

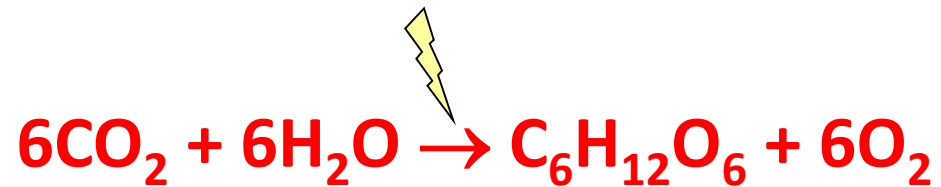
**LA FOTOSINTESI:  
CONCETTI GENERALI E REAZIONI ALLA LUCE**

# FOTOSINTESI

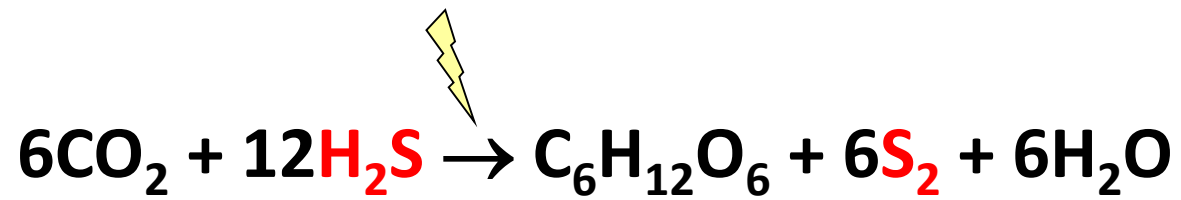
Conversione di energia luminosa in energia di legame da parte di piante, alghe e procarioti.



Sintesi di composti organici a partire da composti inorganici



## FOTOSINTESI ANOSSIGENICA



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



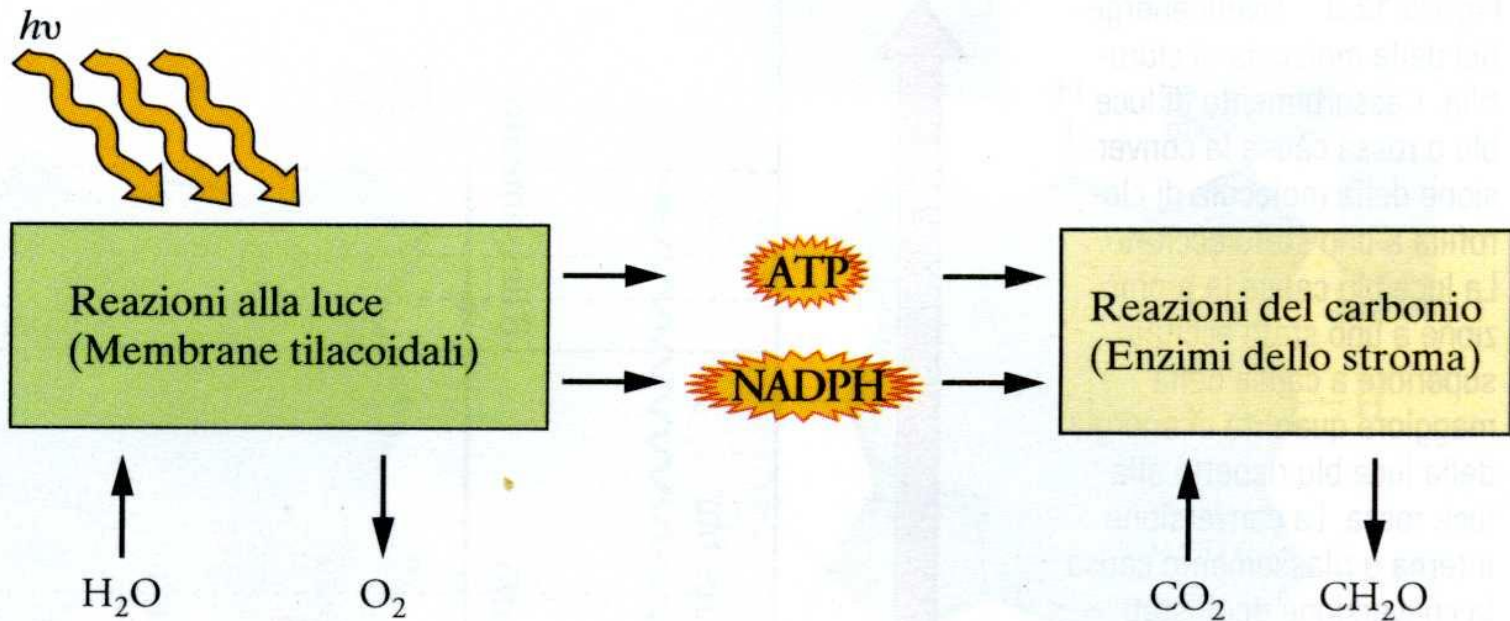
**La fotosintesi è un processo redox**

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  $\text{CO}_2$

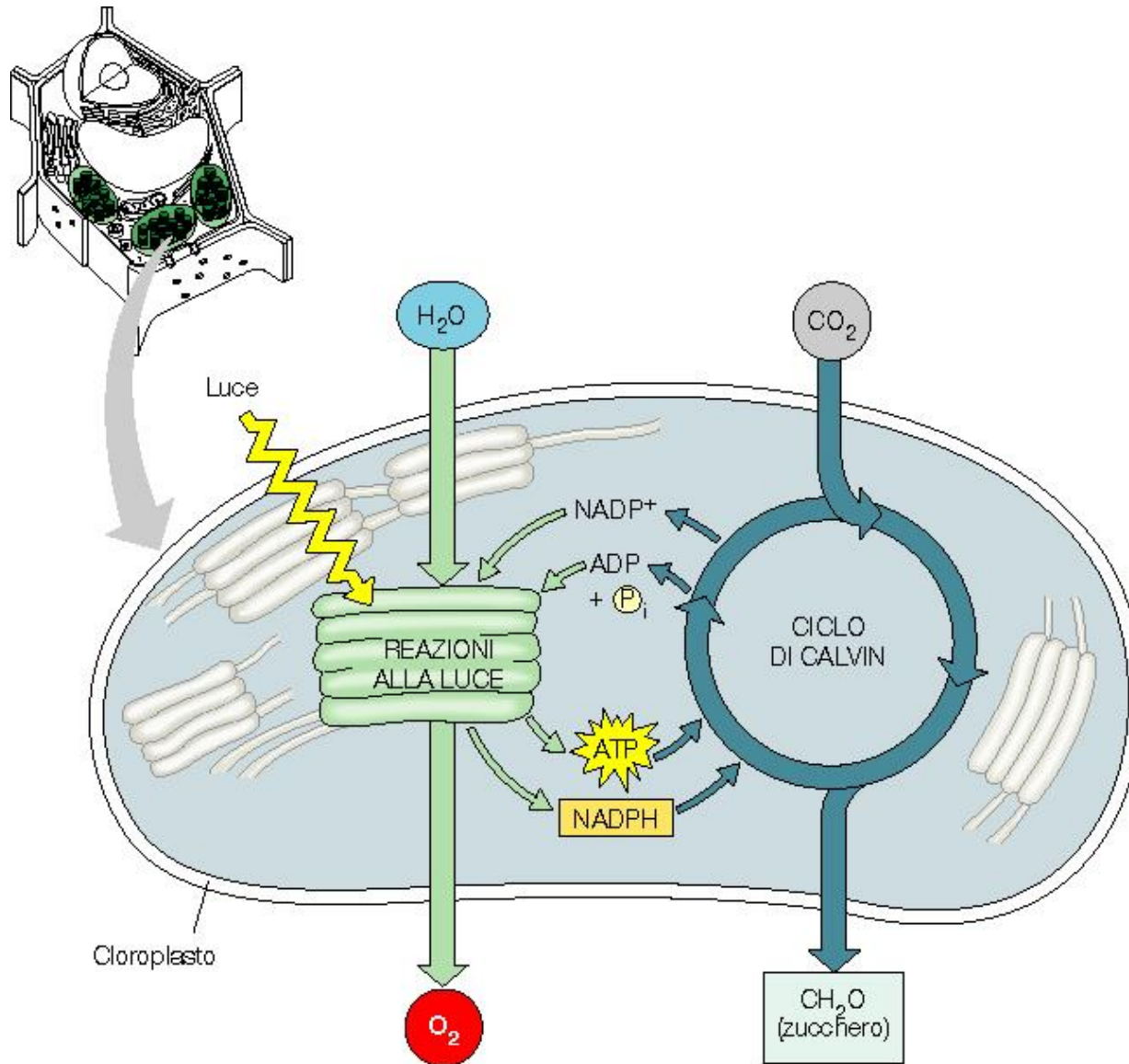
Processo divisibile in due fasi:

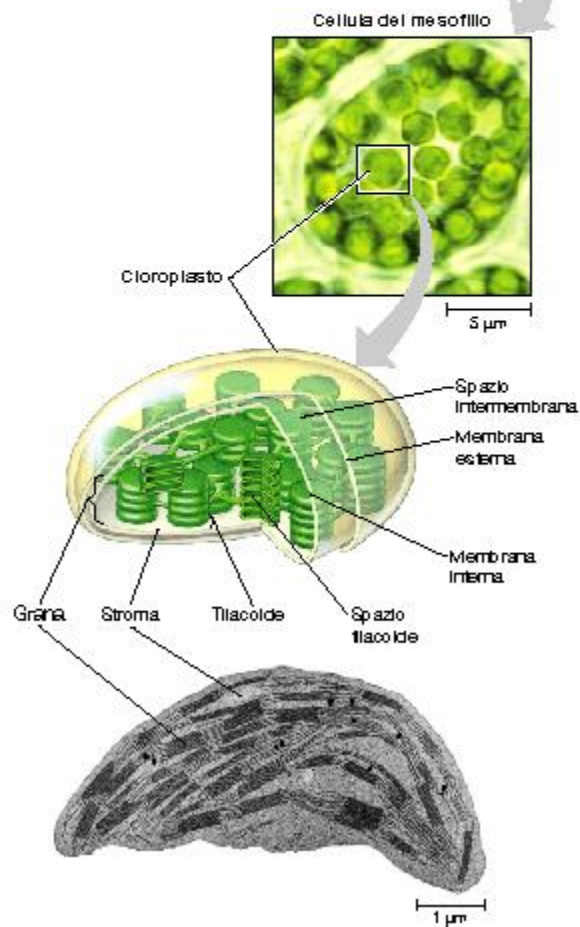
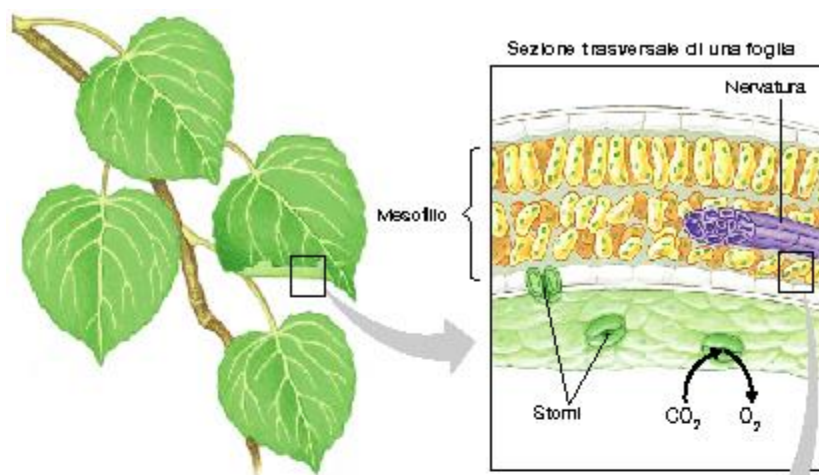
Reazioni alla luce (o tilacoidali)

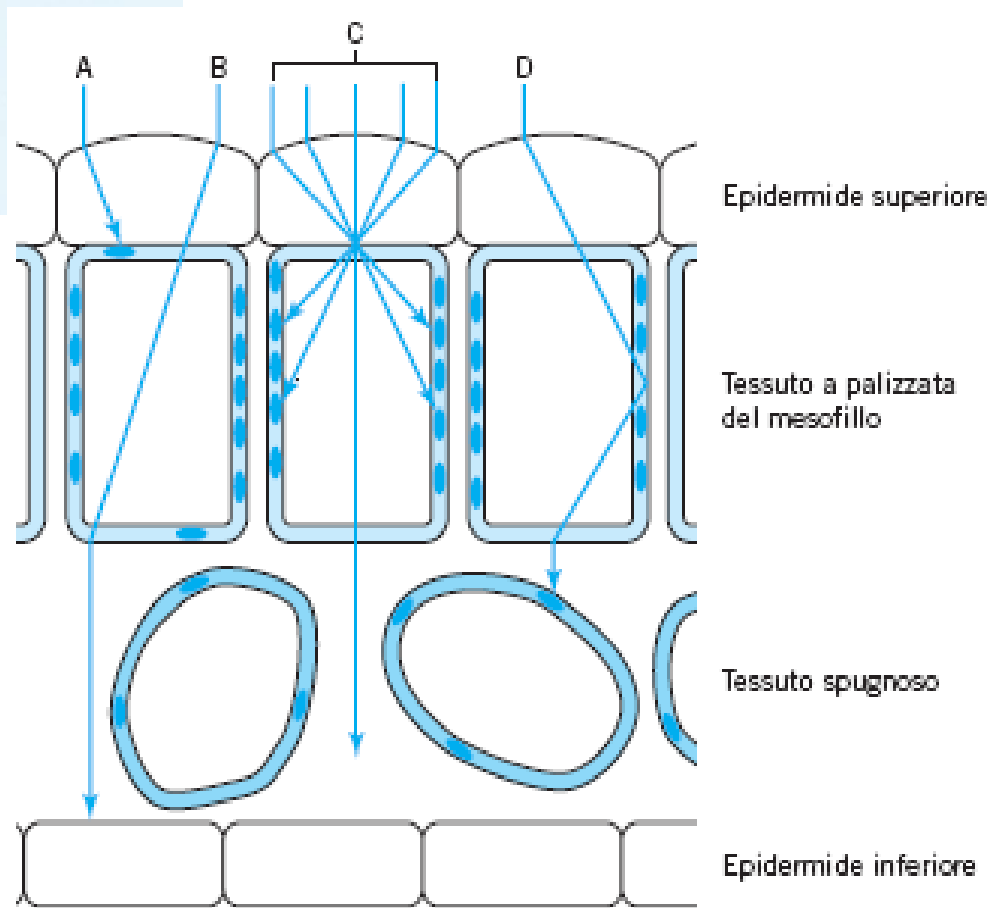
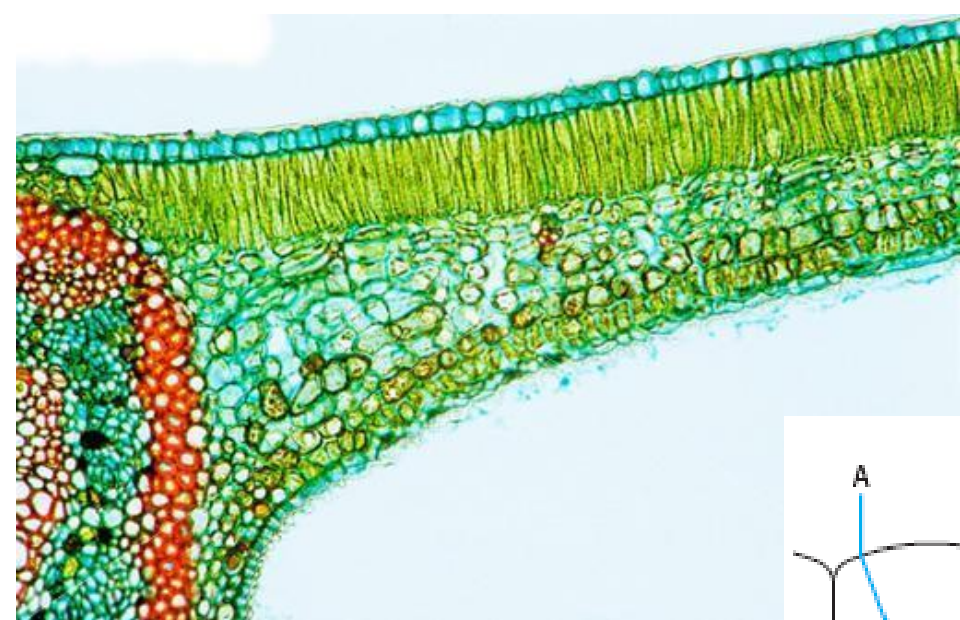
Reazioni del carbonio (o stromatiche)



Le due fasi della fotosintesi sono strettamente associate

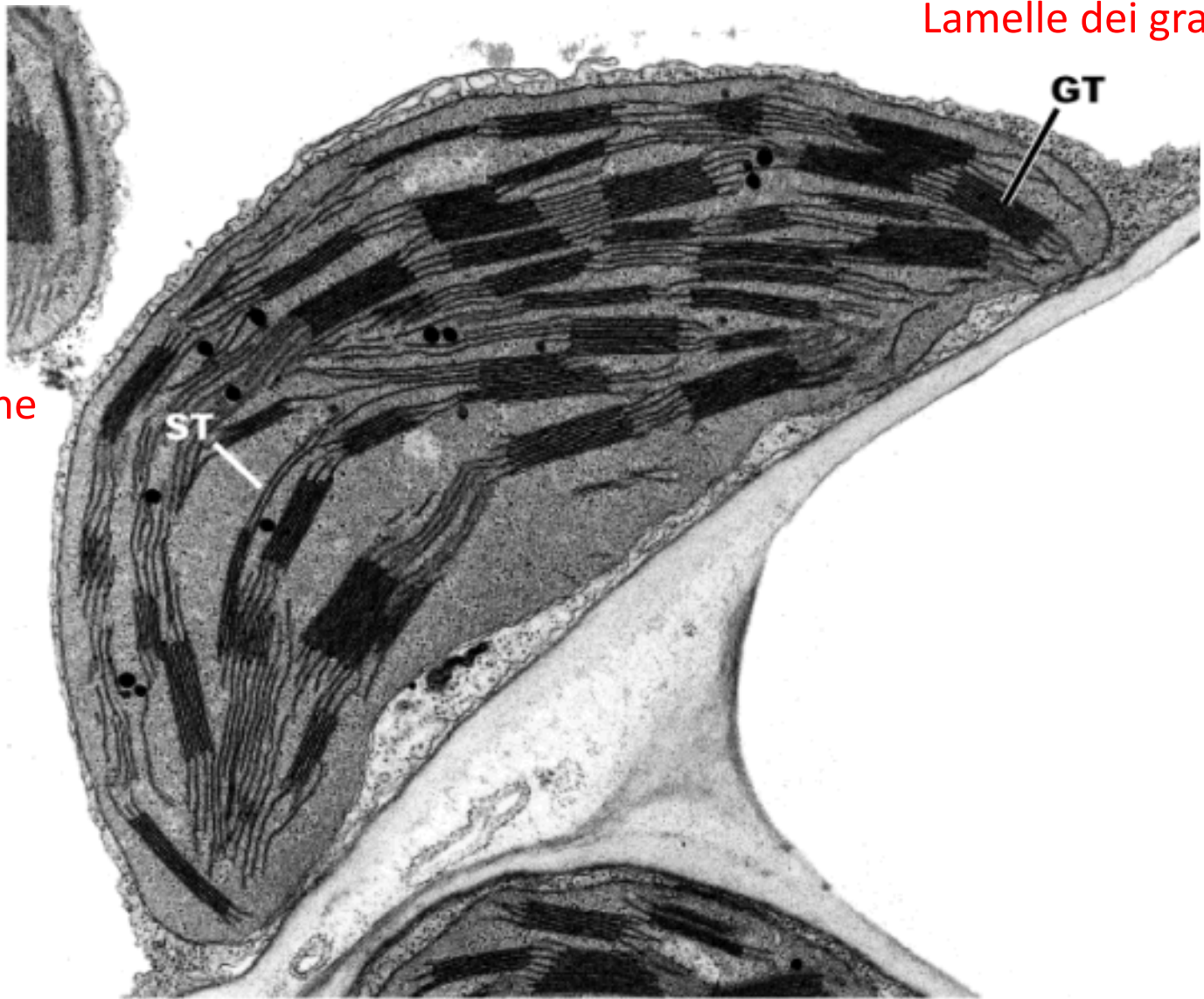








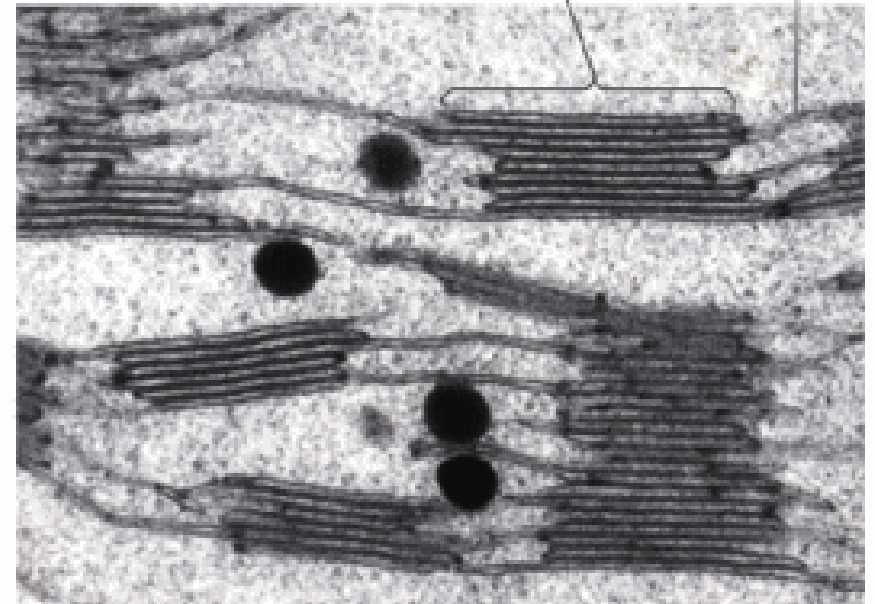
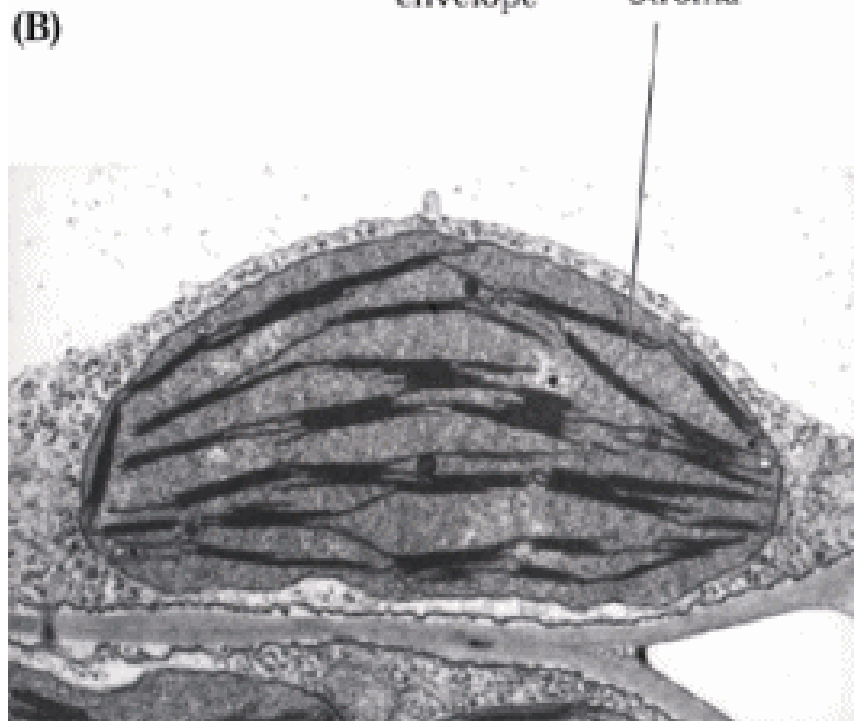
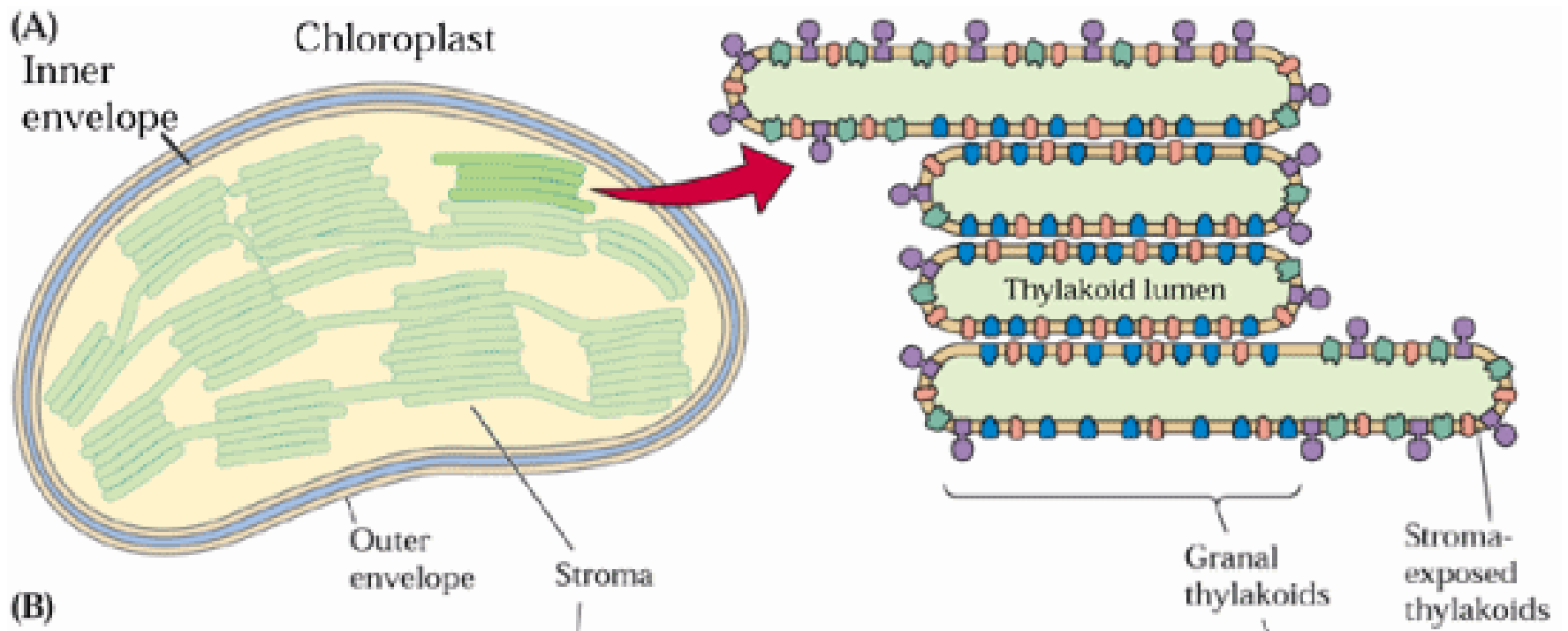
Lamelle  
stromatiche

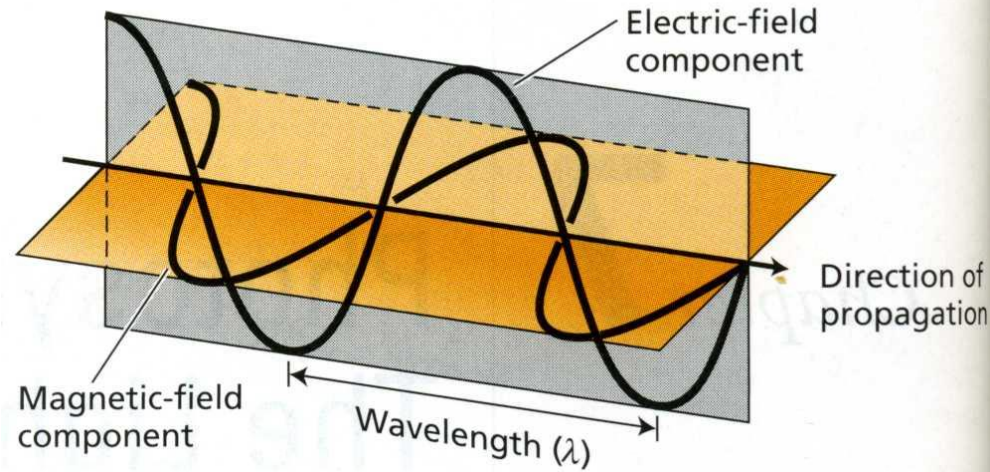
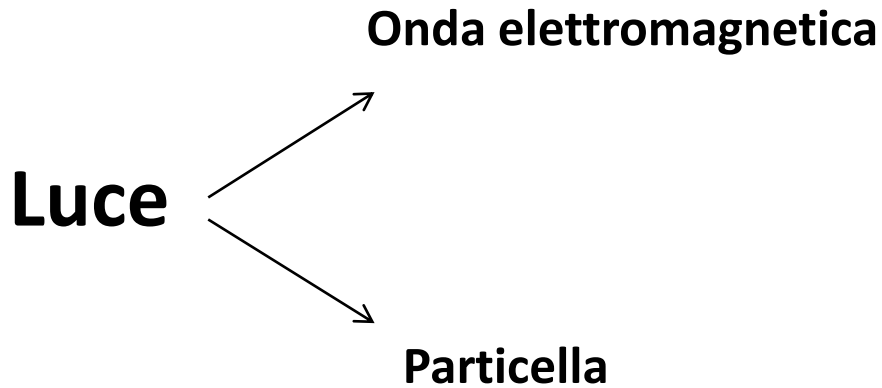


Lamelle dei grana

GT

ST





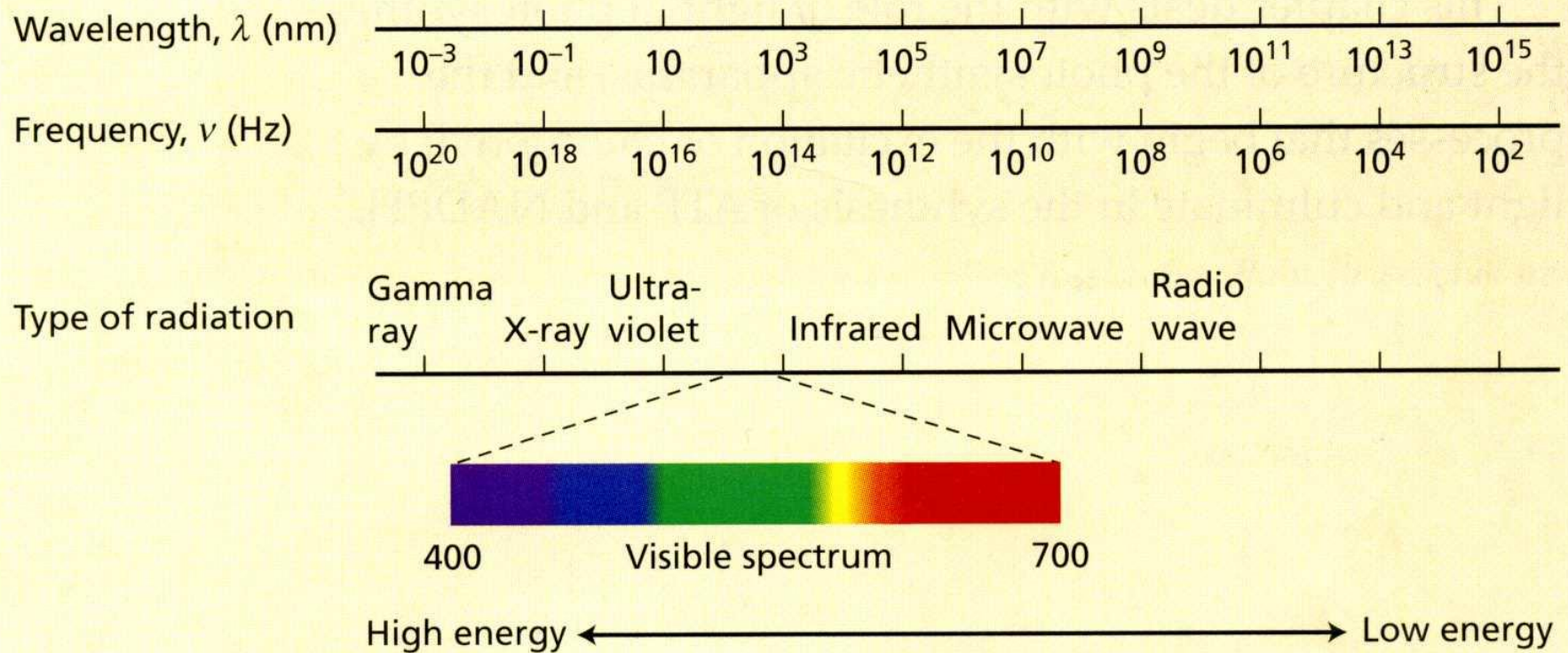
Fotone → contiene una  
quantità di energia definita  
(quanto)

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

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>)



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

Nota: radiazioni a lunghezza d'onda  $>700$  nm ovvero  $<400$  nm non vengono utilizzate nella fotosintesi ma hanno importanti effetti (fotomorfo genetici, 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,  $\lambda = 435 \text{ nm} = 4.35 \times 10^{-7} \text{ m}$

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

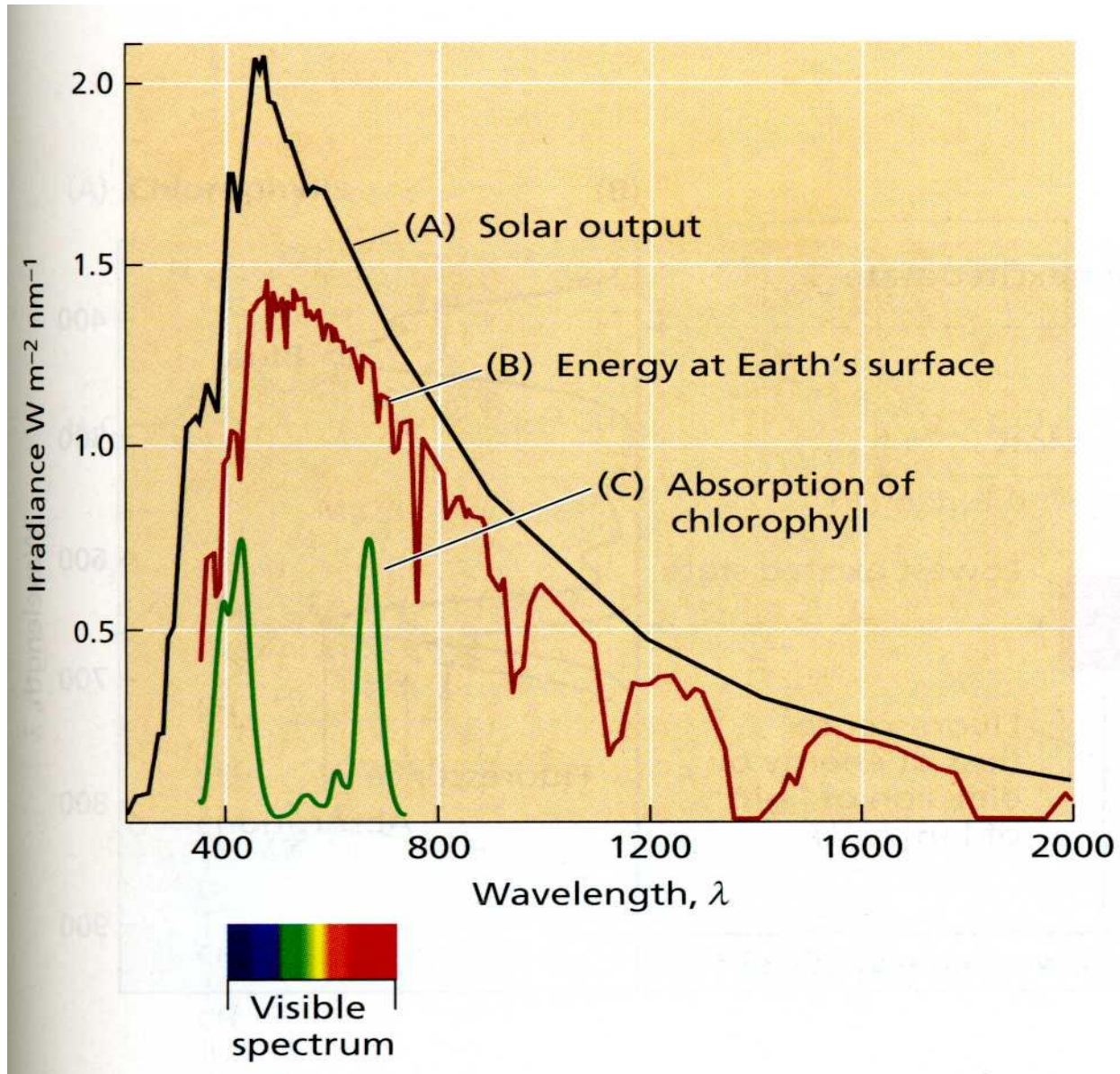
$E_q = hc/\lambda = [(6.62 \times 10^{-34} \text{ J s}) \times (3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1})] / (4.35 \times 10^{-7} \text{ m}) = 4.56 \times 10^{-19} \text{ J}$

**TABELLA 3.1** Principali radiazioni di interesse biologico

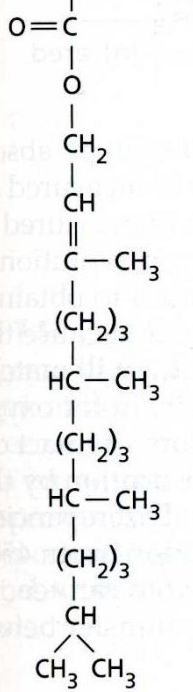
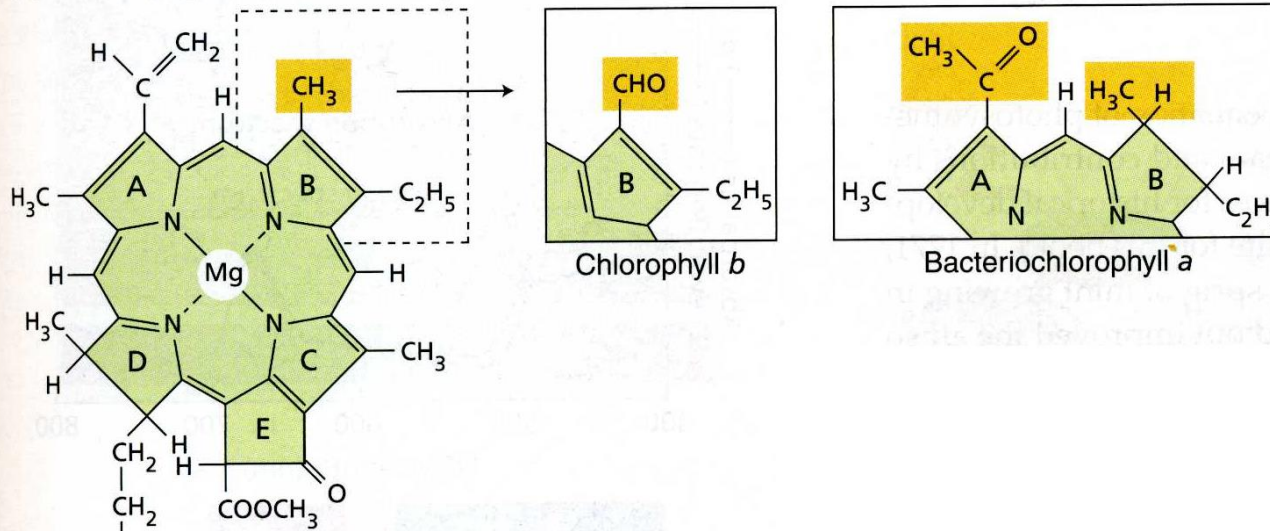
Colore	Ambito di lunghezza d'onda (nm)	Energia media (kJ mol <sup>-1</sup> fotoni)
<i>Ultravioletto</i>	<i>100-400</i>	
UV-C	100-280	471
UV-B	280-320	399
UV-A	320-400	332
<i>Visibile</i>	<i>400-740</i>	
Violetto	400-425	290
Blu	425-490	274
Verde	490-550	230
Giallo	550-585	212
Arancio	585-640	196
Rosso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



(A) Chlorophylls



Chlorophyll a

## CLOROFILLA

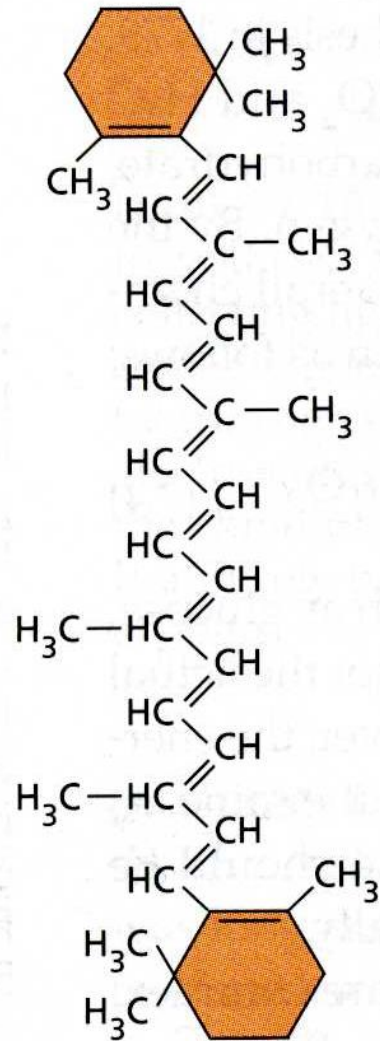
Struttura ad anello derivata dalle porfirine (emoglobina, citocromi)

Lunga catena idrocarburica (fitolo)

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

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

## (B) Carotenoids



β-Carotene

## CAROTENOIDI

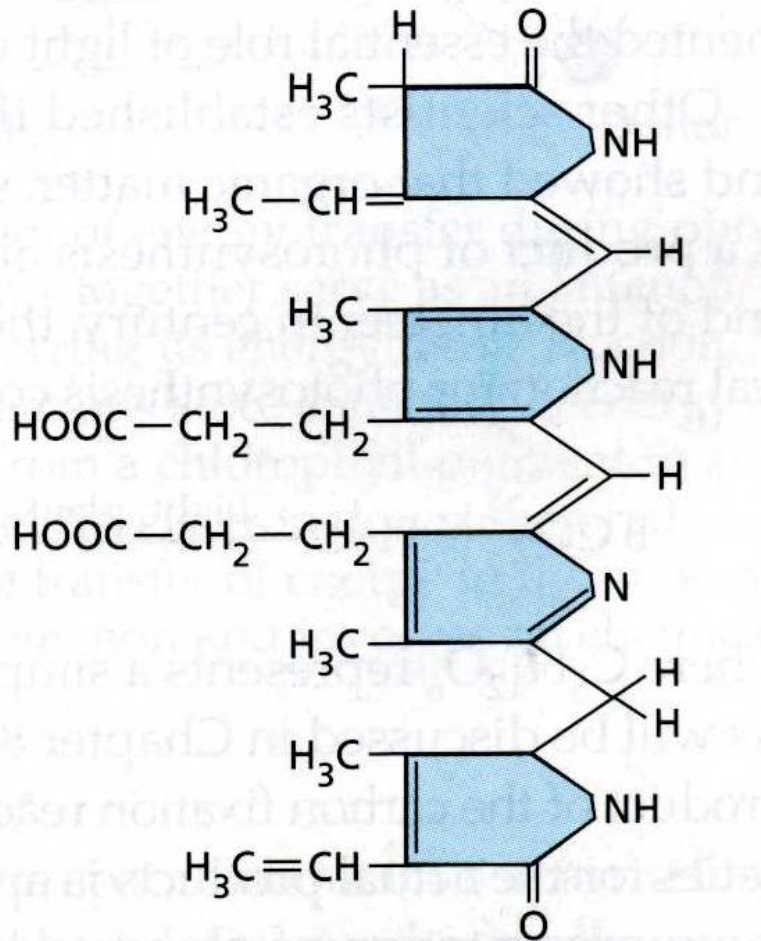
Terpenoidi (o isoprenoidi) a 40 atomi di C

Molecola lineare con legami doppi multipli

Due classi: caroteni e xantofille



### (C) Bilin pigments



Phycoerythrobilin

FICOBILINE (cianobatteri e alghe rosse)

Tetrapirroli a catena aperta

Tre gruppi principali: ficoeritrobilina, ficocianina, alloficocianina

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

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

**Clorofilla b:** piante, alghe verdi

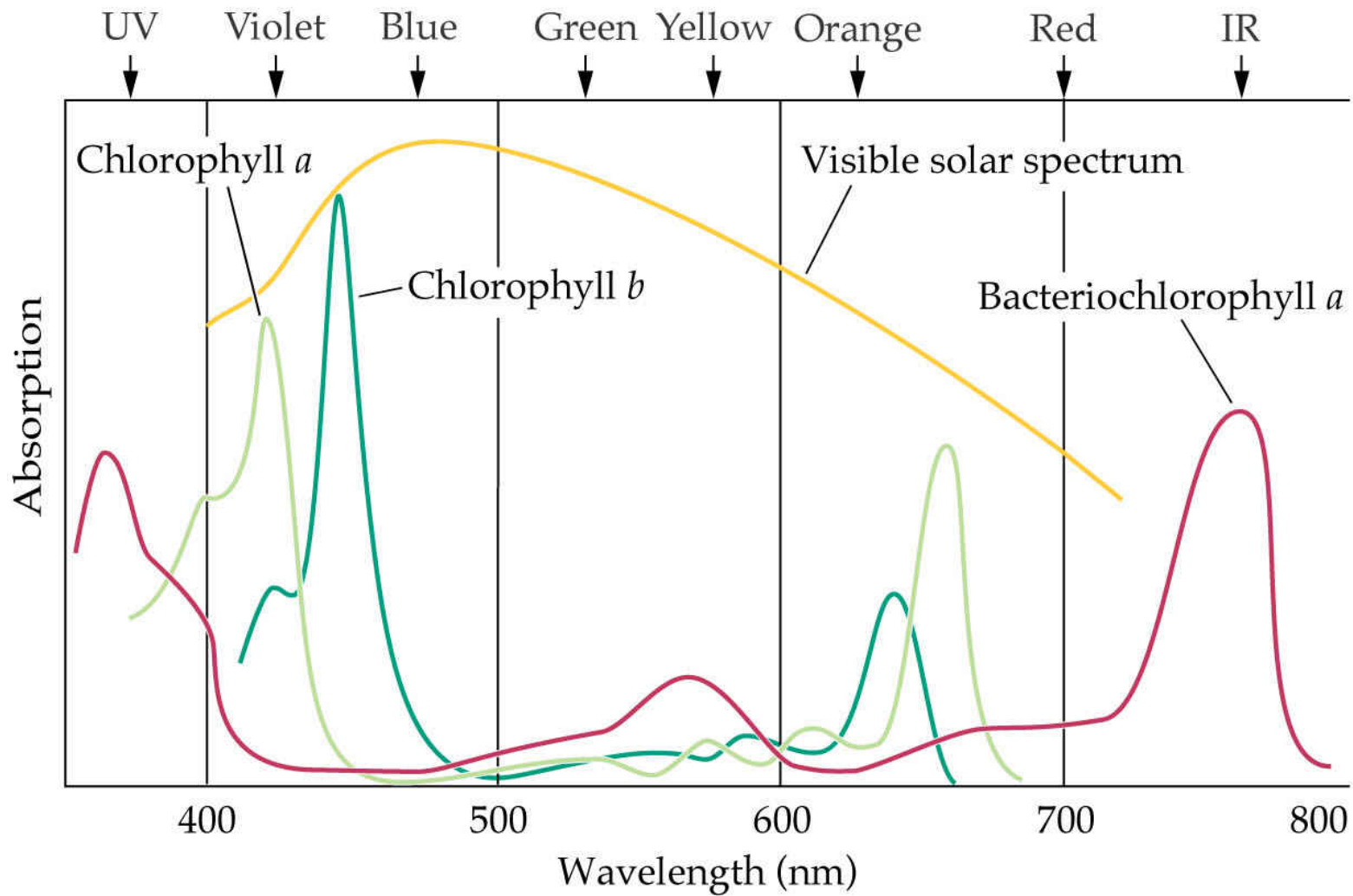
**Clorofille c, d:** diatomee, alghe brune, alghe rosse

**Batterioclorofille:** procarioti con fotosintesi anossigenica

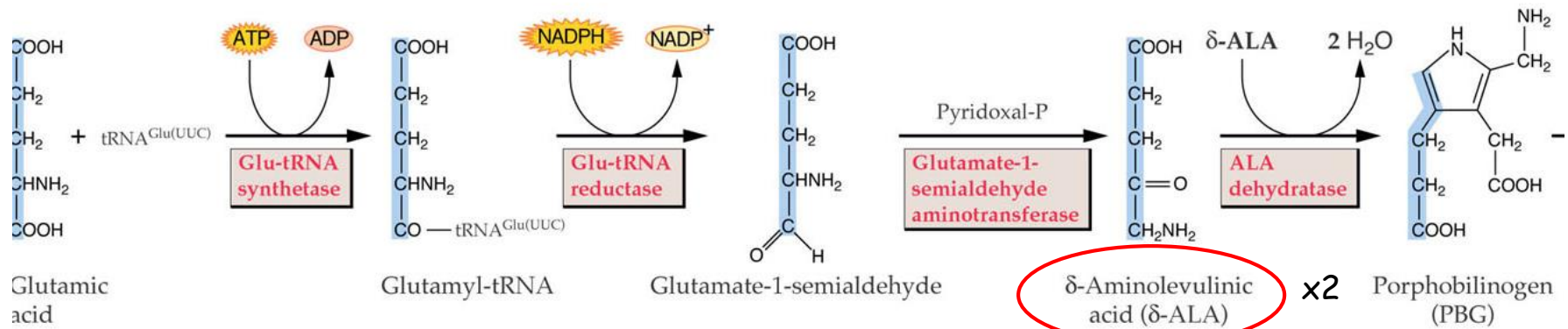
**Carotenoidi:** ubiquitari

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

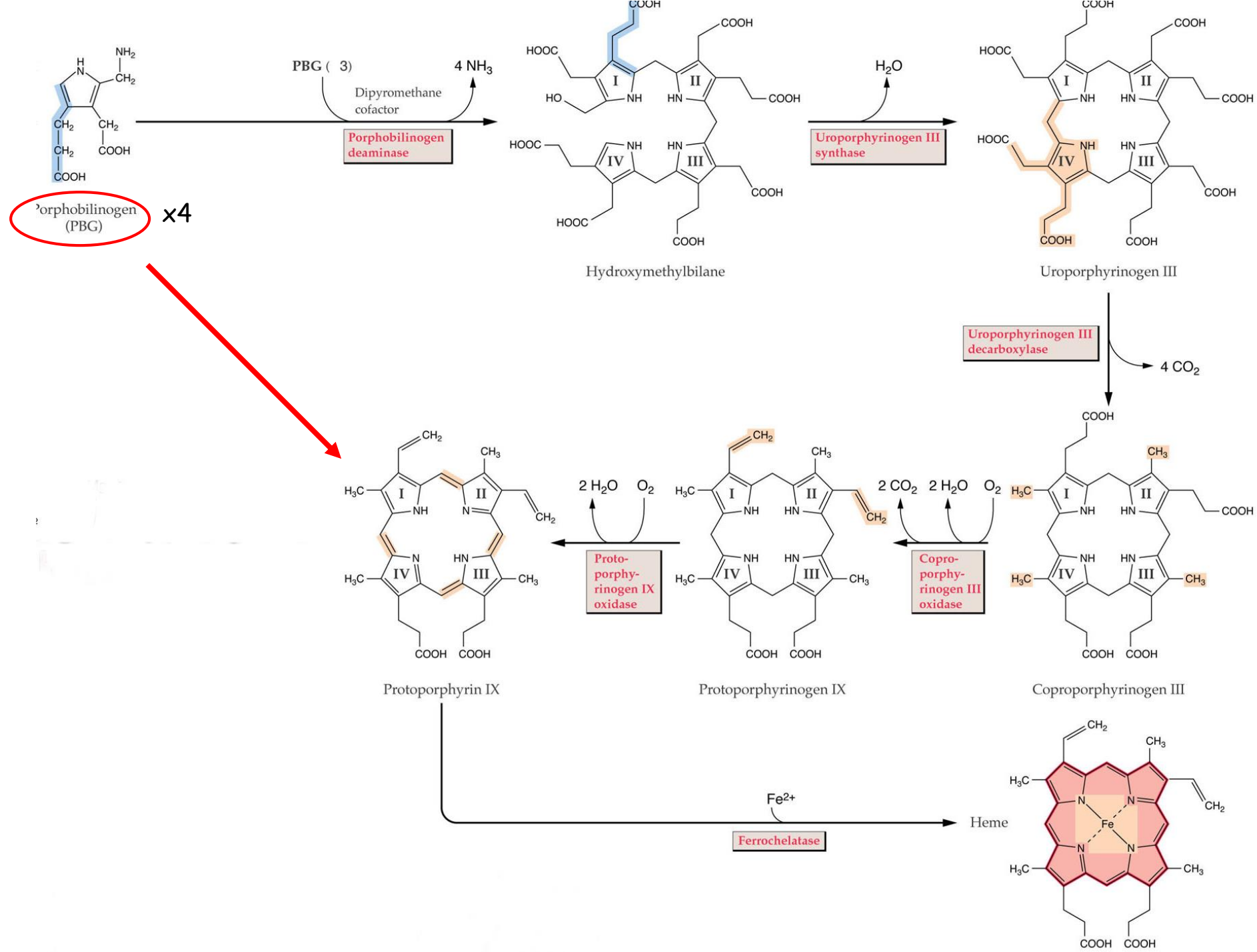
Organism	Chlorophylls				Bacteriochlorophylls						Carotenoids	Phycobiliproteins
	a	b	c	d	a	b	c	d	e	g		
<b>Eukaryotes</b>												
Mosses, ferns, seed plants	+	+	-	-							+	-
Green algae	+	+	-	-							+	-
Euglenoids	+	+	-	-							+	-
Diatoms	+	-	+	-							+	-
Dinoflagellates	+	-	+	-							+	-
Brown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

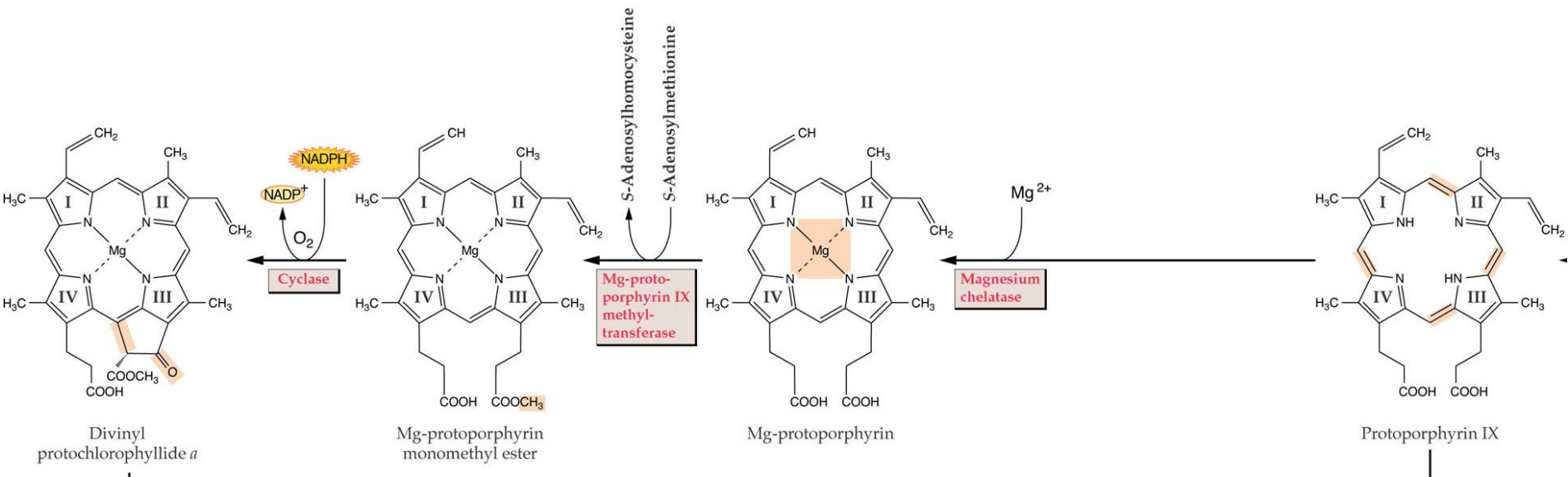


# Biosintesi della clorofilla

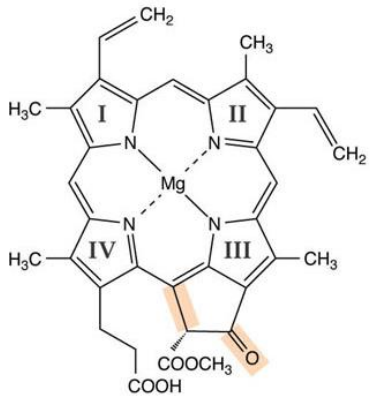


- Precursore della clorofilla e dei gruppi eme
- Deriva dal glutammato in piante e cianobatteri
- Reazioni successive (fino alla protoporfirina) comuni a piante e animali



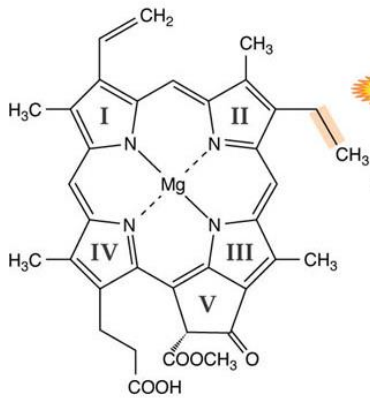




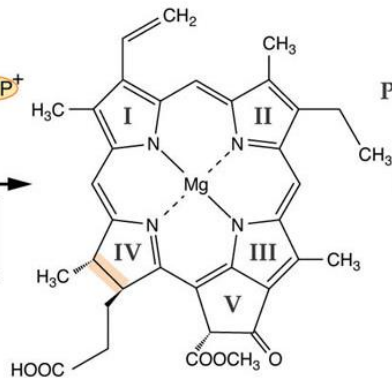
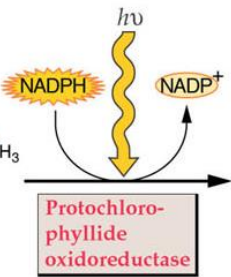


Divinyl  
protochlorophyllide *a*

8-Vinyl  
reductase



Monovinyl  
protochlorophyllide *a*



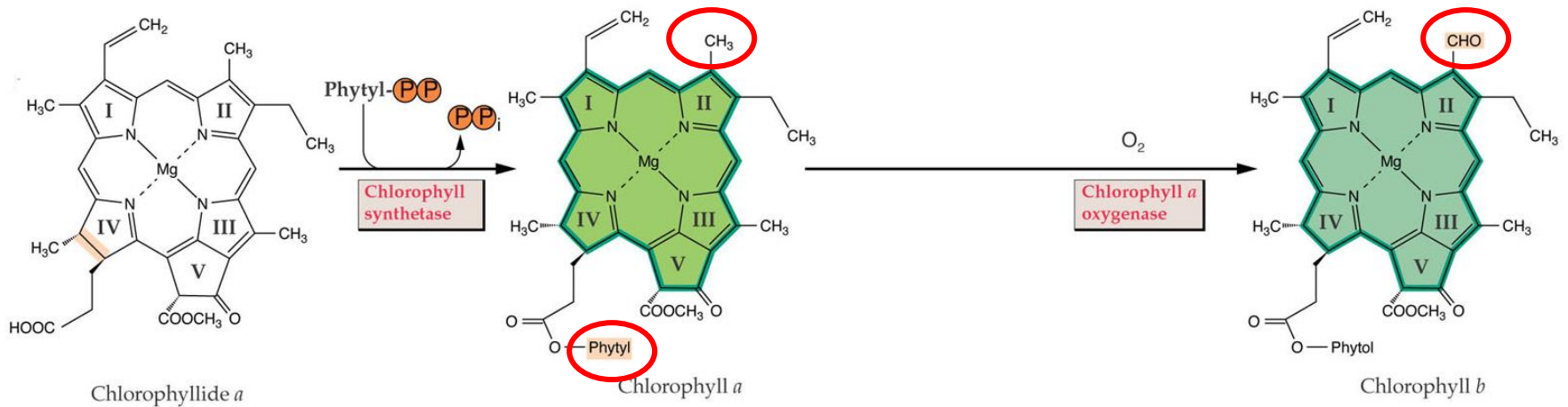
Chlorophyllide *a*



## Protochlorofillide reductasi

Luce-dipendente nelle Angiosperme

Indipendente dalla luce in Gimnosperme, alghe e batteri fotosintetici

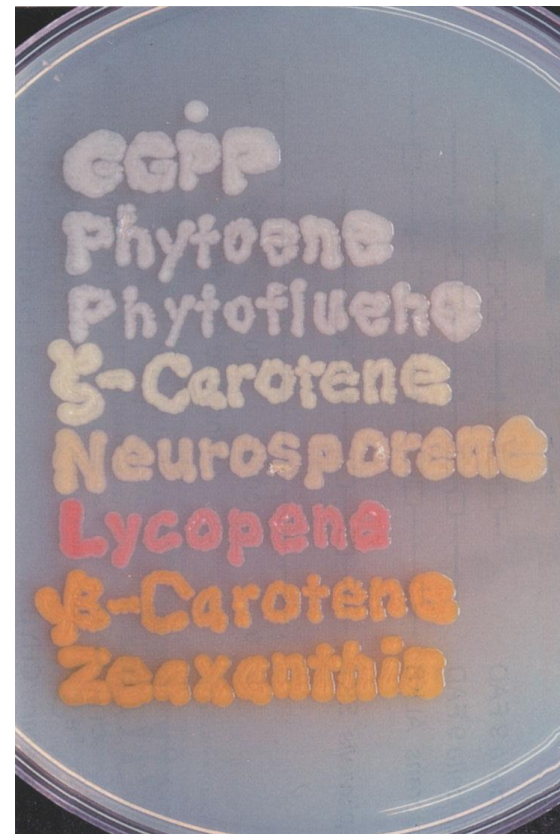


Esterificazione della catena di fitolo

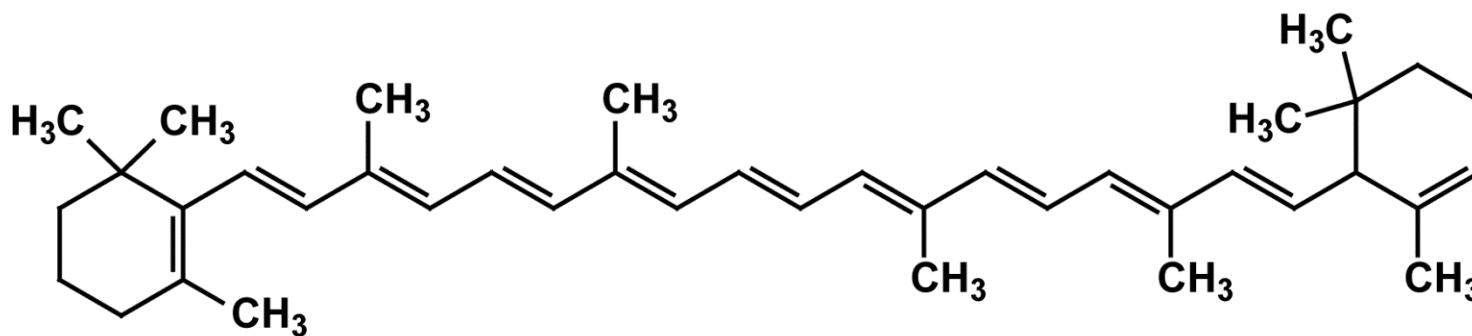
Chlb deriva da Chla attraverso l'azione di una ossigenasi che converte il metile a formile

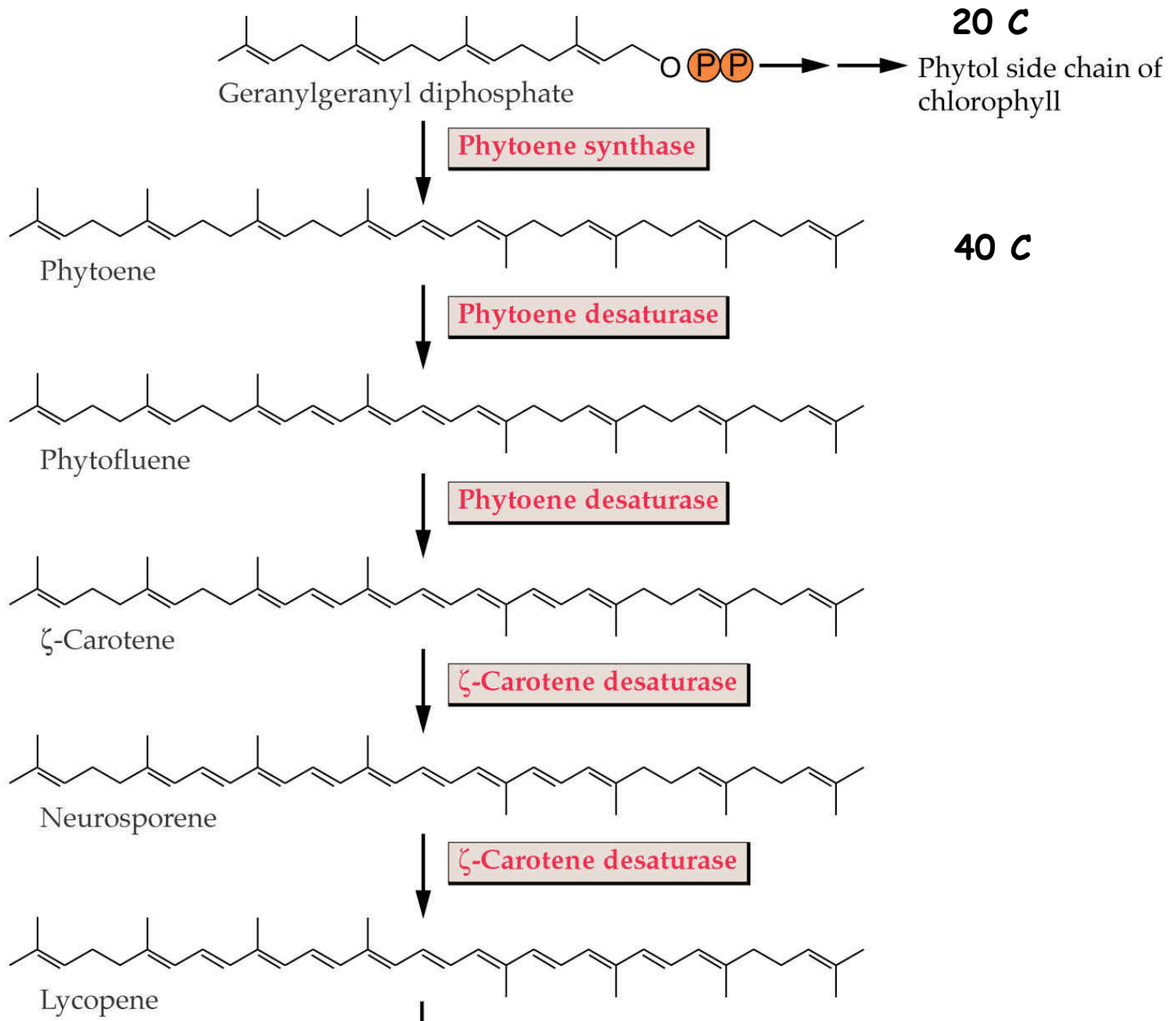


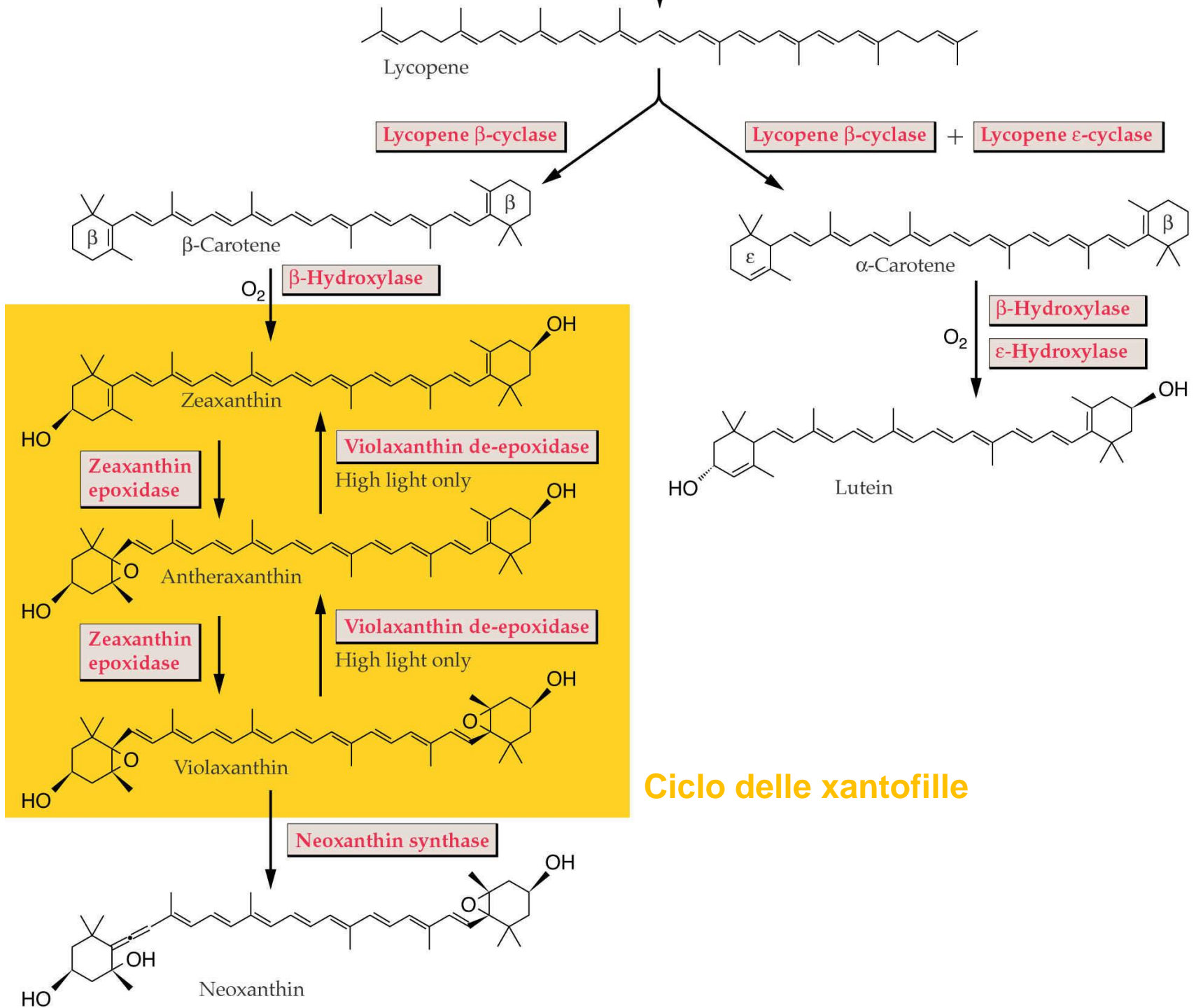
# Carotenoidi



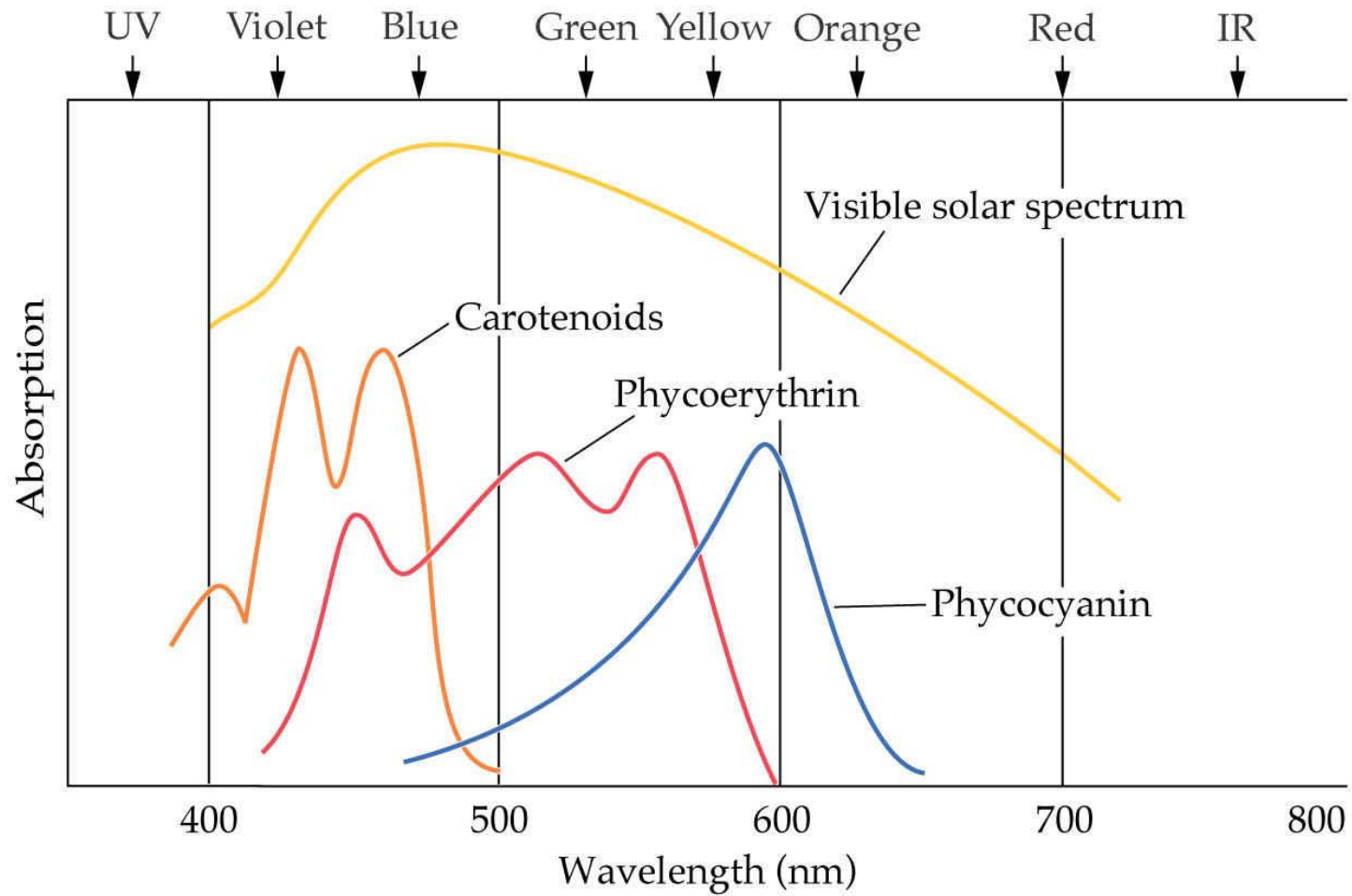
$\beta$ -carotene: è il principale carotenoide in alghe e piante superiori

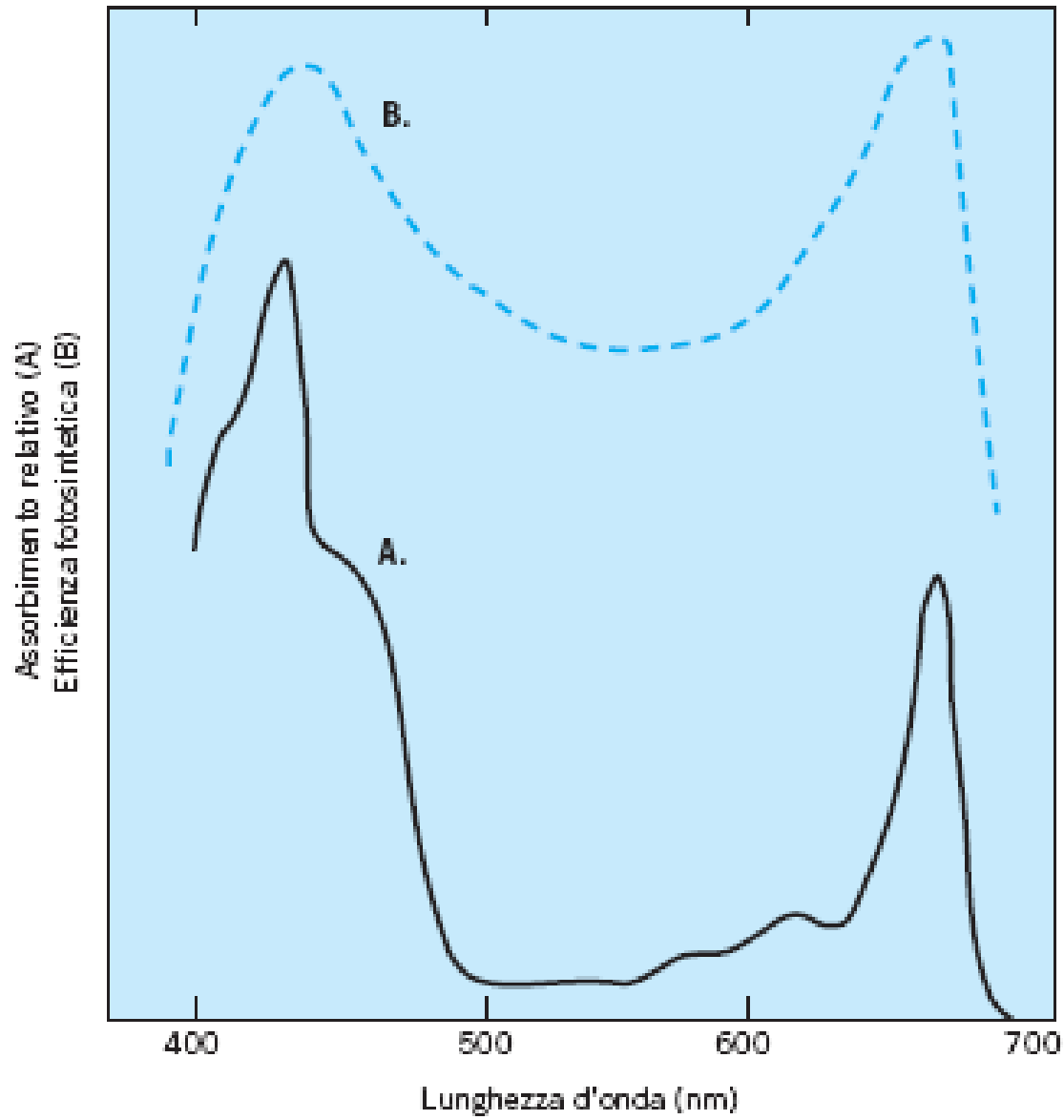






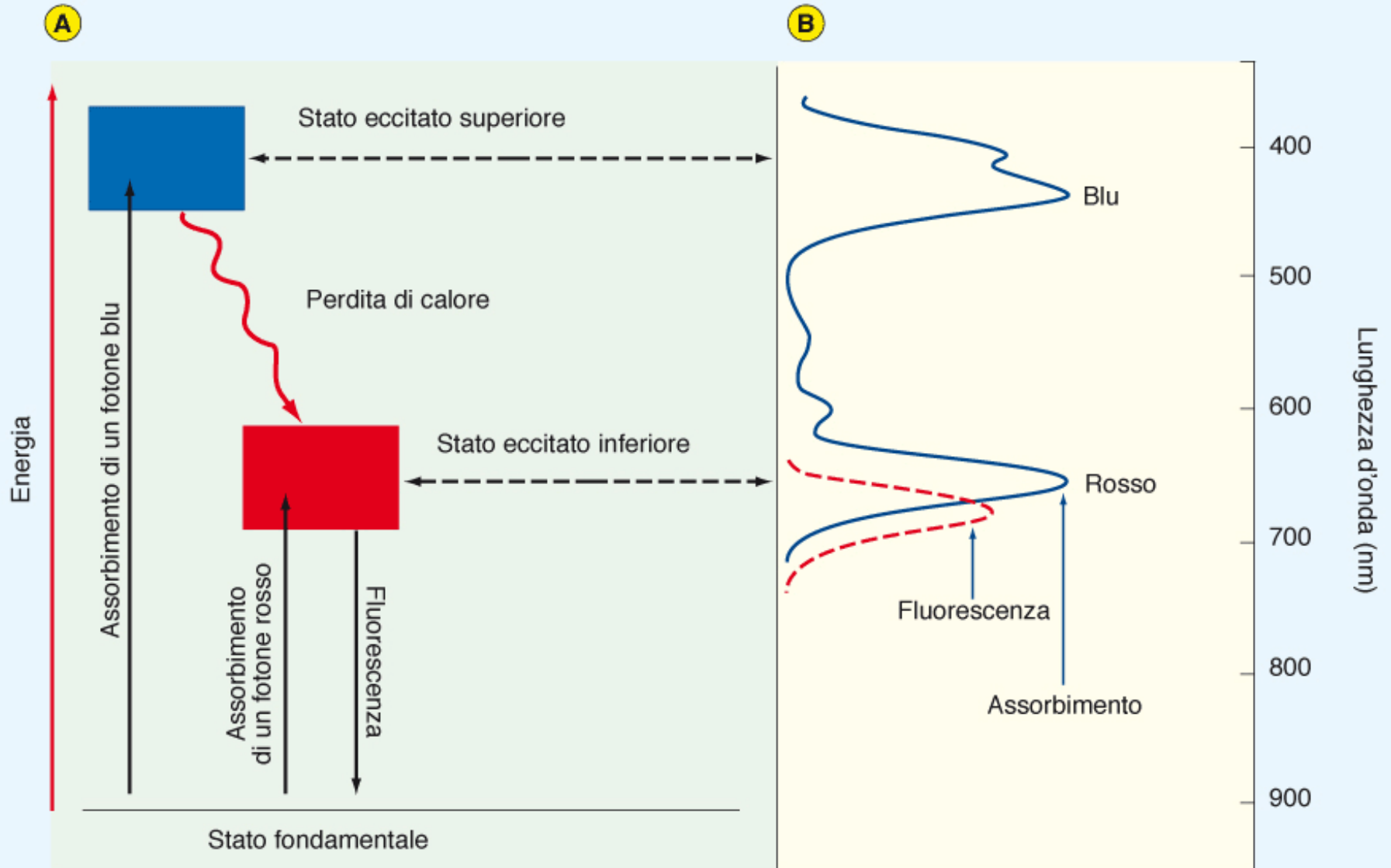
## Ciclo delle xantofille





Spettro d'azione della fotosintesi nelle piante verdi

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



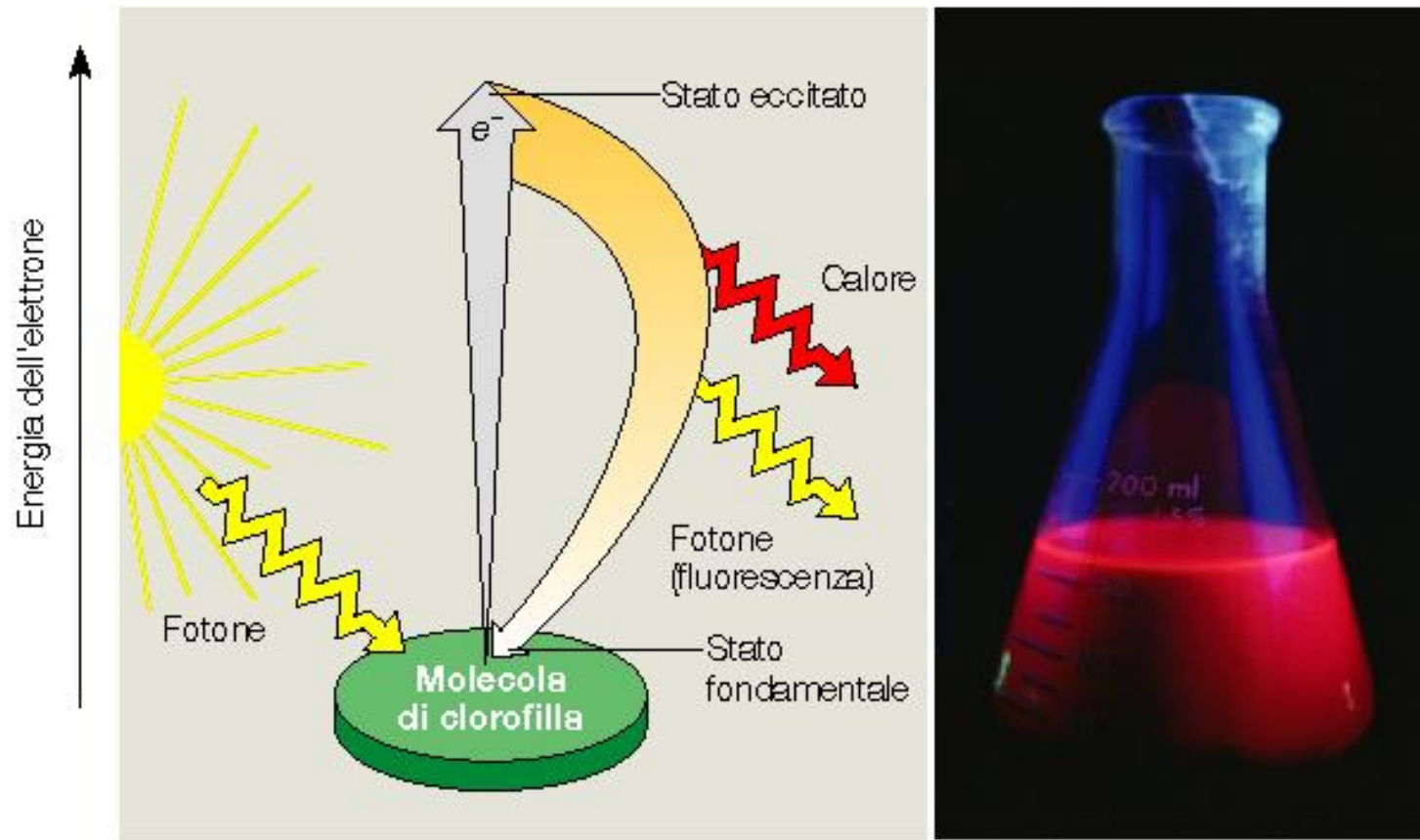
**Un elettrone eccitato può tornare allo stato fondamentale rilasciando energia in forme diverse:**

**Rilassamento:** l'energia viene rilasciata sotto forma di calore.

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

**Trasferimento di energia:** l'energia passa dalla molecola di pigmento eccitata ad un'altra molecola di pigmento che si trova in prossimità.

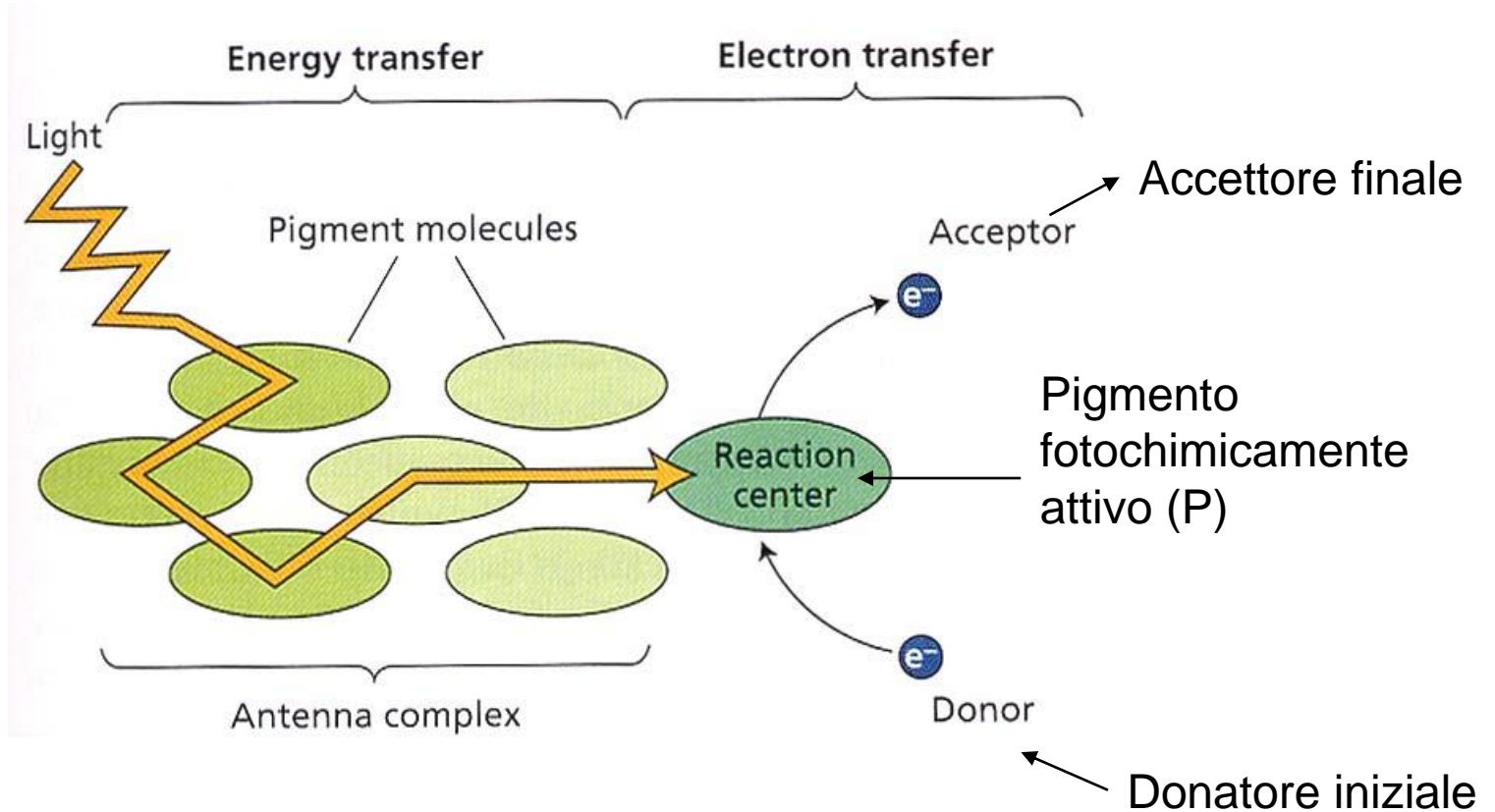
**Reazione fotochimica:** il pigmento eccitato può perdere un elettrone che va a ridurre una molecola accettrice → conversione di energia luminosa in un prodotto chimico ( $10^{-12}$  s). Il pigmento rimane foto-ossidato e deve essere nuovamente ridotto da parte di un donatore di elettroni → **solo in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



**(a) Eccitazione di una molecola isolata di clorofilla (b) Fluorescenza**



# La maggior parte dei pigmenti funzionano come un'antenna

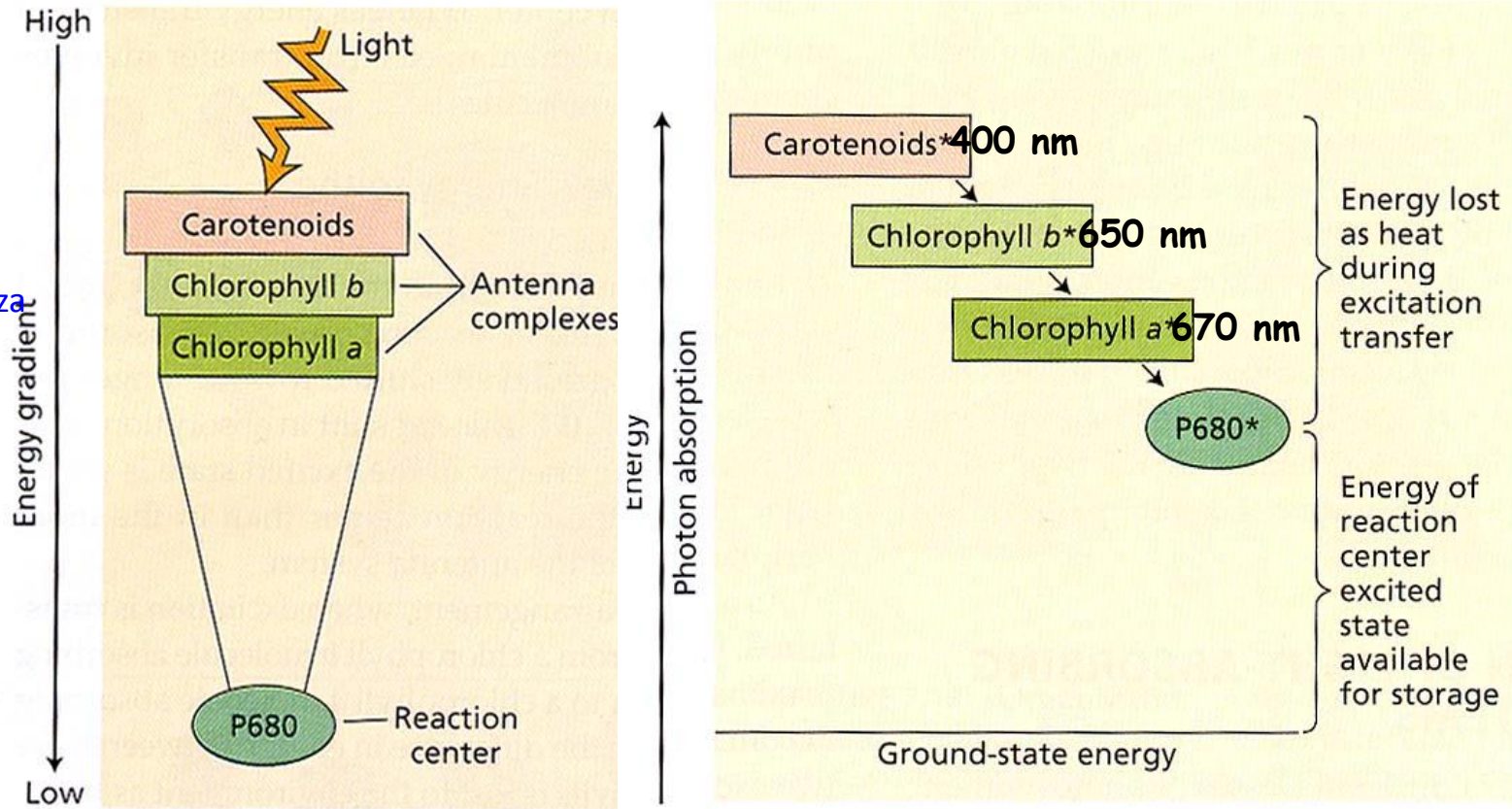


**Convogliano l'energia luminosa ai centri di reazione del PSII e del PSI**

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

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

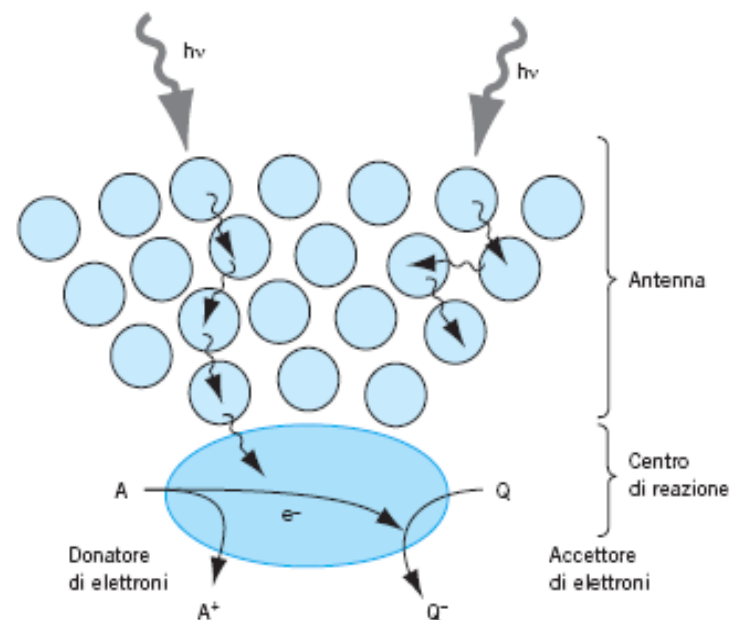
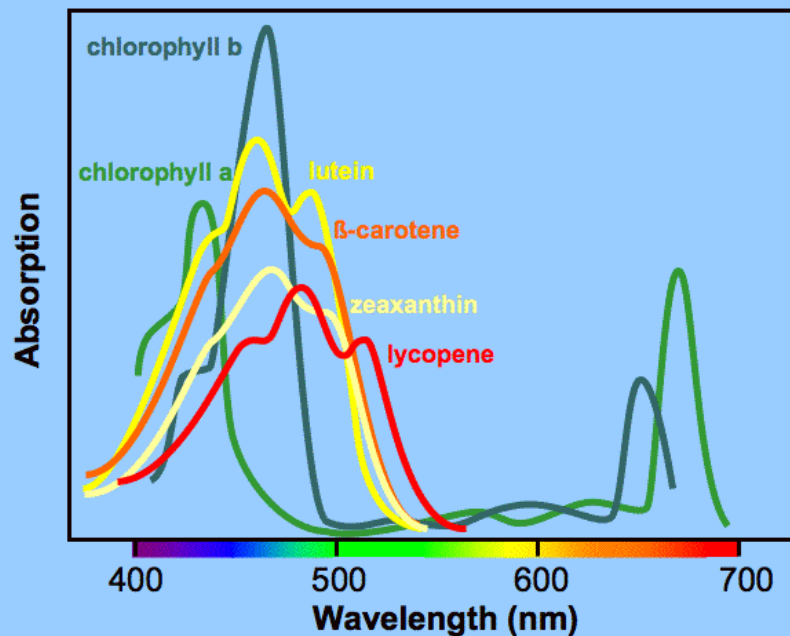
trasferimento di energia per risonanza



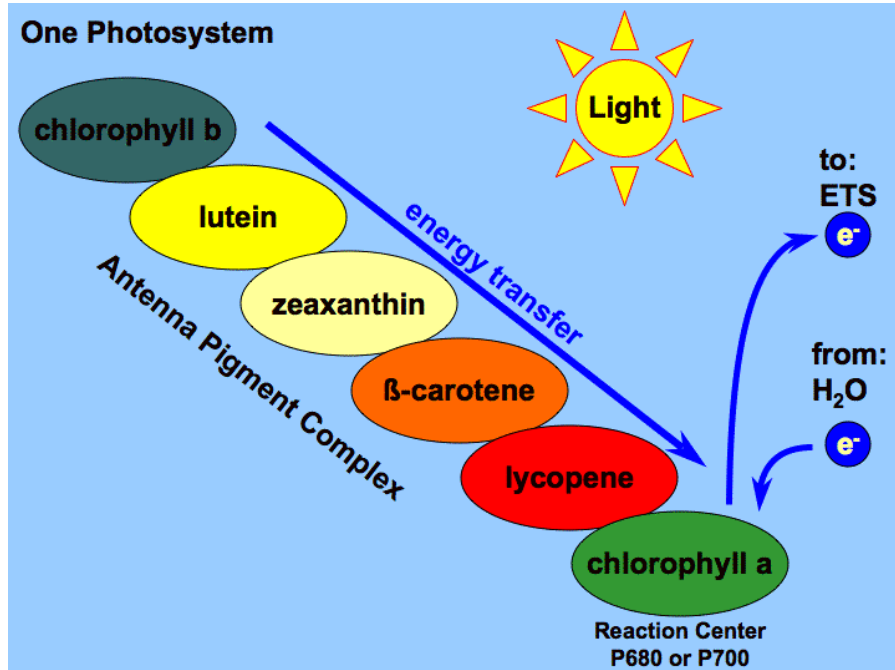
Gradiente energetico: trasferimento di energia verso il centro di reazione è energeticamente favorevole

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

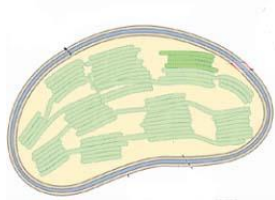
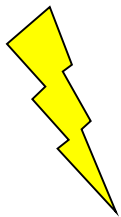


**FIGURA 4.4** Un fotosistema contiene l'antenna e il centro di reazione. Le molecole di clorofilla dell'antenna assorbono i fotoni incidenti e trasferiscono l'energia di eccitazione ai centri di reazione dove avviene la reazione fotochimica di ossido-riduzione.



**Resa quantica** =  $\Phi$  = n. prodotti fotochimici/n. fotoni assorbiti

**Numero quantico/riciesta quantica** = n. fotoni necessari per ottenere un dato prodotto



$$\Phi_{\text{fotochimica}} = 0.95$$

$$\Phi_{\text{fluorescenza}} = 0.05$$