

Movimento dell'acqua e degli assimilati

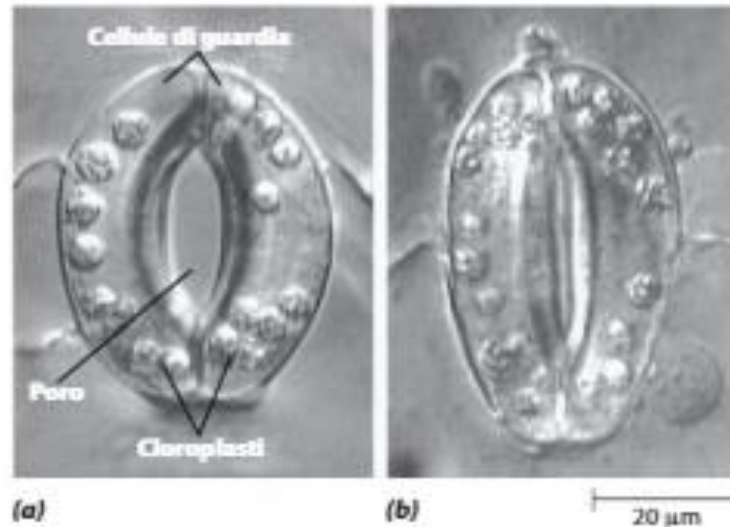
TRASPIRAZIONE: perdita di vapore acqueo da parte di un tessuto biologico a contatto con l'ambiente esterno; nelle piante avviene maggiormente nelle foglie (circa il 99% dell'acqua assorbita dalle radici) ed è strettamente connessa all'assorbimento di CO₂



- Una piccola frazione si perde dalla cuticola che rende le foglie impermeabili
- Una piccola frazione si perde dalle lenticelle del sughero
- Una grande frazione si perde dagli STOMI

cambiamenti di forma delle cellule di guardia

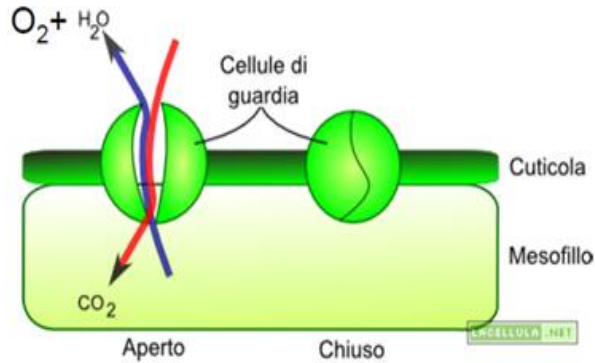
Aperto
(la mattina)
favorisce la perdita di vapore acqueo e l'ingresso di CO₂



Chiuso
(la sera)
impedisce la perdita di vapore acqueo e l'ingresso di CO₂ (unica sorgente è la respirazione)

La traspirazione può essere estremamente dannosa; se eccessiva (perdita di acqua maggiore dell'assorbimento) ritarda la crescita di molte piante e ne uccide altre per disidratazione

Il turgore viene acquistato o perduto grazie al movimento osmotico passivo di acqua verso l'interno o verso l'esterno delle cellule di guardia secondo un gradiente di potenziale idrico creato da un trasporto attivo di soluti



STOMA APERTO: accumulo di soluti, nelle cellule di guardia, abbassamento del potenziale idrico, l'acqua si muove dentro le cellule di guardia, aumento della pressione di turgore

STOMA CHIUSO: diminuzione dei soluti nelle cellule di guardia, aumento del potenziale idrico, l'acqua esce dalle cellule di guardia

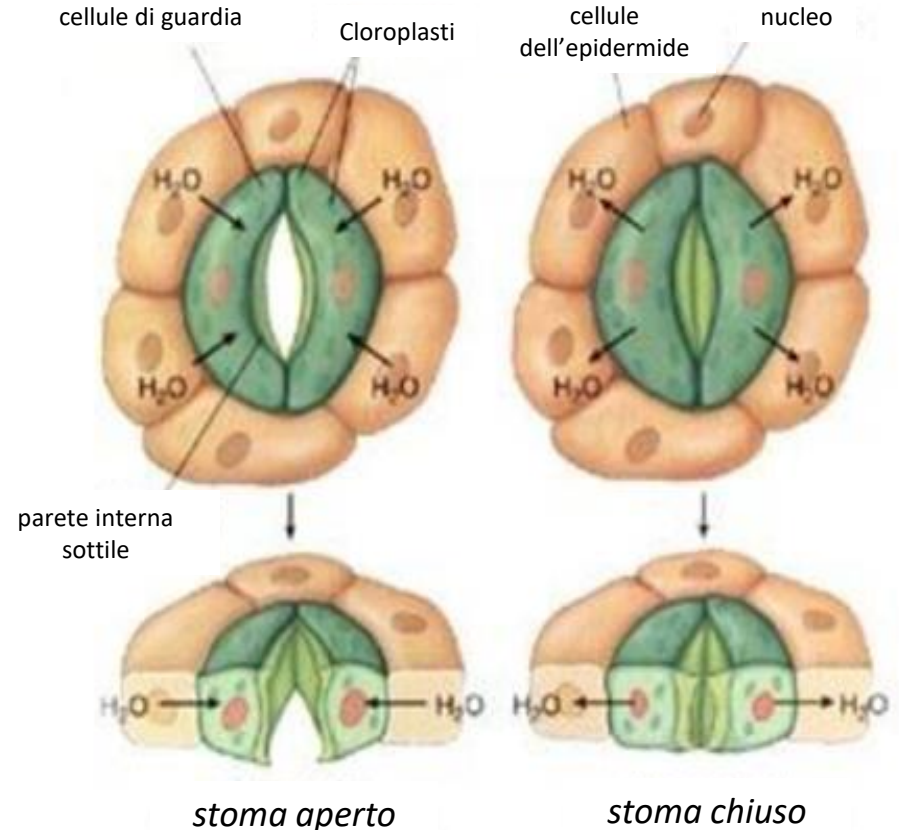
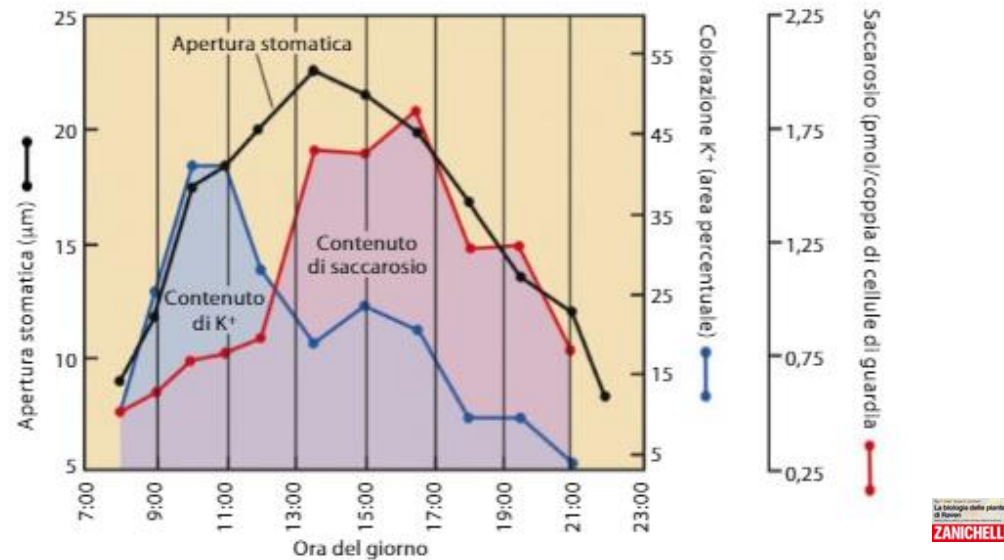


Foto dal Web

Principali soluti osmotici nelle cellule di guardia

Ione potassio (K^+): osmoticamente dominante al mattino; assorbito grazie al gradiente protonico mediato da un' H^+ -ATPasi della membrana attivata dalla luce blu-verde catturata da recettori della membrana (fototropine). Vengono assorbiti anche lo ione cloruro (Cl^-) e il malato (dal saccarosio nei cloroplasti). La zeaxantina (carotenoide dei cloroplasti) è coinvolta nella fotorecezione

Saccarosio: osmoticamente dominante nel pomeriggio; si forma dal glucosio e fruttosio derivati dall'idrolisi dei granuli di amido nei cloroplasti. Gli stomi si chiudono alla fine della giornata in concomitanza alla perdita del contenuto di saccarosio



Apertura stomatica: associata all'assorbimento del potassio

Chiusura stomatica: associata ad una diminuzione del contenuto di saccarosio

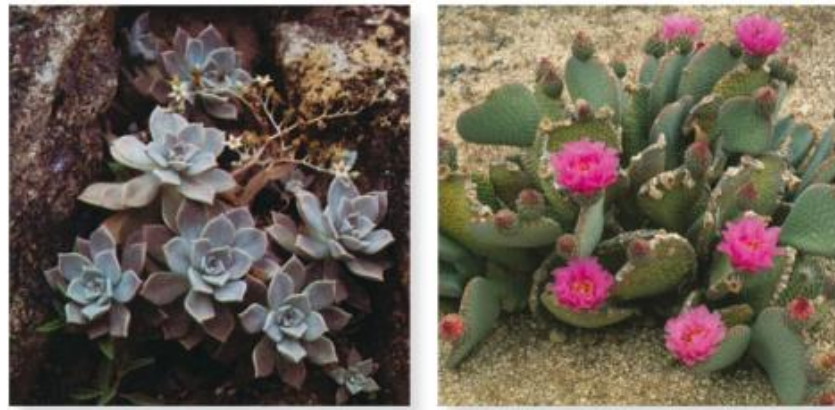
Fattori che influenzano la traspirazione

Eccesso di CO₂: causa la chiusura degli stomi (sito sensore è nelle cellule di guardia)

Temperatura: influisce sulla concentrazione di CO₂ nella foglia; gli stomi si chiudono a 30 – 35 °C (aumenta la CO₂ prodotta dalla respirazione)

Umidità: influenza la velocità di traspirazione; l'acqua si perde più lentamente se l'aria è carica di vapore acqueo

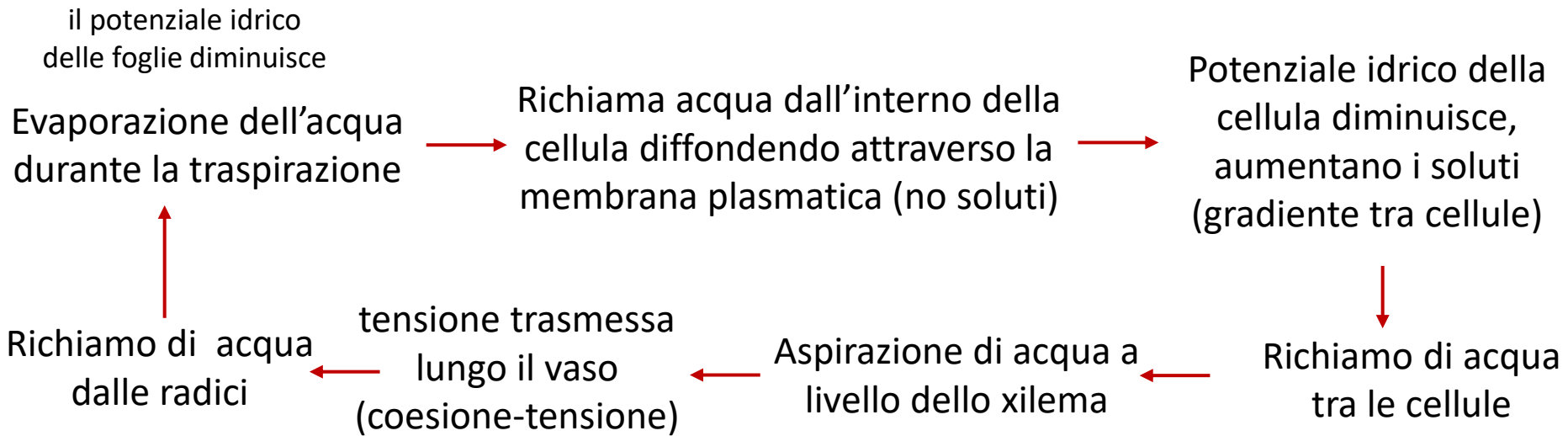
Correnti d'aria: influenzano la differenza di pressione di vapore attraverso la superficie della foglia; una brezza fresca asporta il vapore acqueo dalla foglia



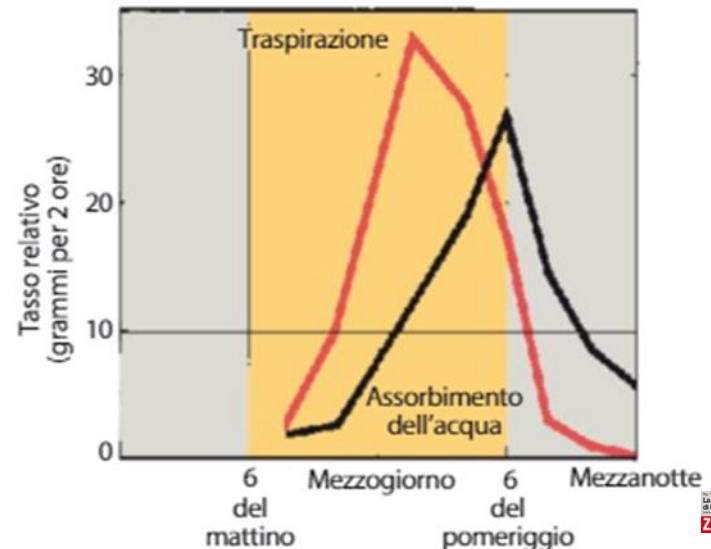
Nei climi caldi le piante (CAM) chiudono gli stomi a mezzogiorno perché accumulano CO₂ nella foglia e perché le foglie si disidratano in quanto la perdita di acqua per traspirazione eccede l'acquisto di acqua per assorbimento radicale

Assorbimento e trasporto dell'acqua lungo lo xilema

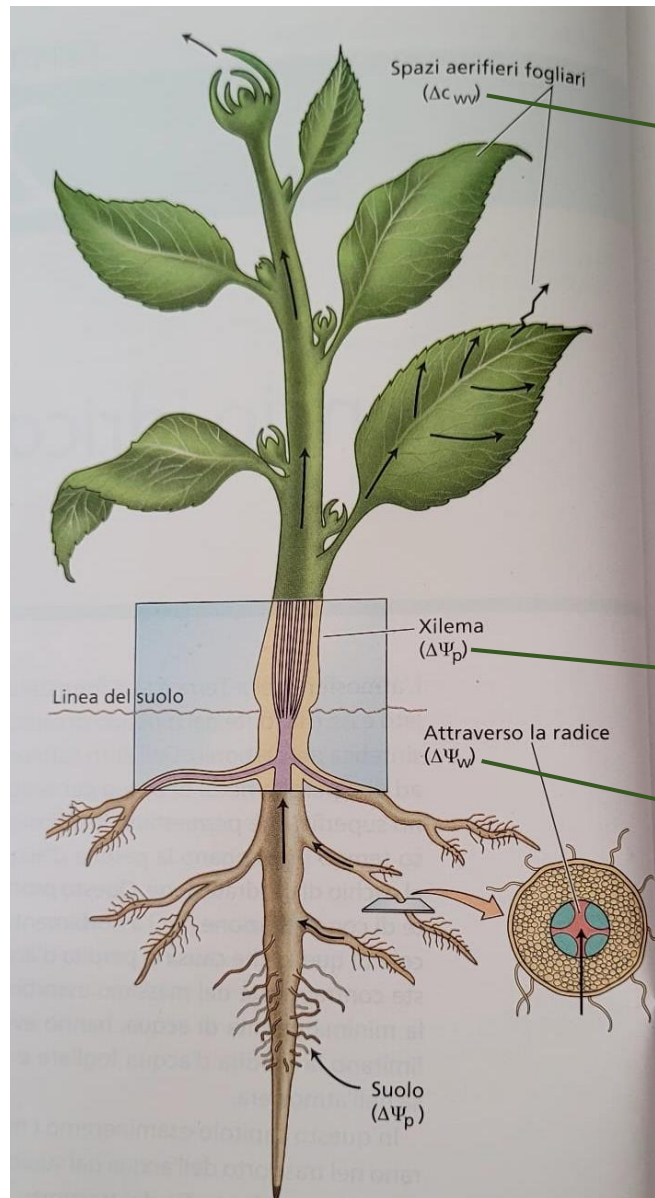
La perdita di acqua genera la forza necessaria per il suo assorbimento



Il gradiente di potenziale idrico dalle foglie alla soluzione del suolo che bagna le radici fornisce la forza trainante per il movimento dell'acqua



Principali forze motrici per il flusso d'acqua dal suolo all'atmosfera

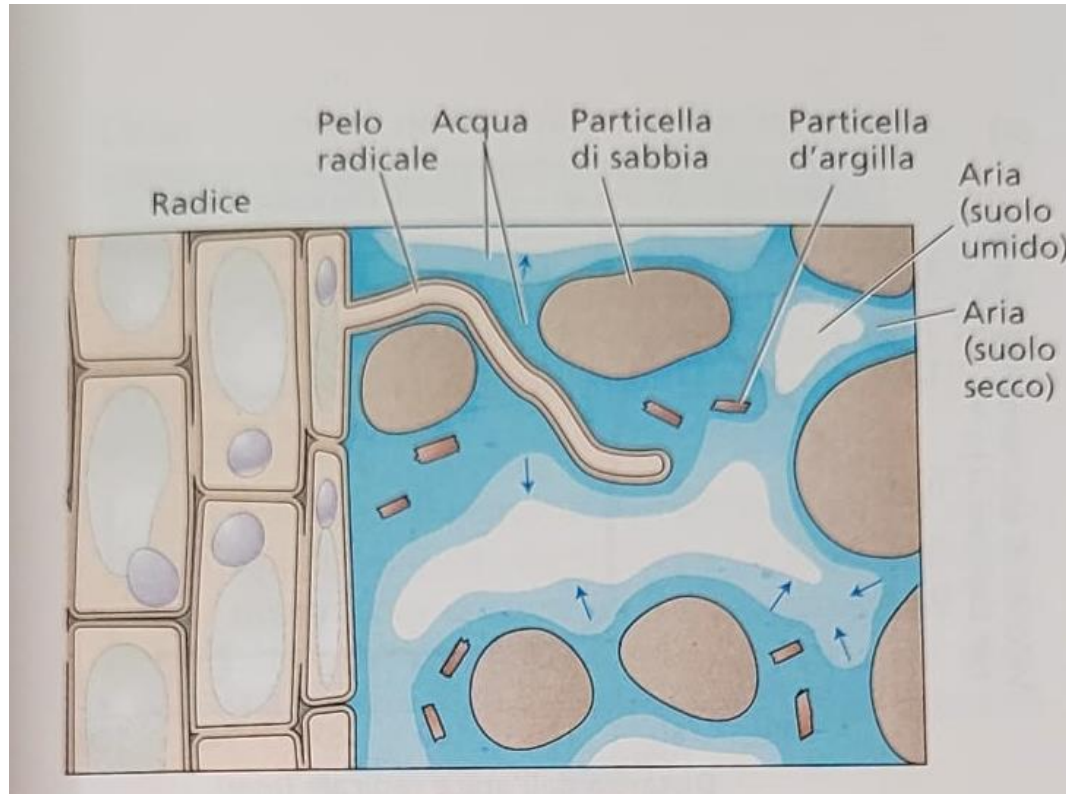


differenze nella concentrazione del vapore d'acqua

differenze nella pressione idrostatica

differenze nel potenziale idrico

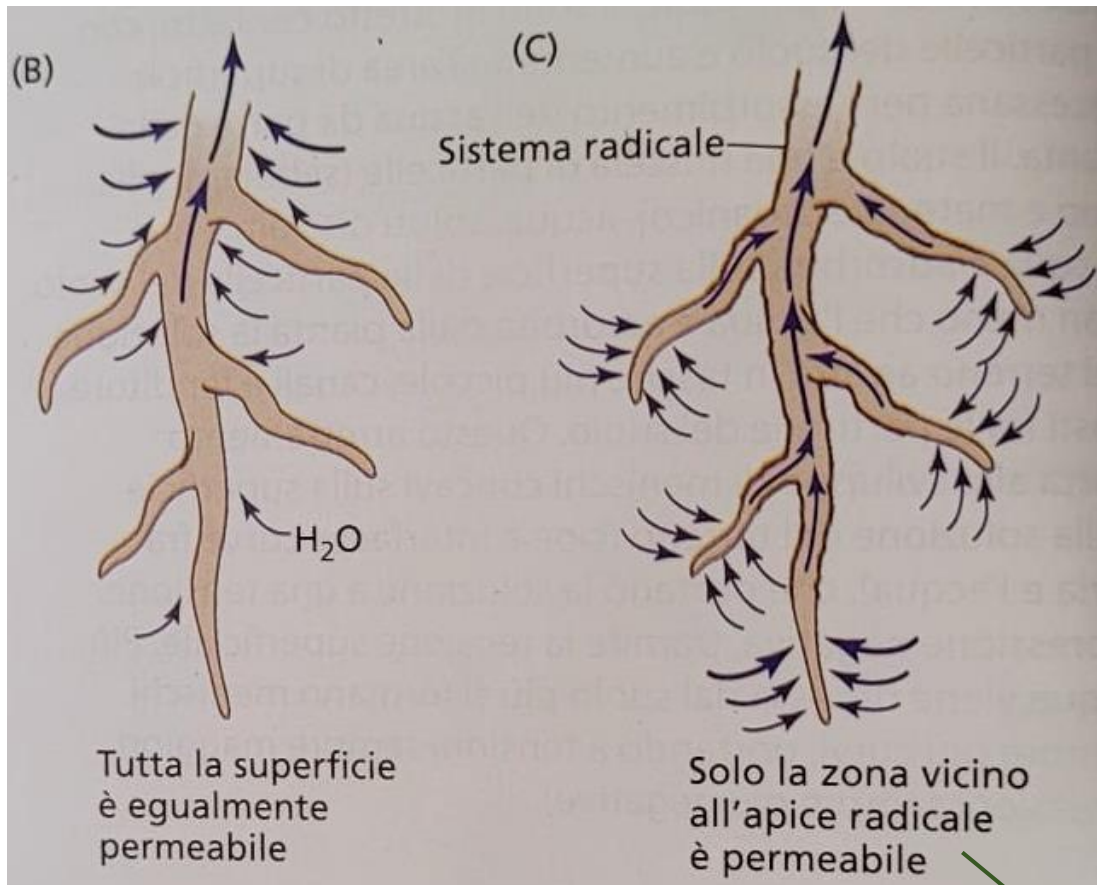
I peli radicali sono in stretto contatto con le particelle del suolo e aumentano l'area di superficie necessaria per l'assorbimento dell'acqua da parte della pianta



Fisiologia Vegetale Applicata – Lionetti & Bellicampi – PICCIN Ed.

Più acqua viene rimossa dal suolo più si formano interfacce curve tra aria e acqua (menischi concavi) che aumentano la tensione superficiale portando la soluzione ad una pressione negativa

Schema della velocità di assorbimento dell'acqua in diverse zone della radice



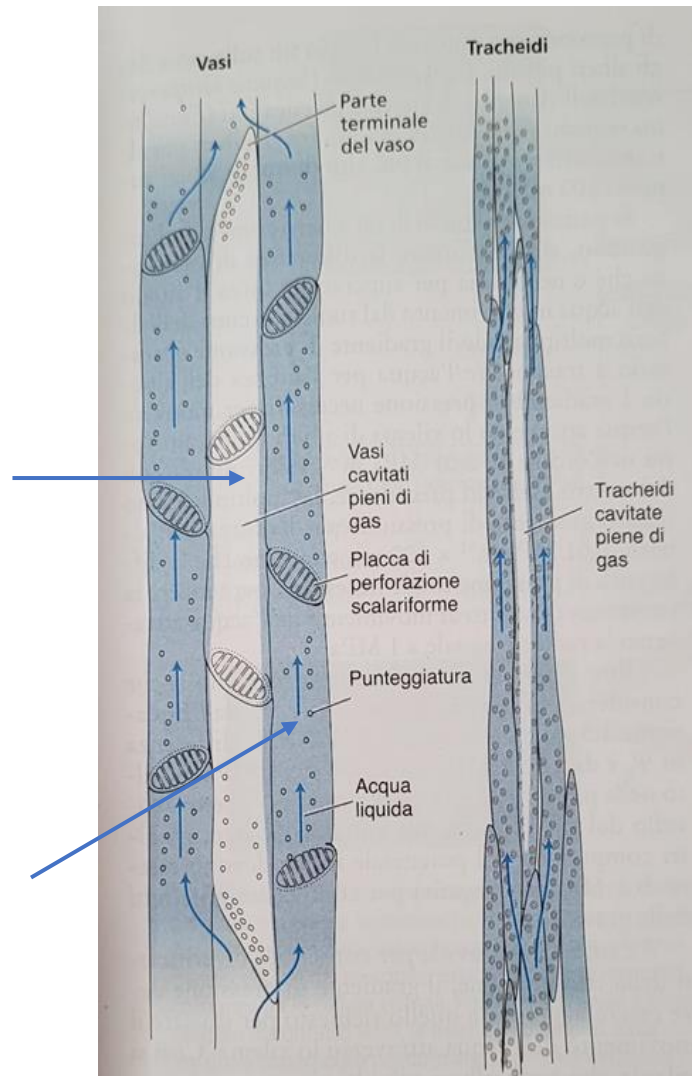
Fisiologia Vegetale Applicata – Lionetti & Bellicampi – PICCIN Ed.

Le zone più vecchie della radice sono impermeabile a causa della deposizione di suberina

Gli elementi dello xilema (vasi e tracheidi) sono vie parallele e interconnesse per il movimento dell'acqua

La cavitazione blocca il flusso dell'acqua a causa della formazione di bolle di gas all'interno del vaso (embolia)

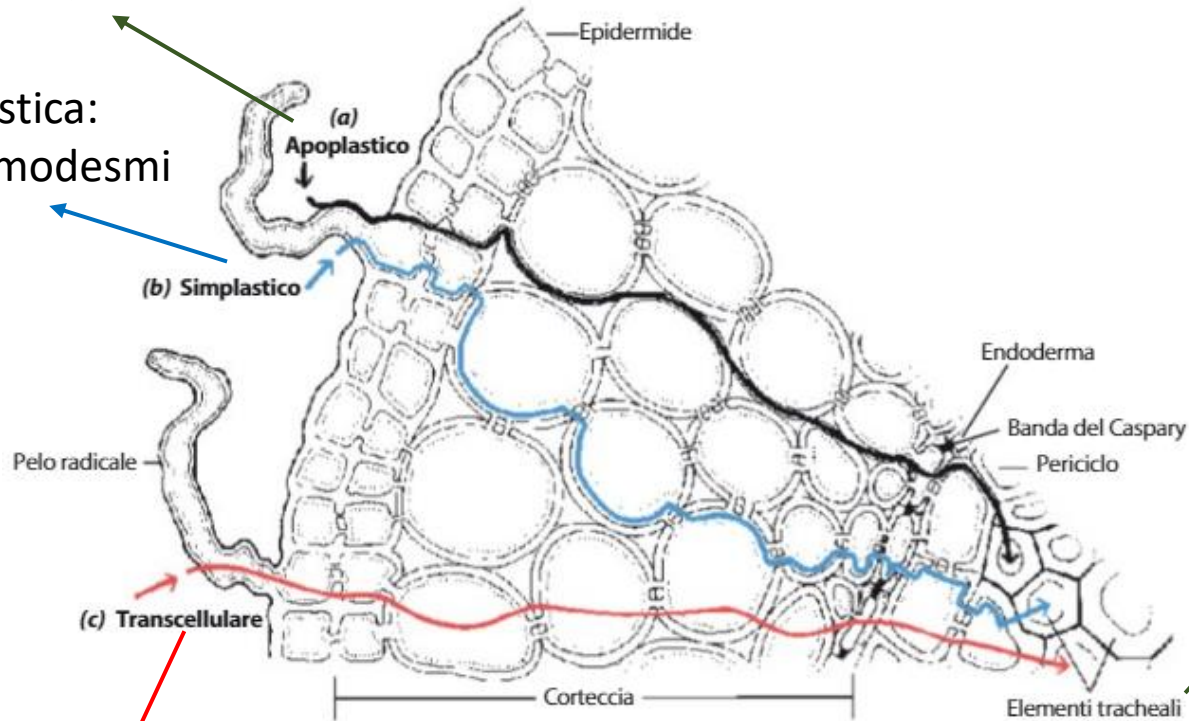
I pori delle punteggiature aiutano a prevenire il diffondersi dell'embolia permettendo all'acqua di spostarsi attraverso gli elementi tracheali adiacenti



Assorbimento di acqua dalla radice avviene attraverso l'epidermide delle radici giovani

1. via apoplastica:
attraverso le pareti cellulari

2. via simplastica:
attraverso i plasmodesmi



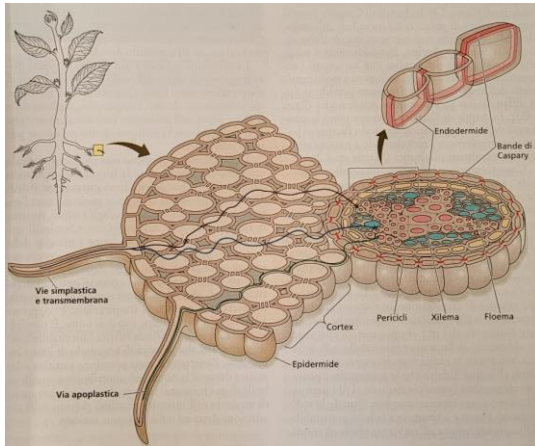
arriva alle foglie dove
viene traspirata

3. via transcellulare: tra le
cellule passando da vacuolo
a vacuolo (acquaporine)

La differenza di potenziale idrico tra la soluzione del suolo alla superfici della radice e la linfa xilematica è la forza trainante per il movimento dell'acqua attraverso le radici

Movimento dell'acqua attraverso la radice

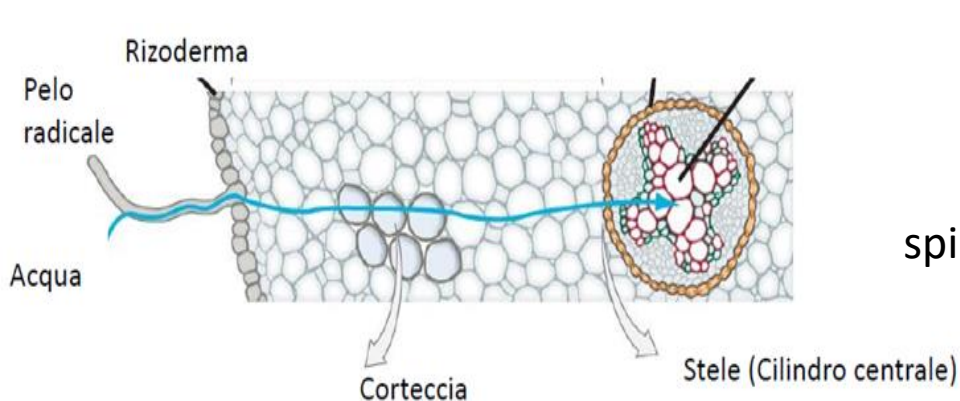
forza trainante: differenza di potenziale idrico fra la soluzione del suolo alla superficie radicale e la linfa xilematica



Fisiologia Vegetale Applicata – Lionetti & Bellicampi – PICCIN Ed.

Gli ioni inorganici, guidati dal flusso di traspirazione, vengono assorbiti dalle cellule epidermiche, attraversano la corteccia (simplasto) e arrivano alle cellule parenchimatiche dalle quali possono venire secreti negli elementi tracheali (xilema) per un processo energia-dipendente altamente regolato

Se la traspirazione è bassa (notte) il gradiente è mantenuto dalla secrezione di ioni che non possono fuoriuscire dallo xilema: il potenziale idrico dello xilema diventa più negativo e l'acqua entra nei vasi per osmosi dalle cellule circostanti

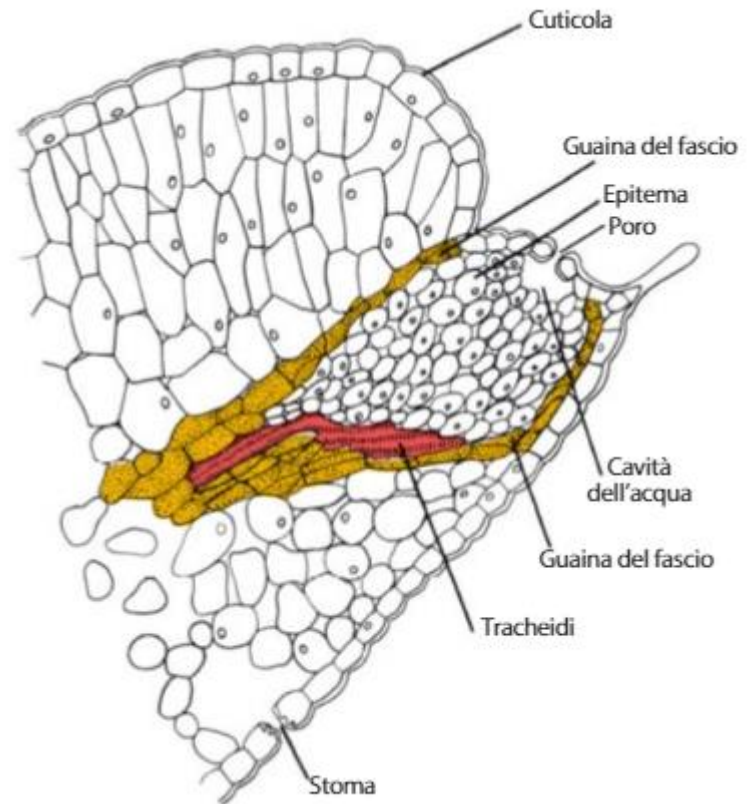


PRESSIONE RADICALE (positiva)
spinge acqua e ioni disciolti verso l'alto nello xilema

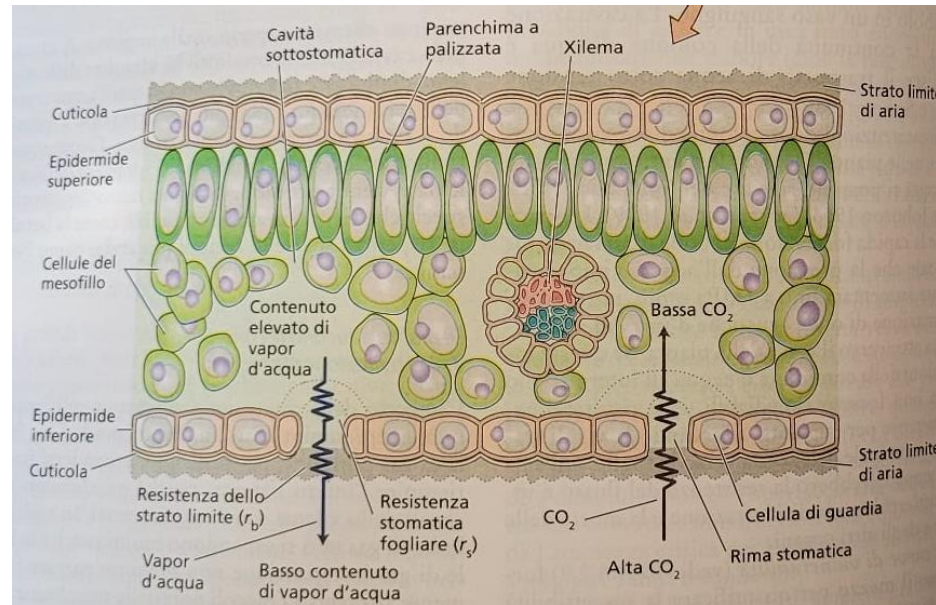
Guttazione: fuoriuscita di goccioline di acqua, per la pressione radicale, dalla foglia attraverso le aperture degli IDATODI presenti alle estremità e ai margini delle foglie. Non hanno la capacità di chiusura/apertura. Effetto della pressione radicale



Fisiologia Vegetale Applicata, Lionetti & Bellicampi, PICCIN Ed.



L'acqua trasportata verso le pareti cellulari del mesofillo evapora negli spazi aeriferi della foglia. Il vapor d'acqua per diffusione attraversa lo strato limite dell'aria immobile che aderisce sulla superficie esterna della foglia, la CO₂ diffonde in direzione opposta secondo il suo gradiente di concentrazione (basso all'interno, elevato all'esterno)

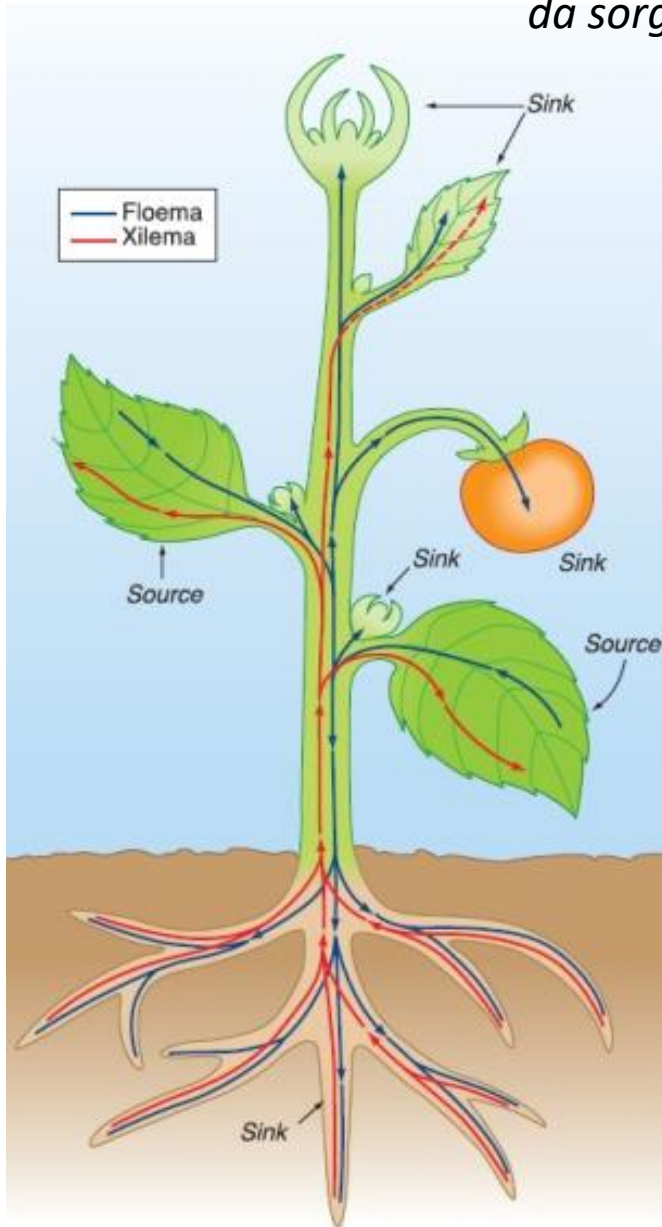


Fisiologia Vegetale Applicata – Lionetti & Bellicampi – PICCIN Ed.

Alcuni ioni lasciano lateralmente lo xilema verso i tessuti circostanti delle radici e dei fusti, altri vengono trasportati insieme all'acqua nell'apoplasto fino alle foglie

- restano nella corrente traspiratoria e raggiungono i principali siti di traspirazione, gli stomi e le altre cellule epidermiche
- possono anche penetrare nei protoplasti delle cellule fogliari probabilmente grazie a meccanismi di trasporto mediati da carrier

Movimento degli assimilati da sorgente a ricevente (*source to sink*)



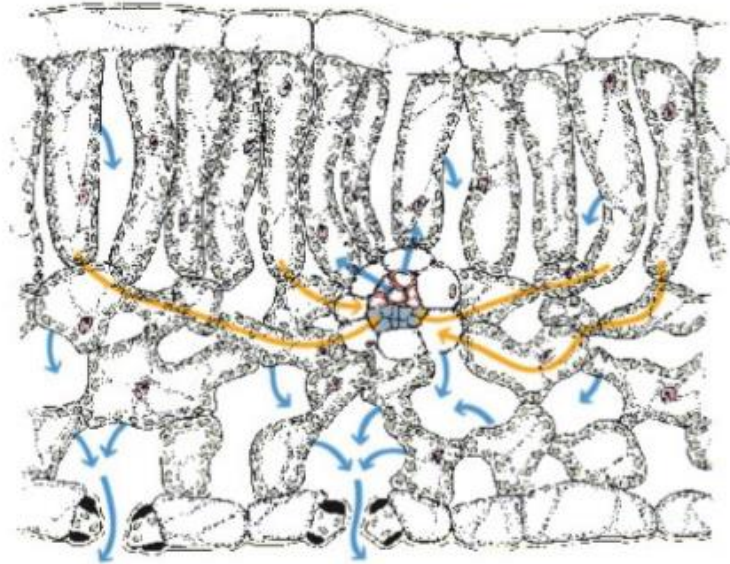
Il collegamento *source to sink* è garantito dal floema: rifornisce il ricevente degli zuccheri sintetizzati nella sorgente (TRASLOCAZIONE)



Corrente degli assimilati del floema: procede sia verso il basso (da foglie mature a radici) sia verso l'alto (da foglie mature all'apice vegetativo)

Il flusso xilematico procede parallelamente al flusso floematico ma sempre verso l'alto (dalle radici all'apice della pianta)

Acqua e soluti inorganici salgono nella pianta con la corrente traspiratoria dello xilema, gli zuccheri sintetizzati durante la fotosintesi lasciano la foglia con la corrente degli assimilati



lo zucchero formato nelle cellule del parenchima a palizzata si spostano nelle cellule del parenchima spugnoso e, successivamente, da queste lateralmente al floema

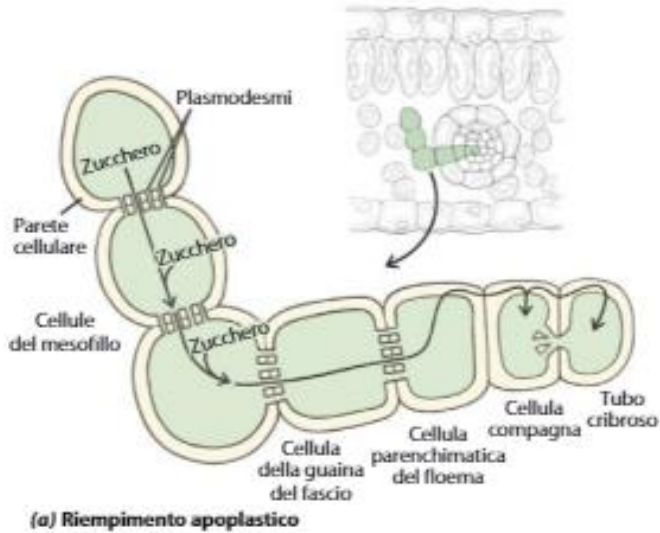
La biologia delle piante
di Raven
ZANICHELLI

L'acqua dallo xilema di una nervatura minore si sposta alle cellule del mesofillo, evapora dalla superficie delle pareti delle cellule e diffonde fuori dalla foglia attraverso uno stomato aperto (*frecce blu*)

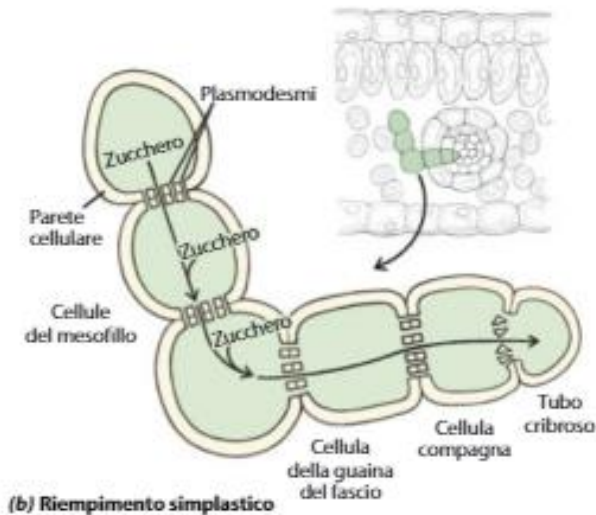
Le molecole di zucchero sintetizzate durante la fotosintesi, si muovono dalle cellule del mesofillo al floema della stessa nervatura per entrare nella corrente degli assimilati (*frecce gialle*)

Riempimento del floema

movimento degli zuccheri dalle cellule fotosintetizzanti del mesofillo fogliare (sorgente) al floema

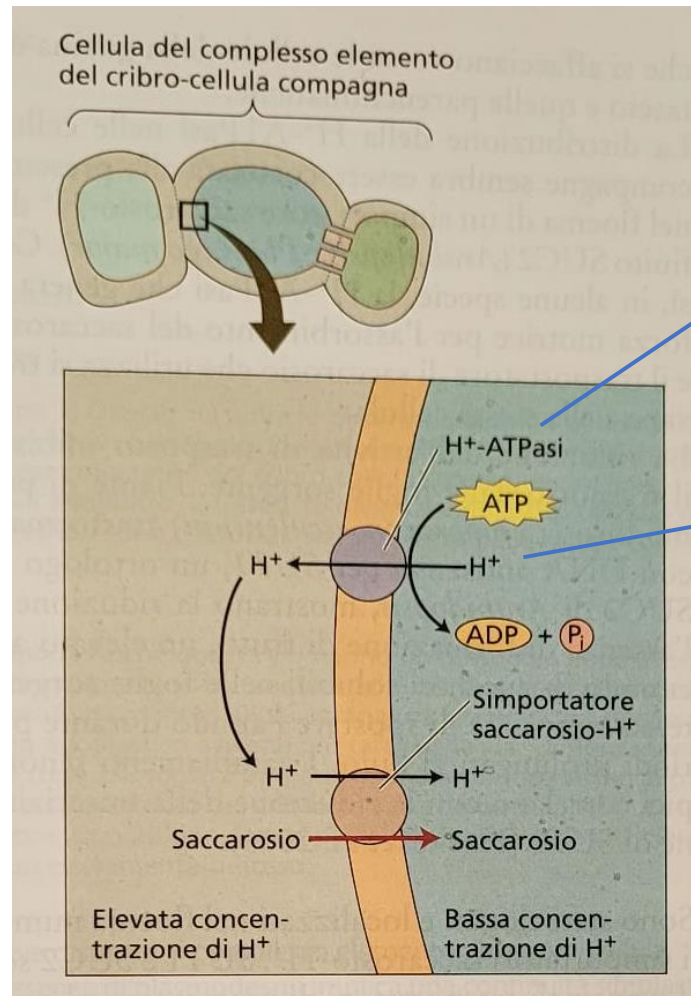


Via apoplastica: guidata dal gradiente protonico creato dall' H^+ -ATPasi associata alla membrana, usato per trasportare il saccarosio e in alcuni casi alcoli (sorbitolo o mannitolo) (*simporto saccarosio-protoni*)



Via simplastica: dal mesofillo diffonde attraverso i plasmodesmi alle cellule della guaina del fascio fino alle cellule intermedie dove viene usato per la sintesi di raffinosisio e stachiosio che diffondono nei tubi cribrosi (connessioni poro-plasmodesmiche) creando una differenza di concentrazione tra mesofillo e floema (*trappola di polimeri*)

Trasporto del saccarosio dipendente dall'ATP



L'ATPasi pompa protoni fuori dalla cellula e dentro l'apoplasto

Idrolisi dell'ATP

Fisiologia Vegetale Applicata – Lionetti & Bellicampi – PICCIN Ed.

L'energia del gradiente protonico viene utilizzata per trasportare il saccarosio all'interno del simplasto del complesso elemento del cribro-cellula compagna attraverso un simportatore saccarosio-H⁺

Modello di flusso di massa: sotto pressione generato per osmosi

Gli assimilati vengono trasportati dalle sorgenti (source) ai pozzi (sink) secondo un gradiente di pressione di turgore che si sviluppa osmoticamente

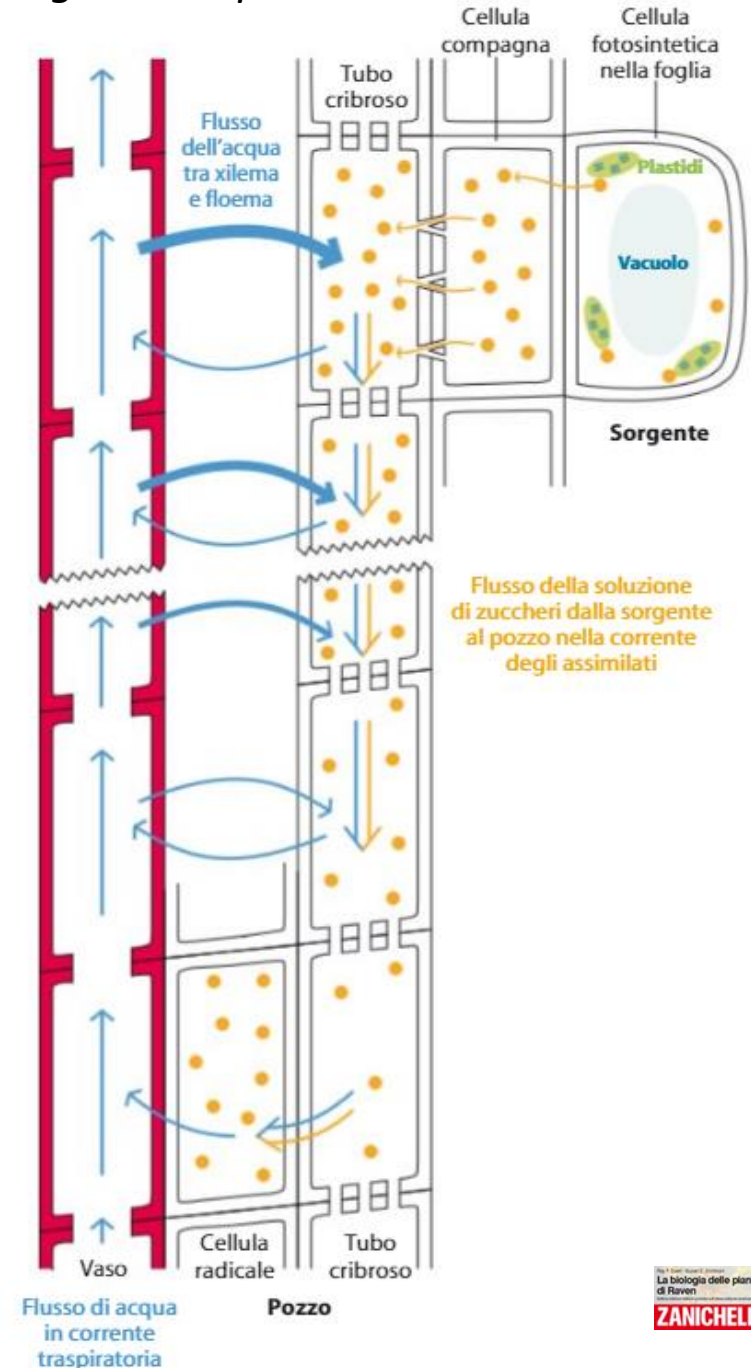
Il saccarosio nel floema (*riempimento del floema*) diminuisce il potenziale idrico dei tubi cribrosi e l'acqua dallo xilema entra nel floema per osmosi



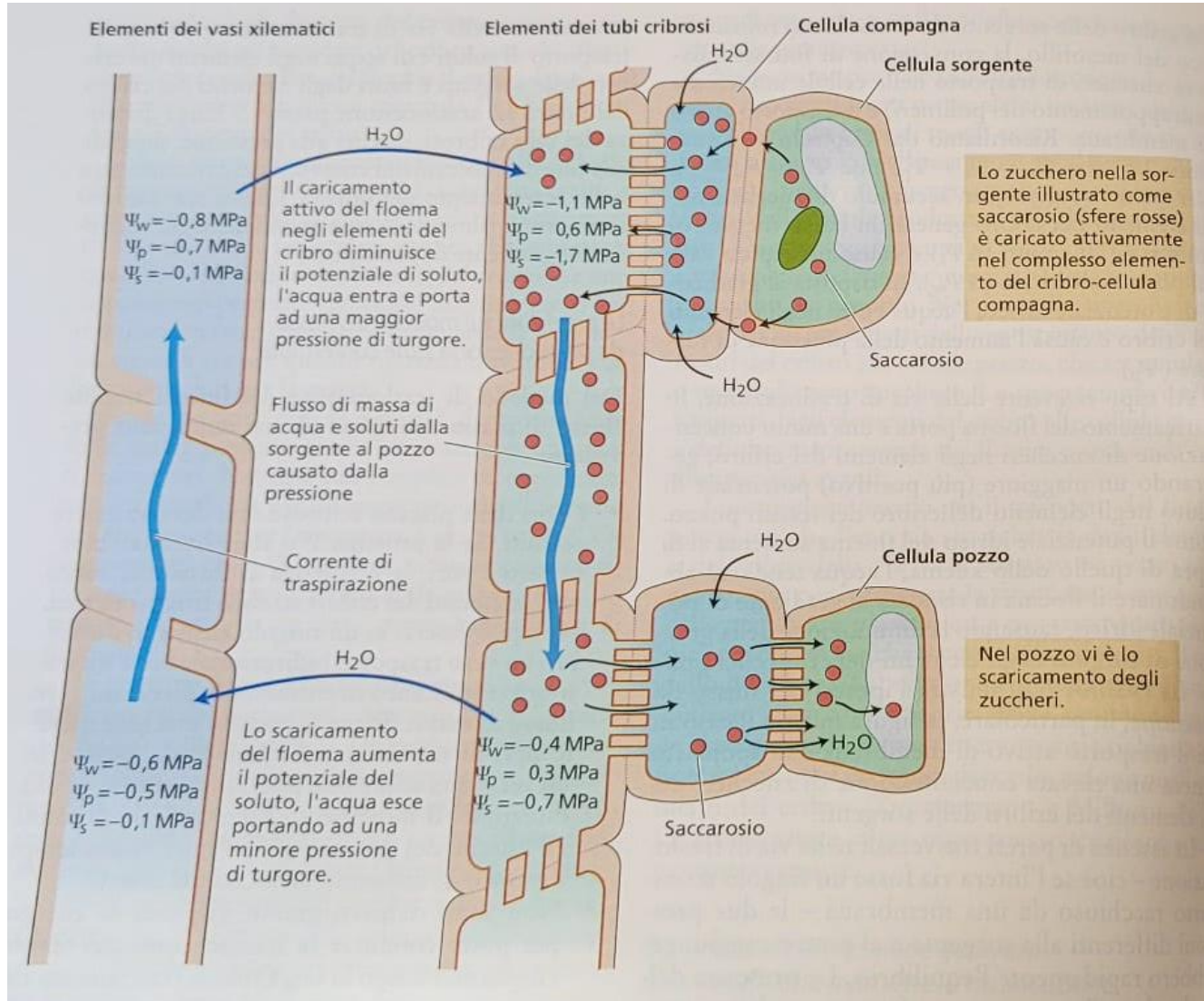
Il saccarosio trasportato passivamente dall'acqua viene "scaricato" negli organi *sink* (tessuti in crescita o radice con funzione di riserva); *trasporto post-floematico*



Il potenziale idrico del *sink* aumenta, l'acqua fuoriesce dal tubo ed entra nello xilema per essere rimessa in circolo dalle correnti traspiratorie

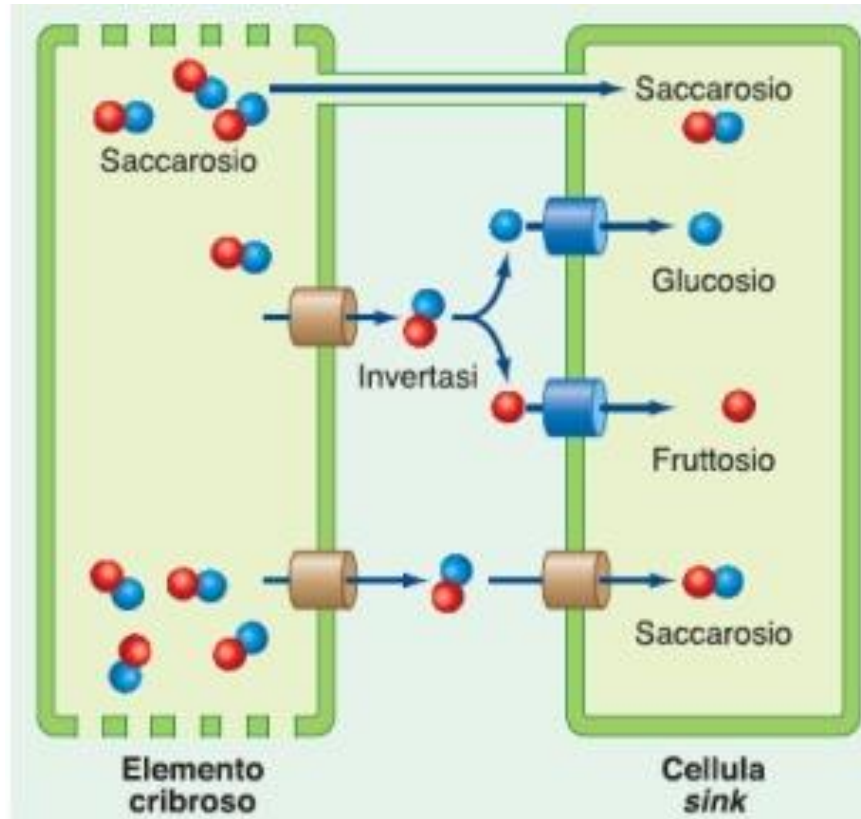


Modello del flusso da pressione per la traslocazione del floema



Mobilizzazione del saccarosio nelle cellule "sink" *svuotamento (o scaricamento) del floema*

trasporto post-floematico: eventi di trasporto che seguono la fuoriuscita degli assimilati



Il trasporto simplastico del saccarosio avviene attraverso i plasmodesmi
Il trasporto apoplastico attraverso l'azione o meno delle invertasi

Nutrizione minerale

assorbimento dall'ambiente di tutte le sostanze necessarie
per i processi biochimici essenziali

L'anidride carbonica e l'acqua non sono sufficienti per nutrire una pianta, ma costituiscono la maggior parte della massa della pianta

Nutrienti essenziali (per la maggior parte delle piante sono 13): sono necessari per la normale crescita e riproduzione delle piante e per una struttura o funzione metabolica specifica



TUTTI i nutrienti possono essere tossici a concentrazioni sufficientemente elevate

MACROELEMENTI: sono assorbiti in **grande quantità** (mM) e partecipano a numerosi processi vitali ed entrano nella composizione di molecole di primaria importanza per la vita cellulare (più di 1000 mg/kg di peso secco)

MICROELEMENTI: sono assorbiti in **piccole quantità** (μM) e sono essenziali per molti processi e funzioni vitali (meno di 100 mg/kg di peso secco)

peso secco: materiale vegetale che resta dopo essiccazione della pianta in stufa (elimina acqua)

Elementi nutritivi essenziali per le piante

da acqua o aria

Elemento	Simbolo chimico	Forma disponibile	Concentrazione nella sostanza secca (mmol/kg)
MACRONUTRIENTI			
Idrogeno	H	H ₂ O	60 000
Carbonio	C	CO ₂	40 000
Ossigeno	O	O ₂	30 000
Azoto	N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	1000
Potassio	K	K ⁺	250
Calcio	Ca	Ca ²⁺	125
Magnesio	Mg	Mg ²⁺	80
Fosforo	P	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	60
Zolfo	S	SO ₄ ²⁻	30
Silicio*	Si	SiO ₄ ⁴⁻	30
MICRONUTRIENTI			
Cloro	Cl	Cl ⁻	3.0
Boro	B	BO ₃ ³⁻	2.0
Ferro	Fe	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	2.0
Manganese	Mn	Mn ²⁺	1.0
Sodio*	Na	Na ⁺	0.4
Zinco	Zn	Zn ²⁺	0.3
Rame	Cu	Cu ²⁺	0.1
Nichel	Ni	Ni ²⁺	0.05
Molibdeno	Mo	MoO ₄ ²⁻	0.001
(* Sia il silicio che il sodio sono elementi "benefici" essenziali solo per alcuni tipi di piante: il Si per graminacee e pipe- racee, l'Na per le specie "natofile" o "alofite").			

dal suolo

Mobili: traslocati, sintomi da carenza appaiono velocemente e più pronunciati nelle foglie più vecchie

Immobili: restano nella zona di assimilazione, sintomi da carenza appaiono prima nelle foglie più giovani

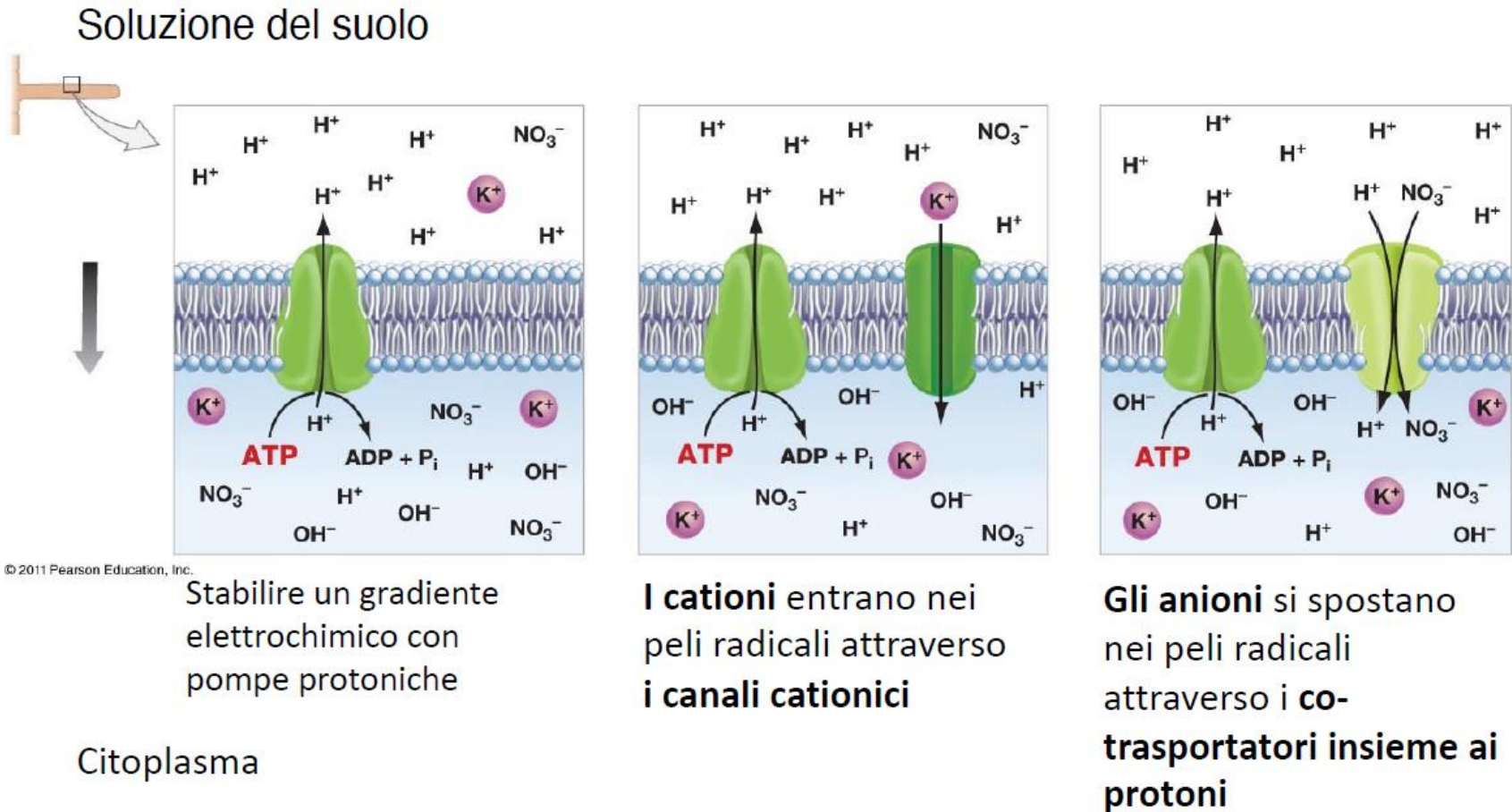
Potassio (K) immobile	È il catione più abbondante della cellula, con una concentrazione citosolica di circa 80-200 mM. È uno dei pochi cationi che non è un componente di strutture organiche. Ha un'importante funzione come osmoregolatore operando, tra l'altro, anche nei movimenti fogliari e nell'apertura e chiusura degli stomi.
Calcio (Ca) mobile	È presente nelle pareti e nei vacuoli; nel citosol è presente solo in concentrazione molto bassa (10^{-7} M). Agisce come secondo messaggero nella trasduzione di segnali ormonali o ambientali. È coinvolto nella regolazione di numerosi enzimi ed è fondamentale nei processi di divisione cellulare.
Magnesio (Mg) immobile	È un costituente dell'anello porfirinico della clorofilla, ed è, inoltre, l'attivatore di molti enzimi e della molecola di ATP.
Fosforo (P) immobile	Sotto forma di fosfato (PO_4^{3-}) è presente in molecole fondamentali quali zuccheri fosfati, nucleotidi, acidi nucleici, coenzimi, fosfolipidi membranali. Ha un ruolo essenziale nelle reazioni in cui è coinvolto l'ATP e gioca quindi un ruolo chiave nella fotosintesi e nella respirazione. È un fattore importante per la regolazione di numerosi enzimi.
Azoto (N) immobile	È un costituente essenziale di amminoacidi, nucleotidi, coenzimi, nonché delle basi azotate del DNA e dell'RNA. È un componente di alcuni lipidi, alcuni zuccheri e della clorofilla.
Zolfo (S) mobile	È un elemento che entra nella molecola di alcuni amminoacidi come cisteina e metionina, di proteine e di molecole importanti, tra cui quelle del coenzima A e del glutatione. È anche costituente delle ferro-zolfo proteine, come la ferredossina, di vitamine e di alcuni solfolipidi di membrana.
Ferro (Fe) mobile	È un costituente del gruppo eme nei citocromi ed è presente in forma non emica nelle proteine Fe-S. È fondamentale in molti processi biochimici come la fotosintesi, la respirazione e la fissazione biologica dell'azoto.
Boro (B) mobile	È richiesto per stabilizzare la struttura delle pareti cellulari e, con un meccanismo non ancora chiarito, regola la divisione e la distensione cellulare.
Rame (Cu) mobile	Funziona come cofattore di molti enzimi redox come la plastocianina e la citocromo c ossidasi. È presente anche negli enzimi ascorbato ossidasi e polifenolo ossidasi e nella superossido dismutasi, che ha l'importante funzione di detossificare il radicale superossido ($O_2^{\cdot-}$).
Manganese (Mn) immobile	La sua funzione più conosciuta e importante è legata alla fotolisi dell' H_2O , che si realizza nel complesso evolvente ossigeno associato al PSII e porta alla liberazione di O_2 . È cofattore di numerosi enzimi, tra i quali decarbossilasi e deidrogenasi. Inoltre, può sostituire il Mg in alcune reazioni enzimatiche che utilizzano l'ATP.
Zinco (Zn) immobile	È un attivatore di numerosi enzimi, tra cui l'alcol deidrogenasi e l'anidrasi carbonica. Costituisce le <i>zinc fingers</i> (dita di zinco) di alcune proteine che interagiscono con acidi nucleici.
Molibdeno (Mo) immobile	La sua funzione principale è correlata al metabolismo dell'azoto, in quanto fa parte dei siti attivi della nitrato riduttasi e della nitrogenasi procariotica.

La maggior parte dei sintomi da carenza è associata al germoglio (più facile osservarli):

- crescita stentata di fusti e foglie
- necrosi di tessuti
- ingiallimento delle foglie dovuto a perdita o ridotta formazione di clorofilla (clorosi)

Cloro (Cl) (immobile) funzione osmotica, agisce come cofattore

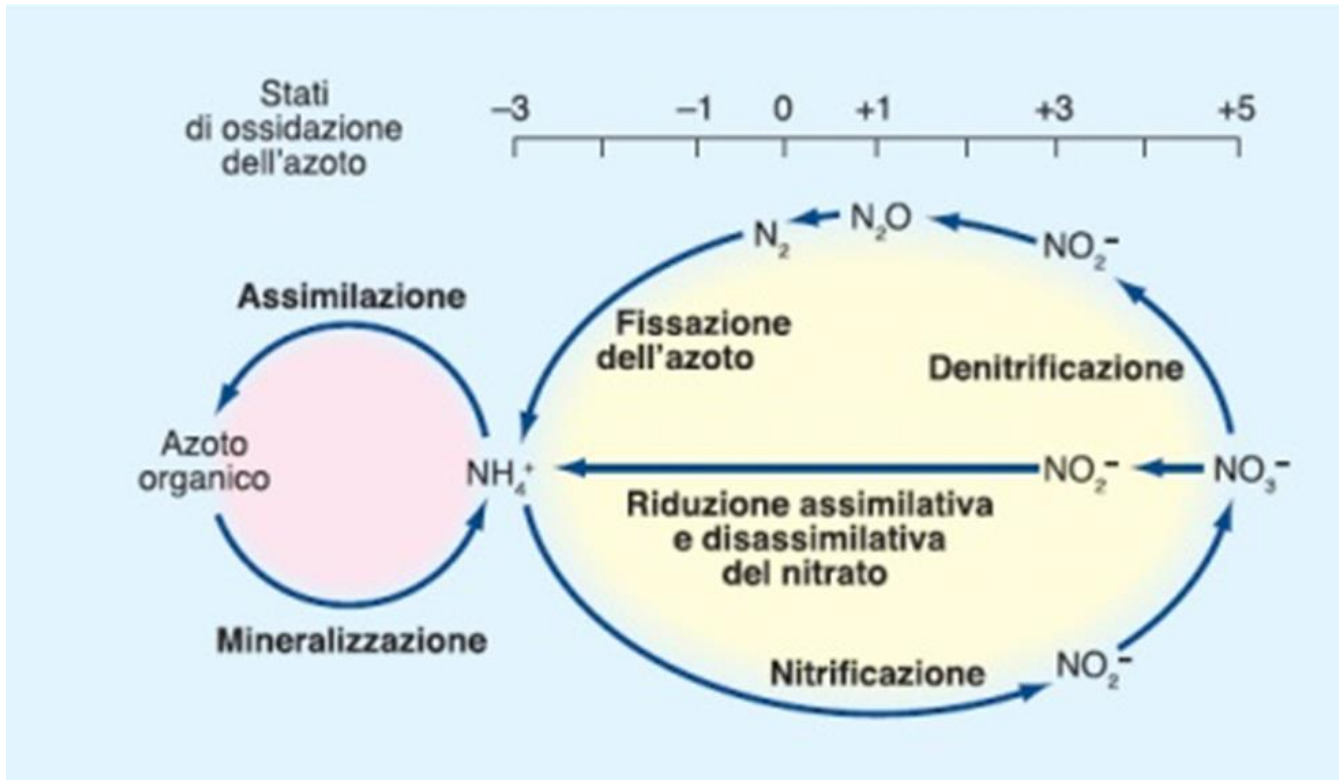
L'assorbimento dei nutrienti nei peli radicali attraverso la via simplastica può essere ottenuto mediante la creazione di un gradiente elettrochimico



© 2011 Pearson Education, Inc.

Fig. 38.10 *Biological Science*, Freeman

Schema semplificato del ciclo dell'azoto



Passaggio dell'azoto attraverso i diversi stati di ossidazione

Forme di azoto e ciclo dell'azoto

NO₃⁻: nitrato
NH₄⁺: ammonio
NH₃: ammoniaca

} presenti nel suolo per fissazione o rilasciato per decomposizione della sostanza organica; forme utilizzabili dalla maggior parte dei viventi

NO₂⁻: nitrito (formato dalla riduzione del nitrato)

N₂: alcune specie sono in grado di fissarlo e usarlo

Ammonificazione o mineralizzazione dell'azoto: la materia organica morta (proteine, aminoacidi, acidi nucleici e nucleotidi) viene decomposta dai batteri saprofiti del suolo e dai funghi che incorporano l'azoto (aminoacidi e proteine) e rilasciano quello in eccesso che si scioglie nell'acqua del suolo e si combina con gli H⁺ per formare lo ione ammonio



Nitrificazione: ossidazione dell'ammoniaca o degli ioni ammonio da parte di batteri comuni nei suoli (*Nitrosomonas*). L'energia sviluppata viene usata dai batteri per ridurre la CO₂ (autotrofi chemiosintetici)



Il nitrito è tossico per le piante

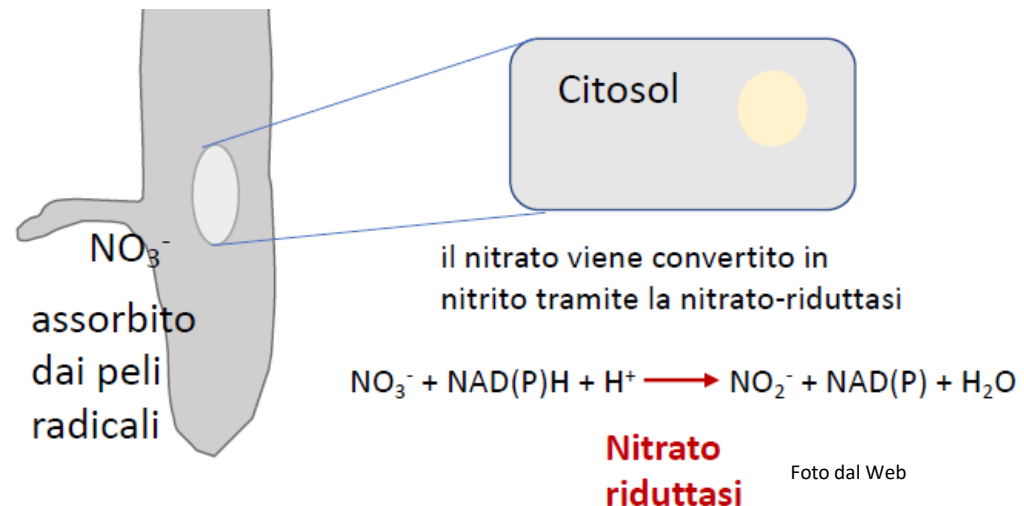
Batteri del genere *Nitrobacter* ossidano il nitrito a **ioni nitrato** (NO₃⁻), forma nella quale l'azoto è assorbito dalla maggior parte delle piante coltivate



NO₃⁻ entra nei peli radicali attraverso cotrasportatori con H⁺

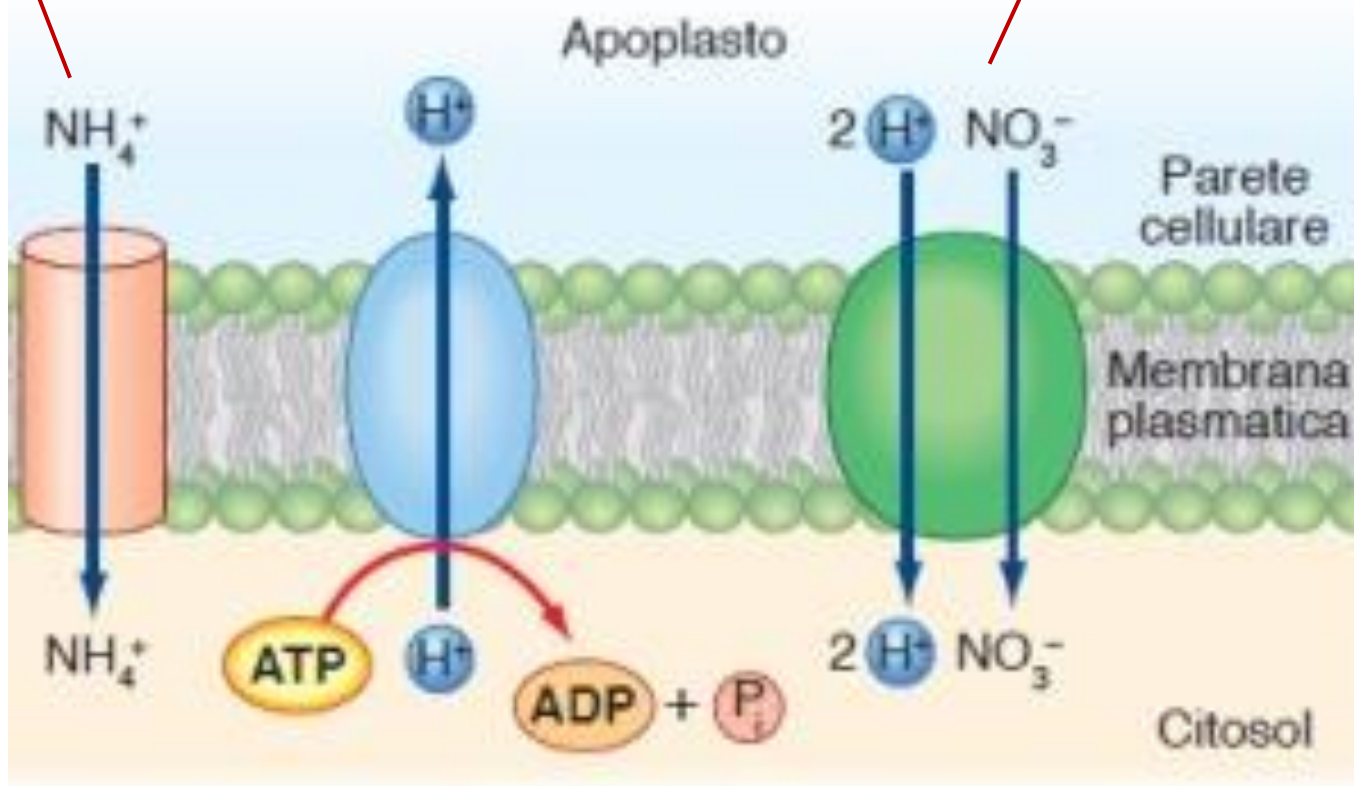
NH₄⁺ entra nei peli radicali attraverso i canali cationici

Il nitrato concentrato e non assimilato può essere tossico per la cellula



Assorbimento passivo
dell'ammonio
attraverso un canale

Assorbimento attivo del nitrato via
carrier in simporto con protoni



Idrolisi dell'ATP

Denitrificazione: processo anaerobio in cui il nitrato è ridotto a forme gassose, quali l'azoto molecolare (N_2) e il protossido di azoto (N_2O), che ritornano nell'atmosfera. Le maggiori perdite di azoto dal sistema suolo-pianta avvengono per denitrificazione



Ricostituzione della riserva di azoto del suolo

Fissazione dell'azoto: l'azoto atmosferico (N_2) è ridotto a NH_4 disponibile per formare aminoacidi e altri composti azotati. La reazione è catalizzata dalla nitrogenasi ed avviene ad opera solo dei batteri AZOTOFISSATORI. E' un processo dal quale dipendono tutti gli organismi viventi

I batteri azotofissatori possono essere classificati in base al tipo di metabolismo trofico:

NON SIMBIONTI: vivono liberi

SIMBIONTI: vivono in associazioni simbiotiche con alcune piante vascolari quali le leguminose (sono i più importanti in termini di quantità di azoto fissato)

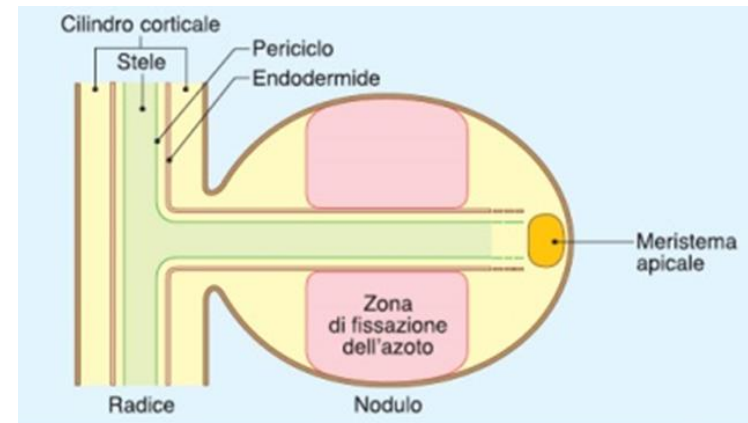
Batteri azotofissatori

I più comuni sono *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, entrambi ospiti delle radici di leguminose (erba medica, trifoglio, pisello, soia, fagiolo), con le quali instaurano un'associazione simbiotica: forniscono alla pianta l'azoto in una forma utilizzabile per la sintesi delle proteine in cambio di energia per la loro attività di fissazione dell'azoto e molecole contenenti carbonio per la produzione dei composti azotati



Radice di leguminosa con noduli prodotti dalla simbiosi

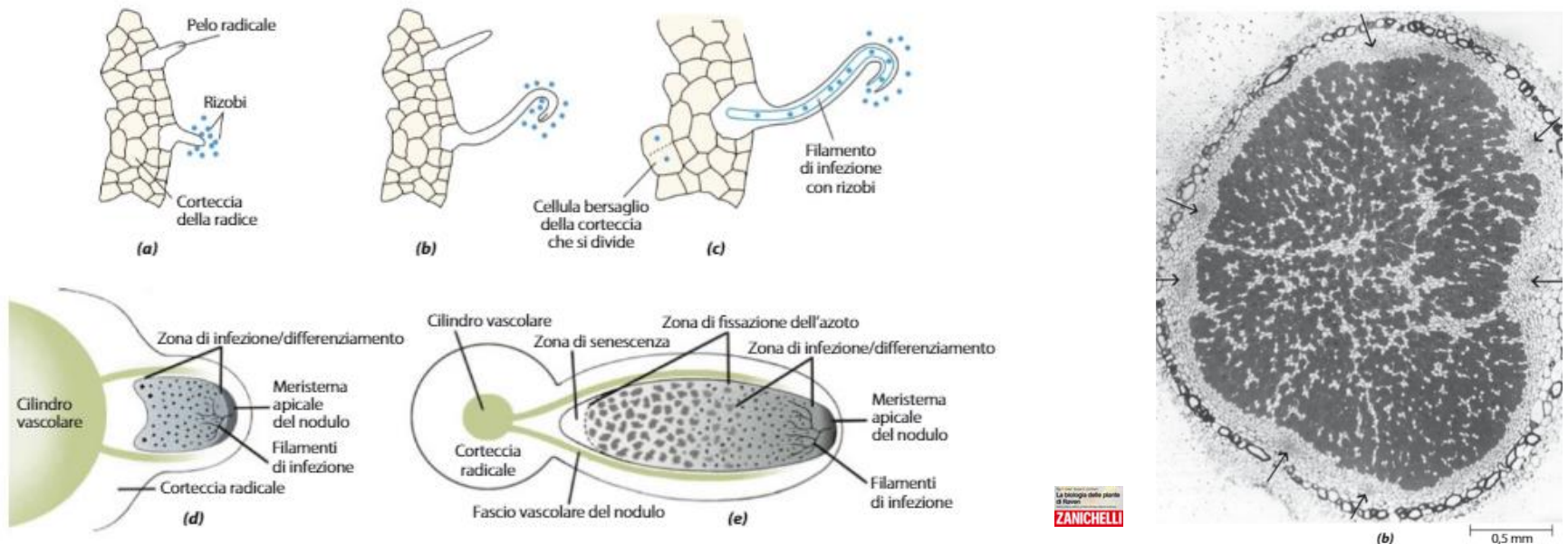
I noduli radicali sono organi speciali che fissano l'azoto e sono prodotti dalla interazione tra la pianta e i batteri fissatori di azoto. I noduli forniscono un ambiente favorevole alla nitrogenasi



Rhizobium, colonizza anche radici di graminacee che non formano noduli (orzo, mais, riso, grano e sorgo) entrando nelle radici laterali (zone di allungamento e differenziamento) e diffondendosi nei fusti e nelle foglie attraverso i vasi xilematici

1. Adesione dei rizobi (qualsiasi batterio capace di indurre la nodulazione) all'apice dei peli radicali in risposta ai flavonoidi rilasciati dagli stessi
2. Induzione dei geni della nodulazione (nod) e sintesi dei "fattori Nod" (batteriche) che attivano l'espressione dei geni della pianta necessari per la formazione del nodulo
3. I peli si incurvano in strutture che intrappolano il batterio: un singolo pelo radicale può essere infettato da più rizobi
4. I rizobi si dividono e sviluppano in batteroidi (rizobi più grandi che fissano l'azoto)

Struttura di un nodulo di leguminosa: corteccia relativamente sottile, che circonda una grande zona centrale con cellule infettate e non. Nella corteccia interna si trovano i fasci vascolari (frecce) che si estendono dal punto di attacco del nodulo verso la radice



La concentrazione di O_2 nelle cellule infettate dai batteri deve essere accuratamente regolata dato che l'ossigeno è un potente inibitore irreversibile della *nitrogenasi*, l'enzima responsabile per la fissazione d'azoto atmosferico

- O_2 {
- Necessario per la respirazione aerobica che deve provvedere alle elevate richieste di ATP dell'enzima nitrogenasi
 - Necessario per altre attività metaboliche sia nei batteri che nelle cellule della pianta



I noduli contengono **leg-emoglobina**, proteina con gruppo eme che lega l'ossigeno

- E' presente in concentrazione elevata nel citosol delle cellule infettate
- Conferisce un colore rosa alla regione centrale del nodulo
- E' prodotta in parte dal batteroide (il gruppo eme) e in parte dalla pianta (la globina)
- Trasportatore l' O_2 facilitando la sua diffusione verso i batteroidi

Esempi di batteri azoto-fissatori che stabiliscono relazioni simbiotiche con le piante

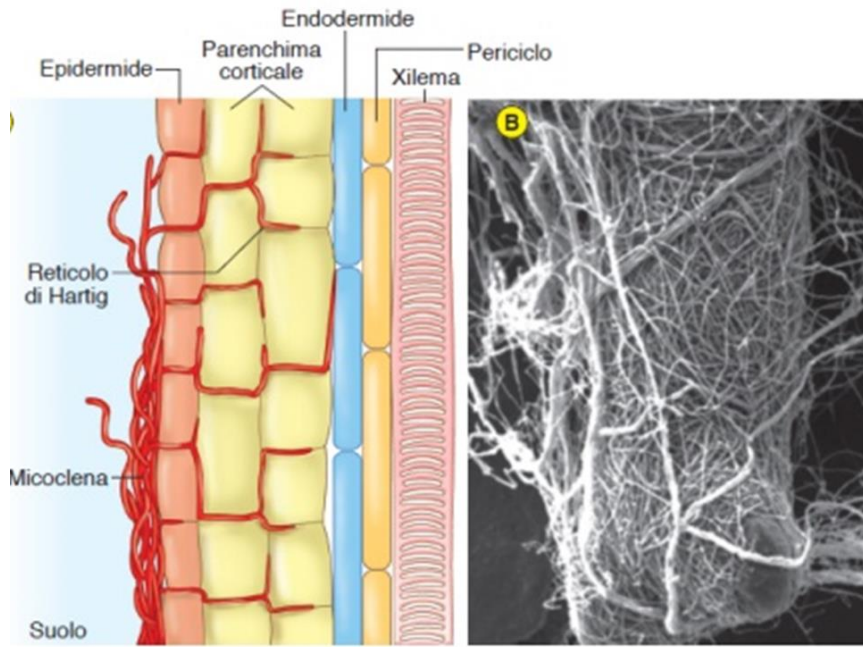
Phylum	Specie simbiotica	Ospite eucariotico	Localizzazione nell'ospite
Cyanobacteria	<i>Nostoc</i> spp. <i>Anabaena</i> sp. <i>Trichodesmium</i> sp. <i>Synechococcus</i> sp. <i>Cyanothece</i> sp. <i>Cyanothece</i> sp.	Briofite (Equiseti) Pteridofite (<i>Azolla</i>) Gimnosperme (<i>Cycas</i>) Angiosperme (<i>Gunnera</i>) Funghi (Cianolicheni) Diatomee (<i>Rhopalodia gibba</i>)	Extracellulare (nel gametofito) Extracellulare (all'interno della foglia) Extracellulare (nelle radici coralloidi) Intracellulare (in cellule ghiandolari del fusto) Extracellulare (nei cefalodi o nel tallo) Intracellulare
Actinobacteria	<i>Frankia</i> sp.	Piante attinorriziche	Noduli radicali
Proteobacteria	<i>Bradyrhizobium</i> sp. <i>Rhizobium</i> sp. <i>Sinorhizobium</i> sp. <i>Azorhizobium</i> <i>Azospirillum</i> sp.	Leguminose Leguminose Leguminose Leguminose Graminacee	Intracellulare (nei noduli radicali) Intracellulare (nei noduli radicali) Intracellulare (nei noduli radicali) Intracellulare (nei noduli radicali) Extracellulare

Micorrize

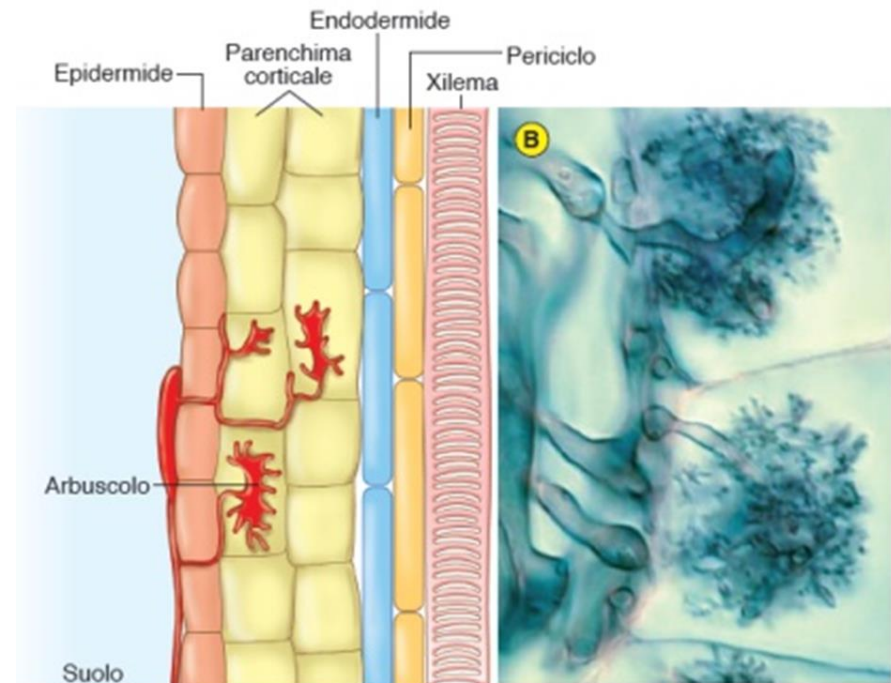
Associazioni simbiotiche tra funghi del terreno e radici non lignificate, conferiscono resistenza alla siccità e alle malattie e facilitano l'assorbimento di sostanze nutritive del terreno. I funghi micorrizici decompongono le proteine della materia organica del suolo e assorbono gli aminoacidi che trasferiscono direttamente alla pianta ospite, senza mineralizzazione ad ammonio e nitrato. Le radici forniscono ai funghi simbiotici zuccheri, proteine e vitamine

Endomicorriza

Ectomicorriza



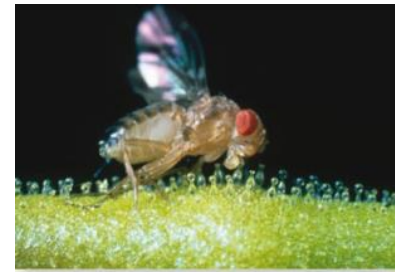
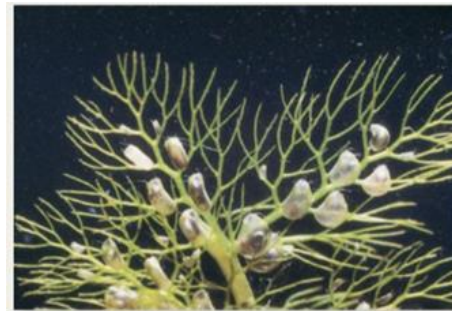
Le ife che si insinuano nell'apoplasto delle cellule corticali della radice (reticolo di Hartig)



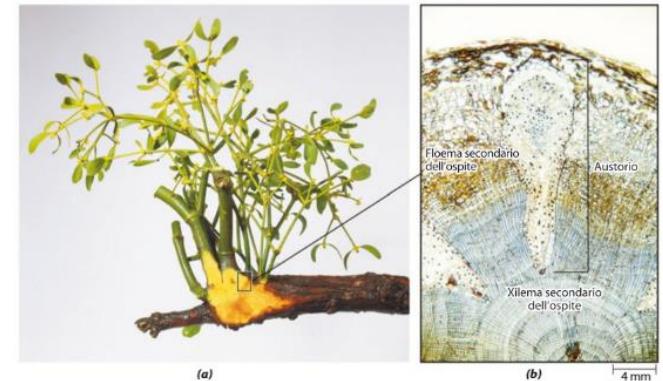
Le ife affondano nelle cellule corticali della radice e formano strutture arbuscolari

Altre strategie per procurarsi l'azoto

Le *piante carnivore* utilizzano proteine animali come fonte di azoto: attirano e catturano insetti e altri piccoli animali, li digeriscono e assorbono composti azotati, sostanze organiche e minerali (potassio, fosfato). Vivono nelle zone con bassi livelli di decomposizione della sostanza organica del suolo (torbiere, molto diffuse nel Nord Europa) e pochi nutrienti, come azoto, a causa dalla carenza di ossigeno



Le *angiosperme parassite*, quali il vischio e alcune epifite parassite, si attaccano alla pianta ospite mediante radici altamente modificate (austori) che passano attraverso il floema e lo xilema dell'ospite



Alcune piante usano più di una strategia per procurarsi l'azoto: micorrize arbuscolari e simbiosi azotofissatrici

Assimilazione dell'azoto inorganico (nitrati e ammonio) in composti organici è uno dei più importanti processi nella biosfera

La principale fonte di azoto disponibile per le piante coltivate in campo è il *nitrato*, che viene ridotto ad ammonio rapidamente incorporato nei composti organici attraverso la glutammina sintetasi-glutammati sintasi



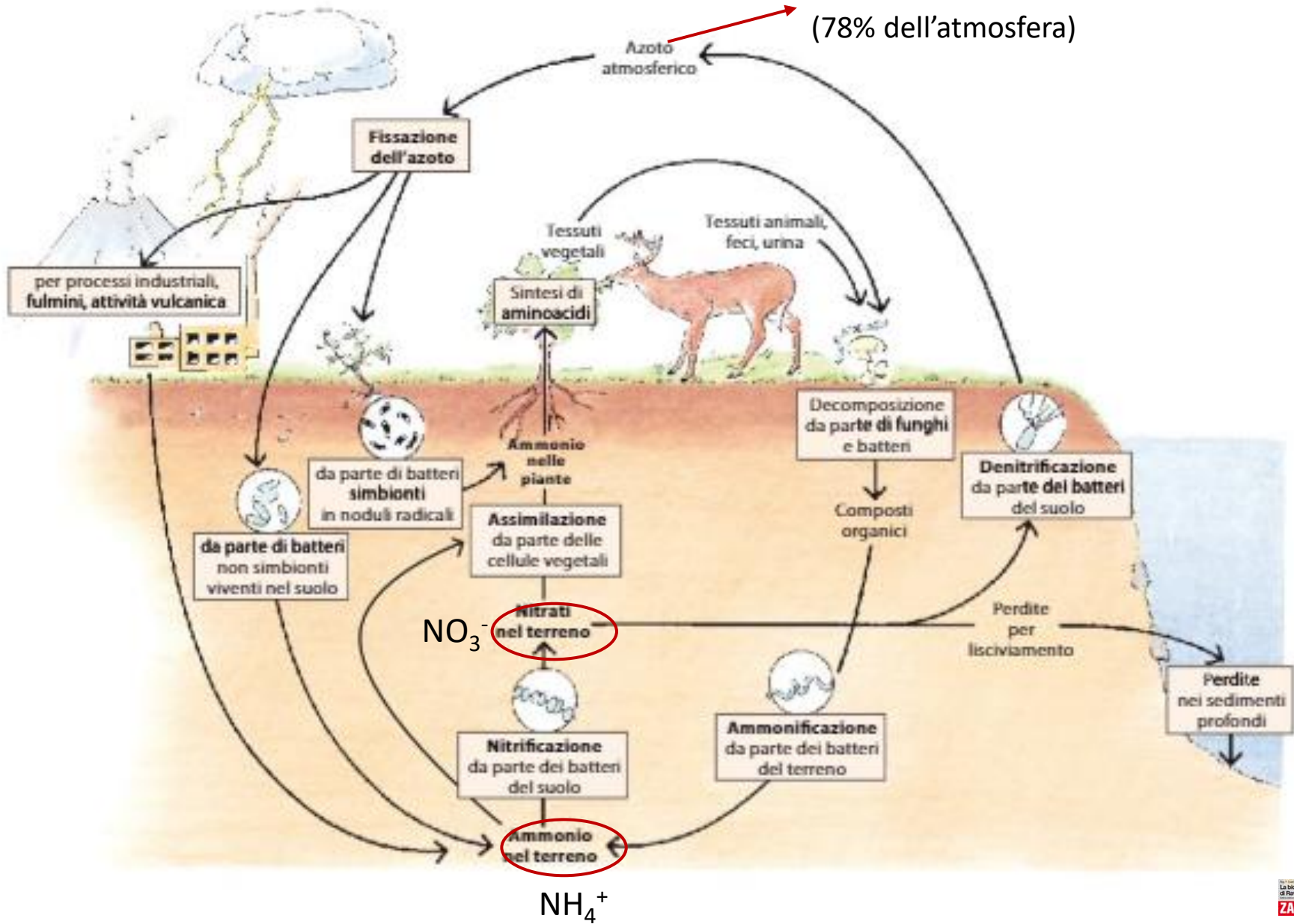
Avviene nel citosol e nei cloroplasti delle foglie, in stretta associazione con la fotosintesi, ma se la quantità di nitrato fornita alle radici è bassa, avviene principalmente nei plastidi della radice dove la ferredossina è sostituita da NADH oppure da NADPH

L'azoto organico derivante dal nitrato metabolizzato dalle radici è trasportato nello xilema principalmente in forma di aminoacidi

Il ciclo dell'AZOTO

ammonificazione, nitrificazione, assimilazione

N₂ non assimilabile
(78% dell'atmosfera)



Ciclo del fosforo

Elemento che maggiormente può limitare la crescita delle piante; presente in basse concentrazioni, non è distribuito in modo uniforme ed è quasi immobile nel terreno

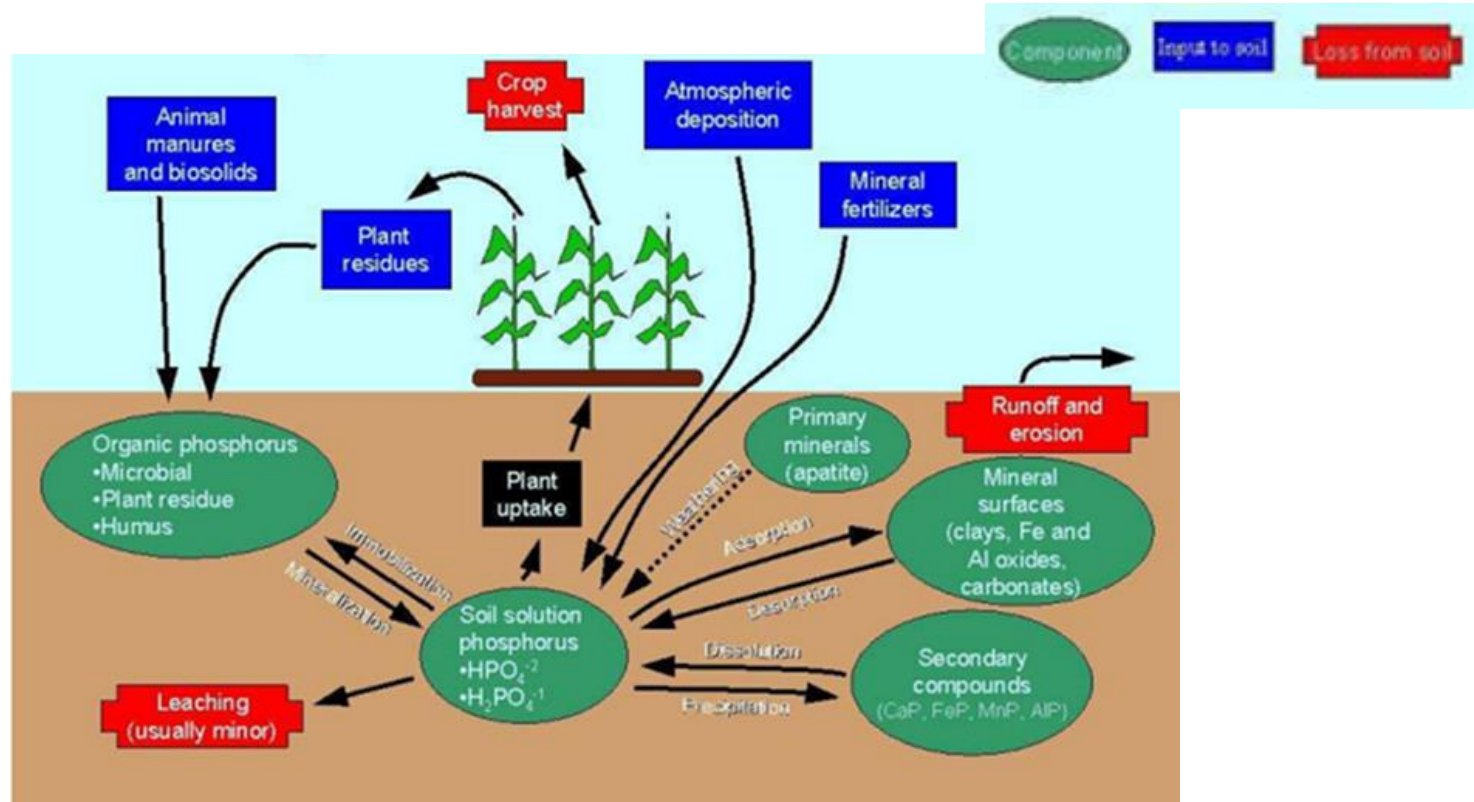
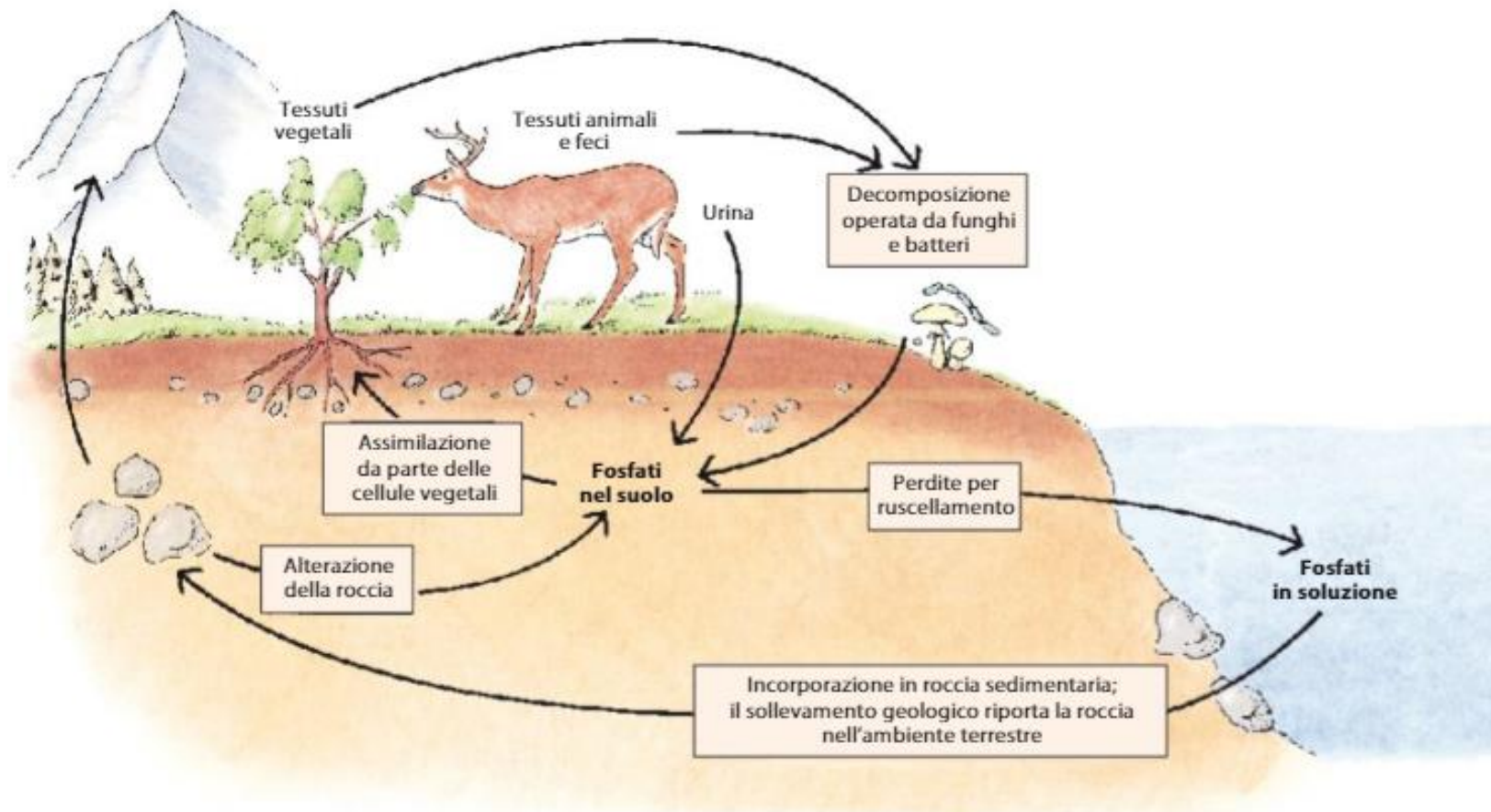


Foto dal Web

Il *fosforo inorganico* (75%), derivato dall'alterazione delle rocce e dei minerali, legato all'humus e alle particelle del suolo viene assorbito dalle piante. Il fosforo è restituito al suolo in *forma organica* (25%) dai tessuti morti (detriti), grazie all'azione dei microrganismi decompositori che lo rendono nuovamente disponibile per le piante

La riserva di fosforo è contenuta nella crosta terrestre

Perdita di fosforo: lisciviazione ed erosione (compensata dall'alterazione delle rocce) e *sedimentazione* negli oceani, depositato come precipitato e nei resti degli organismi



Le piante adottano strategie per assimilare il fosforo: produzione di molte radici laterali, di peli radicali, radici raggruppate, micorrize (arbuscolari)