

BIOLOGIA VEGETALE – INDICE :

1. Introduzione al regno vegetale + parentesi storica. Differenze tra regno animale e regno vegetale
2. Regno vegetale + caratteristiche e 3 livelli di organizzazione vegetativa : tallofite, cormoide e cormofite. Piante divise in 5 gruppi : Alghe, briofite, pteridofite, gimnosperme, angiosperme
3. La cellula vegetale, differenze tra cellula eucariota e procariota.

Struttura della cellula vegetale, trasporti di membrana e peculiarità esclusive : plastidi, vacuolo, parete cellulare, plasmodesmi. Cellule meristematiche e differenziamento + effetto posizione e de-differenziamento + fattori endogeni ed esogeni ÷ effetto posizione. Teoria cellulare e organismica.

4. Il livello cellulare : fotosintesi pt. 1 -> Plastidi : protoplasti, cloroplasti, cromoplasti, leucoplasti. Fotosintesi : fase luminosa e fase buia. Materie prime : luce, acqua e anidride carbonica. Stomi.
5. Il livello cellulare : fotosintesi pt. 2 -> Pigmenti fotosintetici e clorofilla A, B, C, D. Fotosistema : complesso antenna e centro di reazione. 1) Processi antecedenti alla fotosintesi : fluorescenza, risonanza o riduzione 2) fase luminosa. 2 Fotosistemi, schema Z. Fase buia + ciclo CAM, C3, C4.
6. Parete cellulare + vacuolo
7. nucleo + poliploidia
8. livello tissutale pt. 1 = meristemi + epidermide + rizoderma + endoderma
9. livello tissutale pt. 2 = tessuti secretori + tessuti parenchimatici + tessuti meccanici + tessuti conduttori + tessuto cribroso + proprietà dell'acqua
10. livello organismo pt. 1 = FUSTO + RADICI + micorrize + FOGLIE
11. livello organismo pt. 2 = riproduzione + propagazione vegetativa + RIPRODUZIONE GENERATIVA + ciclo aplodiplonte + struttura del FIORE
12. livello organismo pt. 3 = semi (ortodossi e recalcitranti)
13. livello organismo pt. 4 = impollinazione (abiotica e biotica) + pronubi + dispersione dei semi o disseminazione
14. livello individuo pt. 1 = ciclo vitale (breve o perenne)
15. livello individuo pt. 2 = la modularità ⇒ unità di base : modulo e ramet + genet ⇒ riproduzione generativa e veget ⇒ moltiplicazione vegetativa + policormone e clone

BIOLOGIA VEGETALE (PWP. 1)

Il regno vegetale compone circa l' **85% della biomassa** (massa totale degli organismi viventi) del pianeta terra e conta circa **400 mila specie conosciute**, ognuna delle quali ha la caratteristica di compiere la **FOTOSINTESI** = processo biochimico che permette di creare e sintetizzare sostanze organiche a partire da sostanze inorganiche (CO_2 e H_2O) utilizzando come fonte di energia la luce solare.

⇒ " prendendo sostanze inorganiche (= gas = anidride carbonica) e utilizzando l'acqua (un'altra sostanza inorganica) e la luce del sole (energia solare), **sono in grado di produrre sostanze organiche** come il glucosio. Il prodotto di scarto di tale processo è l'ossigeno che è risultato fondamentale per l'evoluzione. "

parentesi STORICA :

I primi viventi abitavano in **acqua** poiché **l'atmosfera era tossica** (metano, ammoniaca) e non c'erano protezioni dai raggi ultravioletti ⇒ di conseguenza l'**ambiente acquatico** era **l'unico luogo colonizzabile**.

Con lo scorrere del tempo, le piante hanno iniziato a produrre ossigeno **grazie alla fotosintesi** e **hanno rivoluzionato l'atmosfera : divenuta ricca di ossigeno** ha permesso agli organismi di **colonizzare la terra** (circa 450 milioni di anni fa).

Le piante sono alla base della vita sulla terra perché ci **forniscono innumerevoli servizi**, oltre alla **PRODUZIONE DI OSSIGENO** :

1. ☁ **REGOLANO LA CONCENTRAZIONE DI GAS** nell'atmosfera : contribuiscono quindi a mantenerne costante la composizione ;
 2. 🌾 **ALIMENTAZIONE** : soddisfano circa l'80% del fabbisogno alimentare (grano, riso, mais)
 3. 🛢 **FABBISOGNO ENERGETICO** : i combustibili fossili si sono formati in seguito alla decomposizione di organismi prevalentemente vegetali ;
 4. 🪵 **RISORSE RINNOVABILI** : legno x case, materie prime come cotone e fibre tessili ;
 5. 💊 **MEDICINE** : Il 50% dei prodotti farmaceutici provengono dal mondo vegetale (**es : Papavero da oppio**) ;
 6. 🐝 **RISORSE E RIFUGIO** per gli insetti impollinatori ;
 7. 🌱 **PROTEZIONE DEL SUOLO** : le radici saldano il terreno prevenendo frane ed alluvioni ;
 8. 🏠 **NELLE CITTÀ** producono molteplici **BENEFIT** : filtrano gli inquinanti, riducono il rumore e rinfrescano l'ambiente di 1-2 C° nella stagione calda.
-

👁️ "PLANT BLINDNESS" 👁️

E' la tendenza da parte degli esseri umani a ignorare le specie vegetali (è come se gli uomini NON vedessero le piante); questo è dovuto al nostro cervello, poiché filtra tutte le informazioni che non sono fondamentali. L'uomo si è evoluto assieme alle piante e ha imparato a non notarle poiché non sono pericolose.

Le piante possiedono delle **capacità** importanti per la loro **sopravvivenza** :

- **COMUNICARE CHIMICAMENTE** : La capacità di avvisare le altre piante nel momento in cui vengono attaccate da parassiti (creano a loro volta sostanze antiparassitarie)
- Hanno la capacità di produrre il polline che attrae gli animali e permette la diffusione della specie.

Il modo per calcolare il **successo di una specie** è calcolare la sua **DIFFUSIONE** in un ambiente.

DIFFUSIONE = SUCCESSO

Il processo evolutivo non è una scala, bensì un "albero" ⇒ ALBERO FILOGENETICO

PIANTE vs ANIMALI :

Caratteristiche COMUNI :

1. Entrambi sono in grado di generare discendenti ai quali trasmettono le caratteristiche proprie della specie (i propri geni) ;
2. Tutti gli organismi possiedono caratteri (morfologici - anatomici - fisiologici) che consentono loro di adattarsi all'ambiente esterno ;
3. Tutti gli esseri viventi sono in grado di rispondere agli stimoli, seppur in maniera diversa ;
4. Per entrambi il processo di crescita e sviluppo richiede energia ★ che viene sintetizzata dagli organismi stessi a partire da altre forme di energia .

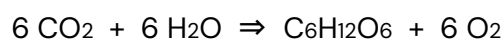
DIFFERENZE :

1. AUTOTROFI vs ETERTROFI :

-> Il **regno vegetale** **ricava l'energia** necessaria per il processo di crescita dalla **luce solare e da SOSTANZE INORGANICHE** (CO₂ e H₂O). E' **composto da organismi AUTOTROFI** che sono in grado di sopravvivere **autonomamente** grazie alla componente abiotica (non vivente) del pianeta terra. Le piante non hanno la necessità di spostarsi per ottenere ciò che serve loro (sole, acqua, anidride).

⇒ infatti si definiscono **SESSILI : fisse al suolo** , ovvero ancorate ad un substrato.

FOTOSINTESI = ORGANICAZIONE DEL CARBONIO



-> Il **regno animale** (animali, batteri e funghi) **ricava l'energia** necessaria per il processo di crescita da **SOSTANZE ORGANICHE** (**cacciando e muovendosi in cerca di esse**) . **Sono organismi ETERTROFI** che **necessitano di trovare nell'ambiente le sostanze organiche di cui hanno bisogno**.

Essi dipendono quindi dal regno vegetale in maniera : **diretta** se sono erbivori o **indiretta** se sono carnivori.

2. TEMPO DI CRESCITA :

-> Gli **animali** **aumentano** di **dimensione** principalmente nei **PRIMI ANNI** di vita : le cellule morte vengono eliminate e sostituite.

-> Le **piante** **aumentano** di **DIMENSIONI** per **TUTTO** l'arco della loro **VITA** :

- grazie all'accrescimento della massa corporea **dovuto** alle cellule morte
- grazie al fenomeno del **CARBON STOCK** (**immagazzinamento di carbonio**) : parte della **CO₂** assorbita è restituita all'atmosfera con la respirazione, mentre una parte è **«bloccata»** nella biomassa **come stock** (deposito).

Le piante sono i PRODUTTORI PRIMARI primari dell'ecosistema in quanto utilizzano parte dell'energia solare per la fotosintesi tramite la quale creano **massa organica**.

Si può quindi affermare che nella catena alimentare le **piante** siano l'**anello base**

- ⇒ che viene direttamente consumato dagli erbivori (consumatori primari)
- ⇒ che diventano a loro volta la risorsa dei carnivori (consumatori secondari)
- ⇒ che vengono consumati, una volta in decomposizione, dai **detritivori**.

3. CENTRALIZZAZIONE vs DECENTRALIZZAZIONE :

-> Le **piante** sono formate da **UNITA' UGUALI RIPETUTE e interdipendenti tra loro** (se tagliati in 100 si moltiplicano) ⇒ NON sono individui (vuol dire indivisibile).

-> Gli **animali**, invece, sono **caratterizzati da un SISTEMA CENTRALIZZATO**, in cui gli organi sono posti in un'area ben precisa e **svolgono una funzione fissa** (se tagliati in 2 muoiono).

4. ADATTAMENTO vs CONTRASTO ALL'AMBIENTE :

-> Le **piante** tendono ad **ADATTARSI** alle **variazioni esterne** (tramite, ad esempio, il riposo vegetativo) perché **NON possono spostarsi , sono SESSILI** .

-> Gli **animali** tendono a **CONTRASTARE** le **variazioni esterne , spostandosi** quando possibile **alla ricerca di condizioni ottimali** (x es gli uccelli migrano per ricercare le condizioni + ottimali per la loro sopravvivenza).

5. ORGANISMI MODULARI vs ORGANISMI UNITARI :

-> Le **piante** sono **organismi MODULARI** ⇒ la loro forma è **indeterminata** e il loro programma di sviluppo è altamente **imprevedibile**; **es** : *il numero di rami o foglie di una pianta non è fisso ma dipende dalle risorse che trova nel punto in cui è nata* .

-> Gli **animali** sono **organismi UNITARI** ⇒ la loro forma è **determinata** e il loro sviluppo è altamente **prevedibile** (si sa prima della nascita che avrà 2 occhi, 1 bocca, 2 orecchie, ecc).

REGNO VEGETALE (PWP. 2)

Il regno vegetale è assai **vario** per quanto riguarda ⇒ **forma, struttura, complessità, fisiologia** ;
ciò è **dovuto a** :

- alla **storia evolutiva** delle piante
- ai **forti rapporti con l'ambiente esterno** che l'intero regno vegetale ha instaurato .

Il **progenitore comune a tutte le piante** è l' **ALGA VERDE ACQUATICA** (o **COLEOCHAETE**) ;
un'alga dalla **struttura particolarmente semplice** (*vivendo in acqua le difficoltà erano minori*).

Tale alga presenta :

- **steli** piuttosto che fusti rigidi (perchè densità acqua > aria)
- **rizoidi** invece che radici ;
- **strutture riproduttive** maschili e femminili **distinte**
- **necessità di acqua** per la riproduzione .

I fossili più antichi di piante terrestri risalgono a circa 470 milioni di anni fa. *Le prime piante terrestri probabilmente assomigliavano a piante moderne chiamate **BRIOFITE**.*

Le **piante terrestri** vengono **divise in 4 gruppi** in base a 3 aspetti (**semi, fiori e tessuti di conduzione dell'acqua**) :

1. **briofite,**
2. **pteridofite,**
3. **gimnosperme**
4. **angiosperme**



3 LIVELLI di ORGANIZZAZIONE VEGETATIVA :

CARATTERI COMUNI delle PIANTE TERRESTRI :

- 1) Sono **organismi autotrofi** ⇒ sintetizzano autonomamente molecole organiche a partire da molecole inorganiche, ovvero svolgono la **fotosintesi** ;
- 2) Sono **organismi eucarioti** e provvisti di nucleo ;
- 3) Sono **organismi pluricellulari**.

Si possono individuare, a seconda della **complessità** degli organismi , **3 LIVELLI di organizzazione del corpo vegetativo** :

1. **Piante a tallo** ⇒ o " Tallofite"
2. **Piante a cormoide**
3. **Piante a cormo** ⇒ o "Cormofite".

1. PIANTE A TALLO ⇒ TALLOFITE : Comprendono batteri, funghi, alghe e licheni

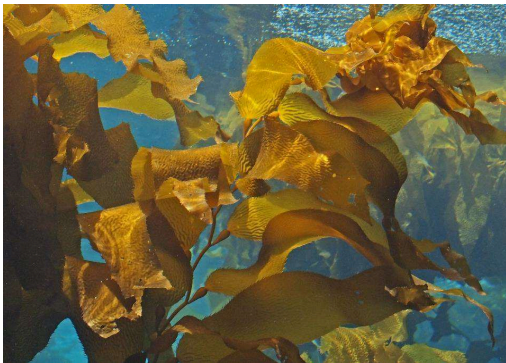
Sono tutte quelle piante il cui **corpo vegetativo** è costituito dal **TALLO** , ovvero una **STRUTTURA vegetativa MOLTO SEMPLICE** , priva di strutture specializzate (quali radici, fusto e foglie).

NON vi è una divisione delle funzioni all'interno dell'organismo : **tutte le porzioni dell'organismo svolgono le medesime funzioni** . Le piante a tallo sono **generalmente acquatiche o dipendenti dall'acqua per la riproduzione**.

ESEMPIO : Lattuga di mare .



⇒⇒ Le **ALGHE** sono un esempio di piante a tallo ; esse infatti sono organismi caratterizzati da una **struttura semplice** che **NON** presenta una differenziazione in tessuti veri e propri.



L'esistenza di tessuti è la caratteristica che **distingue le piante a cormo dalle piante a tallo**.

2. PIANTE A CORMOIDE :

Le piante a cormoide sono il **termine di passaggio tra "tallo" e "cormo"**, nonché le prime a riuscire a spostarsi dall'ambiente acquatico alla terraferma.

Le piante a cormoide **presentano una parziale differenziazione dei tessuti** in :

- filloidi (~ foglie),
- cauloidi (~fusto)
- rizoidi (~ radici).

Sono piante NON vascolari che vivono in luoghi molto umidi, in quanto la **dipendenza dall'ambiente acquatico** è ancora forte.



⇒⇒ Le **BRIOFITE** sono le **prime** piante a cormoide che hanno **colonizzato la terraferma**. Sono organismi di piccole dimensioni e molto **semplici** ; **non presentano una differenziazione in tessuti veri e propri** e sono fortemente legati ad **ambienti umidi ed ombrosi**.

ESEMPIO : I **muschi** sono il gruppo più diffuso di briofite

Nei muschi non esiste un sistema efficiente di trasporto dell'acqua , di conseguenza il **passaggio dei liquidi avviene per diffusione tra cellule adiacenti**. Questo meccanismo è efficiente solo su **distanze brevi** , per questo le briofite non **si espandono** in altezza, ma **solo orizzontalmente**.



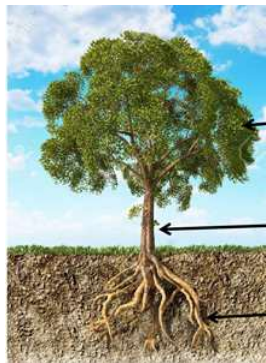
3. (PIANTE A CORMO) ⇒ CORMOFITE :

Sono tutte quelle piante il cui **corpo vegetativo** è costituito dal **CORMO**, ovvero una **STRUTTURA vegetativa COMPLESSA**, organizzata in tessuti ed apparati.

Gli **apparati** possono essere **più o meno modificati** a seconda :

- del ciclo vitale
- dell' ambiente
- dell' ecologia della pianta .

Ogni apparato è formato da **molteplici tessuti** che differiscono per aspetto e funzione delle cellule.



Le PARTI FONDAMENTALI di una pianta a cormo **sono 3** :

1. **foglie** → **specializzate nella fotosintesi** (ma possono avere anche altre funzioni accessorie connesse con la riproduzione (*le varie parti del fiore sono foglie modificate*)) ;
2. **fusto** → **produce e sostiene le foglie** nell'orientamento più corretto per ricevere la luce ; **fa inoltre da collegamento** fra foglie e radici.
3. **le radici** → **ancorano la pianta al terreno** e **assorbono** da esso **acqua e ioni**.

(**2 parti aeree / epigee** e **1 parte sotterranea / ipogea**)



L'organizzazione a cormo è stata la **risposta alle difficili condizioni di vita sulla terraferma** :

Le pressioni selettive erano forti in quanto **l'ambiente terrestre presentava MOLTI SVANTAGGI rispetto all'ambiente acquatico** ; perciò le piante svilupparono :

➤ **TESSUTI di SOSTEGNO** :

⇒ per far fronte alla **minor densità dell'aria** rispetto all'acqua ;

➤ **TESSUTI di TRASPORTO** → come il **legno** (detto anche Xilema) e il **libro** (Floema) :

⇒ a causa di **sostanze nutritive non distribuite in maniera uniforme** (CO₂ in atmosfera , H₂O e ioni nel terreno) sviluppare questo tipo di tessuti risulta di fondamentale importanza ;

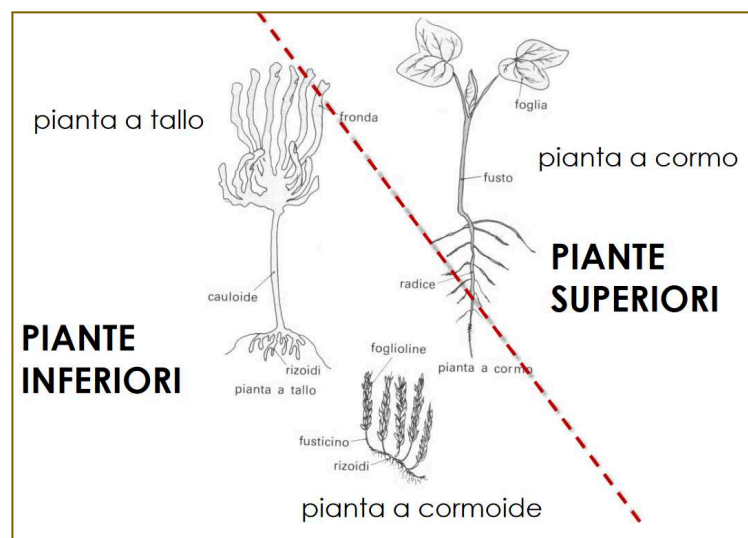
➤ **TESSUTI di RIVESTIMENTO** :

⇒ per contrastare il pericolo di **disseccamento** .

Le piante a cormo sono dunque **piante VASCOLARI**, aventi tessuti specializzati per il trasporto della linfa e il sostegno della pianta.

Le piante a cormo comprendono **3 grandi gruppi**, tutti perfettamente **adattati** alla vita terrestre :

- pteridofite
- gimnosperme
- angiosperme.



Piante a corno :

⇒⇒ Le **PTERIDOFITE** sono le **piante A CORMO +++ ANTICHE** ;

- sono tra le prime piante che hanno sviluppato adattamenti per la vita sulla terraferma.
- Possiedono radici, fusto e foglie ma sono **PRIVE di SEMI** , infatti si **riproducono mediante SPORE** .

Di questo gruppo fanno parte le felci e gli equiseti



⇒⇒ Le **GIMNOSPERME** sono le piante a **SEME NUDO** ;

- sono **piante arboree molto antiche** comparse nel Paleozoico
- si sono diffuse soprattutto durante l'**era dei dinosauri**.
- Presentano la caratteristica di possedere un **seme NON avvolto né da fiore né da frutto**.

*Di questo gruppo fanno parte le **conifere** : pini, abeti, larici e tutti gli alberi con le foglie aghiformi.*



⇒⇒ Le **ANGIOSPERME** sono le **piante A FIORE** 🌸🌺🌻

- Sono il **gruppo più recente e più vario** ;
- contano il **maggior numero di specie** (250 mila) e presentano la maggior **diversità di forme** (*erbe, arbusti, alberi, liane*) e **funzioni**.
- Colonizzano **numerosissime tipologie di habitat** e hanno la peculiare caratteristica di **produrre FIORI e possedere SEMI RACCHIUSI IN UN FRUTTO** . 🍒
- Costituiscono la nostra **principale fonte di alimento** in forma di radici, frutta, semi di cereali e semi di legumi .

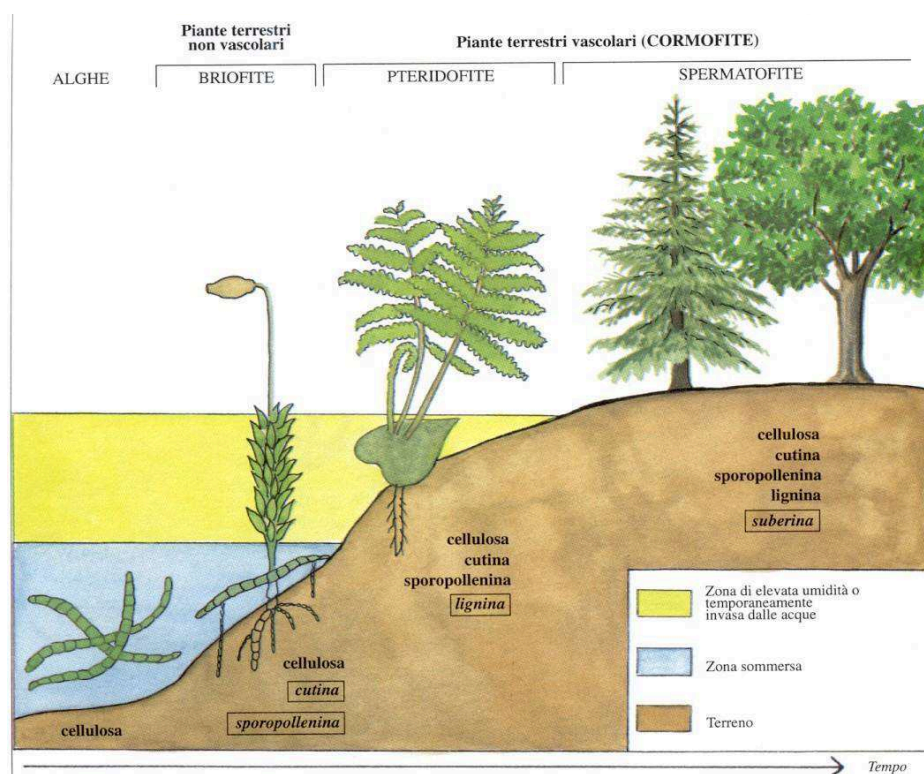


Tutti questi gruppi sono strettamente legati tra loro e sono frutto delle **grandi spinte evolutive** che hanno interessato la vita terrestre delle piante :

Le **grandi spinte evolutive** che hanno portato a questa diversità sono **2** :

1. **un'organizzazione vegetativa** -> che massimizzi ed ottimizzi il processo di fotosintesi
2. **la riproduzione** -> ottimizzare i metodi di diffusione della prole.

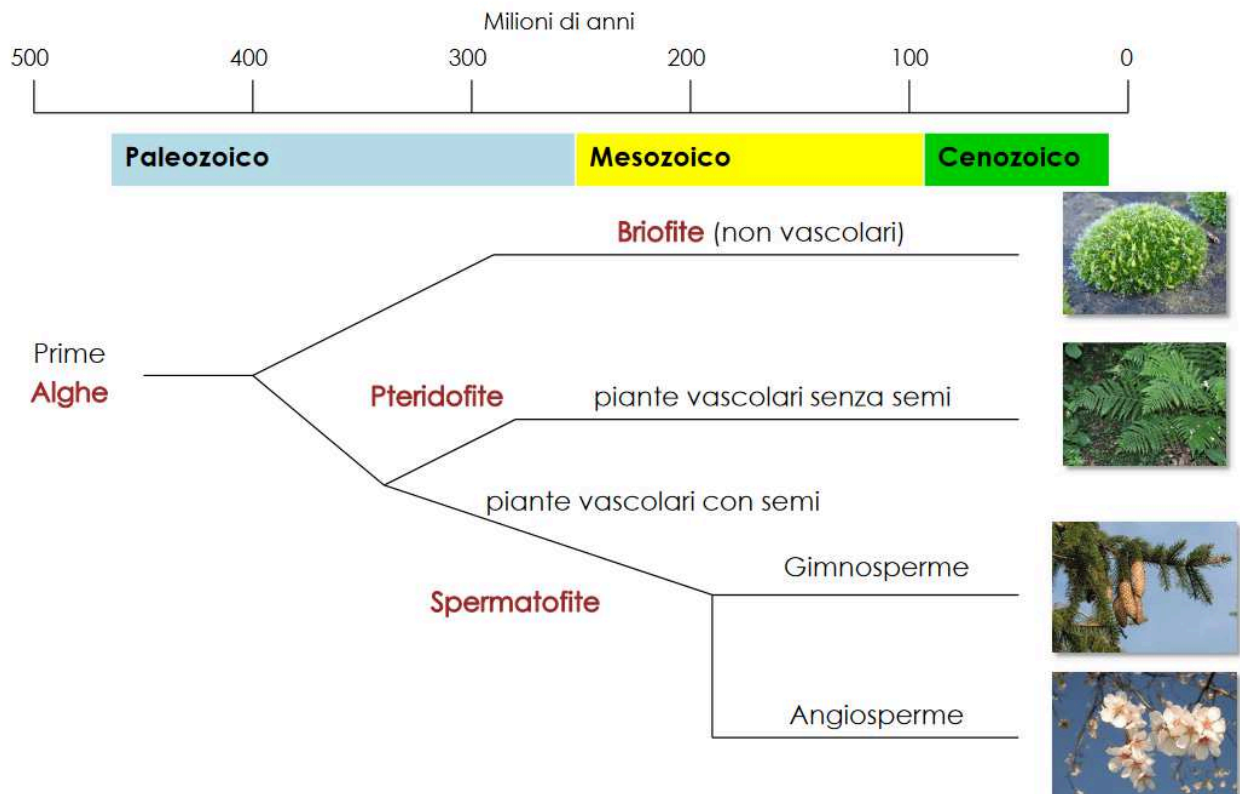
Tali gruppi rappresentano dunque le **principali tappe dell'evoluzione del regno vegetale** .



SCHEMA RIASSUNTIVO DEL REGNO VEGETALE :

	Gruppo	Organizzazione Vegetativa	Riproduzione
acquatiche	Alge ca. 30.000 specie	TALLOFITE tutte le cellule dell'organismo sono simili, non vi è specializzazione né divisione dei compiti -rizoide -cauloide -filloide	CRITOGAME con apparati riproduttori poco evidenti, senza semi
	Briofite ca. 26.000 specie	PIANTE A CORMOIDE termine di passaggio, ridotto differenziamento degli organi - rizoide - fusticino - fogliolina	
terrestri	Pteridofite ca. 12.000 specie	CORMOFITE piante con veri tessuti che formano veri organi, esiste una divisione dei compiti svolti da cellule specializzate Apparati tipici: - radice - fusto - foglia	FANEROGAME con apparati riproduttori evidenti, fiori SPERMATOFITE con semi
	Gimnosperme ca. 800 specie		
	Angiosperme ca. 250.000 specie - dicotiledoni - monocotiledoni		
		TRACHEOFITE hanno tessuti conduttori (trachee)	

Tutti questi gruppi sono legati tra loro e rappresentano le principali tappe dell'evoluzione delle piante



LA CELLULA VEGETALE (PWP. 3)

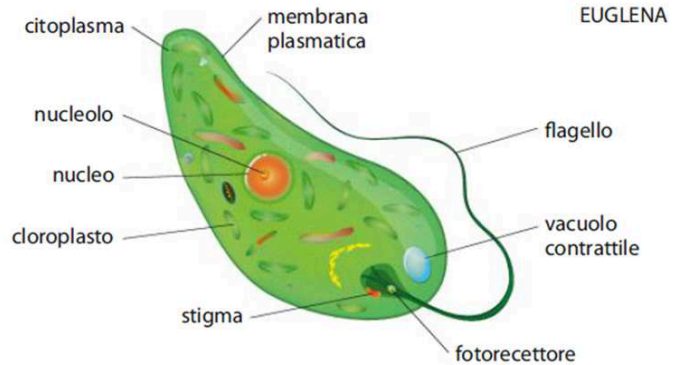
La **CELLULA** = è L'UNITA' MORFO-FUNZIONALE degli organismi viventi.

Essa è **AUTOSUFFICIENTE**: è in grado di assumere nutrienti, di convertirli in energia, di svolgere funzioni specializzate e di riprodursi se necessario.

Per fare ciò, ogni cellula **contiene al suo interno tutte le informazioni necessarie contenute nel DNA**.

- 1) Gli **ORGANISMI UNICELLULARI** : sono organismi molto semplici (generalmente di piccole dimensioni), formati da UNA SOLA cellula; tale singola cellula svolge tutte le funzioni necessarie per la vita e per la riproduzione dell'organismo; rappresenta perciò un essere vivente del tutto completo e indipendente.

es: batteri, protozoi, alcune alghe.



- 2) Gli **ORGANISMI PLURICELLULARI** : sono organismi in cui le cellule vivono in gruppi coordinati e svolgono funzioni ben distinte. (le cellule sono incapaci di vivere da sole, sono dipendenti le une dalle altre!!!) :

- Più cellule che possiedono la stessa forma e funzione formano un **tessuto**
- Più tessuti formano un **organo**
- Più organi formano un **apparato**
- Più apparati formano un **organismo**

(NELLA **PIANTA NON CI SONO ORGANI !!!**)

Negli organismi pluricellulari le singole cellule possono andare incontro a **DIFFERENZIAZIONE**, cioè **specializzarsi per svolgere compiti particolari** e perdere la capacità di svolgerne altri.

(In un organismo pluricellulare, le cellule sono per gli organismi come i mattoni per una casa)

⇒ **DIFFERENZE / SIMILITUDINI CELLULA PROCARIOTICA VS EUCARIOTICA :**

● **CELLULA PROCARIOTICA :**

La **CELLULA PROCARIOTICA** è **priva di nucleo** e di organuli delineati da membrane, quindi **il loro DNA è disperso nel citoplasma** (plasmidi), anche se presenta il nucleolo, dove è localizzato il materiale genetico (1 solo cromosoma **circolare**). Presentano comunque i ribosomi come la cellula eucariota.

● **CELLULA EUCARIOTICA :**

La **CELLULA EUCARIOTICA** è più grande rispetto quella procariotica; Possiede nucleo, citoplasma e una compartizione interna (gli organismi pluricellulari hanno un'organizzazione eucariotica).

Tutte le piante terrestri sono organismi pluricellulari e hanno cellule eucariotiche

OGNI CELLULA EUCARIOTICA è costituita da:

- **NUCLEO;** – **CITOPLASMA:**

Il citoplasma è una soluzione (acqua + altre sostanze) sede di molte reazioni ed è costituito da:

- 1) **citosol:** soluzione colloidale costituita da acqua, ioni, lipidi, zuccheri, ormoni, RNA, proteine e nucleotidi. Esso è sede inoltre di numerose reazioni quali il metabolismo del carbonio, dell'azoto, del fosforo e sintesi delle proteine.
- 2) **organelli cellulari;** ad es: mitocondri
- 3) **sistema di endomembrane.**

In una cellula standard, il limite più esterno è definito dalla presenza di una membrana:

la MEMBRANA PLASMATICA o MEMBRANA CELLULARE; FUNZIONI :

Tale membrana svolge numerose funzioni:

1. **DELIMITAZIONE:** è il limite più esterno che protegge la cellula.
2. **REGOLAZIONE:** Essa regola anche i rapporti con le cellule adiacenti, cioè regola il trasporto dei nutrienti dentro e fuori la cellula
3. **MANTENIMENTO:** Mantiene "adeguate" condizioni chimiche nella cellula
4. **INTERAZIONE:** regola le interazioni con altre cellule e con la matrice extracellulare

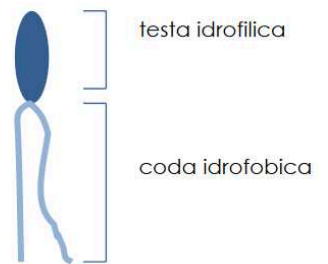
ATTENZIONE: tutte le membrane cellulari (sia interne che esterne) sono costruite nello STESSO MODO!

STRUTTURA:

La membrana è costituita da un **doppio strato di fosfolipidi**, con ruolo strutturale, e **proteine**, con ruolo funzionale.

– I **FOSFOLIPIDI** sono formati da due parti:

- 1) **1 testa idrofila**, rivolte verso l'esterno; (è la parte esterna che interagisce con **l'acqua**).
- 2) **2 code idrofobiche**, rivolte verso l'interno.



Il doppio strato fosfolipidico protegge la cellula e le conferisce **stabilità e fluidità**.

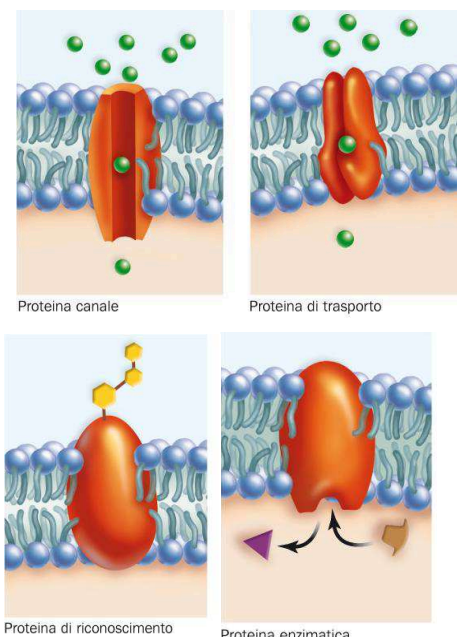
– **LE PROTEINE** possono essere di **2 tipi**:

- 1) **PROTEINE PERIFERICHE** : **NON** attraversano completamente la membrana cellulare, ma si localizzano solo su un lato
- 2) **PROTEINE INTRINSECHE/INTEGRALI** : attraversano il doppio strato fosfolipidico (possono essere legate a lipidi ⇒ glicoproteine)

Le proteine integrali **determinano** in larga misura **le funzioni specifiche della membrana**.

Esistono di diversi tipi di proteine intrinseche:

- Le **proteine canale** permettono alle molecole o agli ioni di attraversare la membrana.
- Le **proteine di trasporto** assistono le sostanze nel passaggio.
- Le **proteine di riconoscimento** aiutano la cellula a riconoscere elementi estranei e a innescare le reazioni immunitarie.
- Le **proteine enzimatiche** svolgono reazioni metaboliche.



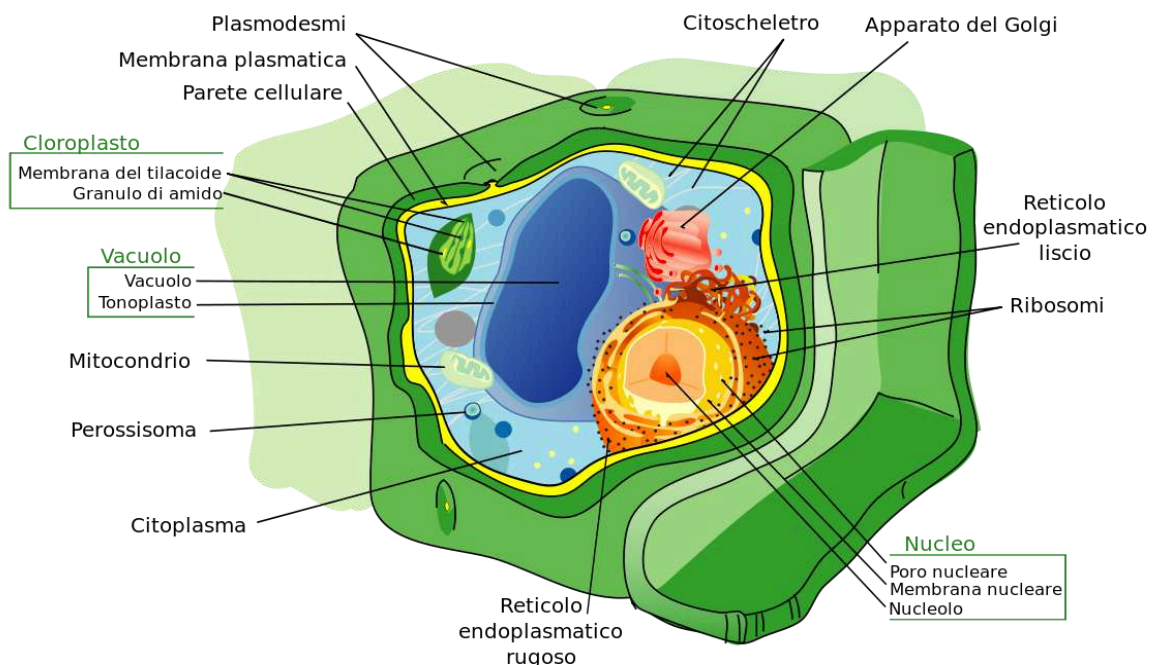
LA MEMBRANA NON E' UNA STRUTTURA STATICA; la mancanza di legami covalenti tra le molecole **consente libertà di movimento**:

Tale **struttura** della membrana è detta **MOSAICO FLUIDO** ! (perché proteine e fosfolipidi si possono muovere)-(E' quindi anche **asimmetrica= composiz. diversa da lato a lato**).

TRASPORTI DI MEMBRANA

Il **passaggio di sostanze fuori e dentro la cellula** può avvenire in vari modi:

- 1) **Diffusione passiva** ⇒ avviene **lungo** il **gradiente di concentrazione** quindi non richiede energia. Non è selettiva in quanto passano tutte le **molecole polari** di piccole dimensioni, come lipidi, gas, O₂ e CO₂ (tranne l'acqua). Il movimento della sostanza serve per **ristabilire l'equilibrio** tra i due gradienti di concentrazione (il passaggio avviene verso dove la concentrazione è minore).
- **L'osmosi** è un caso particolare della diffusione passiva: è la **diffusione dell'acqua** attraverso una **membrana semipermeabile**, da una soluzione ipotonica (bassa concentrazione) a una soluzione ipertonica (alta concentrazione). **Non è il soluto che si muove, ma l'acqua**.
Le altre sostanze subiscono un controllo da parte della cellula, e passano grazie alla presenza delle **proteine di membrana**.
- 2) **Diffusione facilitata** ⇒ avviene **lungo** il **gradiente di concentrazione**. Il **passaggio** delle sostanze è **mediato da proteine** che consentono loro di attraversare la membrana senza interagire con l'interno idrofobico.
 - **CANALI**: trasportano H₂O e **specifici ioni** secondo gradiente di concentrazione. Le proteine che li compongono formano dei canali che attraversano la membrana. Sono regolati da stimoli specifici.
- 3) **Trasporto attivo** ⇒ lo **spostamento di ioni** avviene **contro** il **gradiente di concentrazione**, quindi viene utilizzata **energia** ricavata dall'idrolisi dell'**ATP**, e l'intervento di specifiche proteine di trasporto, indicate con il nome di **pompe**.
(usano l'energia da idrolisi dell'ATP per spostare ioni contro gradiente di concentrazione)



FIN QUI, TUTTO UGUALE alla CELLULA ANIMALE

MA

PIANTE E ANIMALI DIFFERISCONO IN UNA FUNZIONE ESSENZIALE :

IL NUTRIMENTO,

quindi ci saranno delle differenze nella costruzione della cellula.

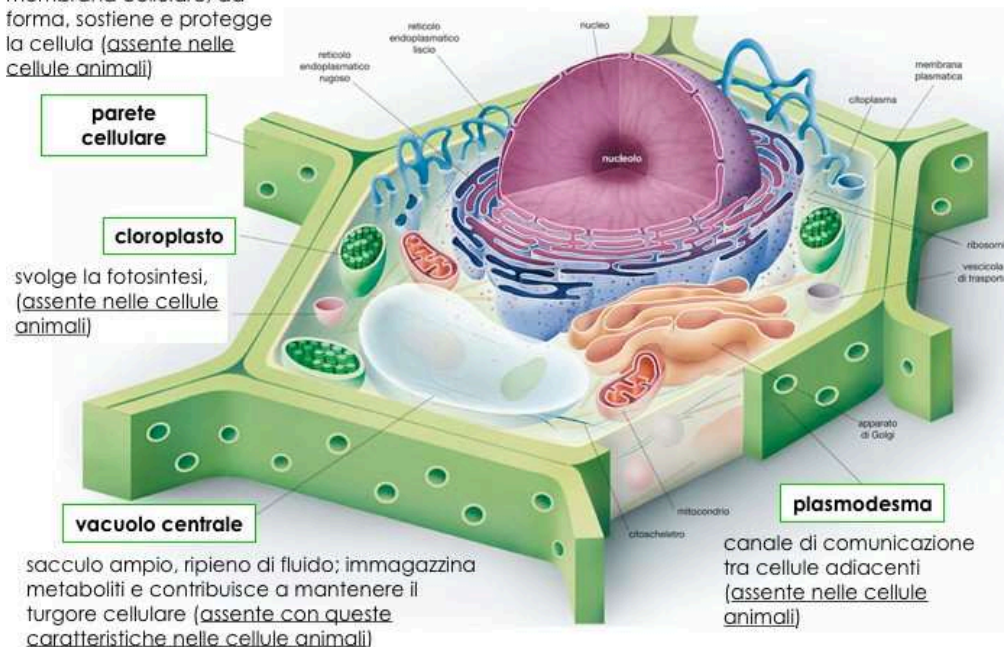


PECULIARITÀ ESCLUSIVE della CELLULA VEGETALE :

1. A livello di organelli : PLASTIDI, VACUOLO, PARETE CELLULARE (+ PLASMODESMI)
2. nel ≠ MODELLO di SVILUPPO e DIFFERENZIAMENTO
3. cellule MERISTEMATICHE
4. effetto POSIZIONE
5. PRESENZA DI MERISTEMI
6. TEORIA ORGANISMICA ⇒ INTERO ORGANISMO come UNITÀ PRIMARIA

	Cellula animale tipica	Cellula vegetale "tipica"
Organelli	<ul style="list-style-type: none">• Nucleo<ul style="list-style-type: none">• Nucleolo (all'interno del nucleo)• Reticolo endoplasmatico rugoso• Reticolo endoplasmatico liscio• Ribosomi• Citoscheletro• Apparato del Golgi• Citoplasma• Mitochondri• Lisosomi• Centrosomi<ul style="list-style-type: none">• Centrioli• Perossisomi• Vacuoli	<ul style="list-style-type: none">• Nucleo<ul style="list-style-type: none">• Nucleolo (all'interno del nucleo)• Reticolo endoplasmatico rugoso• Reticolo endoplasmatico liscio• Ribosomi• Citoscheletro• Apparato del Golgi• Citoplasma• Mitochondri• Lisosomi• Plastidi• Perossisomi• Vacuolo centrale (grande)
Strutture addizionali	<ul style="list-style-type: none">• Membrana plasmatica• Flagelli• Ciglia	<ul style="list-style-type: none">• Membrana plasmatica• Flagelli (solo in alcuni gameti)• Parete cellulare• Plasmodesmi

Rivestimento esterno alla membrana cellulare; da forma, sostiene e protegge la cellula (assente nelle cellule animali)



PECULIARITÀ ORGANELLI (1) :

La cellula vegetale e quella animale sono **entrambe cellule eucariote**, ma presentano alcune differenze. La cellula vegetale, in particolare presenta :

- i **PLASTIDI** ,
- un grande **VACUOLO** ,
- una **PARETE CELLULARE** esterna alla membrana plasmatica.

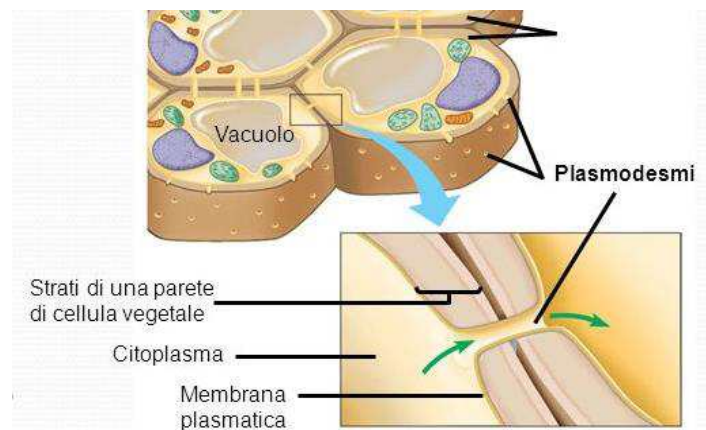
➤ I **PLASTIDI** ⇒ sono una **classe di organelli** che possiedono varie funzioni. I più importanti sono i **cloroplasti**, che permettono alle cellule vegetali di produrre glucosio e ossigeno a partire dalla CO₂, sfruttando l'energia solare (-> svolgono la fotosintesi).

➤ Vi è la presenza di un grosso **VACUOLO** ⇒ una **struttura sacciforme ampia che racchiude una soluzione acquosa detta succo vacuolare**. Il vacuolo occupa gran parte del volume cellulare; ha **funzione di riserva** delle varie sostanze, di mantenere il turgore cellulare e di mantenere ottimale il pH del citosol.

➤ La **PARETE CELLULARE** ⇒ è un **INVOLUCRO ESTERNO ALLA MEMBRANA CELLULARE che conferisce forma, sostiene e protegge la cellula**.

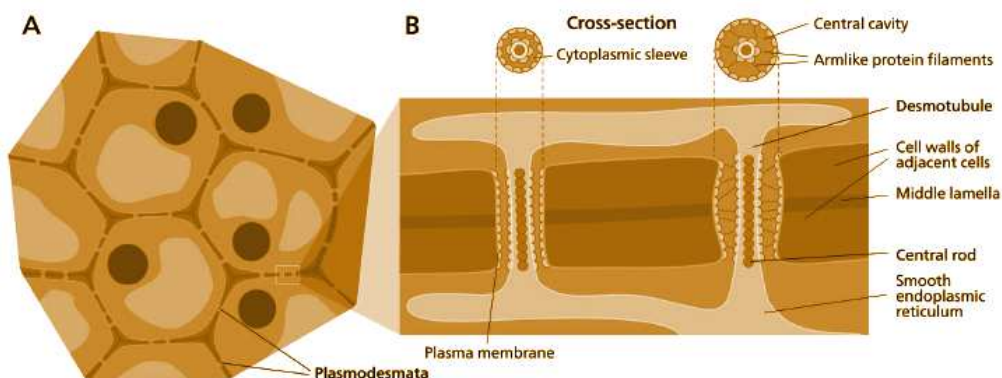
Tale parete è costituita principalmente da **cellulosa** (un polimero del glucosio) e da **proteine** ed è **in comune tra cellule adiacenti**.

+ Esistono inoltre dei particolari **canali di comunicazione** che permettono la continuità del citoplasma e della membrana plasmatica ,
⇒ i **PLASMODESMI**.



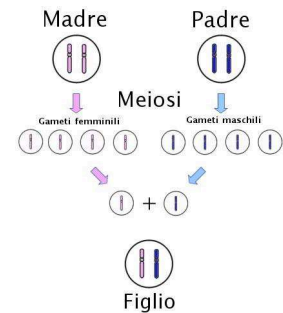
Queste giunzioni cellulari sono di fondamentale importanza perché consentono la **comunicazione tra cellule adiacenti e il reciproco scambio di molecole e ioni** (oltre che del citoplasma).

plasmodesmi



MODELLO di SVILUPPO e di DIFFERENZIAMENTO ≠ (2):

Negli organismi dotati di **riproduzione sessuale** lo sviluppo di un organismo parte da una cellula **uovo fecondata** che, sviluppandosi, va incontro a **divisione, crescita e differenziamento**. La divisione avviene prima per **mitosi** (= semplice divisione della cellula in due) in cui il patrimonio genetico resta diploide e poi per **meiosi**, in cui il patrimonio genetico viene dimezzato per formare i gameti.



TUTTAVIA il modello di sviluppo e differenziamento è diverso :

→ **negli ANIMALI** : l'aumento di dimensioni è associato prevalentemente alla **proliferazione cellulare** (rapido moltiplicarsi per mitosi di singole cellule) ;

→ **nelle PIANTE** : l'aumento di dimensioni è associato sia alla **proliferazione cellulare** sia all'**accrescimento delle singole cellule** che le compongono.



connessa a tale differenza ce n'è una di altrettanta importanza

CELLULE MERISTEMATICHE (3):

Nelle piante **tutte le cellule hanno origine da CELLULE MERISTEMATICHE**, ovvero **cellule PERENNEMENTE GIOVANI NON SPECIALIZZATE**, che **conservano la capacità di dividersi** per originare nuove cellule **per tutta la durata della vita della pianta**.

⇒ La presenza di tali cellule è **una delle PRINCIPALI DIFFERENZE dal punto di vista strutturale** tra mondo animale e mondo vegetale !!



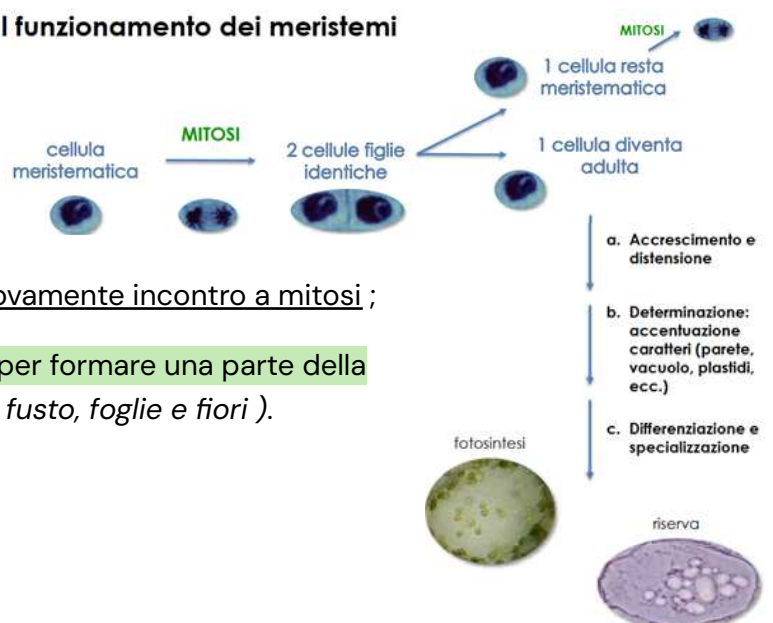
IL FUNZIONAMENTO DEI MERISTEMI :

Le **cellule meristematiche** sono cellule vegetali che **hanno la capacità di dividersi per mitosi** e originare **2 cellule figlie che seguono percorsi differenti** :

1. Una di queste **rimane meristematica** e **va nuovamente incontro a mitosi** ;
2. l'altra, invece, **diventa adulta e si specializza** per formare una parte della **pianta (radici, fusto, foglie e fiori)**.



Il funzionamento dei meristemi



FASI DELLO SVILUPPO DELLA CELLULA :

1) Accrescimento e distensione

La crescita cellulare nelle piante è dovuta **all'AUMENTO della quantità d' ACQUA contenuta nel vacuolo** (fino al 90% nelle cellule adulte). Grazie a questa strategia quindi le cellule vegetali possono **raggiungere dimensioni notevoli** utilizzando materiali a **basso costo energetico** ★
(come acqua e nutrienti disciolti).

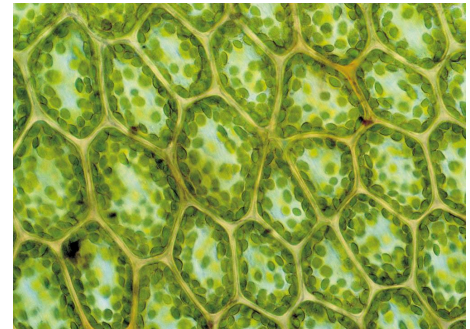
dimensioni cellula vegetale > cellula animale

2) Determinazione

E' il processo in cui le cellule ancora **meristematiche** e potenzialmente in grado di dare origine a tutti i possibili tipi cellulari **intraprendono un programma di differenziamento**.

L'inizio del processo di determinazione è causato da :

- ⇒ **meccanismi intrinseci** = relativi all'informazione genetica ;
- ⇒ **meccanismi estrinseci** = relativi alla posizione e all'età della cellula, alla disponibilità dei nutrienti e alle **condizioni ambientali**.



3) Differenziazione

E' l'insieme dei processi che portano alla formazione di **diversi tipi cellulari all'interno di un unico organismo** .

⇒ La differenziazione è il risultato di programmi specifici **dell' ESPRESSIONE GENICA** , cioè di **attivazione e/o repressione trascrizionale** .

Tutte le cellule infatti possiedono **gli stessi geni** , cioè **mantengono l'intera informazione genica**, **ma ne trascrivono solo alcuni a seconda del ruolo da assumere** ; ciò avviene **tramite una SPECIFICA ATTIVITÀ SELETTIVA** .

*Determinati **geni vengono trascritti** infatti in alcuni periodi della vita dell'organismo, mentre in **quei stessi periodi altri rimangono silenti**, e viceversa .*

Gli apparati ed i tessuti tipici della pianta adulta vengono differenziati durante lo sviluppo post-embrionale, **tramite la germinazione**, ad opera dell'attività di particolari popolazioni cellulari, **i MERISTEMI**.

3b) Processo di "DE-DIFFERENZIAMENTO" può verificarsi in due modalità :



1) ⇒ Da cellula adulta a CELLULA MERISTEMATICA :

La cellula adulta **riacquista la capacità di dividersi** dando origine a nuove cellule giovani che successivamente si differenzieranno .

2) ⇒ Da cellula adulta a CELLULA ADULTA DIVERSA :

Se per esempio una radice viene esposta alla luce, le cellule svilupperanno cloroplasti !

⇒ effetto posizione .

Il processo di **differentenziamento dipende dalla POSIZIONE finale** della cellula nell'apparato in via di sviluppo e quindi dalla funzione che essa dovrà svolgere ma anche dalle **informazioni posizionali giunte dalle cellule vicine**.



effetto posizione

"EFFETTO POSIZIONE" (4) :

--> Mentre le **cellule animali** hanno già un destino prestabilito acquisito nelle prime fasi dello sviluppo embrionale,

--> la specializzazione **delle cellule vegetali** dipende fortemente dalla **POSIZIONE della cellula**



tale processo viene definito appunto **EFFETTO POSIZIONE**.

Esso è dovuto alla **presenza della parete che impedisce la migrazione di gruppi di cellule**, come invece avviene nel corso delle prime fasi di sviluppo embrionale animale.

Le cellule vegetali vengono inoltre definite **PLASTICHE**, in quanto il **programma genico trascrizionale** può essere **modificato da variazioni dell'informazione extracellulare**.

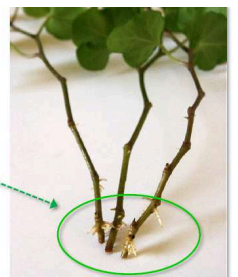
LE CELLULE VEGETALI CAMBIANO DESTINO :

1. **SE VENGONO ISOLATE DAL CONTESTO TISSUTALE ORIGINARIO**
2. **o SE LA LORO POSIZIONE NELLA PIANTA VIENE ALTERATA.**

Se una cellula vegetale si trova ad occupare un posto diverso da quello che occupava precedentemente, essa è quasi sempre in grado di acquisire l'identità appropriata alla sua nuova posizione ⇒ questo è **l'effetto posizione** !

Le cellule vegetali **possono rispondere anche a segnali posizionali che provengono dalle cellule vicine**, ad esempio **attraverso i plasmodesmi** (queste informazioni sono parte integrante dei meccanismi di differenziamento dei tessuti).

ESEMPIO : su questa particolarità si basa la produzione di piante per **talea**. La talea è il frammento di una pianta appositamente tagliato e sistemato nel terreno o nell'acqua per rigenerare le parti mancanti, dando così vita ad un nuovo organismo.



PRESENZA DI MERISTEMI (5) :

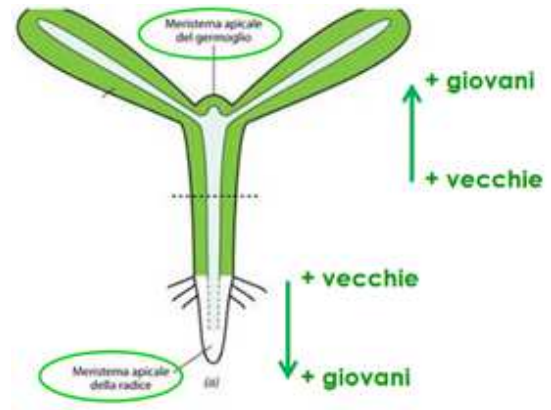
Per meristema si intende un **tessuto** le cui cellule indifferenziate mantengono la capacità di dividersi per **MITOSI**, dando così origine a nuove cellule e nuovi tessuti.

Nelle piante, durante lo sviluppo post-embrionale, **la proliferazione cellulare ha luogo solo in DETERMINATE AREE**, precisamente **in corrispondenza dei MERISTEMI**.

Tali meristemi si possono trovare sia **all'apice**, ovvero nei **germogli**, sia nelle **radici**, dando luogo a :

- **meristemi apicali** (o *meristema primario*), zona di accrescimento :
 - + **all'apice del fusto** (nelle gemme, apice vegetativo)
 - + **all'apice della radice** (*apice radicale*)
- **meristema laterale** (o *meristema secondario*) cambio

perciò l'età media delle cellule del fusto o delle radici aumenta all'aumentare della distanza dai meristemi.



L'**attività dei meristemi** e quindi la formazione di nuovi tessuti e nuove parti della pianta **è controllata da fattori estrinseci** ed **intrinseci** :

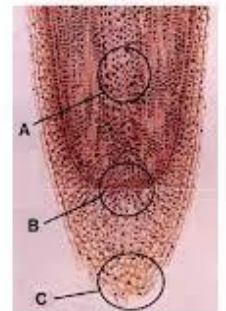
1) **fattori esogeni (estrinseci)** :

- posizione della cellula
- età cellulare
- disponibilità di nutrienti
- condizioni ambientali (es. fotoperiodo)

2) **fattori endogeni (intrinseci)** :

- informazione genetica

➤ dalle condizioni esogene: crescita indeterminata. Organismi modulari.



A – zona di accrescimento per distensione
B – zona meristematica
C – cuffia

TEORIA ORGANISMICA ⇒ INTERO ORGANISMO come UNITÀ PRIMARIA (6) :

- **TEORIA CELLULARE SOLO x MONDO ANIMALE** : Partendo dal presupposto che la CELLULA è l'unità funzionale e strutturale, il botanico Schleiden affermò che tutti i tessuti vegetali fossero costituiti da insiemi organizzati di cellule. Poi nel 1839 lo zoologo Schwann estese tale osservazione ai tessuti animali affermando che ciò valeva per tutti gli organismi viventi.
- **TEORIA ORGANISMICA** : (Tuttavia ciò venne superato dalla) **teoria organismica** che afferma che **nella pianta è l'intero ORGANISMO l'unità primaria** (e non la singola cellula) **in quanto le cellule sono tra loro interconnesse da canali** (plasmodesmi).

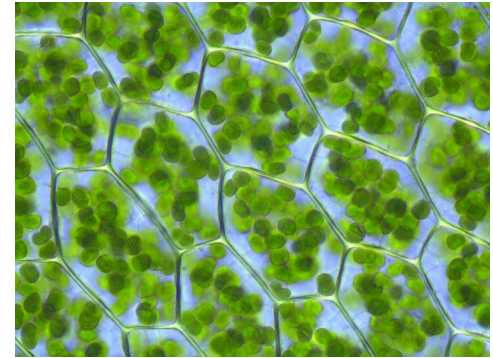
Non è la cellula bensì l'intero **ORGANISMO** l'unità primaria della vita della pianta

I PLASTIDI (PWP. 4)

I **PLASTIDI** sono **organelli ESCLUSIVI** della cellula vegetale che svolgono svariate attività metaboliche, quali:

- ★ **fotosintesi**;
- ★ biosintesi degli acidi grassi / amminoacidi / amido.

Al loro interno **contengono ribosomi** ed **uno o + nucleotidi** propri, ⇒ dunque, avendo **DNA**, i plastidi sono degli **organelli semi-autonomi** in quanto possono sintetizzare le proprie proteine (come i mitocondri) e duplicarsi per scissione binaria.



STRUTTURA dei PLASTIDI:

L'**involucro** dei plastidi è costituito da **2 membrane** separate da uno **spazio definito "spazio intermembrana"**; entrambe le membrane sono costituite da un doppio strato fosfolipidico ma differiscono per alcune particolarità:

- 1) la **membrana esterna** è **permeabile** ad un elevato numero di metaboliti.
- mentre
- 2) la **membrana interna** mostra invece una **PERMEABILITÀ SELETTIVA** e presenta delle **proteine carrier** che permettono un trasporto specifico.

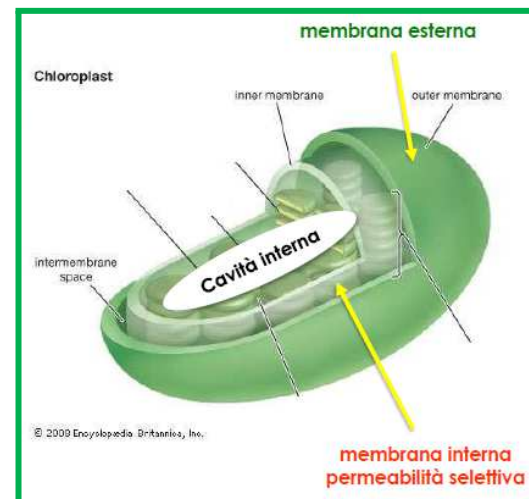
La **struttura interna** dipende dal tipo di plastidi e quindi dalla loro funzione:

- **leucoplasti** (*amiloplasti, proteinoplasti ed elaioplasti*) e **cromoplasti**:

struttura semplice e **assenza del sistema di endomembrane** (sono adibiti primariamente a deposito di sostanze)

- **cloroplasti**:

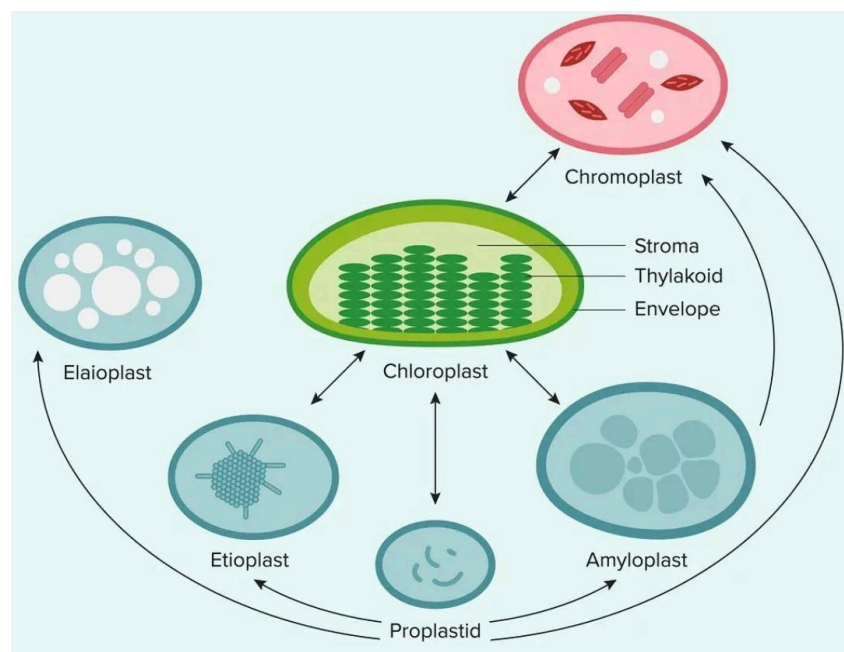
struttura complessa, solo questa classe di plastidi possiede un **sistema di endomembrane**.

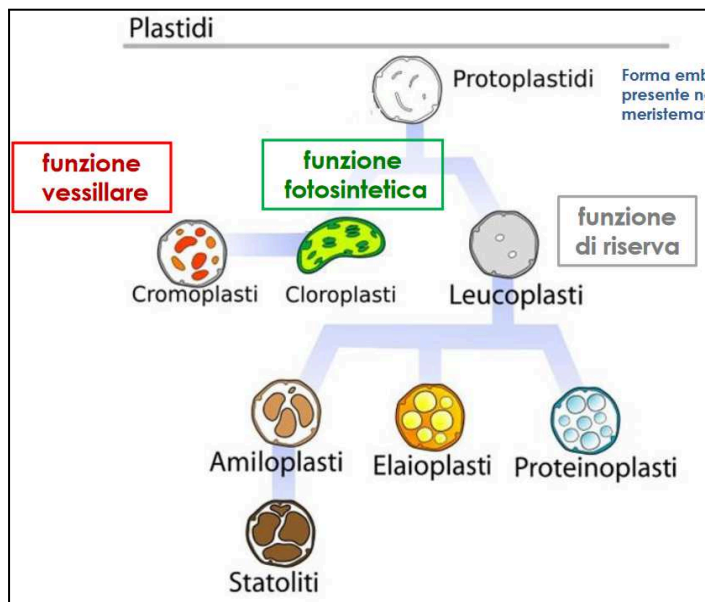


In base alla **PLASTICITÀ** delle cellule vegetali i **plastidi maturi possono trasformarsi** da un tipo all'altro **con facilità**

⇒ si può avere conversione di una forma nell'altra.

(*ad esempio* quando in autunno cambiano le condizioni climatiche, oppure durante la maturazione del frutto, i cloroplasti si convertono in cromoplasti). Se l'informazione extracellulare cambia, si può avere conversione di una forma nell'altra.



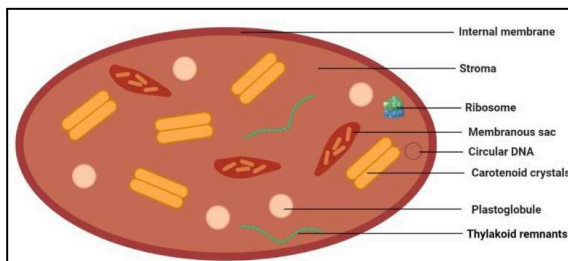


Esistono **vari tipi di plastidi** che differiscono per struttura, forma, funzioni, colore, posizione nella pianta e che **derivano tutti dalla stessa forma embrionale** :

1. protoplastidi
2. cloroplasti
3. cromoplasti
4. leucoplasti .

cloroplasti e cromoplasti ⇒ prevalgono nella **parte aerea** della pianta
leucoplasti ⇒ prevalgono nella **parte sotterranea**

1) **PROTOPLASTIDI** ⇒ o **plastidi embrionali**, sono **plastidi ancora indifferenziati**, presenti nell'embrione e **nelle cellule meristematiche** (indifferenziate). La loro differenziazione dipende sia dai meccanismi interni di regolazione che da fattori esterni quali temperatura, luce e posizione.



2) **CLOROPLASTI** ⇒ hanno una funzione fotosintetica.

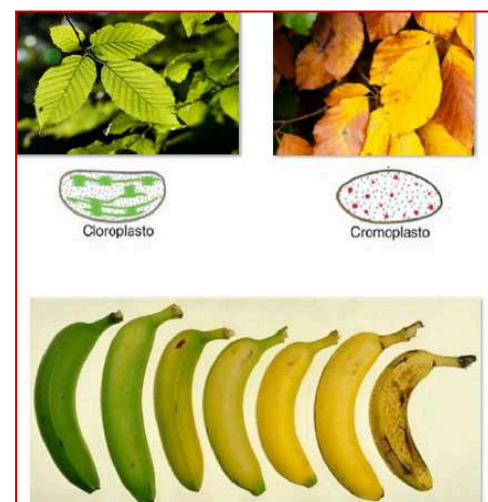
3) **CROMOPLASTI** :

- Possiedono una **struttura interna molto semplice** .
- Sono **presenti** principalmente **nei fiori e nei frutti** e hanno **FUNZIONE VESSILLARE**, ovvero sono **coinvolti nei rapporti della pianta con l'esterno**.

- I cromoplasti si **differenziano a partire dai cloroplasti** : la conversione comporta la **degradazione** dell'apparato fotosintetico , ovvero **del sistema di endomembrane** ; ⇒ tale conversione è causata da fattori ambientali (quali ad esempio luce e temperatura) ma anche intrinseci (ormoni e nutrienti).

Contemporaneamente alla degradazione dell'apparato fotosintetico diventano **visibili i pigmenti carotenoidi**. I carotenoidi sono responsabili del colore giallo, arancio e rosso di molti fiori e frutti.

ESEMPIO : Comunicare se un frutto è maturo o meno cambiando colore, e se la dispersione del seme è funzionale



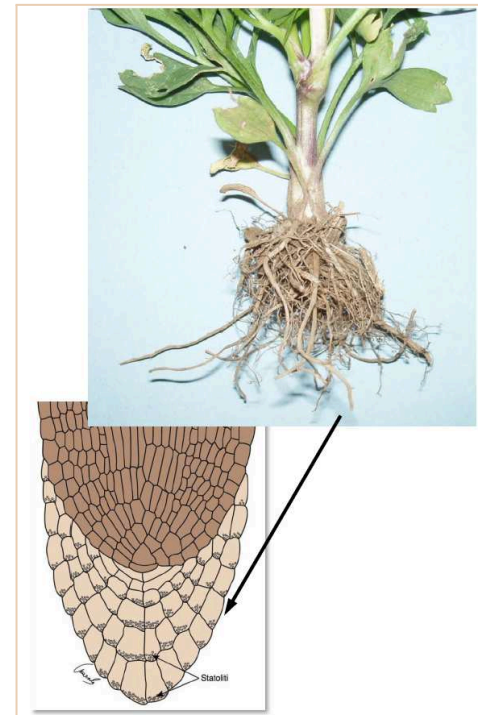
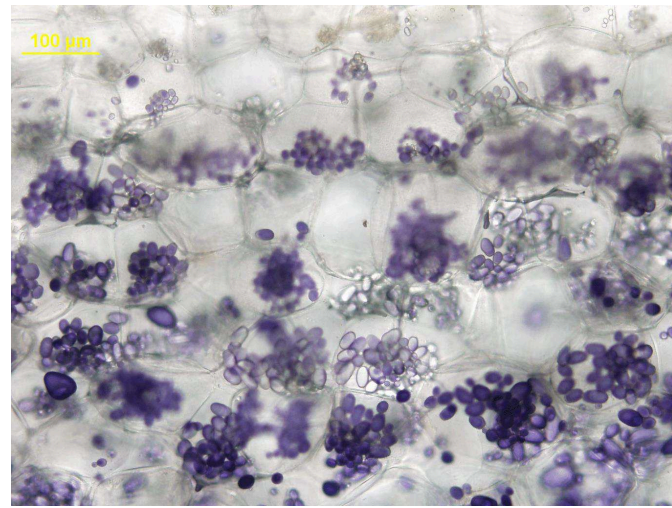
4) LEUCOPLASTI

- Sono plastidi che NON contengono pigmenti , ovvero privi di colore.
- Sono presenti nelle parti sotterranee della pianta ed a causa della posizione NON sono colpiti dalla luce.
- Presentano la funzione di accumulo di sostanze di riserva ★.
- Essi sono classificati in base alle sostanze prodotte e/o accumulate :
 - o **Elaioplasti** ⇒ accumulano lipidi nei **semi**
 - o **Proteinoplasti** ⇒ accumulano proteine nelle **radici**
 - o **Amiloplasti** ⇒ accumulano carboidrati sotto forma di amido (patata).

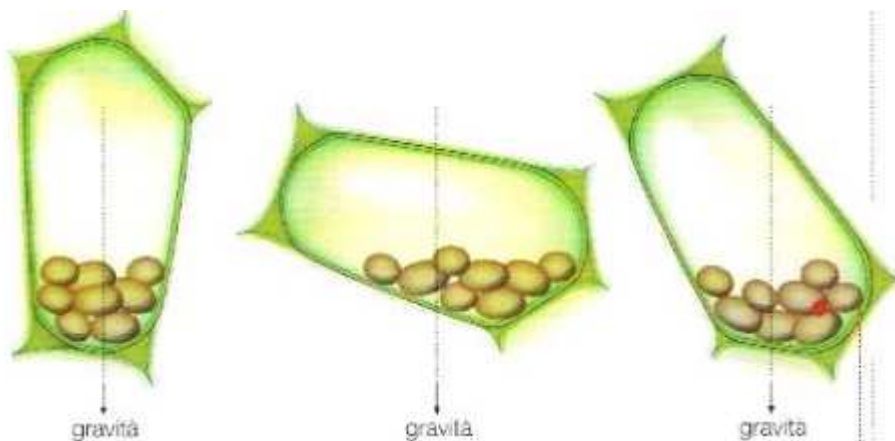
Si concentrano nelle parti della pianta specializzate per l'accumulo delle riserve, come **radici, tuberi, rizomi, semi**.

Le **radici sentono la forza di gravità** e di solito crescono verso il basso, cioè nella stessa direzione della forza di gravità.

Questo avviene perché le cellule della cuffia contengono dei **granuli di amido** detti statoliti che orientano l'accrescimento della radice sempre VERSO IL BASSO , anche se la pianta viene spostata in posizioni diverse.



ESEMPIO : Se mettiamo in orizzontale una radice, gli statoliti che normalmente si concentrano nel lato inferiore delle cellule più interne della cuffia radicale, si mettono sul lato in basso che prima era verticale. In pochi minuti la radice comincia ad incurvarsi e gli statoliti scivolano sul lato inferiore.

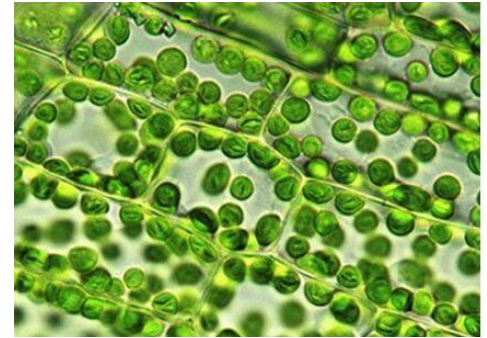
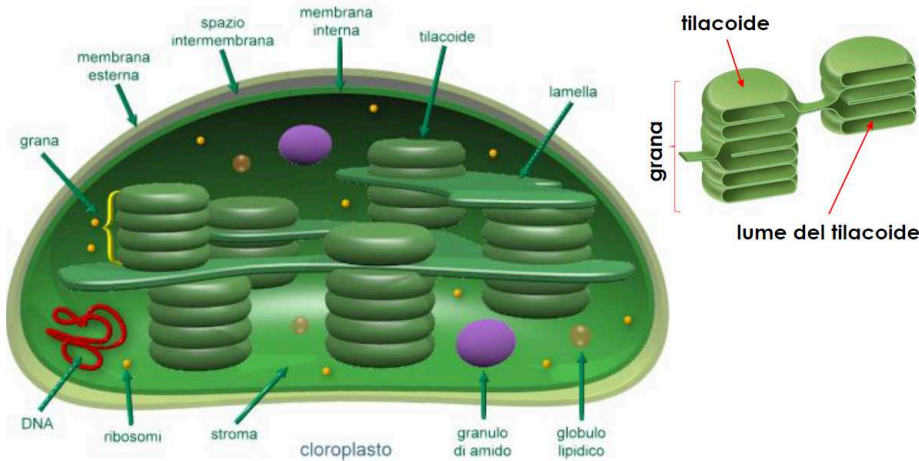


→ Il **geotropismo** è la capacità della pianta di **rispondere alla gravità**.

CLOROPLASTI

I **cloroplasti** fanno parte di una categoria di organuli che prende il nome di plastidi. La loro presenza prevale nella **parte aerea** della pianta, in quanto tali organuli sono responsabili del processo di fotosintesi clorofilliana.

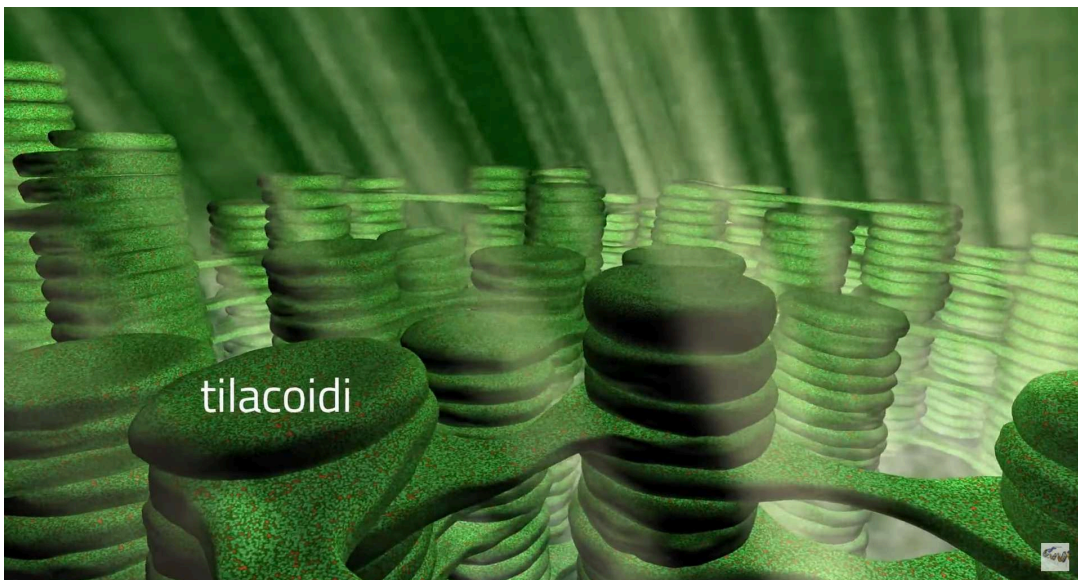
Sono **presenti in grandi quantità in TUTTI gli organismi autotrofi** e più in generale in tutte le cellule eucariotiche in grado di svolgere la fotosintesi.



STRUTTURA dei CLOROPLASTI :

Il cloroplasto è costituito da un **SISTEMA di ENDOMEMBRANE**.

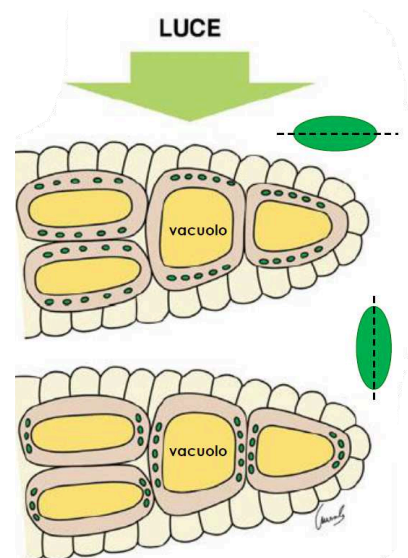
- 1) È un organulo di forma ellissoidale delimitato da una **doppia membrana**, una **esterna** ed una **interna**, separate da uno spazio intermembrana. Entrambe le membrane sono costituite da un doppio strato fosfolipidico.
- 2) Nella cavità centrale del cloroplasto è presente lo **STROMA** (~ *citoplasma*), una soluzione amorfa all'interno della quale si trovano **enzimi** per l'organizzazione del carbonio, DNA e ribosomi.
- 3) Immersi nello stroma si trovano delle strutture fondamentali per il processo di fotosintesi : i **TILACOIDI**, vescicole appiattite di forma circolare che, se **impilate tra loro**, formano delle pile dette **grana**. Anche la membrana dei tilacoidi è costituita da un doppio strato fosfolipidico e da proteine ;
 - sulle **membrane dei tilacoidi** si verifica la 1° fase della fotosintesi luce dipendente
 - nello **stroma** avviene la 2° fase della fotosintesi (luce indipendente - oscura) .



I cloroplasti hanno una **forma ellissoidale** non casuale : all'interno della cellula **possono spostarsi** , indipendentemente l'uno dall'altro , e **orientarsi secondo l'energia luminosa**

⇒ con lo **SCOPO** di **MASSIMIZZARE la superficie**.

- In condizioni di **illuminazione moderata** i cloroplasti si dispongono in modo che l'**asse maggiore** sia **perpendicolare** \perp ai raggi solari. (==> posizione **ORTOTROPA**)
- se al contrario è presente un'**illuminazione eccessiva** i cloroplasti si dispongono in modo che l'**asse maggiore** sia **parallelo** \parallel ai raggi solari. (==> posizione **PLAGIOTROPA**)



LA CLOROFILLA e I PIGMENTI FOTOSINTETICI (PWP 5):

La **capacità**, da parte della pianta, di **assorbire l'energia luminosa** è legata alla presenza dei **PIGMENTI FOTOSINTETICI** = **sostanze chimiche** che sono **in grado di assorbire** determinate **radiazioni** dello spettro luminoso, mentre si lasciano attraversare da tutte le altre.

La loro **FUNZIONE PRIMARIA** è la **FOTOSINTESI**.

Tali pigmenti si trovano **ALL'INTERNO DEI CLOROPLASTI** a livello della **MEMBRANA DEI TILACOIDI**.

Esistono **2 grandi gruppi** di pigmenti :

- clorofille (Chl)
- carotenoidi

1) LE CLOROFILLE (Chl) :

- A. **CLOROFILLA A** ⇒ è presente in **TUTTI** gli organismi. È un pigmento **fondamentale** :
- B. **CLOROFILLA B** ⇒ presente nelle **piante terrestri** e nelle **alghe verdi** :
- C. **CLOROFILLA C** ⇒ tipica delle **alghe brune** :
- D. **CLOROFILLA D** ⇒ tipica delle **alghe rosse** (quelle più in profondità)

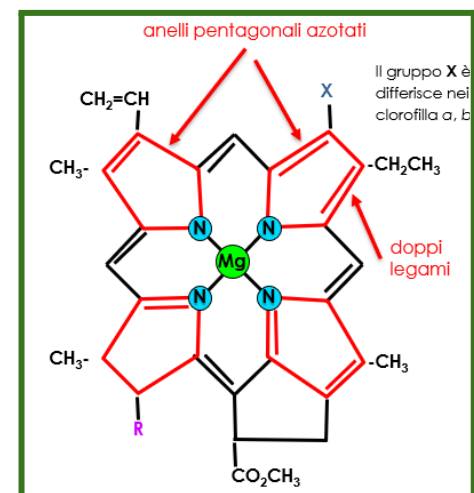
La molecola di clorofilla è formata da:

→ **4 ANELLI PENTAGONALI azotati** legati tra loro tramite **DOPPI LEGAMI**.

→ La molecola della clorofilla presenta **numerosi doppi legami**. I 4 anelli legano al centro 1 atomo di **MAGNESIO** (responsabile dell'effetto fotoelettrico).

→ Il **gruppo R** (ovvero la coda) : ha la funzione di **ancorare la clorofilla alla membrana del tilacoide**.

→ Il **gruppo X** è **variabile** e **differisce** nei vari **tipi di clorofilla** (a,b,c,d).



2) I CAROTENOIDI:

Sono dei **pigmenti solubili di colore giallo / arancio**, presenti in tutti gli organismi fotosintetici. Svolgono **2 funzioni diverse**:

1. Negli **organismi fotosintetici** prendono parte alla **catena di trasporto dell'energia** e proteggono il centro di reazione dall'ossidazione.
2. Negli **organismi NON fotosintetici** (animali) essi sono importanti per il sistema immunitario e aiutano il corteggiamento (la colorazione rossa delle aragoste è dovuta ai carotenoidi).



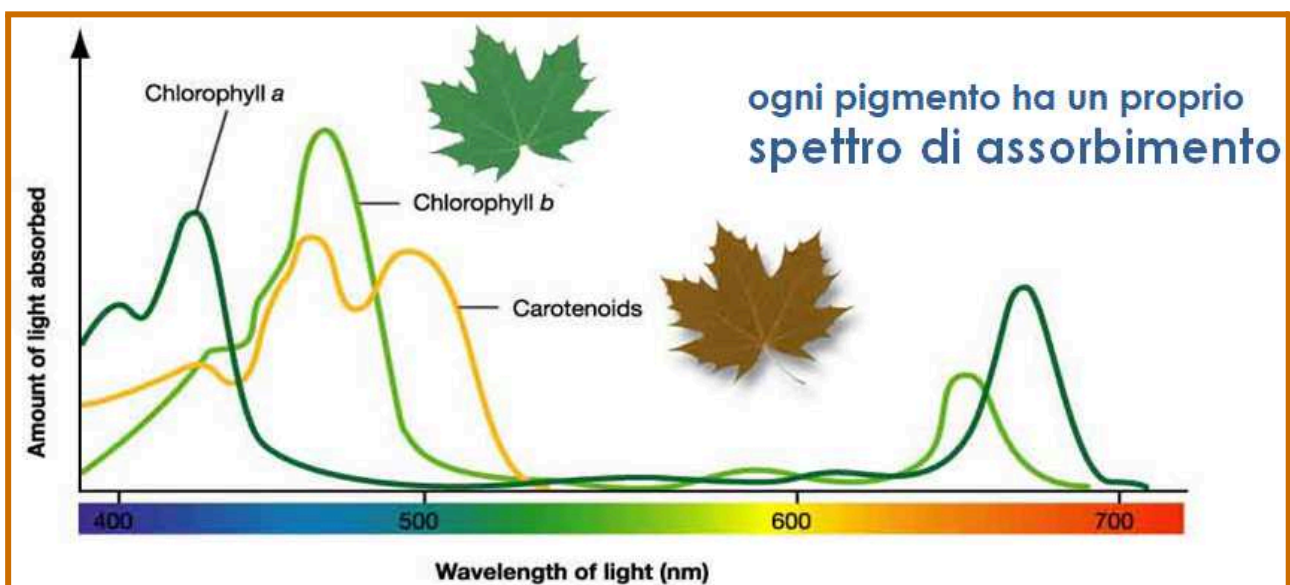
Ogni pigmento fotosintetico si caratterizza per la propria capacità di assorbire lunghezze d'onda differenti, perciò lo **spettro di assorbimento** risulterà **differente di clorofilla in clorofilla**.

IN GENERALE : le **clorofille** assorbono la **luce rossa e blu** (maggior E) e invece **RIFLETTONO quella verde** ; questo fatto conferisce alle foglie il tipico colore verde.

La clorofilla B e i carotenoidi sono definiti **PIGMENTI ACCESSORI** in quanto essi permettono L'UTILIZZO DI UNO **SPETTRO DI ASSORBIMENTO PIU' AMPIO** di quello possibile con la sola clorofilla

A !!

⇒ il range di lunghezze d'onda utilizzabili per la fotosintesi aumenta.



STRUTTURA DEL FOTOSISTEMA :

Un **FOTOSISTEMA** è un **complesso proteico** formato da raggruppamenti di 200/400 **molecole di pigmenti** (clorofilla A, B e carotenoidi) che catturano la luce .

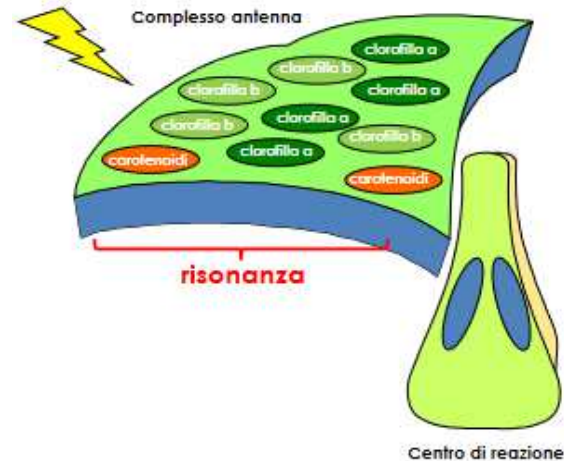
Ogni fotosistema è costituito da :

- complessi antenna
che circondano
- un centro di reazione

1) COMPLESSI ANTENNA :

I complessi antenna sono costituiti da **pigmenti di clorofille A** (in quantità superiori), clorofilla B e carotenoidi. La loro **funzione** è quella di **catturare la luce**.

I **COMPLESSI ANTENNA** **assorbono** infatti **i fotoni** della luce solare e **trasferiscono l'energia** -> **al centro di reazione**.

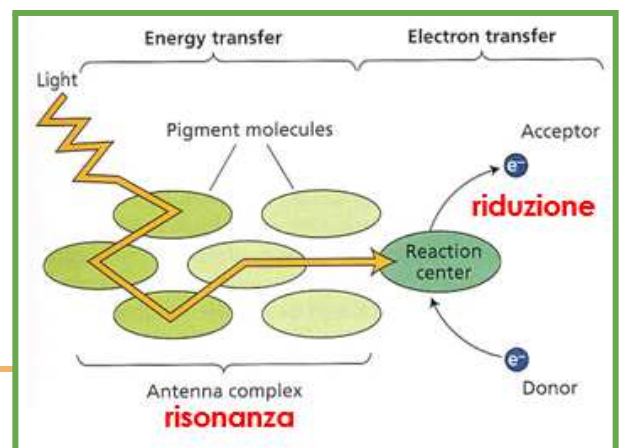


2) Un CENTRO DI REAZIONE :

Il centro di reazione consiste in **1 sola molecola di clorofilla A**.

Tramite il **processo di risonanza**, l'energia degli elettroni giunge al centro di reazione.

Qui la molecola di clorofilla A **don**a il proprio elettrone ad una molecola **accettrice** andando così **incontro al processo di riduzione**, di conseguenza essa è l'unica molecola a **rimanere temporaneamente senza un elettrone**; esso viene immediatamente rimpiazzato grazie alla **scissione dell'acqua**.



IL magnesio svolge UN RUOLO CRUCIALE :

è il responsabile dell' **EFFETTO FOTOELETTRICO** caratteristico dei **metalli**

⇒ esso assorbe energia caricandosi positivamente



EFFETTO FOTOELETTRICO a carico del Magnesio

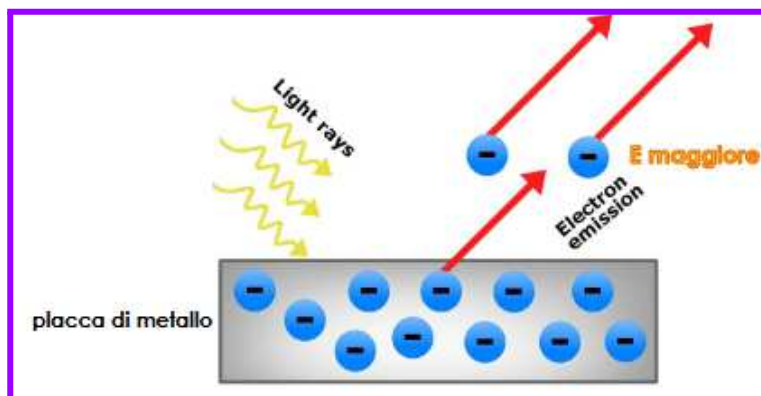
L'utilizzo della luce come fonte di energia si basa **sull'EFFETTO FOTOELETTRICO** per cui :

- quando un **metallo** viene colpito da una radiazione con una **lunghezza d'onda critica** per quel metallo, esso ne assorbe l'energia e si carica positivamente.
- La radiazione provocherà l'**estrusione di elettroni** dagli atomi del metallo, che **passeranno per un brevissimo lasso di tempo allo stato eccitato**.
- (⇒ solo se la luce giunge con la **lunghezza d'onda critica** avviene questo effetto , ovvero solo così gli elettroni vengono eccitati al punto da andarsene momentaneamente).

SE NON TI E' ANCORA CHIARO :

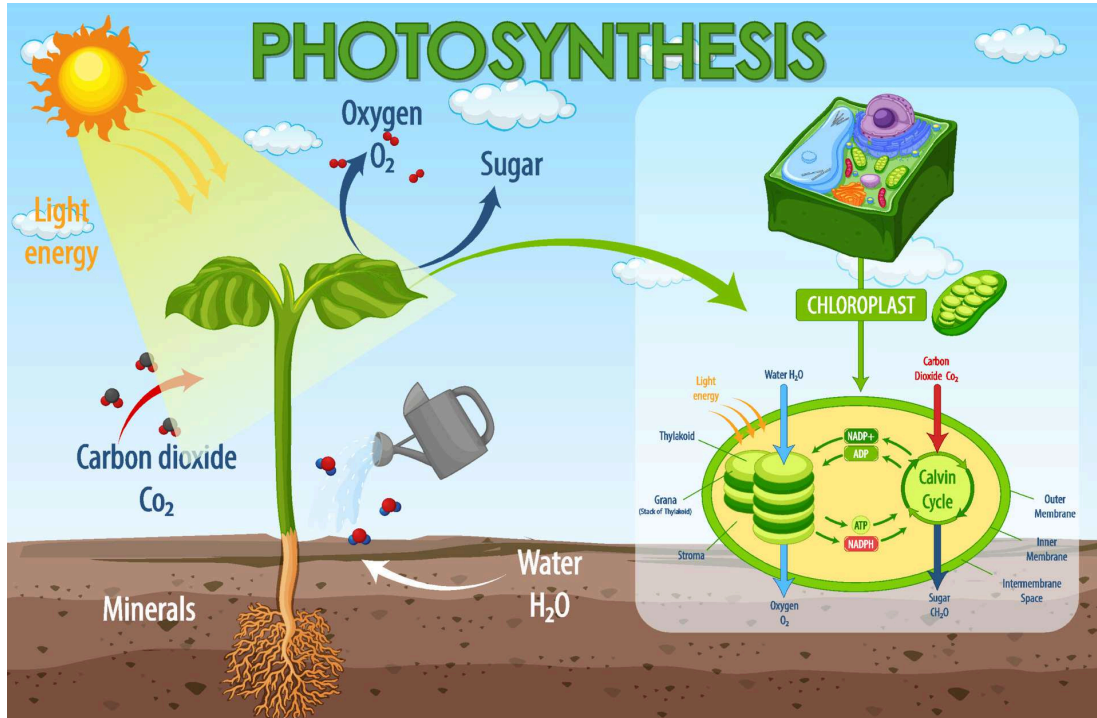
Quando un metallo viene colpito da un **fotone** e ne **assorbe l'energia**, uno dei suoi **elettroni** viene **eccitato** e salta su un **livello elettronico a energia maggiore**.

Quasi immediatamente **l'elettrone torna al livello di energia originario** e, durante questo processo, **l'energia in più che aveva acquistato viene liberata**.



LA FOTOSINTESI

La **FOTOSINTESI** è il processo attraverso il quale gli **organismi autotrofi**, partendo da **SOSTANZE INORGANICHE**, quali l'**anidride carbonica** presente nell'atmosfera e l'**acqua** assorbita dal terreno, e tramite l'**energia solare**, producono una molecola di **glucosio** ($C_6H_{12}O_6$) e rilasciano **OSSIGENO** come prodotto di scarto.



La fotosintesi produce un'enorme quantità di carboidrati ; infatti le piante sono considerate **produttori primari di biomassa**.

La fotosintesi è un processo di **trasformazione dell'energia** :

L'ENERGIA LUMINOSA o SOLARE -> viene trasformata in **ENERGIA CHIMICA** , **racchiusa** in molecole di **ATP** ; durante le trasformazioni si **perde sempre un po' di energia** (2° principio termodinamica).

La fotosintesi è caratterizzata da **2 fasi strettamente collegate**:

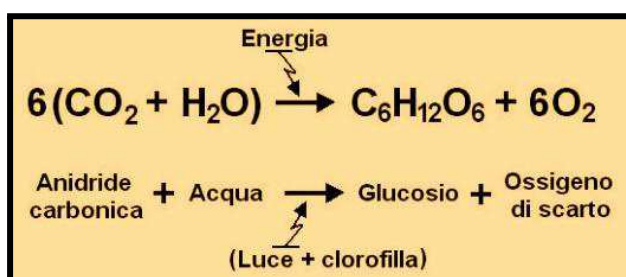
1) FASE LUMINOSA :

- l'assorbimento dei fotoni
- il trasporto degli elettroni
- la fotofosforilazione.

I **processi della fase luce** avvengono nello stesso modo in tutte le piante, mentre il **processo del ciclo di Calvin** presenta **tre varianti** (a causa degli adattamenti ambientali).

2) FASE BUIA :

- ciclo di Calvin



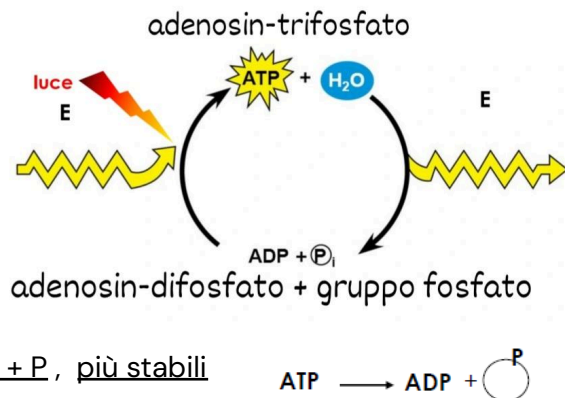
Equazione complessiva della fotosintesi.

1) La FASE LUMINOSA ★ :

- Avviene nelle **membrane dei tilacoidi** ;
- **Necessita di luce, ovvero di energia solare** e di **molecole di acqua** per avvenire ;
- viene rilasciato **ossigeno** (O_2) -> come **prodotto di scarto** ;
- vengono **prodotte 2 molecole : 1 ATP★ e 1 NADPH**, una molecola ad alto potere riducente .

RIGUARDO L'ATP ★

L'ATP, un composto ad alta energia, viene prodotto con una **reazione endoergonica**, ovvero tramite una reazione che necessita di un **assorbimento di ENERGIA dell'esterno**.



⇒ L'ATP è una molecola molto instabile che **tende a perdere facilmente il terzo gruppo fosfato**, e quindi a scindersi in **ADP + P**, **più stabili** della molecola di partenza.

Tale scissione è una **reazione esoergonica** (che libera energia) ⇒ **l'energia contenuta nell'ATP viene subito utilizzata** nelle reazioni di **organizzazione del carbonio !!**

L'ATP avendo una vita di pochi secondi, deve essere prodotto in continuazione ; tuttavia poiché è necessaria la luce per produrlo tramite il processo di fotosintesi, le piante accumulano l'energia per l'uso successivo sotto forma di :

- molecole di zuccheri (glucosio), come riserva a breve termine
- amido (polisaccaride) come riserva a lungo termine.

REAZIONE ENDO-ERGONICA ("prendere")-(<i>"energia"</i>) :	Viene richiesta energia (---)
REAZIONE ESO-ERGONICA (" <i>rilascia</i> ")-(<i>"energia"</i>) :	C'è un rilascio di energia (+++)

NEL DETTAGLIO :

In **termini chimici** :

La fase luminosa della fotosintesi consiste in una **serie di OSSIDORIDUZIONI**, in cui **ogni molecola si comporta**, di volta in volta, **da accettrice e donatrice di elettroni** :

- quando una molecola **accetta un e^- si riduce** ed acquista energia ;
- quando una molecola **cede un e^- si ossida** e ritorna all'energia di partenza.



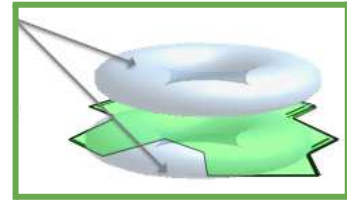
La fotosintesi è una **REAZIONE REDOX** in cui gli atomi di idrogeno sono trasferiti dall'acqua all'anidride carbonica.

1. ASSORBIMENTO FOTONI :

ELETTRONI della CLOROFILLA :

La molecola della clorofilla presenta **numerosi DOPPI LEGAMI** ;

→ gli **elettroni dei doppi legami** sono **delocalizzati** e formano **2 anelli** : uno sopra e uno sotto il piano della molecola.



Questi elettroni sono debolmente legati alla clorofilla, e possono essere facilmente eccitati e trasferiti ad altre molecole quando un fotone colpisce la molecola di clorofilla.

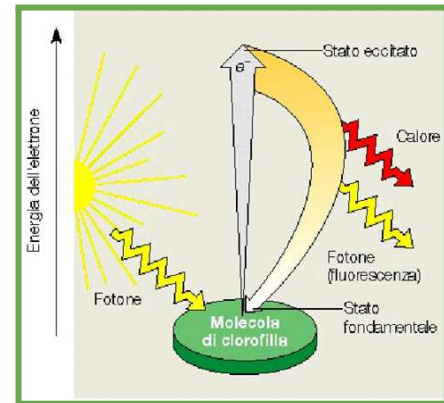
⇒ L'elettrone passa a un livello energetico superiore, ovvero in uno stato definito **"eccitato"**.

Quando l'elettrone viene eccitato **si possono verificare 3 processi** :

1) FLUORESCENZA (libera energia) :

l'elettrone eccitato **RITORNA** sulla molecola di clorofilla di partenza, CEDENDO l'energia assorbita SOTTO FORMA di CALORE.

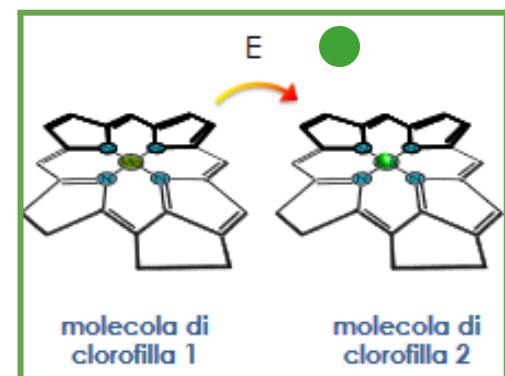
(NEI CLOROPLASTI NON AVVIENE MAI la fluorescenza)



2) RISONANZA (TRASFERIMENTO DI ENERGIA) :

L'elettrone eccitato **RITORNA** sulla molecola di partenza

TRASFERENDO L'ENERGIA ACQUISITA ad una molecola di clorofilla vicina. Questa trasferisce a sua volta l'energia acquisita alla molecola adiacente e così via ...



Nel complesso antenna avviene sempre il TRASFERIMENTO x RISONANZA degli e-

3) RIDUZIONE → (l'elettrone **NON** torna a casa) :

L'elettrone eccitato viene **TRASFERITO** ad una molecola accettore. La molecola che ha perso l'elettrone si ossida, mentre quella che lo acquista si riduce ⇒ **ciò avviene SOLO nella clorofilla A del centro di reazione.**

(IL TRASFERIMENTO x RIDUZIONE avviene 1 sola volta nel CENTRO di REAZIONE)

COSA AVVIENE NELLA MOLECOLA DI CLOROFILLA ??

Quando una clorofilla del complesso antenna viene colpita da un fotone, essa ne assorbe l'energia solare.

Ciò fa sì che si verifichi il **PROCESSO di RISONANZA** per il quale l'elettrone eccitato trasferisce la propria energia alla molecola adiacente.

Tale processo si ripete di molecola in molecola in tutto il complesso antenna, fino ad arrivare al centro di reazione.

Qui **la molecola di clorofilla A** va incontro al **PROCESSO di RIDUZIONE** :

- L'elettrone eccitato viene donato ad una molecola accettrice (che si riduce) ;
- La molecola di **clorofilla A**, rimasta momentaneamente **priva di un elettrone** (si è ossidata), **lo recupera** grazie alla **scissione di una molecola d'acqua**.

Questo ultimo passaggio da **l'avvio alla catena di trasporto di elettroni**.

2 FOTOSISTEMI :

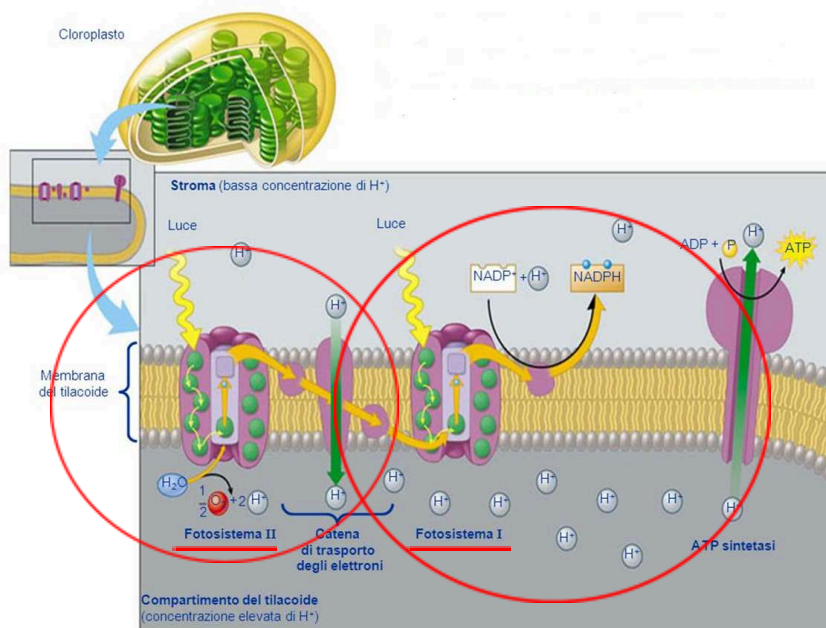
Nella fotosintesi **cooperano 2 FOTOSISTEMI fisicamente DISTINTI**, localizzati entrambi nella **membrana dei tilacoidi**; ognuno comprende un centro di reazione, un complesso antenna e una **catena di TRASPORTO DEGLI ELETTRONI**, cioè **una serie di trasportatori che ricevono e cedono gli elettroni «a cascata» uno dopo l'altro**.

Questi due fotosistemi differiscono per alcune caratteristiche e funzioni :

1. **Fotosistema II** → in cui agisce la clorofilla A è chiamata **P680**
2. **Fotosistema I** → in cui agisce la clorofilla A è chiamata **P700**

La lettera **P** sta per **Pigmento** e i numeri 700 / 680 si riferiscono ai **picchi in nanometri nello spettro di assorbimento**.

Essi **lavorano in serie** e **funzionano da vettori di elettroni** :

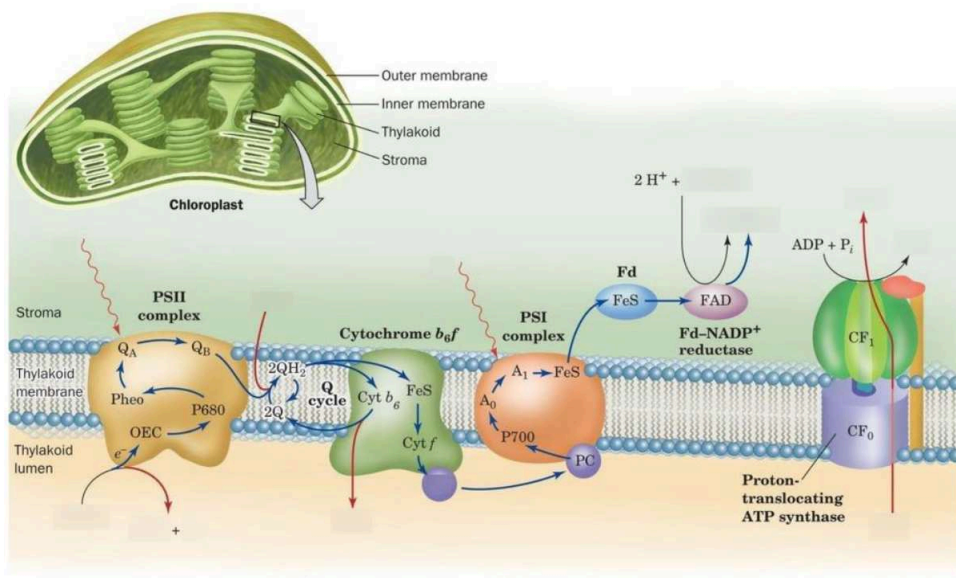
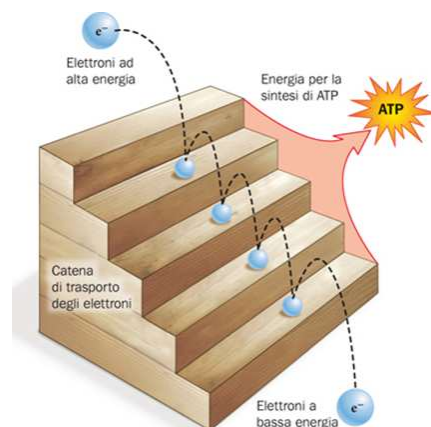


PARTE IL FOTOSISTEMA II , SEGUITO DAL FOTOSISTEMA I

Durante la fase luminosa essi utilizzano l'energia solare per spingere gli elettroni lungo una serie di trasportatori.

La luce , sotto forma di fotoni, eccita gli elettroni delle molecole di clorofilla dei fotosistemi che vengono poi convogliati lungo la catena di trasporto degli elettroni che **rilascia energia in corrispondenza di ogni passaggio**.

Tutta questa energia liberata viene utilizzata per la sintesi di molecole di ATP !!

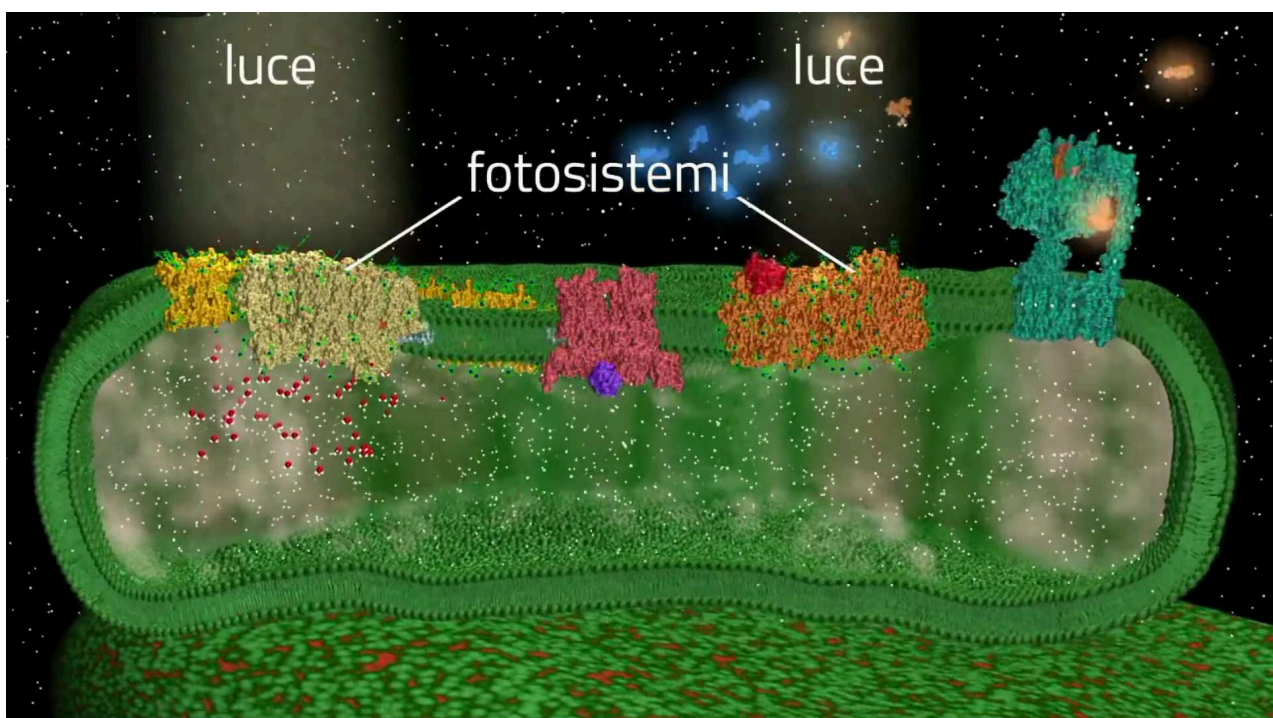
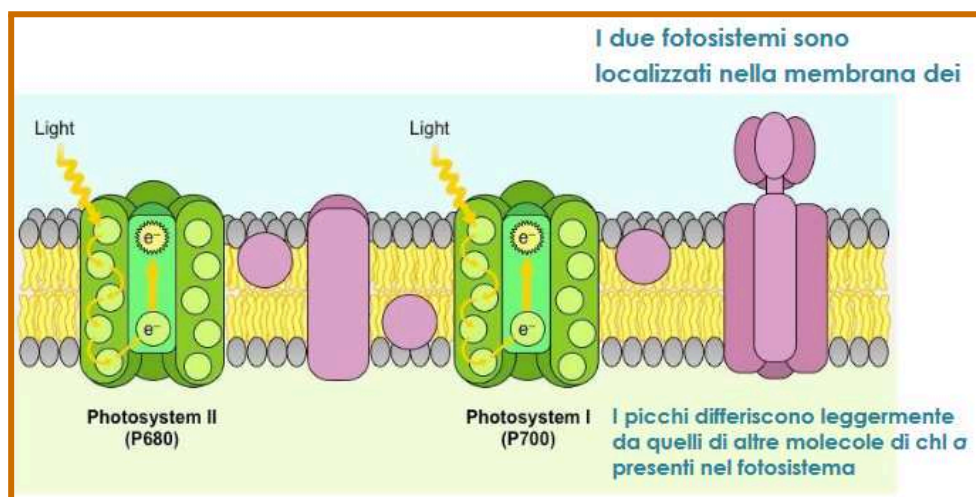
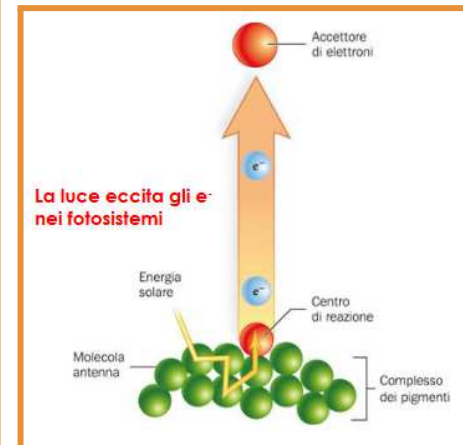
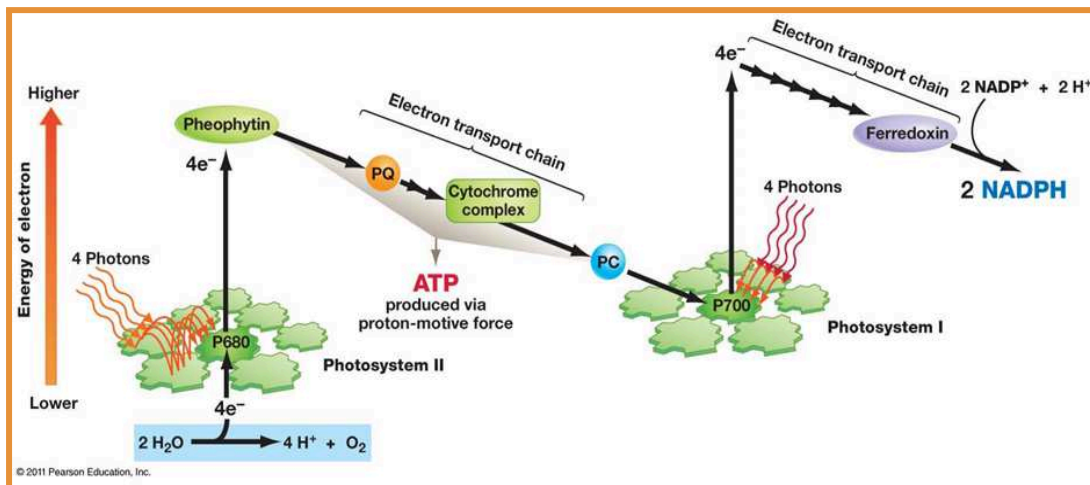


LO SCHEMA Z :

Le reazioni che si svolgono alla luce seguono un percorso sequenziale detto **SCHEMA Z**, ma in realtà **i 2 fotosistemi lavorano in maniera simultanea** e continua per evitare che il processo subisca soste; gli elettroni seguono un percorso non ciclico che ha inizio nel fotosistema II.

Lo schema Z si compone di due fotosistemi :

- II **fotosistema II** e riguarda la fotolisi dell'acqua e la produzione di **ATP** ★
- I **fotosistema I** e riguarda la produzione di **NADPH**.



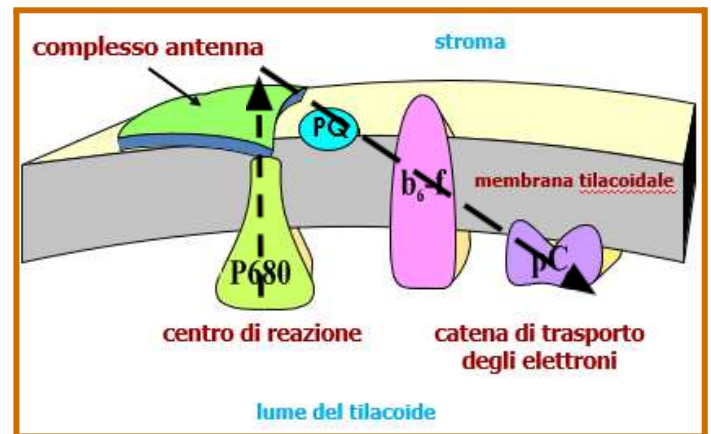
2. CATENA DI TRASPORTO DEGLI ELETTRONI :

FOTOSISTEMA II (è il primo che agisce [l'elettrone servirà per il FS I]) :

È costituito da :

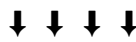
- Un complesso antenna
- Un centro di reazione **P680**
- Una catena di trasporto degli elettroni, che libera energia a ogni passaggio. Composta da:

1. **plastoquinone** ;
2. **citocromo B₆F** ;
3. **plastocianina** .



L'EVENTO FOTOCHIMICO PRIMARIO è il trasferimento di 1 e⁻ dalla clorofilla **P680** del centro di reazione ad una molecola accettrice.

- ⇒ L'evento fotochimico primario dà avvio al meccanismo di trasporto degli elettroni ;
- ⇒ All'entrata della catena di trasporto arrivano **elettroni** in uno **stato altamente energetico**, perché eccitati dall'assorbimento della luce.
- ⇒ Essi verranno quindi **passati da un trasportatore all'altro in discesa, RILASCIANDO ENERGIA !!**



- La **1° molecola accettrice** della catena è il **PLASTOCHINONE** . Il **primo trasportatore mobile del processo** che una volta ricevuti gli elettroni eccitati della clorofilla del P680 , si muove verso il citocromo B₆F, e una volta a contatto con esso, gli cede gli elettroni ed è pronto per ricominciare il ciclo.
- La **2° molecola accettrice** della catena è il **citocromo B₆F** , un **complesso proteico intrinseco** che, quando riceve gli elettroni dal plastoquinone, utilizza parte dell'energia per pompare protoni H⁺ dallo stroma all'interno dei tilacoidi. Ciò contribuisce alla formazione di un **gradiente elettrochimico** tra i 2 lati della membrana, che verrà poi sfruttato dall'enzima ATP – SINTETASI per sintetizzare ATP.
- La **3° e ultima molecola accettrice** della catena è la **plastocianina** , un **trasportatore mobile** che ha la funzione di portare gli elettroni dal citocromo B₆F alla molecola di clorofilla A del centro di reazione del fotosistema I.

Il trasferimento degli e⁻ attraverso la catena di trasporto è un **processo ESOERGONICO** : a ogni passaggio viene liberata parte dell'energia iniziale ; gli elettroni tornano alla fine della catena allo stato di energia fondamentale.

⇒ Parte dell'energia viene **sfruttata dal citocromo B₆F** per :

- **pompare ioni H⁺ dallo stroma al lume dei tilacoidi**. -> In quanto processo che avviene **CONTRO GRADIENTE**, esso richiede energia che viene appunto presa dagli e⁻ della catena di trasporto.

CONTEMPORANEAMENTE AVVIENE :

IL PROCESSO DI FOTOLISI DELL'ACQUA

La clorofilla A del centro di reazione dopo aver ceduto l'elettrone alla molecola accettrice, il plastochinone, si trova in uno stato ossidato (ha **carica +**). Per ritornare allo stato originale ha però bisogno di **recuperare un elettrone**.

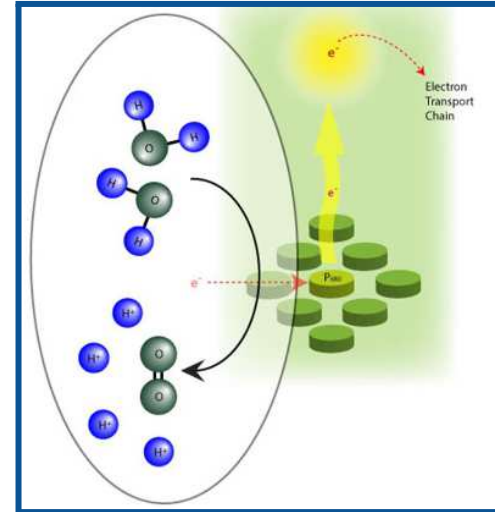


Gli elettroni vengono recuperati grazie all'OSSIDAZIONE di una molecola d'acqua; tale processo prende il nome di **FOTOLISI dell'acqua** :



Per ogni molecola di H_2O , viene prodotta $\frac{1}{2}$ molecola di O_2 , 2 ioni H^+ (protoni) e 2e^- .

L'atomo di ossigeno prodotto è molto **reattivo**, e tende ad associarsi immediatamente ad un altro atomo di ossigeno : si forma così una **molecola di O_2**



-> **PRODOTTI dell'ossidazione di 2 MOLECOLE D'ACQUA H_2O :**

- **1 MOLECOLA DI O_2 : PRODOTTO DI SCARTO**

L' O_2 in forma gassosa **viene liberato** : si sposta dal cloroplasto agli spazi presenti nel tessuto spugnoso del mesofillo, e **fuoriesce in atmosfera attraverso gli stomi**.

(\Rightarrow l'ossigeno viene liberato nell'atmosfera);

- **4 IONI H^+ \Rightarrow PROTONI : FONDAMENTALI PER CREARE IL GRADIENTE PROTONICO e FORMARE ATP :**

Gli H^+ che si formano con l'ossidazione dell' H_2O **restano all'interno del lume del tilacoide**.

L'accumulo di protoni derivante da questo processo, assieme al contributo di protoni dato dal **citocromo B6F** porta alla formazione di un **gradiente elettrochimico tra i due lati della membrana dei tilacoidi**, definito **++ GRADIENTE PROTONICO ++** :

[ioni H^+]

Stroma (dentro il cloroplasto): bassa \ **Lume** (dentro il tilacoide): alta

Questa condizione **genera una FORZA MOTRICE protonica**, che tende a far spostare i protoni verso lo stroma per riportare all'equilibrio (secondo gradiente) le differenze nella concentrazione e nella distribuzione delle cariche.

Successivamente tale gradiente verrà sfruttato dall'enzima ATP-SINTETASI per produrre ATP.

FOTOSISTEMA I :

Il fotosistema I è costituito da:

- Un **complesso antenna** formato da circa 200 molecole di clorofilla
- Un **centro di reazione P700**
- Una **catena di trasporto** degli elettroni composta da :

1. **ferredoxina**
2. **NADP⁺ reduttasi**.

Il funzionamento del complesso antenna del FS I è analogo a quello del FS II.



Per quanto riguarda il centro di reazione e la catena di trasporto, le cose cambiano leggermente:

- Quando gli elettroni delle clorofilla del **centro di reazione P700** vengono eccitati, si staccano e vengono trasferiti alla **ferredoxina** ; ha così inizio la seconda catena di trasporto degli elettroni.

La molecola di **clorofilla A** del centro di reazione dopo aver ceduto l'elettrone alla ferredoxina, si trova in uno stato ossidato (ha **carica +**). Per ritornare allo stato originale ha però bisogno di **recuperare l'elettrone**. A differenza del fotosistema II , che recupera gli elettroni tramite il processo di fotolisi dell'acqua , qui **gli elettroni vengono recuperati grazie alla CATENA DI TRASPORTO del fotosistema II :**

- la **plastocianina** del fotosistema II permette alla molecola di clorofilla A del fotosistema I di RECUPERARE gli ELETTRONI PERSI.

- La **ferredoxina** trasferisce a sua volta gli elettroni all'enzima **NADP⁺ reduttasi** , che, utilizzando un protone **H⁺** si trasforma in **NADPH , MOLECOLE CON UN ALTO POTERE RIDUCENTE** :



3. FOTOFOSFORILAZIONE

La sintesi di ATP, è definita **fotofosforilazione** poiché è la luce che la innesca ; essa avviene per **chemiosmosi**, cioè tramite il gradiente elettrochimico stabilito ai due lati della membrana del tilacoide.

L'AZIONE COMBINATA di :

- **CITOCROMO B6F** , che pompa protoni all'interno del tilacoide ;
- e del processo di **FOTOLISI DELL'ACQUA** ;

porta alla formazione di un **GRADIENTE ELETTROCHIMICO** *tra i due lati della membrana dei tilacoidi* , definito **++ GRADIENTE PROTONICO ++** .

[ioni H₊]

Stroma (dentro il cloroplasto): bassa \ **Lume** (dentro il tilacoide): alta

Il gradiente protonico fa sì che vi sia una differenza del pH tra stroma (diventa **più basico**) e il lume del tilacoide (diventa **più acido**).

Questa condizione **genera una FORZA MOTRICE protonica**, che viene **sfruttata dall'enzima ATP-SINTETASI** per **produrre ATP**:

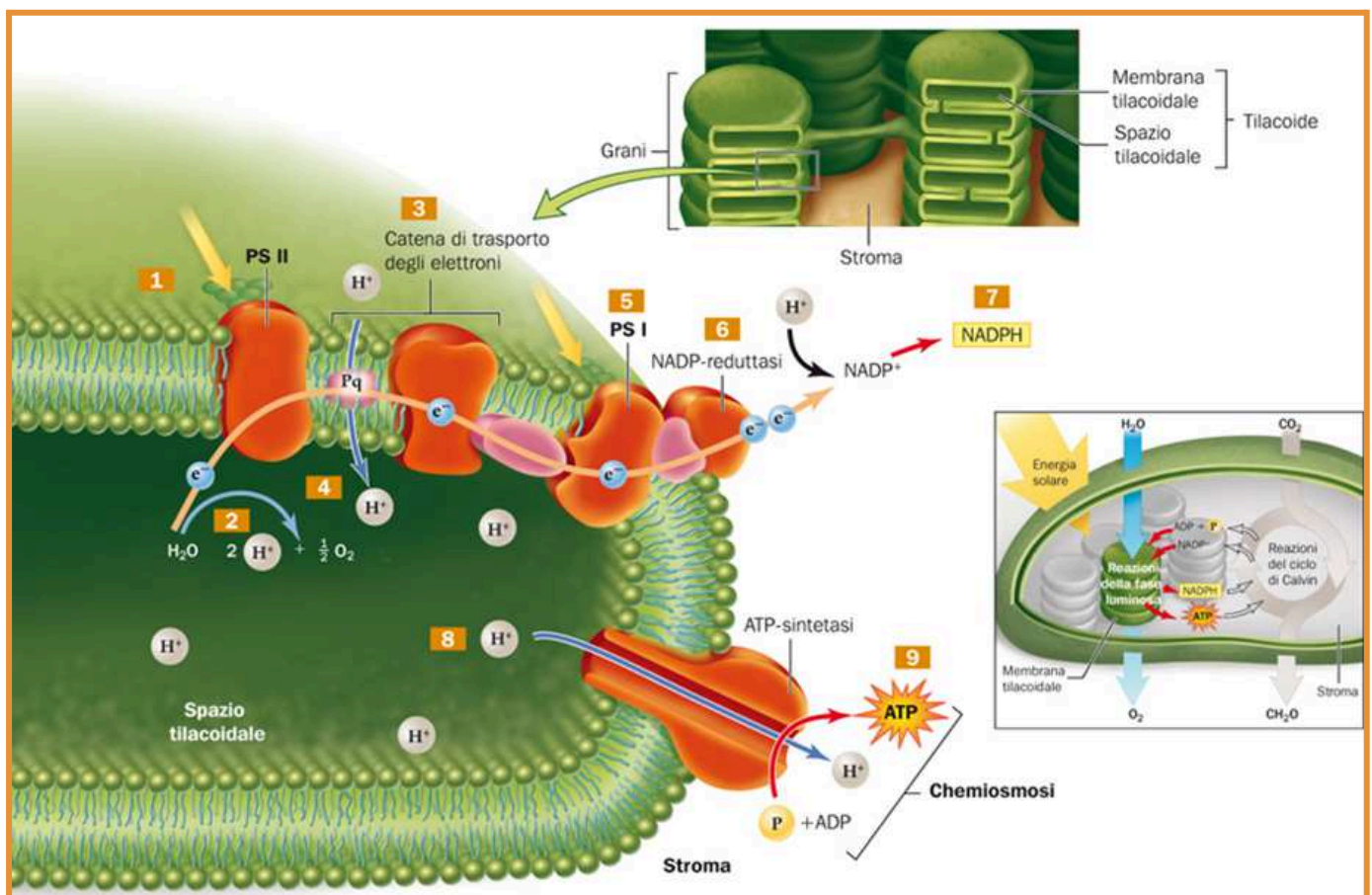
- I protoni (**H⁺**) **seguendo il gradiente** tendono spontaneamente ad uscire dai **tilacoidi** per riportare le diverse concentrazioni e distribuzioni delle cariche **all'equilibrio**.

Per farlo essi attraversano il canale proteico dell'**ATP-sintasi**. Con il passaggio fanno ruotare una delle sub-unità dell'enzima rispetto all'altra. La **rotazione induce la sintesi di molecole di ATP** a partire da **ADP + P** (gruppo fosfato).

(ogni volta che passano 3 protoni viene sintetizzata una molecola di ATP => meccanismo molto efficiente)

In questo modo l'**energia luminosa** ⇒ viene **convertita in energia chimica**.

- I prodotti della fase luminosa quindi sono:
 - $\frac{1}{2} \text{O}_2$
 - **2 ATP**
 - **1 NADPH e 1 H⁺****vengono liberati nello stroma e utilizzati nella fase buio**



I processi della fase luce avvengono **nello stesso modo in tutte le piante**, mentre il processo del ciclo di Calvin presenta **3 varianti**

2) FASE BUIA ⇒ CICLO DI CALVIN :

La **fase buia** della fotosintesi, nota anche come **ciclo di Calvin**, è la 2° fase del processo di fotosintesi e avviene nello **stroma dei cloroplasti**.

Nonostante il nome, il **processo può avvenire solo in presenza di luce**, necessaria per l'attivazione degli enzimi che **catalizzano** le reazioni (ad esempio il Rubisco).

Nella 2° fase della fotosintesi avviene la **trasformazione di** :

Energia chimica (ATP) ⇒ in un'altra forma di E chimica, i CARBOIDRATI

Questa fase **richiede** di :

- presenza di **LUCE** e **CO₂**
- **molecole di ATP e NADPH**, prodotte durante la fase luminosa, che vengono **utilizzate per ridurre l'anidride carbonica**.

I **prodotti** di questa fase invece **sono** :

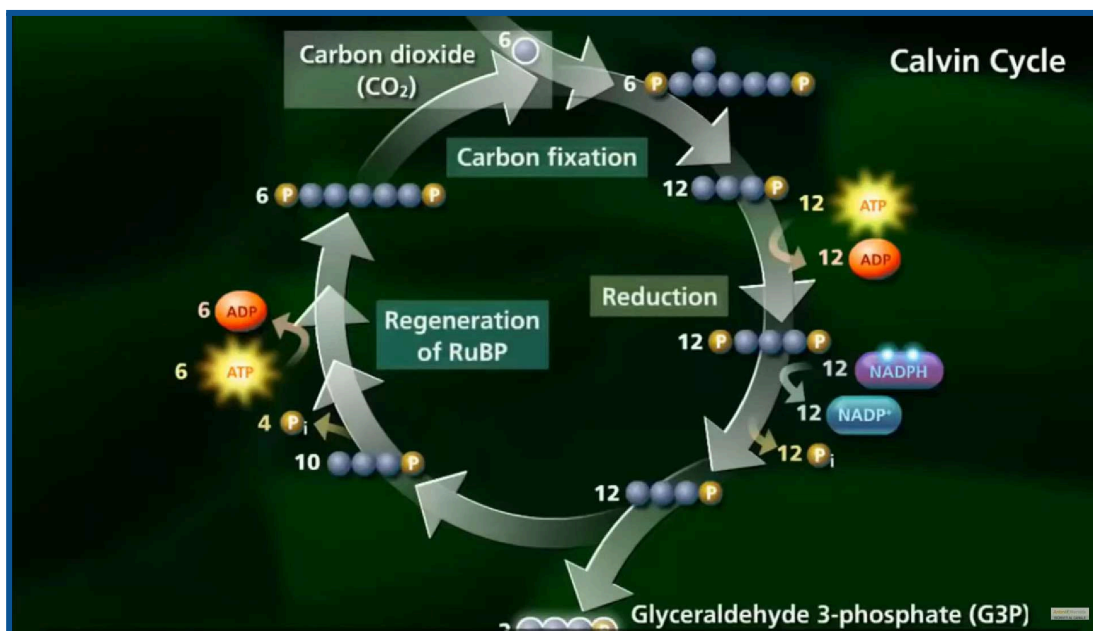
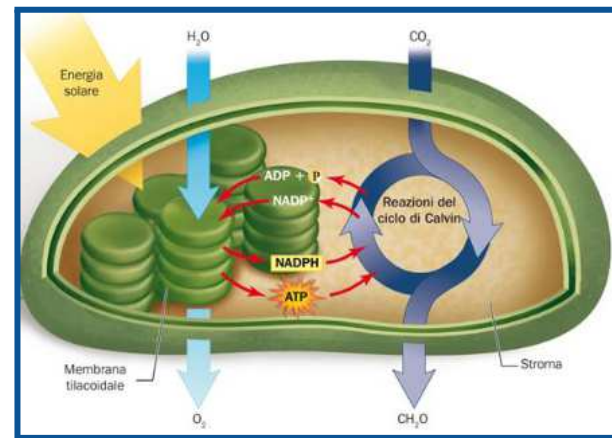
- **OSSIGENO** (O₂)
- **GLUCOSIO** o eventualmente **AMIDO**

Il ciclo di Calvin è un **processo CICLICO** formato da **tre fasi principali** :

1. **Fissazione del carbonio**
2. **Riduzione della CO₂**
3. **Rigenerazione.**
3. **Sintesi del glucosio.**

I processi della fase luce avvengono nello stesso modo in tutte le piante, mentre il ciclo di Calvin presenta **3 varianti** a causa degli adattamenti ambientali :

- 1) **ciclo C₃** – piante C₃ → **3 atomi** di carbonio (il più diffuso)
- 2) **ciclo C₄** – piante C₄ → **4 atomi** di C
- 3) **ciclo CAM** – piante CAM



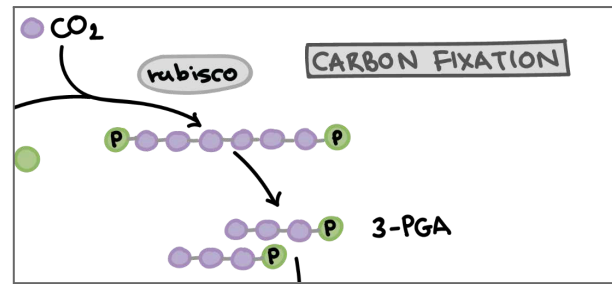
Il ciclo di Calvin è un **processo CICLICO** formato da **tre fasi principali**:

1. FISSAZIONE del CARBONIO :

L'**ANIDRIDE CARBONICA** (CO_2) si combina con il **RIBULOSIO 1,5-BIFOSFATO (RuBP)**, uno zucchero a 5 atomi di carbonio, \Rightarrow producendo 1 MOLECOLA a 6 ATOMI DI CARBONIO.



Questa molecola però è **molto instabile**, quindi immediatamente **si scinde** in due molecole di 3-FOSFOGLICERATO (**3PG**): molecole a 3 atomi di carbonio ciascuna.



Questa prima fase è **catalizzata** dall'**enzima RuBisCO** (l'enzima + abbondante nel pianeta terra).

Le molecole di 3PG rappresentano il 1° composto stabile della fotosintesi (**CICLO C3 e PIANTE C3**)

2. RIDUZIONE della CO_2 :

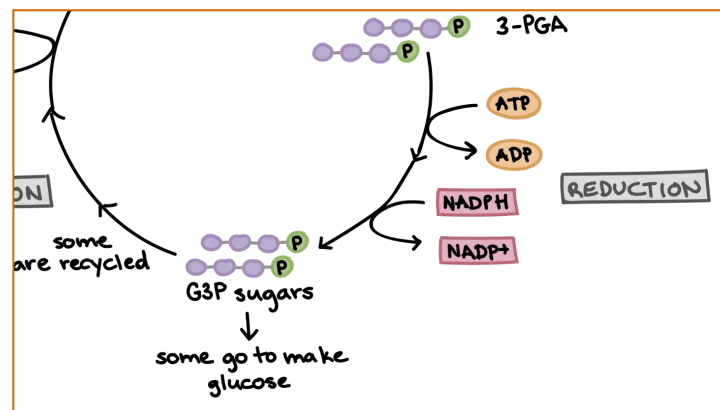
Ciascuna molecola di **3PG** viene **ridotta** nella **GLICERALDEIDE 3-FOSFATO**, detta anche **G3P**, uno zucchero fosfato a 3 atomi di carbonio.

In particolare, vengono utilizzate le molecole di **NADPH** ed **ATP** prodotte nella fase luminosa:

\rightarrow la fonte di energia è l'**ATP** ★ che compie una reazione di **fosforilazione**

mentre

\rightarrow il potere riducente del **NADPH** fa sì che si verifichi una **riduzione** (si ossida a **NADP+** liberando elettroni).



Per fissare una molecola di anidride carbonica sono necessarie 2 molecole di NADPH E 3 MOLECOLE DI ATP.

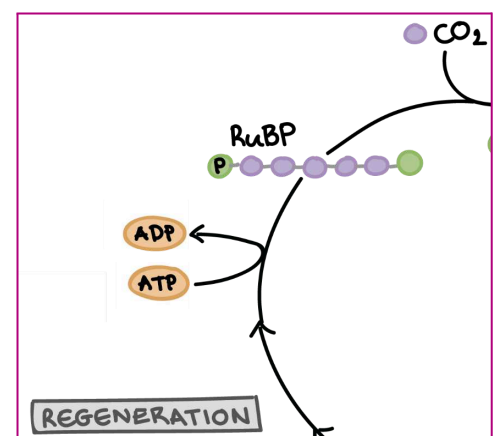
Ciclo dopo ciclo, le molecole di **GLICERALDEIDE 3-FOSFATO (G3P)** prodotte possono andare incontro a **due destini** differenti:

- ★ *rigenerazione*
- ★ *sintesi di glucosio.*

3. RIGENERAZIONE :

Nella terza parte del ciclo alcune molecole di **GLICERALDEIDE 3-FOSFATO (G3P)** vengono utilizzate per **riformare** il **RIBULOSIO BI-FOSFATO (RuBP)** con un consumo di **ATP** ★.

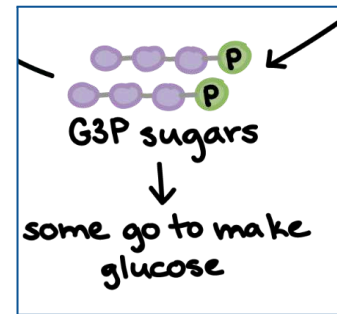
Ciò fa sì che il Ciclo di Calvin **NON si arresti** e che vengano sintetizzate le molecole necessarie per avviare un **nuovo ciclo**.



3. SINTESI DEL GLUCOSIO :

Altre molecole di **GLICERALDEIDE 3-FOSFATO (G3P)** vengono utilizzate invece per la sintesi di **GLUCOSIO**.

In particolare , per ottenere una molecola di **GLUCOSIO (C₆H₁₂O₆)** sono necessarie due molecole di **GLICERALDEIDE 3-FOSFATO (G3P)**.



Il glucosio può essere utilizzato dalla pianta come **fonte energetica**, oppure trasformato in polimeri come **l'amido** (riserva di energia) e la **cellulosa** (funzione strutturale).

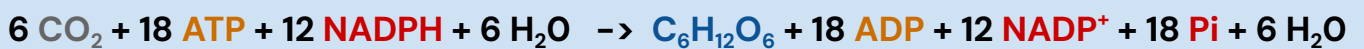


Ogni 6 Cicli di Calvin , utilizzando 6 molecole di **CO₂** e 6 molecole di **RIBULOSIO BI-FOSFATO (RuBP)** vengono prodotte **12 molecole di GLICERALDEIDE 3-FOSFATO**:

- -> **2 di queste** vengono utilizzate per **produrre 1 molecola di GLUCOSIO (C₆H₁₂O₆)** ;
- -> **Le rimanenti 10 invece** vengono **RICICLATE** .

quindi

l'equazione completa dopo 6 Ciclo di Calvin è la seguente :



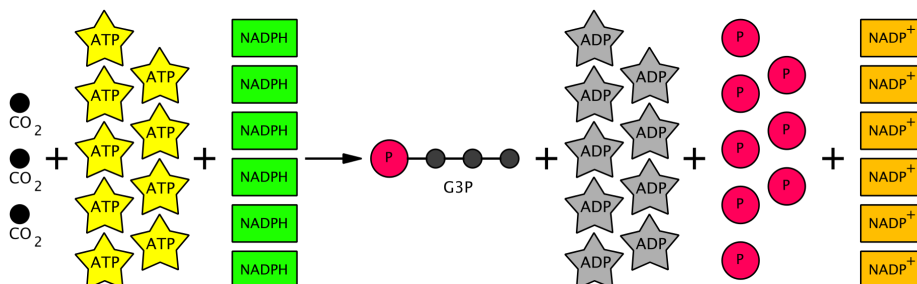
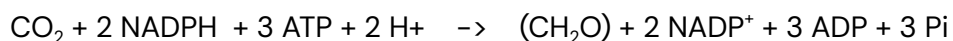
GUADAGNO NETTO :

Il processo produce un **guadagno netto di 2 MOLECOLE di GLICERALDEIDE 3-FOSFATO (G3P)** che vengono utilizzate per sintetizzare una molecola di **GLUCOSIO (C₆H₁₂O₆)**.



Queste possono essere successivamente convertite in **carboidrati**, **lipidi** e **amminoacidi**.

(con un solo ciclo invece) :



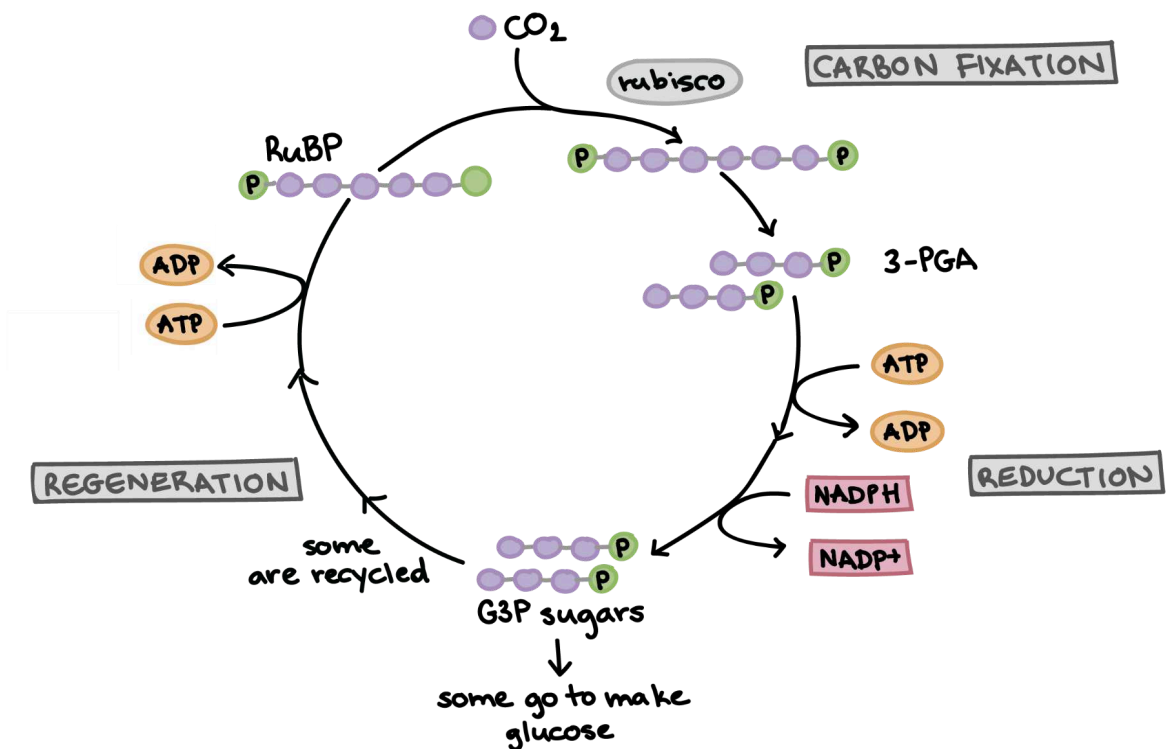
RIASSUNTO :

- una molecola di **RIBULOSIO BI-FOSFATO (RuBP)**
 - + una molecola di CO₂
- due molecole di **3-FOSFOGLICERATO (3PG)**
 - + ATP e NADH
- due molecole di **GLICERALDEIDE 3-FOSFATO (G3P)**

due possibilità :

- 1) concludere il ciclo di calvin = quindi rigenerare le **GLICERALDEIDE 3-FOSFATO (G3P)** per produrre **RIBULOSIO BI-FOSFATO** :
- + ATP
 - una molecola di **RIBULOSIO BI-FOSFATO (RuBP)**

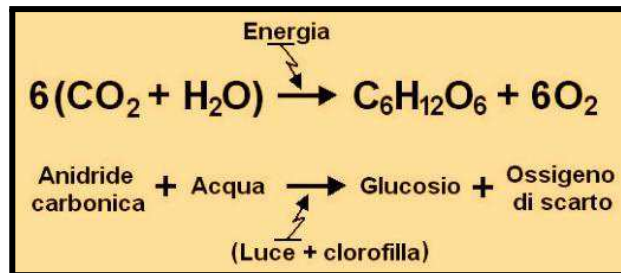
- 2) sintetizzare molecole di **GLUCOSIO (C₆H₁₂O₆)** / polimeri come l'amido e la cellulosa :
- partendo da due molecole di **GLICERALDEIDE 3-FOSFATO (G3P)** ottengo una molecola di **GLUCOSIO (C₆H₁₂O₆)**



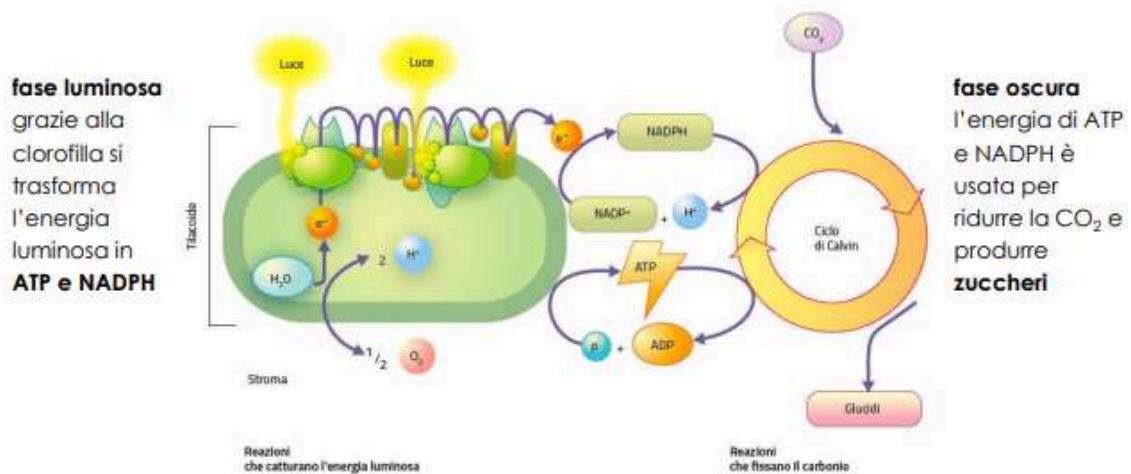
RICAPITOLANDO LA FOTOSINTESI GENERALE :

QUINDI :

Equazione complessiva della fotosintesi :



	Condizioni	Sede	Processo	Risultato
Reazioni che catturano l'energia luminosa	Si verificano solo in presenza della luce.	Tilacoidi	Trasporto di elettroni attivato dalla luce e accoppiamento chemiosmotico.	Produzione di ATP e di NADPH.
Reazioni che fissano il carbonio	Sono regolate in maniera indiretta dalla luce.	Stroma	Ciclo di reazioni biochimiche attivate da ATP e NADPH con fissazione di CO ₂ .	Sintesi di G3P, un intermedio anabolico.



DUE TIPI DI MESOFILLO :

La fotosintesi **avviene in tutte le parti verdi** della pianta, ma in particolare nelle **foglie**, che contengono un tessuto chiamato **MESOFILLO** nel quale si trovano i cloroplasti.



LE FOGLIE SONO COSTRUITE PER MASSIMIZZARE LA FOTOSINTESI

Nel corso della storia evolutiva le piante hanno messo a punto DUE tipi DIFFERENTI di mesofillo :

1) **MESOFILLO A PALIZZATA** ⇒ è formato da cellule di forma regolare, strette e **compatte**, che **assorbono l'energia luminosa** e che *nella maggior parte delle piante sono situate nella pagina superiore* della foglia.

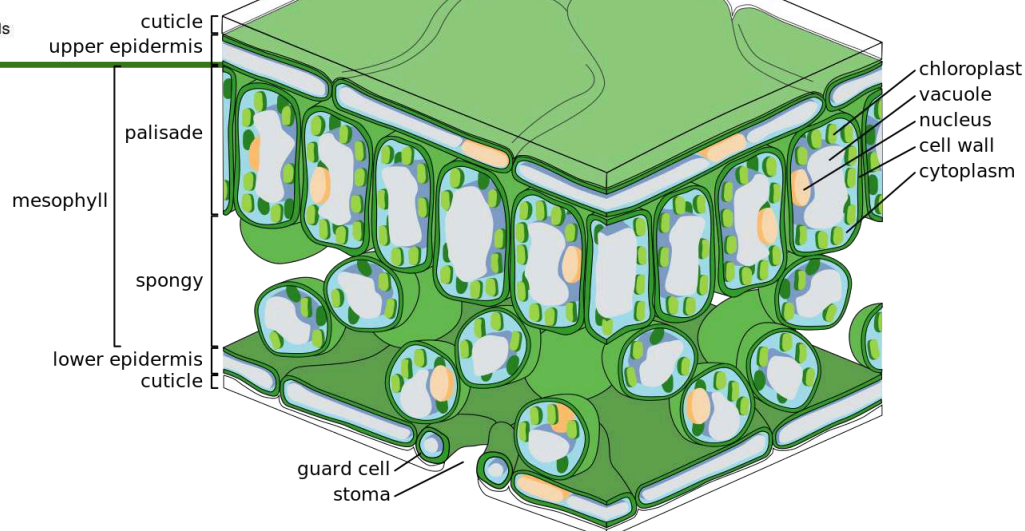
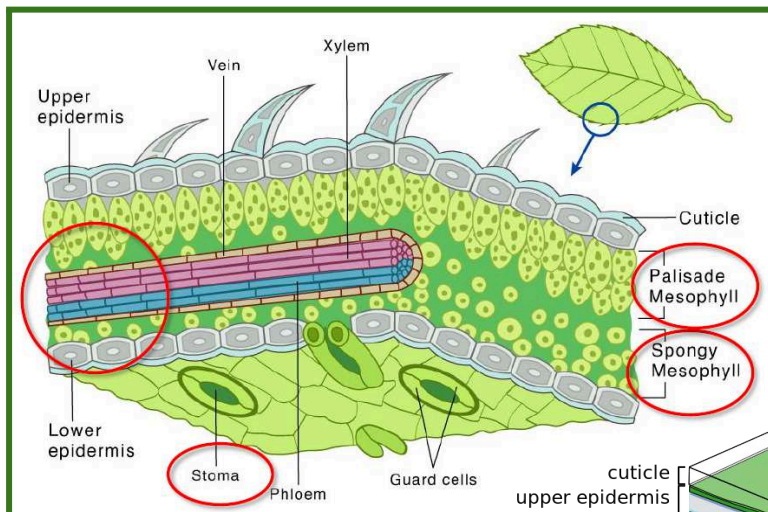


2) **MESOFILLO SPUGNOSO** ⇒ è formato da cellule sparse e **staccate**; le cellule dunque sono intervallate da **ampi spazi intercellulari** (spazi aeriferi) **che consentono gli scambi gassosi** :

- la CO₂ entra ;
- l' O₂ esce.

Le cellule del mesofillo a palizzata e del mesofillo spugnoso **contengono numerosi cloroplasti**, di conseguenza svolgono entrambe la fotosintesi .

In generale, il mesofillo, è **circondato da un tessuto di protezione esterno** , chiamato **epidermide**.



MATERIE PRIME della fotosintesi :

MATERIE PRIME	fattore limitante??	PRODOTTI
LUCE come fonte di ENERGIA (CONTENUTO ENERGETICO ≠ a seconda dell' INTENSITA' LUMINOSA)	NO	processo di fotosintesi
CO₂ (parte sotto della foglia)	NO MAI	Carboidrati
H₂O (+ioni)	SI, PUO' DIVENTARLO	O ₂ come prodotto di scarto

DEFINIZIONE: **Fattore Limitante:** qualsiasi fattore abiotico presente in quantità troppo piccole o troppo abbondanti che può limitare o arrestare la crescita di un organismo anche se tutti gli altri fattori sono in un valore ottimale.

1) LA LUCE ★ :

*La **luce solare** è una radiazione elettromagnetica proveniente dal Sole avente lunghezza d'onda e contenuto energetico variabile.*

I **parametri** da tenere in considerazione sono 2 :

1. **CONTENUTO ENERGETICO** o " **intensità luminosa** " ⇒ la **quantità di luce** richiesta dalle piante per la fotosintesi **NON è un VALORE FISSO**.

La variabilità dipende dal fatto che **piante diverse hanno NECESSITÀ di intensità luminose DIFFERENTI per compiere la fotosintesi.**

*(es: le piante **eliofile** (amanti del sole) necessitano più energia di quelle **sciafile** (amanti del buio).*

2. **La LUNGHEZZA D'ONDA** ⇒ L'energia luminosa raggiunge la terra sotto forma di **onde di diversa lunghezza** ; le piante **utilizzano solo una parte** di tale energia luminosa.

⇒ In particolare le **lunghezze d'onda + utilizzate sono quelle** che vanno dal **BLU al VIOLA (onde a > energia)**, e dall'**ARANCIONE al ROSSO (onde con - energia)**.



(le onde con maggior energia presentano una lunghezza d'onda più bassa)

!! La luce NON è un fattore limitante !!

né come intensità né come lunghezza d'onda, ovvero la sua quantità non può limitare o arrestare la crescita di un organismo.

MA COME SI COMPORTA LA LUCE IN ACQUA???

La luce, quando attraversa una massa d'acqua, **modifica la sua intensità e lunghezza d'onda** a causa di **2 fenomeni** :

- RIFLESSIONE
- ASSORBIMENTO SELETTIVO

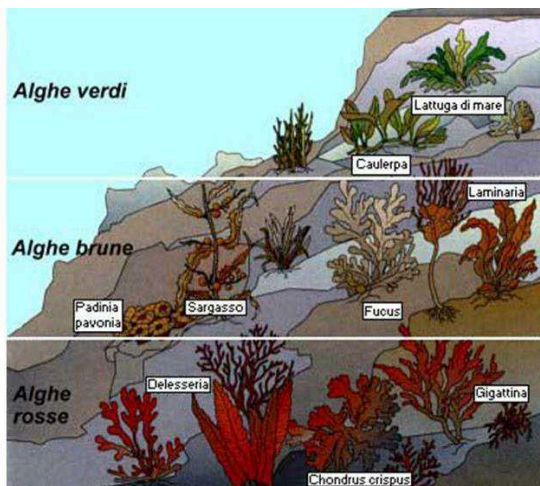
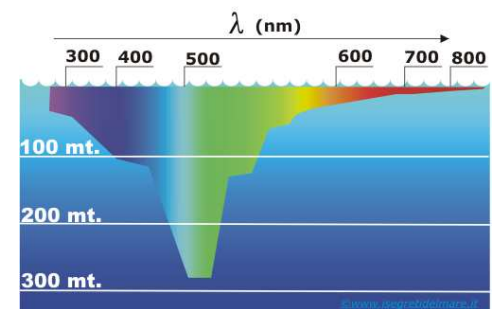
A) **RIFLESSIONE** ⇒ Si verifica una riflessione della luce ad opera delle particelle (inorganiche e organiche) in **sospensione** : acque con molto materiale in sospensione hanno una **scarsa trasparenza** che determina, per riflessione, un'estinzione dell'intensità luminosa rapida.

B) **ASSORBIMENTO SELETTIVO** ⇒ L'acqua assorbe in **maniera SELETTIVA** (diversa) le diverse **lunghezze d'onda** che compongono lo spettro del visibile .

- Le **prime** lunghezze d'onda che scompaiono sono quelle a **minore energia** , come il rosso.
- Viceversa le lunghezze d'onda a **maggior energia** riescono a raggiungere profondità maggiori.

Ad esempio, la lunghezza d'onda del **blu**, essendo tra quelle a maggior potere di penetrazione, nella vastità degli oceani è quella **dominante** (il mare risulta quindi colorato uniformemente di blu).

LUCE BLU ⇒ penetra maggiormente nell'oceano



• ESEMPIO DI ALCUNE PIANTE ACQUATICHE :

Le **alghe verdi** , come "*Posidonia oceanica*" , possono vivere solo fino a 50 m di profondità perché **utilizzano radiazioni della luce solare che non penetrano in profondità** , come quelle del rosso e del giallo.

Le **alghe brune** assorbono le radiazioni blu-verdi e possono vivere a profondità lievemente maggiori.

Infine le **alghe rosse** assorbono solo la luce blu, che penetra maggiormente nell'oceano. Alcuni tipi possono raggiungere profondità di 200 m.

2) L'ANIDRIDE CARBONICA (CO₂) ☁ :

L'atmosfera è composta principalmente da **azoto** (N₂ – 78%) e **ossigeno** (O₂ – 21%); Il residuo 1% è dato da una miscela di gas come elio, argon e neon.

⇒ la CO₂ rappresenta solo una minuscola parte di questo 1% !!!

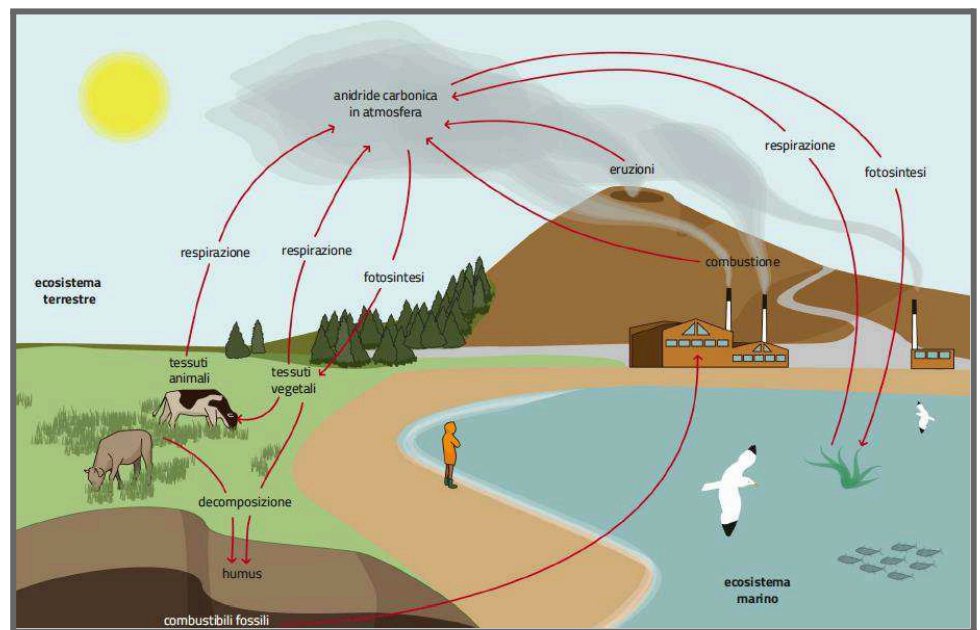
⇒ Le piante ne utilizzano una quantità elevata 🌱

Tuttavia esistono numerosi processi tramite i quali la CO₂ viene ripristinata .



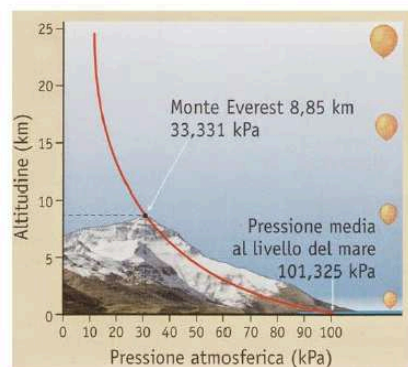
In **condizioni naturali** il **ripristino** della CO₂ utilizzata nella fotosintesi avviene grazie a processi quali :

- la **respirazione** di piante e animali ;
- la decomposizione della materia organica ;
- gli incendi ;
- le eruzioni vulcaniche .



⇒ Tale processo prende il nome di **CICLO DEL CARBONIO**.

Eccezione: rarefazione dei gas con l'altitudine



nanismo delle piante d'alta quota



Dunque la CO₂ **NON** è mai un fattore limitante!!

PROCESSO di DIFFUSIONE :

Il processo di diffusione è un fenomeno che si verifica quando le molecole di una sostanza si spostano da regioni a maggior concentrazione a regioni con minor concentrazione, fino a **RAGGIUNGERE L'EQUILIBRIO**.

Questo processo avviene **SPONTANEAMENTE** e in modo continuo, ed è influenzato da diversi fattori, come la temperatura, la concentrazione delle soluzioni e le dimensioni delle molecole.

⇒ La diffusione di un qualunque tipo di sostanza è **tanto più veloce** quanto **maggiore è la superficie attraverso la quale le molecole possono diffondere**.

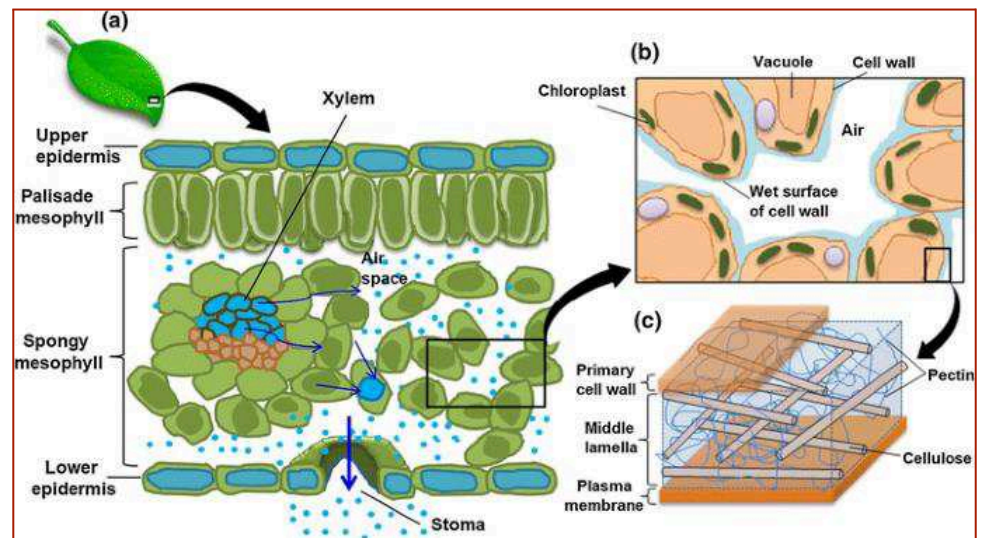
NELLE PIANTE ⇒ DIFFUSIONE DELLA CO₂ ☁ :

L' **ANIDRIDE CARBONICA (CO₂)** entra nelle foglie tramite gli **stomi**, ovvero **aperture** presenti **nell'epidermide della pagina INFERIORE delle foglie**, grazie al processo di **DIFFUSIONE**, ovvero tramite un **movimento spontaneo delle molecole** da zone più concentrate [] a zone meno concentrate [] .

Nell'atmosfera, infatti, la concentrazione [] di CO₂ è maggiore rispetto **all'interno della pianta** in quanto essa è utilizzata costantemente per il processo di **fotosintesi** .

⇒ **si crea quindi una DIFFERENZA DI GRADIENTE** che fa sì che il processo di diffusione avvenga .

Mantenere il GRADIENTE DI CONCENTRAZIONE STABILE è **FONDAMENTALE** affinché la diffusione non si fermi.



Nelle piante il **riaffollamento di CO₂** è ottimale solo se c'è una **superficie abbastanza ampia** attraverso la quale può penetrare nella pianta. Gli scambi di gas nelle piante avvengono nelle foglie quindi conviene **aumentare la superficie assorbente**.

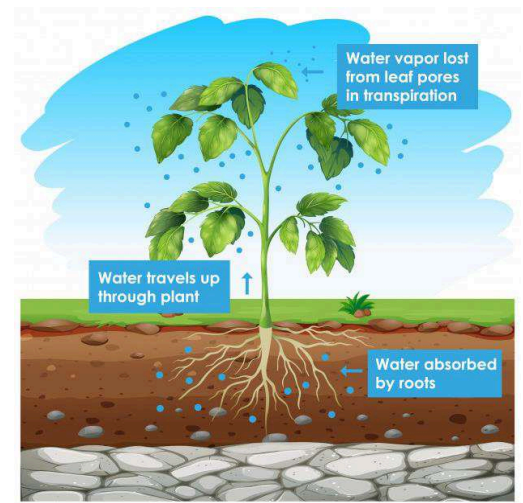
Possedere una superficie assorbente, ovvero una foglia ampia significa :

- avere più superficie raggiungibile dalla luce per fare la **fotosintesi**
- **processo di diffusione** di gas, come la CO₂, **più rapido**.

3) ACQUA (H₂O) 💧 🌿:

L'acqua è un **fattore fondamentale per la crescita** e la salute delle piante. Le piante utilizzano l'acqua per numerosi processi:

- per trasportare i nutrienti dalle radici alle foglie
- per mantenere la loro struttura turgida
- per poter **compiere la fotosintesi**.



1. L'acqua viene **assorbita dal suolo** tramite le **radici**.

La **quantità di acqua assorbita** dal terreno **varia** a seconda della specie di pianta e **delle condizioni ambientali**, *come la temperatura e l'umidità dell'aria*. Tuttavia, è importante evitare sia l'eccesso che la carenza di acqua, poiché entrambi possono danneggiare le piante.

Dunque ⇒ le piante assorbono dal terreno **quantità d'acqua differenti**.
(es : *faggio* > *pino silvestre*)

successivamente

2. L'acqua viene trasportata in maniera

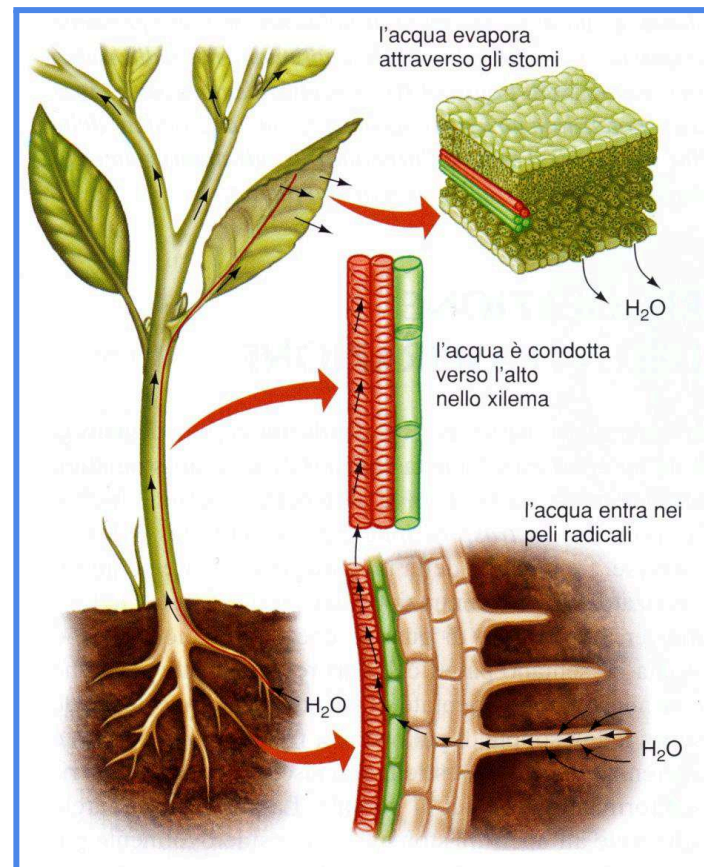
UNIDIREZIONALE dal basso **↑ verso l'alto**, ovvero dal sistema radicale a tutte le foglie, tramite un processo che prende il nome di **TRASPORTO ATTIVO**.

L'acqua si sposta lungo il fusto **attraverso lo xilema** (tessuto vascolare) e si distribuisce nelle foglie grazie alle nervature.



Questo spostamento avviene **CONTRO GRAVITA'**.
Ciò è possibile grazie alla combinazione di **diversi fattori fisici e biologici**:

- alla depressione creata dal processo di traspirazione;
- a proprietà dell'acqua:
 - ↳ **coesione** tra le molecole d'acqua
 - ↳ **l'adesione** tra le molecole d'acqua e le pareti del xilema.



infine

3. Di tutta l'acqua assorbita dalle piante **solo una piccolissima parte** viene **utilizzata per le funzioni cellulari** e per la fotosintesi (meno dell' 1%).

Più del 90% dell'acqua introdotta **EVAPORA** nell'atmosfera **attraverso gli stomi per diffusione**, tramite un **processo che prende il nome di TRASPIRAZIONE**.

La **TRASPIRAZIONE** è il processo mediante il quale l'acqua viene persa sotto forma di VAPORE.

TALE PROCESSO È GOVERNATO DAGLI STOMI !!!

LA **FORZA MOTRICE** del processo di **TRASPIRAZIONE** È IL **GRADIENTE DI CONCENTRAZIONE** che si crea tra l'interno e l'esterno della foglia :

Il vapore acqueo si accumula **tra gli spazi aeriferi della foglia** e viene poi rilasciato nell'atmosfera attraverso l'apertura degli stomi.

-> la velocità di traspirazione dipende infatti dal gradiente di concentrazione .

Il processo di **TRASPIRAZIONE** è molto importante in quanto :

- rappresenta il **sistema di raffreddamento** e di **termoregolazione** della pianta ;
- consente **l'assorbimento di H₂O e sostanze minerali dal suolo** ;
- è il **motore della fotosintesi** .
- grazie ad esso le piante rilasciano **grandi quantità di acqua nell'atmosfera** ;

⇒ La traspirazione è influenzata da **diversi fattori** , come la *temperatura*, l'*umidità* dell'aria e la *quantità di acqua disponibile* per la pianta.

PERDITA D'ACQUA TOTALE:

-> avviene per il **90%** a causa della **TRASPIRAZIONE REGOLABILE** attraverso gli stomi ;

-> nel **10%** avviene a causa della **TRASPIRAZIONE PASSIVA** in tutte le parti verdi della pianta (che **NON può essere controllata!!!**) .

GLI STOMI :

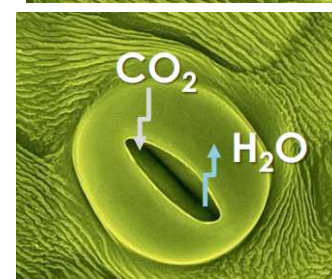
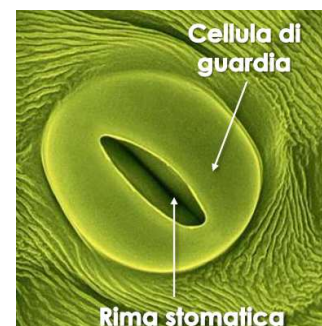
Gli stomi sono **presenti in tutte le parti verdi della pianta** in numero molto elevato. Essi sono formati da :

- **2 CELLULE di GUARDIA** che delimitano
- **una cavità** detta **RIMA STOMATICA** .

Hanno **2 funzioni** fondamentali:

1. Regolazione degli **scambi gassosi (CO₂ e O₂)** , ovvero dei processi di **DIFFUSIONE**
2. Regolazione della **TRASPIRAZIONE (perdita di vapore acqueo)**

A differenza delle cellule dell'epidermide, le **CELLULE di GUARDIA** contengono **CLOROPLASTI** , ciò significa che **POSSONO FARE la fotosintesi**.



Traspirazione
cioè perdita H₂O



Scambio gassoso
fra interno ed esterno, in
particolare l'entrata di CO₂
e la fuoriuscita di O₂

Gli stomi sono **APERTURE REGOLABILI** dalla pianta tramite un **MECCANISMO OSMOTICO** :

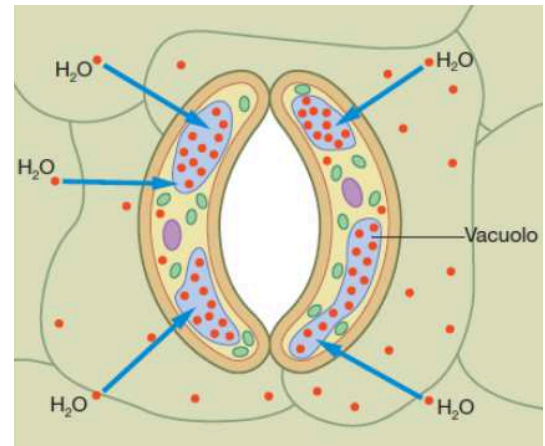
- 1) Quando l'**H₂O** è presente nelle foglie in **quantità adeguata** essa **entra** nelle cellule di guardia e poi nel vacuolo grazie all'aumento di **[] di ioni potassio K⁺** nel vacuolo.

Quindi le cellule di guardia **aumentano di volume, si gonfiano** e **determinano l'APERTURA dello stoma.**

Ciò accade :

- in **condizioni di luce standard**
- quando la **[] di CO₂** nella foglia **si abbassa.**

⇒

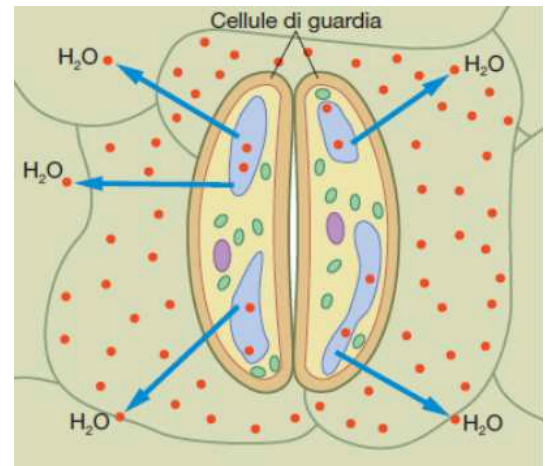


- 2) Quando l'**H₂O NON** è in **quantità adeguata**, essa **esce** dal vacuolo e dalle cellule di guardia, che di conseguenza **diminuiscono di volume, si ritirano** e determinano la **CHIUSURA dello stoma.**

Ciò accade :

- **Alla sera** 🌃🌃🌃
- **Durante i periodi più caldi della giornata** 🥵🥵🥵, per **EVITARE di PERDERE ECCESSIVA ACQUA.**

⇒



TRASPIRAZIONE e **SCAMBI GASSOSI** possono avvenire **SOLO SE GLI STOMI sono aperti**

tuttavia

Se la **perdita di H₂O è troppo elevata** e **NON può essere compensata con l'assorbimento di acqua dal suolo**, può verificarsi il fenomeno della **DISIDRATAZIONE**, ovvero alla perdita di turgore delle cellule, all'appassimento della pianta e, in casi estremi, **anche alla morte**.

La pianta è in grado di mantenere gli **stomi aperti solo se vi è abbastanza acqua** a disposizione. **In caso contrario** essi **rimangono chiusi** bloccando così la perdita di H₂O e l'entrata di CO₂ : **di conseguenza il processo di fotosintesi SI ARRESTA.**

↓ ↓ ↓

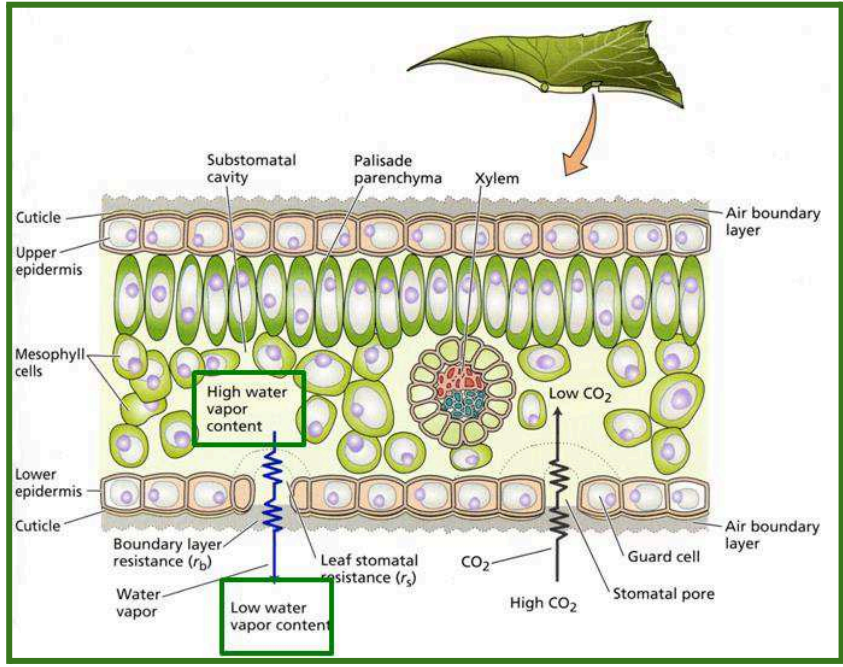
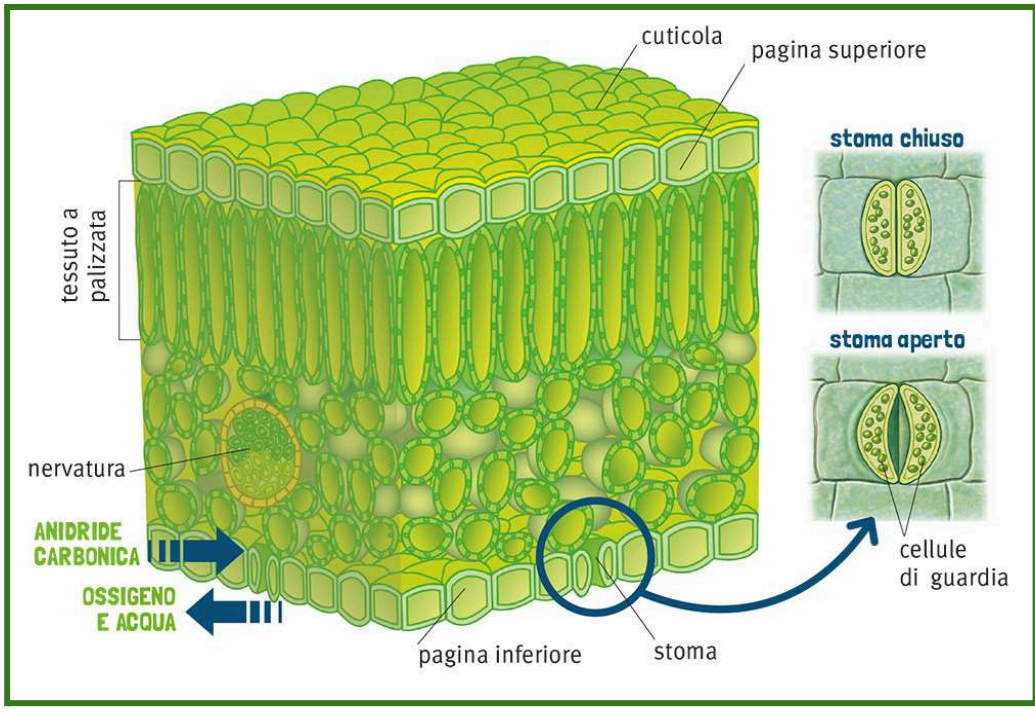
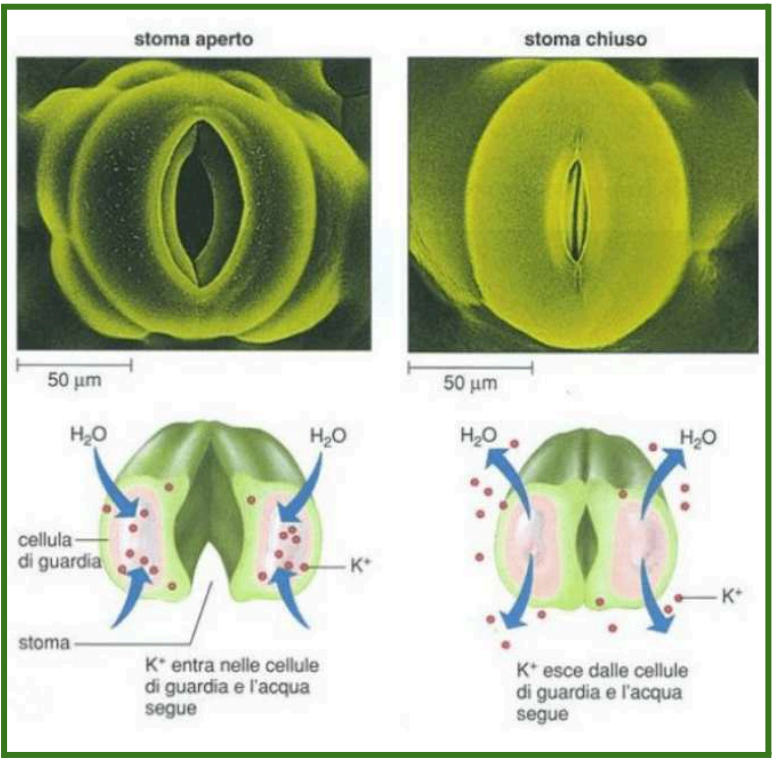
Prende il nome di **TRADE OFF** il fenomeno per cui le piante devono **COMPENSARE** tra due attività :

- 1) **tenere aperti gli stomi** per assorbire CO₂
- 2) **prevenire la disidratazione** eccessiva che porterebbe alla morte ☠️.

↓ ↓ ↓

Tutto è **regolato da un MECCANISMO OSMOTICO** ⇒ **severo controllo da parte della pianta.**

SE L'ACQUA NEL SUOLO È CARENTE QUESTA PUÒ DIVENTARE UN **FATTORE LIMITANTE DELLA **FOTOSINTESI** !**



CO_2

**Mai
limitante**

H_2O

**Può
diventare
limitante**

Luce

**Mai
limitante**

PROBLEMA nel CICLO DI CALVIN ??

Tutto il **Ciclo di Calvin** si basa sull'enzima **RuBisCO**, tuttavia essa può svolgere 2 attività ≠ :

- 1) **ATTIVITÀ CARBOSSILASICA** durante il **Ciclo di Calvin** → ovvero l'**utilizzo dell'anidride carbonica** per la produzione di ossigeno e carboidrati.
- 2) **ATTIVITÀ OSSIGENASICA** durante il processo della **FOTORESPIRAZIONE** → ovvero l'**utilizzo di ossigeno** e liberazione dell'anidride.

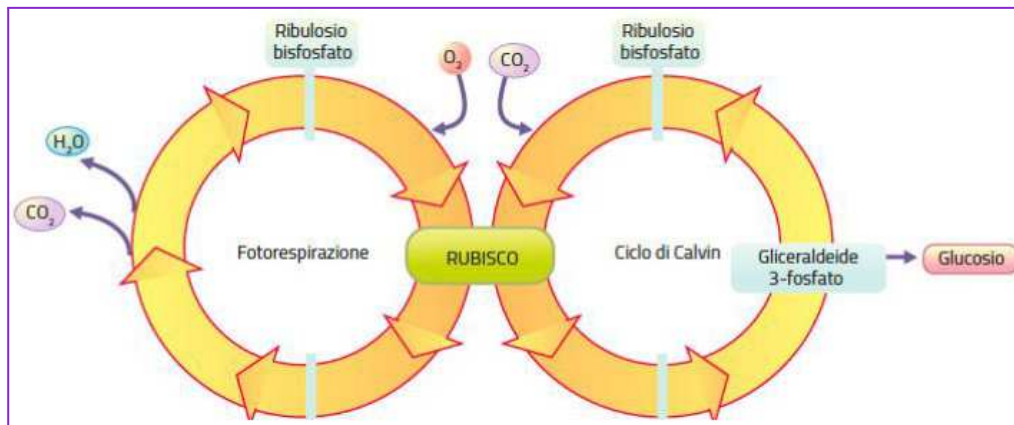
La **fotorespirazione** è un **processo metabolico** che **le piante con ciclo C3** attuano **in presenza di luce** per eliminare l'ossigeno in eccesso. Durante questo processo la pianta consuma O₂ e libera CO₂.

La diversa attività dipende **dalla CONCENTRAZIONE []** di O₂ e CO₂ (substrati).

⇒ L'enzima **RuBisCO** è infatti **INCAPACE DI DISTINGUERE** tra O₂ e CO₂.

- 1) Quando la [] di **ANIDRIDE** (CO₂) nelle cellule della foglia è **ELEVATA** ha luogo il **CICLO DI CALVIN**.
- 2) Quando invece la [] di **anidride** (CO₂) è troppo **bassa** e **l'OSSIGENO abbonda**, **la RuBisCO si lega all'ossigeno** anziché all'anidride carbonica, consumando O₂ e liberando CO₂ e H₂O e ha dunque luogo la **FOTORESPIRAZIONE**.

→ **FOTOSINTESI E FOTORESPIRAZIONE FUNZIONANO IN DIREZIONI OPPOSITE** :



La **FOTORESPIRAZIONE** è **molto costosa energeticamente**, infatti permette una **crescita minore** della pianta **MA** consente di superare molteplici problemi :

- la mancanza di CO₂,
- **l'innalzamento delle temperature**,
- **la mancanza d'acqua**,

Tutte situazioni per cui LA CELLULA NECESSITA DI CHIUDERE GLI STOMI.

Per le piante alimentari a ciclo C₃, svolgere la fotorespirazione significa produrre un minor raccolto.

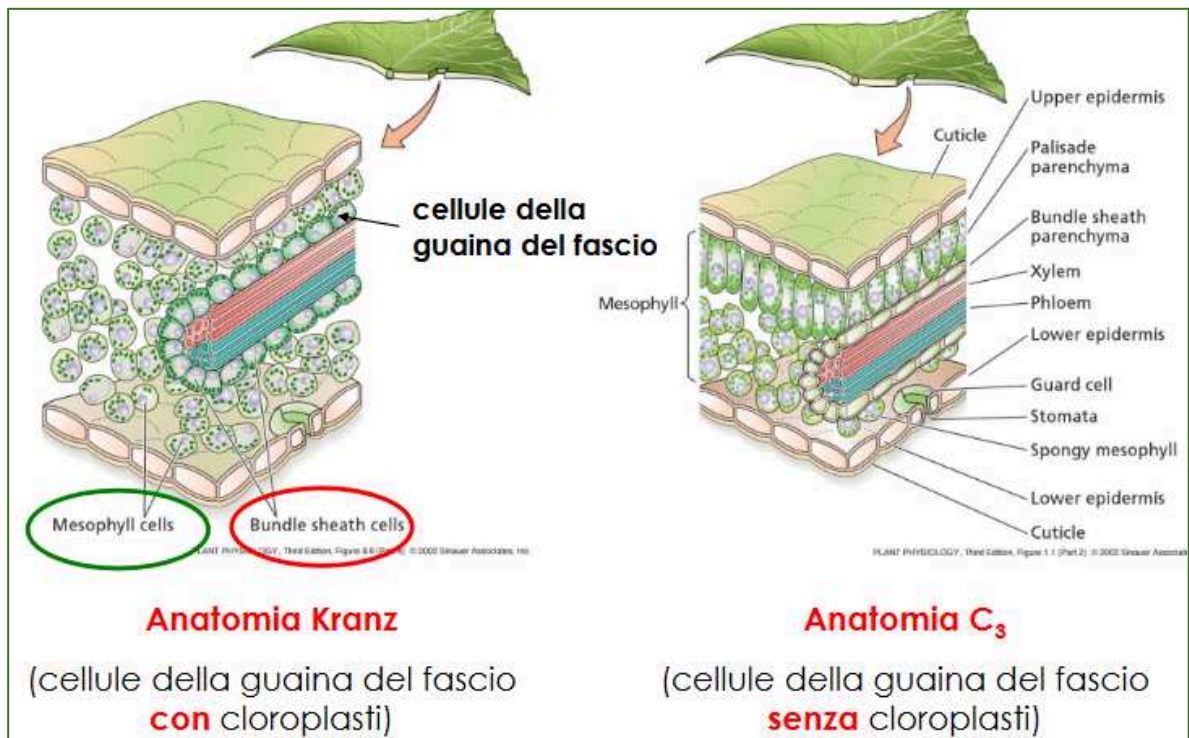
Le piante evolvendosi hanno sviluppato delle **alternative** al **ciclo di Calvin** :
il Ciclo C₄ e il Ciclo CAM.

PIANTE a CICLO C4 (separazione SPAZIALE):

Per risolvere la necessità di chiudere gli **stomi**, le **piante che vivono in zone con un CLIMA particolarmente CALDO** 🥵, hanno sviluppato un **sistema che permette una PRE-FISSAZIONE della CO₂ a cui segue Il ciclo di Calvin**.

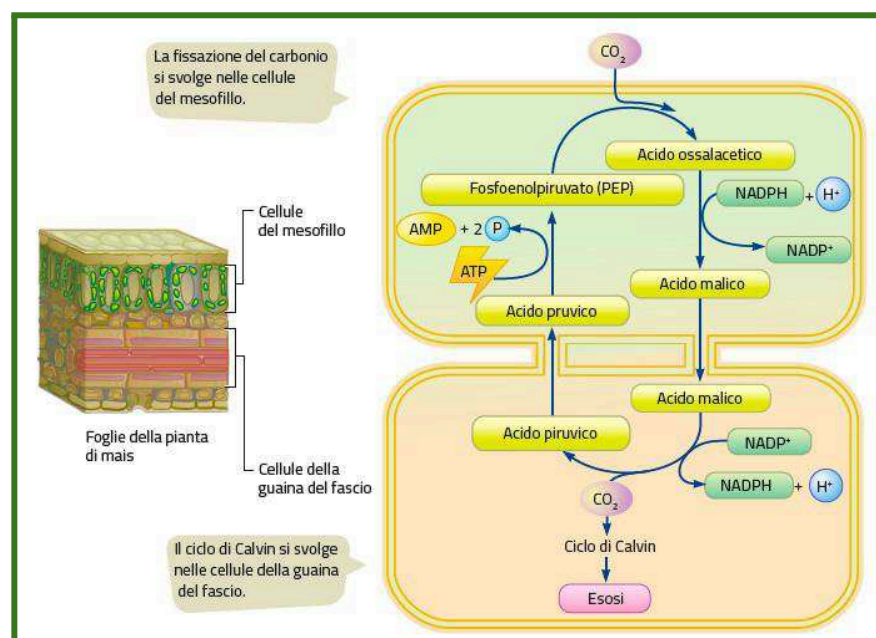
→ Le piante C4, per rendere possibile tutto ciò, possiedono una **particolare anatomia fogliare** detta **ANATOMIA di KRANZ** per cui le **cellule della guaina del fascio**, ovvero le cellule che circondano i tessuti di trasporto, sono molto grandi e presentano i **cloroplasti**.

esempio di piante che svolgono il **CICLO C4** sono: la **pianta del mais** e la **canna da zucchero**.



Nelle piante a ciclo C4 il **processo di pre-fissazione** del carbonio e il **ciclo di Calvin** si svolgono in **due zone differenti** della foglia:

- la prima fissazione del carbonio avviene nelle **cellule del mesofillo**,
mentre
- il **ciclo di Calvin** si svolge nelle **cellule della guaina del fascio**. Qui la **[] di anidride carbonica viene mantenuta stabile** e soprattutto > di quella dell'ossigeno O₂ (fanno in modo che non avvenga mai la **fotorespirazione** → crescono così + in fretta)



DIFFERENZE NEL CICLO DI CALVIN tra PIANTE C3 e C4 :

- 1° DIFFERENZA : ENZIMI ≠ (RuBisCO vs PEP CARBOSSILASI)

NELLE CELLULE DEL MESOFILLO delle piante C4 NON è presente l'enzima **rubisco** .

La **prima fissazione della CO₂** avviene grazie ad un altro enzima : l'enzima **PEP CARBOSSILASI** .
Esso, non essendo sensibile all'ossigeno , possiede una **grande affinità per la CO₂** .

*Il substrato per la fissazione è il **piruvato**, uno zucchero a 3 atomi di C.*

- 2° DIFFERENZA : PRE-FISSAZIONE

Il **prodotto** della reazione di pre-fissazione della CO₂ è un **composto a 4 atomi di carbonio** ,
l'**acido ossalacetico** (primo composto stabile derivante dalla fissazione).

↓ ↓ ↓

Questo viene **ridotto dal NADPH** in una molecola di **malato** (o acido malico).

↓ ↓ ↓

Il **malato migra** dalle cellule del mesofillo **tramite i plasmodesmi** fino a raggiungere le **cellule della guaina del fascio** .

↓ ↓ ↓

Qui il **malato** viene **decarbossilato**, ovvero **libera** una molecola di **CO₂ prefissata**

↓ ↓ ↓

Solo ora , nella **cellula della guaina del fascio** ove è presente l'enzima **RuBisCO** , **può avvenire il ciclo di Calvin** come nelle piante C3.

*Il nome di "**piante C4**" deriva dal fatto che il primo prodotto della reazione di pre-fissazione della CO₂ è a 4 atomi di carbonio.*

- 3° DIFFERENZA : SPAZIO

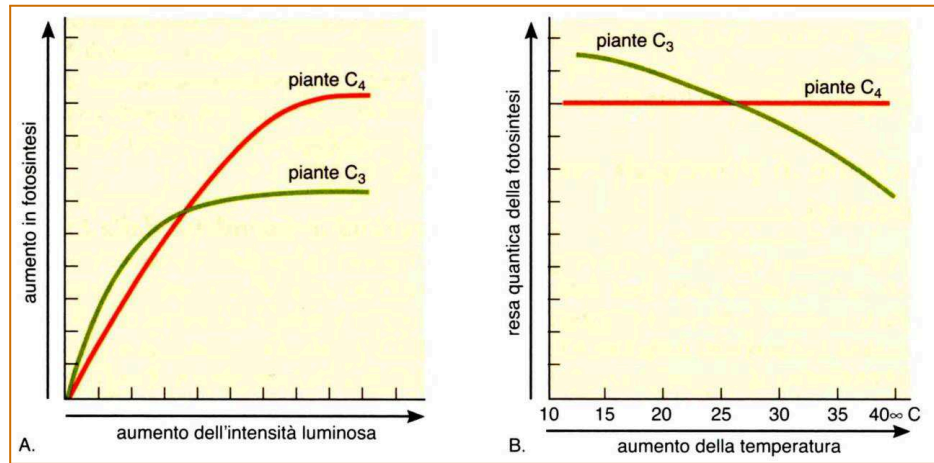
La **fase luce** e la **fase buio** sono **SEPARATE nello spazio** :

- La fase luce avviene nelle **cellule del mesofillo**
mentre
- Il **ciclo di Calvin** avviene solo nelle **cellule della guaina del fascio** dove la **concentrazione di CO₂ è mantenuta sempre più elevata** rispetto a quella dell' **O₂** . ⇒ In questo modo viene **ridotta l'attività ossigenasica** della rubisco .

Grazie a questa doppia fissazione e alla regolazione → il processo di **fotorespirazione** **diminuisce al minimo** e la **pianta cresce velocemente** .

	Piante C ₃	Piante C ₄
Accettore primario di CO ₂	RuBP	PEP
Enzima che catalizza la cattura di CO ₂ nel mesofillo	RuBP carbossilasi	PEP carbossilasi
Primo prodotto della fissazione di CO ₂	PGA (composto a tre atomi di carbonio)	Acido ossalacetico (composto a quattro atomi di carbonio)
Primo prodotto del ciclo di Calvin	PGA (composto a tre atomi di carbonio)	PGA (composto a tre atomi di carbonio)
Sede del ciclo di Calvin	Cellule del mesofillo	Cellule della guaina del fascio conduttore
Fotorespirazione	Abbondante	Minima

La via metabolica **C4** è più efficiente a intensità luminosa e temperatura elevata.



⇒ A **temperature elevate (45 °C o più)** le piante C4 producono quantità di carboidrati decisamente superiore a quella che produrrebbe una pianta C3 e il processo di crescita continua.

⇒ Una pianta C3 invece, sottoposta a condizioni di luminosità e temperatura elevate, interrompe inevitabilmente il processo di fotosintesi e la pianta va incontro a fotorespirazione.

Tuttavia la via metabolica C4 **ha un costo superiore** perché il trasferimento della CO₂ alle cellule della guaina **comporta un consumo di ATP** importante.

Ne consegue dunque che :

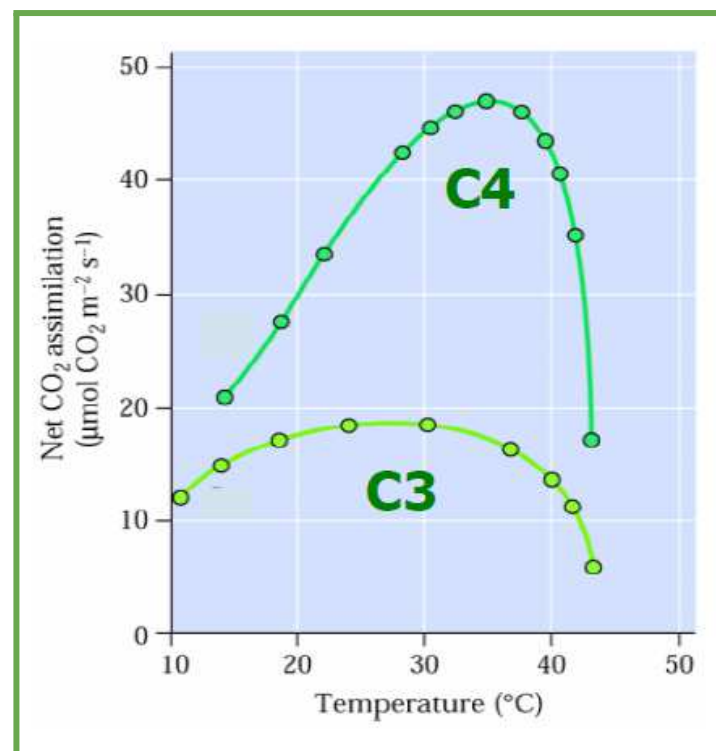
il vantaggio sussiste solo quando il clima è particolarmente caldo e l'intensità luminosa estremamente elevata.

Nelle regioni a **clima temperato** (< 27 °C) invece prevalgono le piante C3 : sia le piante C4 sia le piante C3 tengono aperti gli stomi e svolgono la fotosintesi , tuttavia , la **via metabolica** messa a punto dalle **piante C4** per ovviare al problema del caldo **richiede un consumo energetico (di ATP) > rispetto alla piante C3.**

Il diverso comportamento nei confronti dell'intensità luminosa dipende da precisi **limiti di tolleranza SPECIE-SPECIFICI fissati geneticamente.**

In tutte le specie, sia C3 che C4, si riconoscono **due limiti:**

- PUNTO DI COMPENSAZIONE (inferiore)
- PUNTO DI SATURAZIONE ASSOLUTO (superiore) .



- **PUNTO DI COMPENSAZIONE (inferiore) :**

→ livello di intensità luminosa **al di sotto** del quale la fotosintesi NON avviene ; di conseguenza prenderà avvio la **fotorespirazione**.

- **PUNTO DI SATURAZIONE ASSOLUTO (superiore) :**

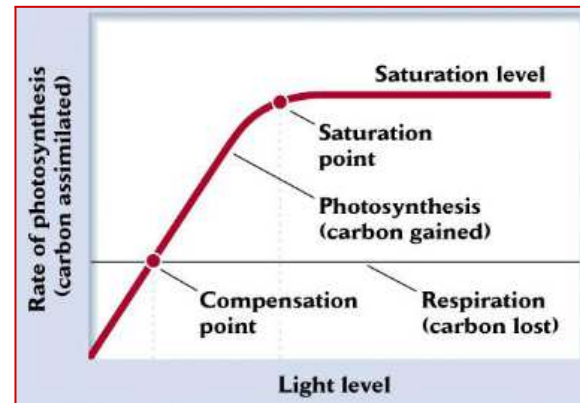
→ livello di intensità luminosa **oltre** il quale , pur fornendo ulteriore energia luminosa , NON si riscuote un beneficio dal punto di vista metabolico (dell'attività fotosintetica).

Le piante sciafile → adattato a vivere in situazioni ombrose → hanno punti di compensazione e saturazione molto bassi (es : muschio)

Le piante eliofile → adattate a vivere in situazioni luminose → punto di compensazione e saturazione alto

Quindi la differenza principale tra C3 e C4 è che :

le **piante C4**, in **condizioni naturali di irraggiamento**, **NON** possiedono un punto di saturazione.



In molte altre specie **C4** , come ad esempio il **mais**, avvengono entrambi i tipi di fissazione della CO_2 :

- quando le piante sono giovani viene effettuato solo il **ciclo C3**,
- mentre nelle piante adulte viene effettuato il **ciclo C4**.



In altre specie di piante ancora , **il metabolismo cambia** a seconda delle diverse **condizioni ambientali**. Molte piante possono modificare il ciclo in base alle condizioni ambientali in cui si trovano modificando le cellule della guaina del fascio importando/ esportando cloroplasti.

La **fotosintesi C4** si è evoluta per affrontare climi particolarmente **caldi, aridi, luce abbondante, quantità limitata di acqua**.

L'eccessiva perdita d'acqua causa la **chiusura degli stomi** e un rallentamento della **fotosintesi** dato dall'impossibilità di effettuare gli scambi gassosi.

Con l'aumento del riscaldamento globale le piante **C4** saranno più competitive rispetto alle piante C3 → in quanto quelle C3 per periodi sempre più ampi avranno una produttività ridotta a causa della scarsità di energia

PIANTE a CICLO CAM (separazione TEMPORALE):

Un'altra variante della fotosintesi messa a punto dal regno vegetale nel corso della storia è la **fotosintesi CAM** (metabolismo acido delle crassulacee).

La **fotosintesi CAM** è un **ciclo metabolico** di fissazione del carbonio che **consente di ottimizzare l'attività fotosintetica in ambienti estremi**, quali quelli desertici.

Il **ciclo CAM** è presente in circa **30 specie**, quali **piante grasse**, **cactus**, **orchidee** e **ananas**.



Nelle vie metaboliche ordinarie delle piante C3 e delle piante C4 la fotosintesi necessita dell'**apertura degli stomi** affinché si svolgano gli **scambi gassosi** (ingresso della CO₂ e uscita dell'O₂). ⇒ Pertanto, in caso di chiusura degli stomi, le piante non svolgono la fotosintesi.

La **grandissima innovazione delle piante CAM** è stata quella di svolgere un particolare tipo di fotosintesi che **CONSENTE LORO di SVOLGERE la FASE BUIO della fotosintesi pur avendo gli STOMI CHIUSI !!**



Il metabolismo CAM è dunque un'**evoluzione adattativa del ciclo C4**.



La **fase luminosa** e la **fase buio** sono **SEPARATE nel TEMPO**.

Durante la **NOTTE** e durante le **ORE MENO CALDE del giorno**, la pianta **APRE GLI STOMI** permettendo l'ingresso della CO₂.



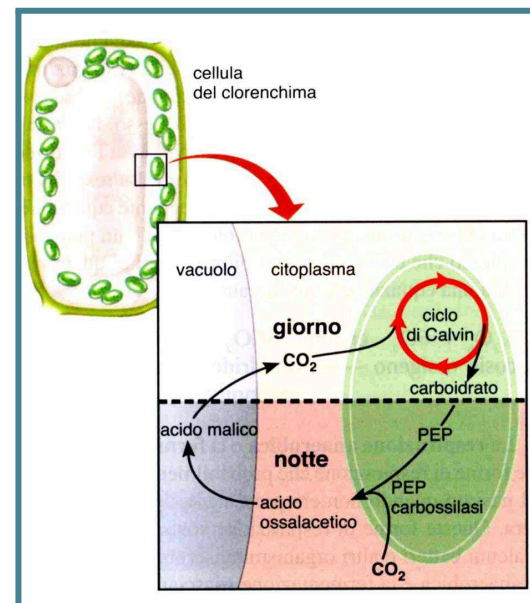
La CO₂ mano a mano che entra **viene fissata** in una reazione **catalizzata dalla PEP carbossilasi**, formando **ossalacetato**, che successivamente viene **ridotto a malato** (o acido malico) (= procedimento C4).



Il **malato** viene **accumulato NEL VACUOLO** in ingenti quantità.

Durante il **GIORNO**, quando la pianta **CHIUDE GLI STOMI**, il **malato accumulato nel corso della notte** viene esportato dal vacuolo verso le **cellule del mesofillo** e **decarbossilato** producendo la CO₂ che verrà metabolizzata nel ciclo di Calvin.

" NOTTE " -> STOMI APERTI
" GIORNO " -> STOMI CHIUSI





Dunque **lo svolgimento** dell'intero **ciclo di Calvin** e l'annessa produzione di glucosio **avviene durante il giorno e a STOMI CHIUSI**.

Tale **fotosintesi CAM** è tipica di piante che vivono in ambienti aridi e **che hanno PROBLEMI DI BILANCIO IDRICO**, e risulta particolarmente **vantaggiosa** poiché consente alle piante che sono sottoposte a un elevato livello di stress idrico di **DIMINUIRE il più possibile la perdita d'acqua**.

- > Le piante CAM **presentano punti di**

compensazione e saturazione molto bassi.

Durante l'attività fotosintetica diurna la **quantità di zuccheri prodotti** può essere **superiore alla quantità di zuccheri consumati** dalla cellula.

⇒ Quindi l'eventuale **ECCESSO DI CARBOIDRATI** **viene polimerizzato ad AMIDO PRIMARIO** e temporaneamente **immagazzinato** nello stroma del cloroplasto.

Durante le ore notturne invece tale **AMIDO** viene :

- **trasportato negli amiloplasti** come riserva (**AMIDO SECONDARIO**)
- **consumato per le attività metaboliche** della cellula (ad es. sintesi di amminoacidi).

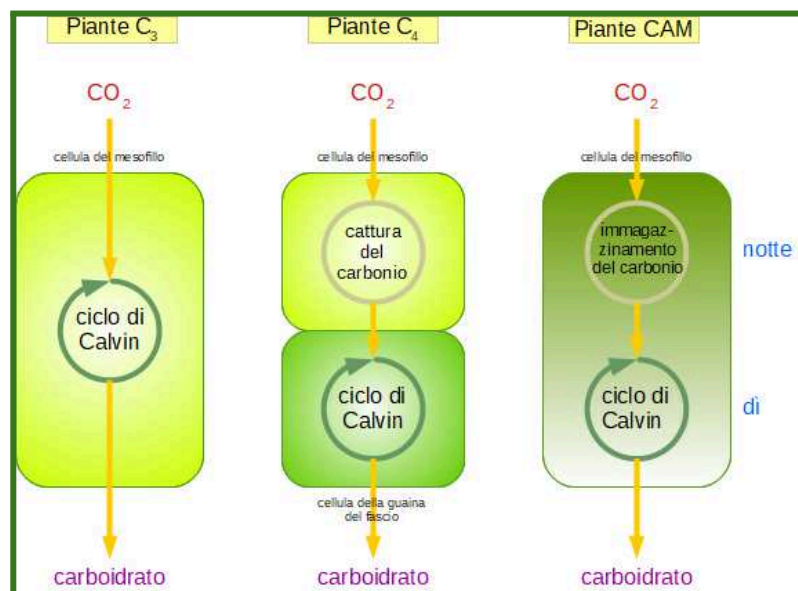
L'**ASPETTO NEGATIVO PIÙ RILEVANTE**, oltre al maggiore consumo di energia (ATP) necessario al trasporto, **È CHE LA CRESCITA DI QUESTA TIPOLOGIA DI PIANTE È PIÙ LENTA**.

RIASSUNTO :

NON vi è solo una divisione **spaziale** ma anche una **TEMPORALE** :

- -> la **pre-fissazione della CO₂** da parte della **PEP carbossilasi** avviene **di notte**
- -> durante il **giorno** avviene il ciclo di Calvin

il **tempo a disposizione** per la fissazione dell'anidride carbonica è **limitato**.



RESPIRAZIONE CELLULARE :

La respirazione è un **processo** in cui i **carboidrati** (ad esempio l'**amido**) prodotti dalla **fotosintesi** vengono ossidati e viene rilasciata anidride.

⇒ consuma quasi tutti i carboidrati prodotti dalla fotosintesi .

È un processo fondamentale per :

- **sintesi di amminoacidi** e di **acidi grassi**
- **il trasporto** dei minerali e dei soluti **tra le cellule**
- la **termoregolazione** della pianta .

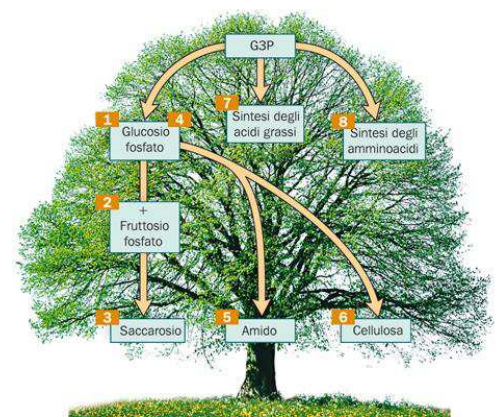
Di giorno, **respirazione** e **fotosintesi** avvengono **contemporaneamente** , ma la **quantità di anidride carbonica** emessa con la respirazione è **minore** di quella assorbita con la fotosintesi, perciò si dice che la **fotosintesi "maschera" la respirazione**.

Il **bilancio complessivo** dei flussi di O₂ e CO₂ da e verso l'ambiente esterno **è comunque a favore della fotosintesi** ovvero le piante si comportano come un "pozzo" di accumulazione di carbonio (**CARBON STOCK** = **immagazzinamento di carbonio**) e viceversa una "sorgente" di O₂.

Parte del carbonio assorbito e non utilizzato dal ciclo ossidativo della pianta **rimane fissato come stock** sotto forma di **cellulosa** e **lignina** nelle pareti cellulari delle cellule che costituiscono il legno.

Le piante partono dai carboidrati prodotti dalla fotosintesi per la sintesi di tutte le altre **molecole organiche**

La respirazione cellulare è analoga negli animali e nelle piante.



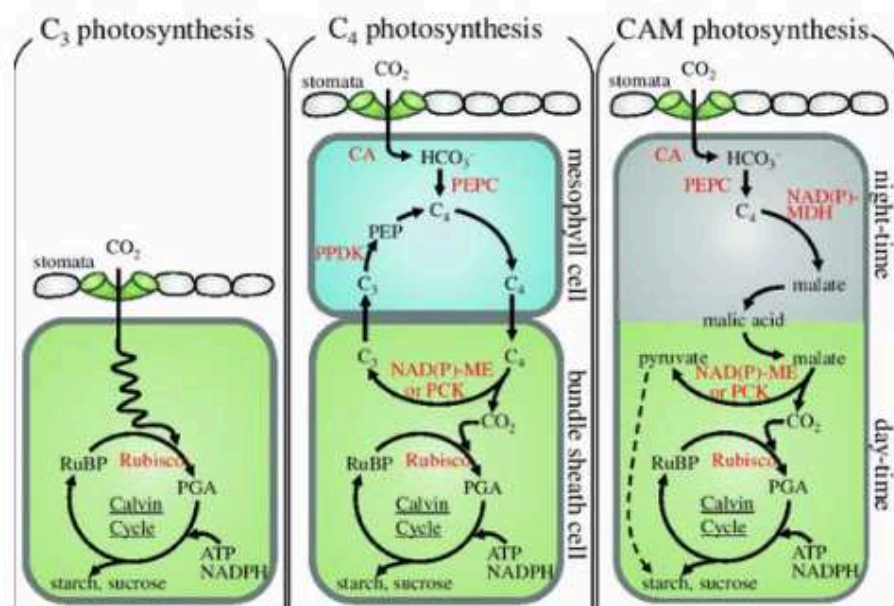
FASI :

1. **Nella GLICOLISI** una molecola di zucchero viene scissa in due molecole di **acido piruvico**
← avviene nel citoplasma
2. **CICLO DI KREBS** : Nella seconda fase l'acido piruvico viene scisso all'interno del ciclo di Krebs. L'energia ricavata viene trasferito al NADH o all'ATP. Contemporaneamente vengono rilasciati CO₂ e ioni idrogeno ← avviene nella matrice mitocondriale

⇒ La **FOTOSINTESI** è una reazione redox in cui la CO₂ viene ridotta e l'H₂O viene ossidata.
Si libera O₂ e si forma glucosio <— la fonte di energia è la luce



⇒ La **RESPIRAZIONE CELLULARE** è una reazione redox che richiede O₂ e produce energia.
Il glucosio viene ossidato a CO₂, mentre gli atomi di idrogeno riducono l'O₂ producendo H₂O



Usata da	La maggior parte delle piante	Piante tropicali di climi caldi (mais, canna da zucchero)	Piante dei climi caldi e aridi (cactus, agave, ananas)
Vantaggi	Uso molto efficiente dell'energia (ATP)	Minor fotorespirazione	Minor perdita d'acqua
Problemi	Fotorespirazione	Consuma più energia (ATP)	Consuma più energia (ATP); difficoltà di assorbimento CO ₂
		crescita rapida	crescita lenta