

Prof. Giorgio Sartor

Fotosintesi

Copyright © 2001-2012 by Giorgio Sartor.
All rights reserved.

B11 - Versione 1.9 – may 2012

Box 1 | The discovery of photosynthesis

In 1772, Joseph Priestley described how oxygen is consumed by combustion or by respiration using a burning candle, or a live mouse, in a closed glass jar. His discovery predated the term oxygen, which was coined by Lavoisier^{20,21}. The results were reported in a paper entitled 'Observations on Different Kinds of Air':

"...I flatter myself that I have accidentally hit upon a method of restoring air which has been injured by the burning of candles, and that I have discovered at least one of the restoratives

which nature employs for this purpose. It is vegetation. In what manner this process in nature operates, to produce so remarkable an effect, I do not pretend to have discovered; but a number of facts declare in favour of this hypothesis...

"One might have imagined that, since common air is necessary to vegetable, as well as to animal life, both plants and animal had affected it in the same manner, and I own that I had that expectation, when I first put a sprig of mint into a glass-jar, standing inverted in a vessel of water; but when it had

continued growing there for some months, I found that the air would neither extinguish a candle, nor was it at all inconvenient to a mouse, which I put into it.

"...Accordingly, on the 17th of August 1771, I put a sprig of mint into a quantity of air, in which a wax candle had burned out, and found that, on the 27th of the same month, another candle burned perfectly well in it. This experiment I repeated, without least variation in the event, not less than eight or ten times in the remainder of the summer." J.F.A. & W.M.

610

©2007 Nature Publishing Group

NEWS & VIEWS FEATURE

EVOLUTIONARY BIOLOGY

Out of thin air

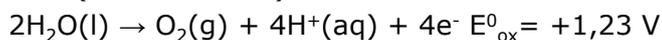
John F. Allen and William Martin

The invention of oxygenic photosynthesis was a small step for a bacterium, but a giant leap for biology and geochemistry. So when and how did cells first learn to split water to make oxygen gas?

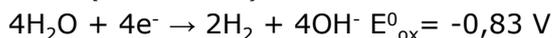
Decomposizione dell'acqua

- La decomposizione dell'acqua in idrogeno ed ossigeno in condizioni standard è una reazione sfavorita in termini termodinamici, poiché entrambe le semireazioni che intervengono hanno potenziali negativi

Anodo (ossidazione):

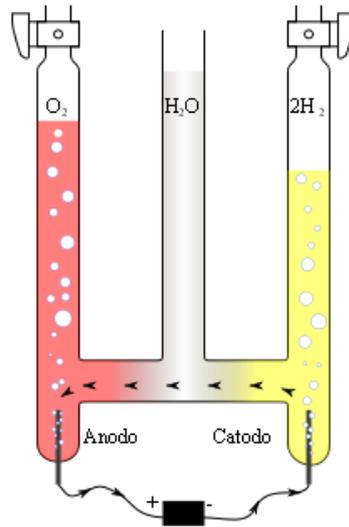


Catodo (riduzione):



- Utilizzando l'equazione $\Delta G = -nF\Delta E$, l'energia libera per il processo, in condizioni standard, vale 474.4 kJ: **non spontanea.**

Decomposizione dell'acqua

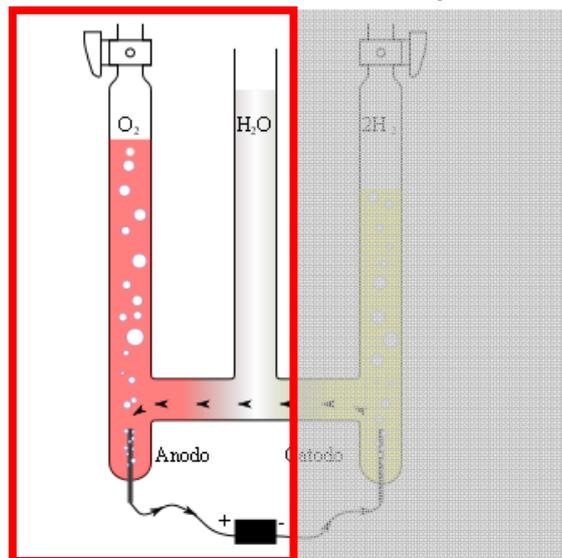


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 5 -

Ossidazione dell'acqua

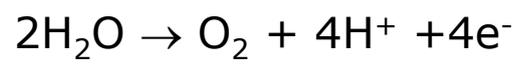


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

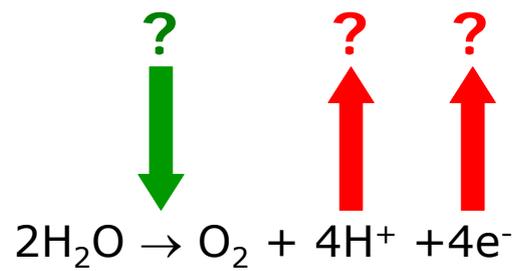
Fotosintesi

- 6 -

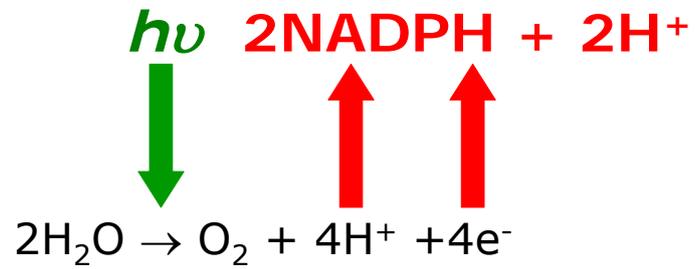
Ossidazione dell'acqua



Ossidazione dell'acqua

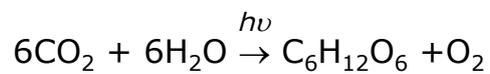


Ossidazione dell'acqua



Fotosintesi

È il processo che permette di formare carboidrati da CO_2 a spese dell'energia luminosa.



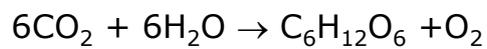
FISSAZIONE DELL'ANIDRIDE CARBONICA

Fotosintesi

- La fotosintesi viene assimilata alla fissazione della CO_2 ,

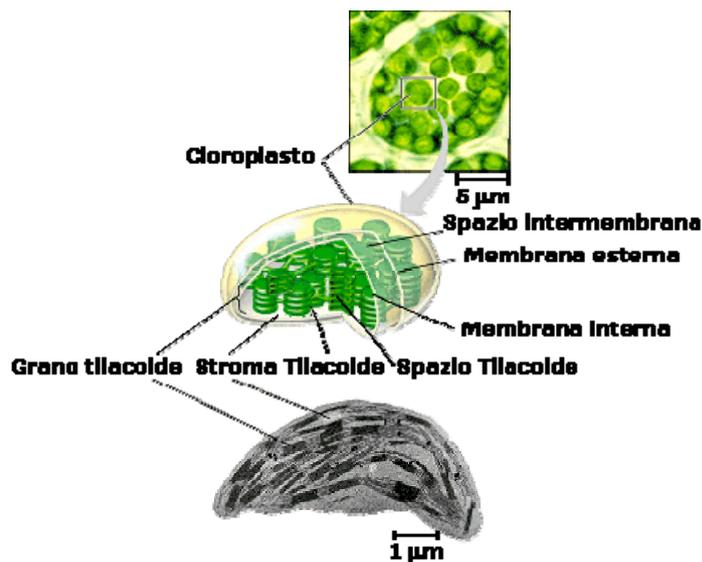
- L'energia chimica derivata dall'energia luminosa può essere utilizzata per altri processi cellulari (assimilazione di azoto e zolfo).

- Il processo

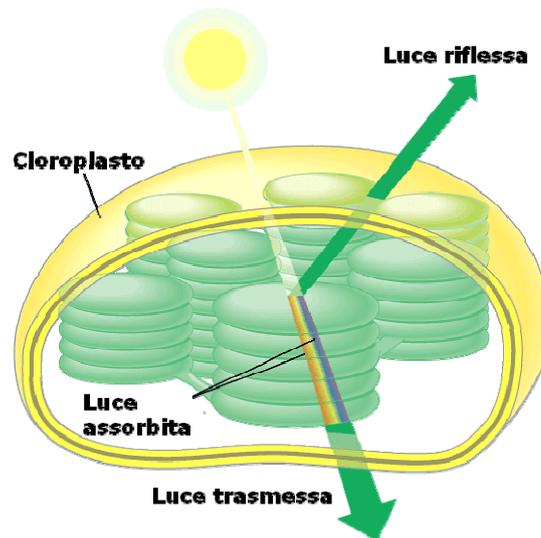


- È il contrario del metabolismo dei carboidrati,
- È un processo endoergonico che avviene nei cloroplasti.

Cloroplasti



Cloroplasti



v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 13 -

Cloroplasti

- La fotosintesi avviene all'interno del tilacoide,
- La membrana del tilacoide è come la membrana mitocondriale
 - Impermeabile a ioni e molecole
- Come i mitocondri i cloroplasti hanno un proprio DNA, RNA e ribosomi

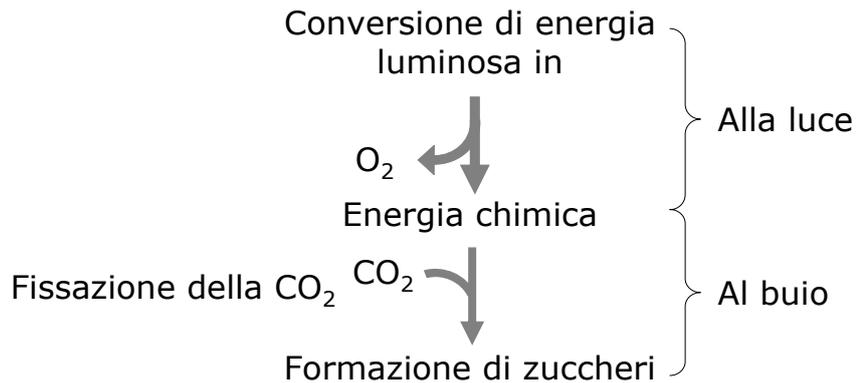
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 14 -

Processo fotosintetico

- La fotosintesi è un processo che è formato da due serie di reazioni:



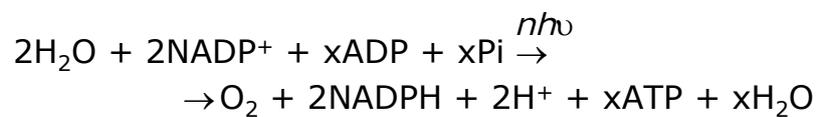
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

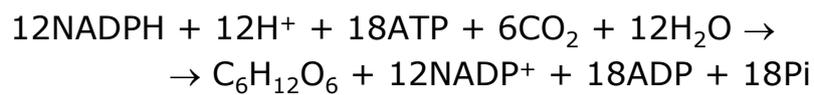
- 15 -

Processo fotosintetico

Fase luminosa



Fase buia



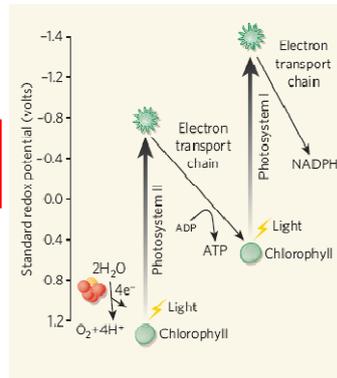
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 16 -

The oxygen that gives us the breath of life is renewed by sunlight falling on plants, algae and a particular class of bacterium called cyanobacteria — all of which produce molecular oxygen (O₂) as a waste product of photosynthesis (Fig. 1). Biologists agree that cyanobacteria invented the art of making oxygen², but when and how this came about remain uncertain.

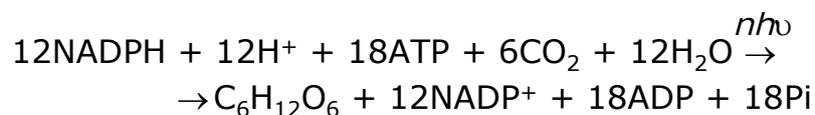
Oxygenic photosynthesis involves about 160 proteins that are highly ordered within the photosynthetic membranes of the cell. The main players are two molecular machines, photosystem I and photosystem II, that act as electrochemical solar cells. With the help of chlorophyll (the pigment that makes plants green), they transform sunlight into electrical current (Fig. 1). Photosystem II generates an electrochemical potential of +1.1 volts, enough to remove two electrons from each of two water molecules, making a molecule of O₂ at a cost of four photons — one for each electron moved. Photosystem II performs this remarkable feat only when photosystem I is present to dispose of the electrons. Photosystem I grabs the four electrons and uses four more photons to deposit them, in two pairs, on an electron carrier called NADP⁺. NADP⁺ ultimately transfers the electrons to carbon dioxide, thereby providing the



energy to make carbon-based sugars and the other molecules of life: light makes life and oxygen out of water and thin air.

Processo fotosintetico

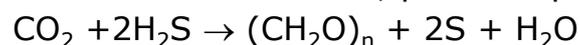
Fase buia



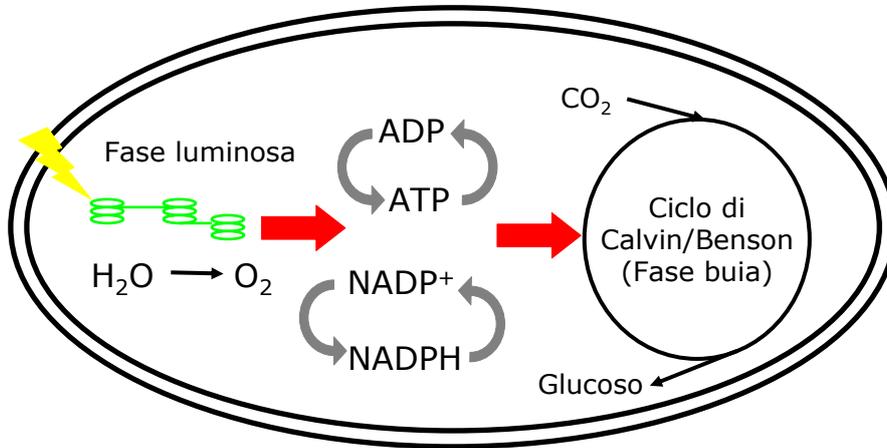
- In questo caso è l'acqua il donatore finale di elettroni, più in generale:



- Nei solfobatteri fotosintetici, per esempio:



Fotosintesi



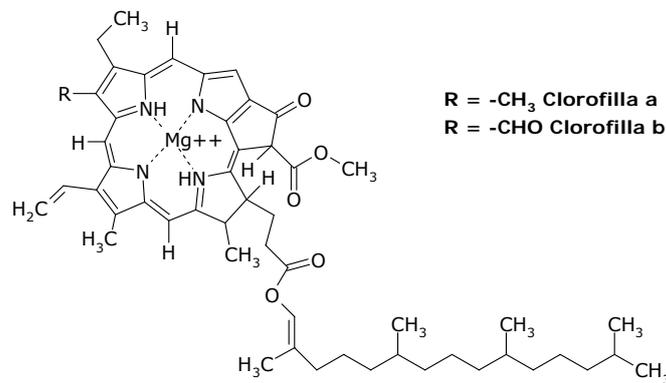
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 19 -

Clorofilla

- I pigmenti fotosintetici in grado di assorbire luce sono, principalmente, le clorofille:



R = -CH₃ Clorofilla a
R = -CHO Clorofilla b

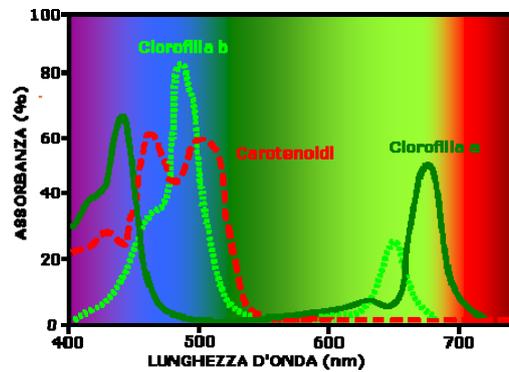
Catena laterale idrofobica di fitolo

v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 20 -

Spettri di assorbimento



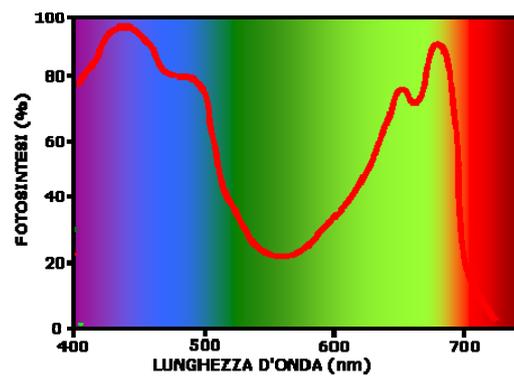
- I pigmenti assorbono luce nel blu e nel rosso dello spettro del visibile, riflettono luce nell'intervallo del verde.
- I pigmenti sono associati a proteine.

v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 23 -

Spettri di assorbimento



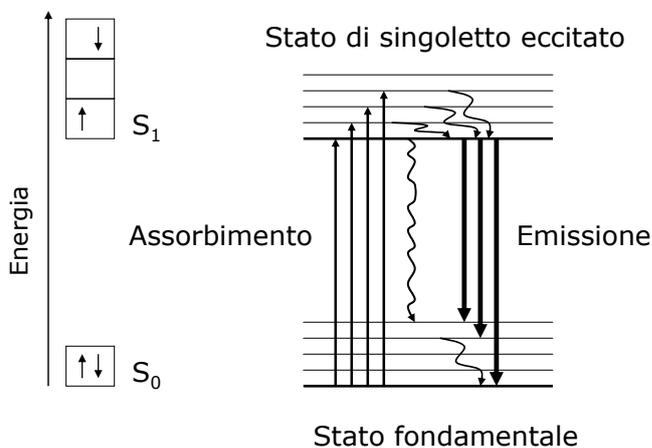
- L'efficienza della fotosintesi è massima alle estremità dello spettro della luce visibile

v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 24 -

Le transizioni elettroniche

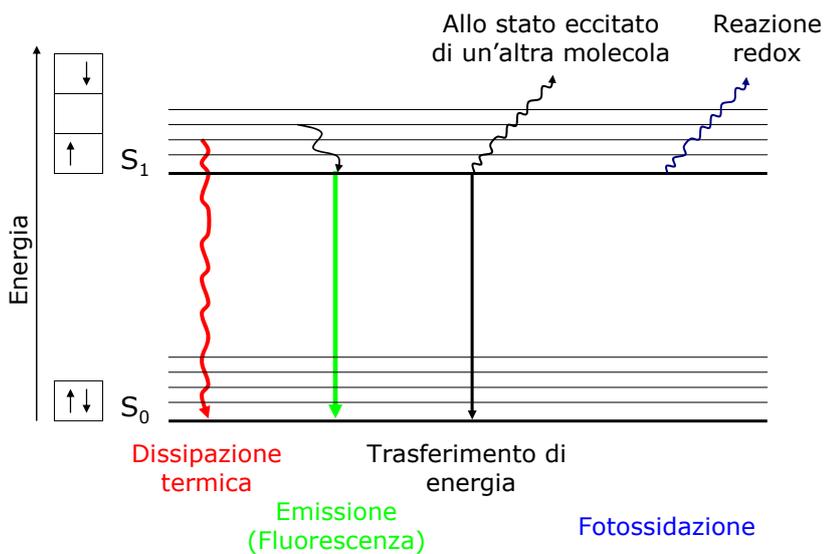


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 25 -

Disattivazione dello stato eccitato



v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 26 -

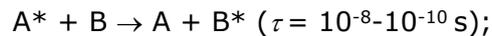
Reazioni allo stato eccitato

- Assorbimento, formazione dello stato eccitato:

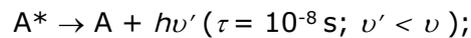


- Disattivazione dello stato eccitato:

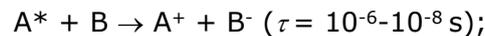
- Energy transfer:



- Emissione di luce (fluorescenza):



- Reazione redox:



v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

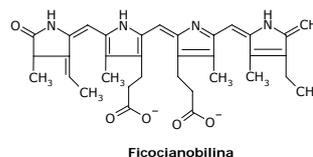
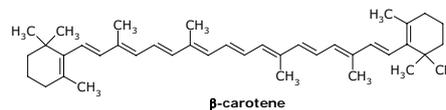
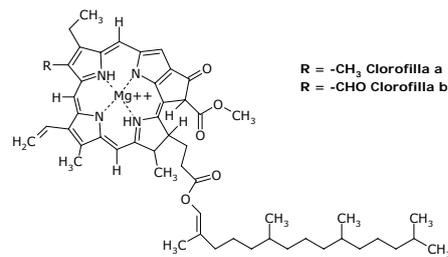
- 27 -

Transizioni elettroniche

- Le transizioni elettroniche avvengono, nei pigmenti fotosintetici, nel visibile a causa della presenza di sistemi elettronici π coniugati.
- È fondamentale, nel funzionamento del processo fotosintetico, la trasduzione dell'energia luminosa in energia chimica,
- Ciò avviene a causa del potenziale redox diverso tra lo stato fondamentale e lo stato eccitato della clorofilla:



- Il Mg^{++} non cambia numero di ossidazione.



v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

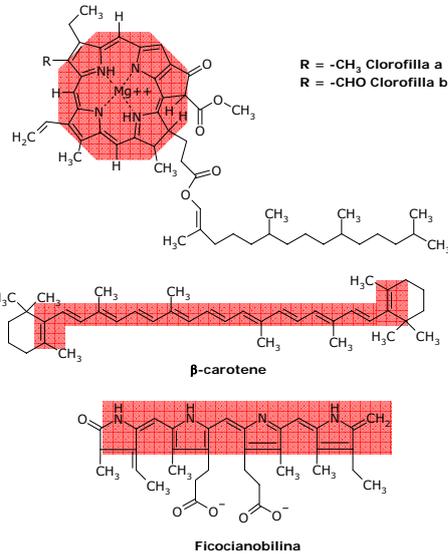
- 28 -

Transizioni elettroniche

- Le transizioni elettroniche avvengono, nei pigmenti fotosintetici, nel visibile a causa della presenza di **sistemi elettronici π coniugati**.
- È fondamentale, nel funzionamento del processo fotosintetico, la trasduzione dell'energia luminosa in energia chimica,
- Ciò avviene a causa del potenziale redox diverso tra lo stato fondamentale e lo stato eccitato della clorofilla:



- Il Mg^{++} non cambia numero di ossidazione.



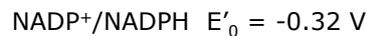
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

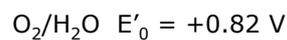
- 29 -

Riduzione e ossidazione

- La fotosintesi consiste nella riduzione del NADP^+ a spese degli e^- ceduti dall'acqua all'ossigeno e attivati dalla luce.



- Per ridurre il NAD^+ è necessario un riducente con $E'_0 < -0.32 \text{ V}$.



- Per ossidare l'acqua ad ossigeno è necessario un ossidante con $E'_0 > 0.82 \text{ V}$.

v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 30 -

Fotosistema I (PSI)

- La fotosintesi consiste nella riduzione del NADP^+ a spese degli e^- ceduti dall'acqua all'ossigeno e attivati dalla luce.



- Per ridurre il NAD^+ è necessario un riducente con $E'_0 < -0.32 \text{ V}$.



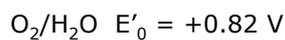
- Per ossidare l'acqua ad ossigeno è necessario un ossidante con $E'_0 > 0.82 \text{ V}$.

Riduzione e ossidazione

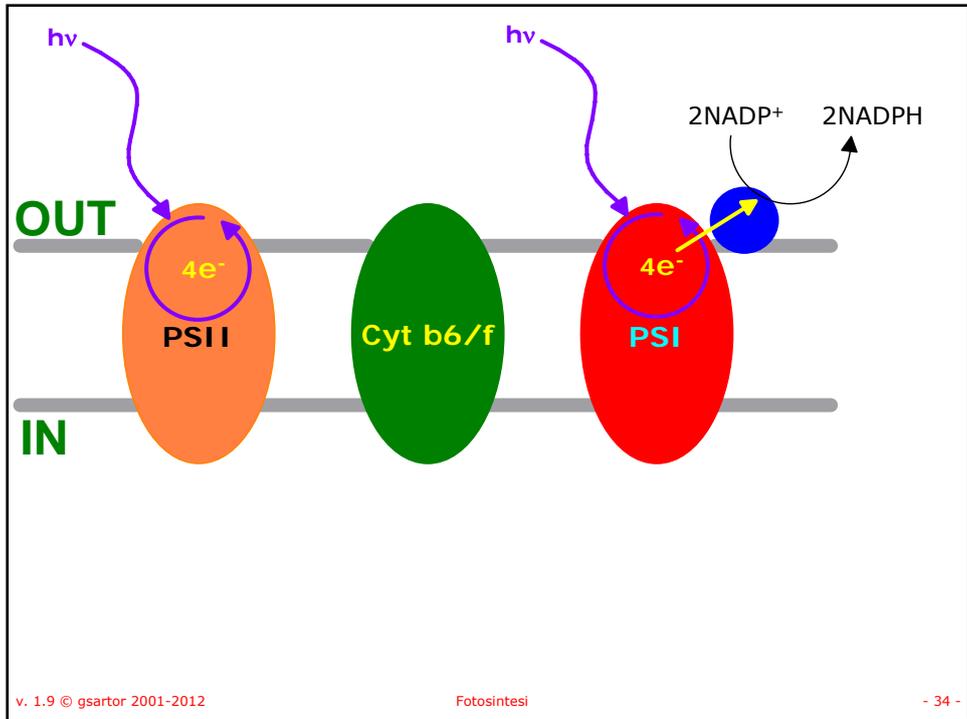
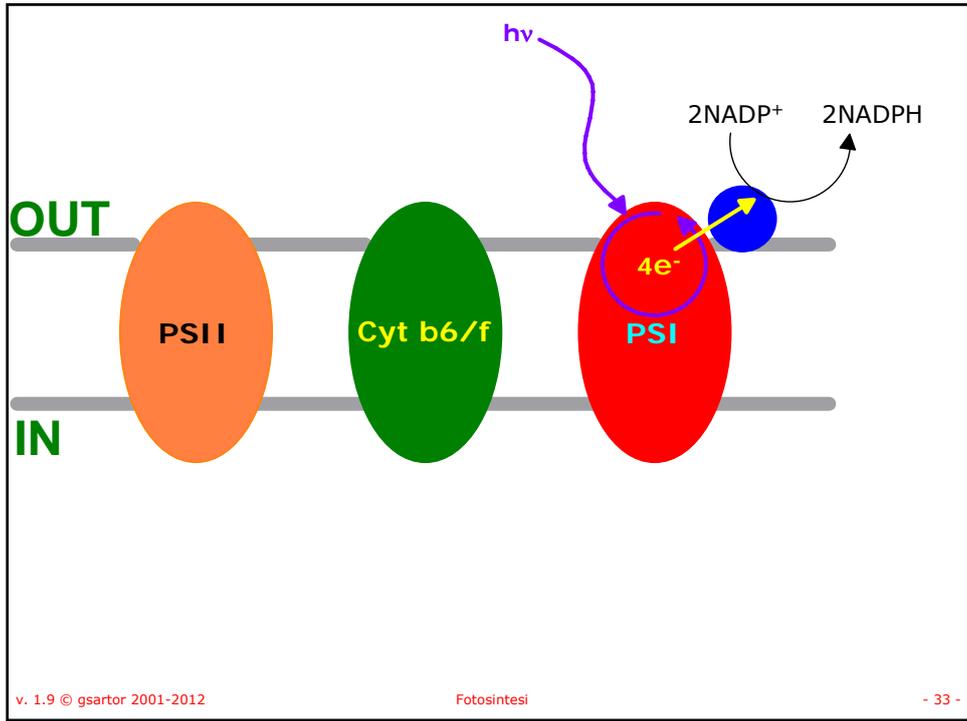
- La fotosintesi consiste nella riduzione del NADP^+ a spese degli e^- ceduti dall'acqua all'ossigeno e attivati dalla luce.

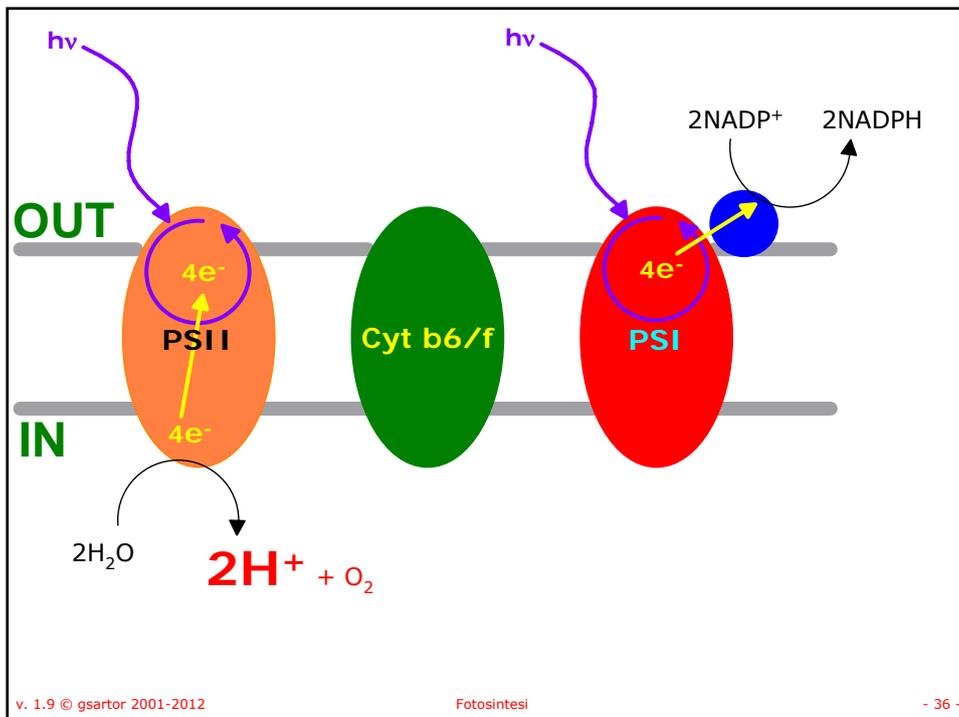
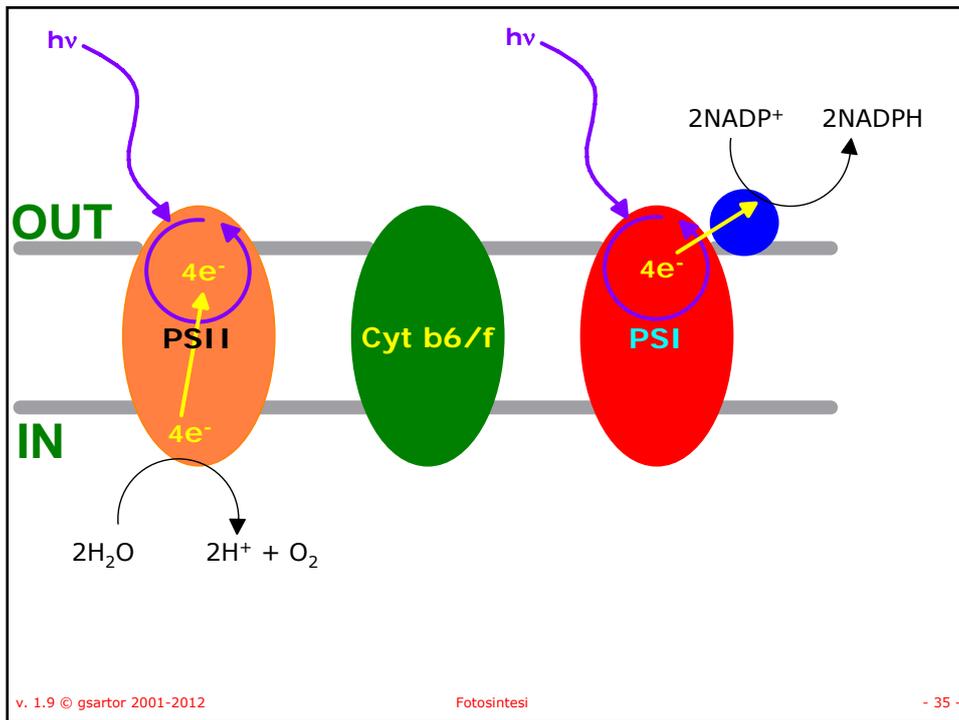
Fotosistema II (PSII)

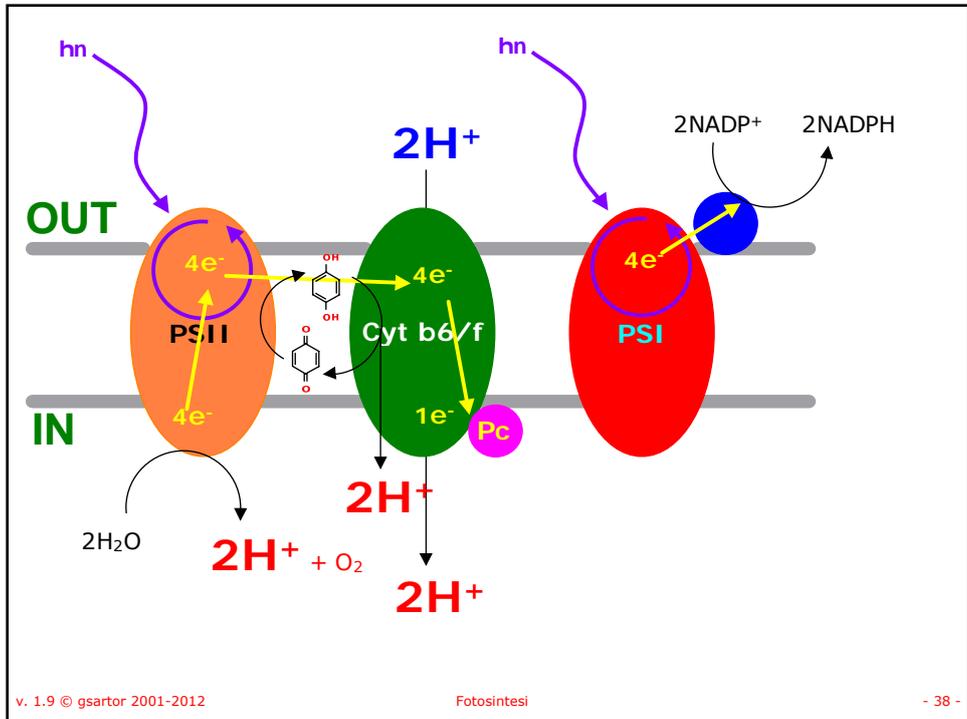
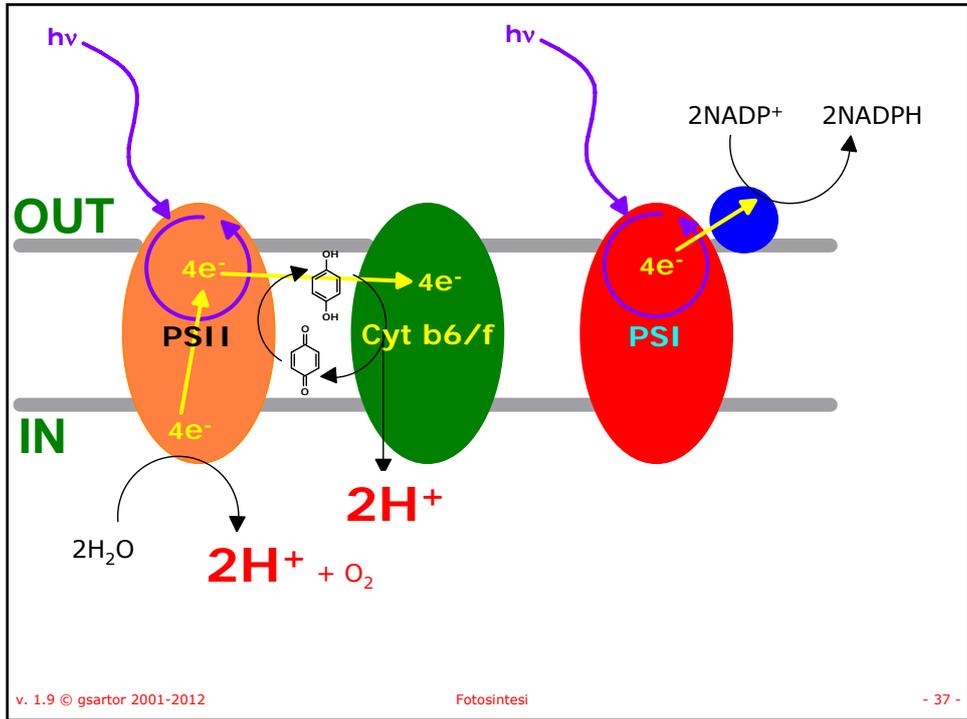
- Per ridurre il NAD^+ è necessario un riducente con $E'_0 < -0.32 \text{ V}$.

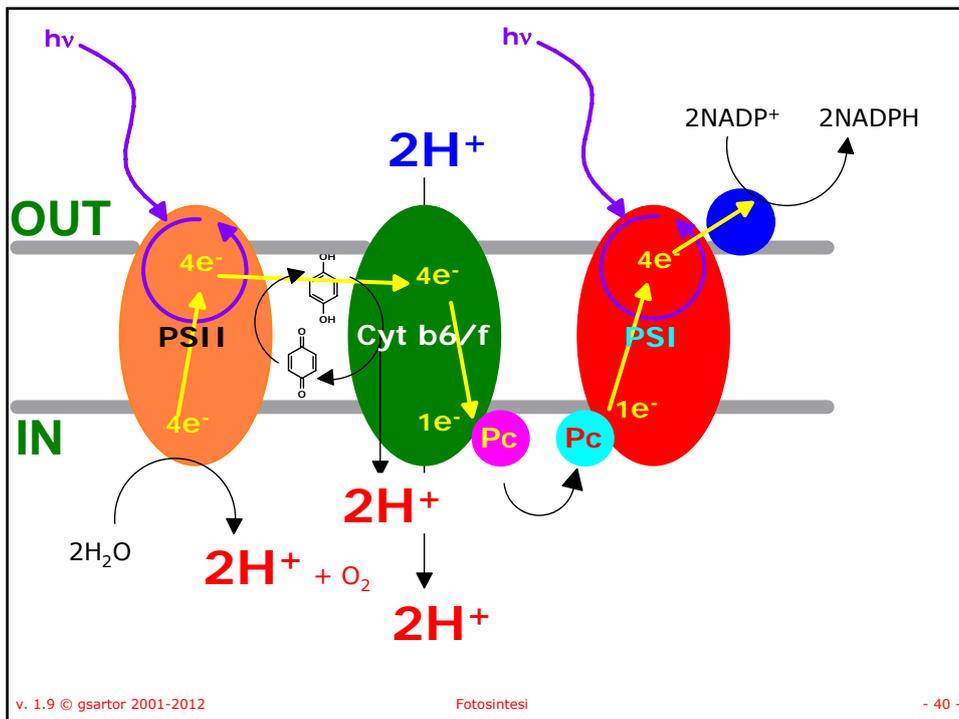
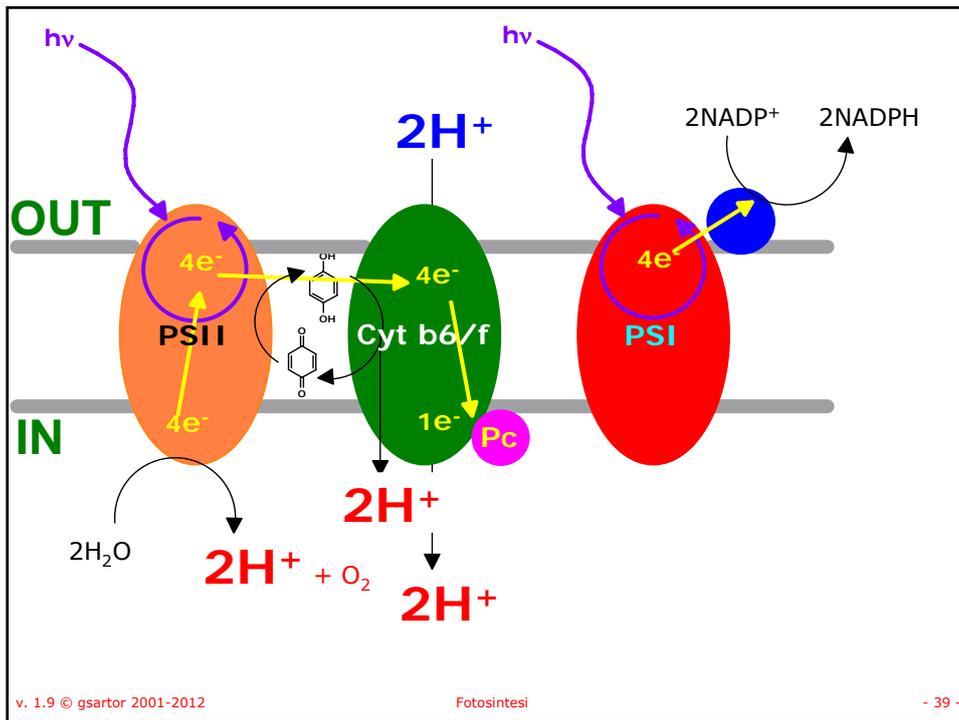


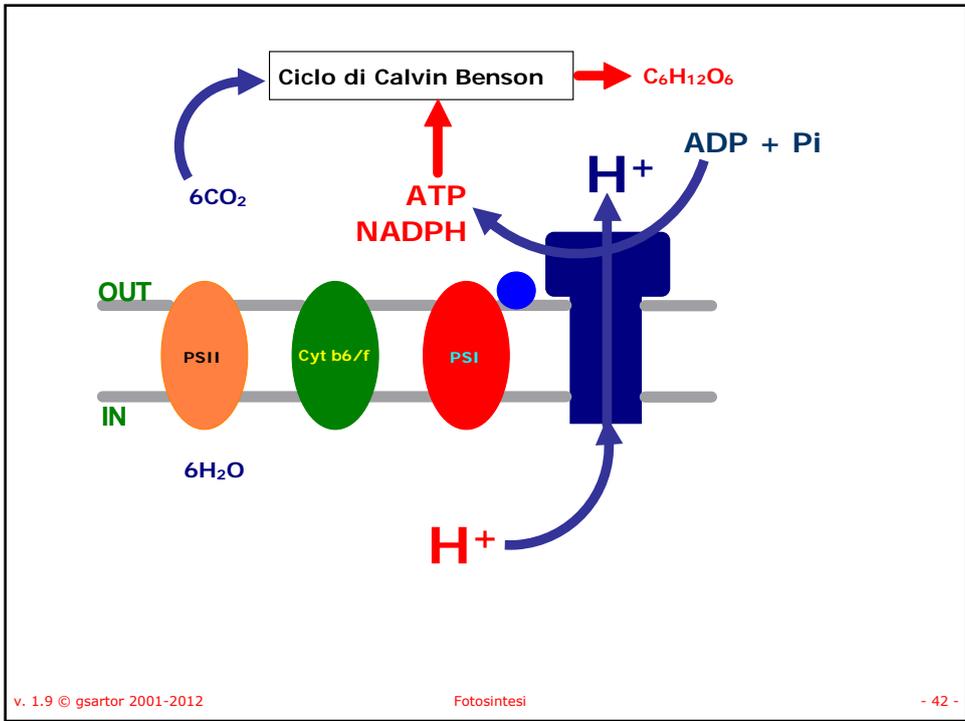
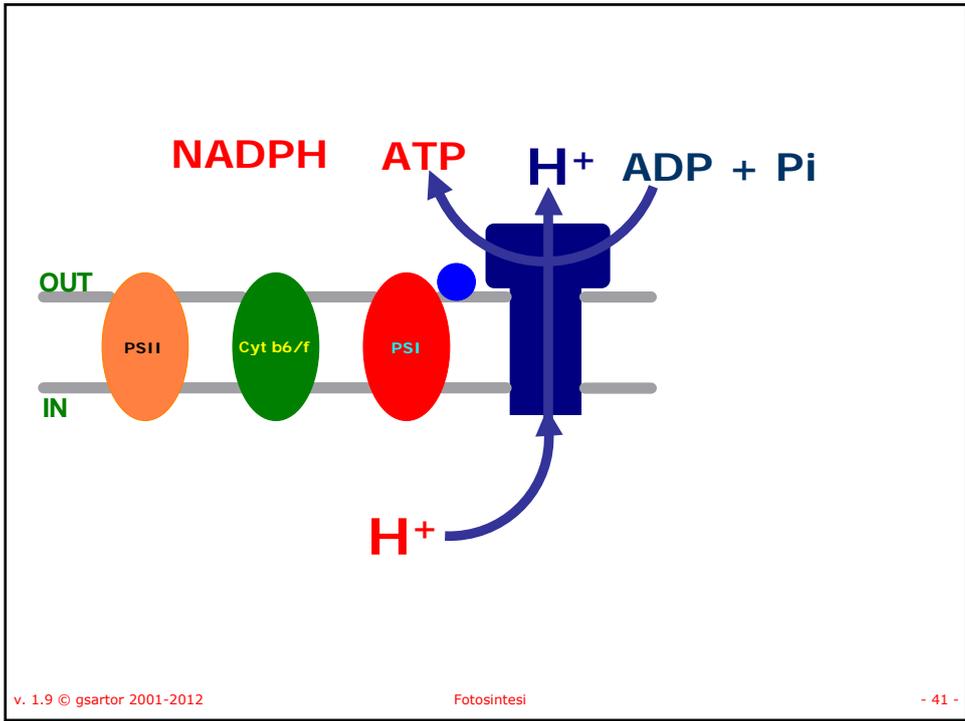
- Per ossidare l'acqua ad ossigeno è necessario un ossidante con $E'_0 > 0.82 \text{ V}$.

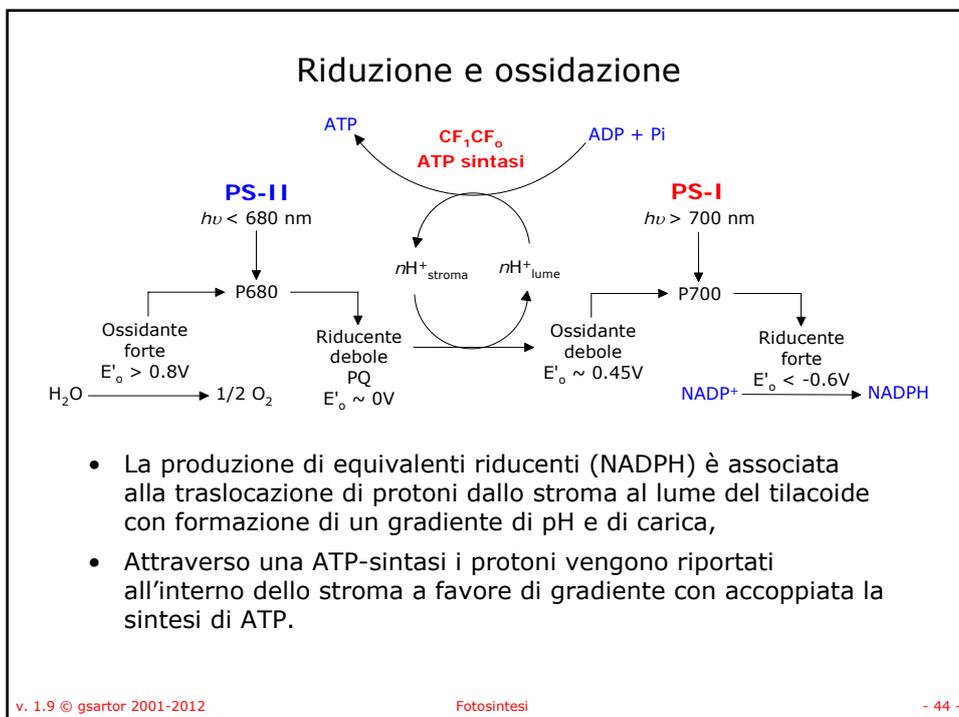
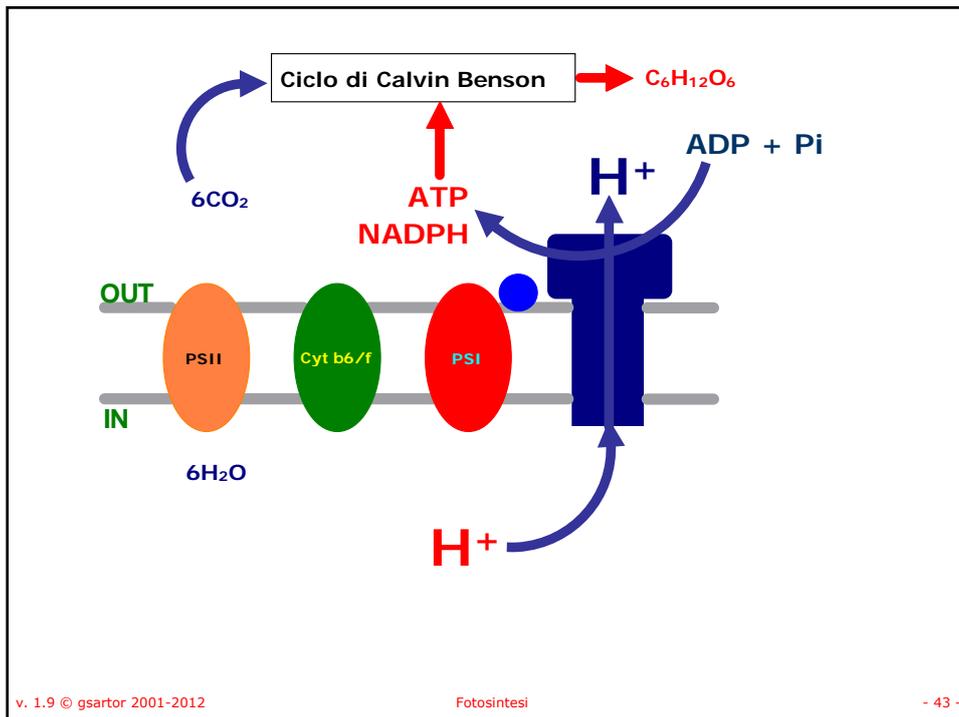


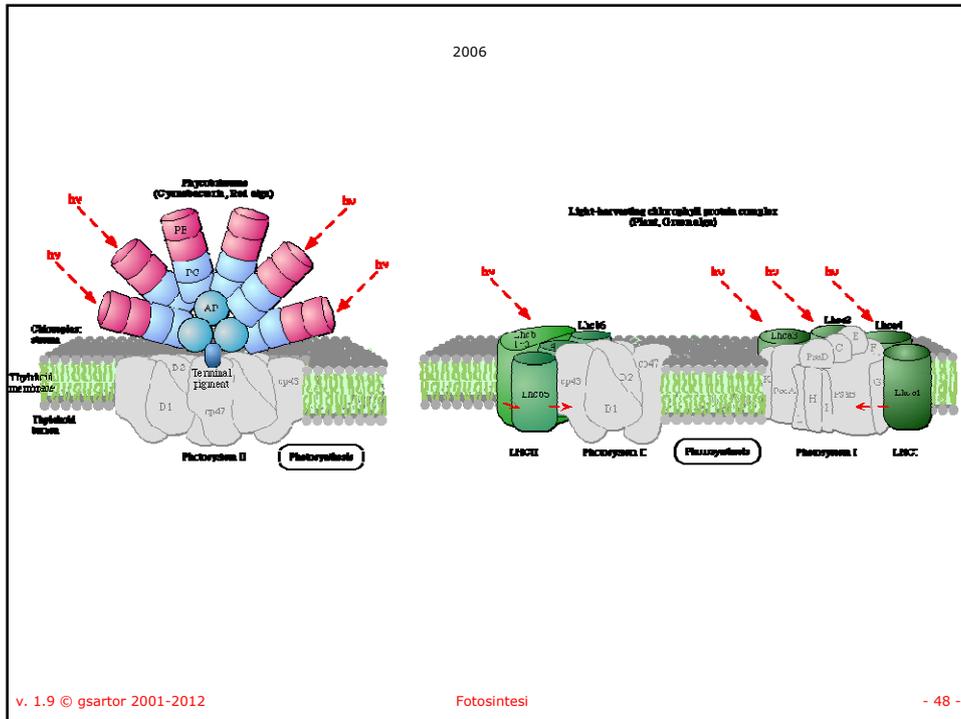
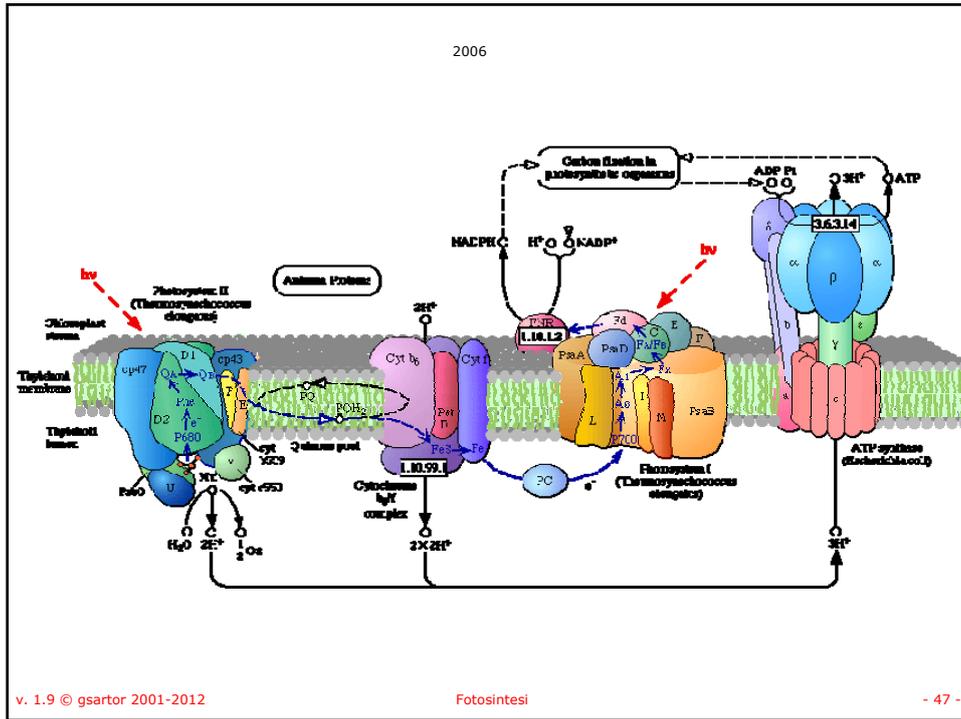










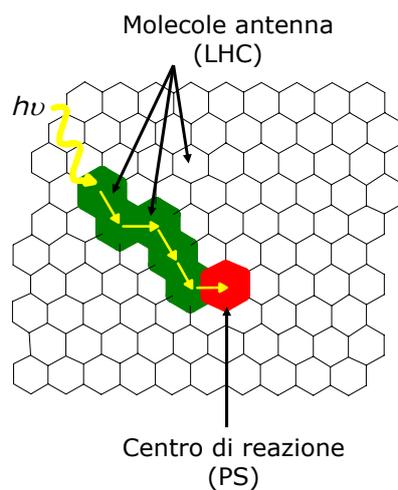


La fotosintesi e fotofosforilazione

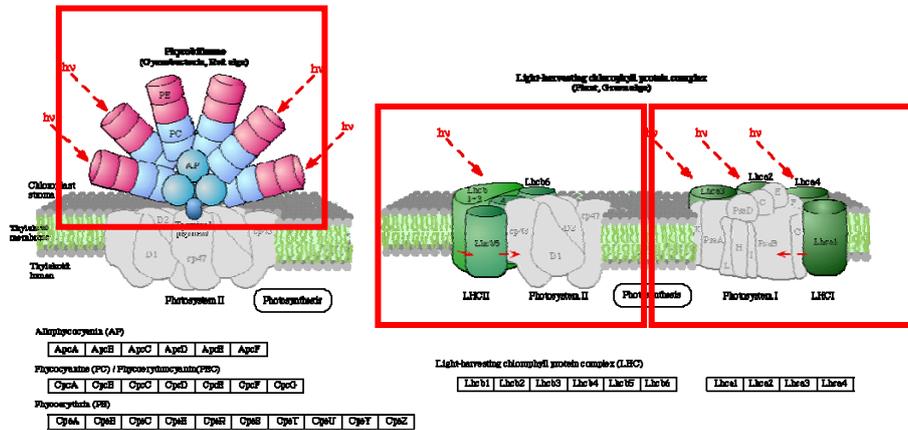
Dalla luce all'ATP e NADPH

Unità fotosintetica

- Non tutte le molecole di clorofilla svolgono la funzione di donatori di elettroni allo stato eccitato.
- Il trasferimento di energia tra le molecole antenna al centro di reazione avviene per risonanza (energy transfer).



Light harvesting complex



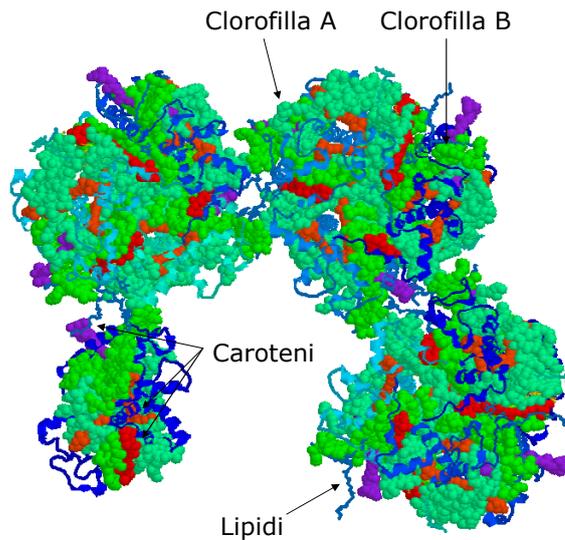
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 51 -

Light harvesting complex

- La luce viene raccolta dal sistema antenna (Light harvesting complex) attraverso i pigmenti:
 - Clorofille (A e B)
 - Caroteni
- L'energia luminosa viene trasferita via energy transfer al centro di reazione.

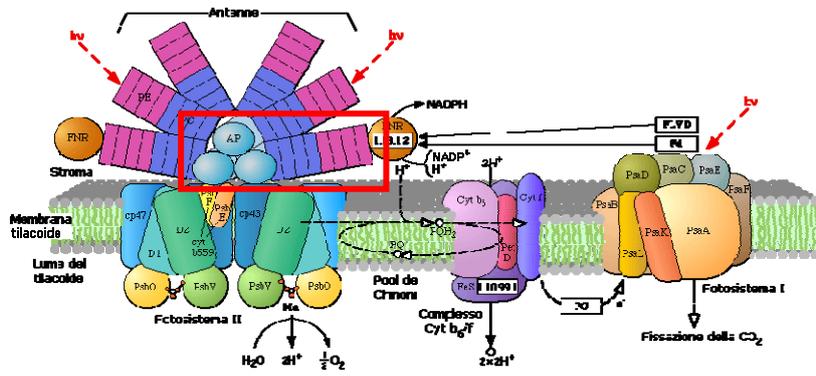


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 52 -

Ficocianobilina

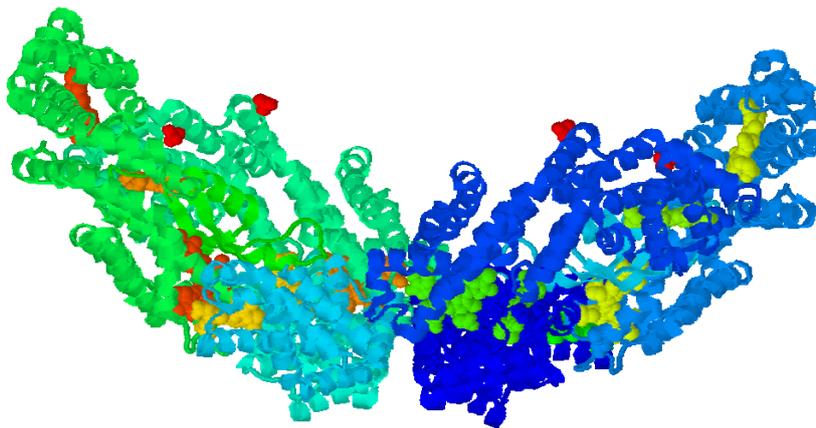


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 53 -

Ficocianobilina



v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 54 -

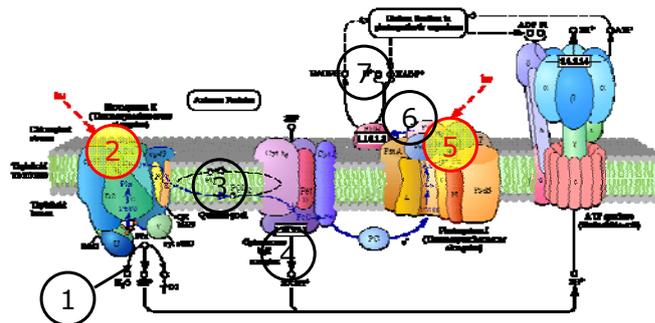
Centri di reazione

- Negli eucarioti esistono due diversi centri di reazione: PS-I e PS-II
- Nei due fotosistemi avvengono reazioni diverse.
- I due fotosistemi hanno diversa sensibilità alla luce .
- In uno dei due (PS-II) avviene l'ossidazione dell'acqua ad ossigeno.
- La clorofilla nelle cellule vegetali è associata a proteine integrali della membrana del tilacoide.

Potenziali redox

- I valori dei potenziali redox permettono il trasferimento di elettroni dall' H_2O al $NADP^+$:

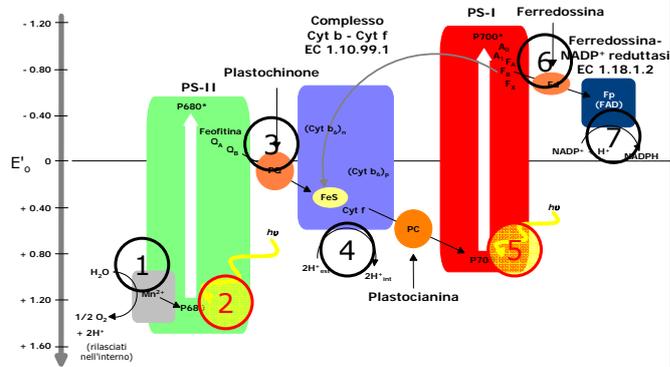
1. $E'_0 = + 0.85 V$
2. $E'_0 = + 1.20 V$
3. $E'_0 \approx 0 V$
4. $E'_0 = + 0.40 V$
5. $E'_0 = + 0.75 V$
6. $E'_0 = - 1.20 V$
7. $E'_0 = - 0.70 V$



Potenziali redox

- I valori dei potenziali redox permettono il trasferimento di elettroni dall' H_2O al NADP^+ :

- $E'_0 = + 0.85 \text{ V}$
- $E'_0 = + 1.20 \text{ V}$
- $E'_0 \approx 0 \text{ V}$
- $E'_0 = + 0.40 \text{ V}$
- $E'_0 = + 0.75 \text{ V}$
- $E'_0 = - 1.20 \text{ V}$
- $E'_0 = - 0.70 \text{ V}$

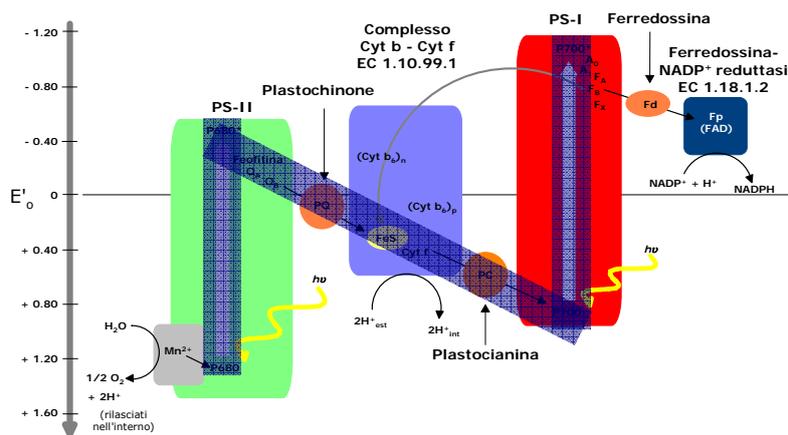


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 57 -

Schema a Z



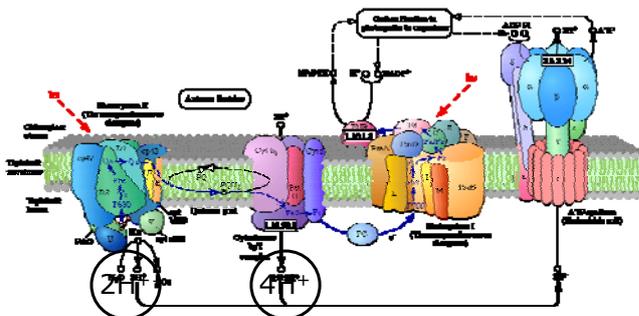
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 58 -

Trasporto di H⁺

- Nel trasporto di elettroni dall'acqua al NADP⁺ vengono anche trasportati 4H⁺ nel lume del tilacoide (all'interno) dalla cavità stromale (dall'esterno).
- 2H⁺ vengono prodotti nel lume a seguito della ossidazione dell'acqua.

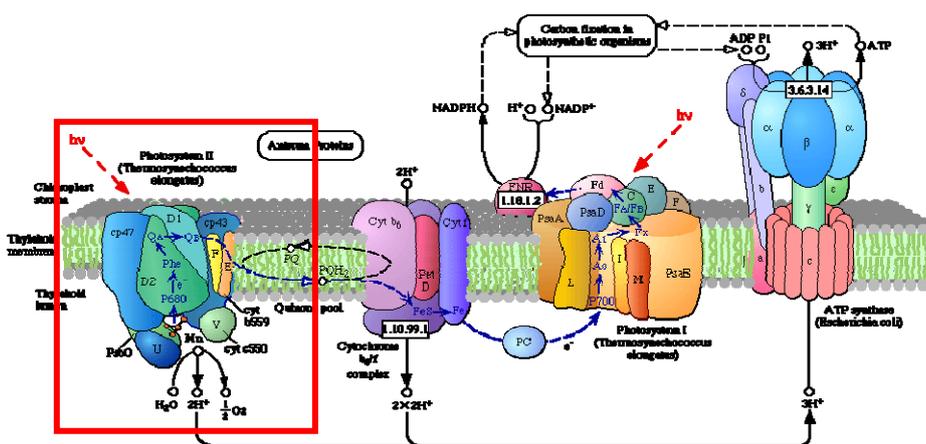


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 59 -

Fotosistema II (PS-II)



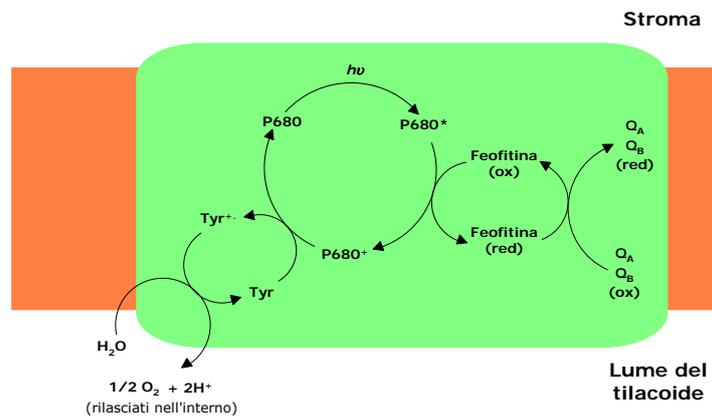
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 60 -

PS-II

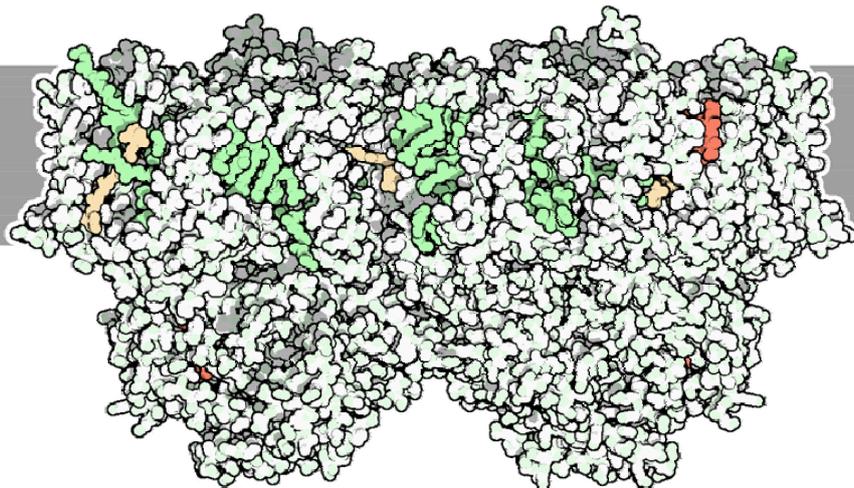
- I due elettroni vengono trasferiti al plastochinone legato al PS-II attraverso una serie di reazioni redox di gruppi prostetici.



v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 61 -

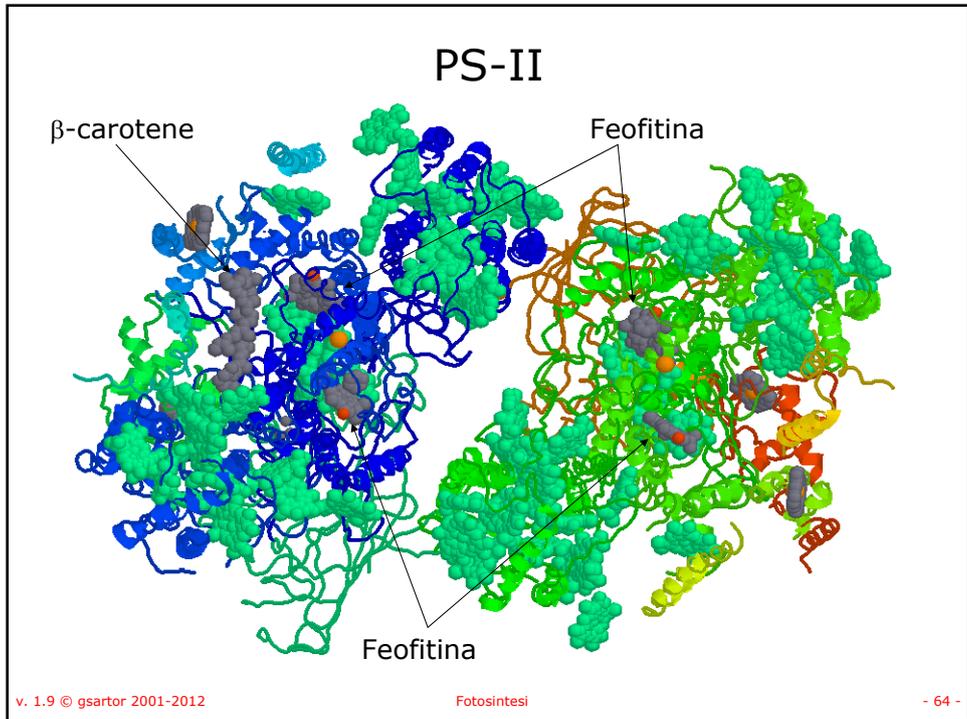
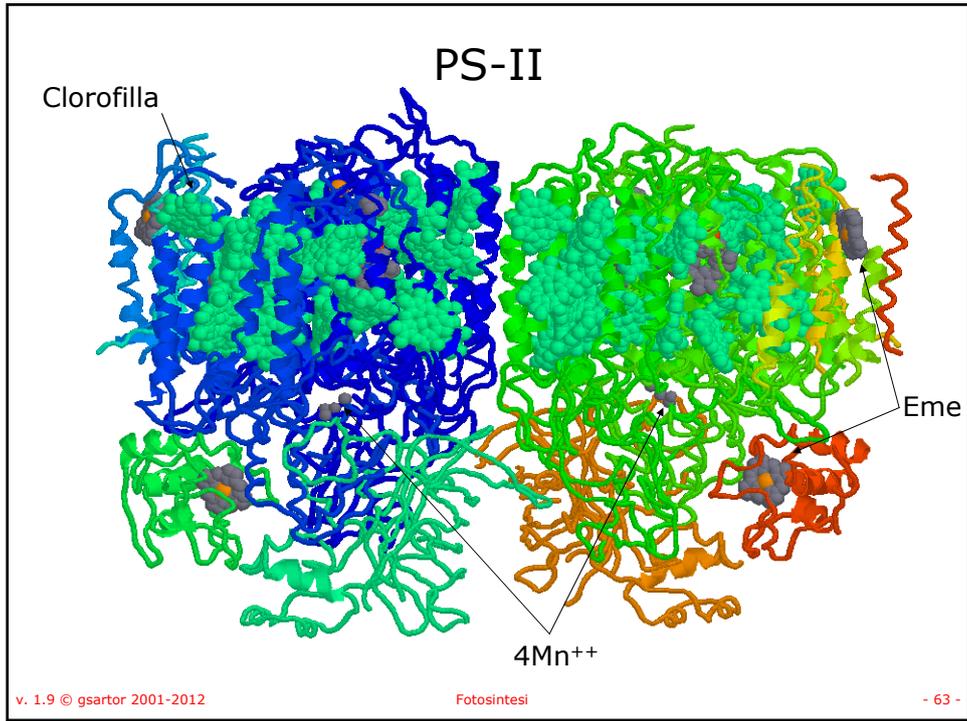


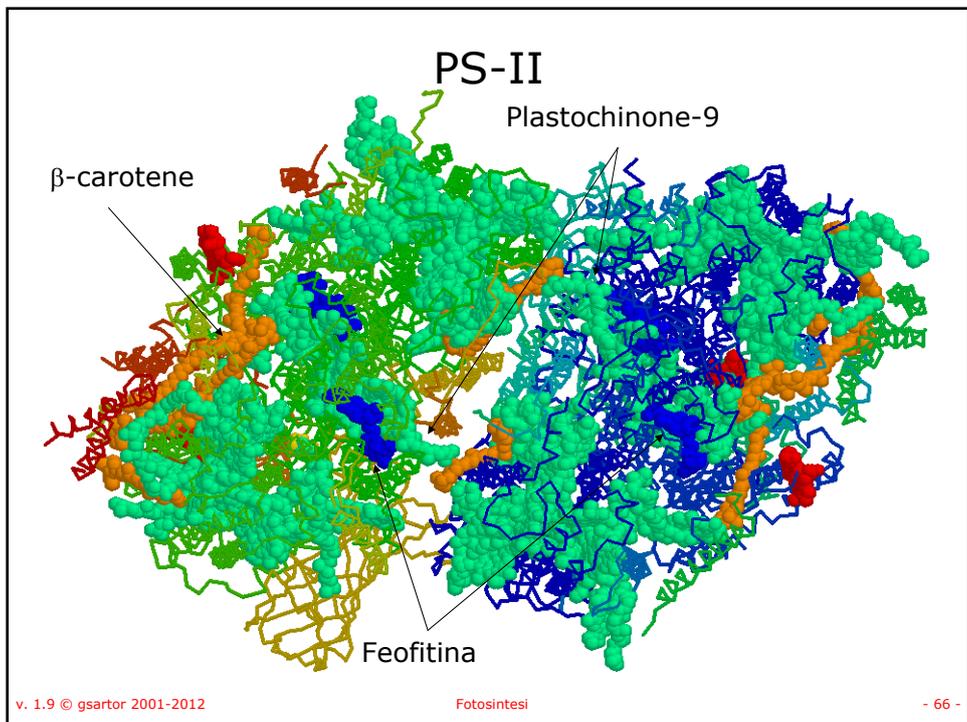
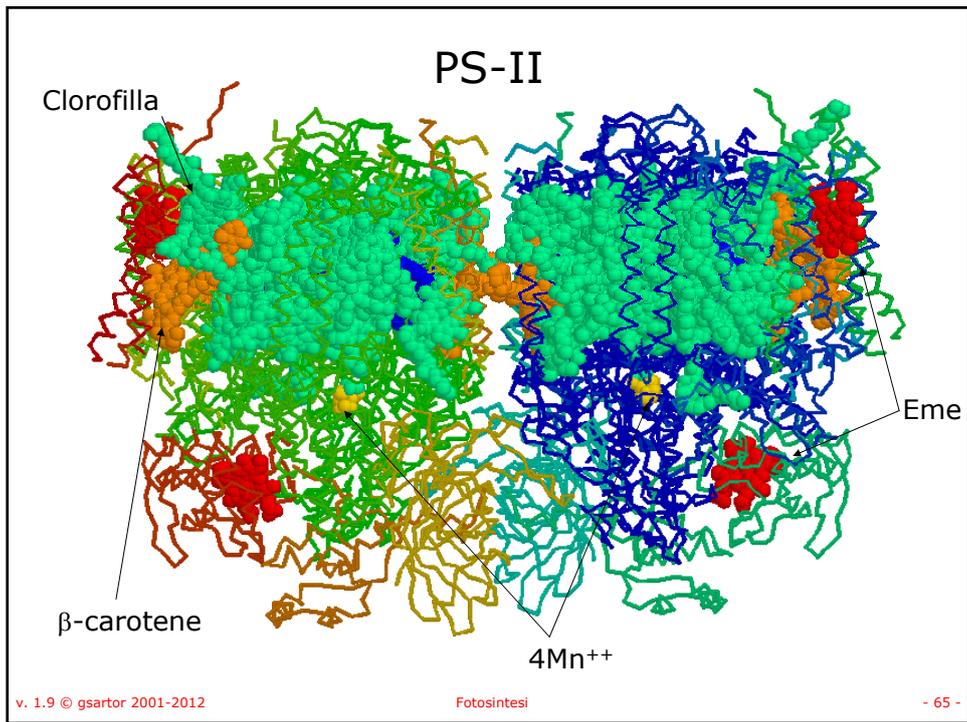
1s5l

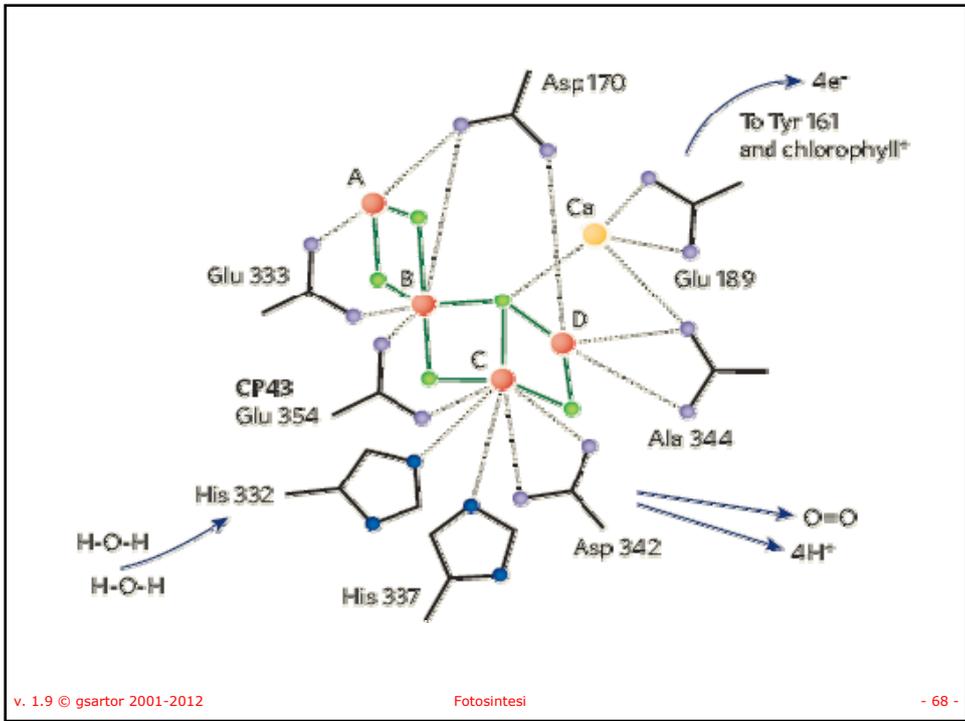
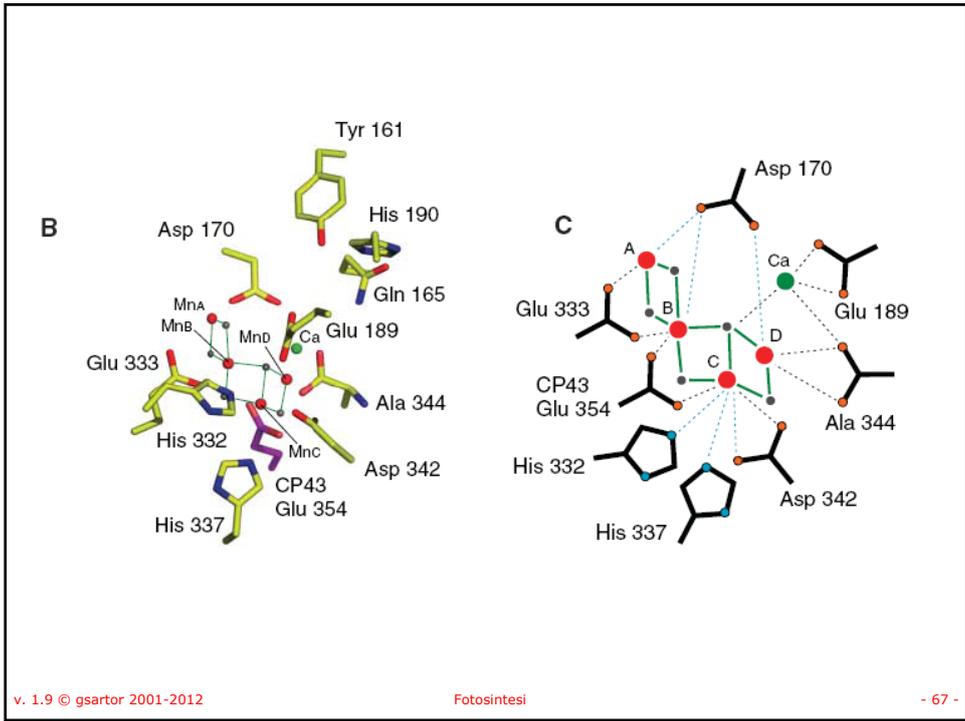
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

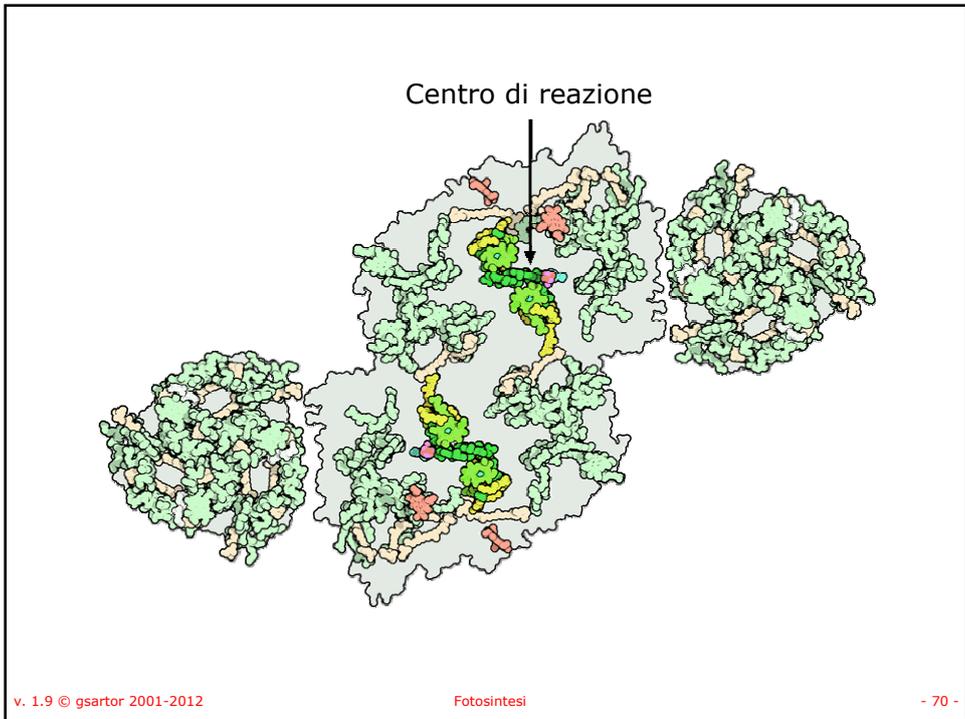
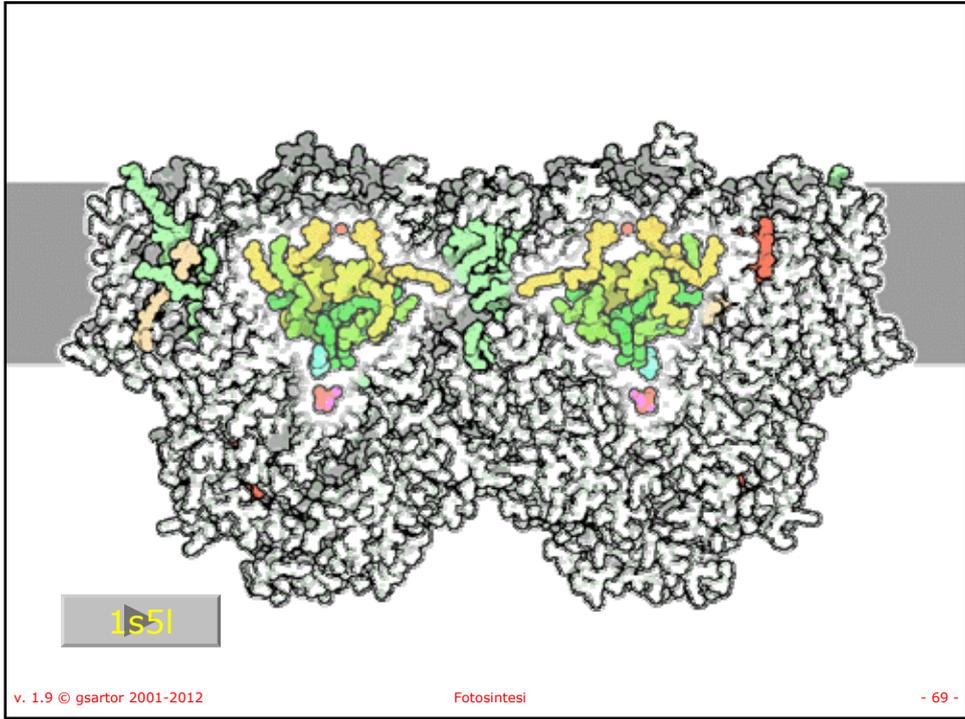
Fotosintesi

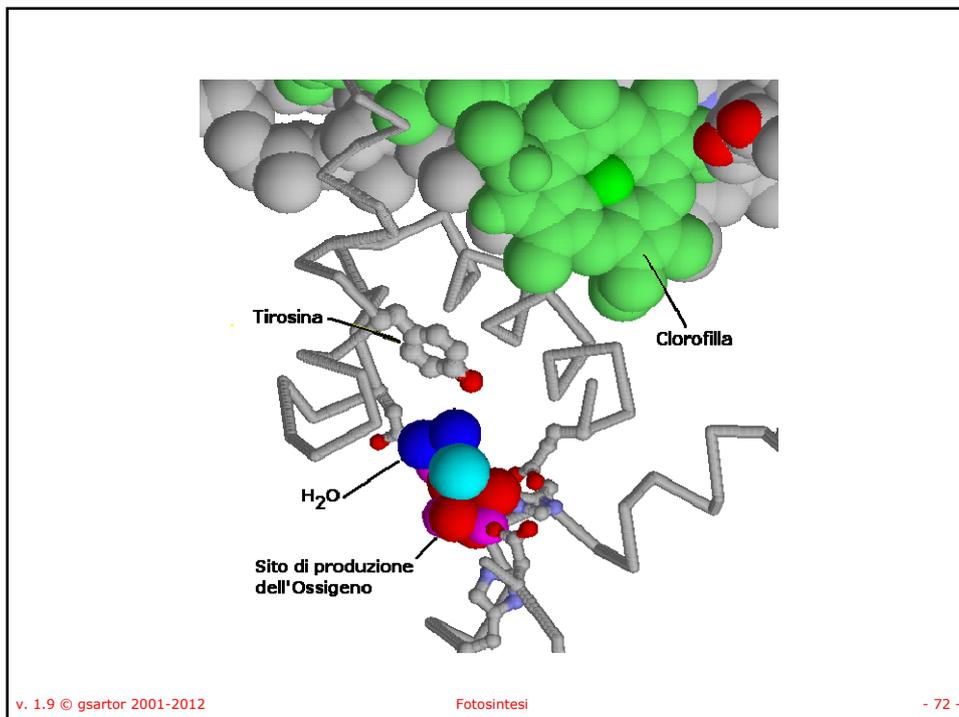
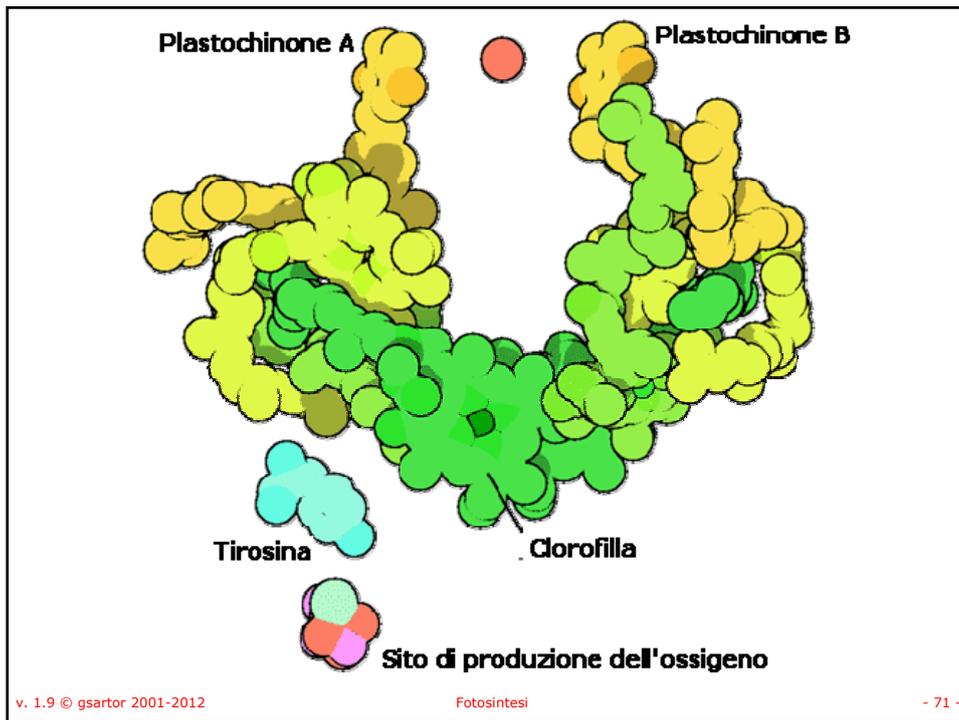
- 62 -

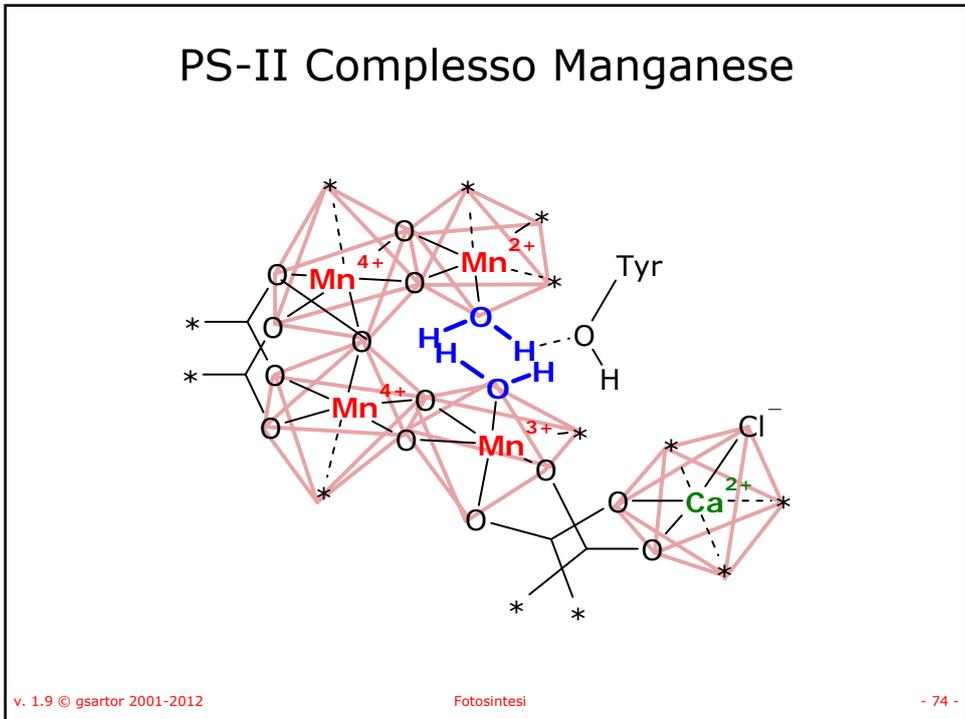
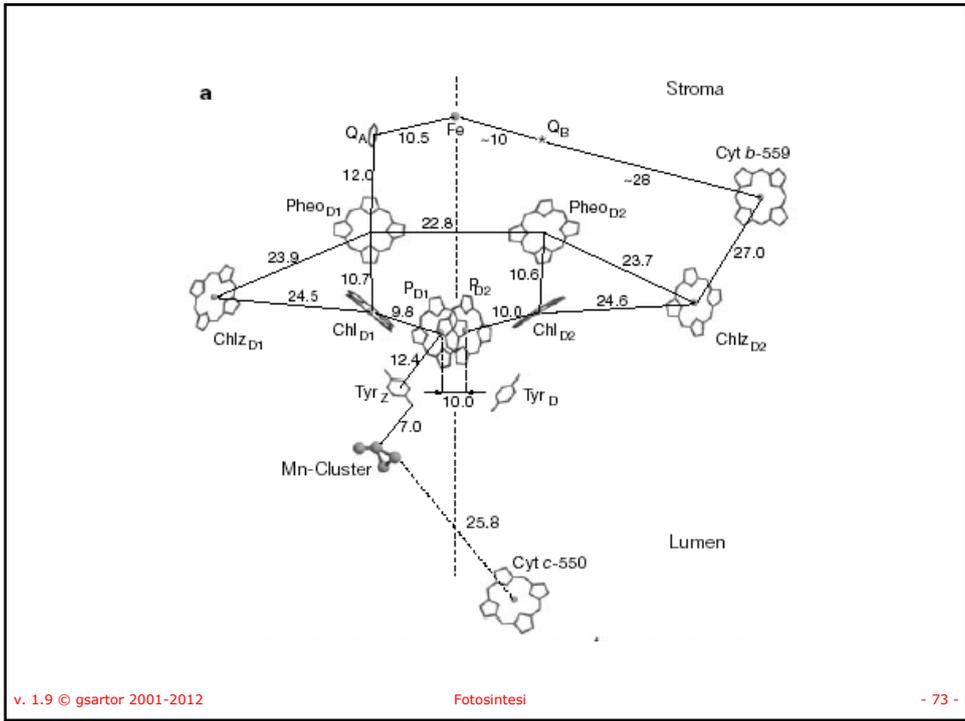






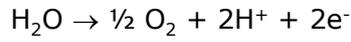




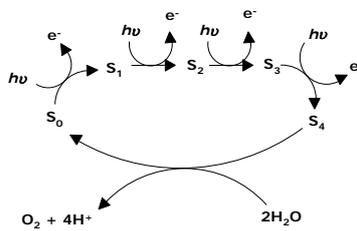
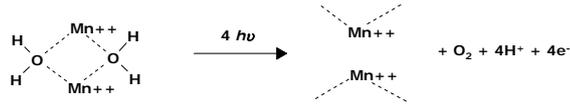


PS-II Complesso Manganese

- È il sito dove avviene la reazione:



- I due elettroni vengono trasportati al P680⁺ (attivato dal P680 per assorbimento di un fotone)

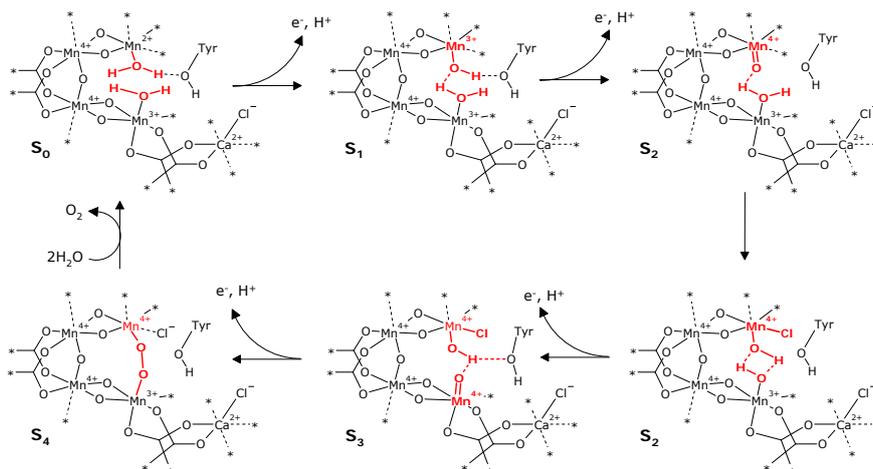


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 75 -

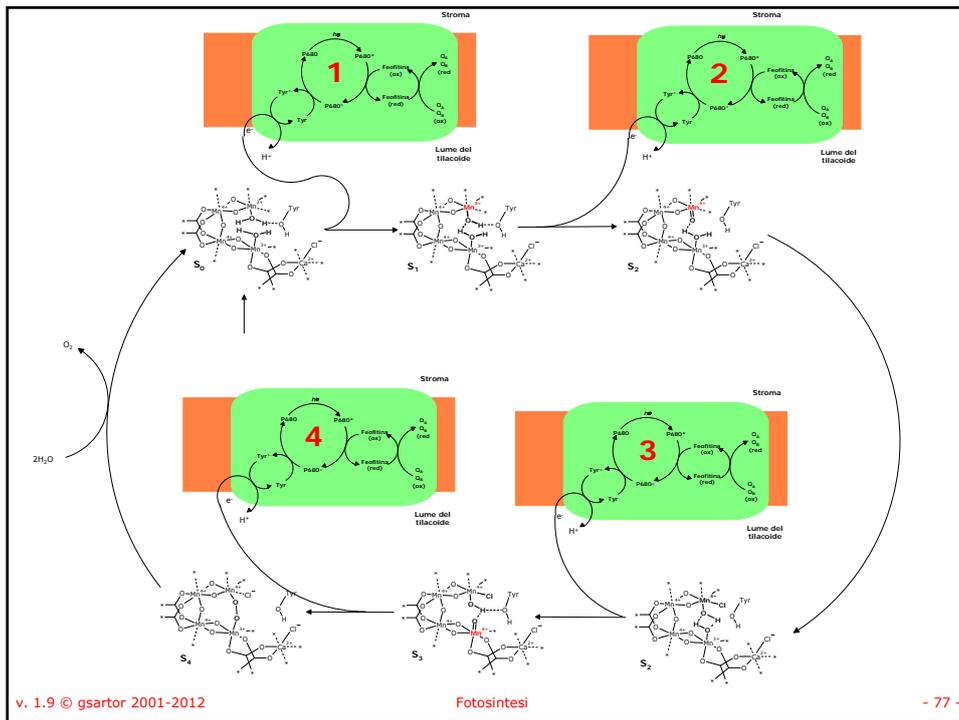
PS-II Complesso Manganese



v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

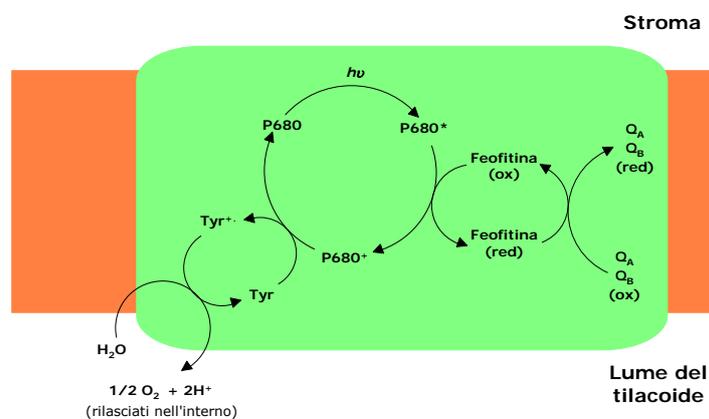
- 76 -



- 77 -

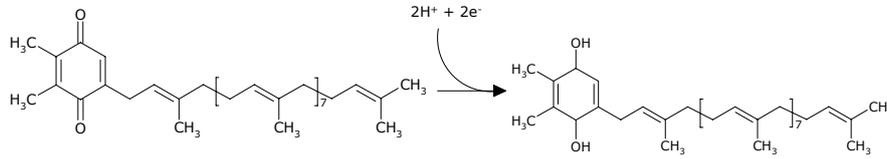
PS-II

- I due elettroni vengono trasferiti al plastochinone legato al PS-II attraverso una serie di reazioni redox di gruppi prostetici.



- 78 -

Plastochinone



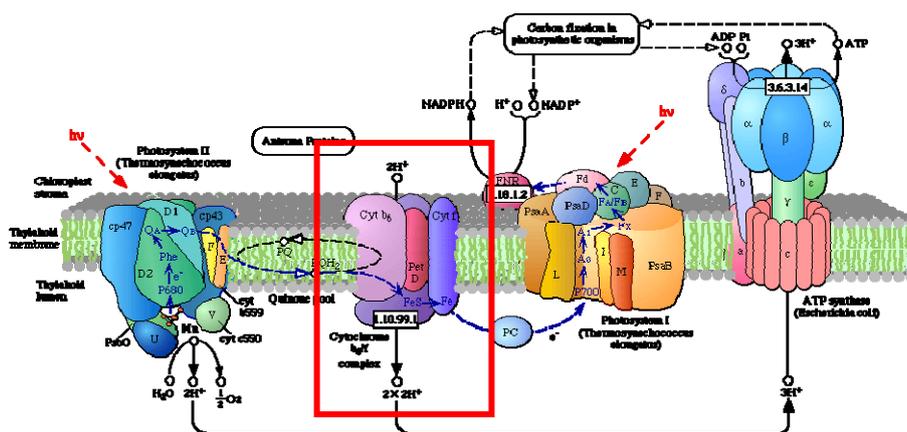
- Il plastochinone 9 (nove unità isoprenoidi) è un trasportatore mobile di elettroni,
- Due molecole di plastochinone 9 (Q_A e Q_B) sono legati al PS-II e sono l'ultimo anello della catena redox interna al PS-II.
- Gli elettroni vengono quindi trasferiti al pool di plastochinone che funziona come il CoQ nei mitocondri:

v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 79 -

Complesso Cyt b - Cyt f (EC 1.10.99.1)

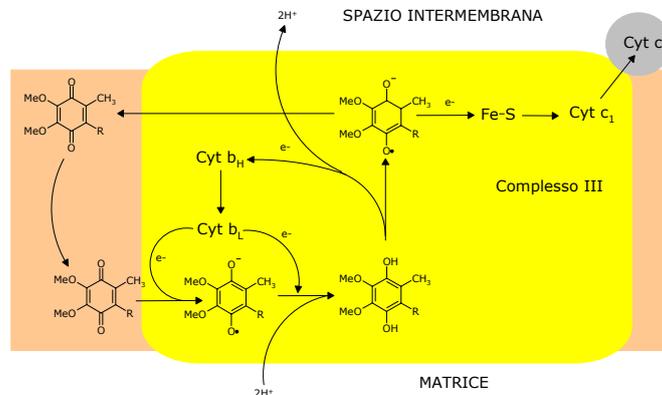


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 80 -

Q cycle



- Il "Q cycle" è il meccanismo con il quale avviene la ossidoriduzione del CoQ e dipende da:
 - La mobilità del CoQ nella membrana
 - L'esistenza di un sito di legame che stabilizza il radicale semichinonico CoQ^{•-}.

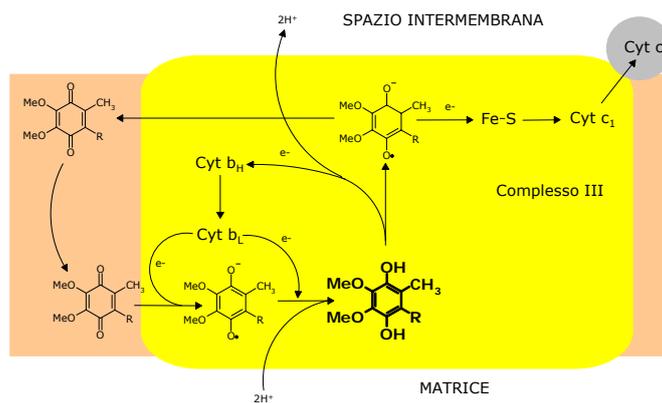
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 81 -

Q cycle

1



- Il CoQH₂ è legato al proprio sito nella proteina.

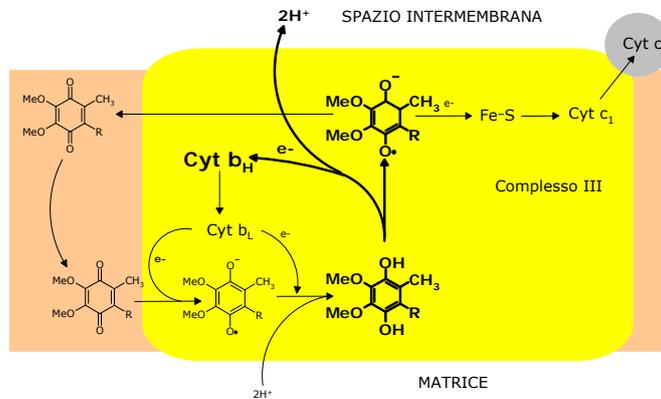
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 82 -

Q cycle

2



- Il CoQH₂ cede un e⁻ al Fe⁺⁺⁺ dell'eme b_L
- Si forma il semichinone carico negativamente
- 2 H⁺ sono rilasciati nello spazio intermembrana.

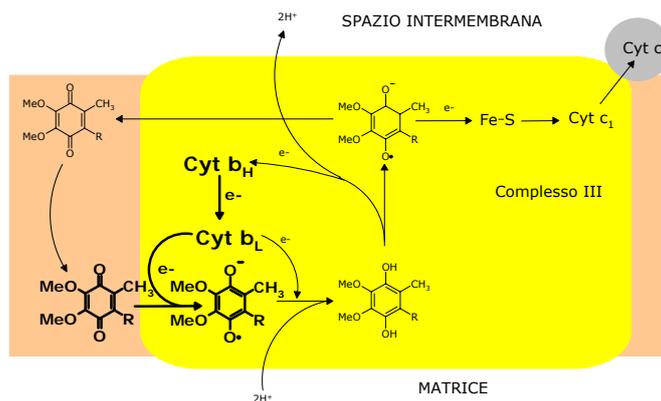
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 83 -

Q cycle

3a



- Un e⁻ passa dal Fe⁺⁺ del gruppo eme b_H al Fe⁺⁺⁺ del gruppo eme b_L.
- L'e⁻ va quindi a ridurre un CoQ ossidato (proveniente dal pool dei chinoni) a semichinone

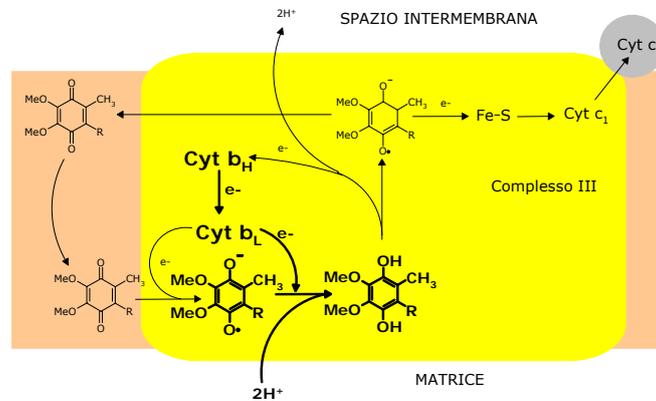
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 84 -

Q cycle

3b



- Un e^- passa dal Fe^{++} del gruppo eme b_H al Fe^{+++} del gruppo eme b_L .
- In alternativa (secondo le necessità) l' e^- va quindi a ridurre un $CoQ\cdot^-$ per riformare il $CoQH_2$ con due H^+ provenienti dalla matrice.

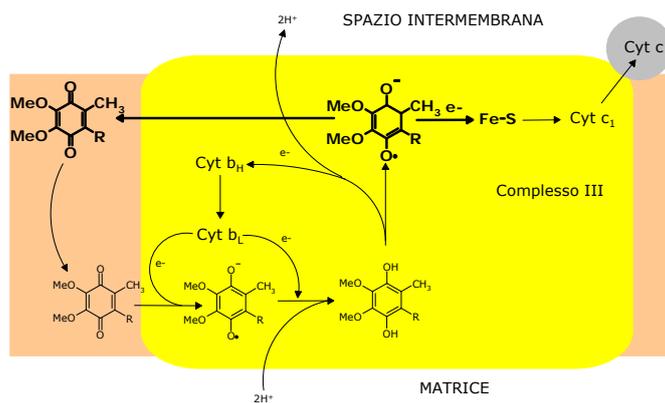
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 85 -

Q cycle

4



- Il $CoQ\cdot^-$, formato per semiossidazione al passo 2, cede un e^- al Fe^{+++} del complesso Fe-S.
- Si forma il CoQ ossidato che va a confluire nel pool.

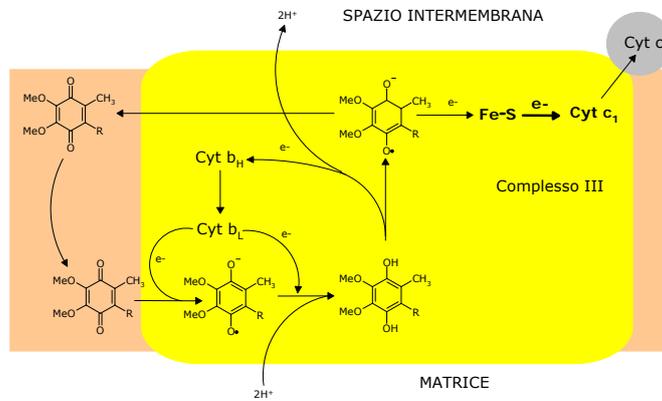
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 86 -

Q cycle

5



- Il Fe^{++} del complesso Fe-S cede un e^- al Fe^{+++} del cit c_1 legato alla proteina.

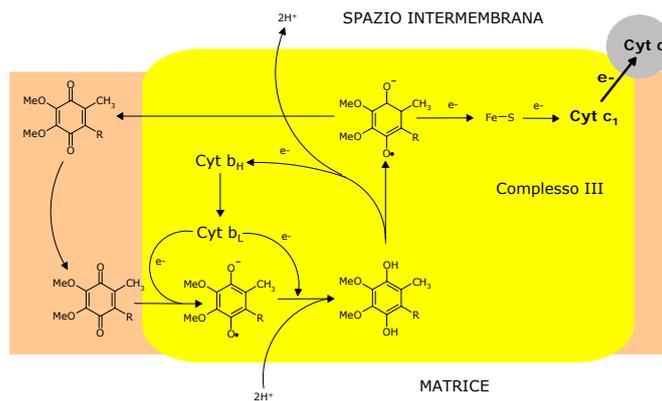
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 87 -

Q cycle

6



- Il Fe^{++} del cit c_1 legato alla proteina cede un e^- al Fe^{+++} del cit c mobile.

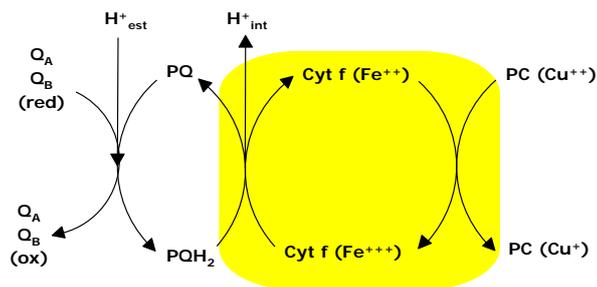
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 88 -

Complesso Cyt b - Cyt f (EC 1.10.99.1)

- Gli elettroni provenienti dal pool dei chinoni vengono trasferiti al complesso Cyt b₆/f che contiene due gruppi eme: Cyt b₆ ($E'_0 = -0.06 \text{ V}$) e Cyt f ($E'_0 = +0.365 \text{ V}$).
- Gli elettroni vengono quindi convogliati alla plastocianina.
- In alcune situazioni il Cyt b₆ serve per "cortocircuitare" il P700* per produrre gradiente protonico aggiuntivo piuttosto che NADPH.

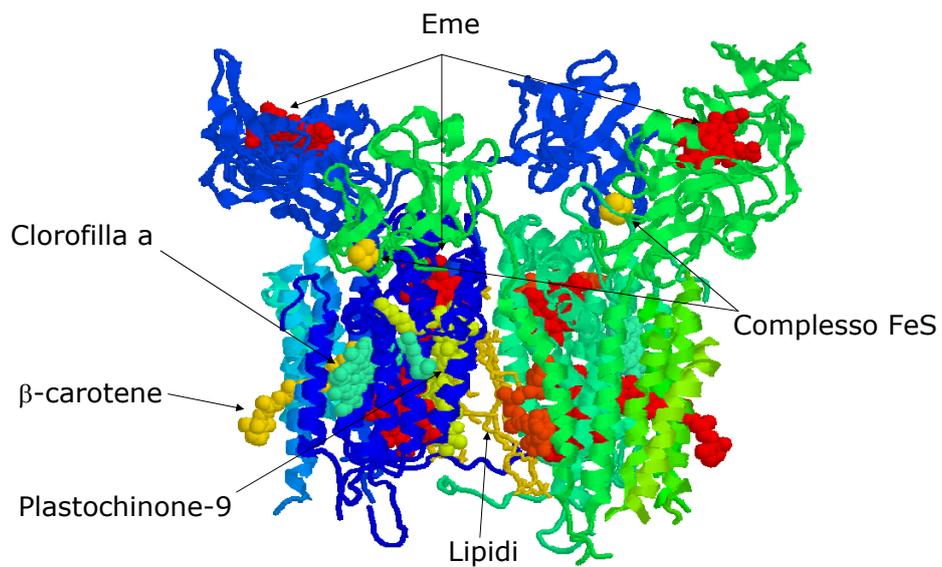


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 89 -

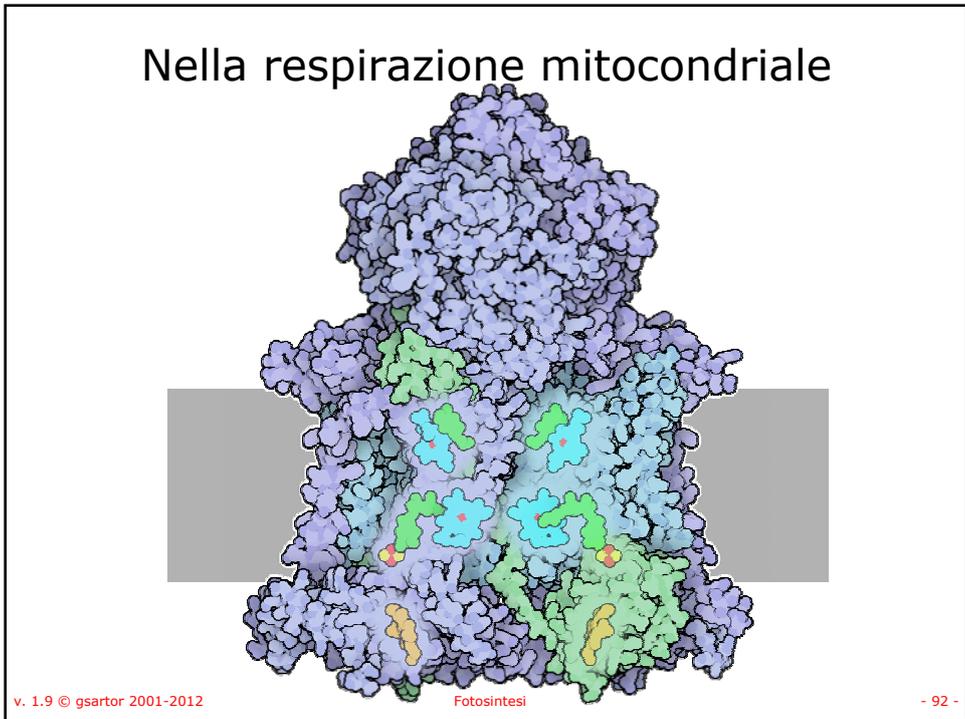
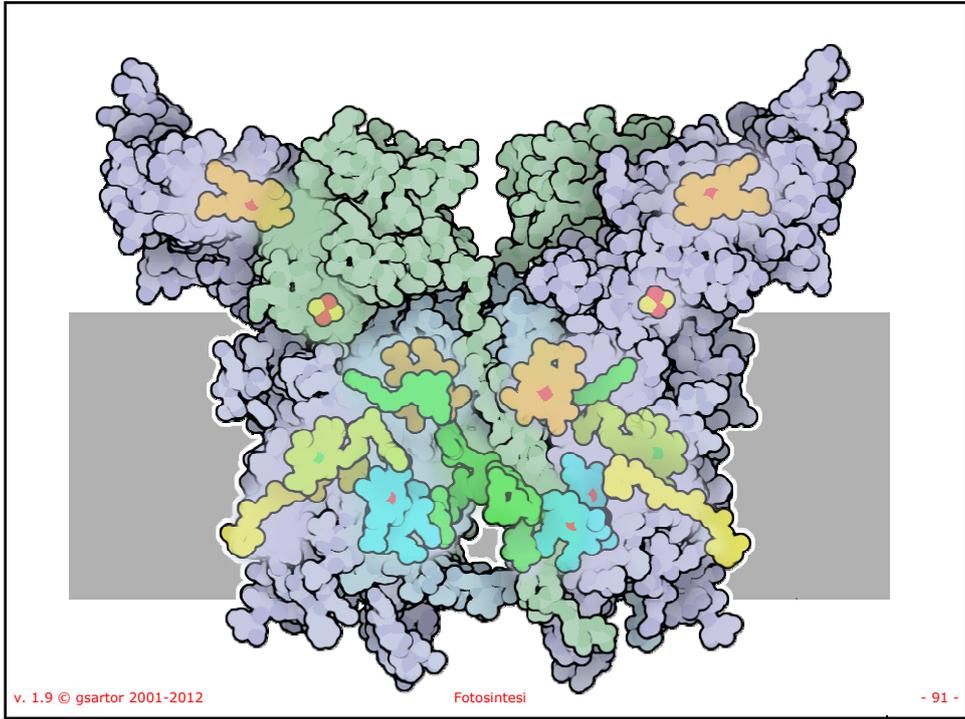
Complesso Cyt b - Cyt f (EC 1.10.99.1)



v. 1.9 © gsartor 2001-2012

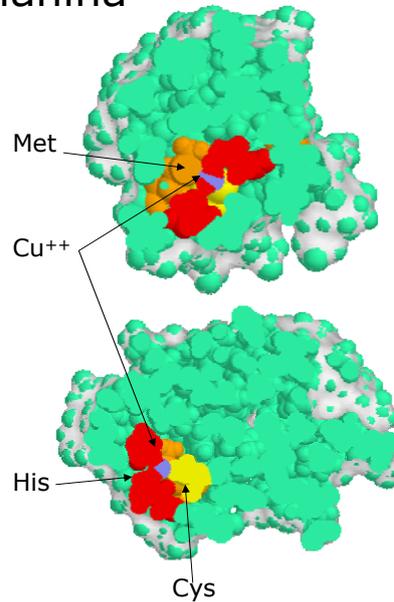
Fotosintesi

- 90 -



Plastocianina

- La plastocianina è un trasportatore mobile di elettroni (un elettrone per volta) simile al Cyt c nella catena respiratoria.
- L'elettrone viene trasportato dallo ione rame che si presenta nella forma ossidata (Cu^{++}) e ridotta (Cu^+).



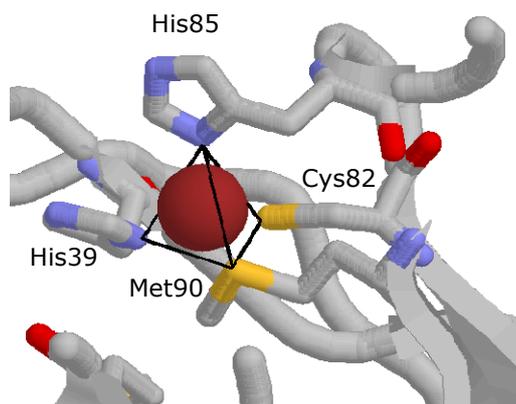
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 95 -

Plastocianina

- Lo ione rame è legato alla proteina da quattro legami di coordinazione (sp^3) che coinvolgono gli atomi di azoto di due residui di His adiacenti e gli atomi di zolfo di un residuo di Cys e di un residuo di Met.

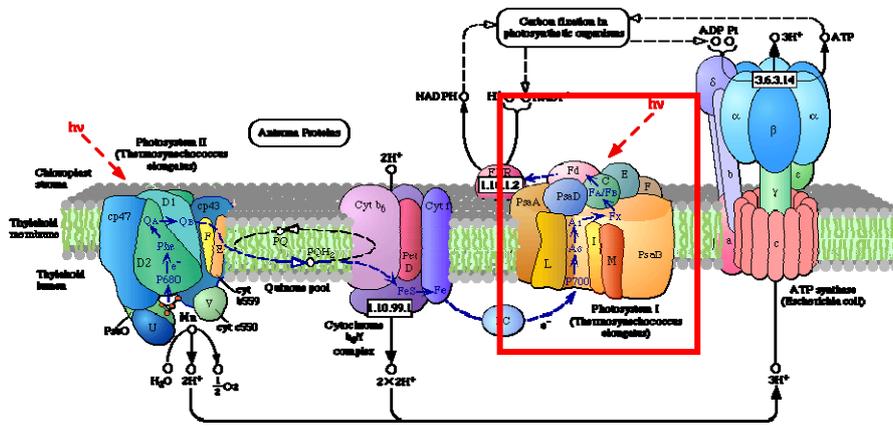


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 96 -

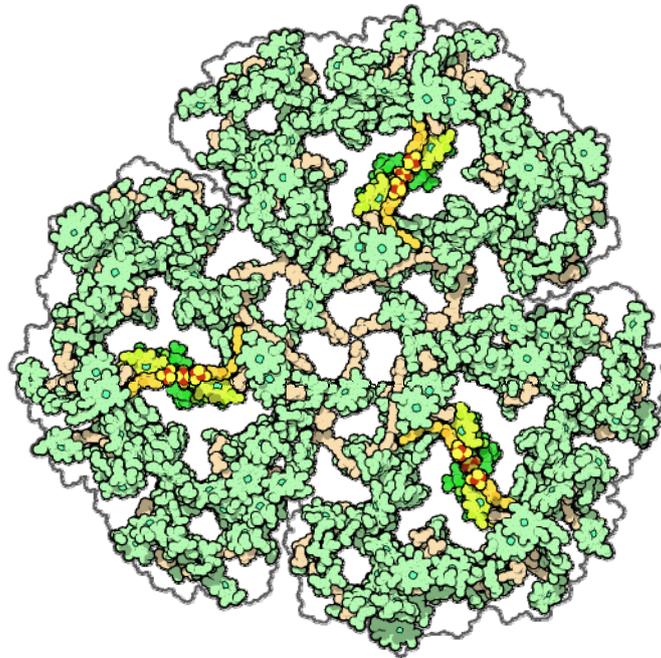
Fotosistema I (PS-I)



v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

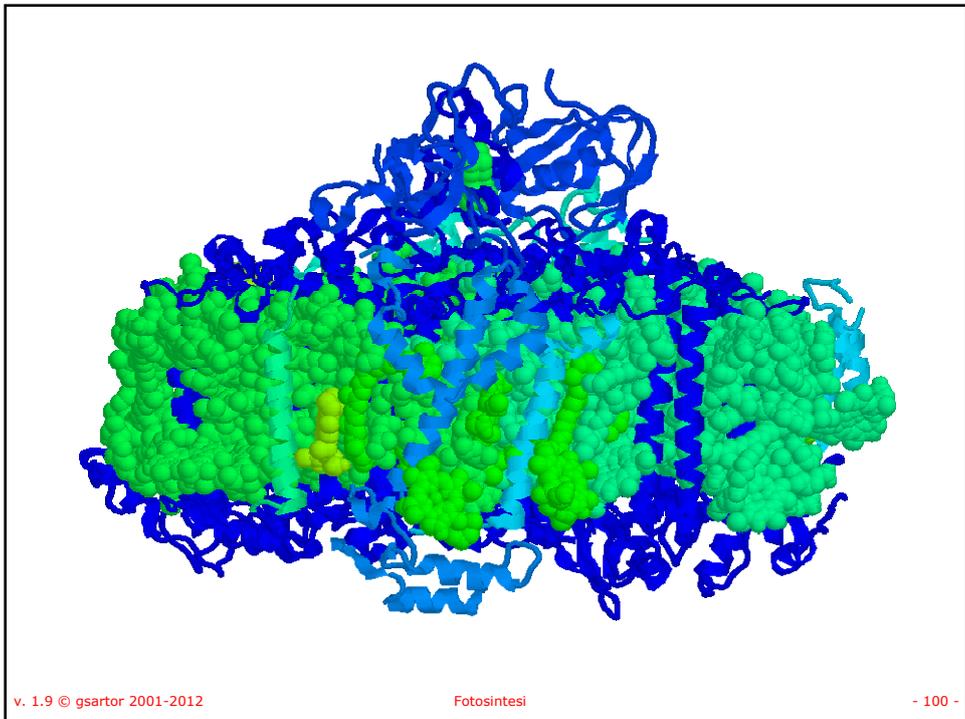
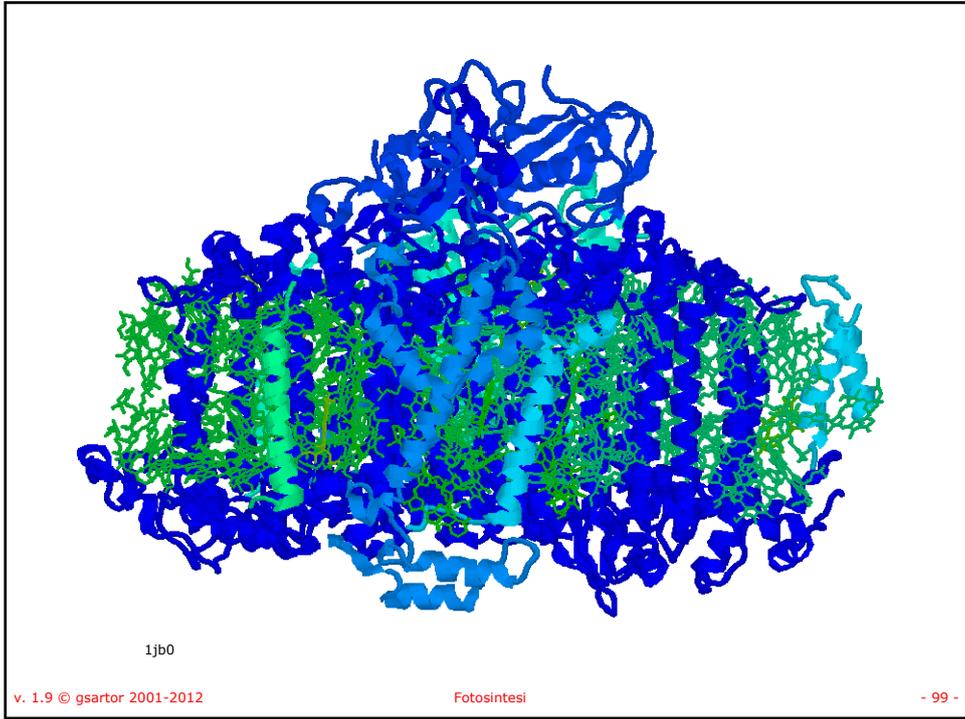
- 97 -

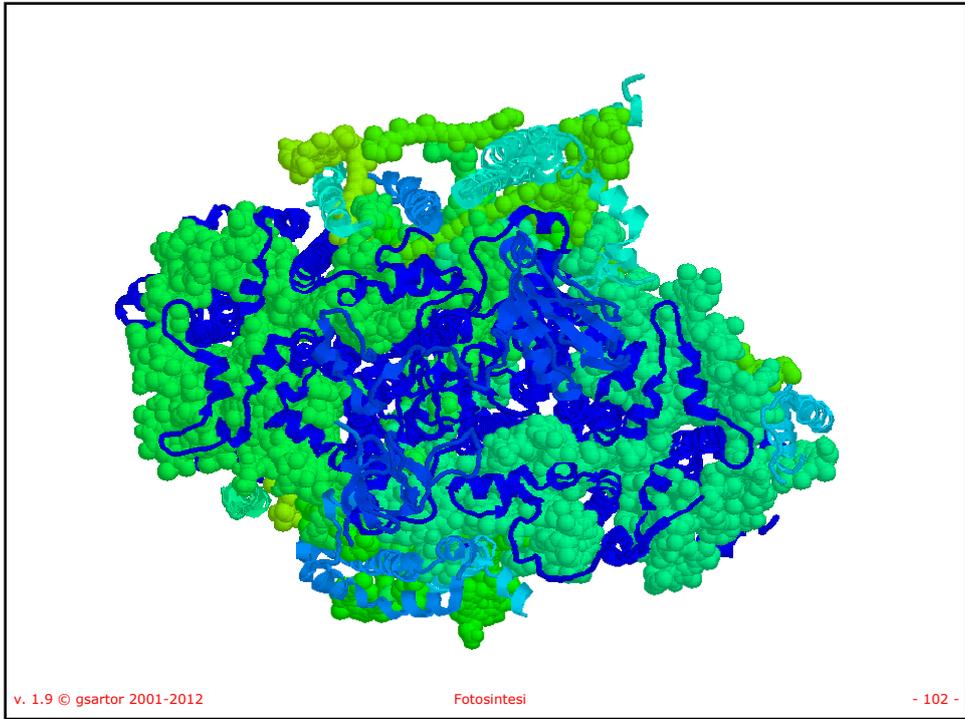
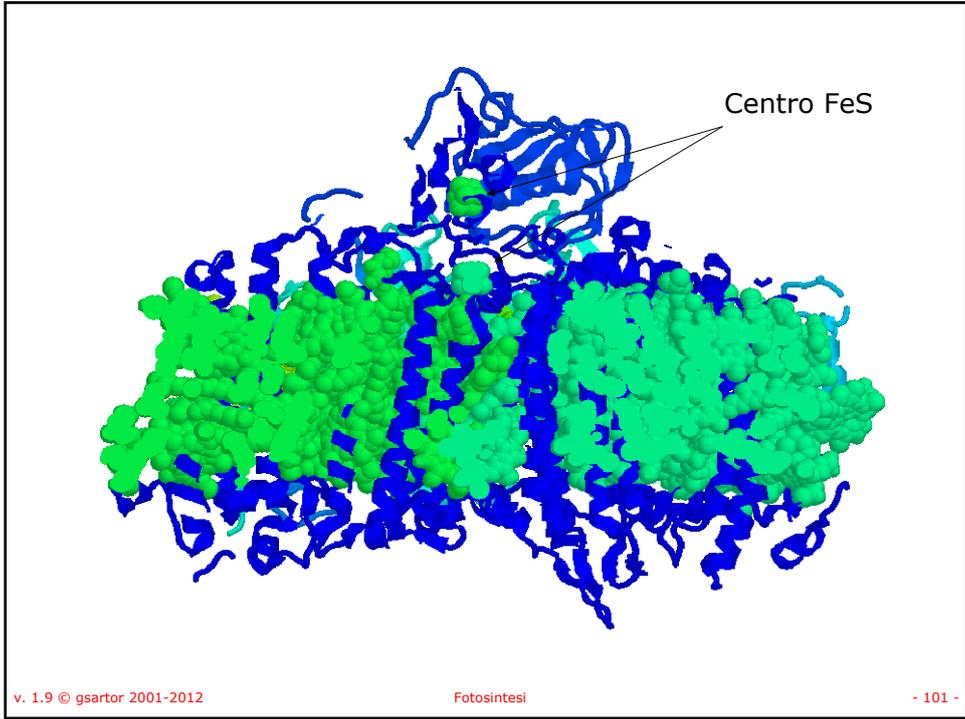


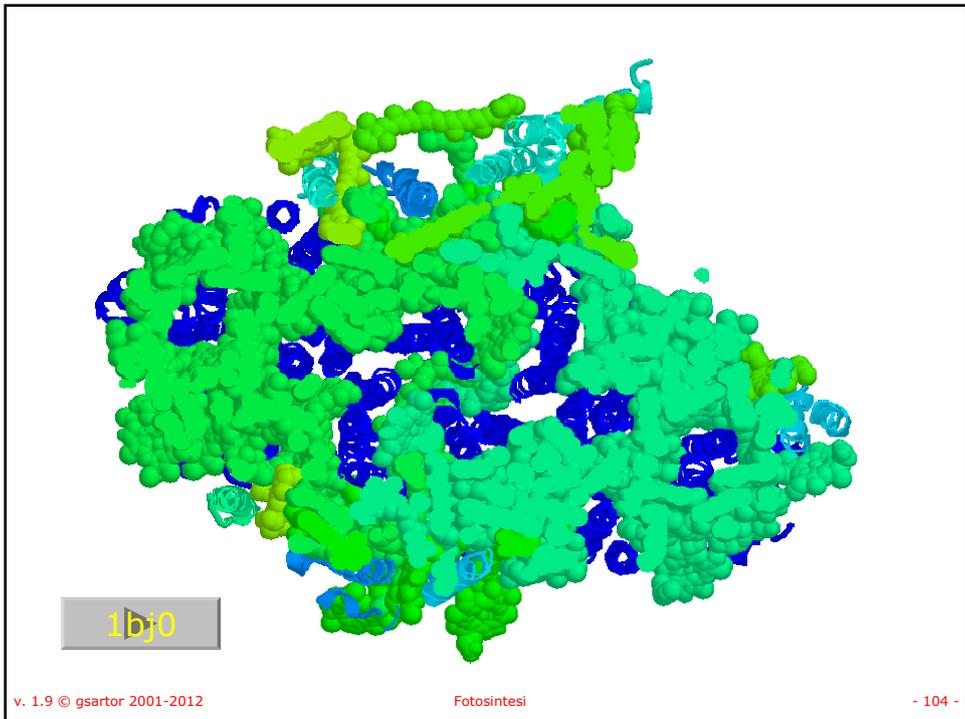
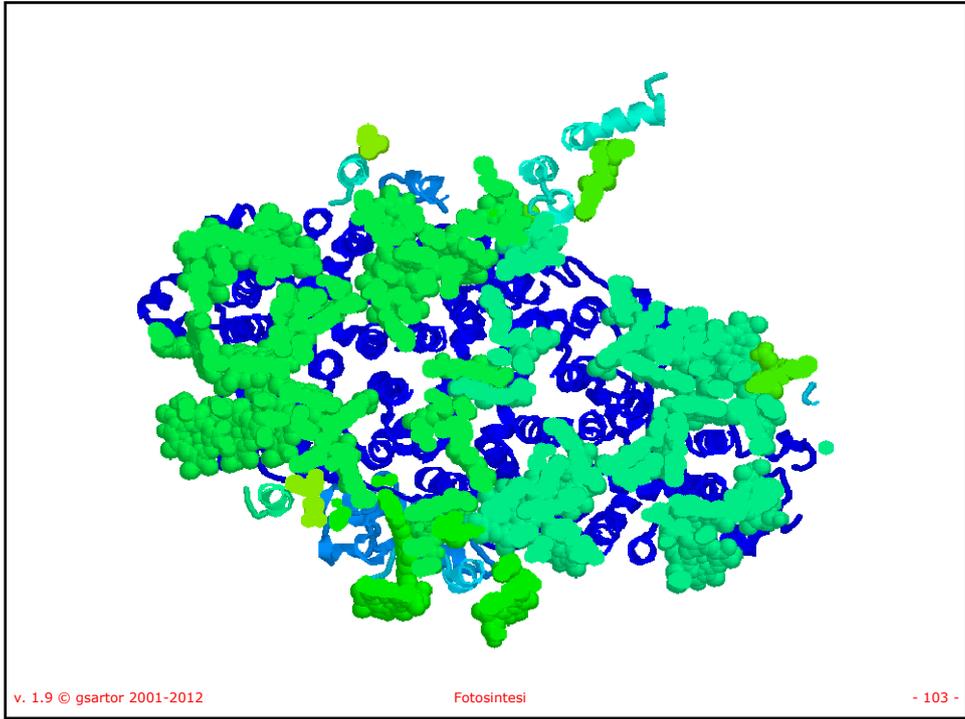
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

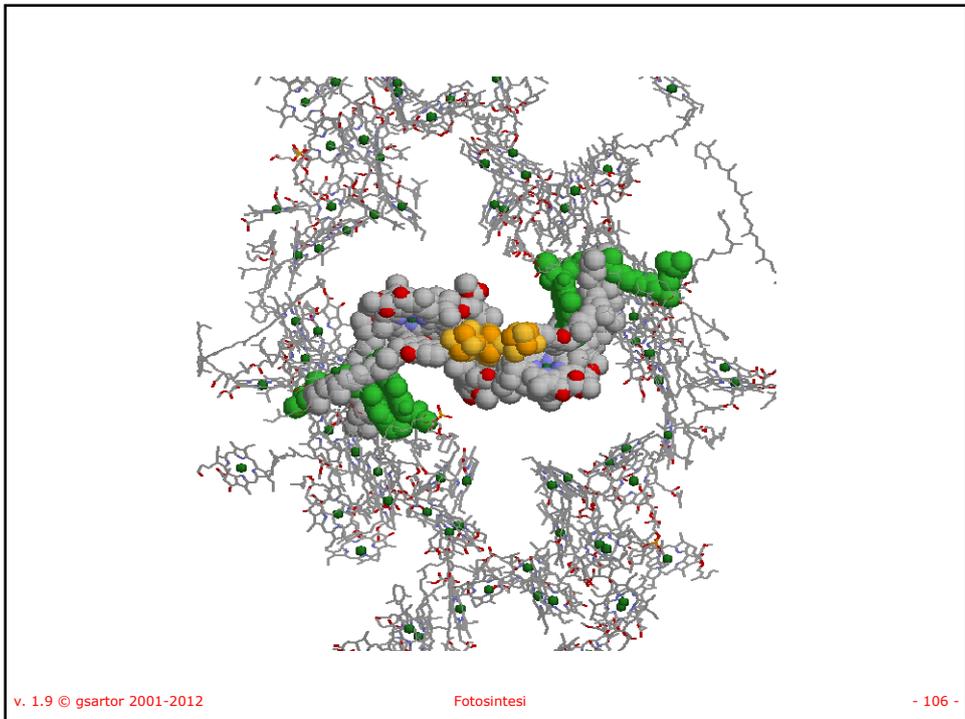
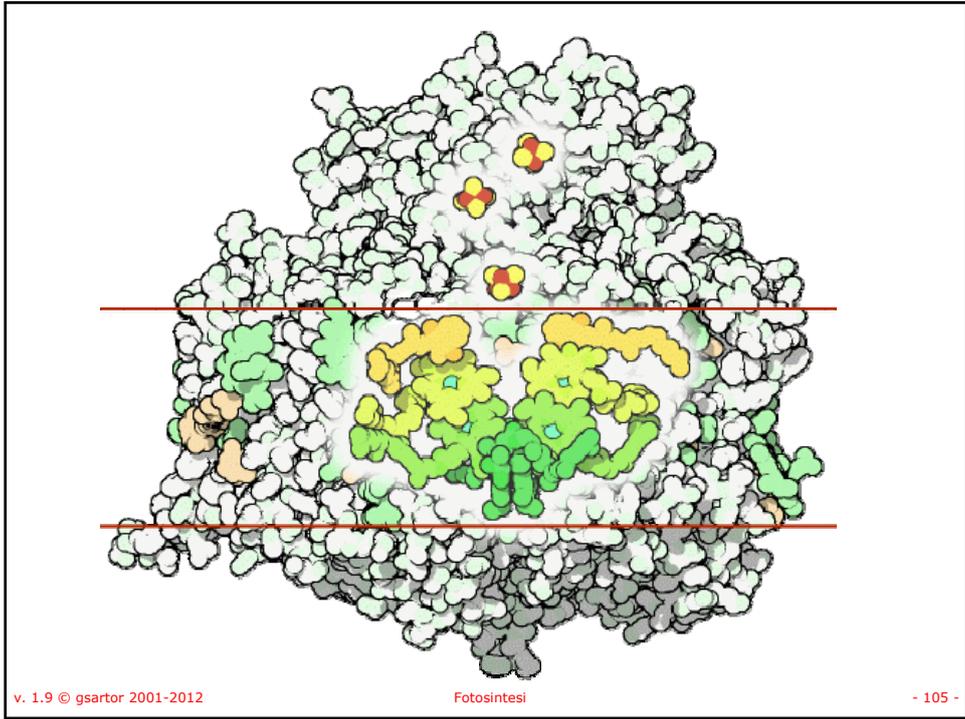
Fotosintesi

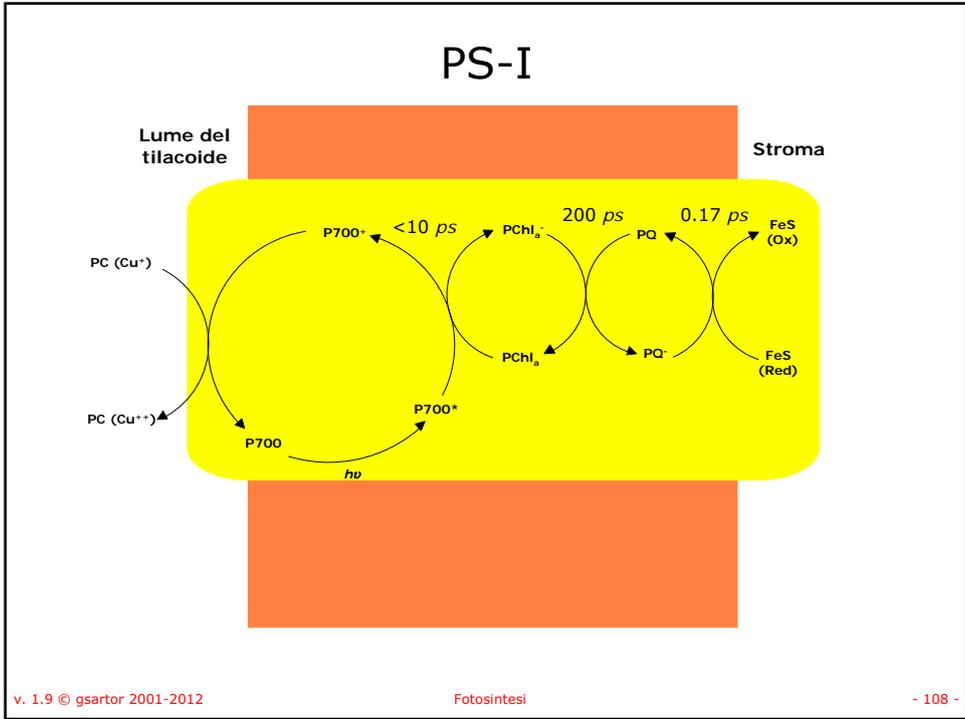
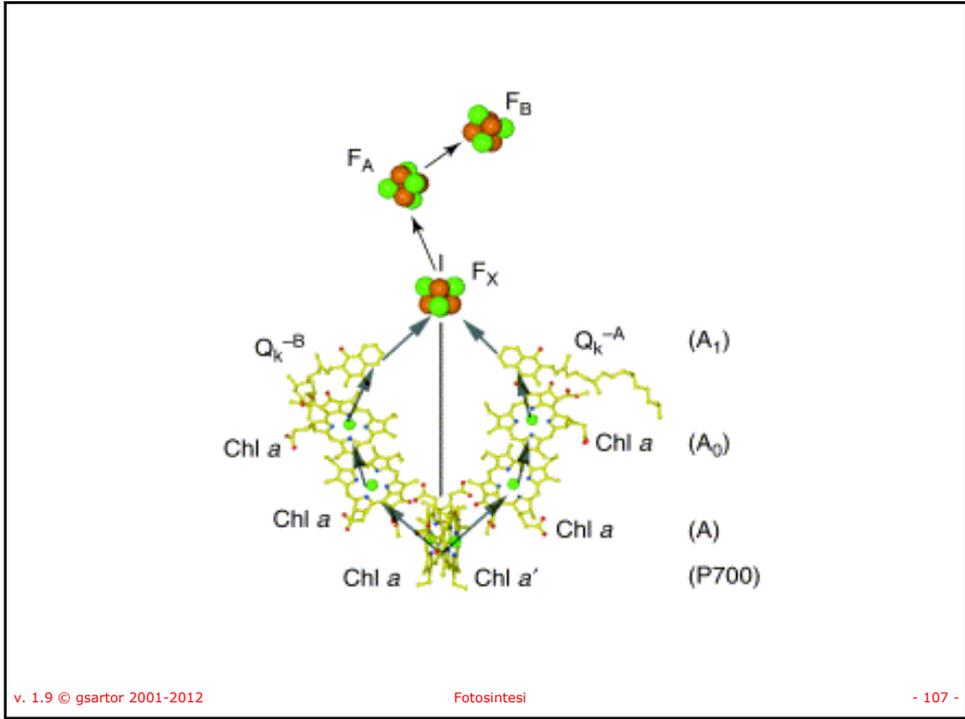
- 98 -







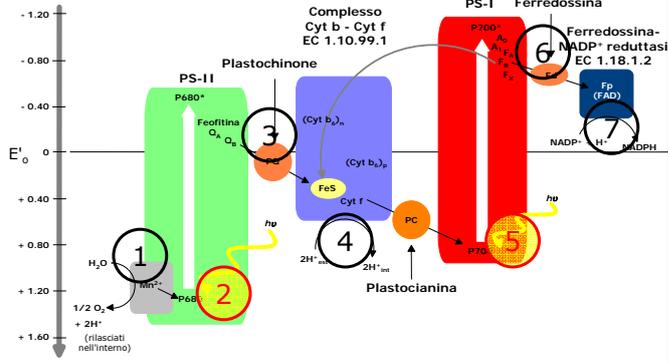




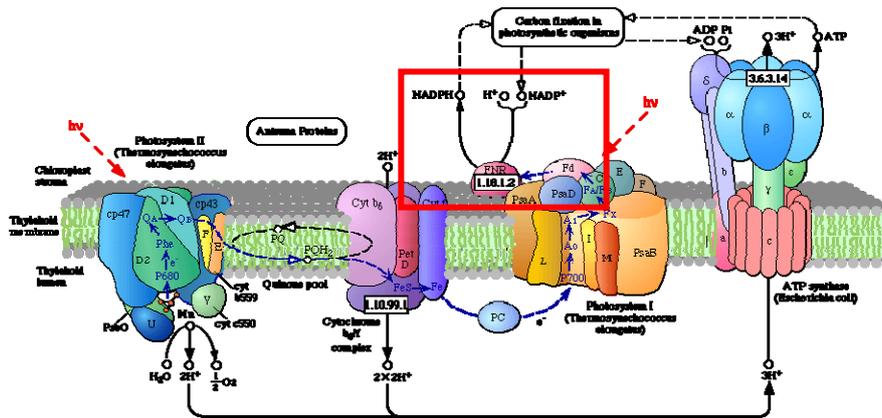
Potenziali redox

• I valori dei potenziali redox permettono il trasferimento di elettroni dall'H₂O al NADP⁺:

1. $E'_0 = + 0.85 \text{ V}$
2. $E'_0 = + 1.20 \text{ V}$
3. $E'_0 \approx 0 \text{ V}$
4. $E'_0 = + 0.40 \text{ V}$
5. $E'_0 = + 0.75 \text{ V}$
6. $E'_0 = - 1.20 \text{ V}$
7. $E'_0 = - 0.70 \text{ V}$

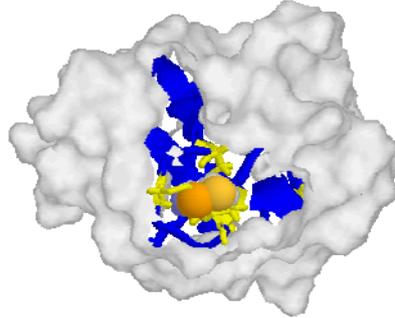


Ferredossina – Ferredossina riduttasi (EC 1.18.1.2)



Ferredossina

- La ferredossina è un trasportatore mobile di elettroni che sfrutta la presenza di un cluster Fe_2S_2 .
- La ferredossina accetta un elettrone dal PS-I e lo trasferisce al NADP^+ .



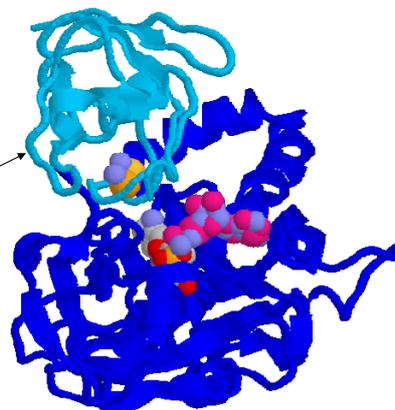
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 111 -

Ferredossina riduttasi (EC 1.18.1.2)

- Il trasferimento di elettroni dalla ferredossina al NADP^+ è catalizzato da una ferredossina-riduttasi.
- È una flavoproteina che lega la ferredossina correttamente orientata.
- Il FAD è convertito in FADH_2 .
- Gli elettroni sono quindi trasferiti al NADP^+ nello stroma.



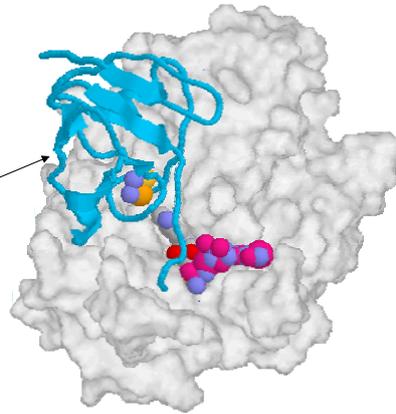
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 112 -

Ferredossina riduttasi (EC 1.18.1.2)

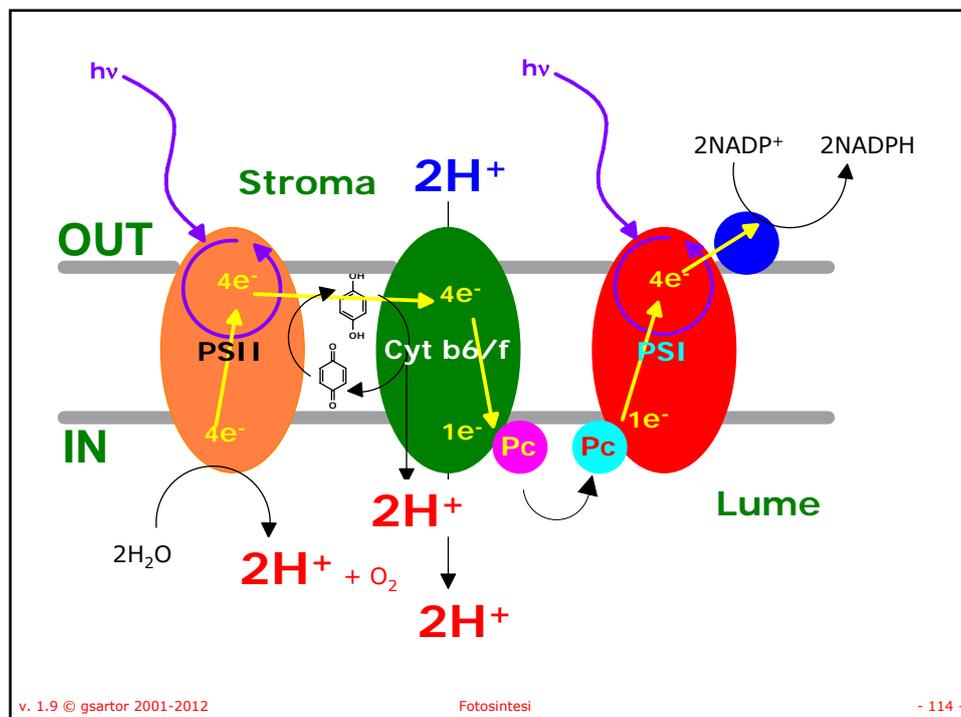
- Il trasferimento di elettroni dalla ferredossina al NADP⁺ è catalizzato da una ferredossina-riduttasi.
- È una flavoproteina che lega la ferredossina correttamente orientata.
- Il FAD è convertito in FADH₂.
- Gli elettroni sono quindi trasferiti al NADP⁺ nello stroma.



v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 113 -

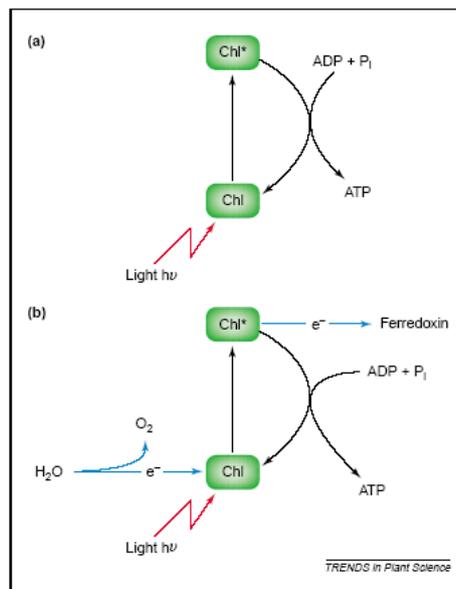


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

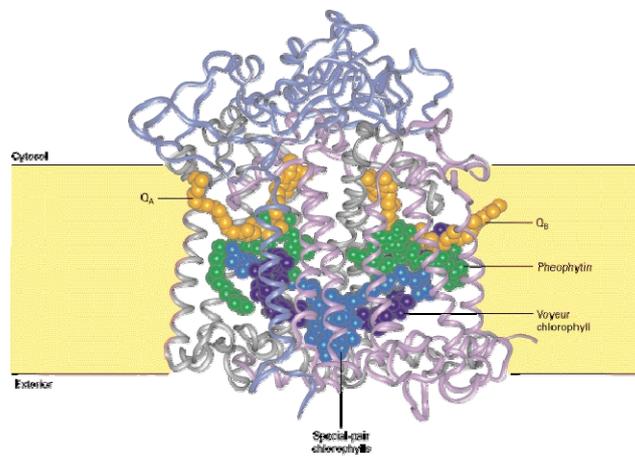
Fotosintesi

- 114 -

Ciclo e non ciclo



Via ciclica

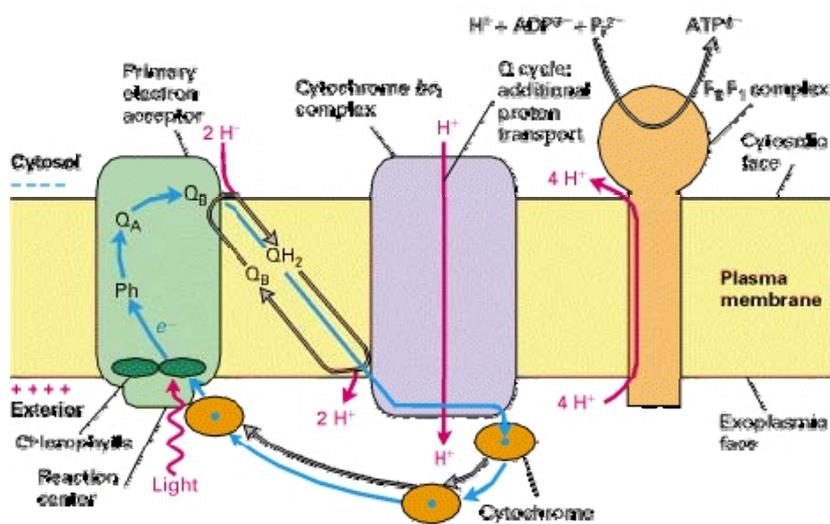


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 117 -

Via ciclica nei *Rhodobacter*

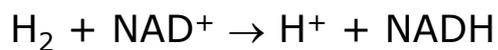
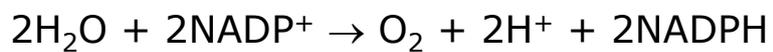


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

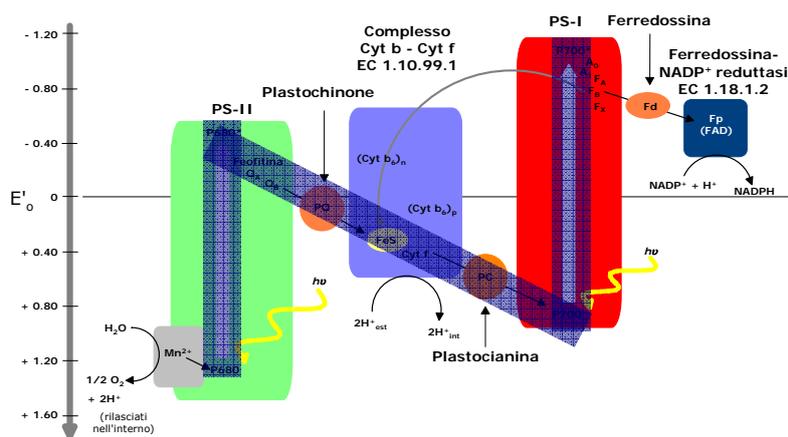
Fotosintesi

- 118 -

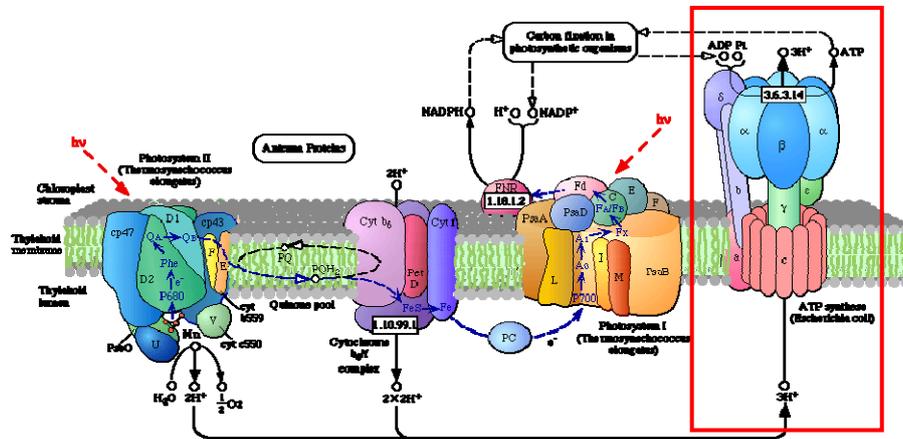
Via fotosintetica non ciclica



Schema a Z



ATP sintasi



v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 121 -

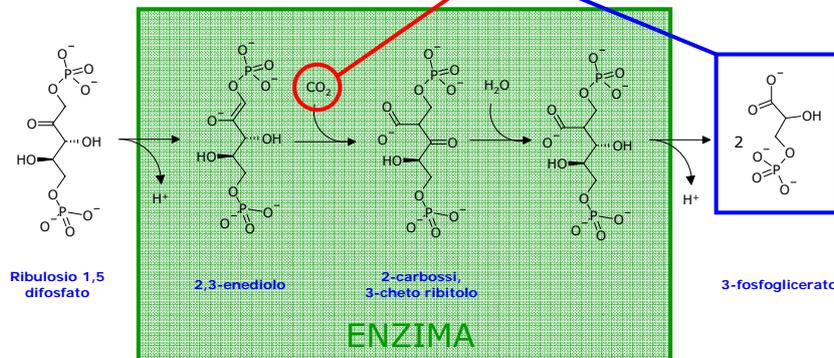
FASE BUJIA

FASE BUIA

$\text{NADPH} + \text{ATP} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{glucosio}$

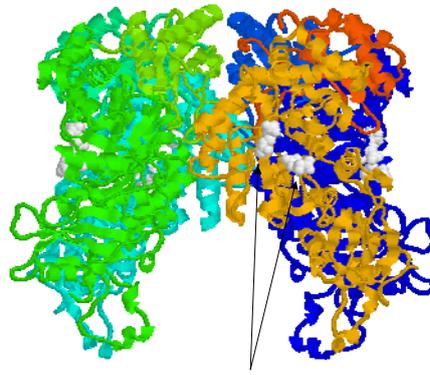
Fissazione della CO_2

- Solo gli organismi fototrofi possono fissare la CO_2 , gli animali, pur potendo legare la CO_2 in molecole più complesse, non sono in grado di accumulare composti organici da CO_2 .
- Nelle piante e nei batteri fotosintetici la CO_2 viene convertita, in prima istanza, in 3-fosfoglicerato.



Fissazione della CO₂

- Queste reazioni sono catalizzate dall'enzima: D-ribuloso 1,5-difosfato carbossilasi (EC 4.1.1.39), RUBISCO.
- Un enzima stromale dal peso molecolare di 550kD ($\alpha_8\beta_8$).
- Si ritiene che sia l'enzima maggiormente presente sulla terra.
- Responsabile della selezione isotopica.



3-fosfoglicerato

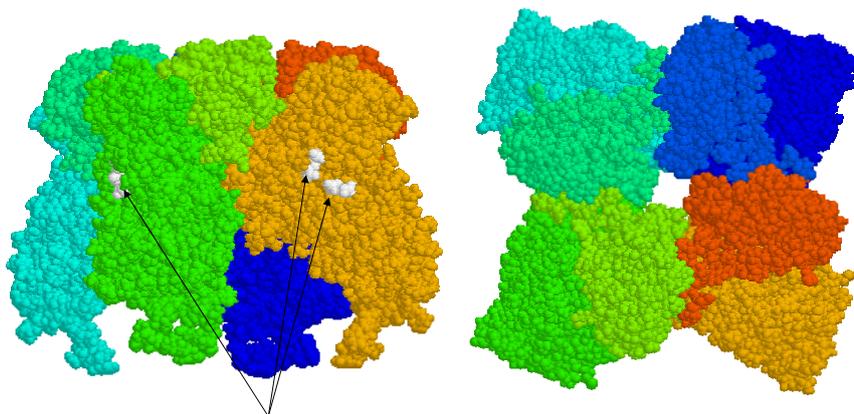
$\alpha_4\beta_4$

v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 125 -

Rubisco (EC 4.1.1.39)



3-fosfoglicerato

$\alpha_4\beta_4$

v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 126 -

Ciclo di Calvin-Benson

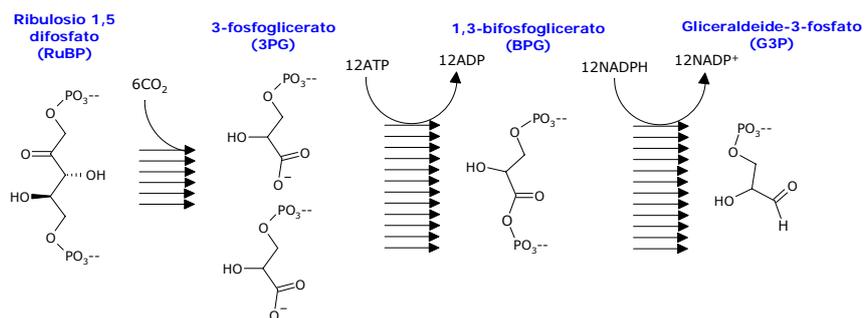
"for his research on the carbon dioxide assimilation in plants"



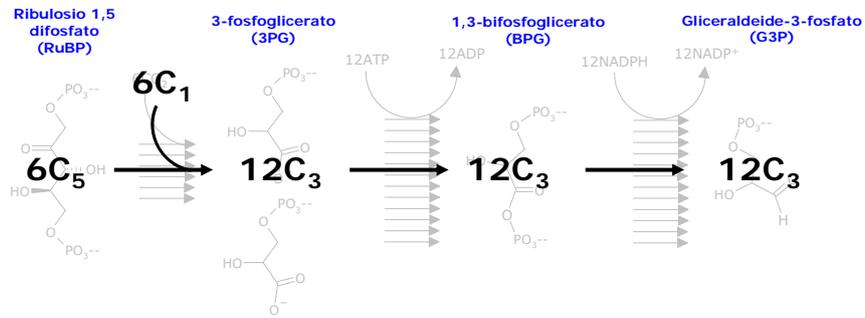
The Nobel Prize in Chemistry 1961

Melvin Calvin

Ciclo di Calvin-Benson



Ciclo di Calvin-Benson

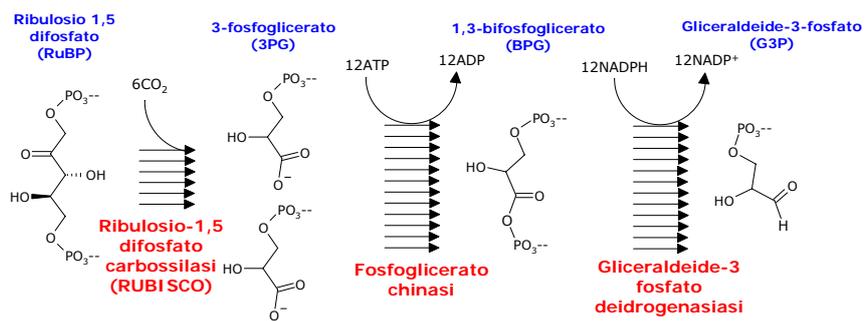


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 129 -

Ciclo di Calvin-Benson

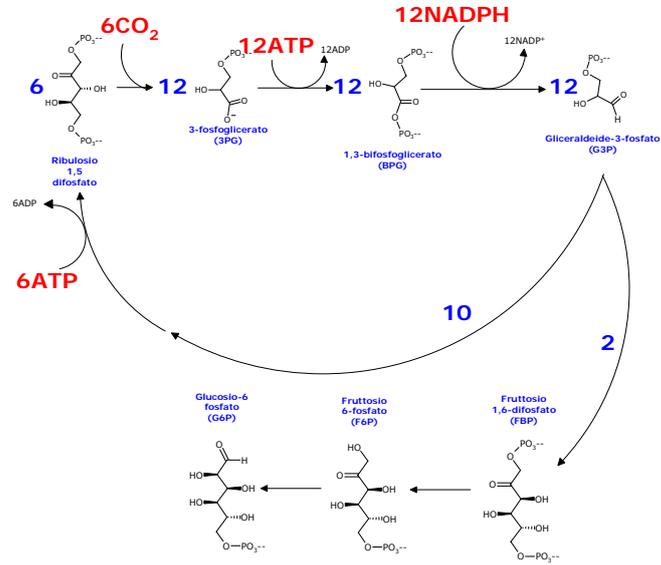


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 130 -

Ciclo di Calvin-Benson

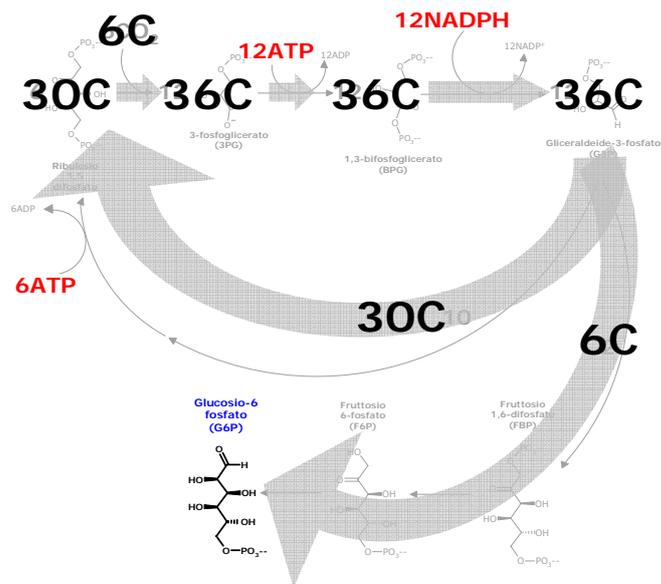


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 131 -

Ciclo di Calvin-Benson

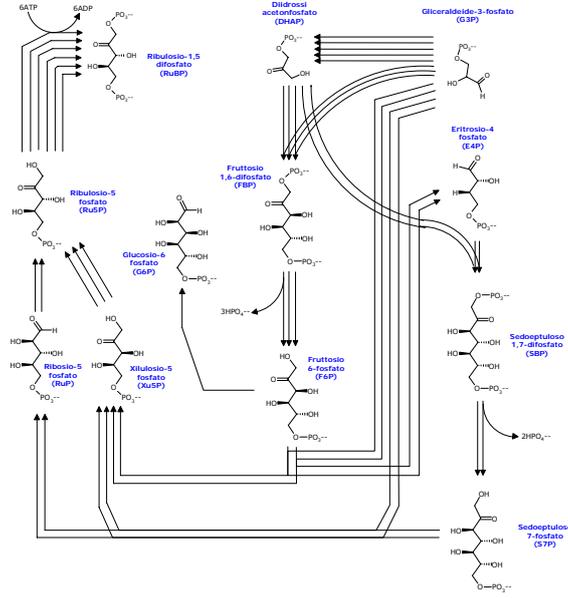


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 132 -

Ciclo di Calvin-Benson

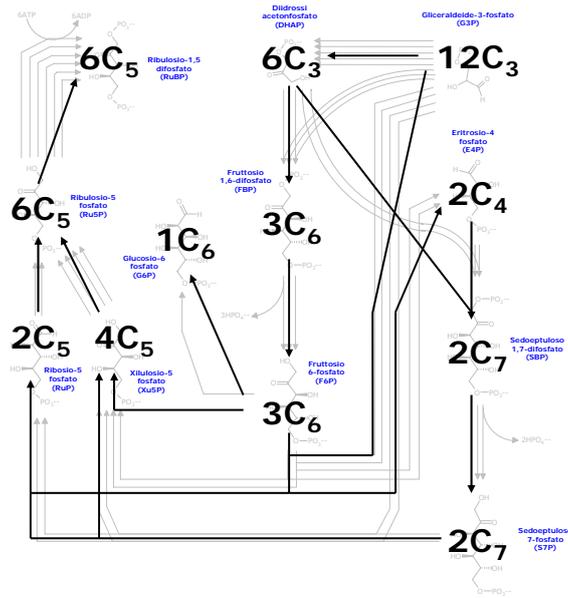


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 133 -

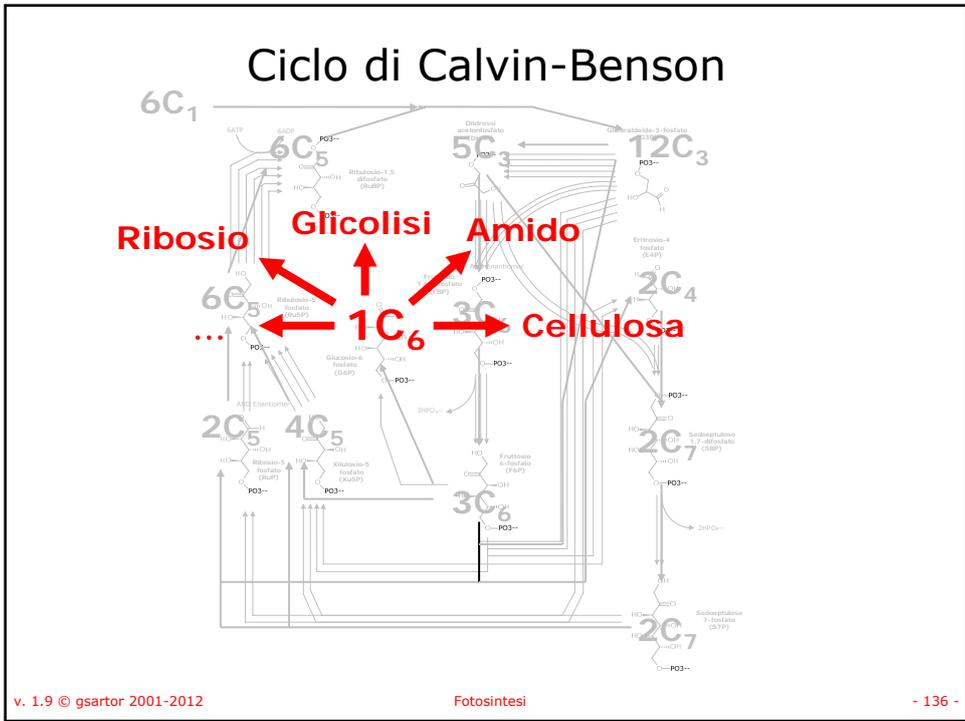
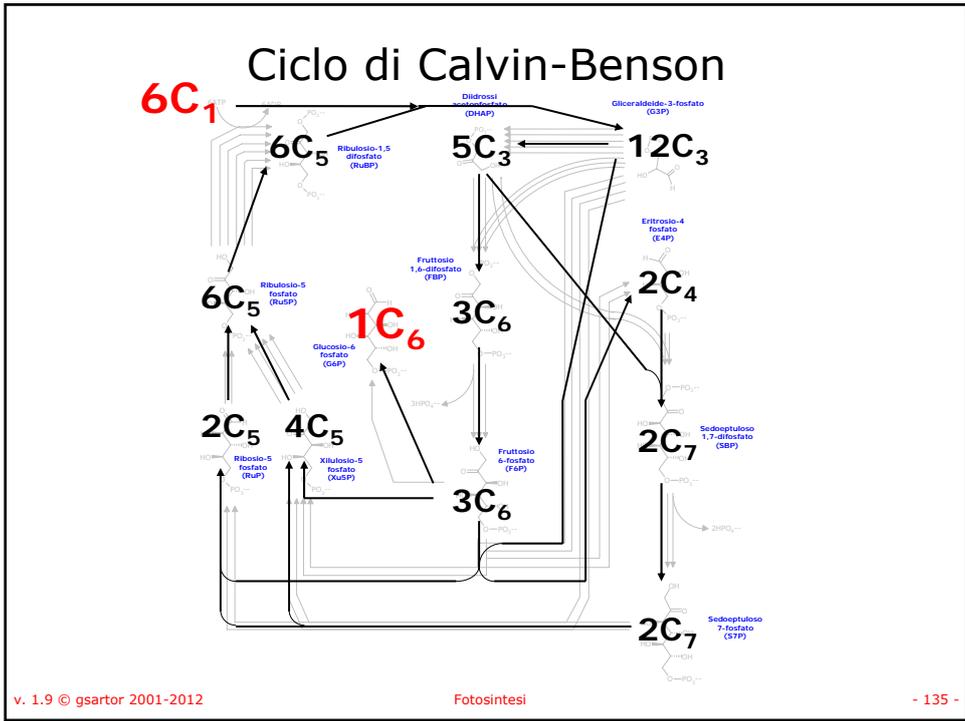
Ciclo di Calvin-Benson



v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 134 -



Bilancio

- Da un punto di vista termodinamico il ciclo di Calvin-Benson è una reazione favorita.
- La reazione aldolasica nella glicolisi ha un $\Delta G'_o$ di $+24 \text{ kJ}\cdot\text{mole}^{-1}$, nel ciclo di Calvin-Benson avviene in senso opposto.
- Nella fase buia avvengono anche la glicolisi, il ciclo di Krebs e la fosforilazione ossidativa per produrre energia.

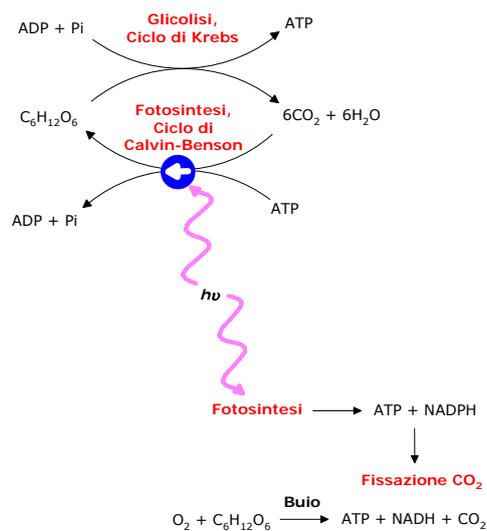
v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 139 -

Bilancio

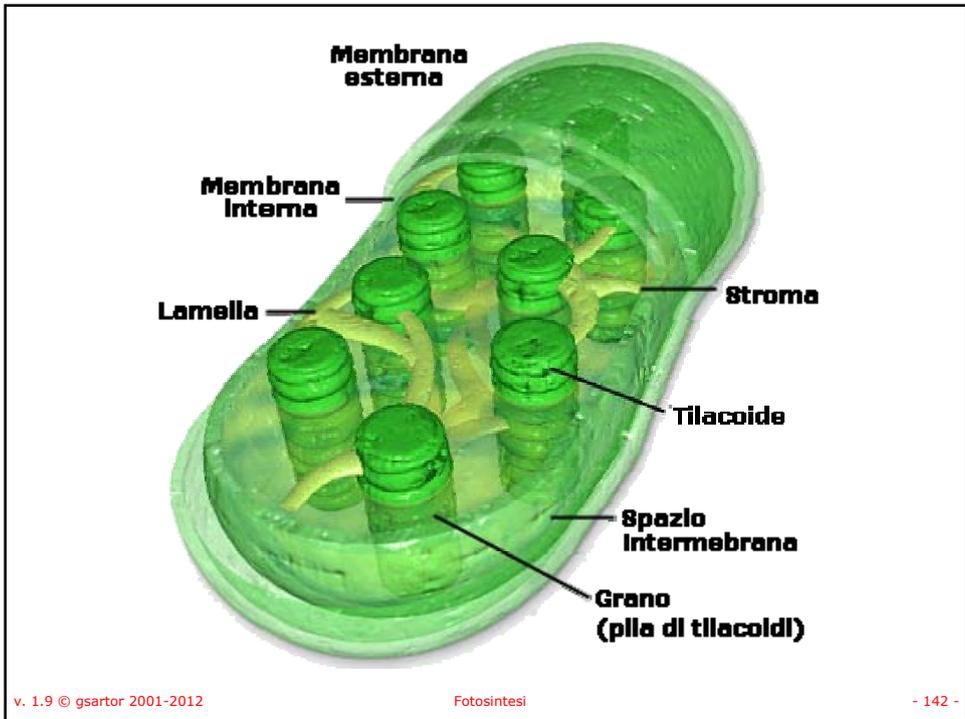
- Non è un ciclo futile.
- Futile è produrre $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ scindendo ATP per rigenerarlo consumando ATP.
- Gli enzimi del ciclo di Calvin-Benson rispondono indirettamente alla luce: sono attivati quando le cellule sono illuminate.

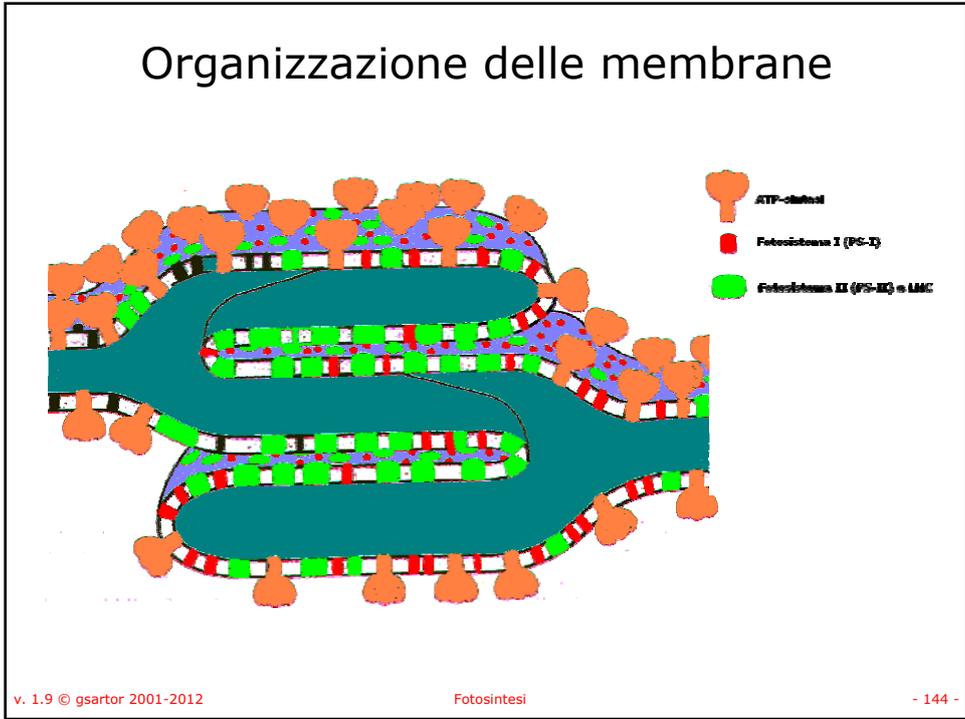
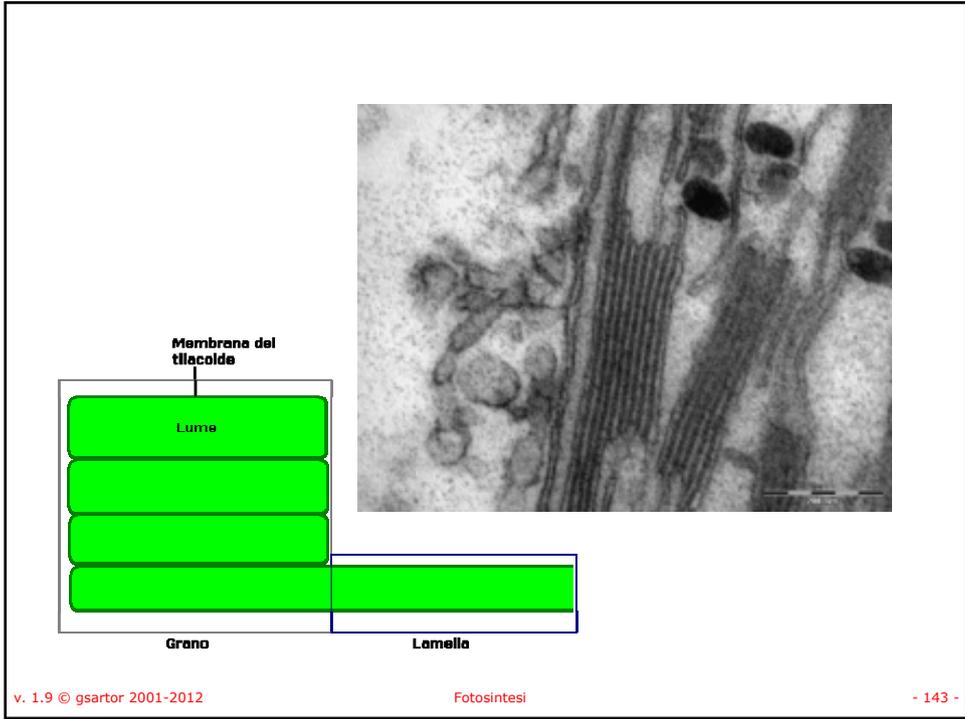


v. 1.9 © gsartor 2001-2012

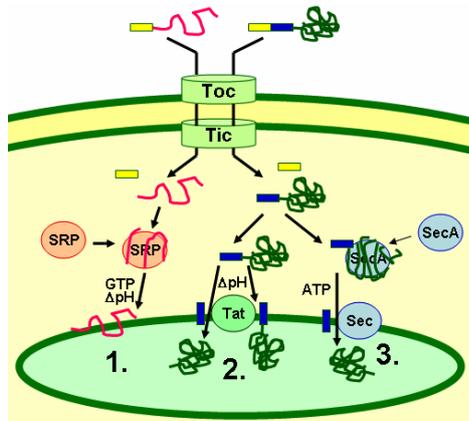
Fotosintesi

- 140 -





- Le proteine del tilacoide sono etichettate al loro bersaglio da un peptide segnale e da una via secretoria nel cloroplasto.
- Molte delle proteine del tilacoide sono codificate dal genoma nucleare e necessitano di due segnali per raggiungere il bersaglio: un **segnale N-terminale** e un **segnale per il bersaglio** all'interno del tilacoide.



v. 1.9 © gsartor 2001-2012

Fotosintesi

- 145 -

Crediti e autorizzazioni all'utilizzo

- Questo materiale è stato assemblato da informazioni raccolte dai seguenti testi di Biochimica:
 - CHAMPE Pamela , HARVEY Richard , FERRIER Denise R. LE BASI DELLA BIOCHIMICA [ISBN 978-8808-17030-9] - Zanichelli
 - NELSON David L. , COX Michael M. I PRINCIPI DI BIOCHIMICA DI LEHNINGER - Zanichelli
 - GARRETT Reginald H., GRISHAM Charles M. BIOCHIMICA con aspetti molecolari della Biologia cellulare - Zanichelli
 - VOET Donald , VOET Judith G , PRATT Charlotte W FONDAMENTI DI BIOCHIMICA [ISBN 978-8808-06879-8] - Zanichelli
- E dalla consultazione di svariate risorse in rete, tra le quali:
 - Kegg: Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes <http://www.genome.ad.jp/kegg/>
 - Brenda: <http://www.brenda.uni-koeln.de/>
 - Protein Data Bank: <http://www.rcsb.org/pdb/>
 - Rensselaer Polytechnic Institute: <http://www.rpi.edu/dept/bcbp/molbiochem/MBWeb/mb1/MB1index.html>
- Il materiale è stato inoltre rivisto e corretto dalla **Prof. Giancarla Orlandini** dell'Università di Parma alla quale va il mio sentito ringraziamento.

Questo ed altro materiale può essere reperito a partire da:

<http://www.ambra.unibo.it/giorgio.sartor/>, oppure da <http://www.gsartor.org/>

Il materiale di questa presentazione è di libero uso per didattica e ricerca e può essere usato senza limitazione, purché venga riconosciuto l'autore usando questa frase:

Materiale ottenuto dal Prof. Giorgio Sartor
Università di Bologna a Ravenna

Giorgio Sartor - giorgio.sartor@unibo.it