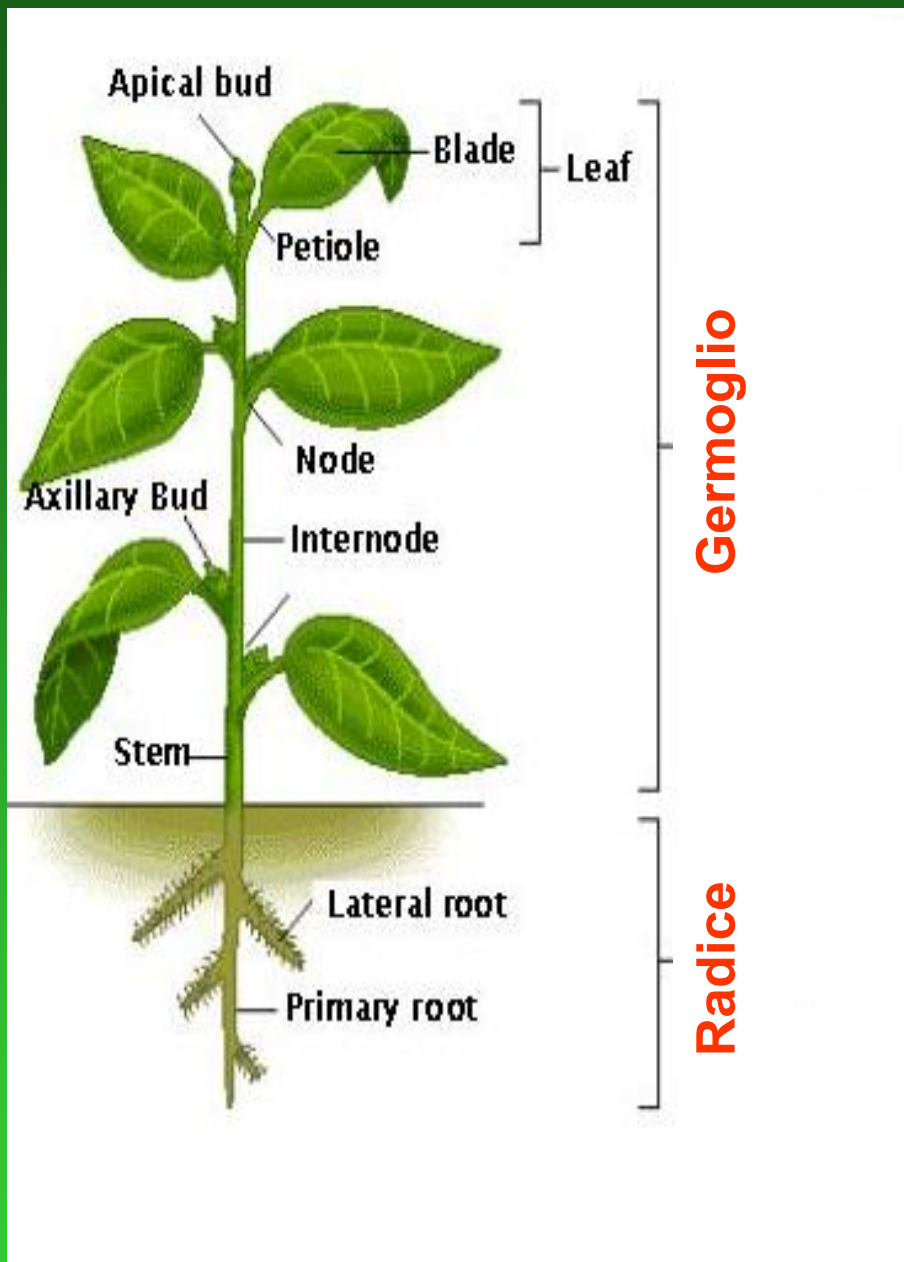
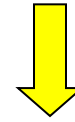


A close-up photograph of a green leaf, showing a detailed network of veins. The veins are a lighter green color, contrasting with the darker green of the leaf's surface. The veins form a complex, branching pattern across the leaf. The lighting is bright, highlighting the texture and structure of the leaf.

LAF OGLIA



CORPO DELLA PIANTA



Organi vegetativi:
foglia, fusto e radice

+

Organi riproduttivi:
elementi florali e frutto

GERMOGLIO



Fusto

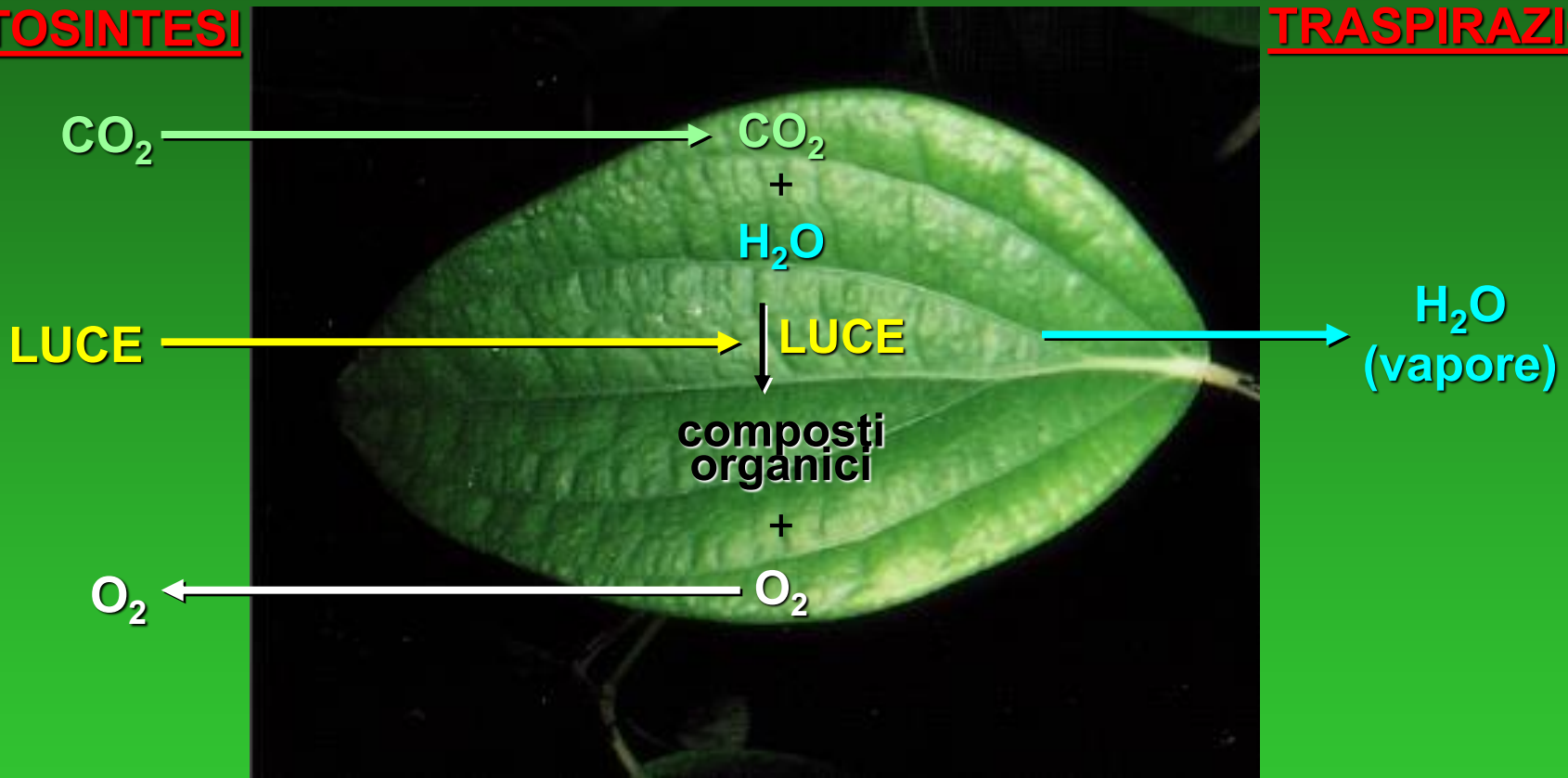
+

Foglie

FUNZIONI PRIMARIE DELLA FOGLIA

FOTOSINTESI

TRASPIRAZIONE



Le foglie con funzione fotosintetica sono dette **nomofilli**

ADATTAMENTI SECONDARI DELLE FOGLIE



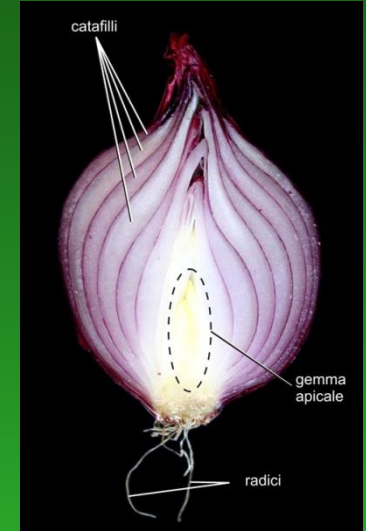
cotiledoni



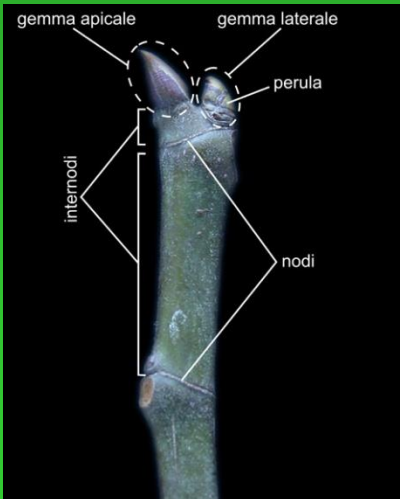
foglie succulente



spine



catafilli



perule



viticci



insettivore



petali, stami, carpelli

ADATTAMENTI SECONDARI DELLE FOGLIE

Cotiledoni: accumulo di nutrienti



ADATTAMENTI SECONDARI DELLE FOGLIE

Foglia succulente: accumulo di acqua



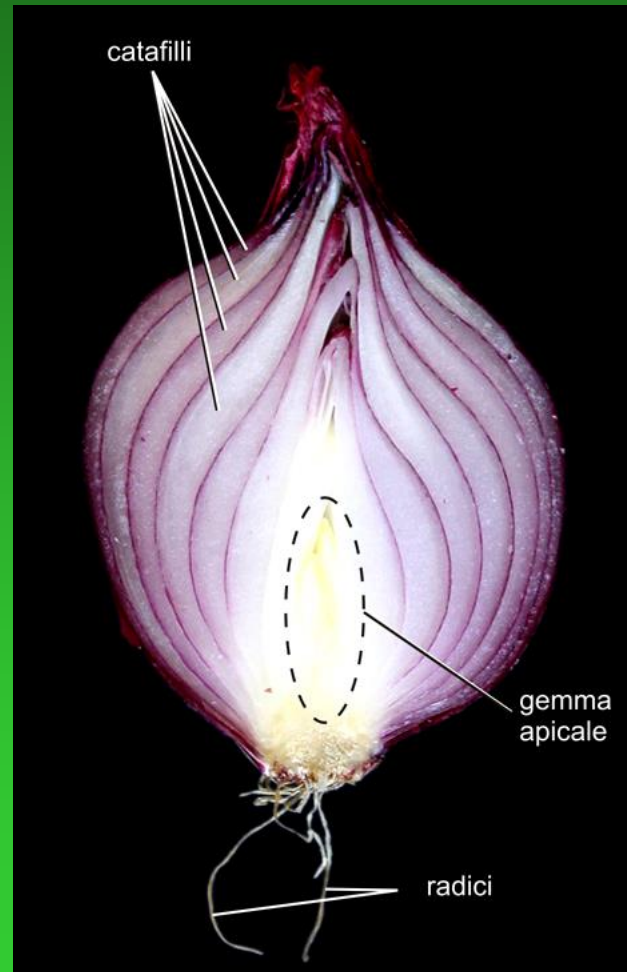
ADATTAMENTI SECONDARI DELLE FOGLIE

Spine: funzione di difesa



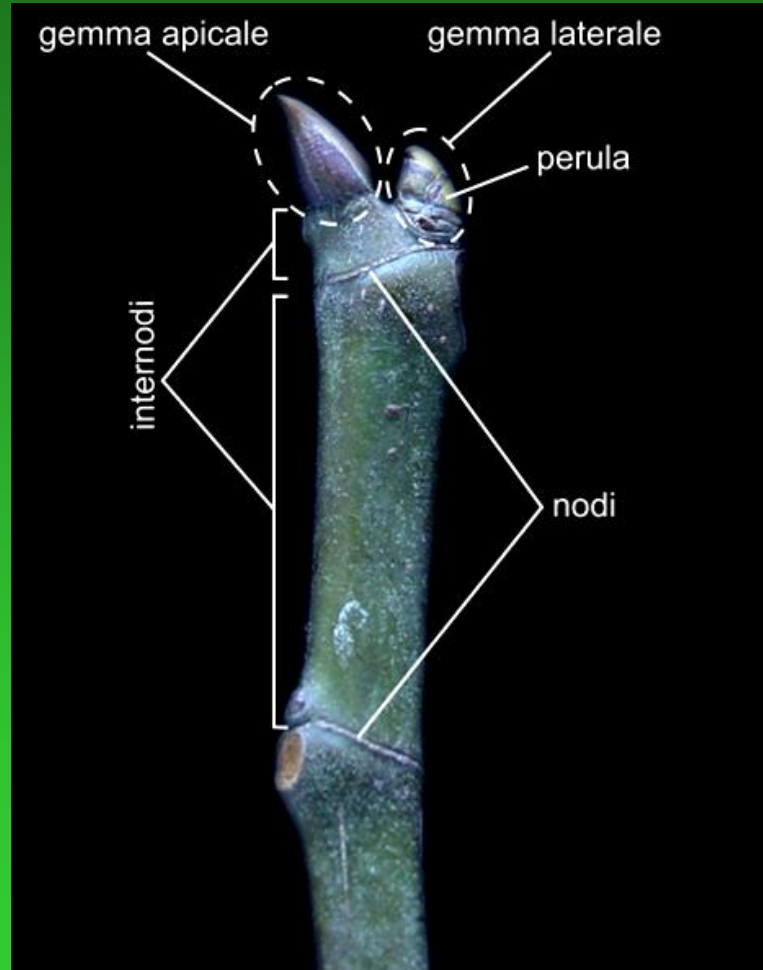
ADATTAMENTI SECONDARI DELLE FOGLIE

Catafilli: accumulo di nutrienti



ADATTAMENTI SECONDARI DELLE FOGLIE

Perule: protezione delle gemme vegetative



ADATTAMENTI SECONDARIARI DELLE FOGLIE

Viticci: funzione di sostegno



ADATTAMENTI SECONDARI DELLE FOGLIE

trappole per insetti, digestione ed assorbimento di
azoto



ADATTAMENTI SECONDARI DELLE FOGLIE

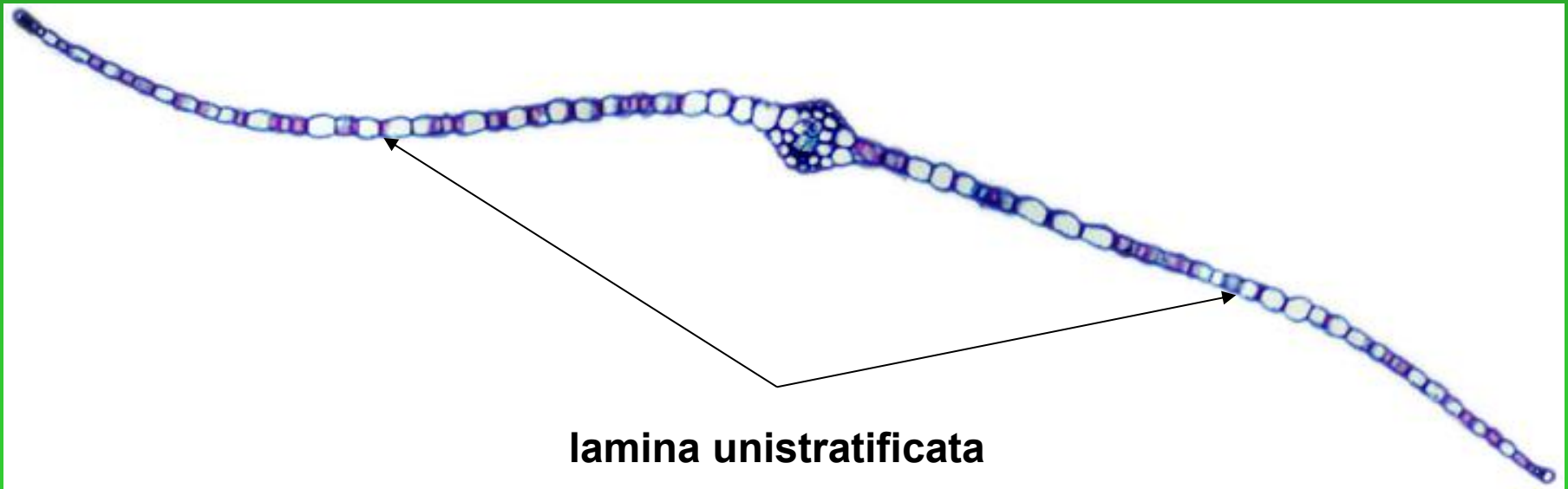
sewali, petali, stami, carpelli



ORIGINE EVOLUTIVA DELLE FOGLIE

filloidi dei muschi

Gli organi fotosintetici dei muschi (**filloidi** o **foglioline**), sono superficialmente simili alle foglie delle piante vascolari, ma hanno una diversa origine evolutiva ed una diversa struttura anatomica



ORIGINE EVOLUTIVA DEI MACROFILLI

teoria di Zimmermann

In corrispondenza di una ramificazione un ramo sarebbe cresciuto più di altri, Ed i rami secondari si sarebbero disposti su uno stesso piano, appiattimento e formazione di un tessuto di fusione.



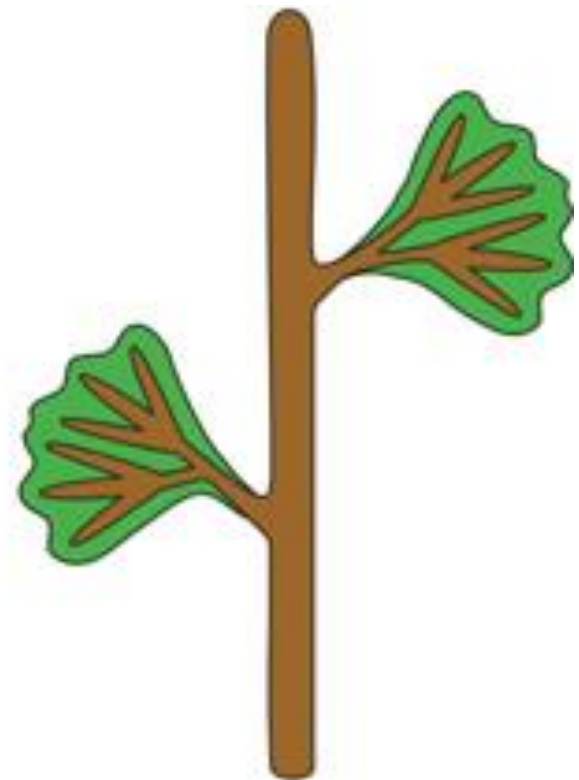
**Pianta
primitiva**



Sopravanzamento



Appiattimento



Fusione

teoria telomica di Zimmermann

- Secondo la *teoria telomica di Zimmermann*, i megafilli si sarebbero evoluti da interi sistemi di ramificazioni. Nelle prime piante terrestri (Rhyniophyta), risalenti al Siluriano e al Devoniano, non si erano ancora differenziati radici, foglie e fiori: il corpo consisteva in un asse a ramificazione dicotomica, provvisto di sporangi terminali; per sottolinearne la primitività, i rami di queste piante ancestrali sono stati denominati *telomi* (letteralmente “organi fondamentali”). Secondo la teoria telomica il primo passo verso la formazione dei megafilli sarebbe consistito nel maggior sviluppo, in corrispondenza di una ramificazione, di un ramo rispetto all’altro (sopravanzamento). Successivamente i rami secondari si sarebbero disposti su uno stesso piano (appiattimento) e tra questi, poi, si sarebbero formati dei tessuti (fusione), dando luogo alla lamina fogliare.

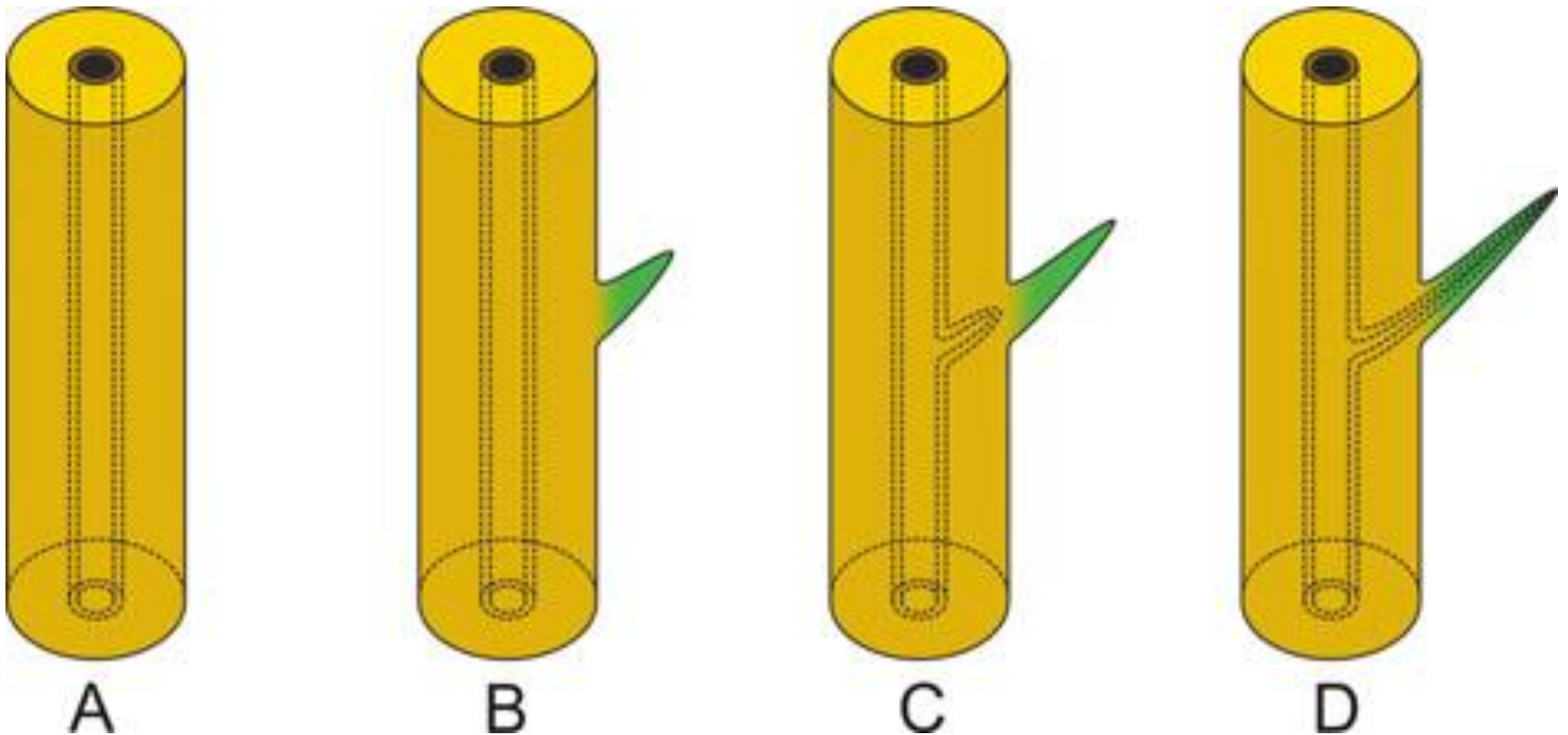
MICROFILLI: piccole foglie. Fusti con protosteie

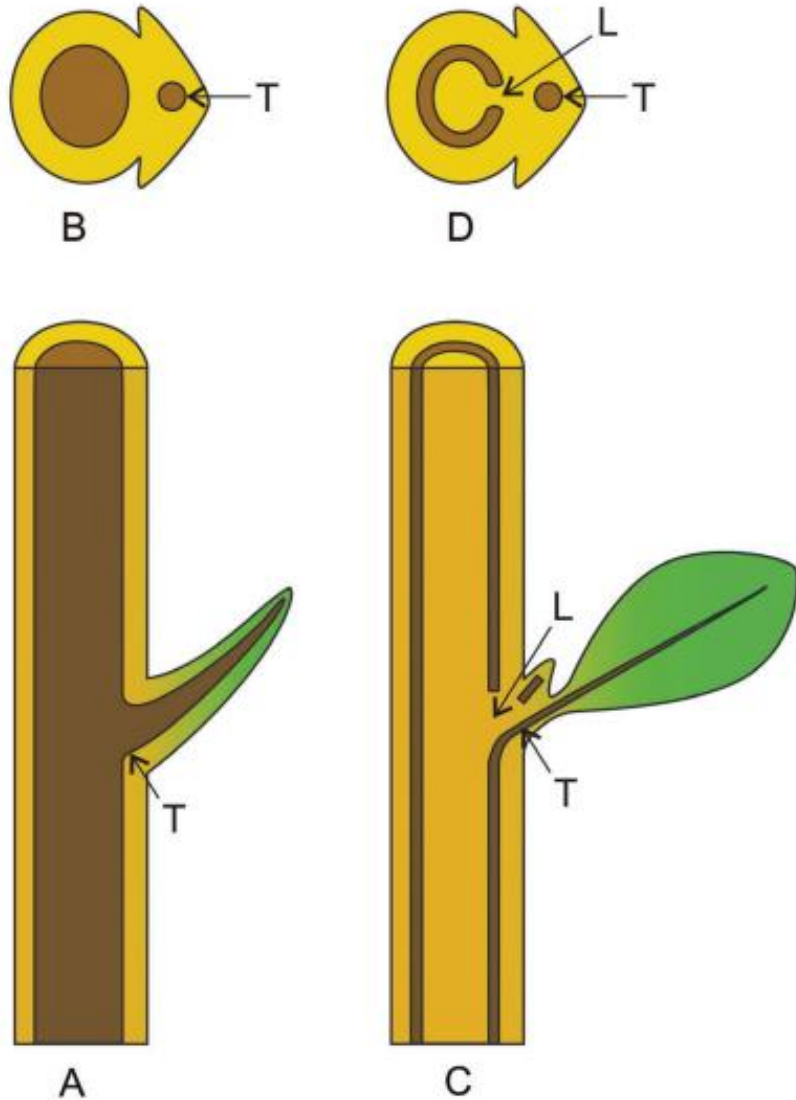


Possiedono microfilli le piante appartenenti alla divisione **Licophyta**. I microfilli sono evoluti da emergenze laterali del fusto. Inizialmente erano privi di tessuti conduttori poi si formarono le nervature. Il fusto è una protosteie.

MICROFILLI

I **microfilli** sono analoghi (diversa origine stessa funzione) e non omologhi (stessa origine potrebbe avere funzione diversa) ai **macrofilli**: la loro somiglianza è un caso di **convergenza evolutiva**.





Fusto con protosteles e microfillo (A e B) e fusto con sifonosteles e macrofillo (C e D). In (A) e (C) sono mostrate sezioni longitudinali dei fusti, mentre in (B) e (D) sezioni trasversali dei fusti a livello dei nodi. T, traccia fogliare: porzione del fascio conduttore che va dalla base della foglia al cilindro centrale del fusto. L, lacuna fogliare: regione della stele priva di tessuti conduttori, localizzata al di sopra della traccia fogliare (disegno di A. Valletta).

Si ritiene che i microfilli si siano formati da emergenze laterali del fusto, inizialmente privi di tessuti conduttori

Si ritiene che i macrofilli si siano evoluti da interi sistemi di ramificazione.

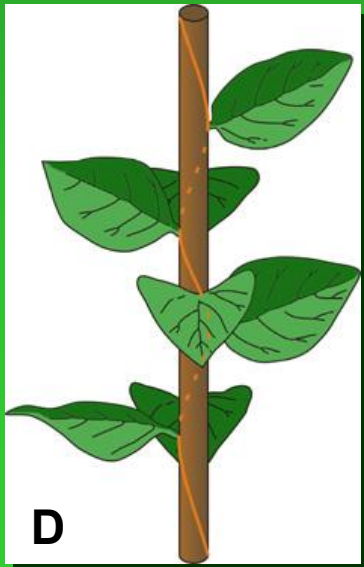
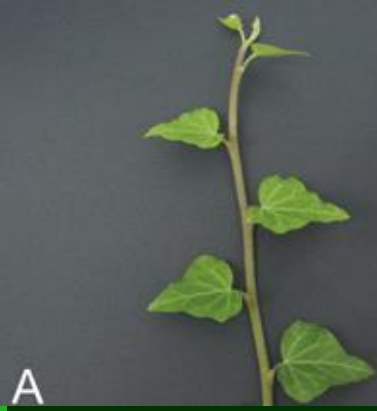
MACROFILLI: grandi foglie. Fusti con sifonostele o eustelete. Presentano un sistema vascolare complesso con numerosi fasci conduttori che formano delle lacune fogliari.



Felce

FILLOTASSI

La disposizione delle foglie lungo il fusto, detta **fillostassi**, può variare notevolmente da specie a specie. Le foglie si dispongono sul fusto in modo da evitare ombreggiamento.



alternata (una foglia per nodo)

opposta (due foglie per nodo)

verticillata (più di due foglie per nodo)

elicoidale (una foglia per nodo e foglie inserite a spirale intorno al fusto) **LA PIU' COMUNE**

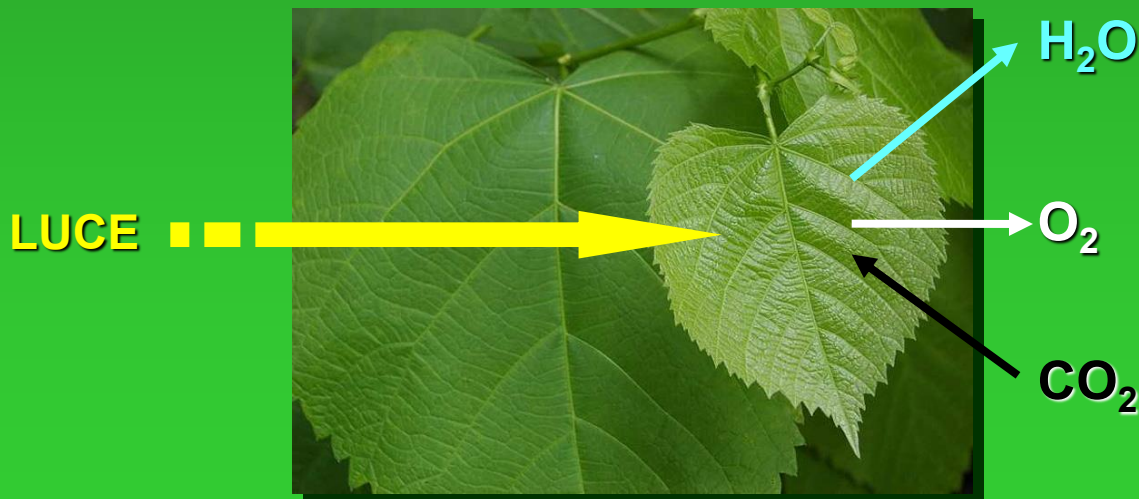
distica (su due file)

decussata (90° tra le foglie di un nodo e quelle del nodo successivo)

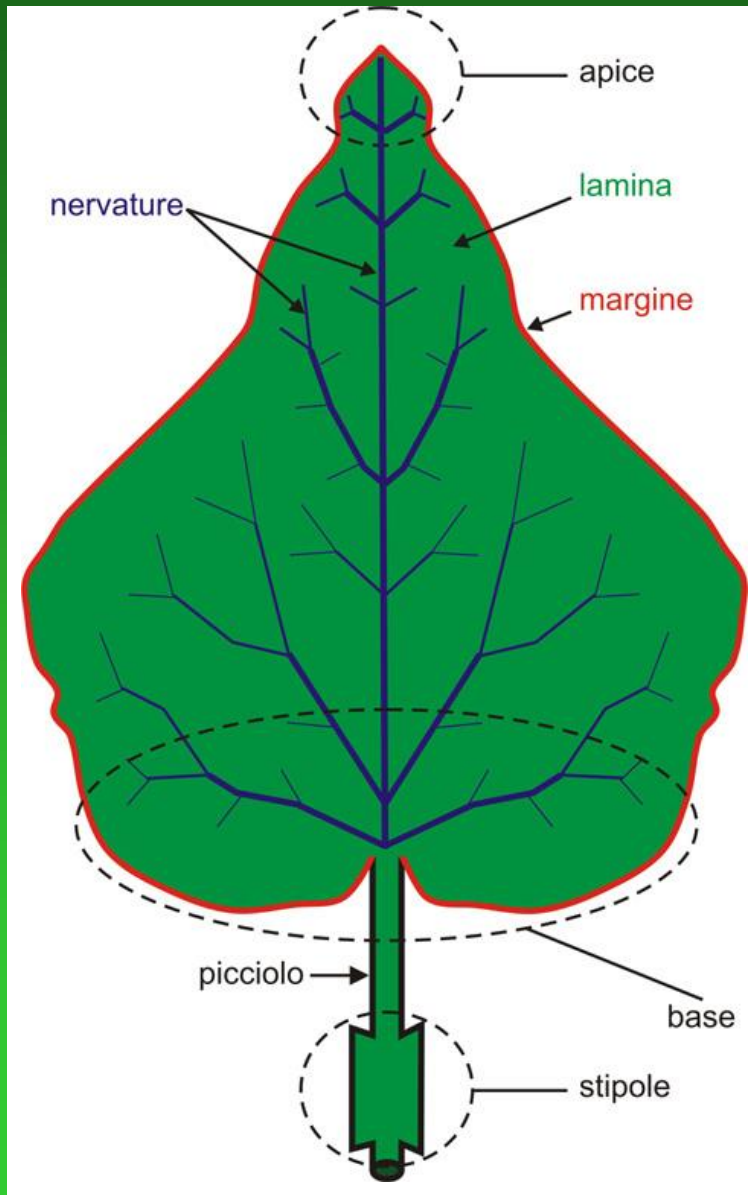
MORFOLOGIA

I **nomofilli** (foglie deputate alla fotosintesi) hanno generalmente **forma appiattita** poiché ha un **alto rapporto superficie/volume** che:

- favorisce gli **scambi gassosi** con l'ambiente esterno (vapor d'acqua, ossigeno, anidride carbonica)
- consente alla **luce** di raggiungere gran parte dei tessuti fotosintetici.



MORFOLOGIA

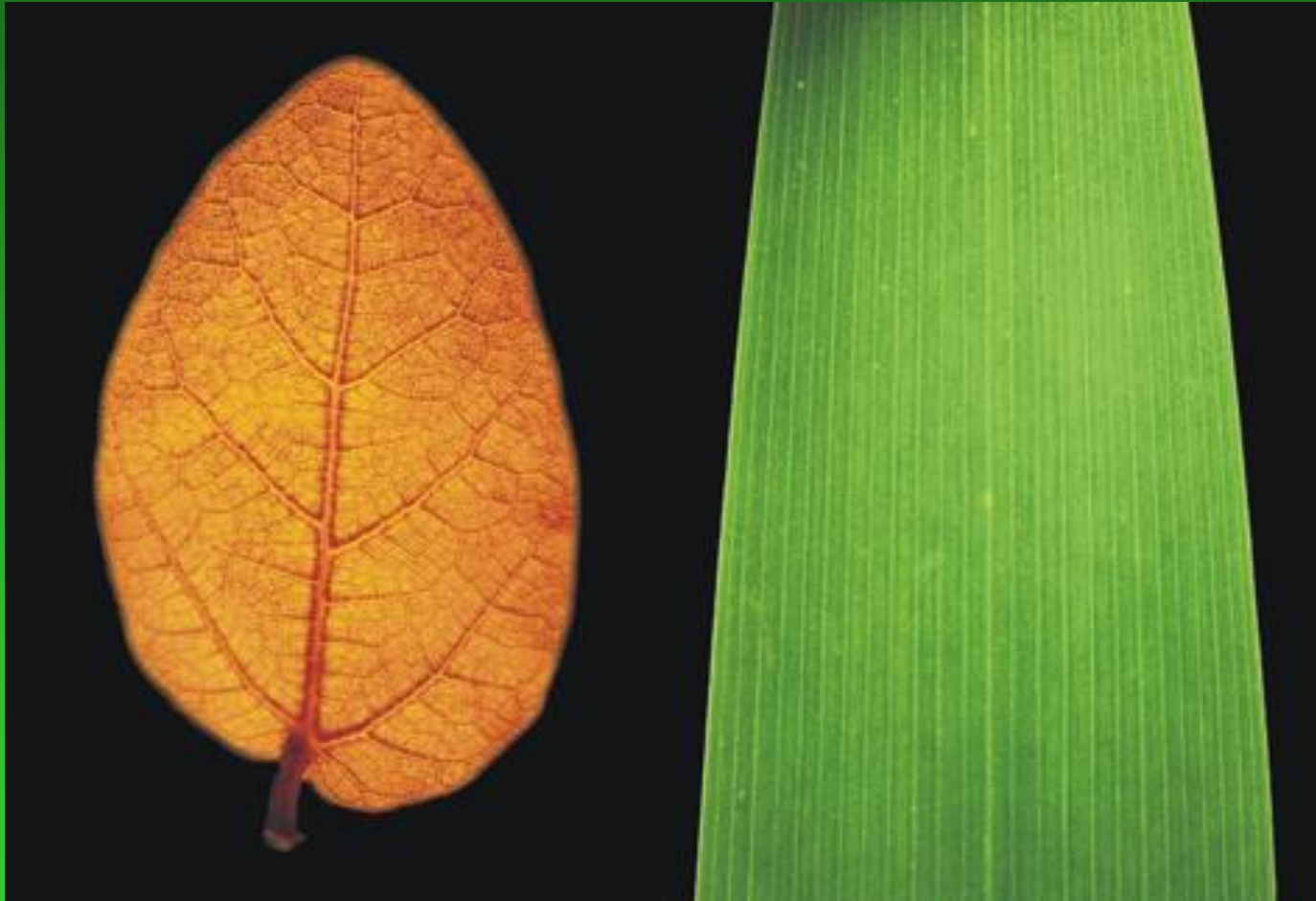


NERVATURE

- La lamina fogliare è dotata di *nervature*, che costituiscono nel loro insieme il sistema conduttore della foglia. Nella maggior parte dei casi sulla faccia abassiale (inferiore) le nervature di maggior calibro appaiono in rilievo. Nella maggior parte delle angiosperme dicotiledoni si può riconoscere una nervatura principale, che attraversa la regione mediana della foglia lungo il suo asse maggiore, dalla quale si originano nervature secondarie e da queste nervature più piccole; questo modello è indicato come ***nervazione reticolata***. La gran parte delle angiosperme monocotiledoni presentano, invece, ***nervazione parallela***, ossia nervature di calibro simile, parallele tra loro e con l'asse maggiore dell'organo, connesse da nervature di calibro inferiore

MORFOLOGIA FOGLIARE

nervature

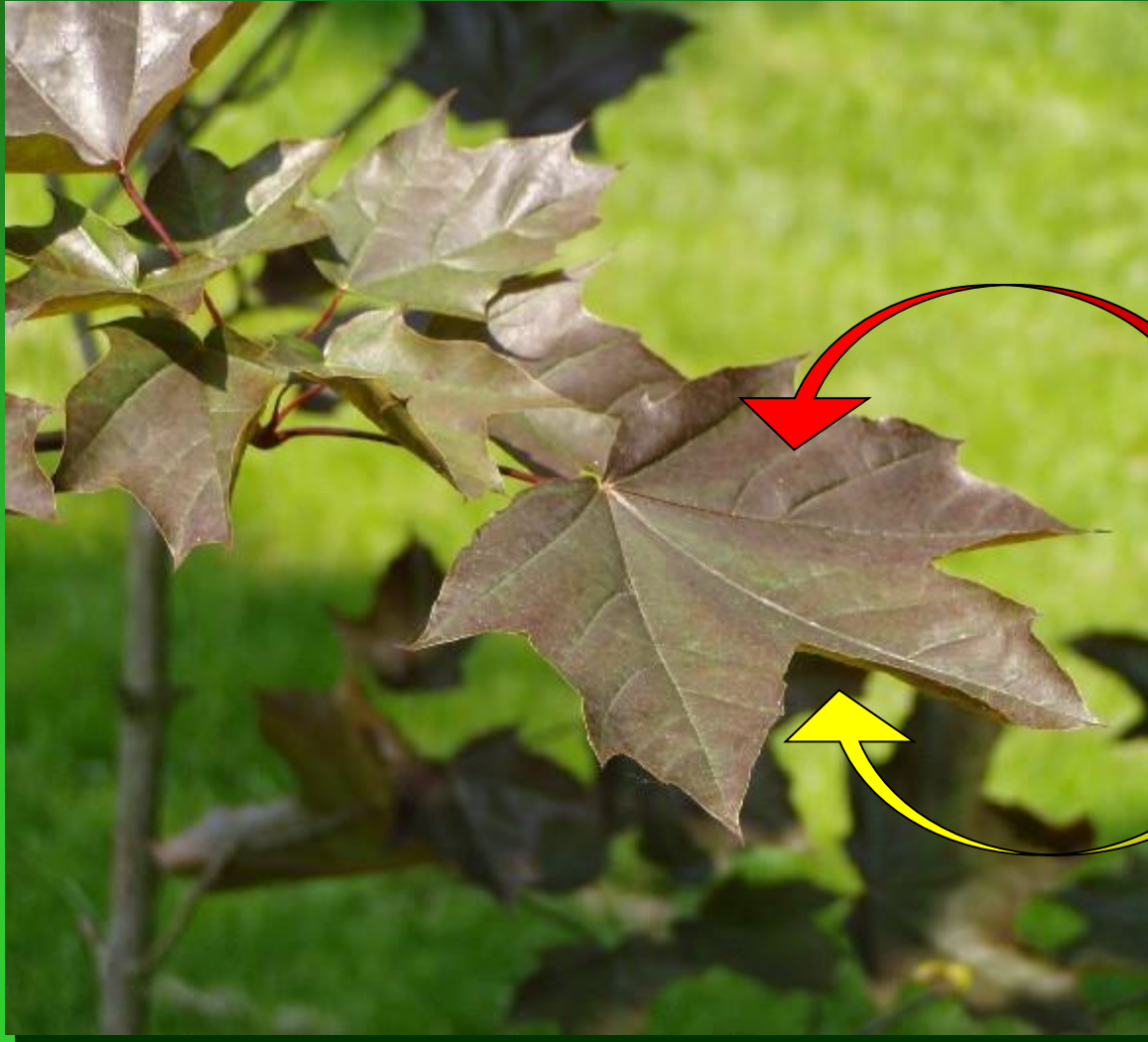


**Nervazione reticolata
(dicotiledoni)**

**Nervazione parallela
(monocotiledoni)**

MORFOLOGIA FOGLIARE

faccia adassiale e abassiale



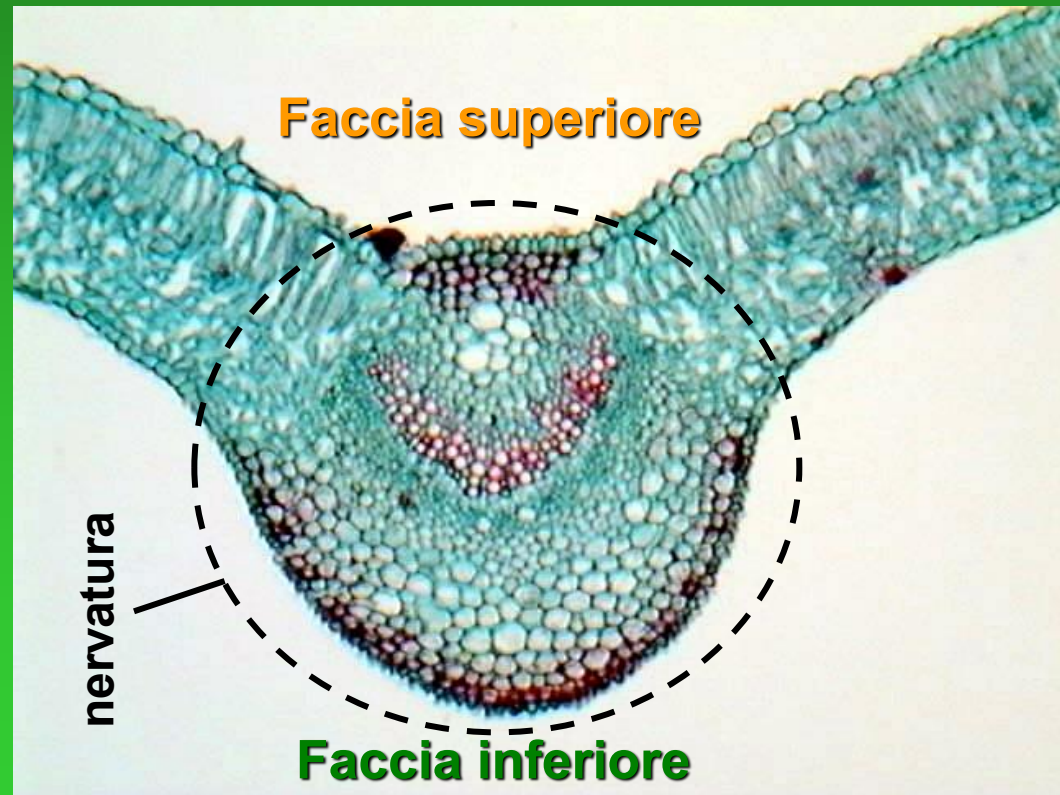
Faccia adassiale
(= ventrale = superiore)

Faccia abassiale
(= dorsale = inferiore)

MORFOLOGIA FOGLIARE

faccia adassiale e abassiale

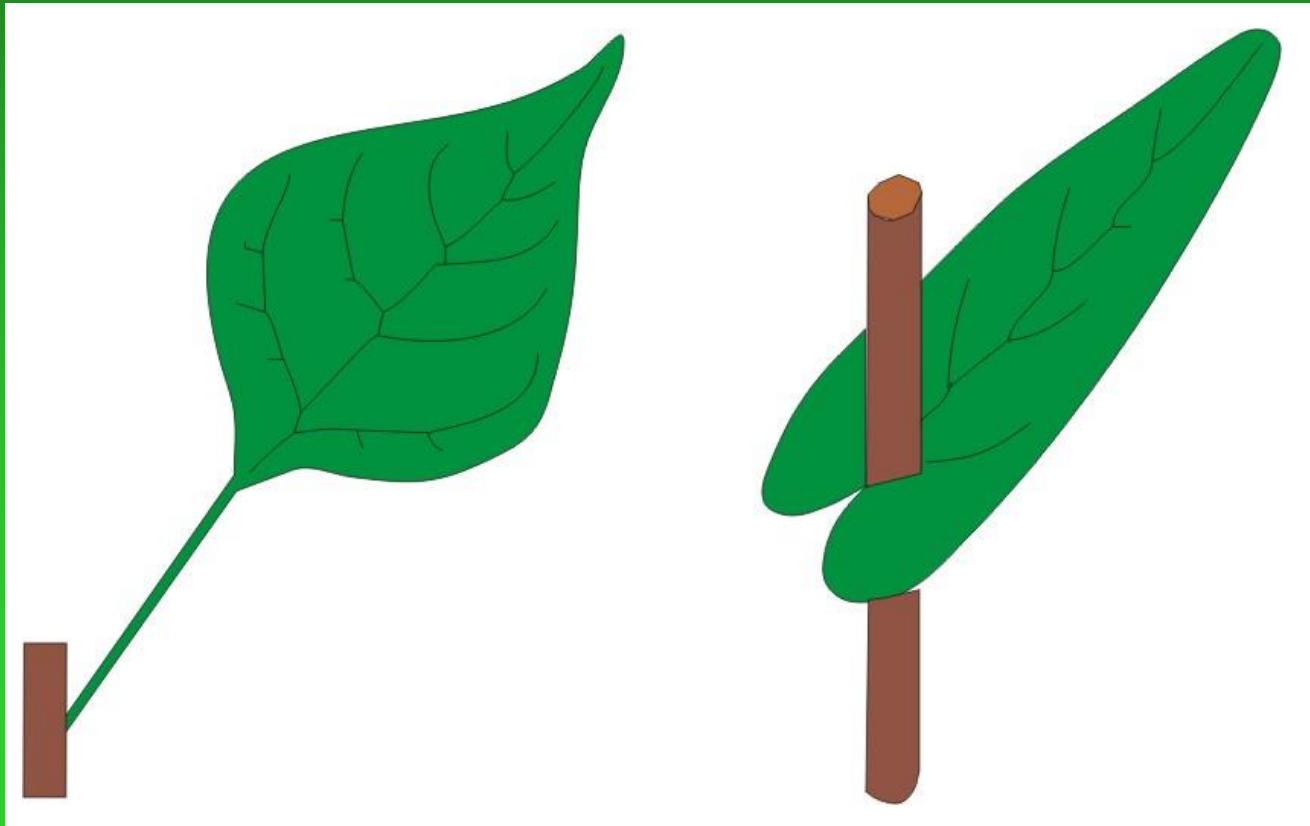
Nelle angiosperme dicotiledoni le nervature fogliari appaiono in rilievo nella faccia abassiale



MORFOLOGIA FOGLIARE

foglie sessili e picciolate

Le foglie con picciolo sono definite **picciolate**, quelle prive di picciolo sono dette **sessili**



MORFOLOGIA FOGLIARE

foglie picciolate



Gran parte delle **angiosperme dicotiledoni** ha foglie picciolate

MORFOLOGIA FOGLIARE

foglie sessili



Gran parte delle **angiosperme monocotiledoni** ha foglie sessili

In alcune monocotiledoni, come le graminacee la base della foglia forma una **guaina fogliare**

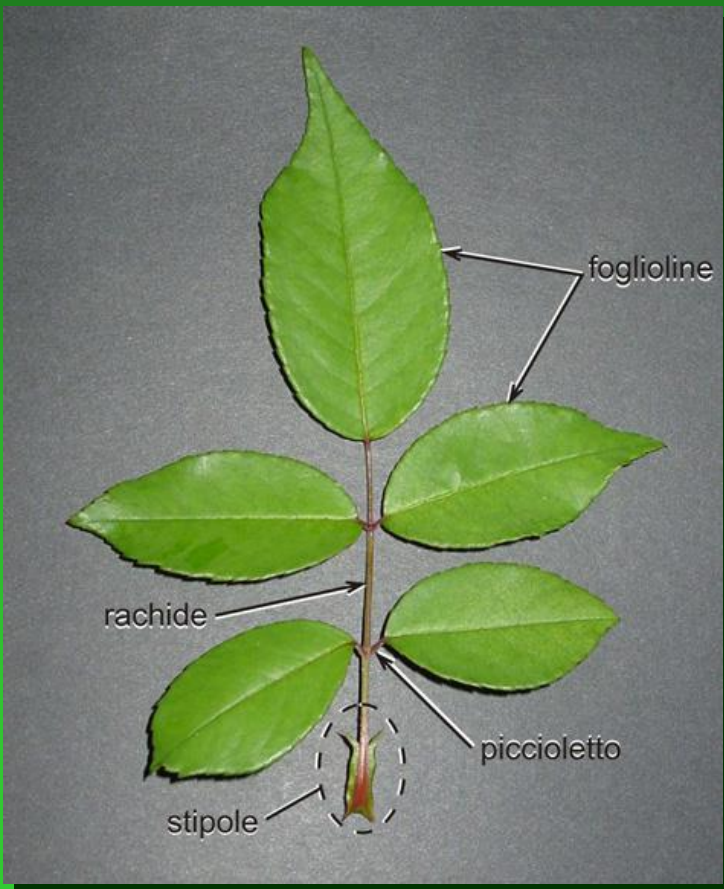
MORFOLOGIA FOGLIARE

foglie semplici e composte



MORFOLOGIA FOGLIARE

foglie composte



Pennata



Palmata

MORFOLOGIA FOGLIARE

eterofillia



Eucalyptus globulus

Albero sempreverde che cresce rapidamente fino a 20 m in 6-7 anni, endemico dell'Australia. Foglie: è presente una notevole eterofillia; le foglie giovani sono opposte e saldate tra loro alla base, ovali e cuoriformi, il colore è verde azzurrognolo, quasi ceruleo; le foglie adulte sono alterne e picciolate, lunghe 20 cm lanceolate e arcuate come la lama di una falce, la base è asimmetrica, l'apice è acuminato. Queste sono dure e coriacee, di colore verde bluastrò con un'accentuata venatura centrale

MORFOLOGIA FOGLIARE



semplice



composta



aghiforme



squamiforme



ovata



cuneiforme



troncata

apice fogliare



appuntito



arrotondato



troncato



inciso



mucronato

margine della lamina



intero



seghettato



ondulato



crenato



cigliato



sinuoso

forma della lamina



paripennata



imparipennata



bipennata



pennato-settata

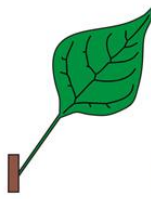


palmato-lobata



palmato-dentata

inserzione sul fusto



picciolo lungo



picciolo breve



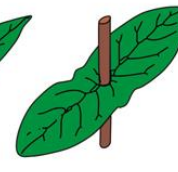
sessile



ampliessi-caule



decor-rente

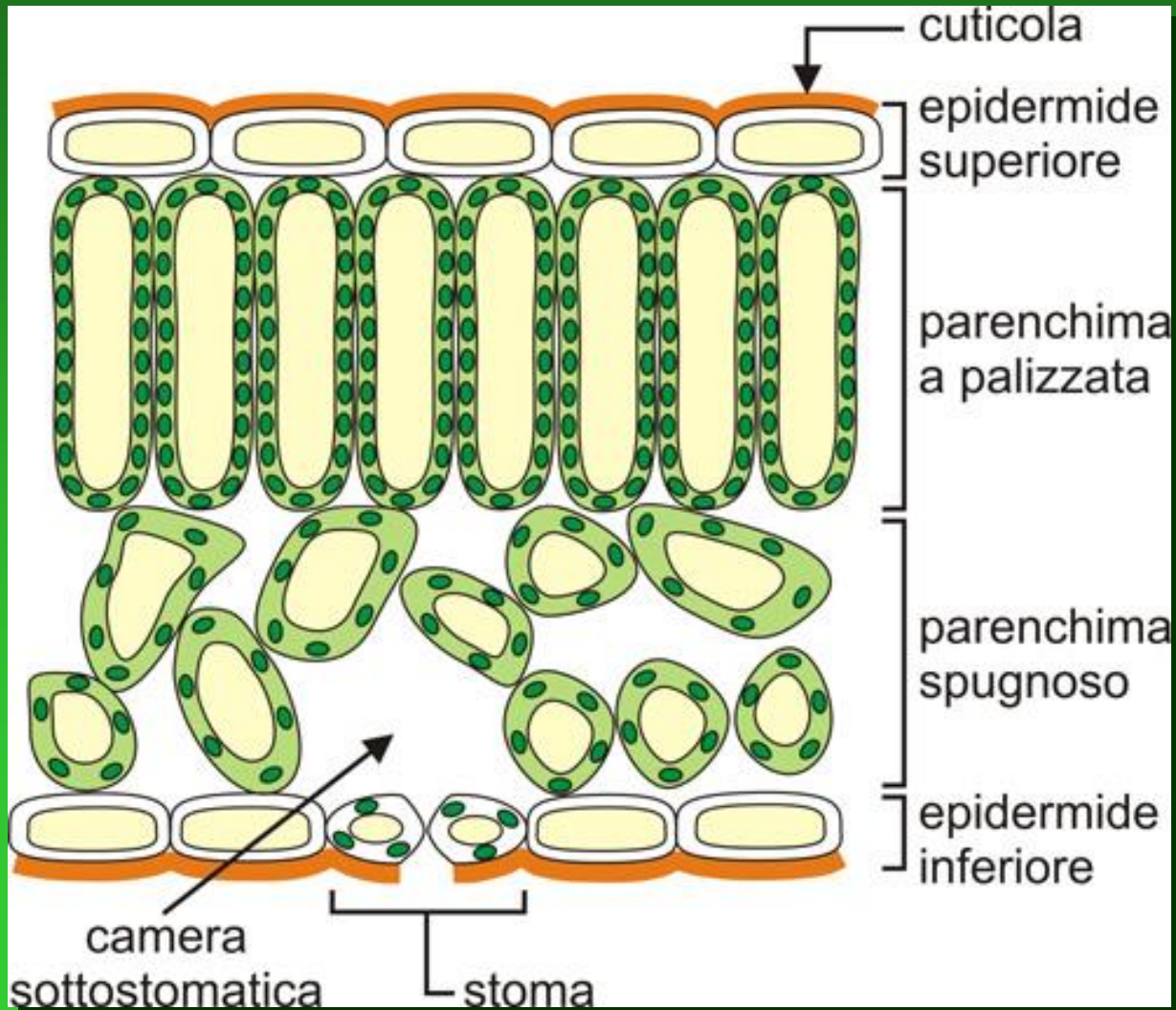


connata

ANATOMIA DELLA FOGLIA

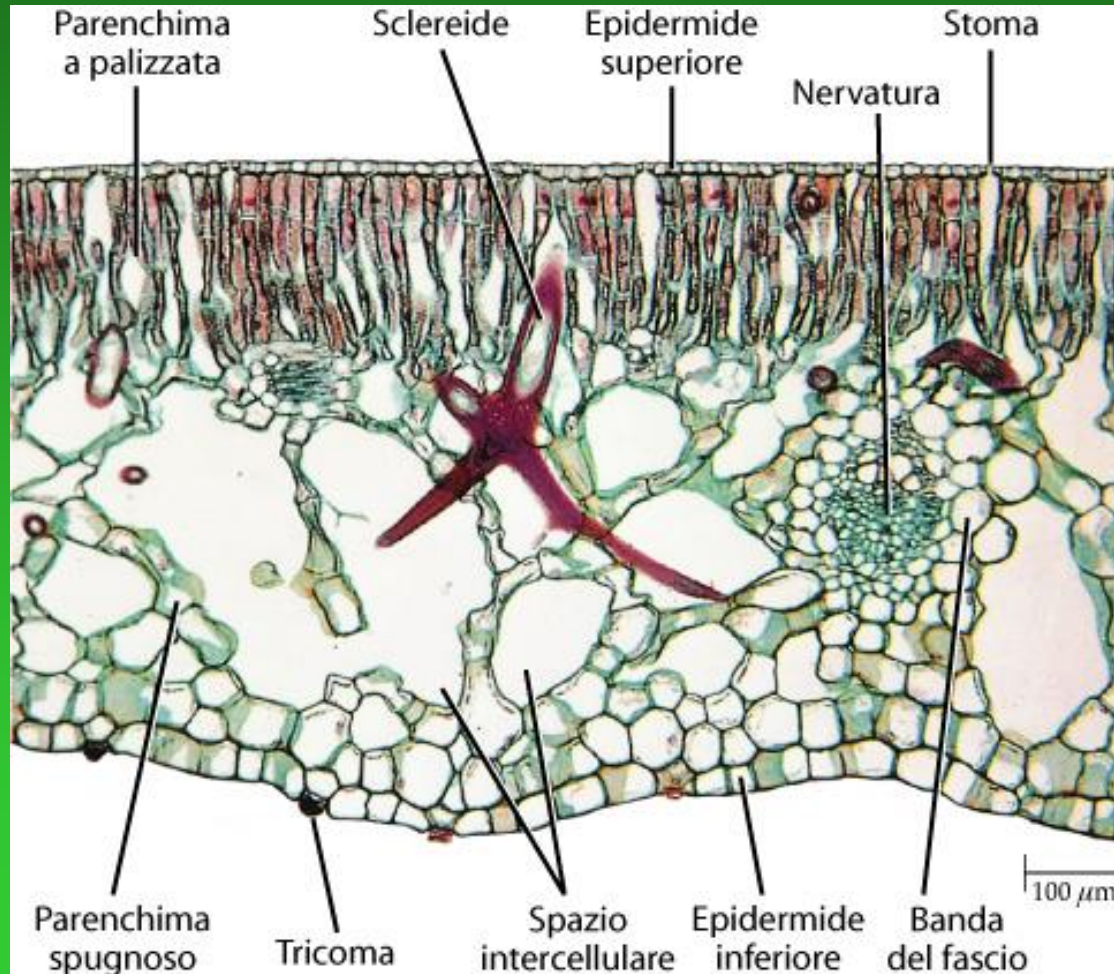
sezione trasversale a livello della lamina fogliare

MESOFILLO



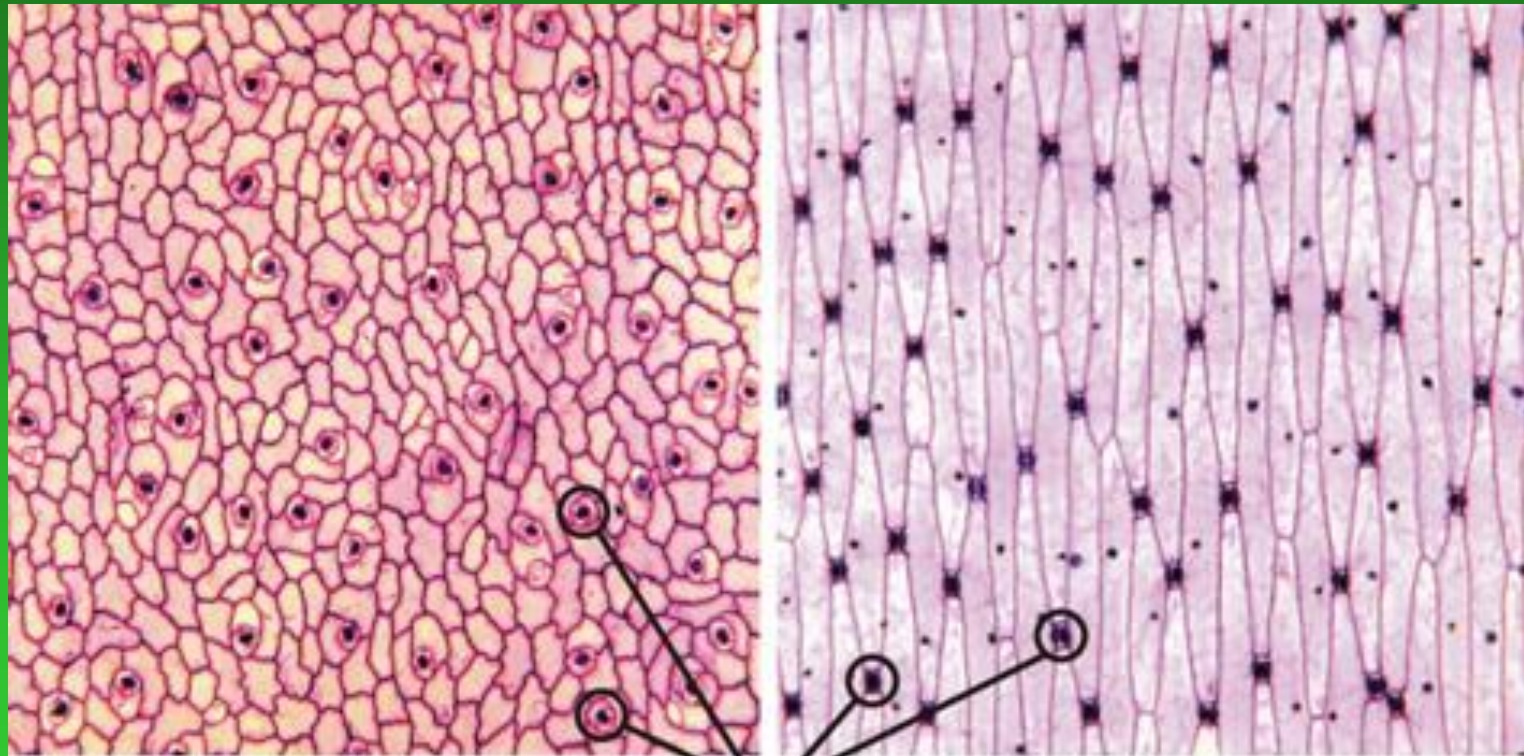
ANATOMIA DELLA FOGLIA

sezione trasversale a livello della lamina fogliare



ANATOMIA DELLA FOGLIA

epidermide fogliare osservata al microscopio ottico



Dicotiledoni

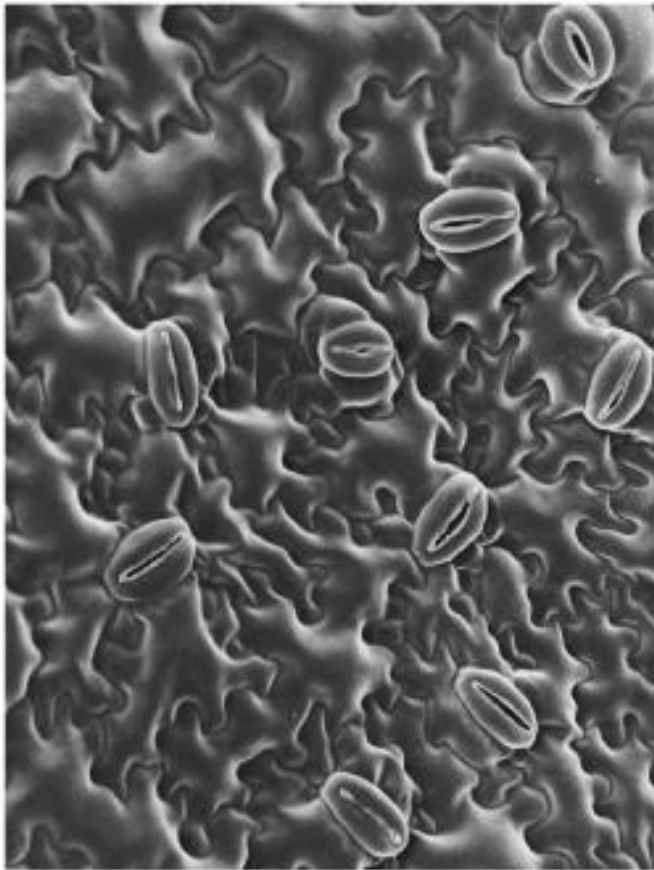
stomi

Monocotiledoni

ANATOMIA DELLA FOGLIA

epidermide fogliare osservata con microscopio elettronico

Dicotiledoni



(a)

50 μm

Monocotiledoni



(b)

25 μm

Peli sulle foglie

Sulle epidermidi fogliari possono trovarsi peli non ghiandolari e ghiandolari.

I peli non ghiandolari, sulla superficie superiore creano ombra attenuando l'illuminazione (piante nel deserto)

Sulla superficie inferiore contrastano la turbolenza dell'aria e riducono la perdita di acqua dagli stomi

Su qualsiasi posizione si trovino rendono più difficile agli insetti il movimento sulla lamina, così la evitano perché muovendosi lentamente sarebbero più soggetti ai predatori, quelli di taglia maggiore però trovano un ottimo appiglio quando le foglie si agitano nell'aria.

I peli ghiandolari capitati e/o peltati sono importanti per l'interazione con l'ambiente biotico ed abiotico. Contengono principalmente terpeni

Molti peli ghiandolari secernono sostanze urticanti prevenendo il consumo da parte di predatori.

La presenza di cuticola e cere sulle pareti esterne delle cellule epidermiche oltre ad attenuare la perdita di acqua rendono difficoltosa la penetrazione di spore fungine e la pioggia può portarle via.

ANATOMIA DELLA FOGLIA

distribuzione degli stomi

La **maggior delle piante** presenta una maggior quantità di stomi per unità di superficie sulla faccia abassiale

Nelle **mesofite (ambienti moderatamente umidi)** la densità degli stomi è simile su entrambe le faccie (foglie anfistomatiche)

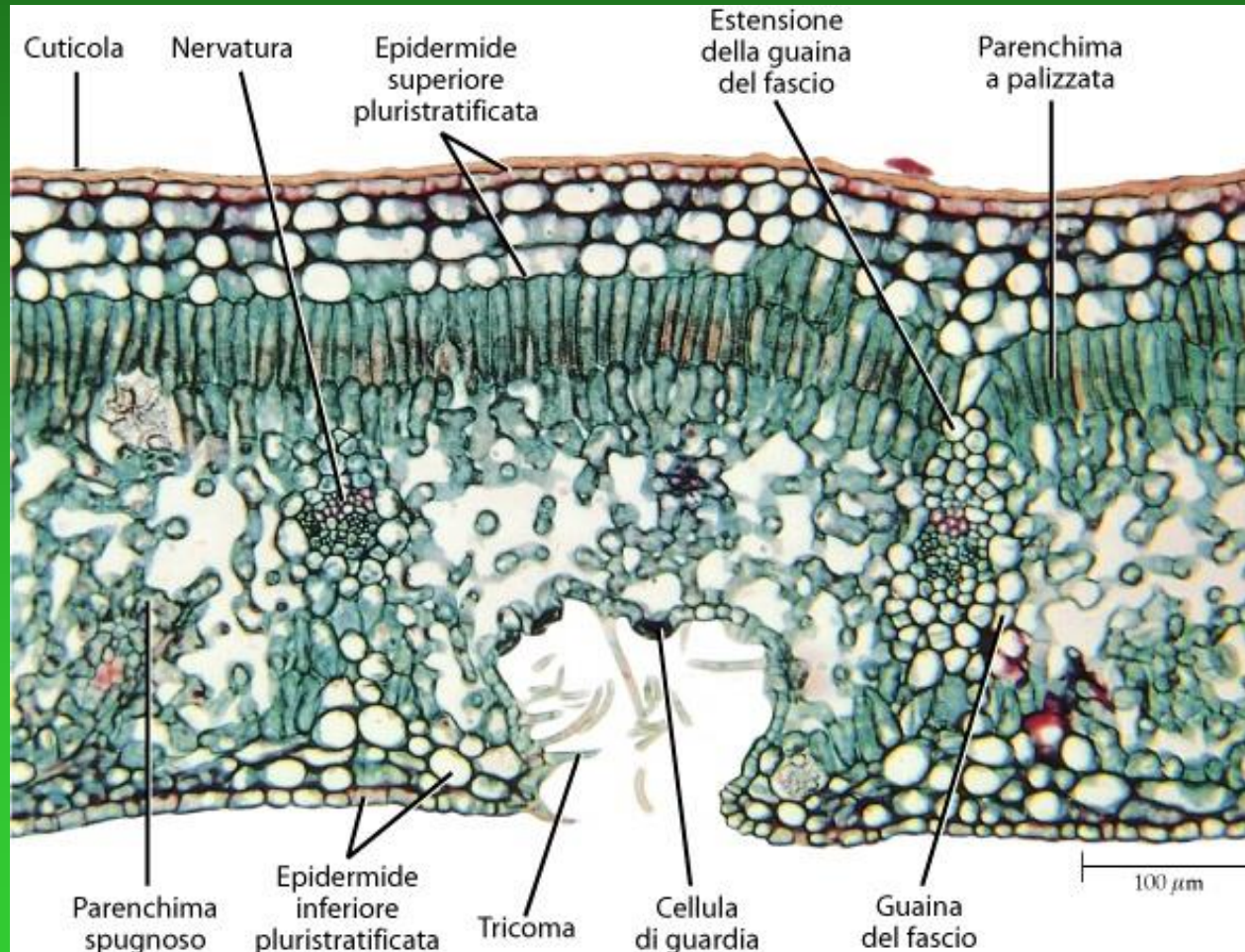
Nelle **xerofite (ambienti secchi)** gli stomi sono quasi o del tutto assenti sulla faccia adassiale

Nelle **piante acquatiche con foglie galleggianti** gli stomi sono presenti esclusivamente sulla faccia adassiale

Le **piante acquatiche con foglie sommerse** non hanno stomi (assenza di cuticola = scambi gassosi sull'intera superficie fogliare)

ANATOMIA DELLA FOGLIA

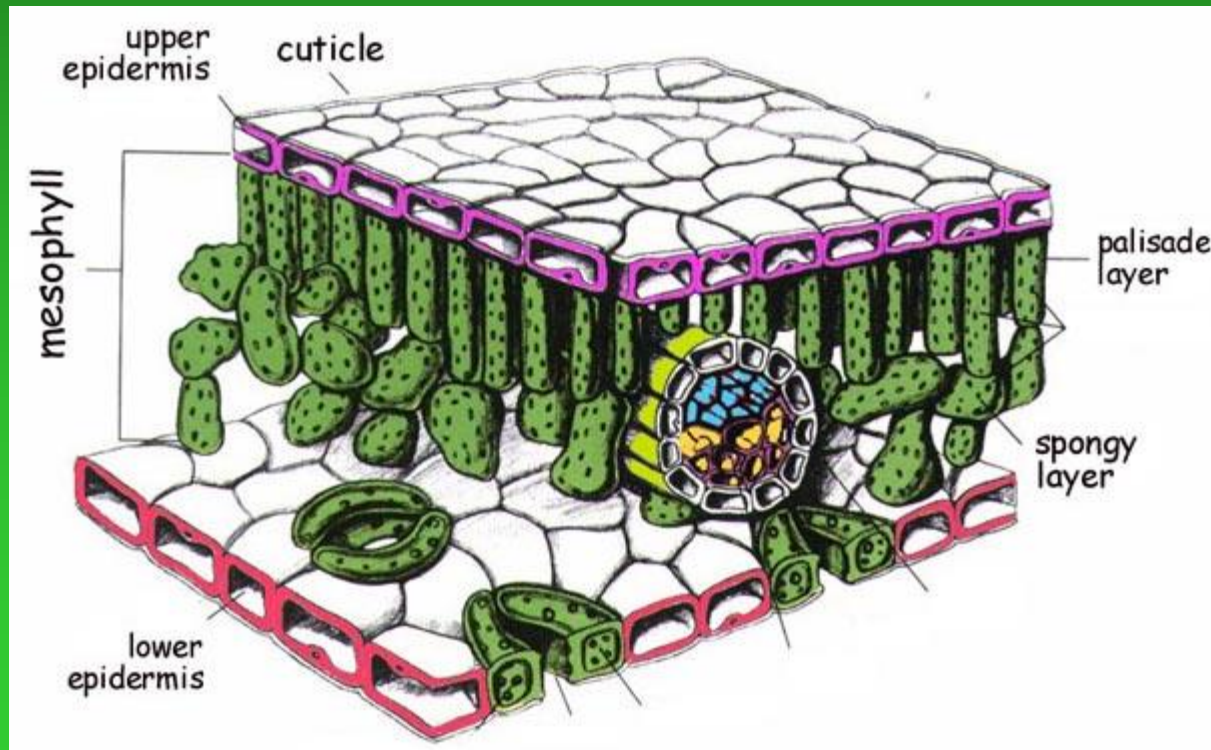
epidermide pluristratificata e cripte stomatiche



ANATOMIA DELLA FOGLIA

mesofillo

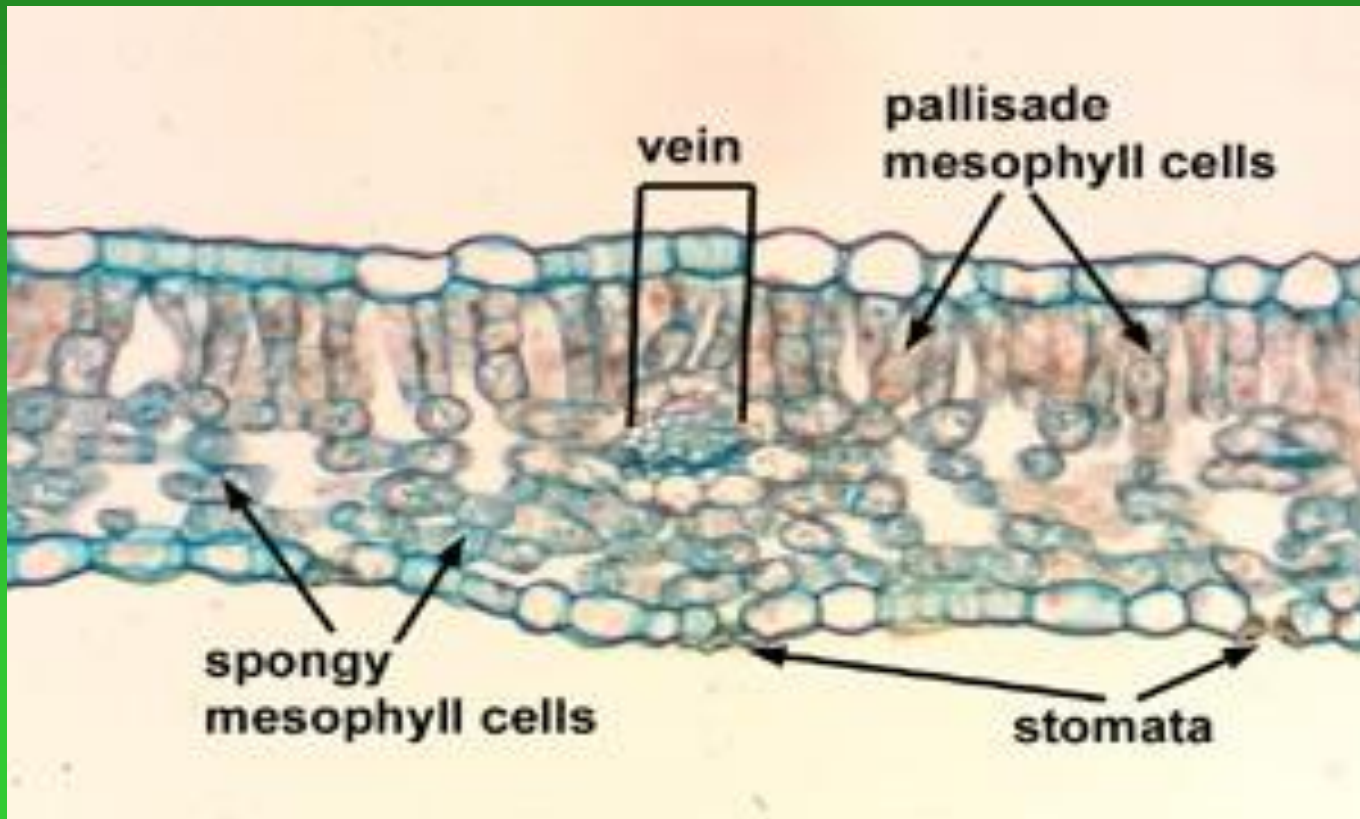
Il mesofillo è costituito principalmente da cellule parenchimatiche con funzione fotosintetica (**clorenchima**)



ANATOMIA DELLA FOGLIA

parenchima a palizzata unistratificato

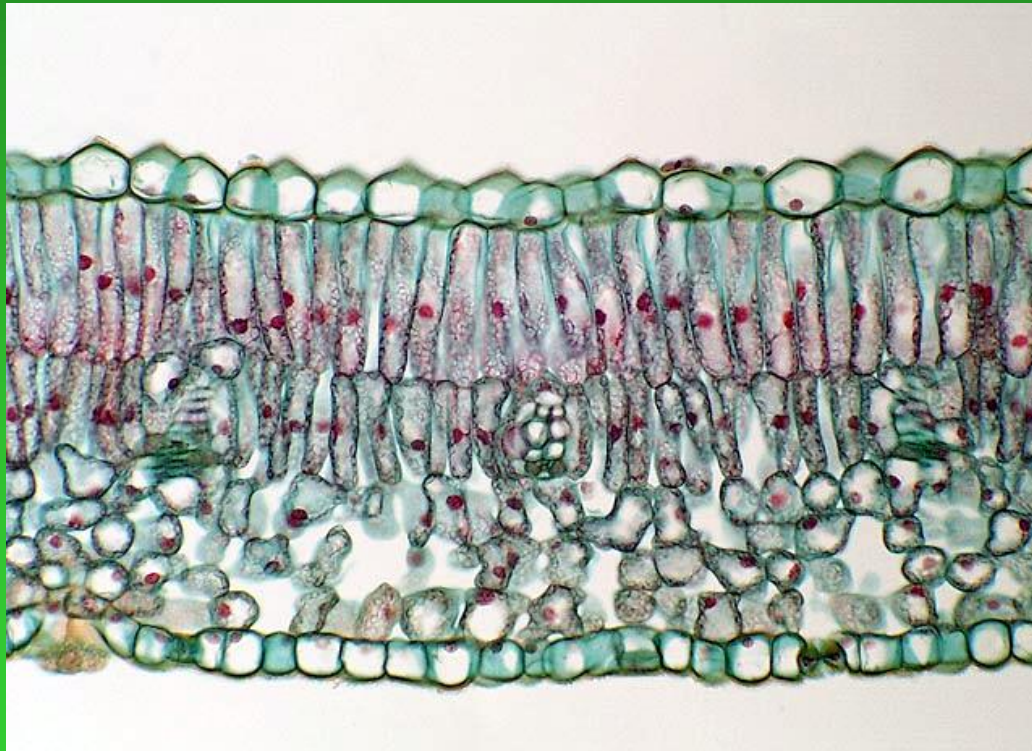
In molte specie il parenchima a palizzata è formato da un singolo strato di cellule colonnari



ANATOMIA DELLA FOGLIA

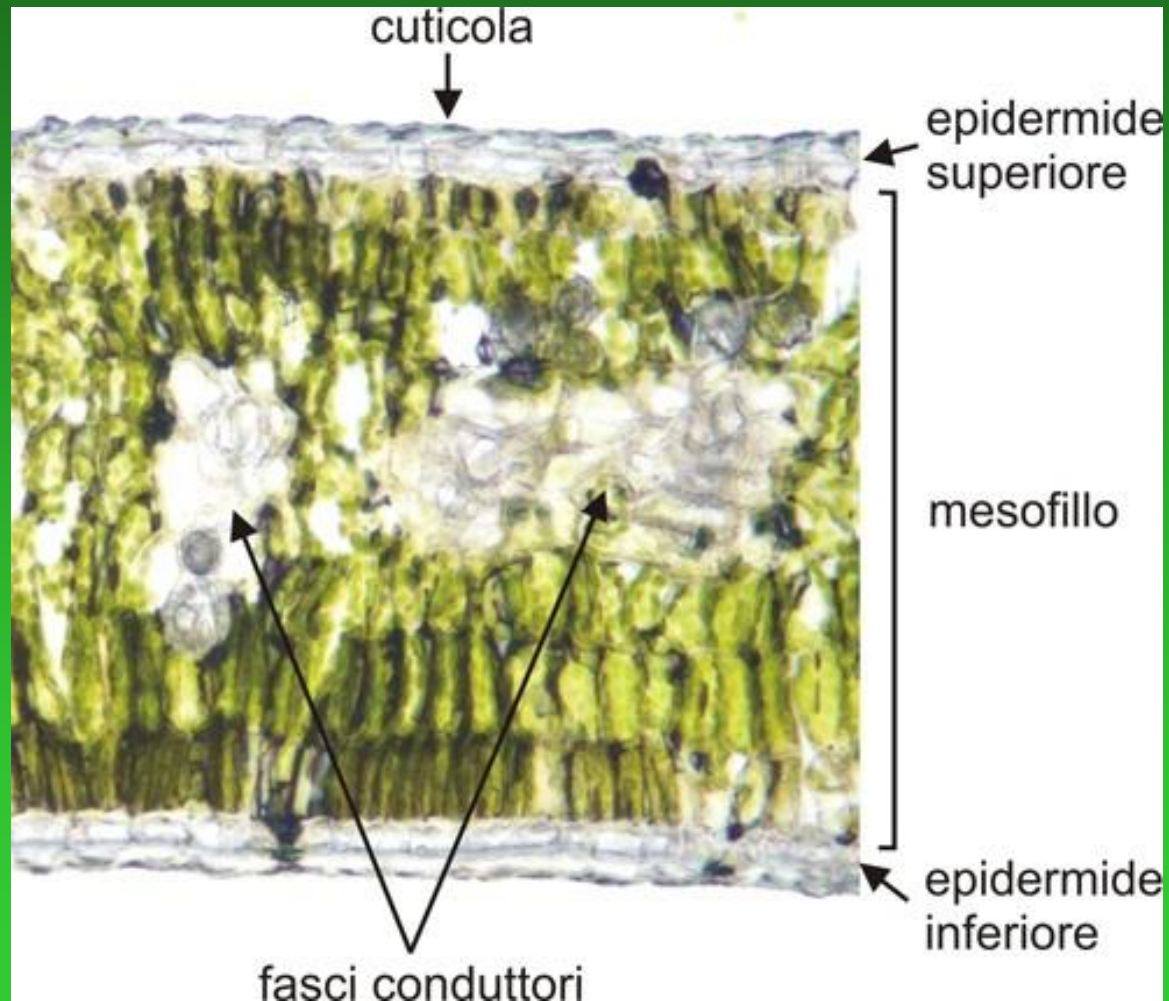
parenchima a palizzata pluristratificato

Nelle specie adattate a climi aridi o caratterizzati da forte insolazione il palizzata può essere formato da più strati di cellule



ANATOMIA DELLA FOGLIA

foglie isofacciali

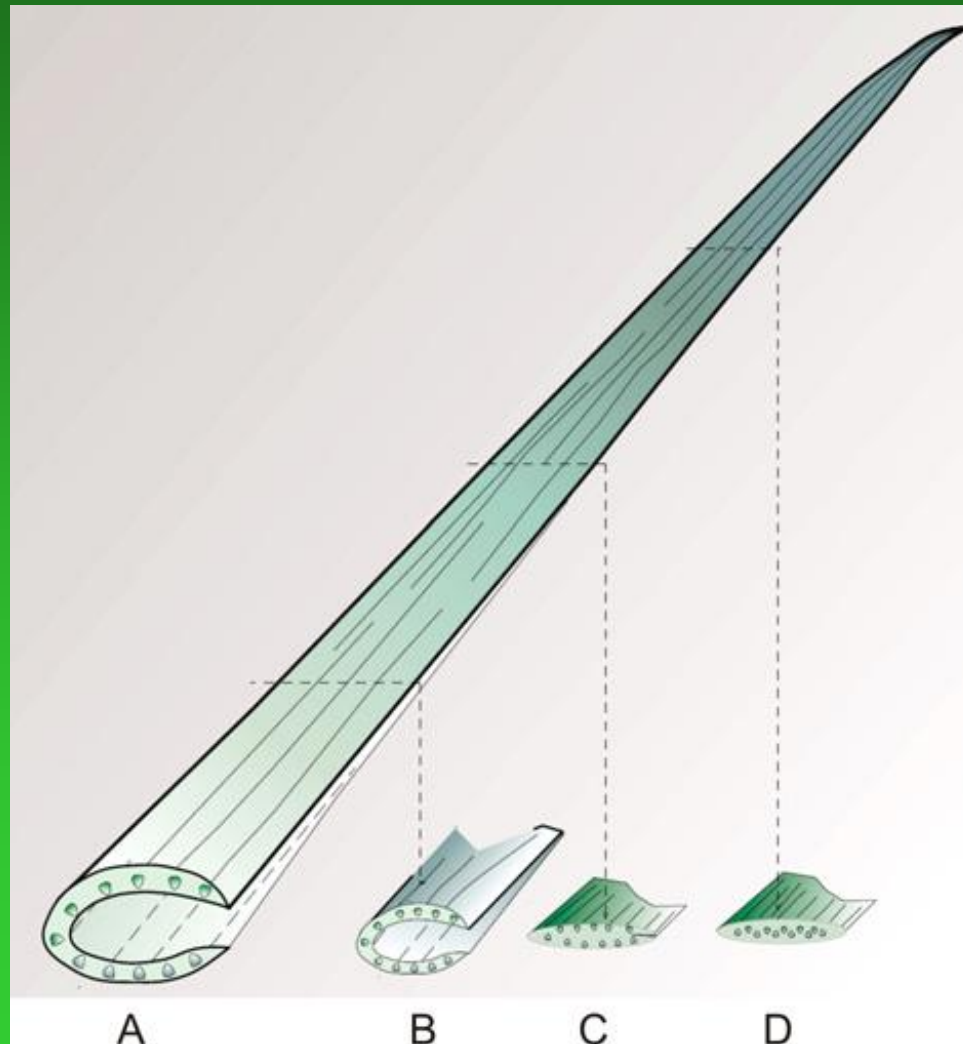


FOGLIE ISO o UNIFACCIALI

- Nel mesofillo delle foglie delle monocotiledoni, non sono distinguibili il parenchima a palizzata e quello spugnoso. In varie specie del genere *Allium*, come l'erba cipollina (*A. schoenoprasum*) e l'aglio (*A. sativum*), il lembo fogliare si incurva, i margini si saldano, e la foglia assume una forma cilindrica con epidermide inferiore all'esterno e quella superiore all'interno. Un altro caso particolare è dato dal genere *Iris*, la cui foglia si ripiega e le due metà della faccia superiore si saldano, cosicché l'epidermide esterna corrisponde, su entrambi i lati, all'epidermide inferiore. Le foglie sopra descritte, in cui una delle due facce (generalmente la superiore) è ridotta o assente, sono dette ***unifacciali***.

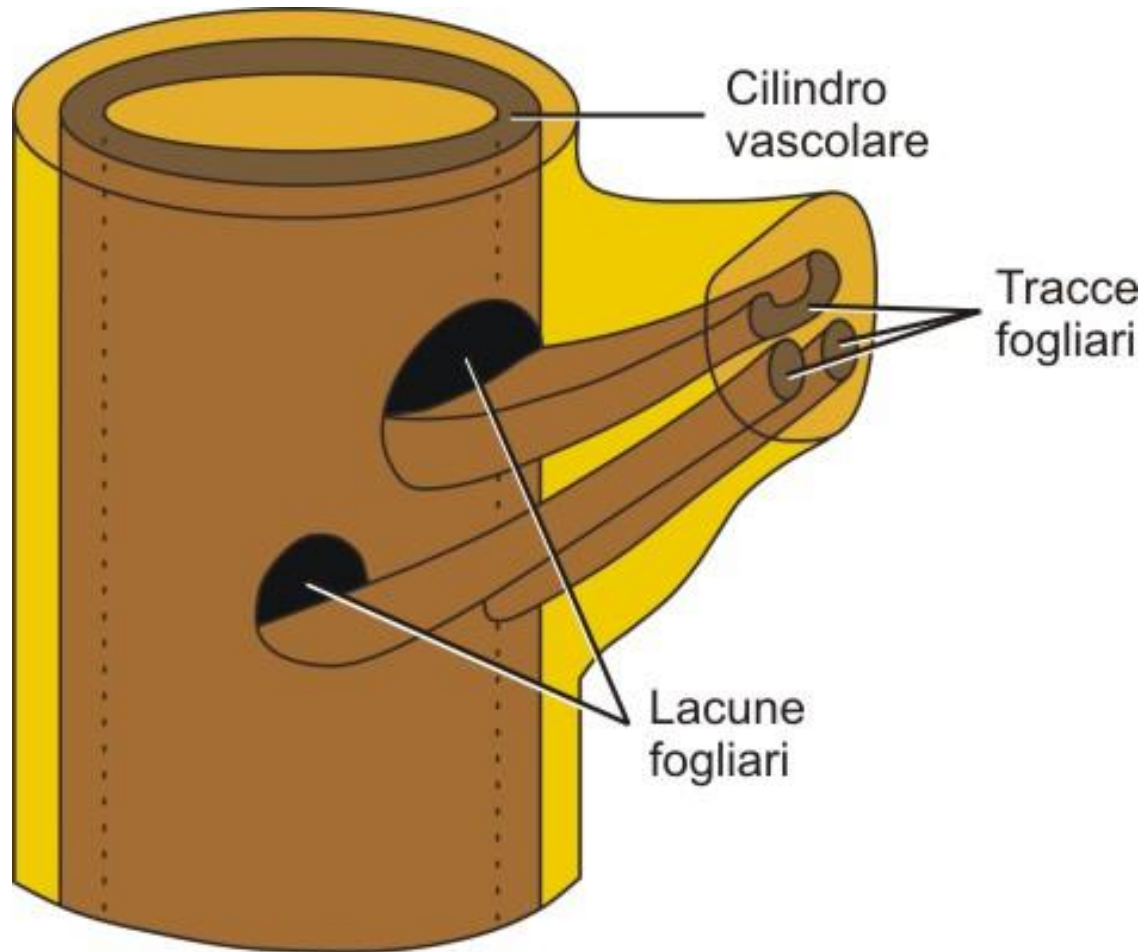
ANATOMIA DELLA FOGLIA

foglie unifacciali



ANATOMIA DELLA FOGLIA

sistema vascolare



TRACCE FOGLIARI

- Il sistema conduttore della foglia è costituito dall'insieme delle nervature che sono, a loro volta, formate dai fasci conduttori. Questi ultimi sono la prosecuzione nella foglia di alcuni fasci conduttori del fusto, detti **tracce fogliari**, che, in corrispondenza dei nodi, divergono dalla stele caulinare lasciandovi aree prive di tessuti conduttori, dette **lacune fogliari**

ANATOMIA DELLA FOGLIA

sistema vascolare



Nervature maggiori:

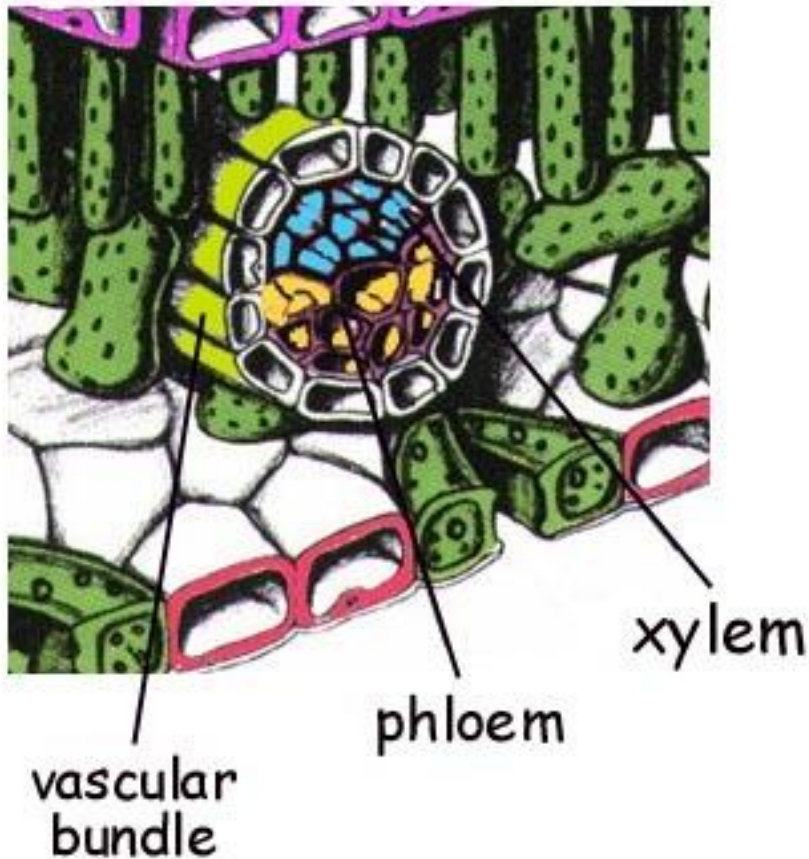
- maggior calibro
- funzione di trasporto

Nervature minori:

- minor calibro
- funzione di scambio di nutrienti con le cellule clorenchimatiche

ANATOMIA DELLA FOGLIA

sistema vascolare

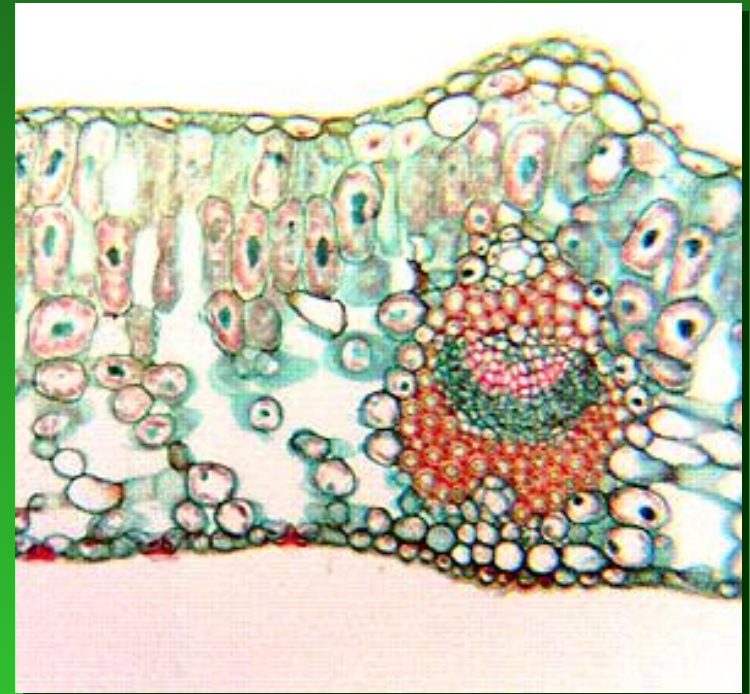
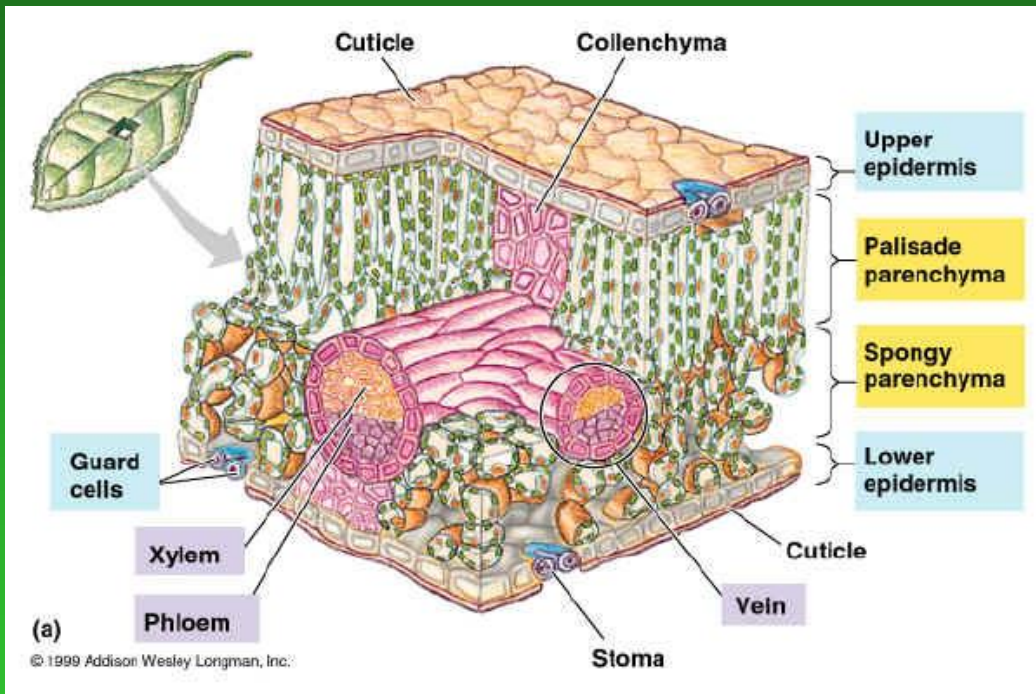


Le nervature maggiori sono formate da xilema (lato adassiale) e floema (lato abassiale)

Le nervature minori, specialmente, specialmente nelle regioni terminali possono mancare di xilema o di floema

ANATOMIA DELLA FOGLIA

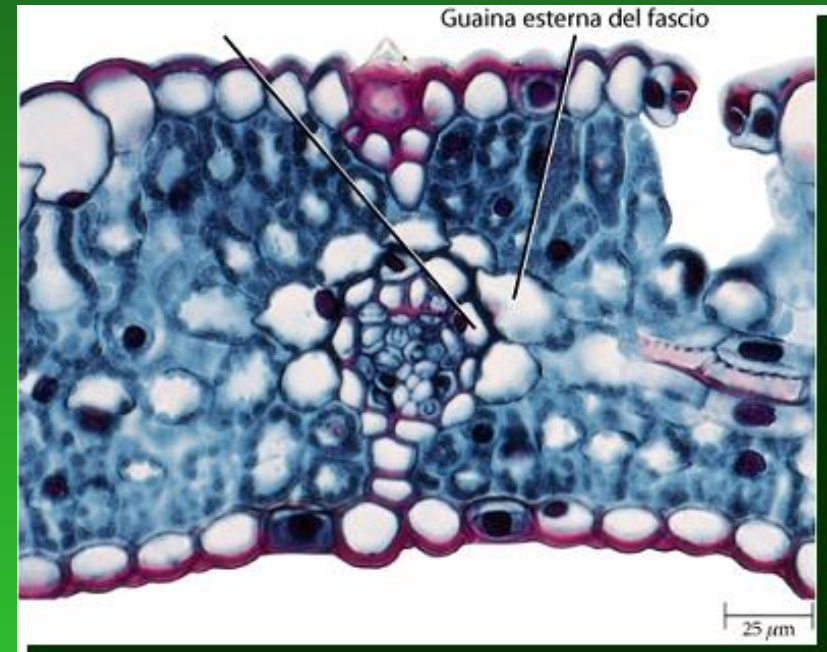
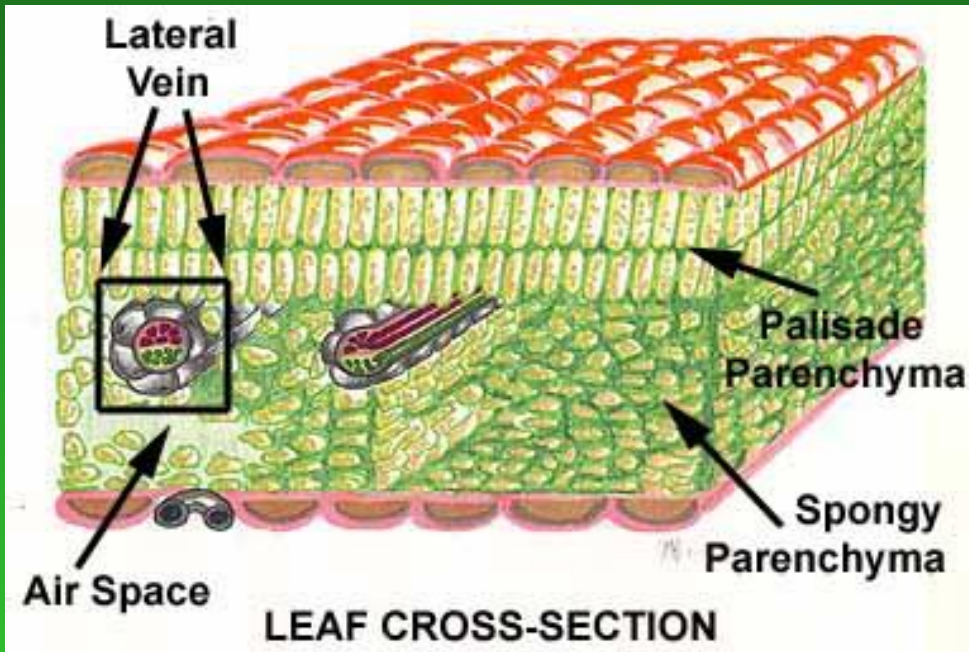
sistema vascolare



I tessuti conduttori delle nervature maggiori non sono a diretto contatto né con gli spazi intercellulari del parenchima clorofilliano, né con le cellule clorenchimatiche, in quanto i fasci conduttori sono circondati da un manicotto di cellule parenchimatiche

ANATOMIA DELLA FOGLIA

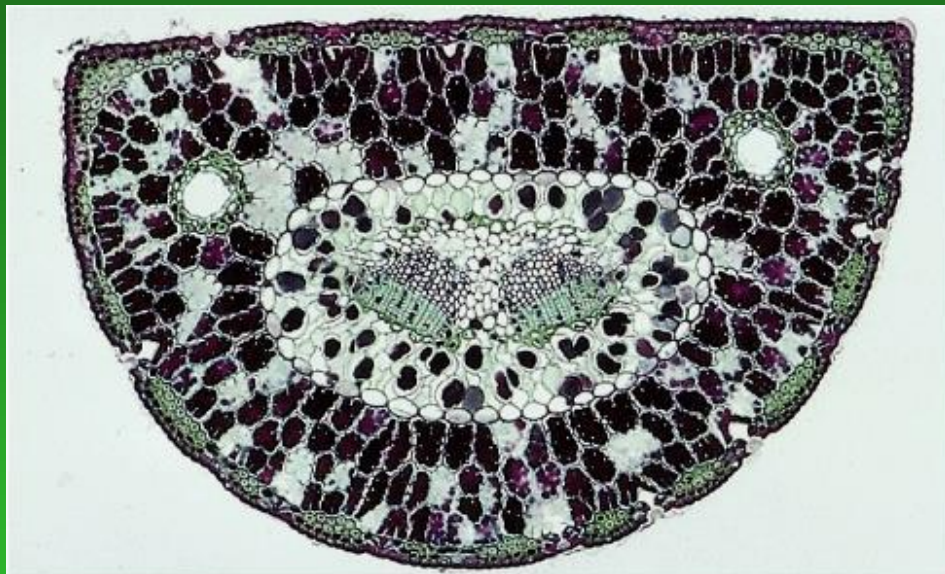
sistema vascolare



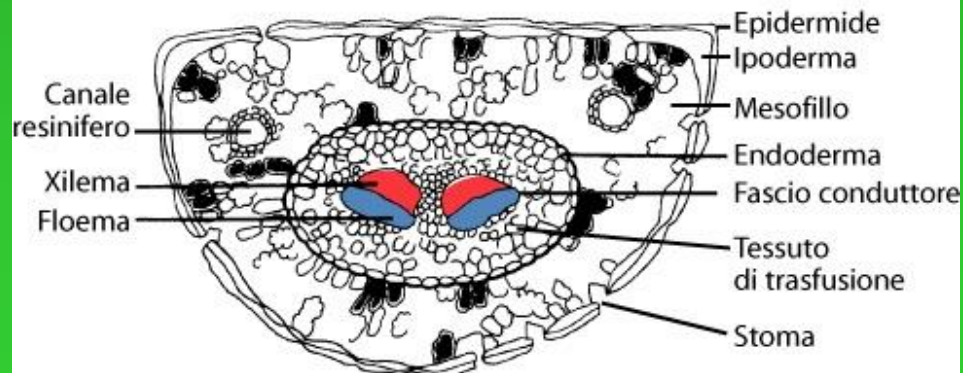
I tessuti conduttori delle nervature minori non sono a diretto contatto né con gli spazi intercellulari del parenchima clorofilliano, né con le cellule clorenchimatiche, in quanto i fasci conduttori sono circondati da un manicotto di cellule tegumentali (**guaina del fascio**)

ANATOMIA DELLA FOGLIA

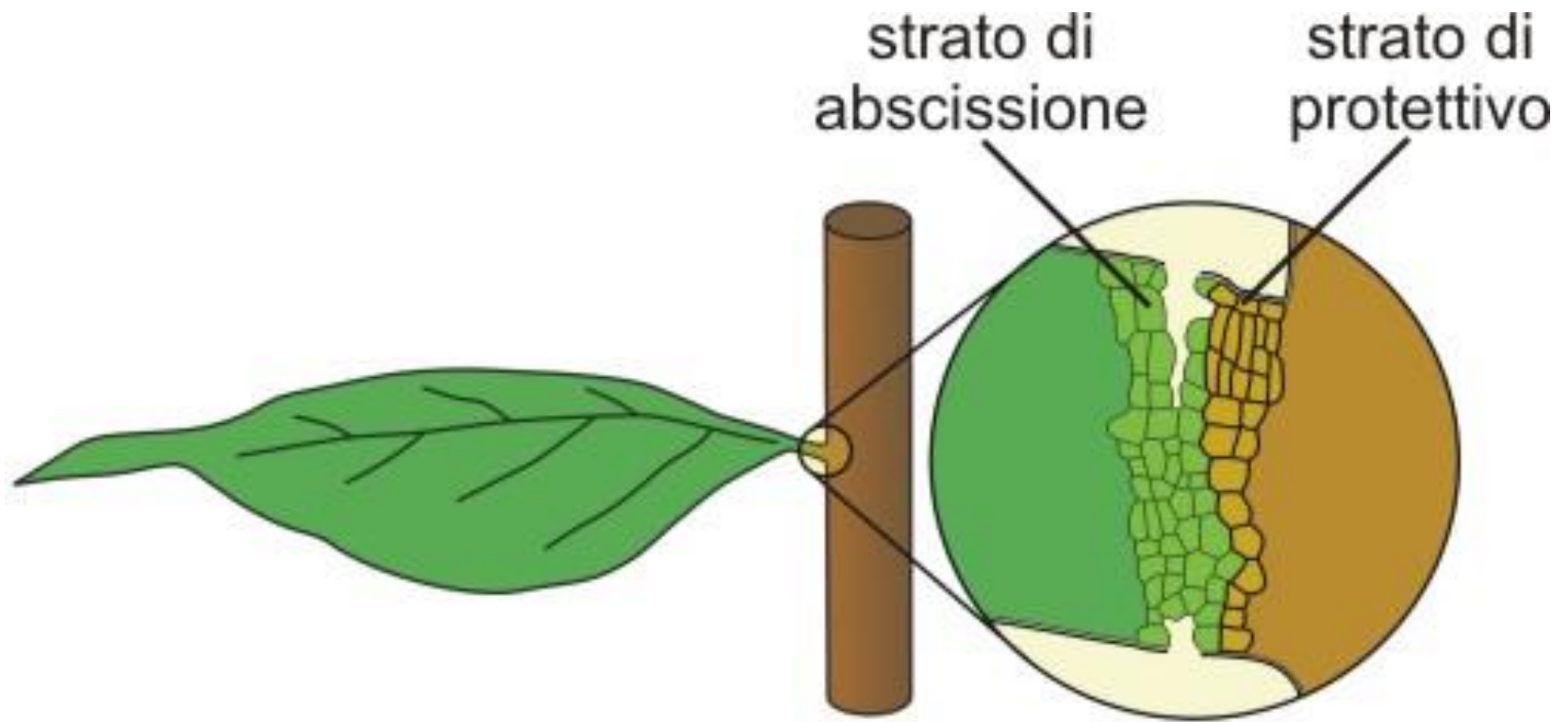
foglie delle conifere



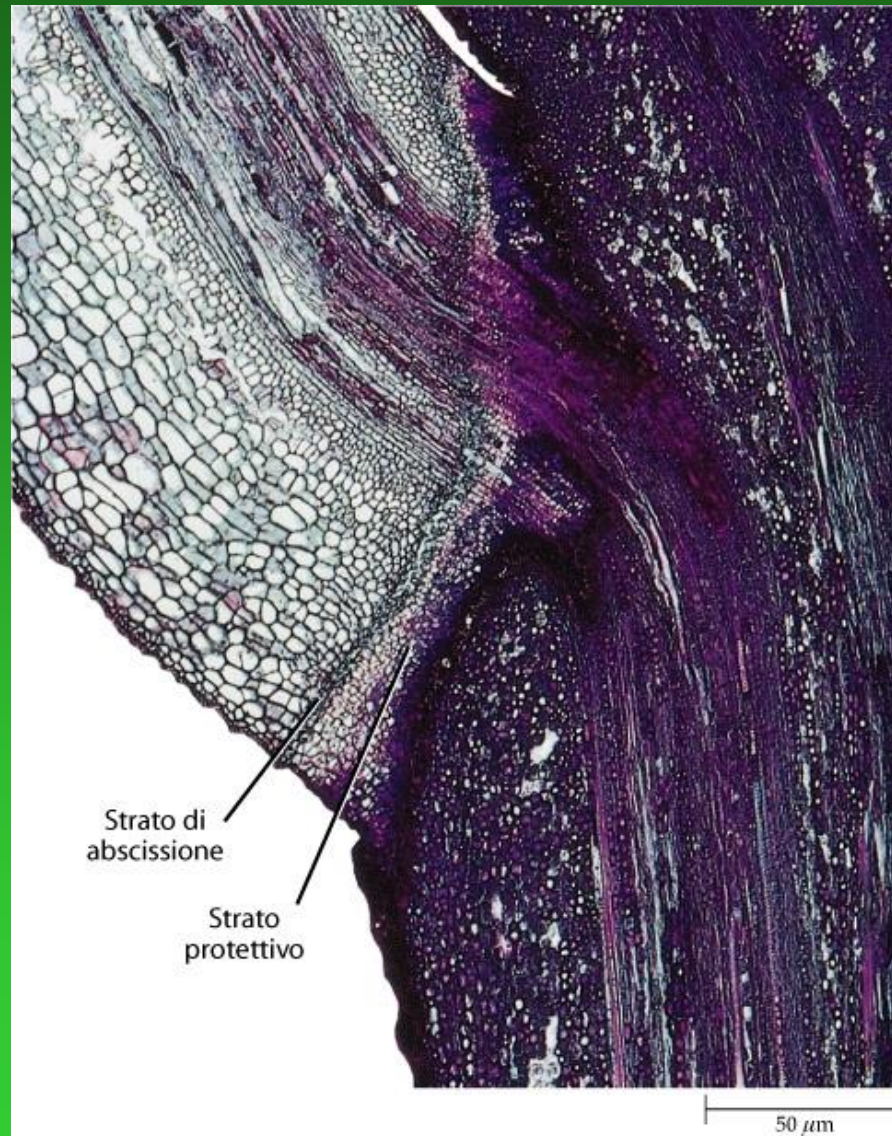
200 μm



ABSCISSIONE FOGLIARE



ABSCISSIONE FOGLIARE



PERCHE' L'AUTUNNO E' GIALLO?



La comparsa di colori autunnali nella chioma è un fenomeno tipico delle foreste decidue dei climi temperati. Le piante decidue (o caducifoglie) sono alberi e arbusti che perdono le foglie prima di una stagione climatica sfavorevole, che nelle regioni temperate dell'emisfero Nord è rappresentata dall'inverno. Non tutte le piante decidue presentano i colori autunnali tipici del *foliage*: si stima infatti che sia solo un quarto delle specie arboree dei climi temperati a mostrare questa caratteristica. In autunno, con l'invecchiamento delle foglie, nelle piante decidue la clorofilla viene progressivamente degradata, e si rivelano gli altri pigmenti presenti.

Nel Nord Europa questi sono rappresentati soprattutto dai [carotenoidi](#). I colori dei diversi tipi di carotenoidi spaziano dal giallo, all'arancione e al rosso, anche se i carotenoidi rossi (come il [licopene](#) che colora i frutti del pomodoro) non sono comuni nelle foglie. La funzione dei carotenoidi è sia di supporto alla fotosintesi, perché assorbono parte della luce che non viene assorbita dalla clorofilla, sia di fotoprotezione: la fotosintesi stessa può essere infatti fonte di stress ossidativo e i carotenoidi sono importanti antiossidanti naturali.

Negli alberi con colori autunnali che virano verso il rosso sono chiamati in causa ulteriori pigmenti, le antocianine (o [antociani](#)), che costituiscono una particolare categoria di [flavonoidi](#). A differenza di clorofilla e carotenoidi, le antocianine non hanno un ruolo nella fotosintesi e non sono normalmente presenti nelle foglie. Vengono prodotte in condizioni di stress, per esempio a causa del freddo, e in alcune specie anche durante l'invecchiamento delle foglie (senescenza). **Non solo i carotenoidi che sono già presenti nella foglia, ma anche le antocianine sintetizzate specificamente in autunno possono avere una funzione fotoprotettiva: in particolare le antocianine svolgono un ruolo schermante perché assorbono luce senza trasmetterla agli apparati fotosintetici.**

PERCHE' L'AUTUNNO E' GIALLO?

La fase di senescenza è caratterizzata dall'inattivazione dei geni codificanti per le proteine fotosintetiche e dall'espressione dei geni associati alla senescenza, responsabili dell'induzione dei processi catabolici, ma anche dei meccanismi di recupero di metaboliti. La foglia, sebbene senescente, continua a rappresentare un'importante risorsa per la pianta dal momento che tutti gli elementi derivati dall'attività idrolitica (zuccheri, nucleosidi, amminoacidi) possono essere recuperati, trasportati fuori dagli organi senescenti per via floematica, per essere infine riutilizzati in altri tessuti o conservati per la formazione di nuove foglie nella primavera successiva.

I geni associati alla senescenza codificano anche per gli enzimi che sintetizzano l'etilene, ormone coinvolto nell'abscissione fogliare. Responsabili dell'abscissione sono alcune cellule differenziate del picciolo che rispondono all'aumento di etilene con la produzione e secrezione di enzimi capaci di degradare le proprie pareti cellulari. L'indebolimento delle maglie di cellulosa e dei diversi polisaccaridi di parete allenta l'adesione delle cellule contigue. Il vento o il peso della foglia stessa è sufficiente a causare il suo distacco definitivo dalla pianta. Le foglie cadute, sebbene siano ormai inutili per la pianta, rappresentano un elemento fondamentale per il bilancio energetico degli organismi abitatori del suolo, i quali ne completano la degradazione, traendone energia utile per i loro processi vitali. È nel suolo che la sostanza organica complessa è trasformata in forme elementari, che possono essere assimilate e riutilizzate dalle piante, assicurando così la chiusura del ciclo degli elementi e dell'energia dell'ecosistema forestale.

SENESCENZA ED ABSCISSIONE

La **senescenza nelle piante può coinvolgere l'organismo** intero o organi specifici; gli stimoli possono essere esterni come la lunghezza del giorno e la temperatura o interni; in tutti i casi comunque i geni di regolazione della senescenza danno inizio ad una cascata di eventi che causano la morte. È caratterizzata da profondi cambiamenti finalizzati al recupero e alla redistribuzione di metaboliti e di materiale strutturale, in particolare delle riserve di azoto e fosforo. **La PCD coinvolta nella senescenza ha tre caratteristiche distintive:**

1) **coinvolge l'intero organismo o organo (la foglia o il frutto) e non tipi cellulari specifici o un tessuto;**

2) **è un processo più lento; la sua lentezza è dovuta alla mobilitazione di nutrienti in altre parti della pianta prima che si giunga al così detto "punto di non ritorno".** Questo evento è fondamentale affinché tutte le risorse accumulate per esempio nella foglia, organo di maggiore attività fotosintetica, non vengano perse. La senescenza comporta **cambiamenti nei plastidi che diventano gerontoplasti nelle foglie e cromoplasti nei frutti.** Questi cambiamenti strutturali si associano a cambiamenti biochimici come la degradazione della clorofilla e delle proteine di riserva. Il catabolismo della clorofilla rende visibili i carotenoidi

SENESCENZA ED ABSCISSIONE

Le **citochinine agiscono da induttori negativi della senescenza** e ciò è dimostrato dal loro alto tasso di degradazione durante la senescenza.

L'etilene promuove la senescenza; trattamento di foglie di *Arabidopsis* con questo ormone inducono cambiamenti simili a quelli che si osservano durante la senescenza come ingiallimento delle foglie, riduzione dell'espressione dei geni coinvolti nella fotosintesi ed una sovraespressione di **SAG (geni induttori della senescenza)**. **L'etilene è anche coinvolto nella produzione di cellulasi e pectinasi** che giocano un ruolo importante nella degradazione della parete cellulare che porta alla separazione delle cellule e quindi all'**abscissione fogliare**.

In diverse specie sono stati isolati **geni che vengono attivati nella senescenza (SAG) che codificano per enzimi idrolitici, come le proteasi, le ribonucleasi, le lipasi e le ossidasi** ma anche enzimi coinvolti nella mobilitazione di prodotti di degradazione.

SENESCENZA ED ABSCISSIONE

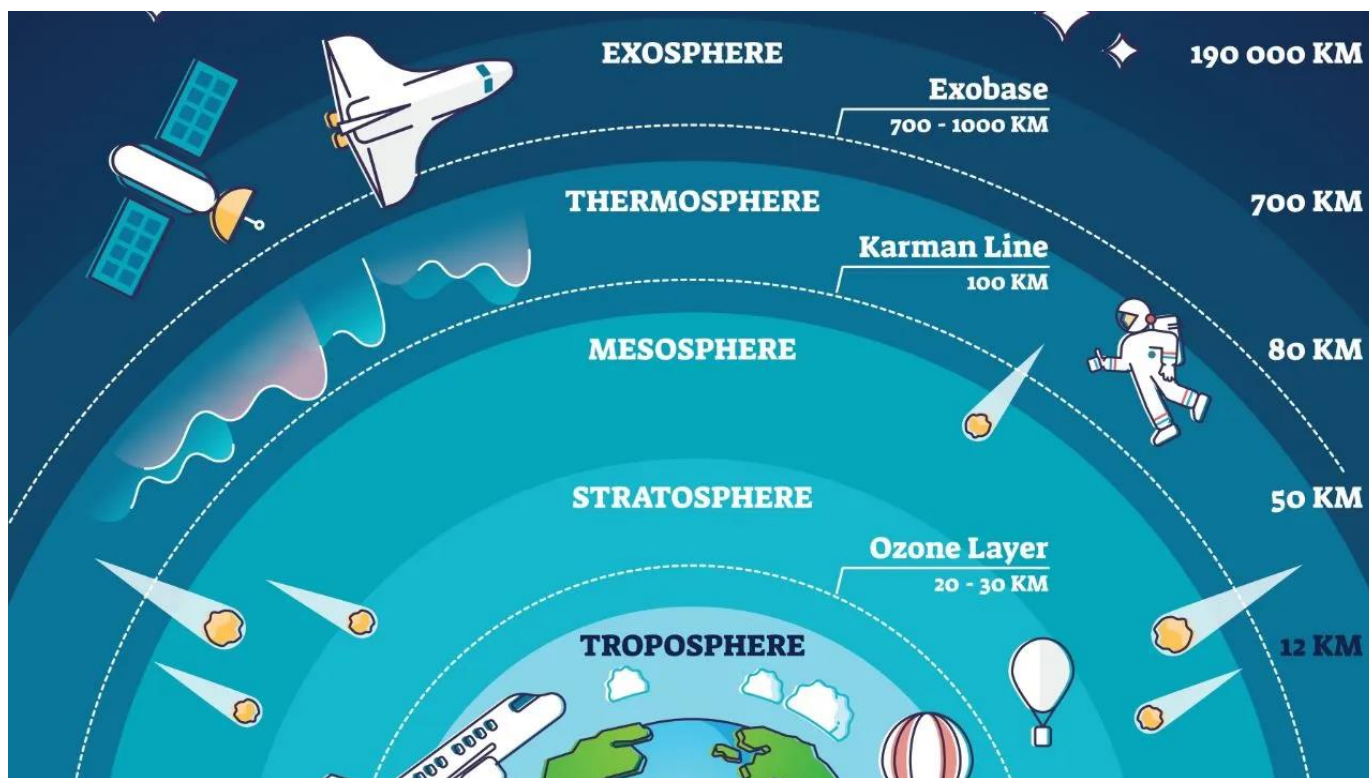
Altri **SAG** codificano enzimi, componenti del sistema proteolitico cellulare attivo durante la senescenza, come aspartico-proteasi, e ubiquitina. In foglie senescenti di *Arabidopsis* sono state identificate delle cisteinproteasi, SAG12, localizzate, nelle cellule del mesofillo e nelle cellule di guardia, **in vacuoli specializzati nella senescenza, mostranti un'acidità più alta rispetto al vacuolo centrale**. Probabilmente i due tipi di vacuoli sarebbero deputati a smantellare specifici componenti cellulari nelle foglie senescenti.

Nell'ambito dei SAG si annoverano anche geni che codificano per proteine implicate nella risposta di difesa ai patogeni come glucanasi e chitinasi.

Un altro gruppo funzionale di proteine codificate dai SAG comprende diverse metallothioneine che possono proteggere le cellule dagli stress ossidativi provocati da ioni metallici o favorire l'accumulo ed il trasporto dei metalli stessi.

Le foglie e l'inquinamento

Molti inquinanti dell'aria arrecano danni alle piante ed in particolare all'apparato fogliare. Tra questi, uno dei più pericolosi è l'ozono troposferico (O₃). L'ozono troposferico (strato dell'atmosfera situato tra la superficie terrestre e la stratosfera) è un importante inquinante e fa parte dei gas serra, avendo un ruolo importante nella chimica dell'atmosfera. Questo gas è presente in piccole quantità anche nella parte superiore dell'atmosfera (stratosfera), dove, però, ha un ruolo protettivo per la vita degli organismi sulla terra in quanto assorbe la maggior parte delle radiazioni solari ultraviolette.



Le foglie e l'inquinamento: effetti dannosi dell'ozono

L'ozono si forma nella troposfera quando la presenza della luce solare causa complesse reazioni fotochimiche con diverse molecole, tra cui gli ossidi di azoto (NO_x), gli idrocarburi organici volatili (VOC) e monossido di carbonio, che si originano principalmente dalla combustione dei carburanti derivati dal petrolio. Sebbene la maggior parte dei precursori dell'ozono sono prodotti nelle aree urbane e metropolitane, elevate concentrazioni di questo gas vengono rilevate nelle aree rurali, in quanto esso viene trasportato per lunghe distanze nelle masse d'aria. Pertanto, gli effetti dannosi dell'ozono non sono localizzati e le sue elevate concentrazioni nelle zone rurali possono avere grosse conseguenze per le piante coltivate, oltre che per le piante spontanee.

L'ozono entra nelle foglie attraverso gli stomi sulla base dei meccanismi di diffusione dei gas. I sintomi, causati dall'esposizione a questa molecola, sono maggiori nella pagina superiore, la parte più colpita dalla luce, e sono principalmente localizzati tra le venature minori; tuttavia in alcune specie possono riguardare entrambe le superfici fogliari. Le foglie più giovani, pienamente espanse sono le più suscettibili, sebbene anche le foglie più vecchie possono mostrare i sintomi.

Una volta penetrato nelle camere sottostomatiche, il gas si distribuisce tra le cellule del mesofillo reagendo rapidamente con le molecole delle pareti adiacenti o con i costituenti esterni del plasmalemma. I fattori che influenzano la quantità di ozono che penetra nel mesofillo fogliare sono: 1) numero, grandezza e tempo di apertura degli stomi, 2) tasso di evapotraspirazione, 3) stato idrico del sistema pianta-terreno, 4) durata dell'esposizione all'ozono.

Per cercare di risolvere il problema delle perdite dei raccolti dovute all'ozono troposferico si stanno adottando diversi approcci tra cui l'utilizzo di sostanze chimiche con azione protettiva e la selezione di varietà di piante resistenti. Diverse sostanze protettive sono state saggiate, come fungicidi, insetticidi ed erbicidi, regolatori della crescita e tra queste l'etilendiurea (EDU) ha fornito risultati positivi. EDU può essere applicato come spray fogliare, con iniezioni nel fusto o a livello del terreno. EDU è una sostanza antiossidante considerata una delle migliori per contrastare gli effetti dannosi dell'ozono ed utilizzata sperimentalmente per valutare i danni indotti dal gas; i suoi meccanismi di azione non sono stati ancora completamente chiariti. L'effetto protettivo dell'EDU è stato determinato valutando parametri morfologici e fisiologici, come lunghezza delle radici e del fusto, area fogliare, produzione di biomassa, contenuto in clorofilla. Le piante trattate evidenziavano l'effetto protettivo dell'EDU nei confronti dell'ozono.



FIGURA 10.1.1

Foglie di *Nicotiana tabacum* danneggiate dall'ozono (a sinistra) e trattate con etilendiurea (EDU) (a destra), un antiossidante, che riduce gli effetti del danno fogliare causato da ozono (foto di F. Manes).