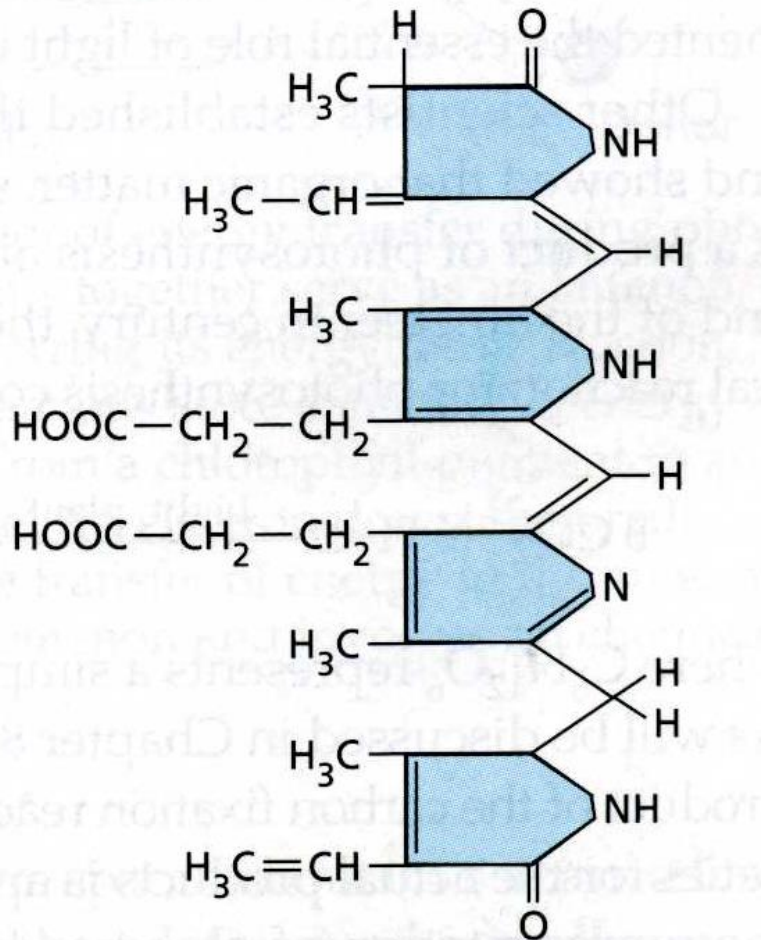
## CAROTENOIDI

Terpenoidi (o isoprenoidi) a 40 atomi di C

Molecola lineare con legami doppi multipli

Due classi: caroteni e xantofille

### (C) Bilin pigments



Phycoerythrobilin

FICOBILINE (cianobatteri e alghe rosse)

Tetrapirroli a catena aperta

In genere legate a una proteina come parte integrante della molecola (formando le FICOBILIPROTEINE) e organizzate in grossi complessi macromolecolari detti **ficobilisomi**

Tre gruppi principali di ficobiliproteine: ficoeritrine (rosse), ficocianine (blu), alloficocianine (blu-porpora)

**Clorofilla a:** piante, alghe, cianobatteri

**Clorofilla b:** piante terrestri, alghe verdi, proclorofite

**Clorofille c, d:** diatomee, alghe brune, alghe rosse

**Batterioclorofille:** procarioti con fotosintesi anossigenica

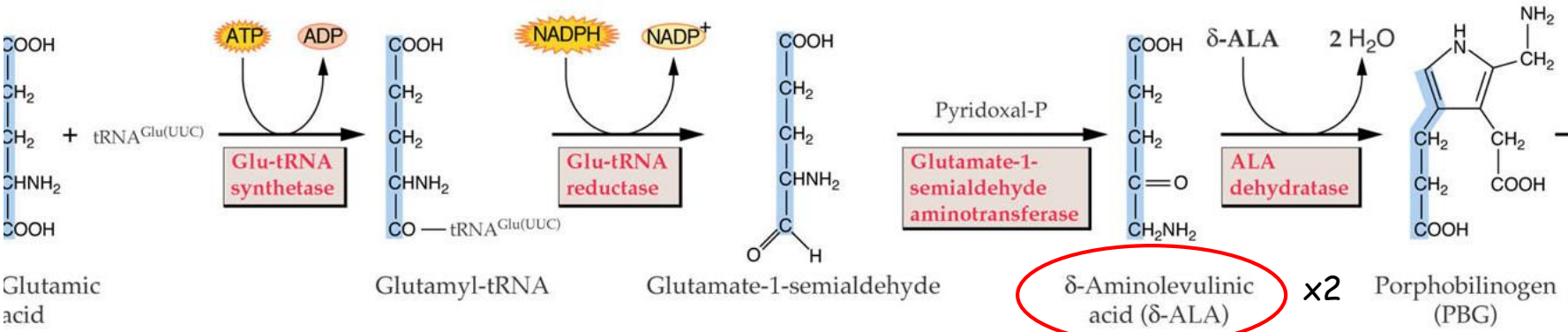
**Carotenoidi:** ubiquitari

**Table 7.1**  
Distribution of chlorophylls and other photosynthetic pigments

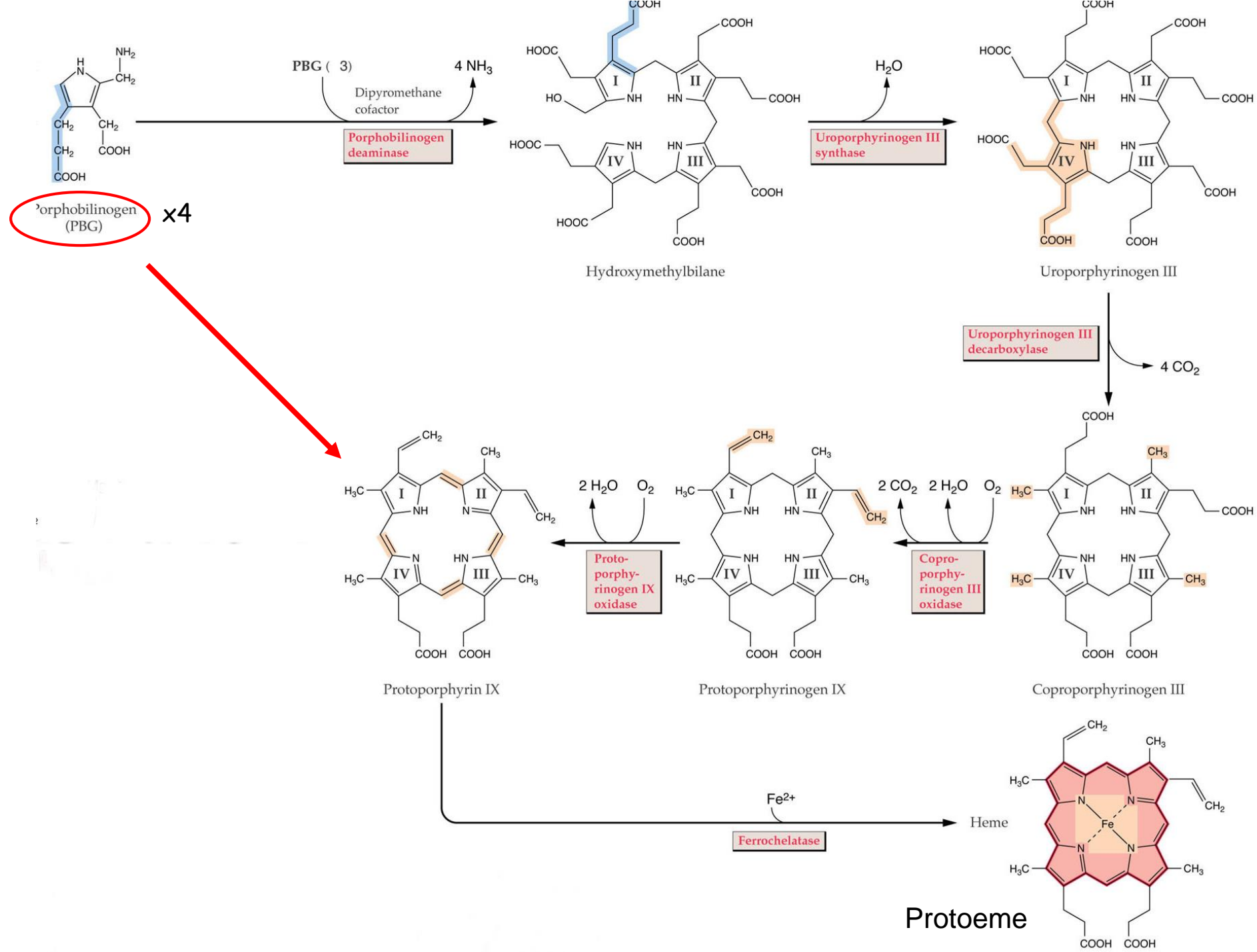
| Organism                   | Chlorophylls |   |   |   | Bacteriochlorophylls |   |        |        |   |   | Carotenoids | Phycobiliproteins |   |
|----------------------------|--------------|---|---|---|----------------------|---|--------|--------|---|---|-------------|-------------------|---|
|                            | a            | b | c | d | a                    | b | c      | d      | e | g |             |                   |   |
| <b>Eukaryotes</b>          |              |   |   |   |                      |   |        |        |   |   |             |                   |   |
| Mosses, ferns, seed plants | +            | + | - | - |                      |   |        |        |   |   |             | +                 | - |
| Green algae                | +            | + | - | - |                      |   |        |        |   |   |             | +                 | - |
| Euglenoids                 | +            | + | - | - |                      |   |        |        |   |   |             | +                 | - |
| Diatoms                    | +            | - | + | - |                      |   |        |        |   |   |             | +                 | - |
| Dinoflagellates            | +            | - | + | - |                      |   |        |        |   |   |             | +                 | - |
| Brown algae                | +            | - | + | - |                      |   |        |        |   |   |             | +                 | - |
| Red algae                  | +            | - | - | + |                      |   |        |        |   |   |             | +                 | + |
| <b>Prokaryotes</b>         |              |   |   |   |                      |   |        |        |   |   |             |                   |   |
| Cyanobacteria              | +            | - | - | + |                      |   |        |        |   |   |             | +                 | + |
| Prochlorophytes            | +            | + | - | - |                      |   |        |        |   |   |             | +                 | - |
| Sulfur purple bacteria     |              |   |   |   | + or +               | - | -      | -      | - |   |             | +                 | - |
| Nonsulfur purple bacteria  |              |   |   |   | + or +               | - | -      | -      | - |   |             | +                 | - |
| Green bacteria             |              |   |   |   | +                    | - | + or + | + or + | + | - |             | +                 | - |
| Heliobacteria              |              |   |   |   | -                    | - | -      | -      | - | + |             | +                 | - |

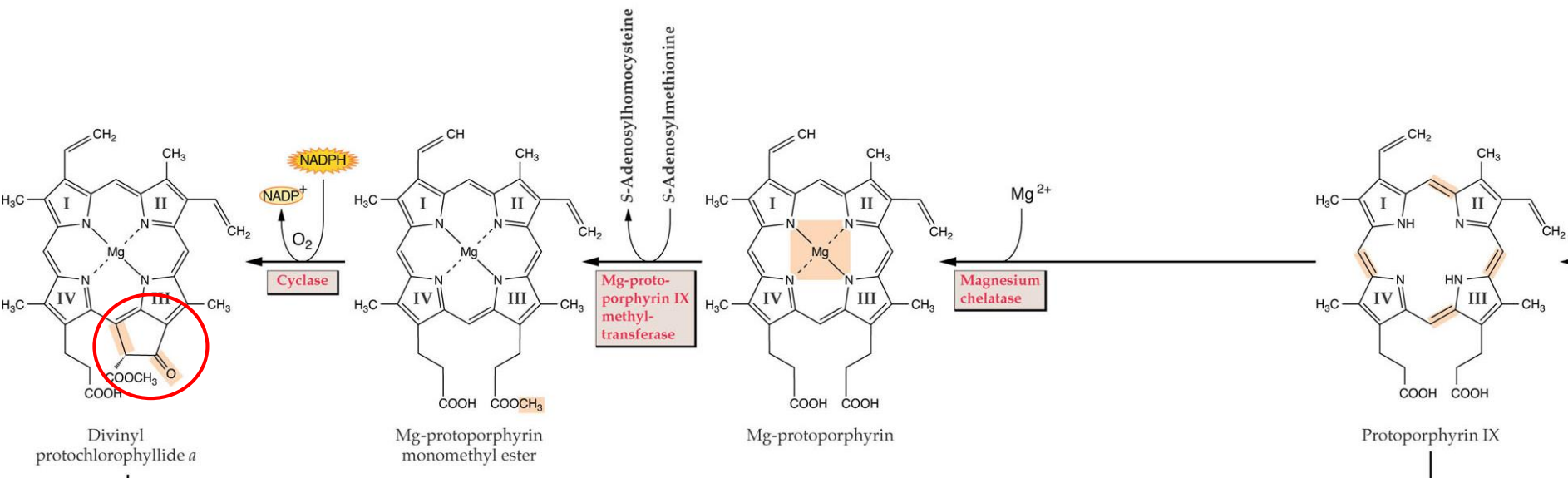
# Biosintesi della clorofilla

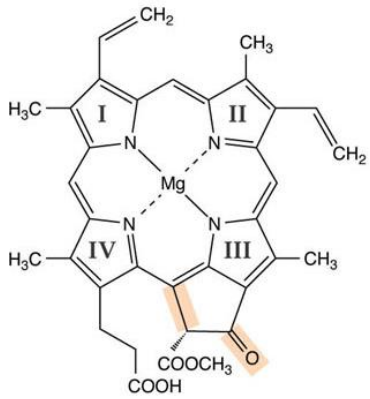
Nei cloroplasti (stroma)



- Precursore della clorofilla e dei gruppi eme
- Deriva dal glutammato in piante e cianobatteri
- Reazioni successive (fino alla protoporfirina) comuni a piante e animali

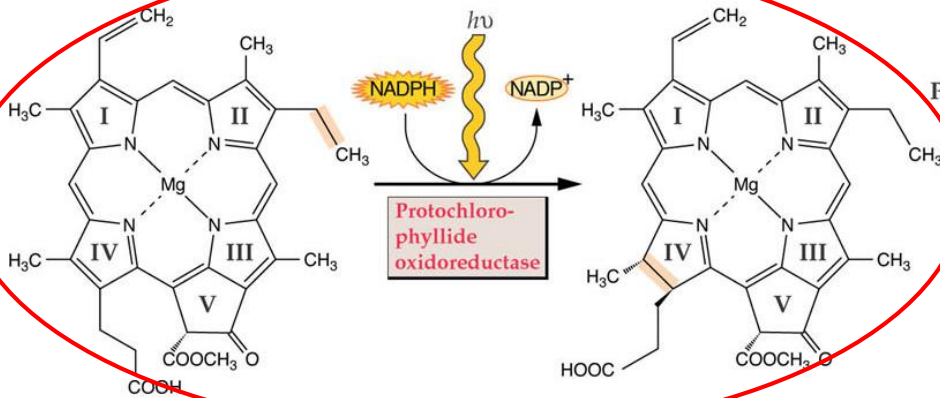






Divinyl  
protochlorophyllide *a*

8-Vinyl  
reductase



Monovinyl  
protochlorophyllide *a*

Chlorophyllide *a*



Normal seedlings  
grown in light

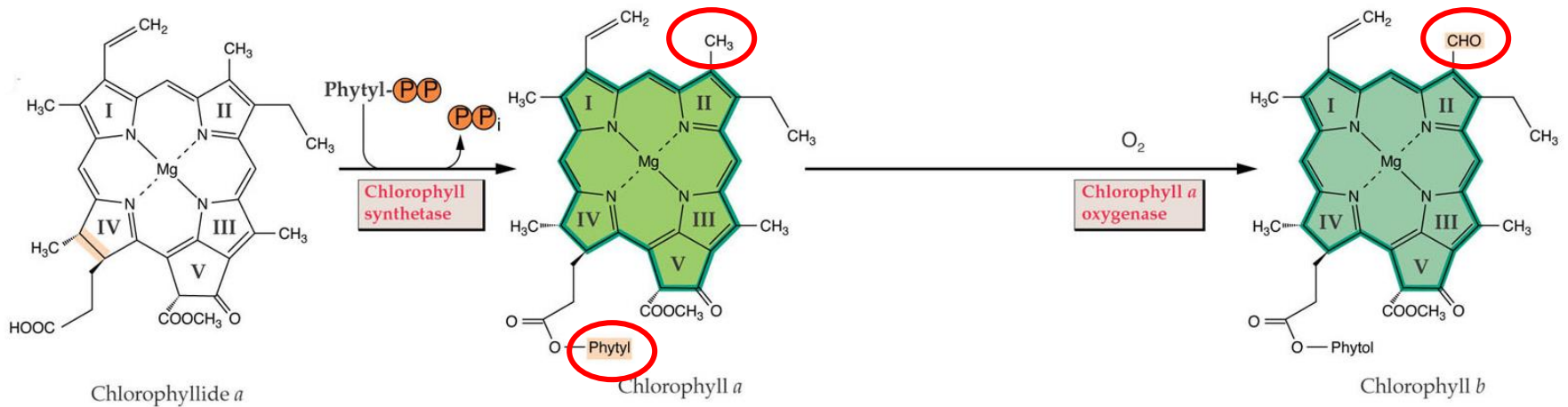
Etiolated seedlings  
grown in dark

## Protochlorofillide reductasi

Luce-dipendente nelle Angiosperme

Indipendente dalla luce in Gimnosperme, alghe e batteri fotosintetici

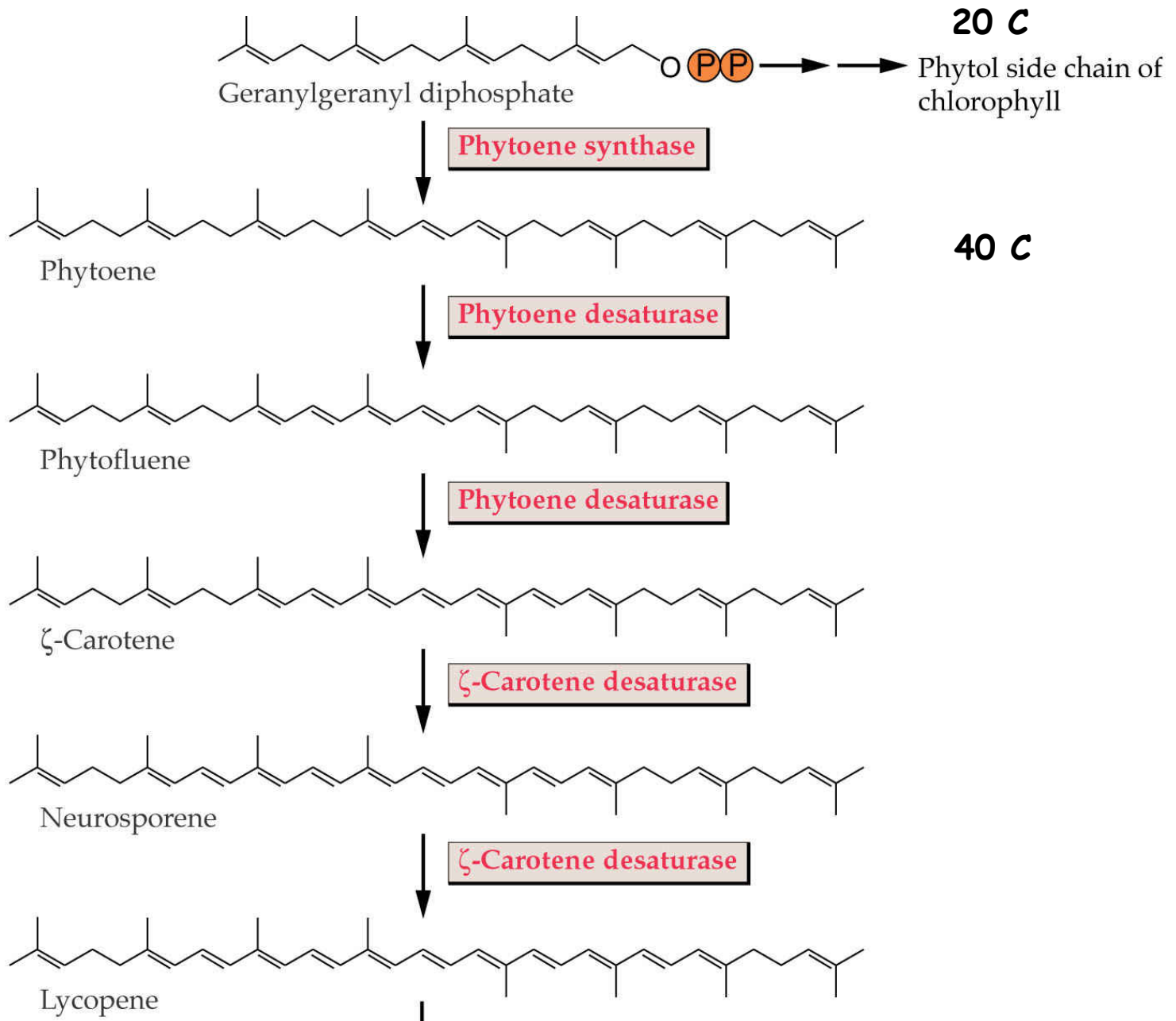




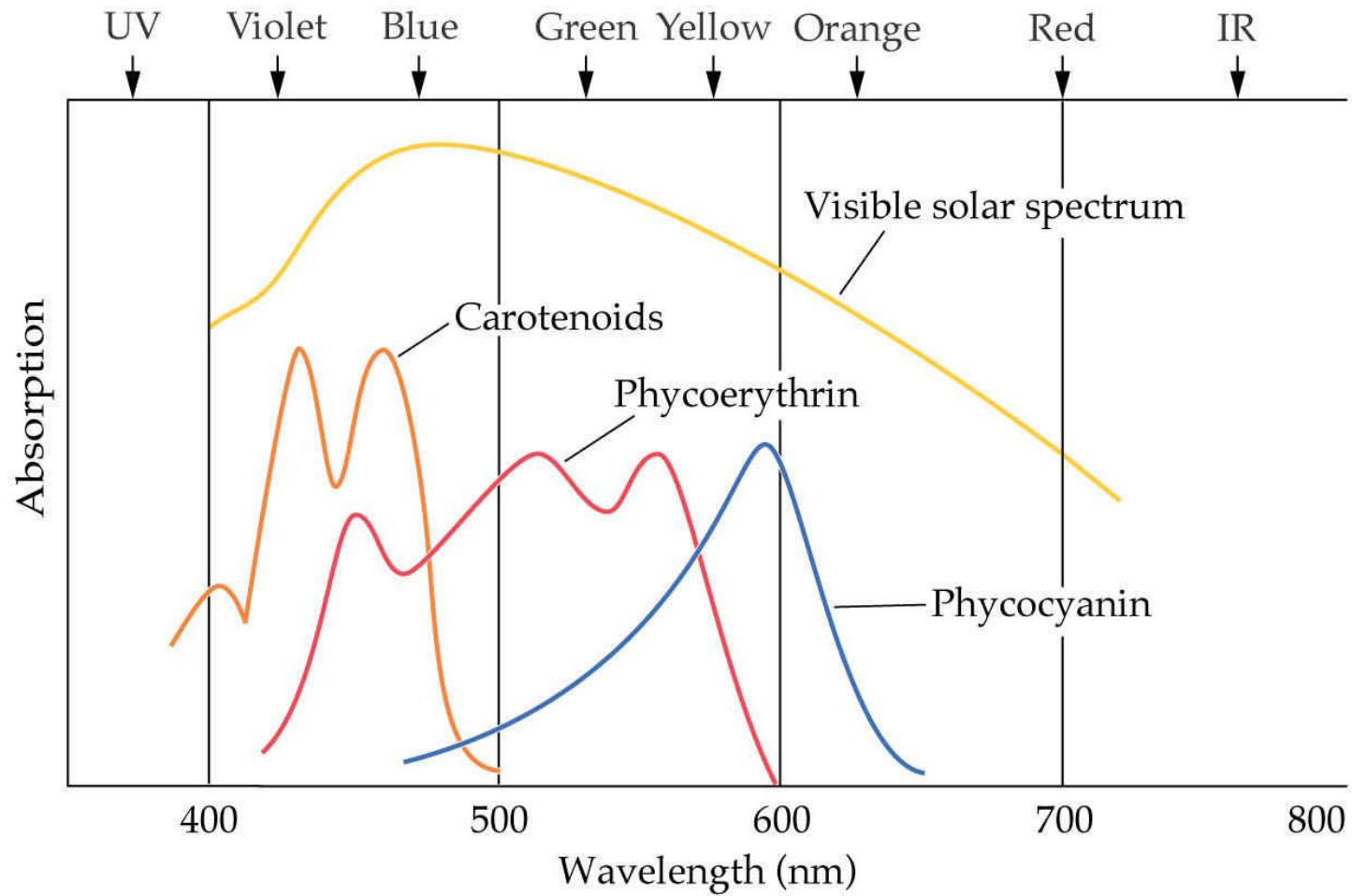
Esterificazione della catena di fitolo

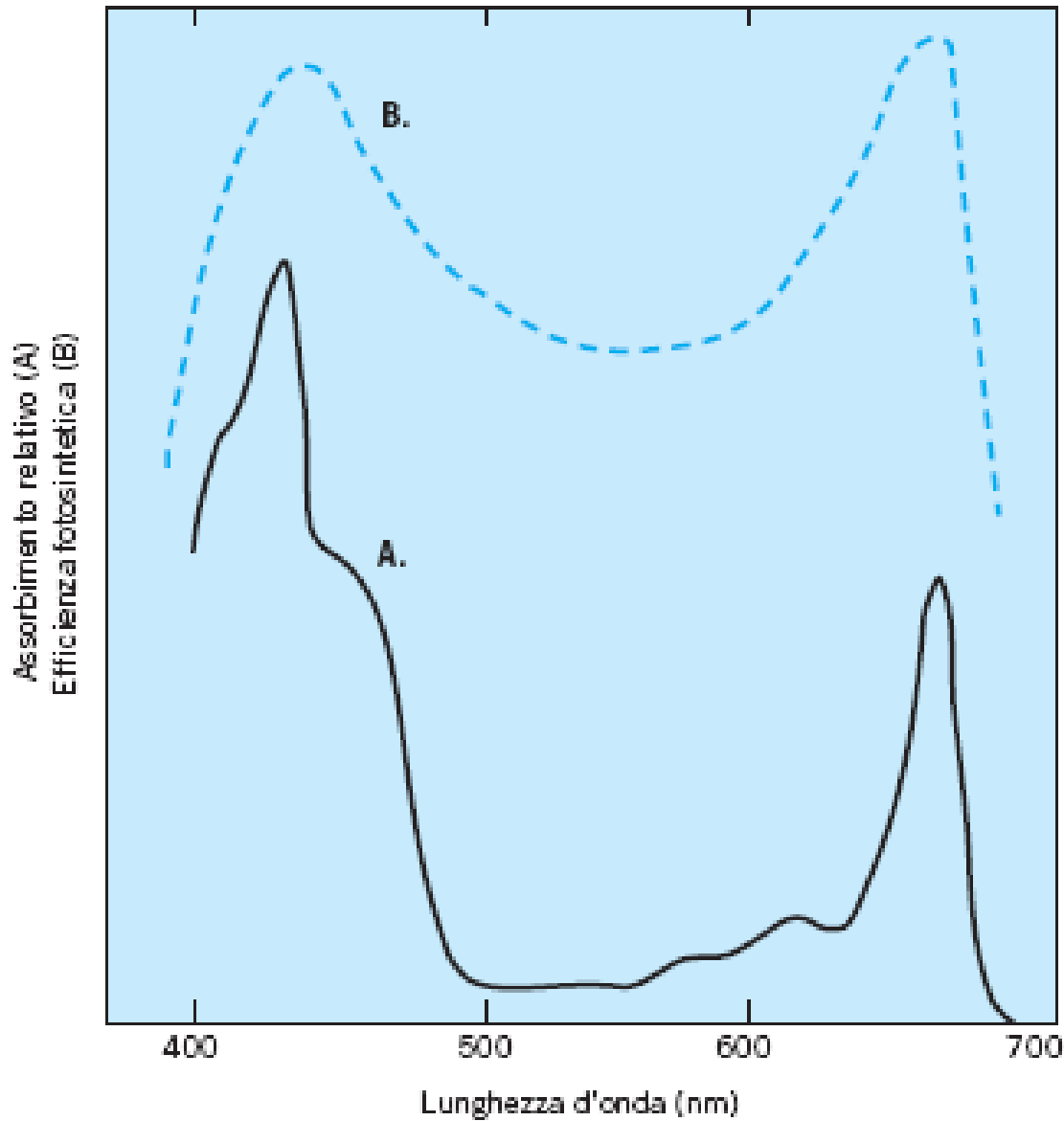
Chlb deriva da Chla attraverso l'azione di una ossigenasi che converte il metile a formile







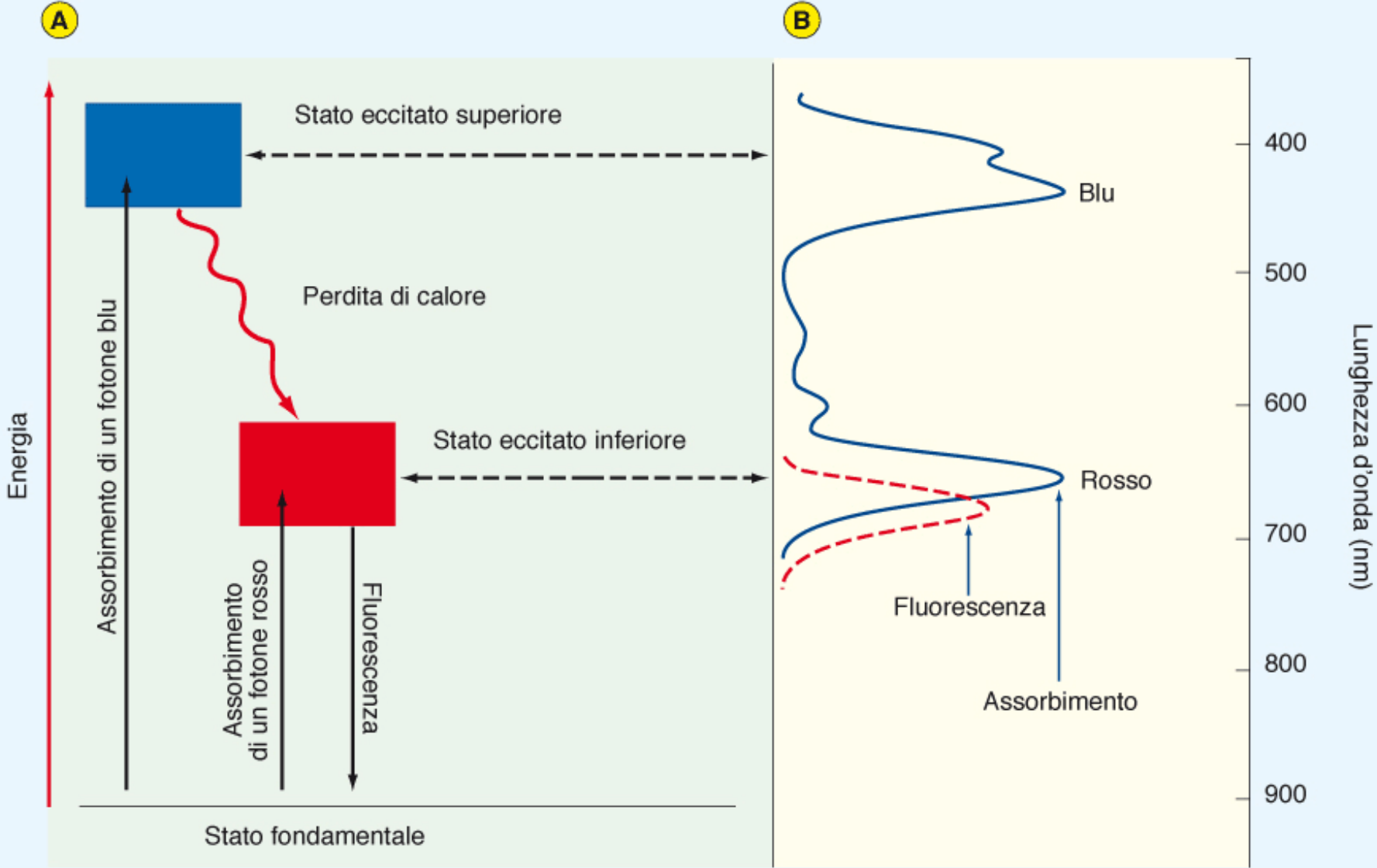




Spettro  
d'azione della  
fotosintesi  
nelle piante  
verdi

Spettro  
d'assorbimento  
della clorofilla

Assorbimento di luce da parte di un pigmento (clorofilla): evento fotofisico ( $10^{-15}$  s)



**Un elettrone eccitato può tornare allo stato fondamentale rilasciando energia in forme diverse:**

**Rilassamento (o decadimento non radiante):** l'energia viene rilasciata sotto forma di calore.

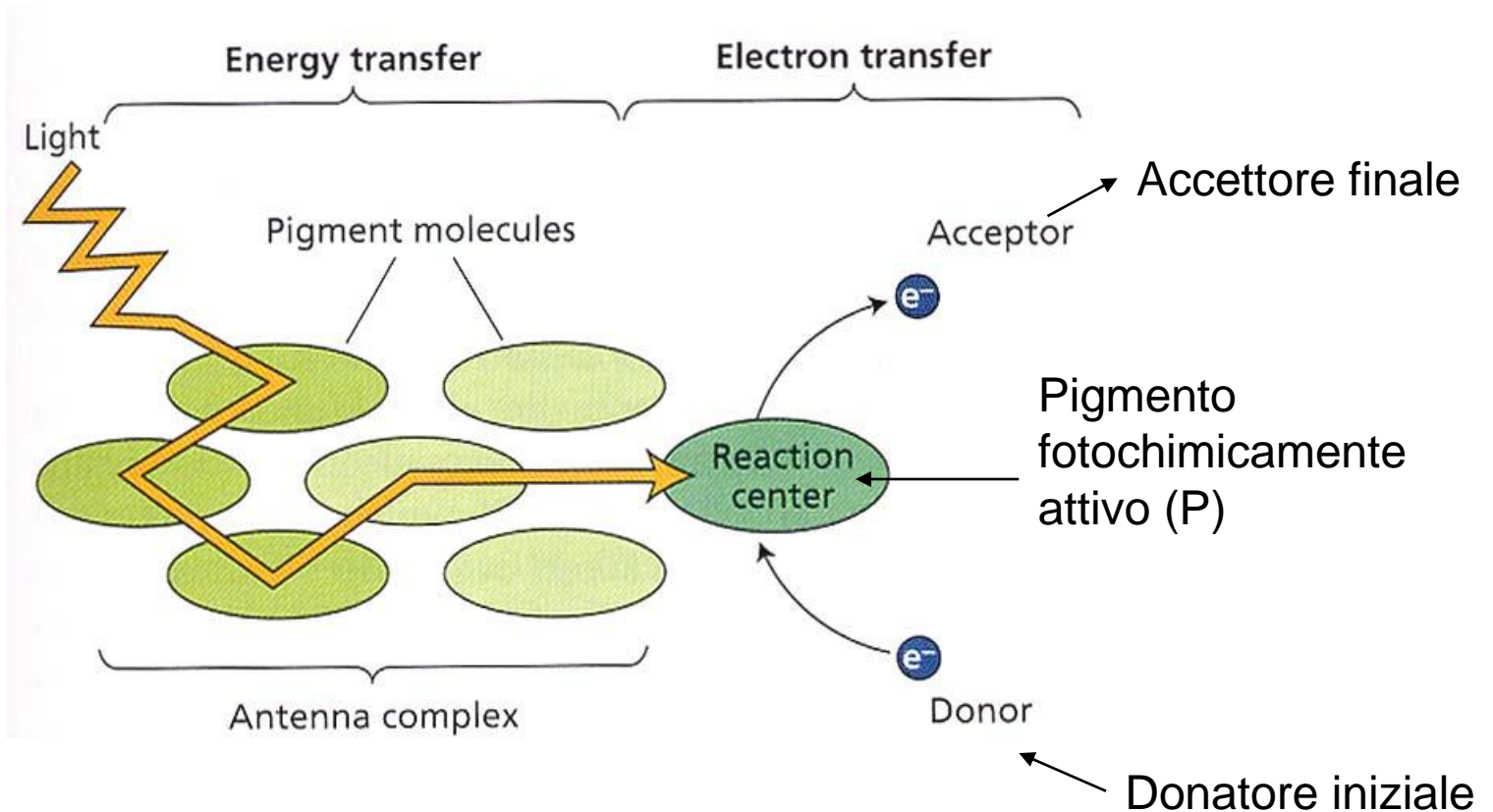
**Fluorescenza (decadimento radiante):** l'energia viene rilasciata con emissione di un fotone di lunghezza d'onda leggermente maggiore di quella assorbita ( $10^{-9}$  s)

**Trasferimento di energia per risonanza:** l'energia passa dalla molecola di pigmento eccitata ad un'altra molecola di pigmento che si trova in prossimità -> **nei pigmenti antenna**

**Reazione fotochimica:** il pigmento eccitato può perdere un elettrone che va a ridurre una molecola accettrice → conversione di energia luminosa in un prodotto chimico ( $10^{-12}$  s). Il pigmento rimane foto-ossidato e deve essere nuovamente ridotto da parte di un donatore di elettroni -> **solo in pigmenti fotochimicamente attivi (P)**



## La maggior parte dei pigmenti funzionano come un'antenna

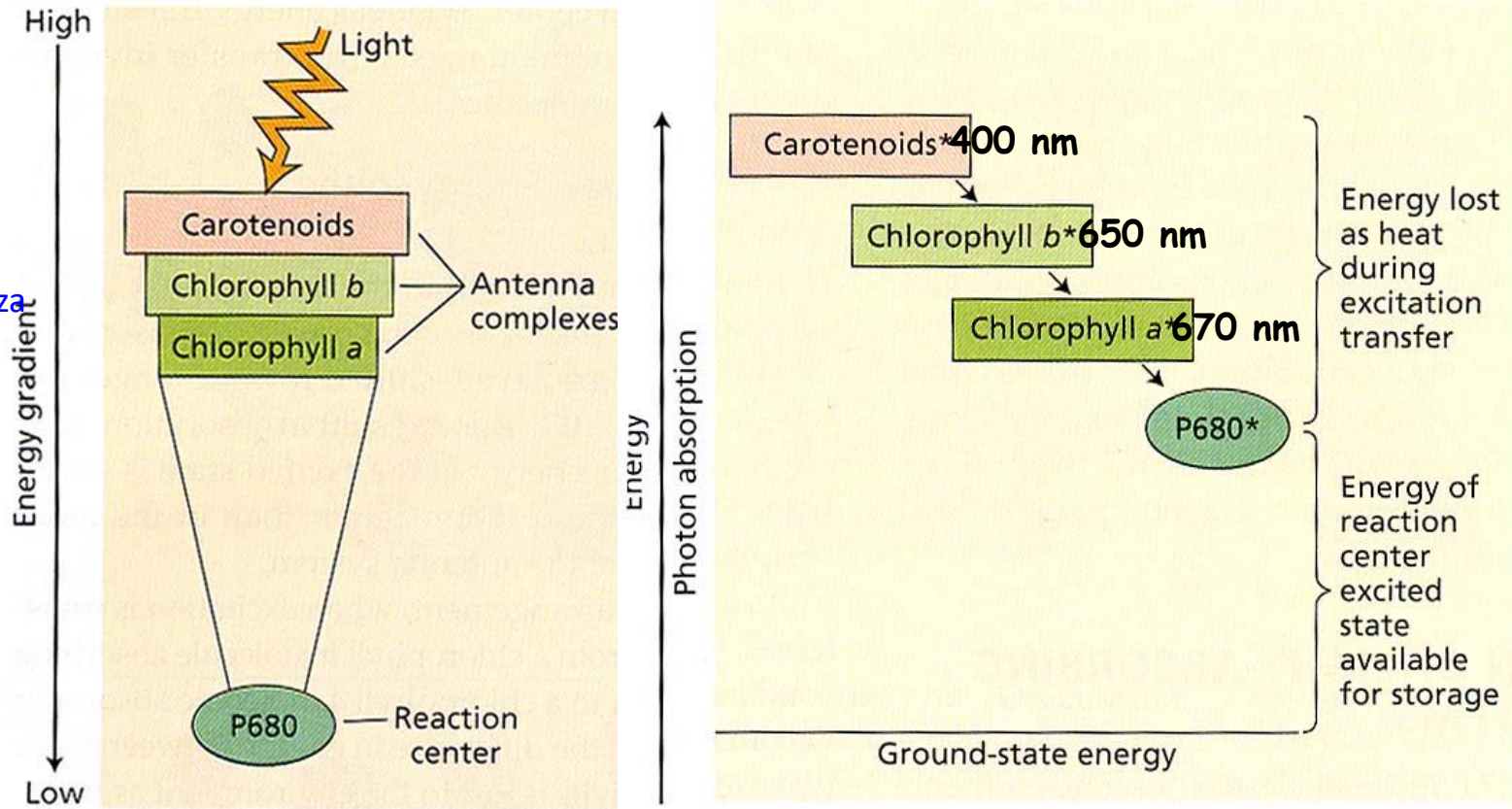


**Convogliano l'energia luminosa ai centri di reazione del PSII e del PSI**

# I sistemi antenna inviano l'energia ai centri di reazione

200-300 molecole Chl per centro di reazione, diverse centinaia di molecole di carotenoidi

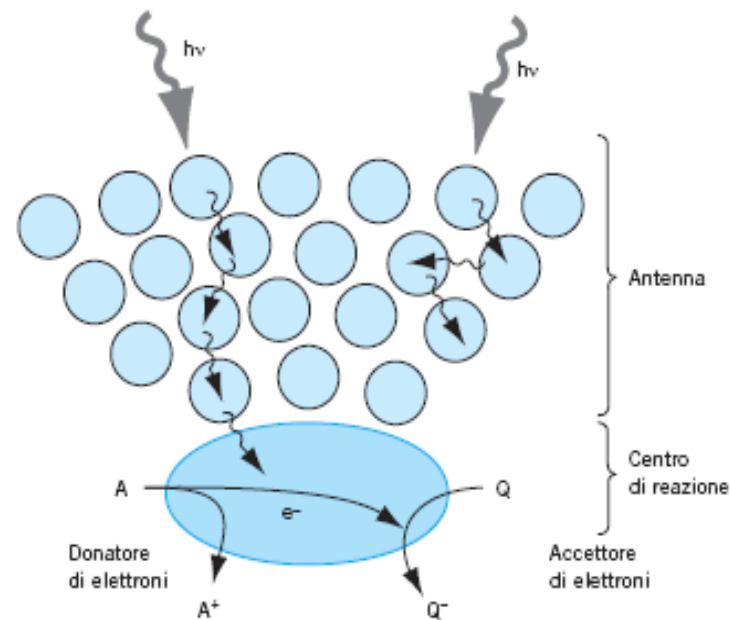
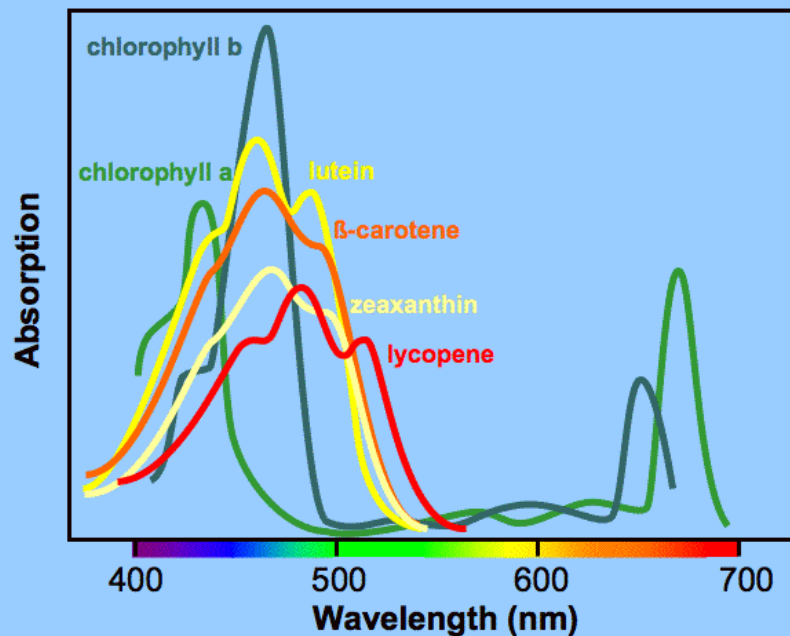
trasferimento di energia per risonanza



Gradiente energetico: trasferimento di energia verso il centro di reazione è energeticamente favorevole (pigmenti con massimi di assorbimento a lunghezze d'onda via via maggiori = meno energetiche)

Il 95-99% dei fotoni assorbiti dai pigmenti antenna trovano la loro energia trasferita nel il centro di reazione → fotochimica

# The photosynthetic pigments absorb much of the spectrum



**FIGURA 4.4** Un fotosistema contiene l'antenna e il centro di reazione. Le molecole di clorofilla dell'antenna assorbono i fotoni incidenti e trasferiscono l'energia di eccitazione ai centri di reazione dove avviene la reazione fotochimica di ossido-riduzione.

## One Photosystem

