

ADATTAMENTI DEI VEGETALI AI DIVERSI FATTORI AMBIENTALI:

II. La disponibilità di luce

Importanza della luce come fattore ambientale

La luce è un fattore ambientale di importanza fondamentale per le piante e svolge molteplici ruoli nel metabolismo vegetale:

1. Fondamentale per il processo fotosintetico:

- agisce sia in modo diretto che indirettamente sul processo fotosintetico
- necessità delle piante di modulare la capacità di raccolta della luce in funzione della sua disponibilità (dipendente dalla posizione geografica in cui la pianta cresce, dalle condizioni atmosferiche, dalle fluttuazioni giornaliere)

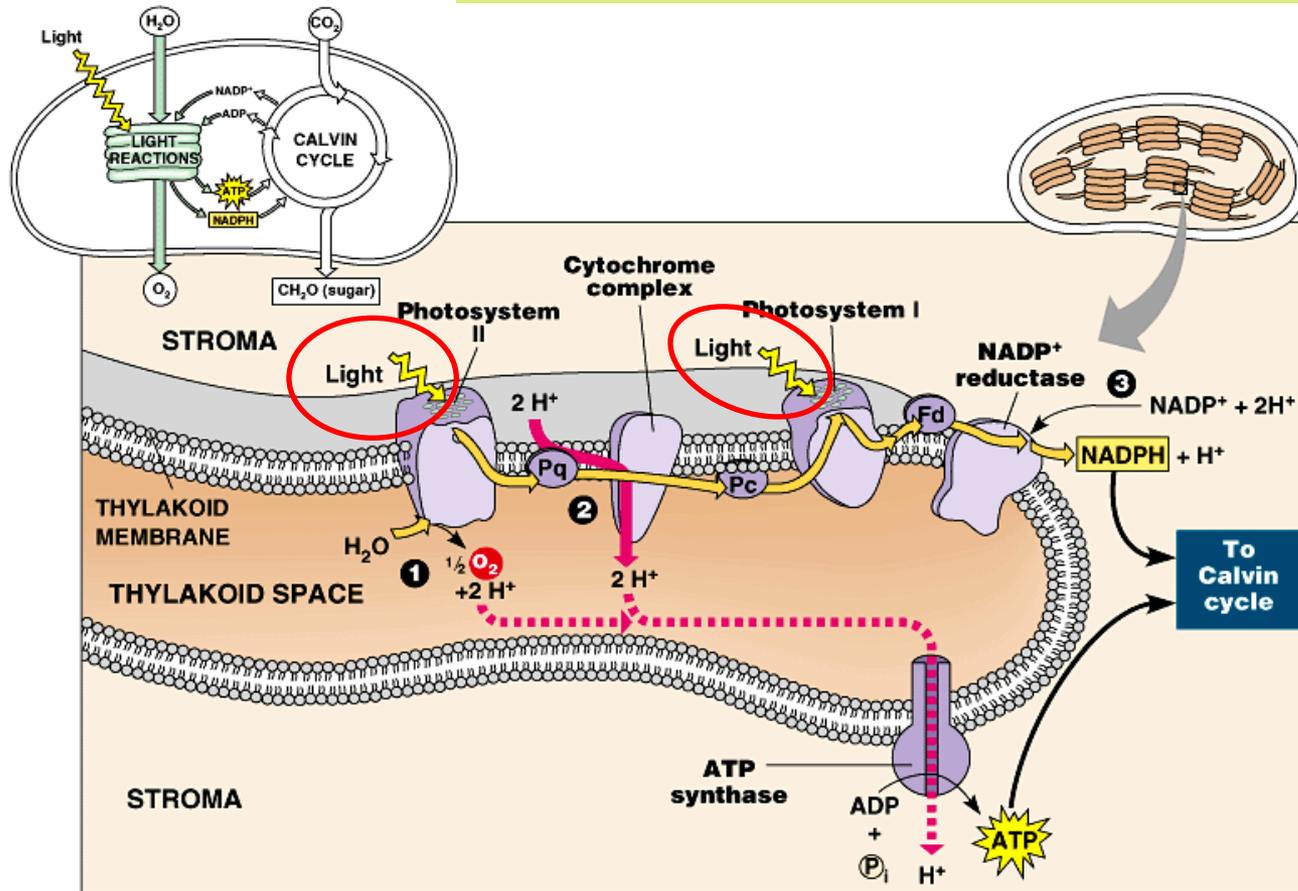
2. Stimola diversi eventi importanti nella crescita e nello sviluppo della pianta:

- Fotomorfogenesi: risposte morfogenetiche e funzionali delle piante in risposta agli effetti della luce
- Fotoperiodismo
- Regolazione degli orologi biologici e dei ritmi circadiani



Importanza della luce come fattore ambientale

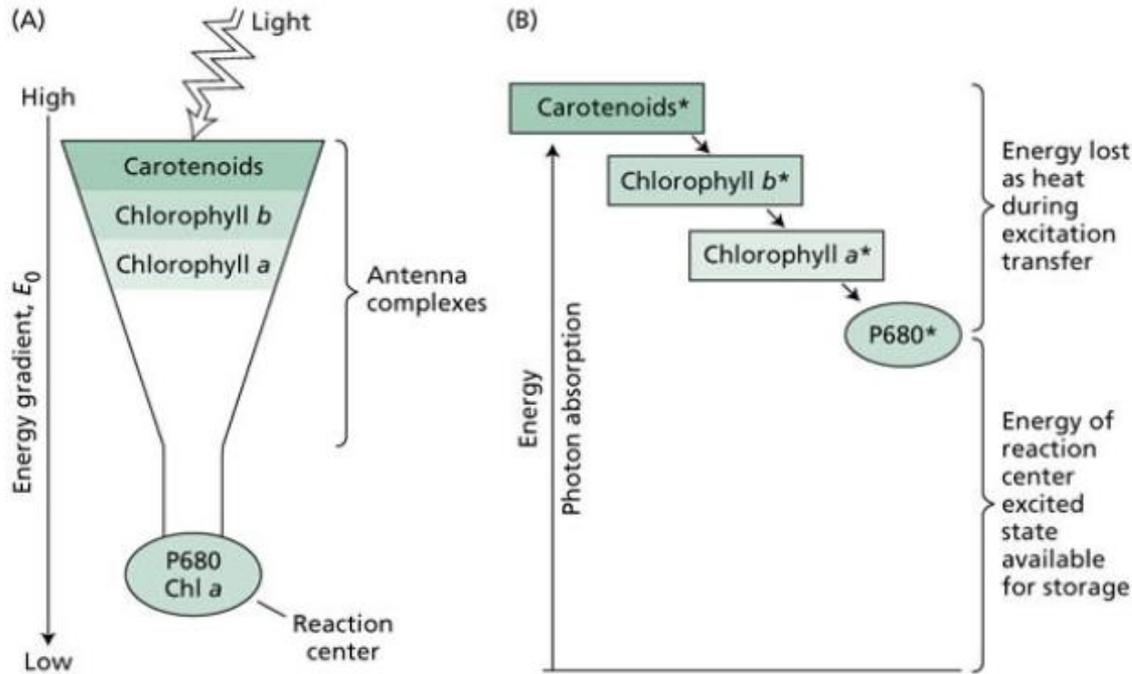
Ruolo della luce nel processo fotosintetico



L'energia luminosa viene convogliata verso le clorofille dei centri di reazione del PSII (P_{680}) e del PSI (P_{700}). Queste assorbono l'energia, che eccita un elettrone, il quale viene donato ad una serie di accettori posti in serie, per dare origine alla catena di trasporto degli elettroni. Nel PSII l'elettrone che ossida di nuovo la clorofilla proviene dalla fotolisi dell'acqua.

Importanza della luce come fattore ambientale

Complessi di raccolta della luce (Light harvesting complex - LHC)



Pigmento fondamentale: Chla assorbe la luce rossa e blu, riflettendo le altre lunghezze d'onda.

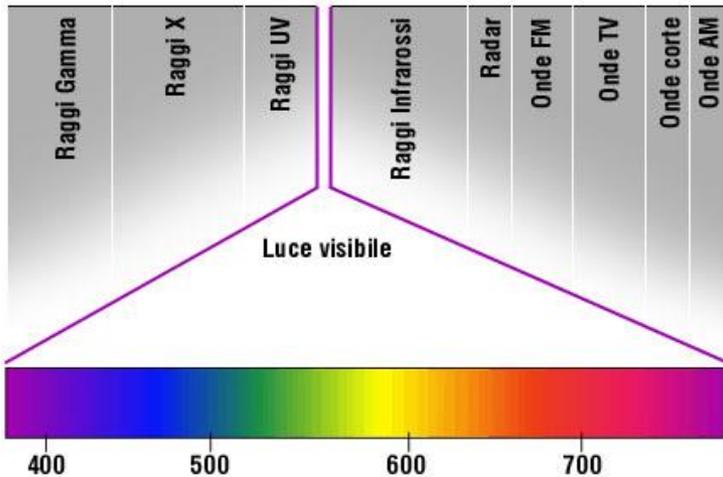
Pigmenti accessori (nelle piante terrestri e alghe verdi): Chlb e carotenoidi assorbono le lunghezze d'onda non assorbite dalla Chla, aumentando lo spettro fotosintetico. La Chlb trasferisce l'energia assorbita alla Chla per risonanza, i carotenoidi, invece trasferiscono solo il 10% dell'energia alle clorofille, assumendo maggiormente un ruolo dissipativo dell'energia in eccesso.

Importanza della luce come fattore ambientale

La natura della luce

La luce ha tre importanti caratteristiche: QUALITA', QUANTITA', DURATA

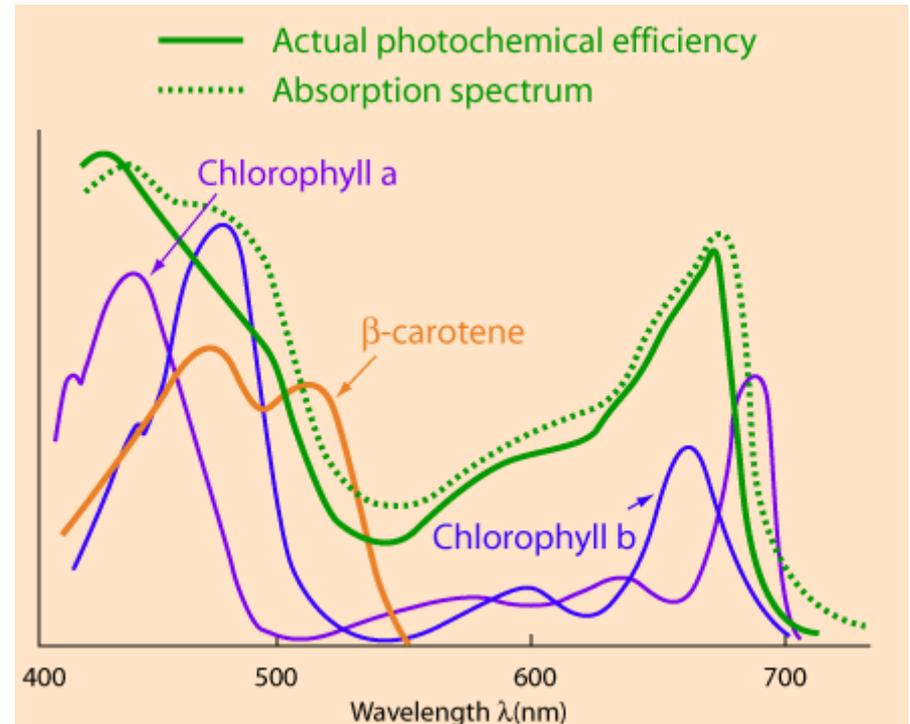
QUALITA'



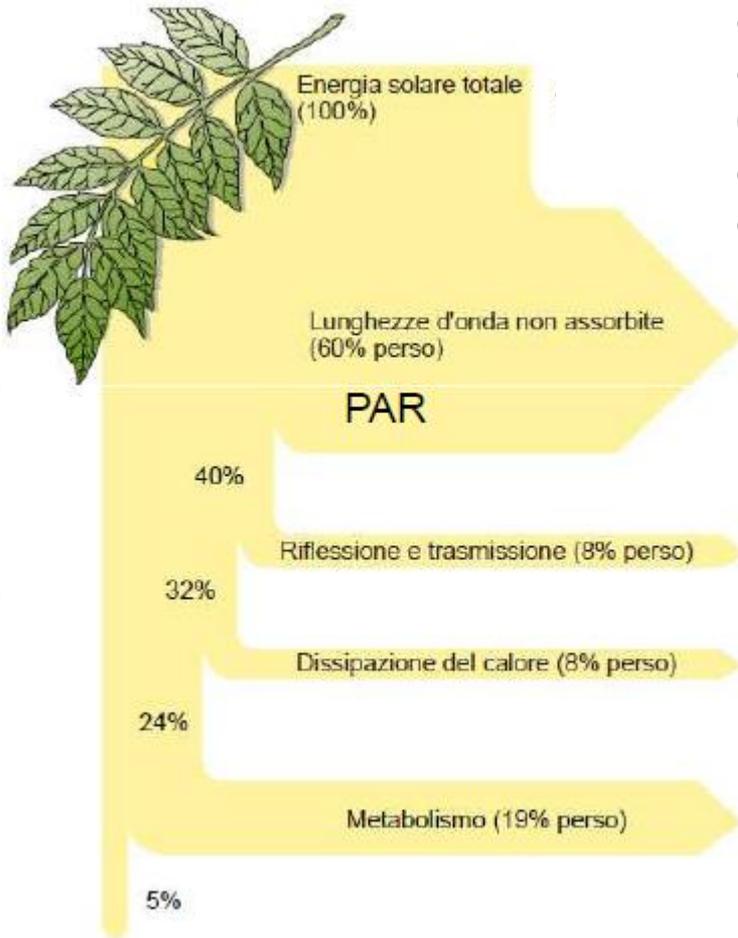
La luce rappresenta una piccola parte dello spettro elettromagnetico. I vari tipi di radiazione differiscono sulla base della lunghezza d'onda e della quantità di energia che contengono. Radiazioni con lunghezza d'onda minore contengono una quantità di energia maggiore, e viceversa.

La frazione di luce che le piante usano per la fotosintesi è detta PAR (photosynthetic active radiation) ed è compresa tra 380 e 710 nm.

Lo spettro di assorbimento della Chl_a mostra un picco nel blu e uno nel rosso. I pigmenti accessori contribuiscono ad aumentare lo spettro di assorbimento.

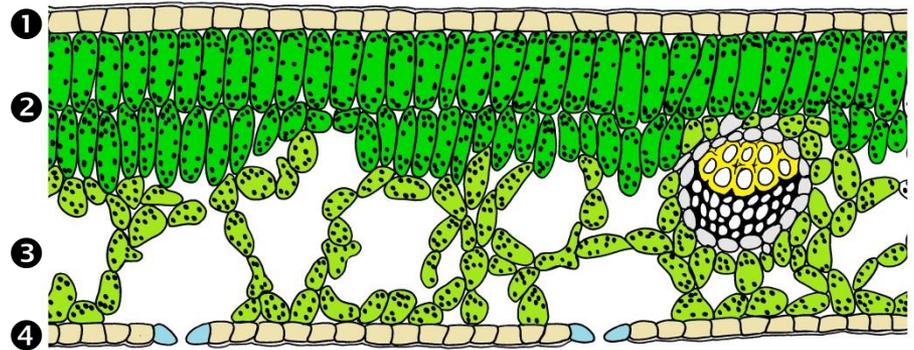


Importanza della luce come fattore ambientale



Considerando che solo il 5% della luce solare che colpisce la Terra viene assorbita dalla pianta e convertita in energia fotochimica, la pianta ha evoluto una struttura fogliare specifica per l'assorbimento della luce, modificabile per ottimizzare la raccolta della luce a seconda della sua intensità.

Anatomia tipica di una foglia dorso-ventrale in pianta mesofita

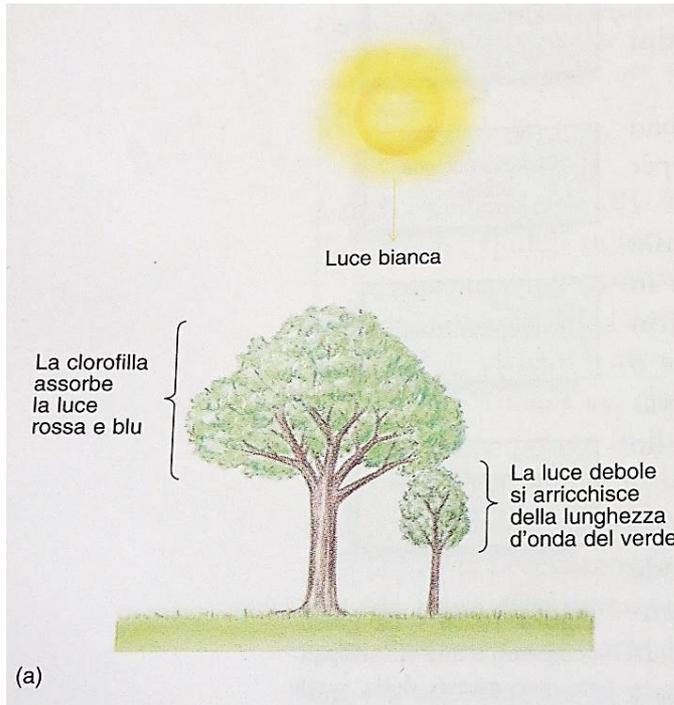


Pancaldi et al., Fondamenti di Botanica generale. McGraw-Hill

1. Epidermide superiore
2. Clorenchima a palizzata
3. Clorenchima lacunoso
4. Epidermide inferiore con aperture stomatiche

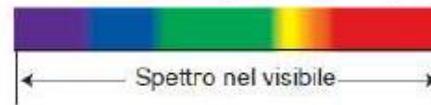
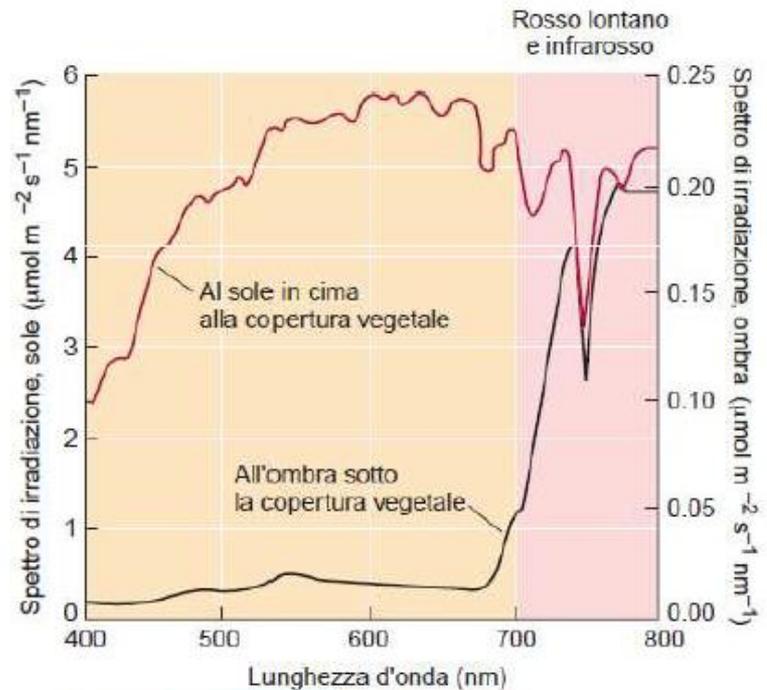
Importanza della luce come fattore ambientale

Mauseth, Botanica. Idelson Gnocchi



Piante di sole → PIANTE ELIOFILE

Piante d'ombra → PIANTE SCIAFILE



Mod. da Taiz e Zeiger. Fisiologia Vegetale. Piccin

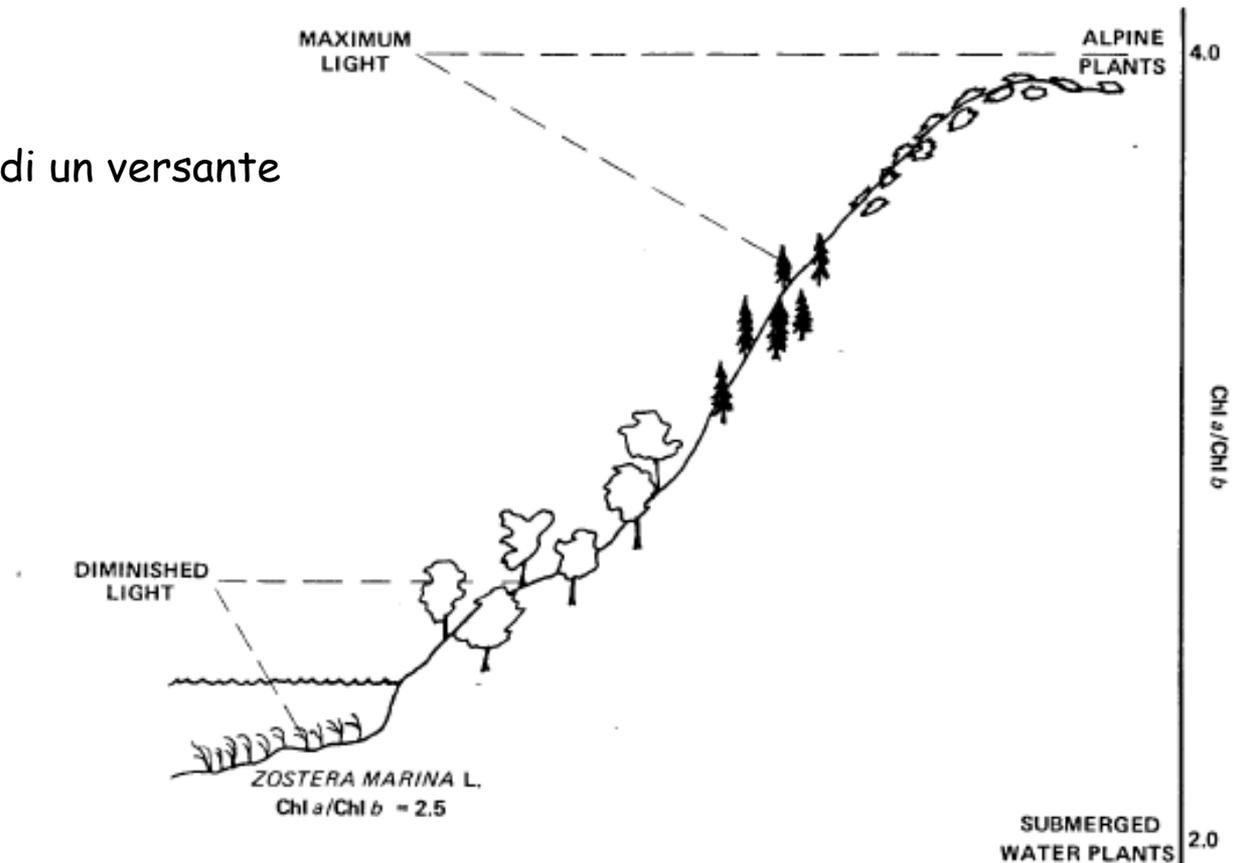
Buona parte della PAR viene assorbita ed utilizzata dalle foglie che sono direttamente esposte alla luce del sole. Al contrario, le piante del sottobosco ricevono la luce che è già passata attraverso lo strato arboreo, il quale ha già assorbito selettivamente buona parte delle lunghezze d'onda del rosso e del blu. È quindi vantaggioso, per queste piante, avere una quantità maggiore di pigmenti accessori che consentano di massimizzare l'assorbimento della radiazione luminosa disponibile, trasferendo energia alla Chl_a.

Importanza della luce come fattore ambientale

QUANTITA'

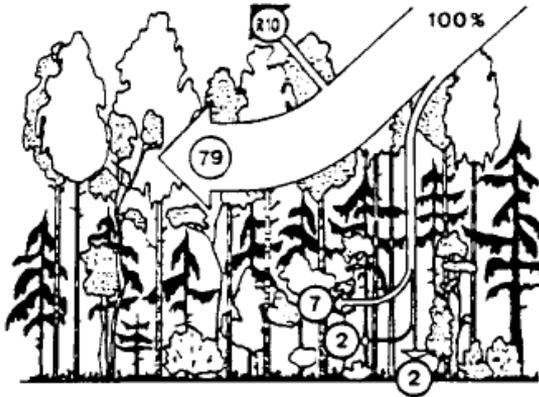
La quantità di luce incidente può essere determinata da diversi fattori:

- Condizioni metereologiche
- Latitudine geografica
- Disposizione delle piante su di un versante montuoso o in un anfratto

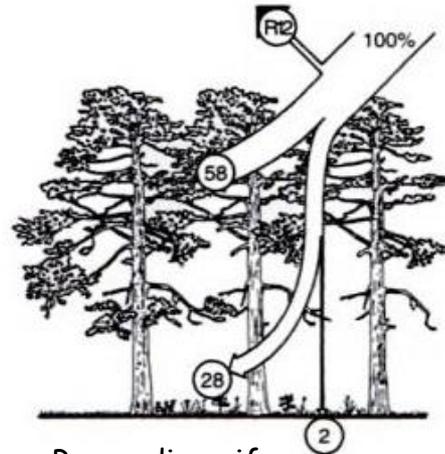


Importanza della luce come fattore ambientale

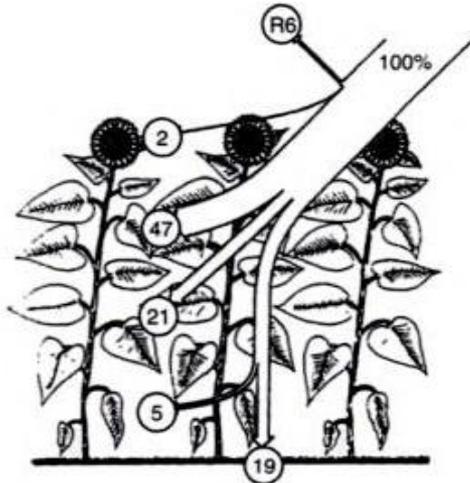
QUANTITA'



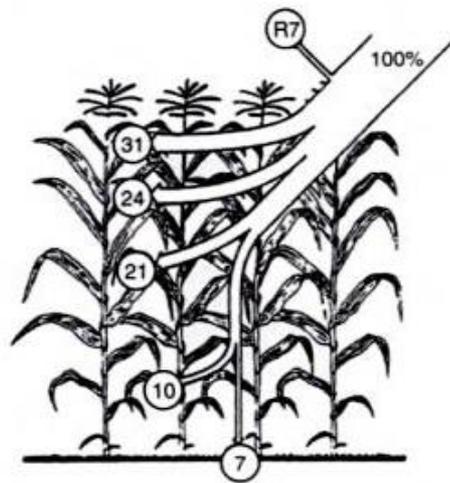
Foresta boreale di abete e betulla



Bosco di conifere

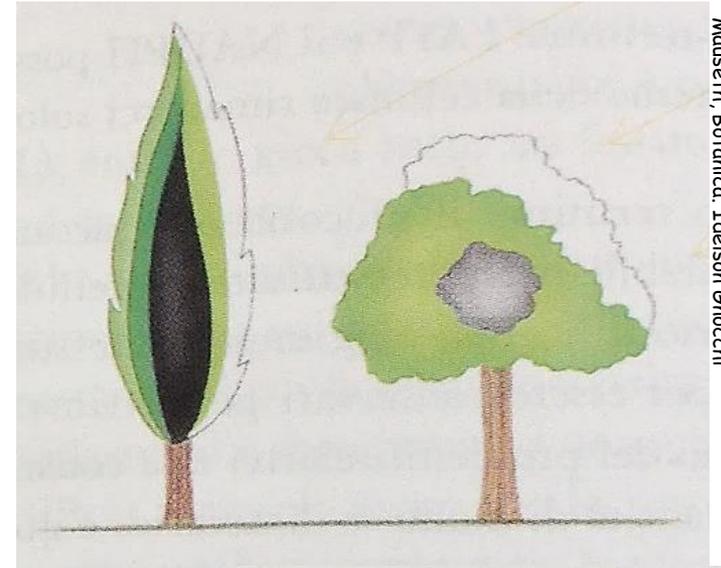


Campo di girasoli

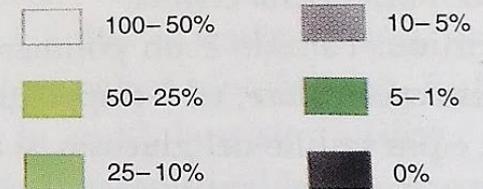


Campo di mais

- Densità fogliare della popolazione sovrastante
- Posizione delle foglie nella chioma della stessa pianta



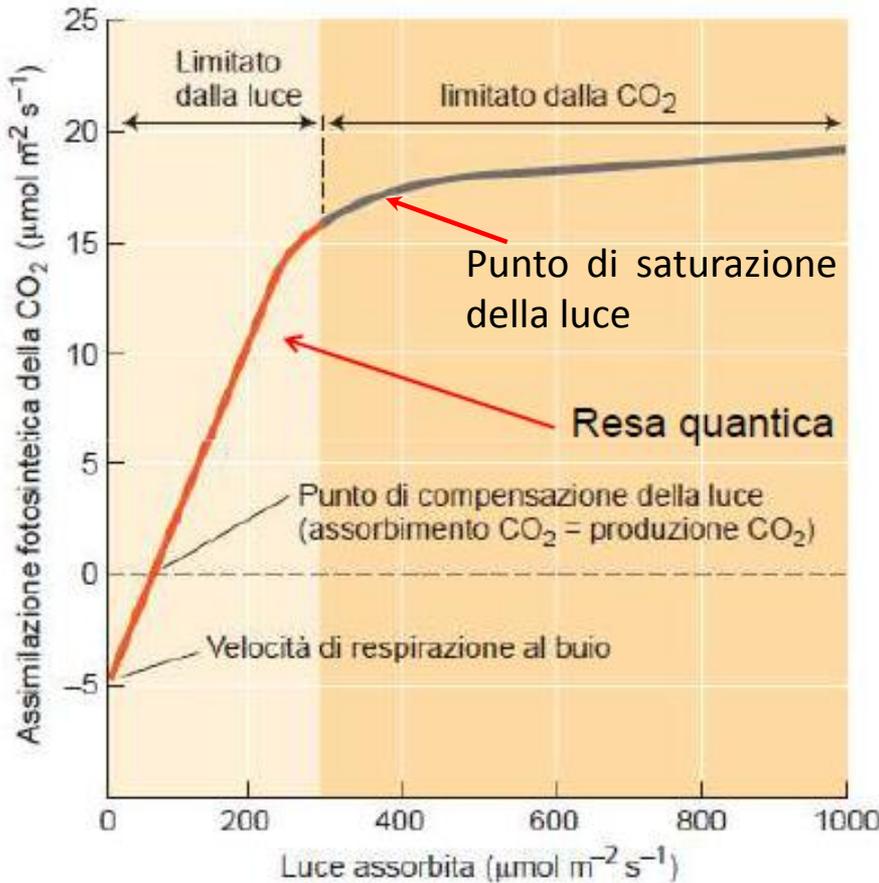
Percentuale di luce incidente le diverse parti di un albero



(b)

Importanza della luce come fattore ambientale

Ogni pianta presenta una caratteristica dipendenza della fotosintesi netta dall'irradianza:

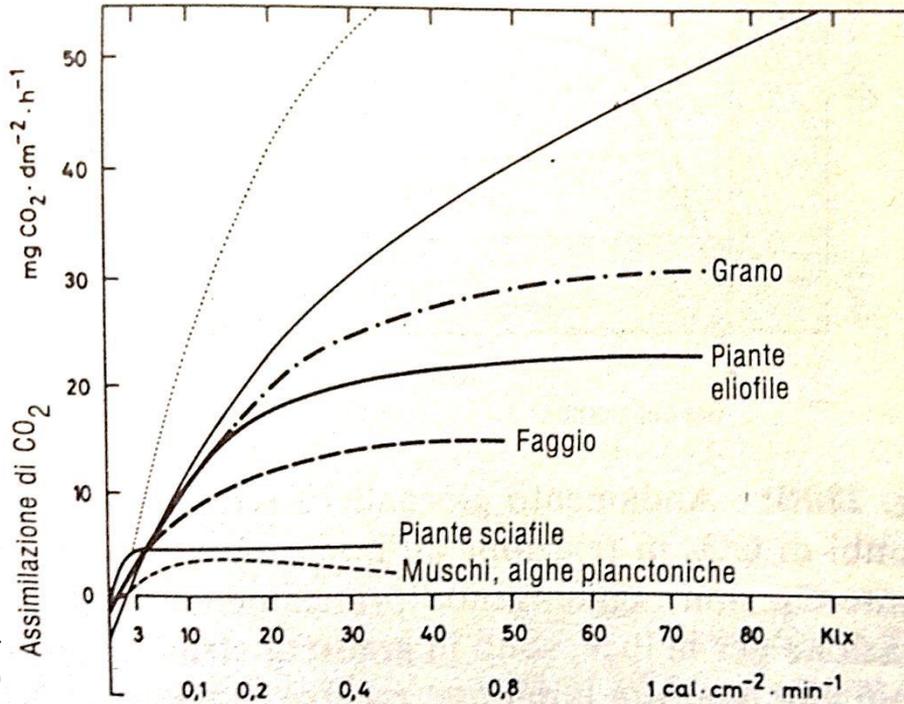


❶ Inizialmente, con l'aumentare dell'irradianza aumenta la velocità di assimilazione della CO_2 . La luce rappresenta il fattore limitante. Punto di compensazione della luce: livello di irradianza che comporta una fotosintesi netta nulla, in quanto la quantità di CO_2 assorbita durante il processo fotosintetico è uguale a quella prodotta con la respirazione

❷ Punto di saturazione della luce: l'apparato fotosintetico è saturato dalla luce. Aumentando l'irradianza la velocità di assimilazione della CO_2 non aumenta. La CO_2 rappresenta il fattore limitante.

❸ Aumentando l'intensità luminosa, cominciano a manifestarsi i primi segnali di danneggiamento della pianta per esposizione ad un eccesso di irradiazione. La luce porta al surriscaldamento della pianta, provocando rottura dei pigmenti e danneggiamento dell'apparato fotosintetico.

Importanza della luce come fattore ambientale



A seconda del loro adattamento a differenti intensità di illuminazione, piante diverse (così come foglie presenti in punti diversi della pianta) mostrano curve di assimilazione della CO₂ differenti.

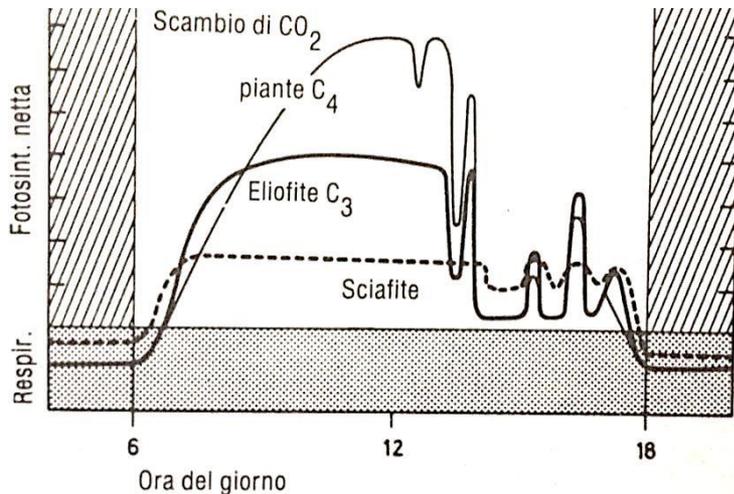
Piante sciafile

Bassi valori di fotosaturazione, ma attività fotosintetica elevata a bassa irradianza. Migliore efficienza fotosintetica a basse intensità luminosa rispetto alle altre piante

Piante eliofile

Alti valori di fotosaturazione, migliore efficienza fotosintetica ad irradianze più elevate. Minore suscettibilità a danni fotossidativi rispetto alle piante sciafile.

Le piante C₄ manifestano inoltre la maggior efficienza fotosintetica ad alte irradianze, grazie alla loro capacità di concentrare efficientemente la CO₂ impedendo che questa rappresenti un fattore limitante.



Importanza della luce come fattore ambientale

DURATA

Per durata della luce si intende il numero totale di ore di luce giornaliere.

Equatore → il giorno dura 12 ore durante tutto l'anno

Poli → metà estate: il giorno dura 24 ore
metà inverno: la notte dura 24 ore

Medie latitudini:

Inverno → giorni brevi e luce debole, a causa della posizione bassa del sole. Le piante abbassano i tassi fotosintetici

Estate → giorni più lunghi e luce più intensa. Aumento del tasso fotosintetico, maggiore sintesi e accumulo di amido negli organi di riserva.

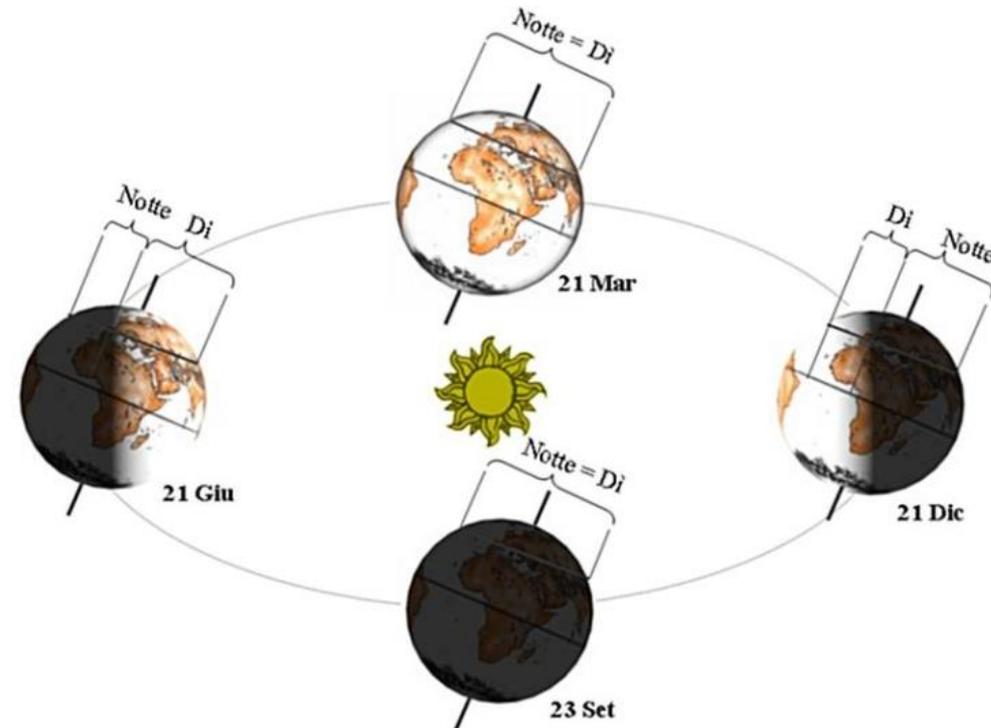


Fig.3 - La durata del dì e della notte variano con le stagioni e con la Latitudine. All'Equatore notte e dì sono sempre di 12h.

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

Le piante presentano diversi tipi di adattamento alla radiazione luminosa che colpisce l'ambiente in cui vivono. Questi includono meccanismi di risposta a breve e lungo termine, l'acclimatazione e l'evoluzione di genotipi specifici. Distinguiamo due diversi meccanismi di adattamento:

1. Adattamento modulativo → reversibile
2. Adattamento modificativo → irreversibile

1. Adattamento modulativo

È veloce e reversibile in periodi di tempo relativamente brevi. Comprende:

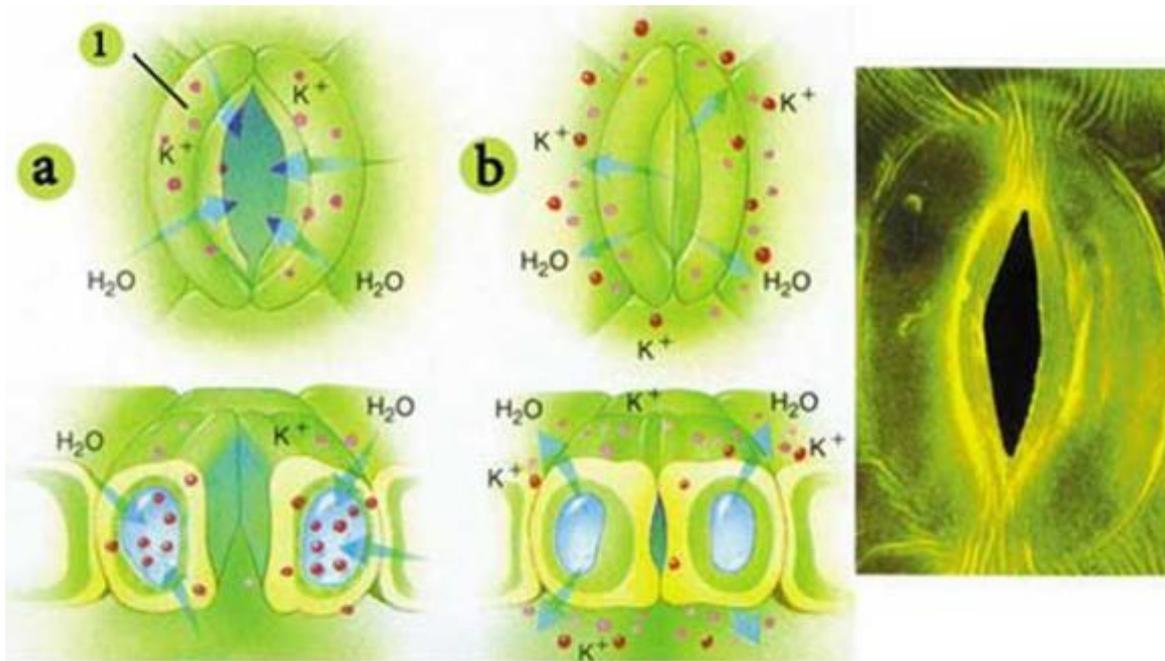
- Movimenti fotonastici
- Modifiche nell'organizzazione dei cloroplasti nelle cellule
- Modifiche nell'organizzazione dell'ultrastruttura dei cloroplasti
- Cambiamento nel contenuto pigmentario

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

1. Adattamento modulativo

- Movimenti fotonastici:

APERTURA/CHIUSURA DEGLI STOMI



Movimenti di apertura e chiusura delle cellule di guardia degli stomi causati dalla variazione dell'intensità luminosa. La luce, infatti, induce normalmente un aumento del turgore delle cellule di guardia, favorendo l'apertura degli stomi.

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

1. Adattamento modulativo

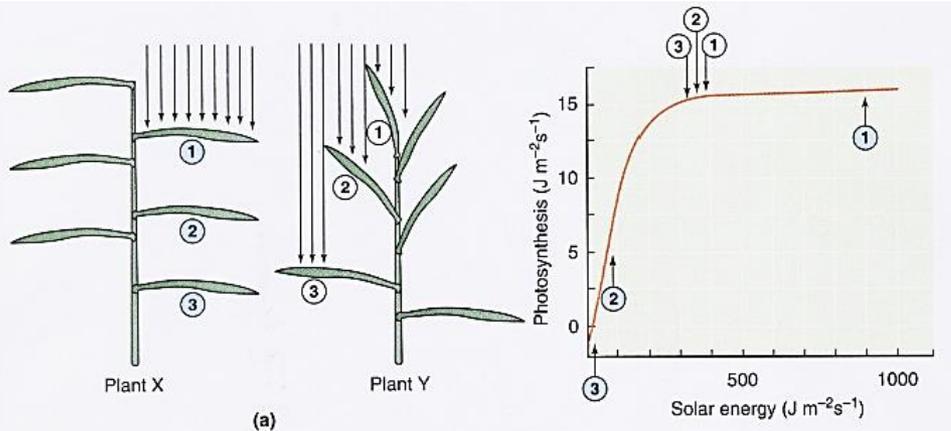
- Movimenti fotonastici

MOVIMENTI FOGLIARI

Porta come conseguenza ad una variazione dell'angolo di incidenza della luce

Luce bassa → movimento verso la luce

Alta intensità luminosa → disposizione della lamina fogliare in posizione ortotropa



Distribuzione della luce in piante con foglie ad orientamento orizzontale (X) o verticale (Y) e relative efficienze fotosintetiche

Eliotropismo

Piante diaeliotrope: mantenimento del massimo tasso fotosintetico durante tutto il giorno grazie alla capacità di «seguire» il sole

Piante paraeliotrope: allontanamento delle foglie dalla luce solare per diminuire l'assorbimento di calore e la riduzione di perdita d'acqua



Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

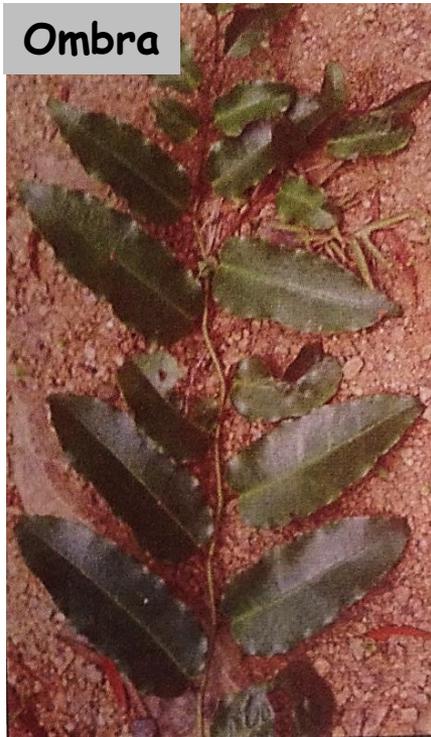
1. Adattamento modulativo

- Movimenti fotonastici

MOVIMENTI FOGLIARI

In molte piante sciafile, l'alta intensità luminosa induce una variazione dell'orientamento delle foglie, che si ripiegano lungo la nervatura centrale, riducendo l'esposizione alla luce.

Ombra



Luce



Amborella trichopoda, tipica delle foreste pluviali della California. All'ombra la lamina fogliare è appiattita, ma al sole si ripiega su se stessa.



Orientamento delle foglie in *Selaginella martensii* in funzione della diversa esposizione alla luce:

LL → bassa luce

ML → media intensità luminosa

HL → alta luce

Si osserva una variazione dell'orientamento delle microfille rispetto all'asse centrale del fusto, che diventa sempre più divergente all'aumentare dell'intensità luminosa

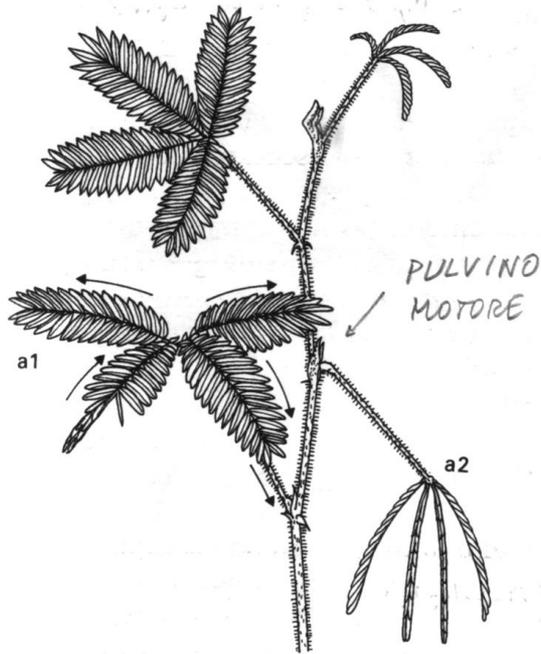
(Da Cucuzza S., Tesi di Laurea)

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

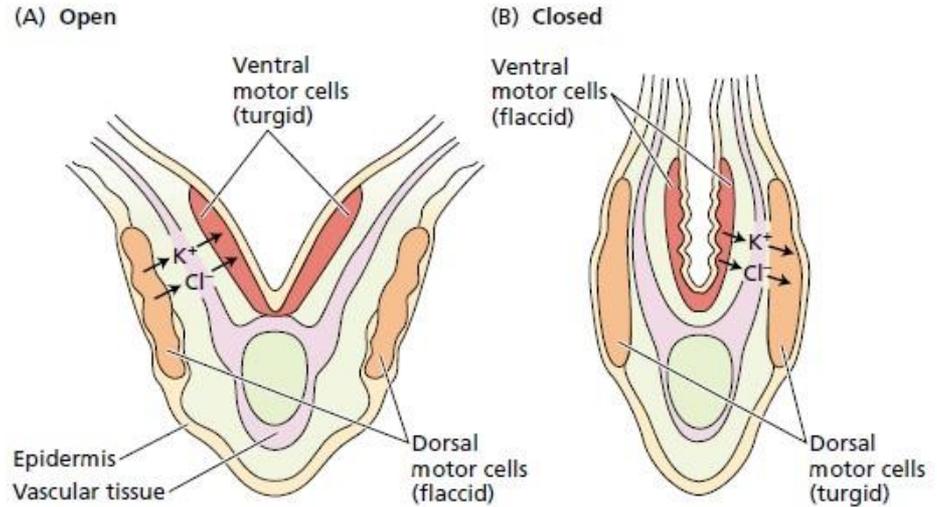
1. Adattamento modulativo

- Movimenti fotonastici

MOVIMENTI FOGLIARI



Le foglie adulte possono rispondere fotonasticamente richiudendosi su loro stesse grazie alla presenza di pulvini motori. Molto frequenti nelle Leguminose, si trovano alla base del picciolo o della lamina fogliare.



Taiz and Zeiger, Plant Physiology.

Oxalis sp.

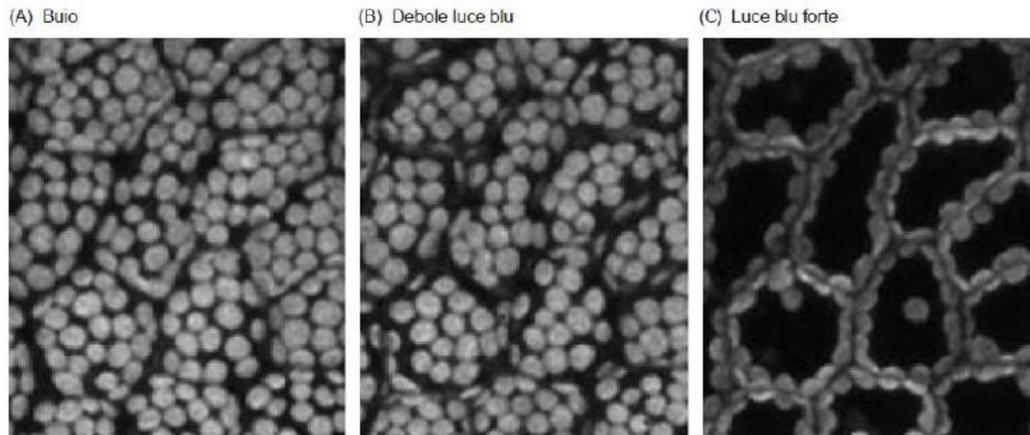


Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

1. Adattamento modulativo

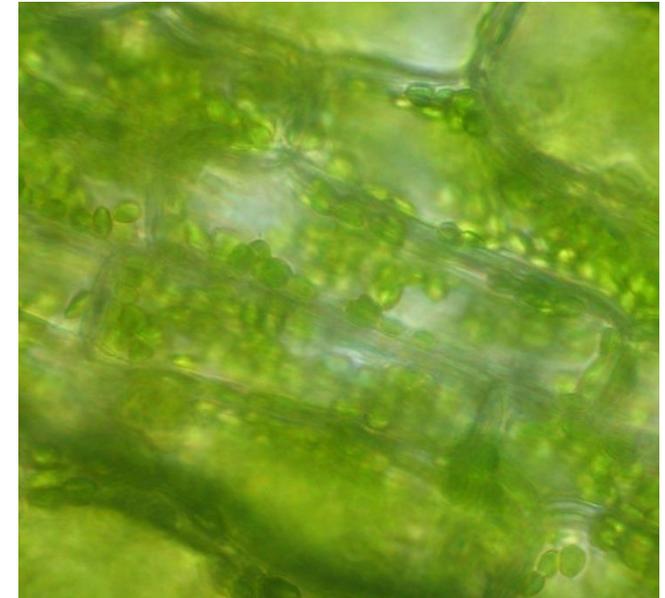
- Movimento dei cloroplasti all'interno delle cellule vegetali

La distribuzione dei cloroplasti all'interno delle cellule vegetali può essere rapidamente variata in funzione dell'intensità della luce e della necessità di aumentare o diminuire il suo assorbimento



Taiz e Zeiger. Fisiologia Vegetale. Piccin

Quando la luce è intensa (c), i cloroplasti si allineano lungo le pareti cellulari delle cellule riducendo l'assorbimento della luce del 10% e limitando il danneggiamento fotosintetico. Il movimento dei cloroplasti all'interno delle cellule vegetali si verifica grazie ai movimenti citoplasmatici, guidati dai microtubuli del citoscheletro.



Movimento dei cloroplasti in foglia di *Elodea canadensis*



spiro-zygnuma-elodea 033.avi

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

1. Adattamento modulativo

Alcune microalghe presentano una macchia oculare, organello sensibile alla luce costituito in prevalenza da carotenoidi, che permette loro di percepire l'intensità luminosa e nuotare verso di essa o allontanarsi da essa nel caso in cui sia troppo intensa.



Macchie oculari nella Chlorophyta
Dunaliella tertiolecta

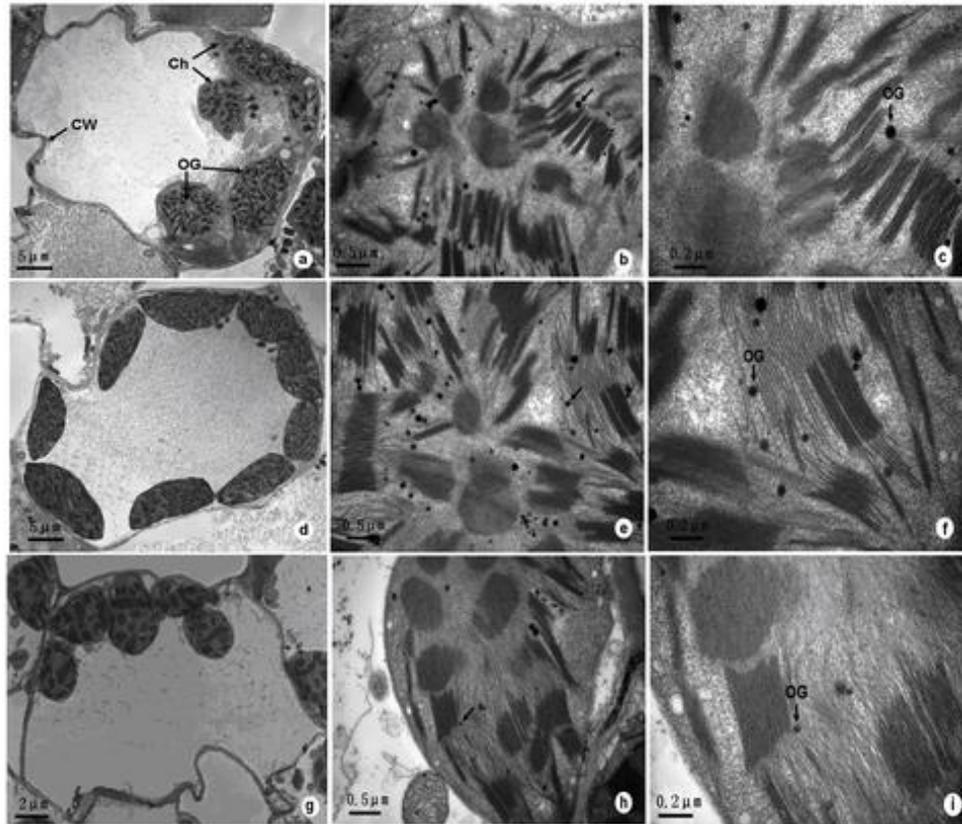


Macchia oculare nella Euglenophyta
Euglena gracilis Klebs

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

1. Adattamento modulativo

- Modifiche nell'organizzazione dell'ultrastruttura dei cloroplasti



L'esposizione di una pianta ad una variazione di intensità luminosa comporta la modulazione delle membrane fotosintetiche. Tale variazione è ben visibile osservando l'ultrastruttura del cloroplasto al TEM (microscopio elettronico a trasmissione). Il passaggio luce-ombra comporta nel cloroplasto un aumento del sistema tilacoidale, con membrane maggiormente appressate in grana di dimensioni anche molto estese.

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

1. Adattamento modulativo

- Cambiamento nel contenuto pigmentario

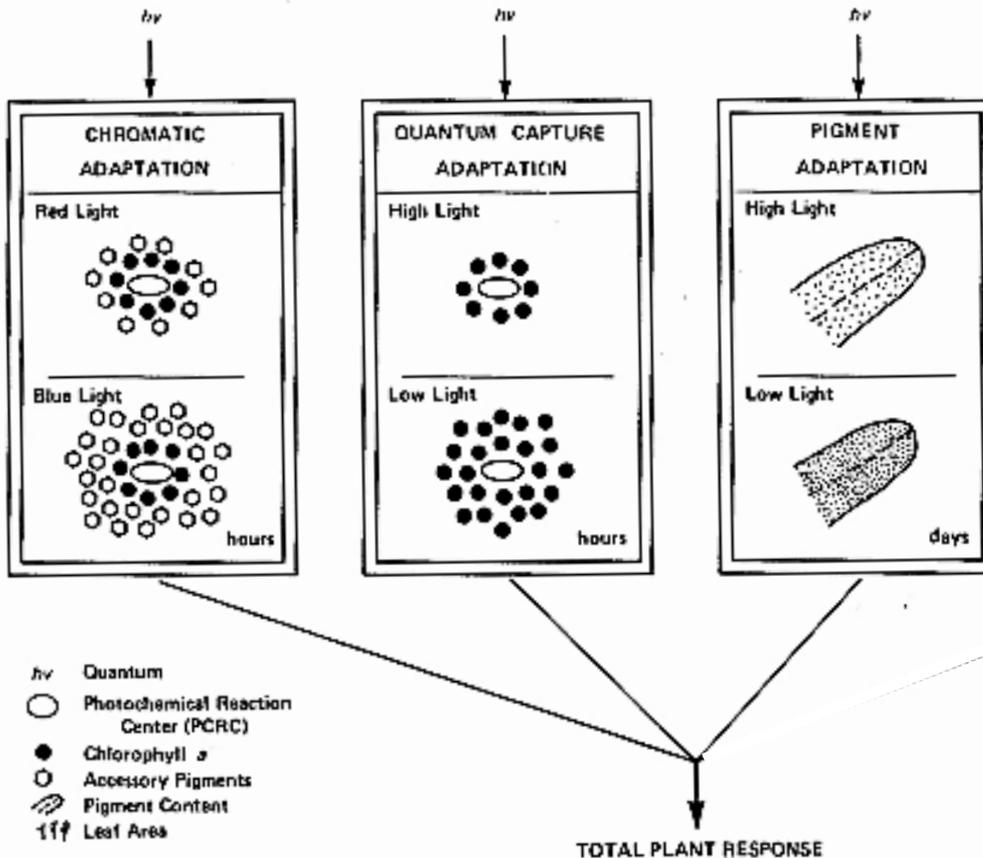


Figure 1. A conceptual model of light adaptations by plants represented by a four way adaptive scheme with predicted plant responses under different light regimes and time scale for adaptive response.

La modulazione della struttura tilacoidale è strettamente collegata alla variazione dell'assetto e del contenuto pigmentario in risposta alla variazione della luce:

→ l'esposizione a basse intensità luminose induce un aumento della concentrazione di pigmenti accessori (in particolare Chl_b) e della dimensione dell'LHCII, ai fini di massimizzare la raccolta della luce. Le antenne si distribuiscono principalmente nelle zone appressate dei grana, con relativo aumento delle loro dimensioni

→ l'esposizione ad alte irradianze induce una diminuzione delle dimensioni dell'LHCII (necessità di ridurre l'assorbimento della luce). I grana sono quindi meno abbondanti e di dimensioni minori

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

2. Adattamento modificativo

Adattabilità ereditata, determinata dal genotipo. Risultato evolutivo determinato dall'adattamento alle condizioni luminose prevalenti nell'habitat nativo.

Piante eliofile → piante che vivono in ambienti con luce intensa e diretta (Es: praterie)

Piante sciafile → piante che vivono in ambienti poveri di luce (Es: piante di sottobosco)

Piante eliofile e piante sciafile presentano numerose differenze riguardanti:

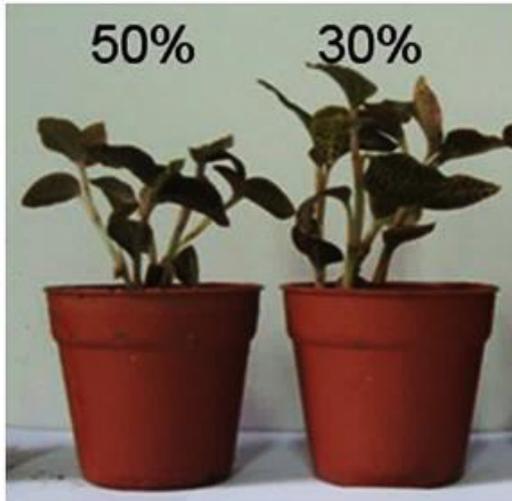
- Le dimensioni
- L'anatomia fogliare
- Il contenuto pigmentario
- Il rapporto PSII/PSI
- L'ultrastruttura dei cloroplasti

Oltre a piante di sole e piante di ombra, si possono trovare anche foglie di sole e foglie di ombra, a seconda della posizione all'interno della chioma

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

2. Adattamento modificativo

- La dimensione della pianta



Molte piante eliofile presentano dimensioni ridotte rispetto alle piante cresciute in ombra. La differenza nelle dimensioni può essere riscontrata anche crescendo sperimentalmente la stessa pianta a diverse intensità luminose. L'esposizione ad alta luce comporterà un ridotto allungamento degli internodi rispetto alla pianta cresciuta ad irradianze minori. Es: coltivazione di *Anoectochilus roxburghii* esponendo la pianta al 50 e 30% dell'intensità luminosa presente in condizioni naturali.

Mod. Da Shao Q, Wang H, Guo H, Zhou A, et al.

(2014) <http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0085996>

In natura, molte piante eliofile hanno la capacità di percepire la presenza dell'ombra generata da altre piante. Come risposta, chiamata **ELUSIONE DELL'OMBRA**, si verifica l'allungamento degli internodi e l'espansione della lamina fogliare. In questo modo, le piante sono in grado di raggiungere più efficientemente la luce del sole.

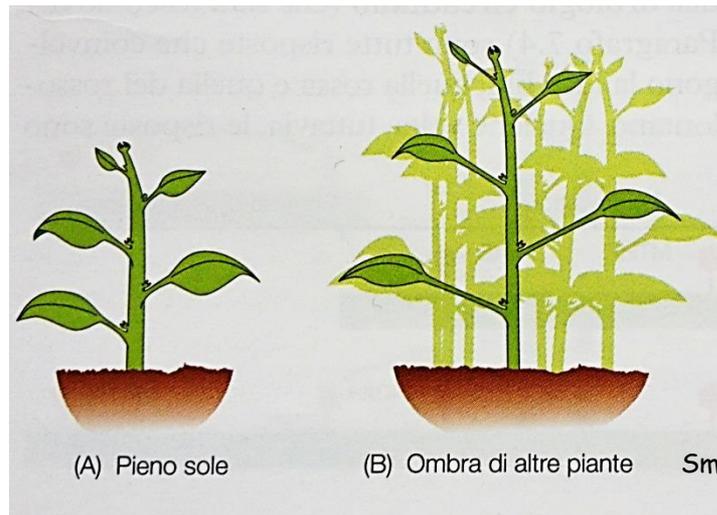


Figura 7.12

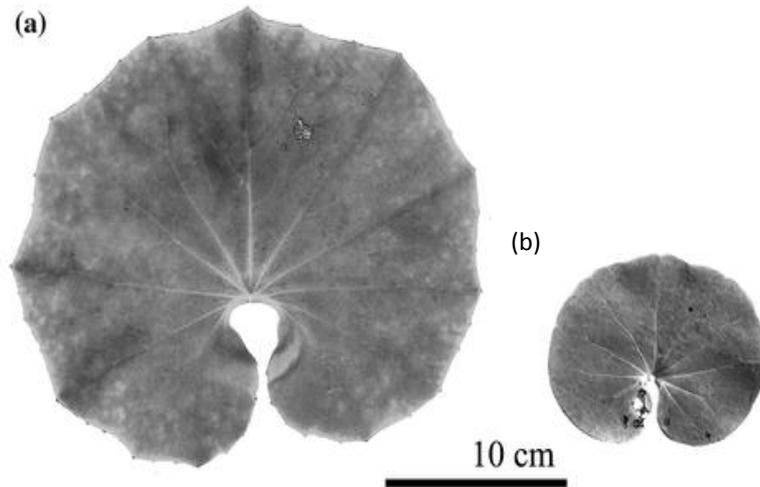
La risposta di elusione dell'ombra. (A) Le piante cresciute in pieno sole hanno internodi e piccioli corti. (B) Le piante ombreggiate da altre piante esibiscono una classica risposta di "elusione dell'ombra": cioè mostrano piccioli e internodi allungati.

Smith et al., *Bioogia delle piante*. Zanichelli

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

2. Adattamento modificativo

- L'anatomia fogliare



Es: *Farfugium japonicum* raccolto da

a) sottobosco (bassa luce)

b) una popolazione costiera (alta luce)

Mod. da Nomura et al., The Botanical Society of Japan and Springer-Verlag (2006) 10.1007/s10265-006-0024-5

Fig. 2

Pictures of leaf blades at the three population sites (sites A, B, and C). a Shade leaves at site A; b stenophyllous leaves at site B; c sun leaves at site C

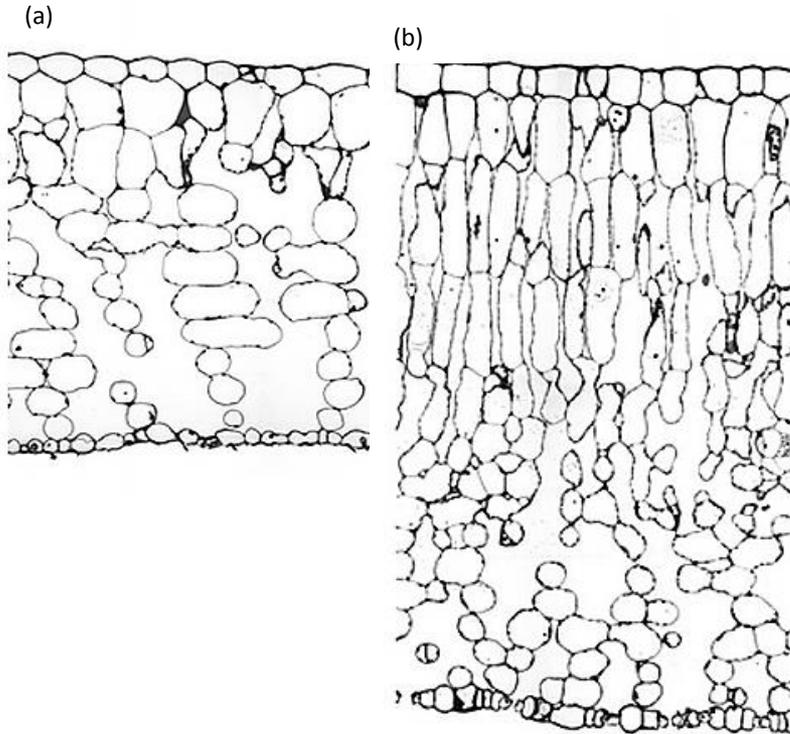
Piante d'ombra → lamine fogliari espanse, per mantenere un efficiente assorbimento della luce

Piante di sole → sviluppo di foglie di dimensioni ridotte. Conseguente ridotto assorbimento di luce e maggiore capacità di dissipazione del calore in eccesso per evapotraspirazione

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

2. Adattamento modificativo

- L'anatomia fogliare



Es: *Farfugium japonicum* raccolto da

a) sottobosco (bassa luce)

b) una popolazione costiera (alta luce)

Mod. da Nomura et al., The Botanical Society of Japan and Springer-Verlag (2006) 10.1007/s10265-006-0024-5

Lo spessore della foglia aumenta con la disponibilità di luce e dipende prevalentemente dall'aumento del numero di strati di tessuto a palizzata.

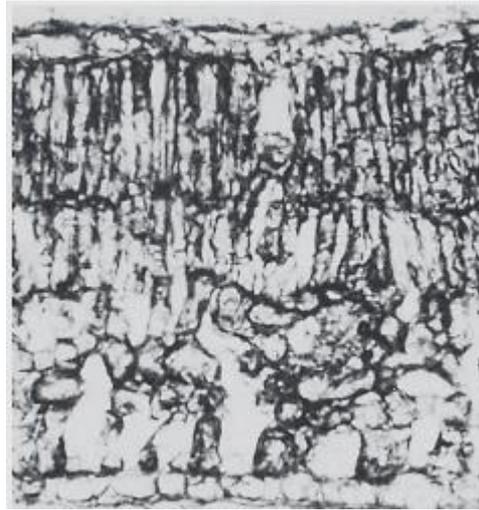
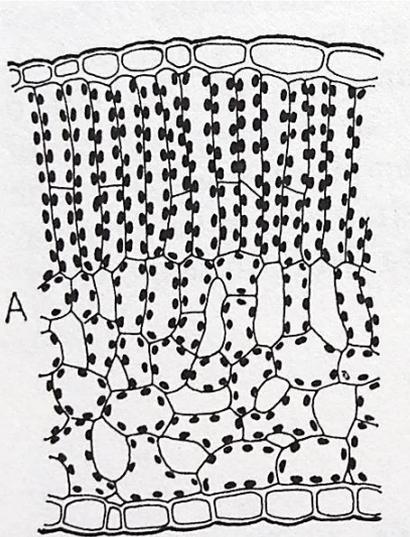
In particolare, nelle foglie di piante eliofile si osservano:

- Cellule del tessuto a palizzata più strette, allungate e in numero maggiore. Necessità di raccogliere un maggior quantitativo di luce incidente la foglia rispetto alle piante d'ombra
- Un maggior numero di cellule che compongono il mesofillo lacunoso rispetto alle foglie d'ombra. Tuttavia, le cellule sono di dimensioni ridotte, quindi lo spessore totale del mesofillo lacunoso è invariato
- Eventuale presenza di strati di cere e cuticola a livello sull'epidermide superiore, ai fini di riflettere parte della luce intensa che colpisce la lamina fogliare

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

2. Adattamento modificativo

- L'anatomia fogliare



Variazioni nello spessore e nella struttura della lamina fogliare si possono riscontrare anche in foglie appartenenti ad una stessa pianta, disposte in posizioni differenti all'interno della chioma:

- Foglie di sole → foglie più esterne o situate sul lato Sud
- Foglie d'ombra → foglie più interne o situate sul lato Nord della chioma

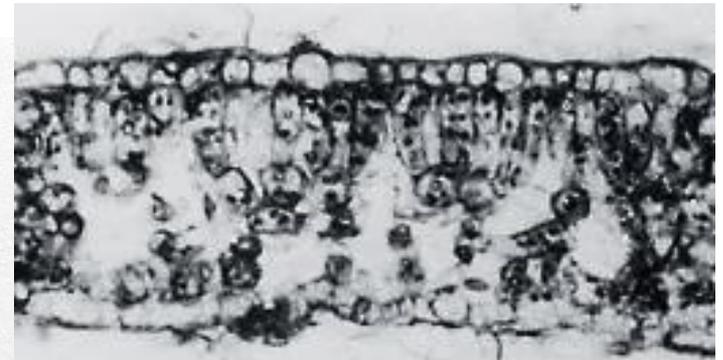
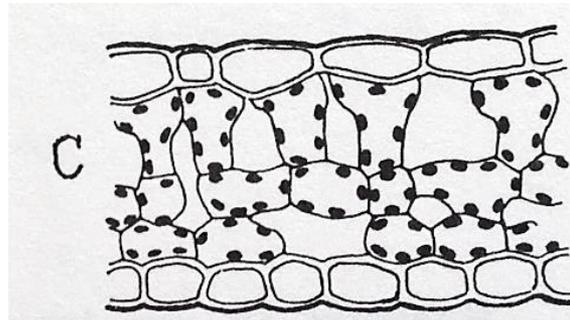
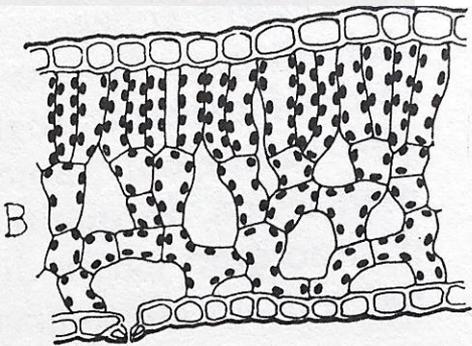


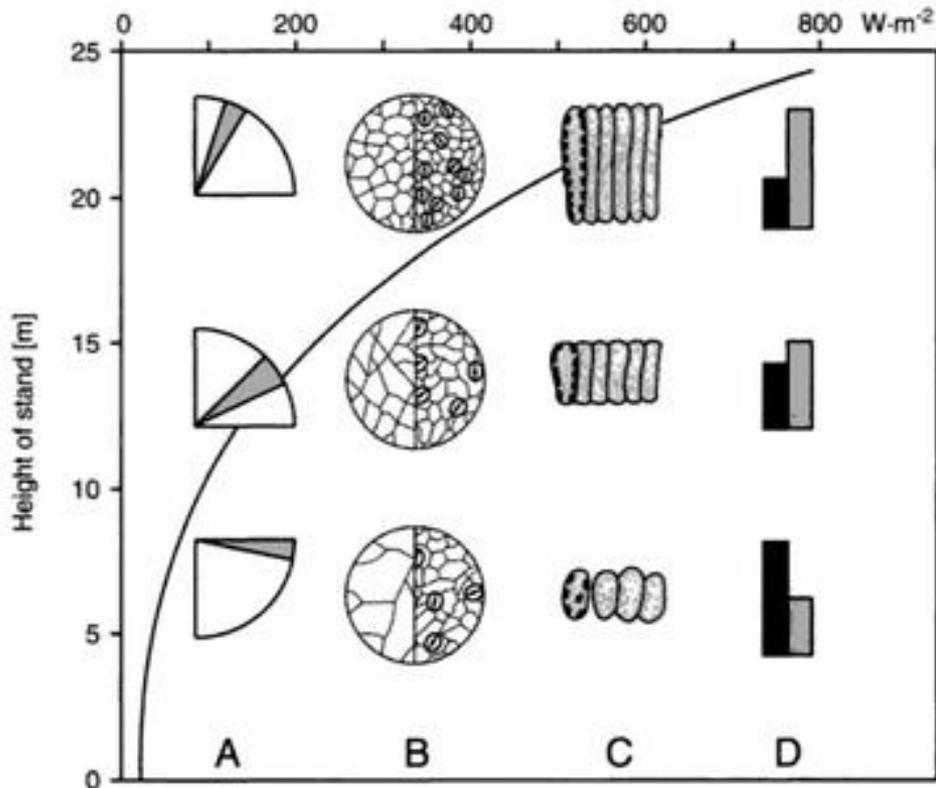
Fig. 384: Sezione trasversale di foglia di faggio (*Fagus sylvatica*). A foglia di sole. B foglia di media luce. C foglia d'ombra (ca. 340 ×, da KIENITZ—GERLOFF).

Strasburger. Trattato di Botanica. Antonio Delfino editore; Lichtentqler et al., Photosynhtesis Research (1981) 2:115-141

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

2. Adattamento modificativo

- L'anatomia fogliare



Foglie posizionate in punti diversi di una stessa chioma mostrano, a luce crescente:

- Orientamento ortotropo → minor necessità di cattura della luce e maggior necessità di evitare il surriscaldamento della lamina fogliare
- Aumento del numero degli stomi e delle nervature → maggiore necessità di effettuare traspirazione per evitare il surriscaldamento della lamina fogliare
- Aumento della dimensione delle cellule del tessuto a palizzata e distribuzione dei cloroplasti tangenzialmente le pareti cellulari → per massimizzare la raccolta di luce, ma anche evitare il fotodanno causato dalla grande quantità di luce incidente
- Diminuzione del contenuto in clorofille riferito al peso fresco della foglia → minore necessità di assorbimento della luce, quindi ridotte dimensioni delle antenne

Fig. 1.34A-D. Structural adaptations of leaves to the light climate of a *Quercus-Tilia* forest. The curve indicates the average irradiance at noon on clear days in July. **A** predominant leaf inclination; **B** density of venation on the leaf surface (left half) and stomatal density on the lower leaf surface (right half); **C** typical shape of cells of the palisade parenchyma; **D** chlorophyll content per cell, referred to fresh mass (left) and surface area (right). (After Tselniker 1978; Goryshina 1980, 1989). For modified responses to the microclimate in conifer forests, see Aussenac (1973); for structural and functional adaptations of sclerophyllous leaves of Mediterranean shrubs, see Gratani (1993)

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

2. Adattamento modificativo

- Il contenuto pigmentario

Foglie che crescono ad alte intensità luminose hanno la possibilità di fissare la CO_2 assorbita con un tasso fotosintetico maggiore rispetto alle piante di ombra. Per questo motivo, piante o foglie di sole presentano cloroplasti con:

- Maggiori concentrazioni di proteine solubili e, in particolare, di RUBISCO. La porzione stromatica del cloroplasto è molto abbondante rispetto a quella tilacoidale
- Minori dimensioni delle antenne che permettono di raccogliere e convogliare la luce alla Chl a del centro di reazione del PSII. In particolare, si osserva una minore concentrazione di Chl b rispetto alle piante o foglie d'ombra e una maggiore concentrazione di xantofille, che favoriscono il dissipamento di energia luminosa assorbita in eccesso sotto forma di calore, limitando il fotodanno
- Minor rapporto PSII/PSI rispetto alle piante e foglie d'ombra.

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

2. Adattamento modificativo

- Il contenuto pigmentario

Al contrario, piante e foglie di ombra presentano adattamenti per aumentare l'assorbimento della luce ed il trasferimento di energia in luoghi ombreggiati, dove la luce nel rosso lontano è più abbondante, perché gran parte della radiazione luminosa è stata assorbita dalle piante eliofile sovrastanti o dalle foglie di sole presenti nei punti più alti della chioma:

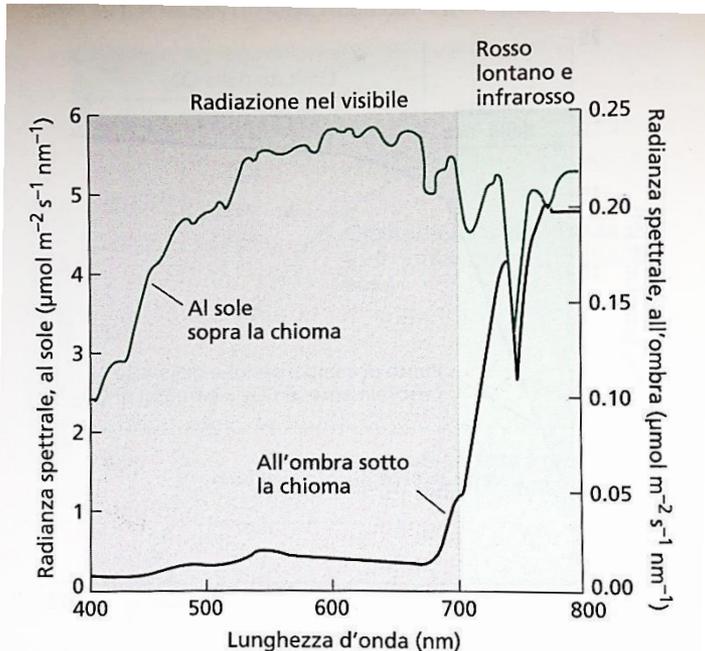


Figura 9.6 Distribuzione spettrale della luce solare sulla cima e alla base di una copertura vegetale. La radianza totale della luce solare non filtrata era di $1.900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e nella parte in ombra di $17,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La maggior parte della radiazione fotosinteticamente attiva è stata assorbita dalle foglie della copertura vegetale. (Da Smith, 1986).

- Maggior contenuto di Chlb e maggiori dimensioni delle antenne per aumentare lo spettro di assorbimento
- Minor concentrazione di proteine solubili e di RUBISCO \rightarrow minore velocità di fissazione della CO_2 , la fotosintesi è limitata dalla disponibilità di luce
- Maggiore rapporto PSII/PSI. La luce nel rosso lontano è assorbita principalmente dal PSI. Nelle piante d'ombra vi è quindi la necessità di aumentare le proporzioni di PSII per mantenere un miglior bilancio di flusso energetico tra i fotosistemi

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

2. Adattamento modificativo

- Il contenuto pigmentario

Differenze nel contenuto pigmentario tra foglie di sole e foglie di ombra di faggio:

Elevata concentrazione di carotenoidi in foglie di sole (~ >50%) rispetto alle foglie di ombra. Maggior quantitativo di Chl totali, ma..

Ridotto rapporto Chla/b nelle foglie di ombra, dovuto ad una maggior proporzione di Chlb per aumentare lo spettro di assorbimento della luce

Maggiori livelli di xantofille nelle foglie di sole rispetto alle foglie di ombra, in particolare di zeaxantina e dell'intermedio anteraxantina, coinvolte nella dissipazione di luce in eccesso sotto forma di calore

Da Lichtenthaler et al., 2007. Photosynthesis Research 92: 163-179

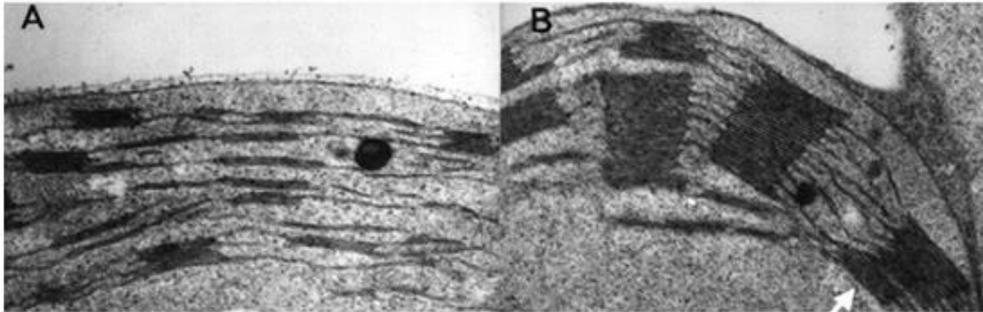
Table 1 Differences in the relative levels of chlorophylls and carotenoids and in pigment ratios (weight ratios) between sun and shade leaves of beech (*Fagus sylvatica* L.) in mid-July, and in cotyledons of high-light (HL) and low-light (LL) 8-day-old radish seedlings (*Raphanus sativus* L.)

	Beech		Radish	
	Sun	Shade	HL	LL
<i>Pigment levels</i>				
Chlorophyll a+b	532	409	345	296
Carotenoids x+c	121	65	70	54
β -Carotene (c)	43	18	25	15
Xanthophylls (x)	77	47	45	39
<i>Pigment ratios</i>				
Chl a/b	3.3	2.7	3.8	2.8
Chl a/ β -carotene, a/c	9.5	16.6	10.9	14.5
x/c	1.8	2.6	1.8	2.8
(a + b)/(x + c)	4.4	6.3	4.9	5.5
<i>% Composition of carotenoids</i>				
β -Carotene	36	28	36	26
Lutein	39	49	37	54
Neoxanthin	7	10	8	11
V + A + Z	17	13	19	11
Zeaxanthin (Z)	4	0	6	0
Antheraxanthin (A)	2	1	1	1
Violaxanthin (V)	11	12	12	10

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

2. Adattamento modificativo

- L'ultrastruttura dei cloroplasti



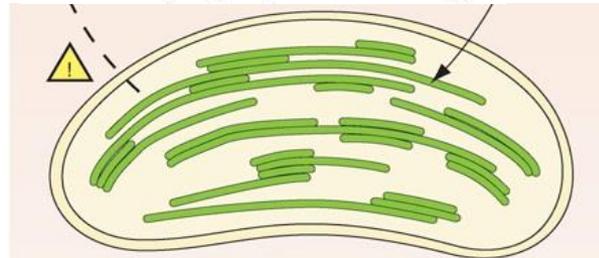
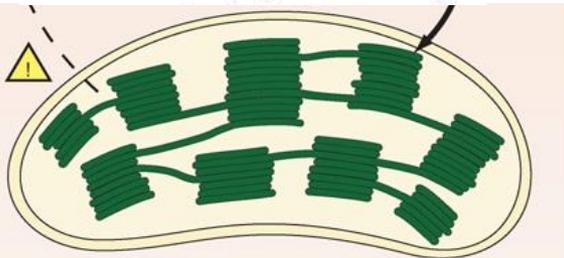
Sun and shade chloroplasts within a leaf
Spinacia oleracea (Terashima, Sakaguchi and Hara, 1986)

Il diverso assetto pigmentario e il diverso rapporto PSII/PSI si riflette nell'organizzazione tilacoidale:

- Poiché l'LHCII ed il PSII si ritrovano principalmente nelle zone appressate dei grana, cloroplasti di ombra presentano un abbondante sistema tilacoidale caratterizzato da spesse pile di tilacoidi
- Cloroplasti di luce, al contrario presentano lamelle meno appressate e maggiormente in contatto con lo stroma. Inoltre, il colore più chiaro è determinato da un minor contenuto di pigmenti accessori

WT in low light (high GLK activity)

WT in high light (low GLK activity)



Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

Adattamento morfologico in piante esposte continuamente a luce solare intensa



www.florarte.eu

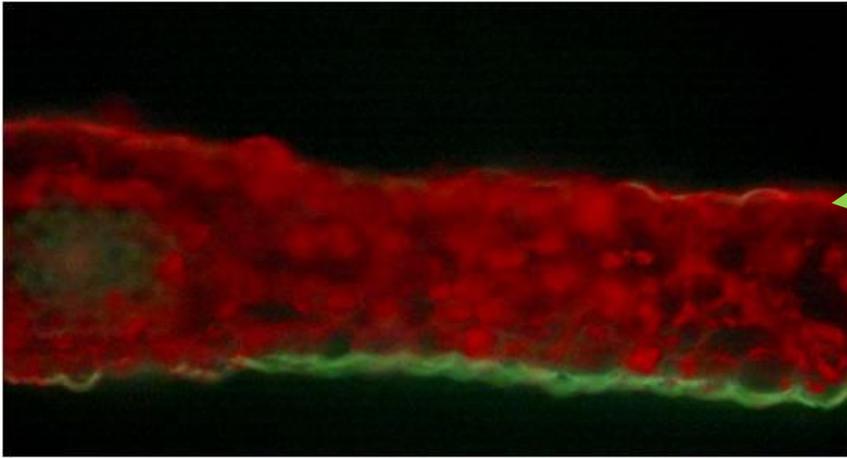


www.sbs.utexas.edu

In molte specie vegetali di alta montagna o viventi in luoghi aridi e deserti, vengono sintetizzati sulle foglie tricomi di protezione che riflettono parte della radiazione luminosa.

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

Adattamento morfologico in piante di sottobosco



Sezione trasversale di una microfilla di *Selaginella martensii* ed osservazione al microscopio in fluorescenza. Si osserva la presenza di cloroplasti anche sull'epidermide della pagina superiore

Cucuzza S., Tesi di Laurea

Piante di sottobosco, invece, tendono ad avere i tessuti della lamina fogliare maggiormente ricchi in cloroplasti, che sono presenti anche all'interno delle cellule dell'epidermide superiore, ai fini di aumentare la possibilità e l'efficienza di raccolta della luce in ambienti in cui la quantità è limitata

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

Adattamenti alla esigenza di luce in foreste pluviali tropicali

Nella lotta per la luce e per lo spazio si sono formati due gruppi di Cormofite con strutture particolari, caratteristici delle foreste pluviali tropicali

1. Liane e piante rampicanti

Si arrampicano con fusti sottili su altre piante, permettendo alle foglie di portarsi dalle zone ombrose della foresta verso la luce del sole

Modalità di ancoraggio al substrato in diverse piante rampicanti:

Mediante germogli curvati a forma di uncino. Es: *Solanum dulcamara*



Mediante peli uncinati rigidi. Es: *Gallium aparine*



Mediante spine o aculei
Es: rose rampicanti



commons.wikimedia.org

www.fireflyforest.com

forum.giardinaggio.it

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

Adattamenti alla esigenza di luce in foreste pluviali tropicali

1. Liane e piante rampicanti

Modalità di ancoraggio al substrato in diverse piante rampicanti:



Alcune piante rampicanti utilizzano per aderire al substrato radici di sostegno avventizie. Es: Edera

Pancaldi et al., Fondamenti di Botanica Generale. McGraw-Hill



Altre presentano fusti dagli internodi allungati che avvolgono il substrato su cui crescono (caule volubile).
Es: *Phaseolus vulgaris*

www.plantasyhongos.es

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

Adattamenti alla esigenza di luce in foreste pluviali tropicali

1. Liane e piante rampicanti

Modalità di ancoraggio al substrato in diverse piante rampicanti:

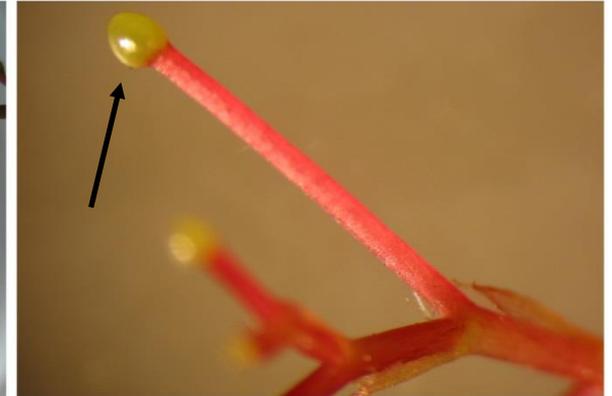
Diverse piante rampicanti hanno evoluto delle strutture di sostegno di diversa natura morfologica che forniscono un interessante esempio di sviluppo convergente: I VITICCI, organi filiformi che si avvolgono al substrato ancorando i germogli



Nelle Vitacee i viticci derivano da modificazioni del fusto e costituiscono rami terminali metamorfosati e ramificati



A



B

In alcuni casi i viticci possono terminare con dischi adesivi (ventose) e fissarsi così su superfici piane (Es: muri)

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

Adattamenti alla esigenza di luce in foreste pluviali tropicali

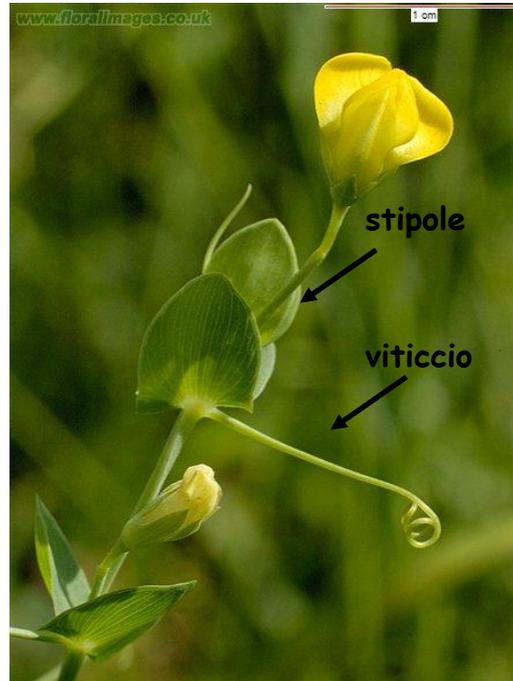
1. Liane e piante rampicanti

Modalità di ancoraggio al substrato in diverse piante rampicanti:

Diverse piante rampicanti hanno evoluto delle strutture di sostegno di diversa natura morfologica che forniscono un interessante esempio di sviluppo convergente: I VITICCI, organi filiformi che si avvolgono al substrato ancorando i germogli



In alcune Leguminose, i viticci derivano dalla modificazione della lamina fogliare. Es: in *Pisum sativum* si trasformano le parti superiori della foglia composta.



In alcuni casi, la foglia perde completamente l'attività fotosintetica, che viene assunta dalle stipole laterali, come in *Lathyrus aphaca*

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

Adattamenti alla esigenza di luce in foreste pluviali tropicali

1. Liane e piante rampicanti

Liane:



Fusti legnosi molto flessibili che avvolgono fusti di altre piante per raggiungere la luce. Possono raggiungere lunghezze fino a 5m.

Adattamento delle piante alla radiazione climatica locale

Adattamenti alla esigenza di luce in foreste pluviali tropicali

2. Piante epifite



Strasburger. Trattato di Botanica.
Antonio Delfino Editore



Contrariamente alle piante rampicanti, le piante Epifite crescono direttamente sui tronchi o sui rami degli alberi, raggiungendo una buona esposizione al sole. Il sostegno può essere costituito anche da sostanze inorganiche, come le rocce.