

A photograph of several white mushrooms with gills growing on a tree stump in a forest. The scene is backlit by sunlight, creating a warm, golden glow and a bokeh effect in the background. The word "MICORRIZE" is written in a black, hand-drawn font across the center of the image, overlaid on a semi-transparent white rectangular background.

MICORRIZE

- **MICORRIZA:** forma di BIOTROFISMO altamente evoluta, ed importantissima per la vita di piante, interi ecosistemi e biomi;
- **Simbiosi mutualistica e specializzata tra un fungo ed una pianta attraverso le sue radici.**



ectomicorriza (*Amanita* sp.)



Leccinium aurantiacum, fungo micorrizico di alberi caducifogli in Europa (*Populus*, *Quercus*, *Betula*, *Fagus*)

Quasi tutte le specie arboree sono micorrizate.... raccogliendo funghi si guarda spesso che alberi ci sono nei dintorni.....



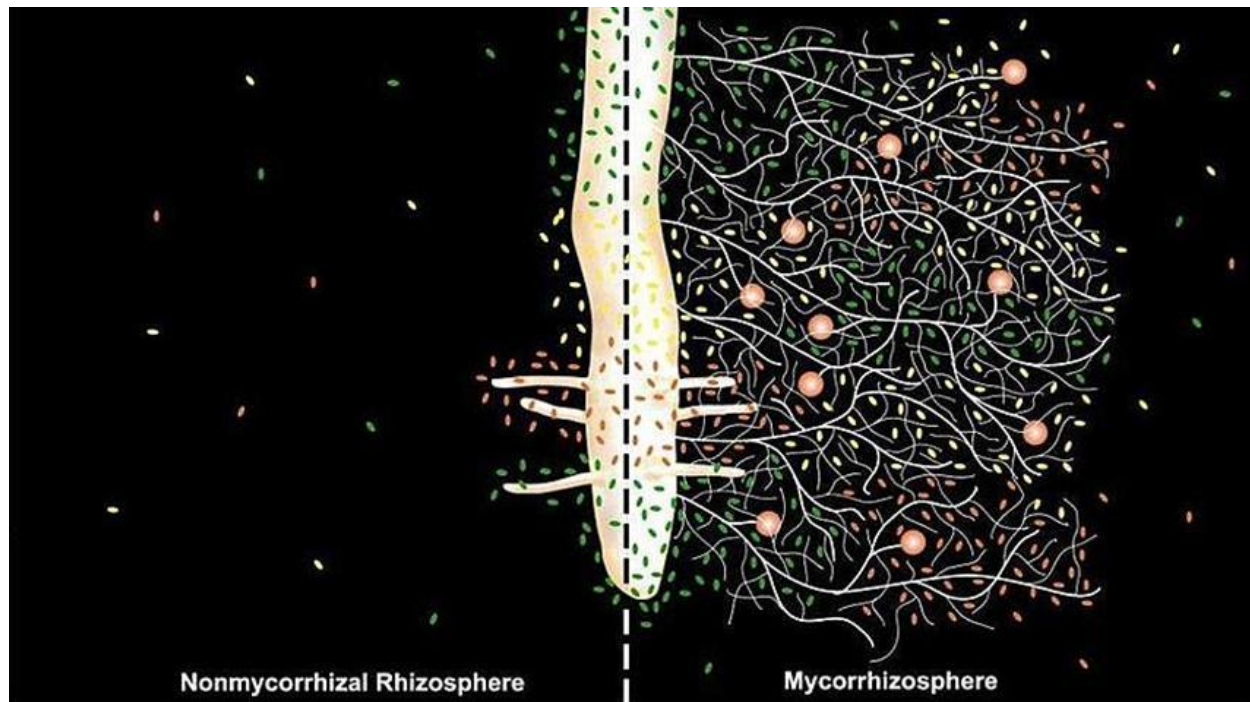
1 pianta $\leftarrow \rightarrow$ diverse specie di fungo
diverso grado di selettività da parte dei funghi nei confronti
delle piante ospiti \rightarrow funghi estremamente selettivi ed altri
«generalisti», qualsiasi pianta va bene ...

!!! Brassicaceae/Cruciferae (cavoli; gen. *Brassica*) rifiutano la micorrizzazione.

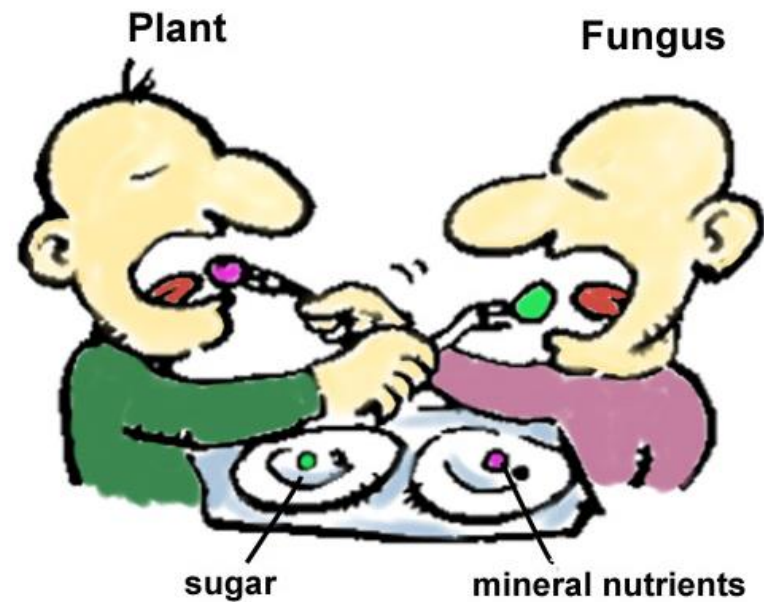


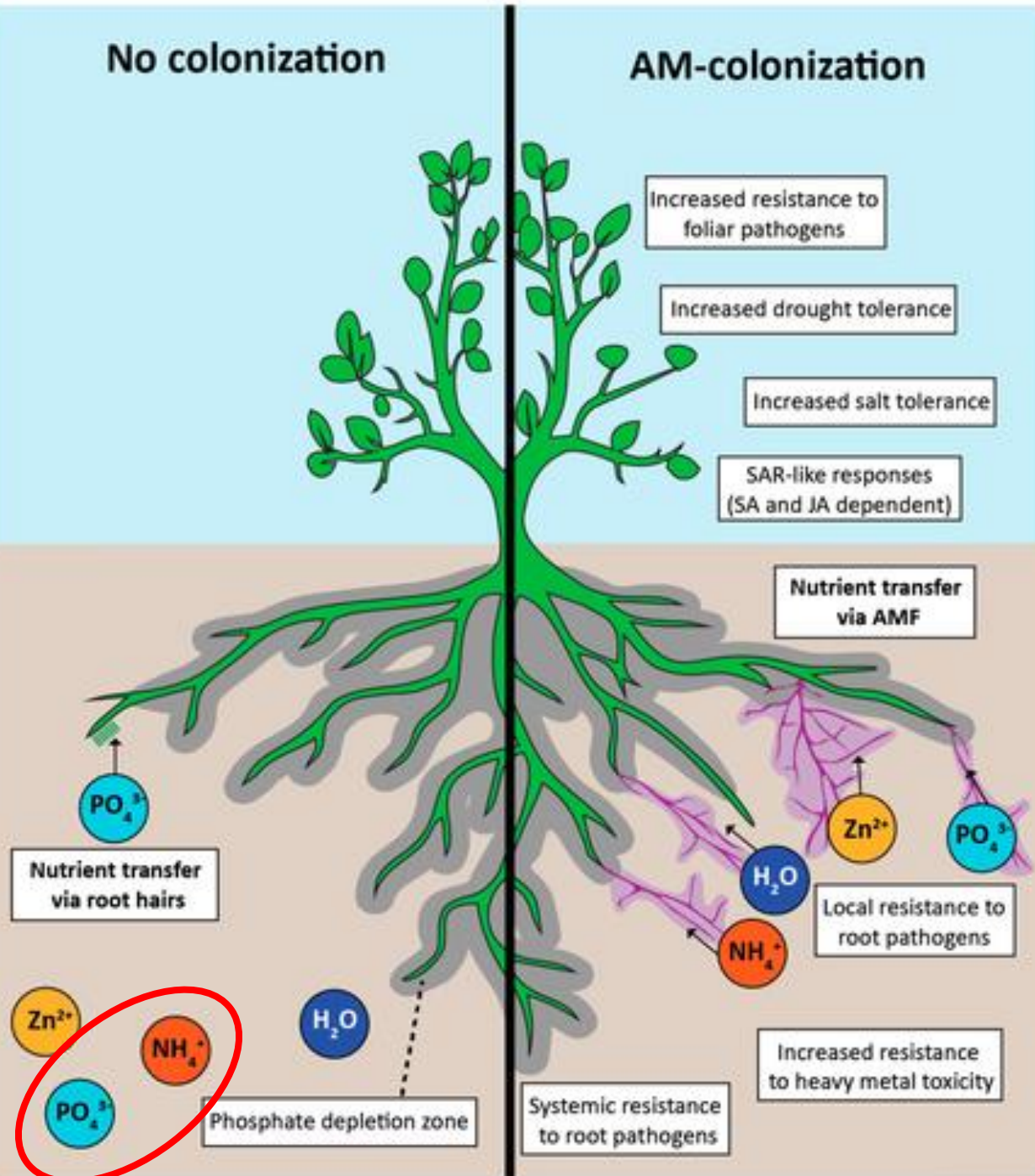
WITHOUT

WITH



- La **pianta** ospite fornisce gli zuccheri.
- Il **fungo** fornisce acqua ed elementi nutritivi.





Sostenere la simbiosi ha un costo: 1/10 della produzione fotosintetica della pianta per ettaro viene usata dal partner fungino.

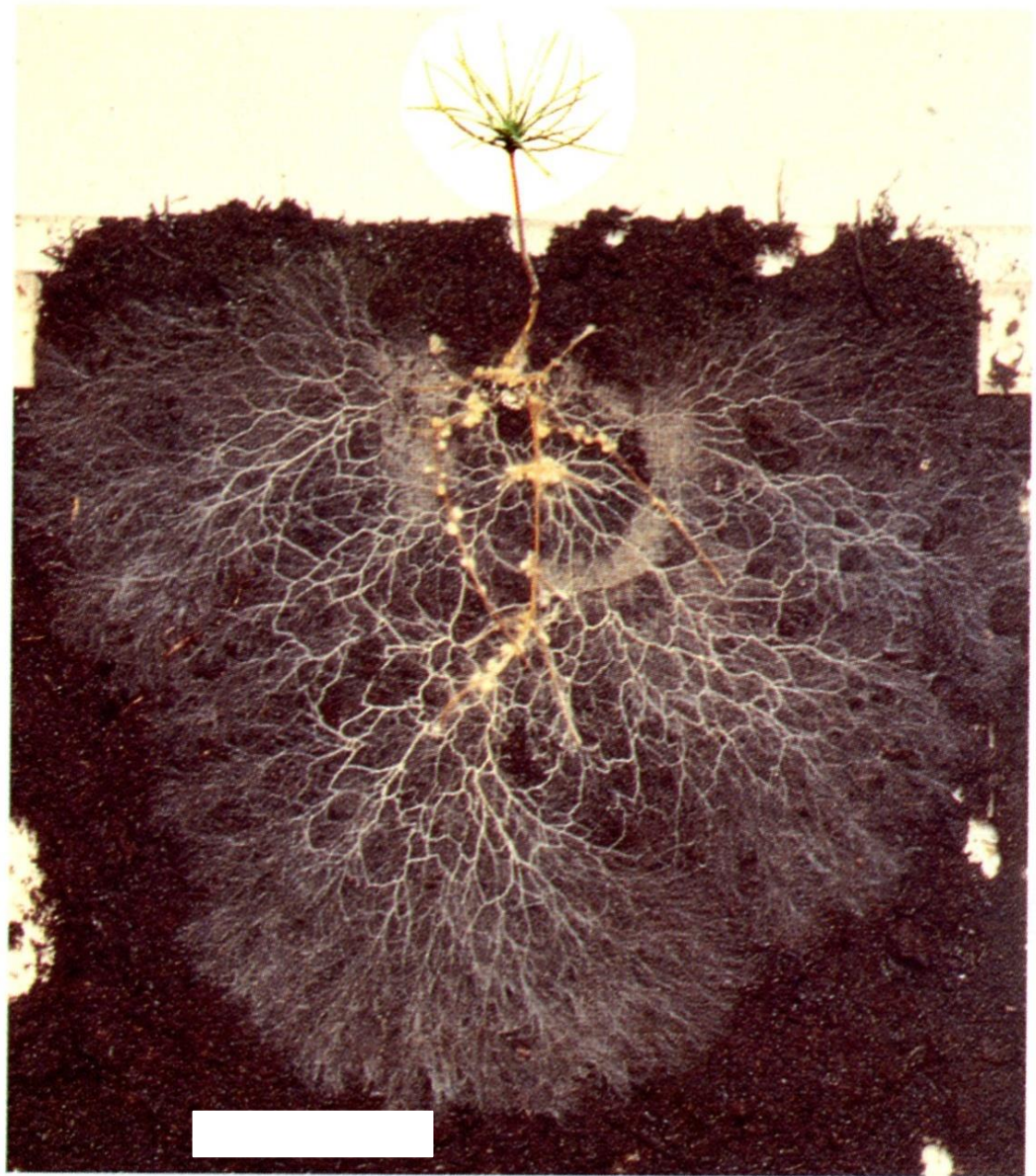
Le radici micorrizzate rappresentano il 50% della biomassa radicale che si decompone.



La mortalità delle radichette fini (<5 mm) riporta al suolo l'azoto immobilizzato dalle piante



43% azoto totale nel suolo; Trasferimento di azoto 5 volte superiore rispetto a quello dovuto alla decomposizione della lettiera



Ectomicorrize. Una sezione effettuata lungo una estesa ectomicorriza di una plantula di *Pinus contorta*. La plantula si estende per circa 4 cm al di sotto della superficie del suolo.

Specie fungine coinvolte nella simbiosi micorrizica

Appartengono a tutte le maggiori divisioni

Alcune specie di funghi mitosporici

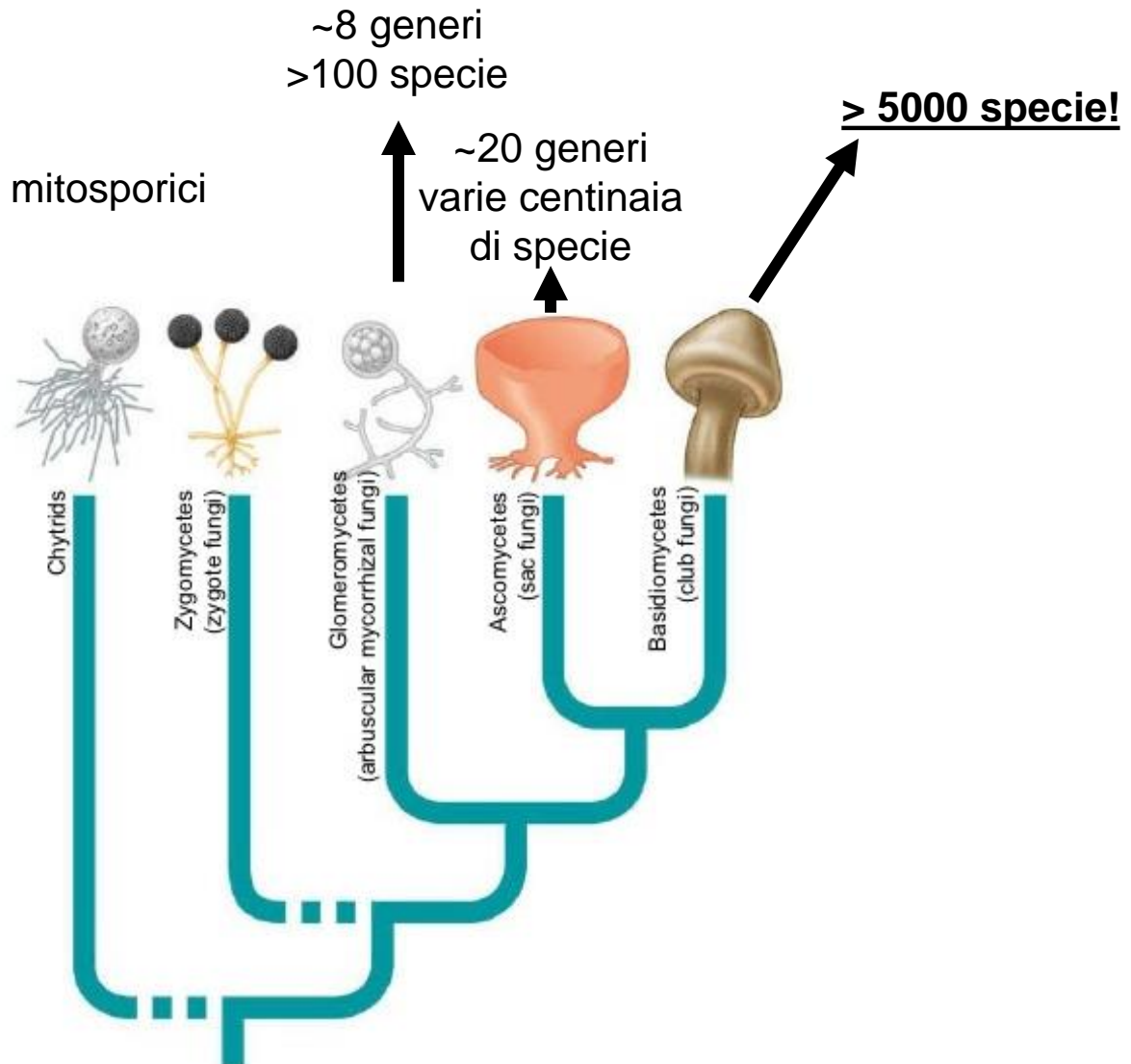


Figure 17.17A

Tipi di micorriza:

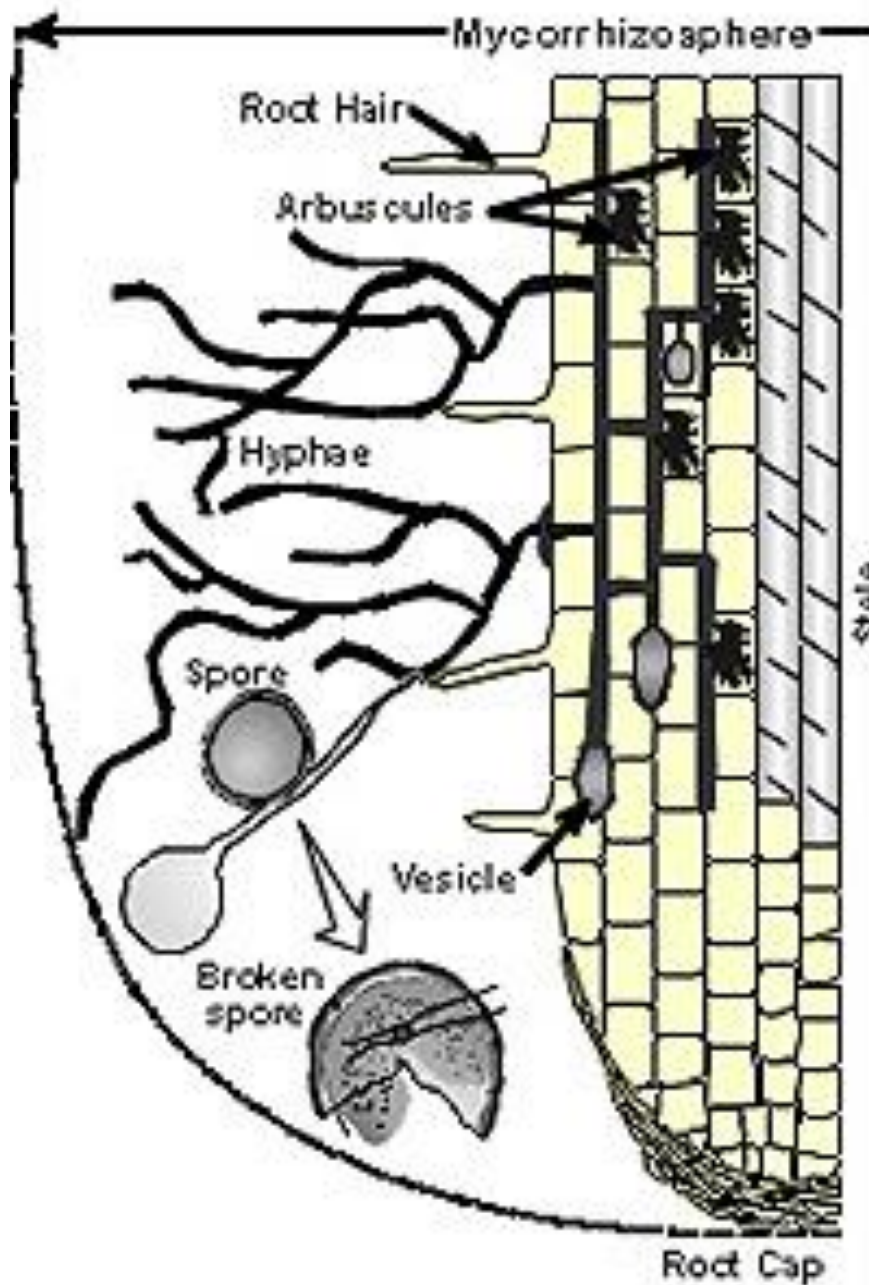
- **Ectomicorrize**
- **Endomicorize** delle Ericales
- Ectoendomicorrize delle Ericales
- Endomicorrize delle orchidee
- Ectoendomicorrize delle Pinaceae
- Endomicorrize arbuscolari (AMF)



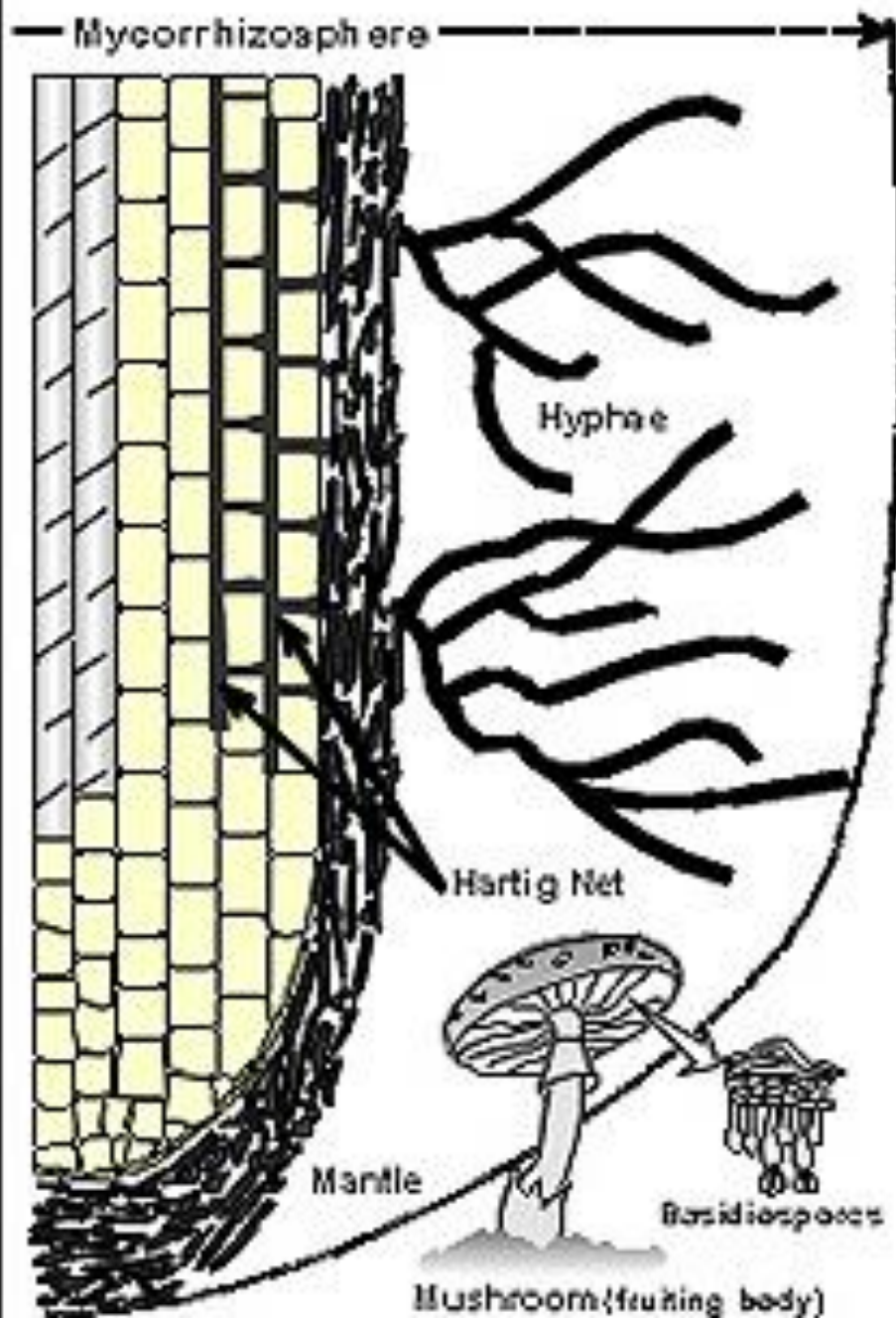
Diversa entità della penetrazione del micelio fungino all'interno delle radici. Il fungo non penetra mai a livello dei tessuti di conduzione.



ARBUSCULAR ENDOMYCORRHIZA



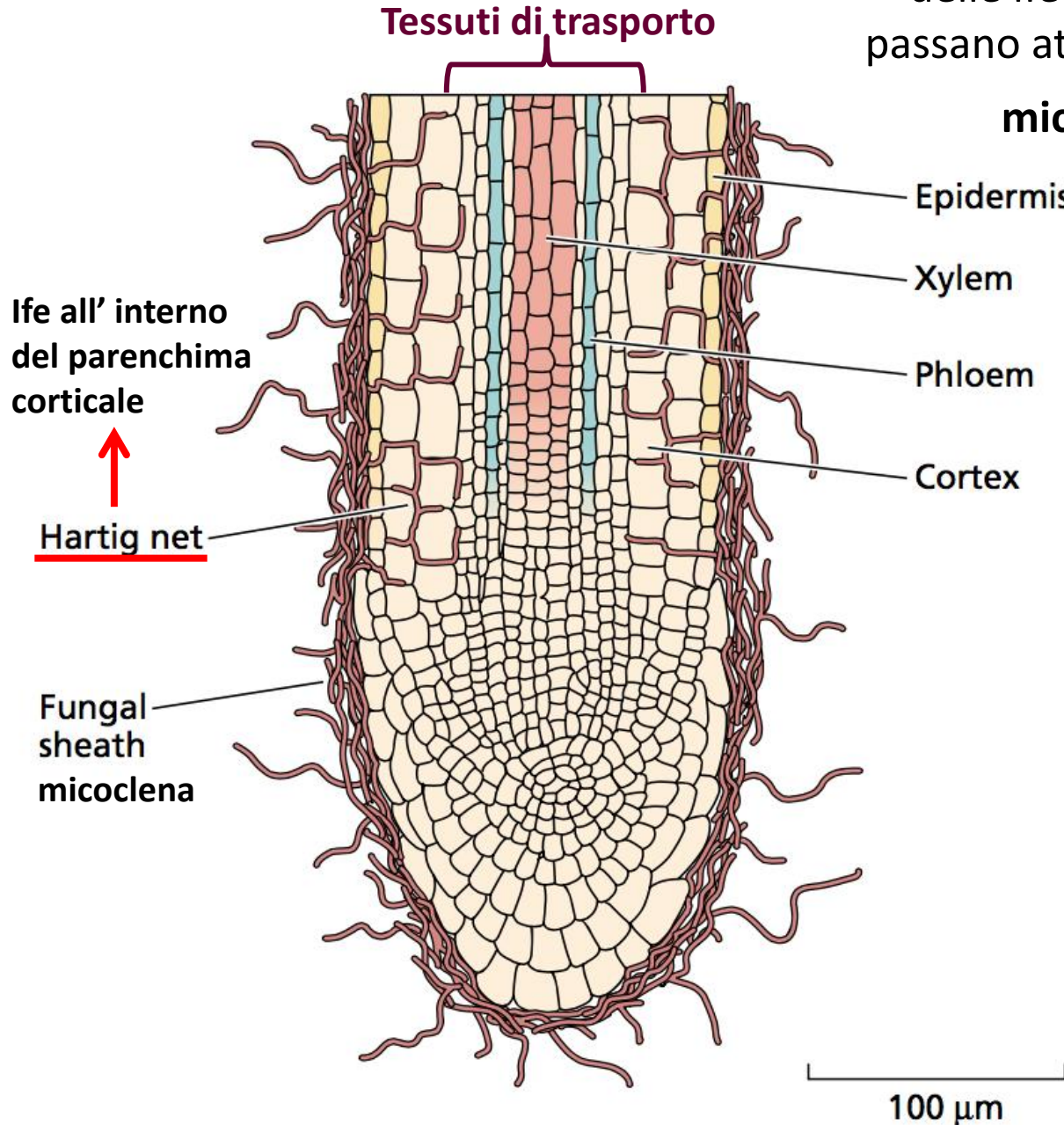
ECTOMYCORRHIZA

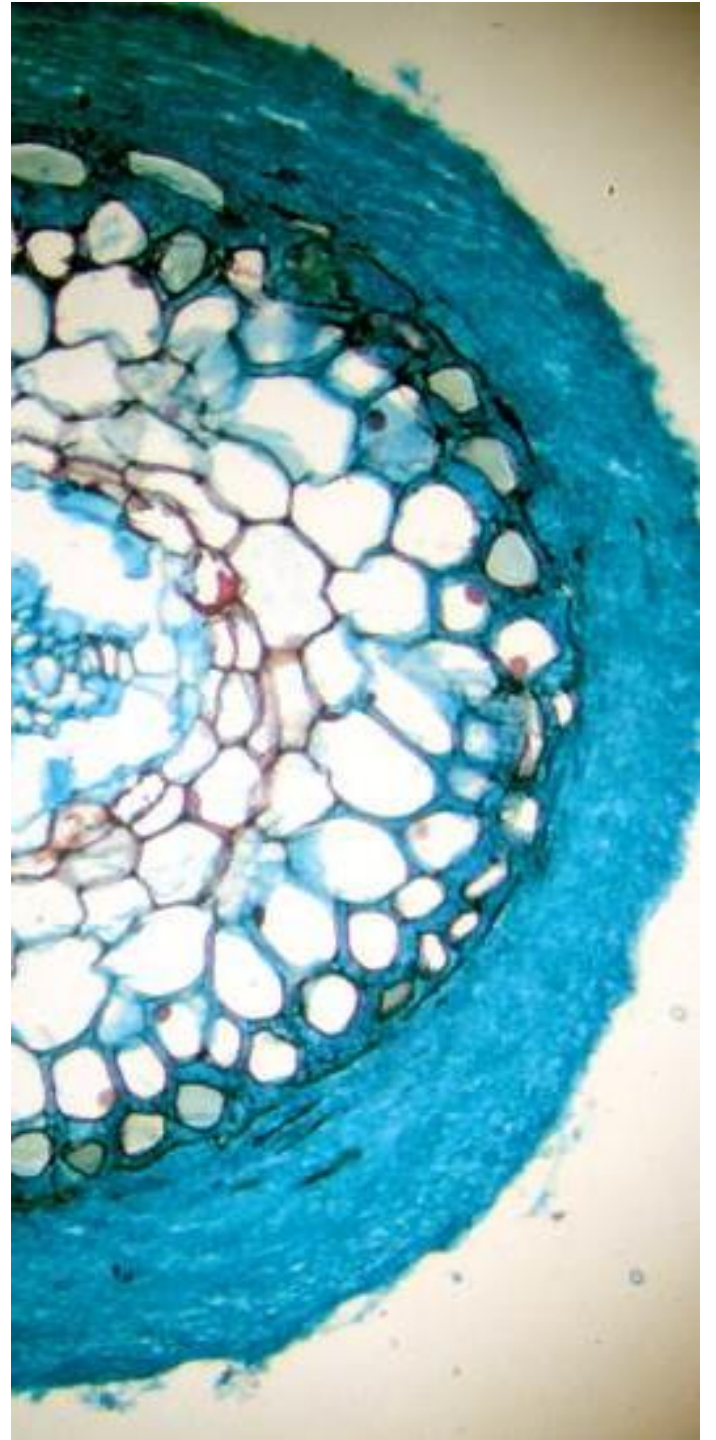
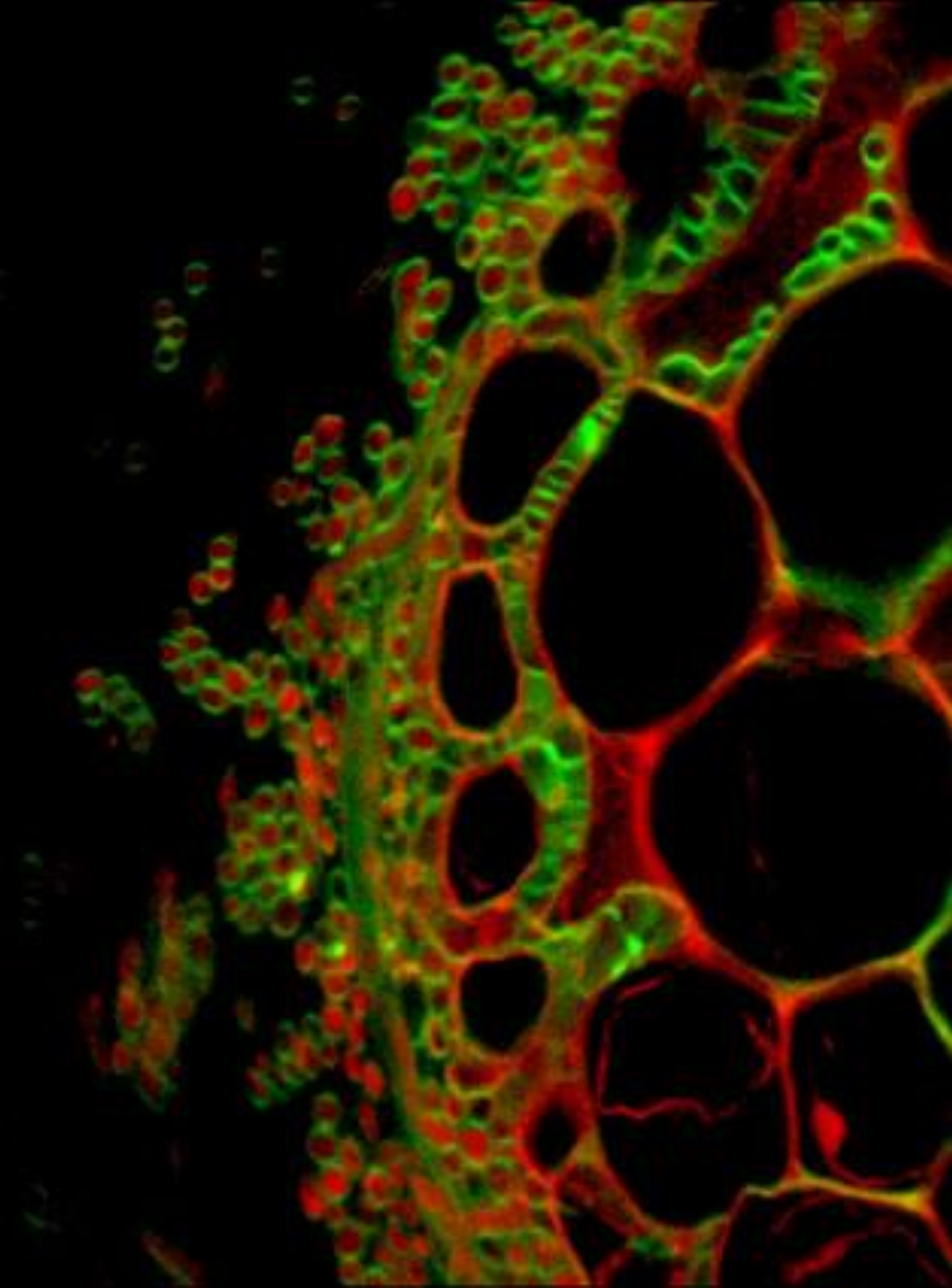


ECTOMICORRIZA

Interfaccia fungo-pianta: pareti cellulari delle ife e delle cellule vegetali, le ife passano attraverso la lamella mediana.

micoclona: mantello fungino che riveste ed è in contatto con l'epidermide della radice.







Ectoendomicorrize delle Pinaceae



Pinus sp.

Picea sp. (Abeti)

Larix sp. (Larici)

Il fungo si avvolge attorno alle radici più sottili del pino → caratteristica copertura ramificata e pallida.

di micorrizia con funghi.

SOTTO IL TERRENO ▷

In un rapporto di micorrizia il fungo forma una specie di mantello attorno alle radici più sottili dell'albero e un intreccio di ife all'interno e tra le cellule più esterne delle radici stesse. Gli elementi nutritivi vengono scambiati mediante complessi meccanismi chimici.



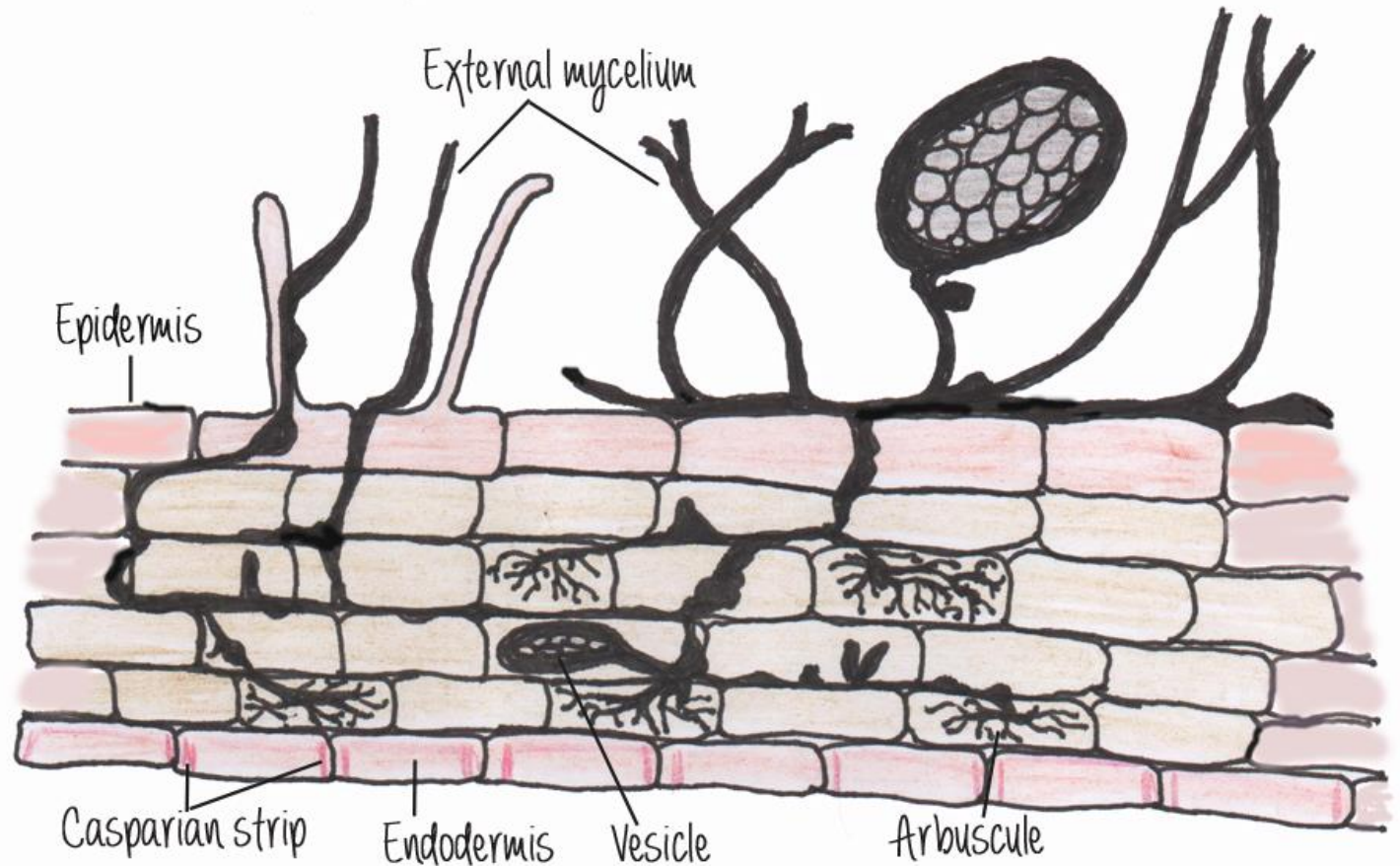
radici
di pino

una copertura
ramificata
e pallida
caratterizza
le micorrize
del pino



ENDOMICORRIZA

- in Ericales: semplici gomitoli nelle cellule della rizodermide; fungo app. Ascomycota (Pezoloma sp.)
- in orchidee: gomitoli con ife di grosso diametro nelle cellule corticali delle radici;
- nelle altre piante: strutture molto diversificate, e.g. ife inter- e intracellulari, gomitoli, vescicole e arbuscoli.



Endo- e Ectoendomicorize delle Ericales

- Piante con adattamenti xerofitici;
- in brughiere alpine;
- grandi quantità di fenoli e lipidi;
- produzione di acidi durante la decomposizione → basso pH

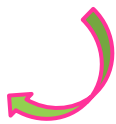


Rhododendrum ferrugineum

- Acidi= tossine per altre piante e funghi → bassa diversità di specie
- Apparato radicale: radichette molto sottili 30-100 μ m

arbutoidi

Solo in *Arbutus*



ericoidi

Empetrum hermaphroditum





Leuseleria procumbens

Saccarosio (pianta) →
glucosio (invertasi nel
fungo).

Fungo: conferisce resistenza
a ioni Al^{3+} e Fe^{2+}

Ericoidi: penetrazione
intracellulare da parte di
Hymenoscyphus ericae
(Ascomycota)

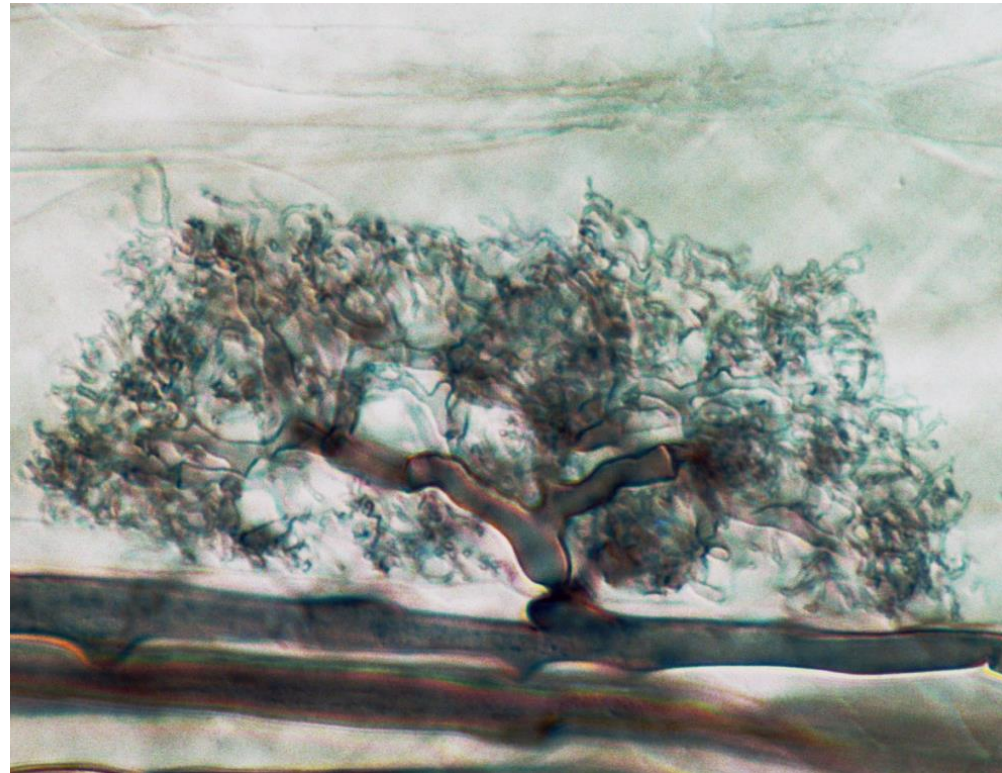
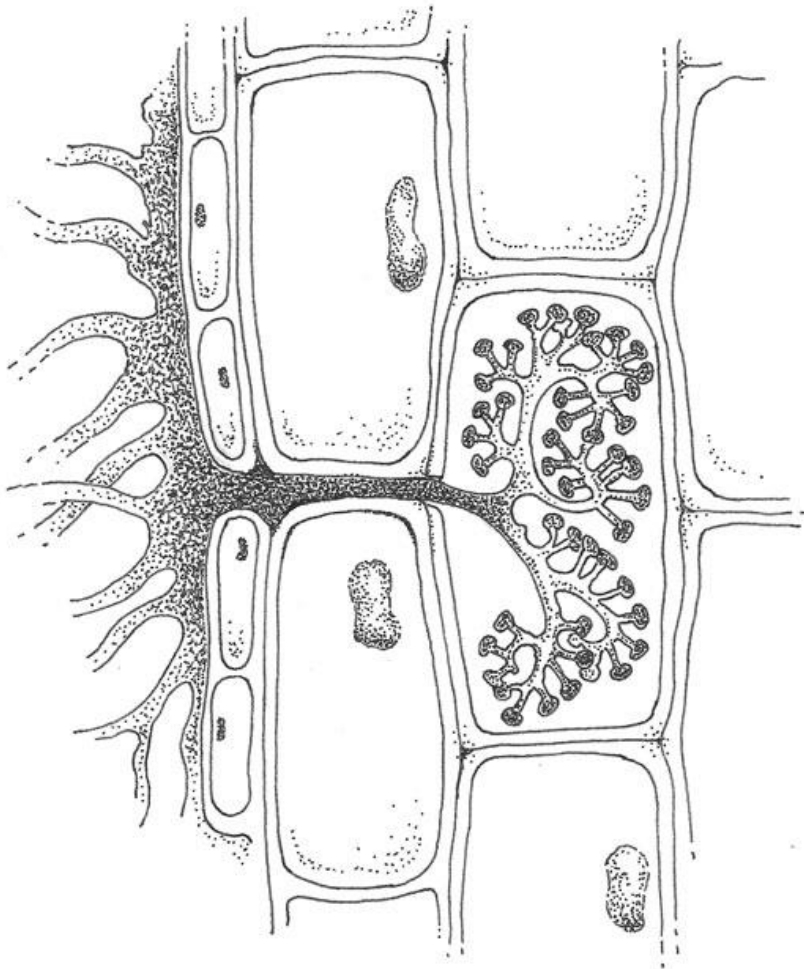
Il fungo non si ramifica, ma
forma un gomitolo



Vaccinium vitis-idea, V. myrtillus

Arbuscolo:

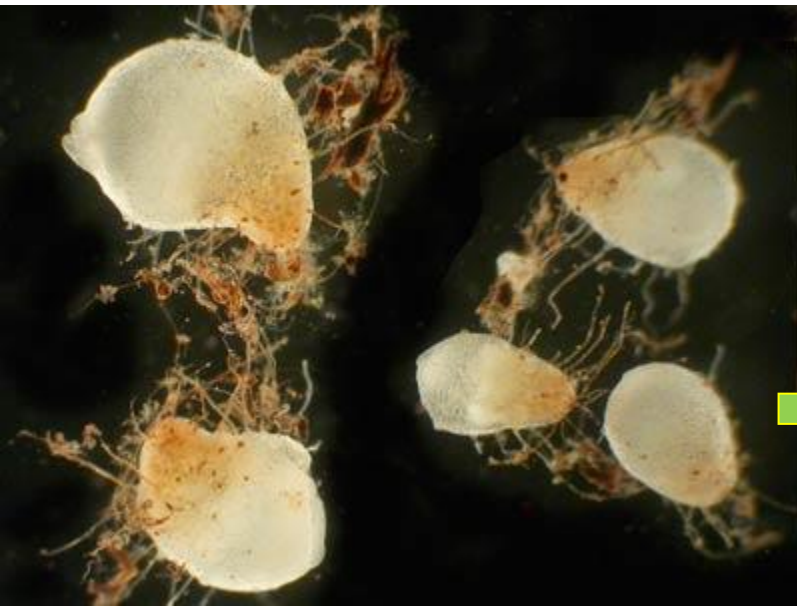
- struttura dendritica dei funghi arbuscolari (= arbuscular mycorrhizal fungi, **AMF**)
- le ife si suddividono in ramificazioni sempre più sottili che inducono l'invaginazione del plasmalemma.





Cypripedium calceolus

- Capsula (frutto) con migliaia di semi → embrioni con pochissime sostanze di riserva ↔ infezione fungina fondamentale!
- Il fungo penetra nell'embrione e ne stimola lo sviluppo, l'area infettata dal fungo si riduce → il fungo rimane solo nel protocormo.
- Le radici vengono infettate da un secondo fungo proveniente dal substrato circostante.

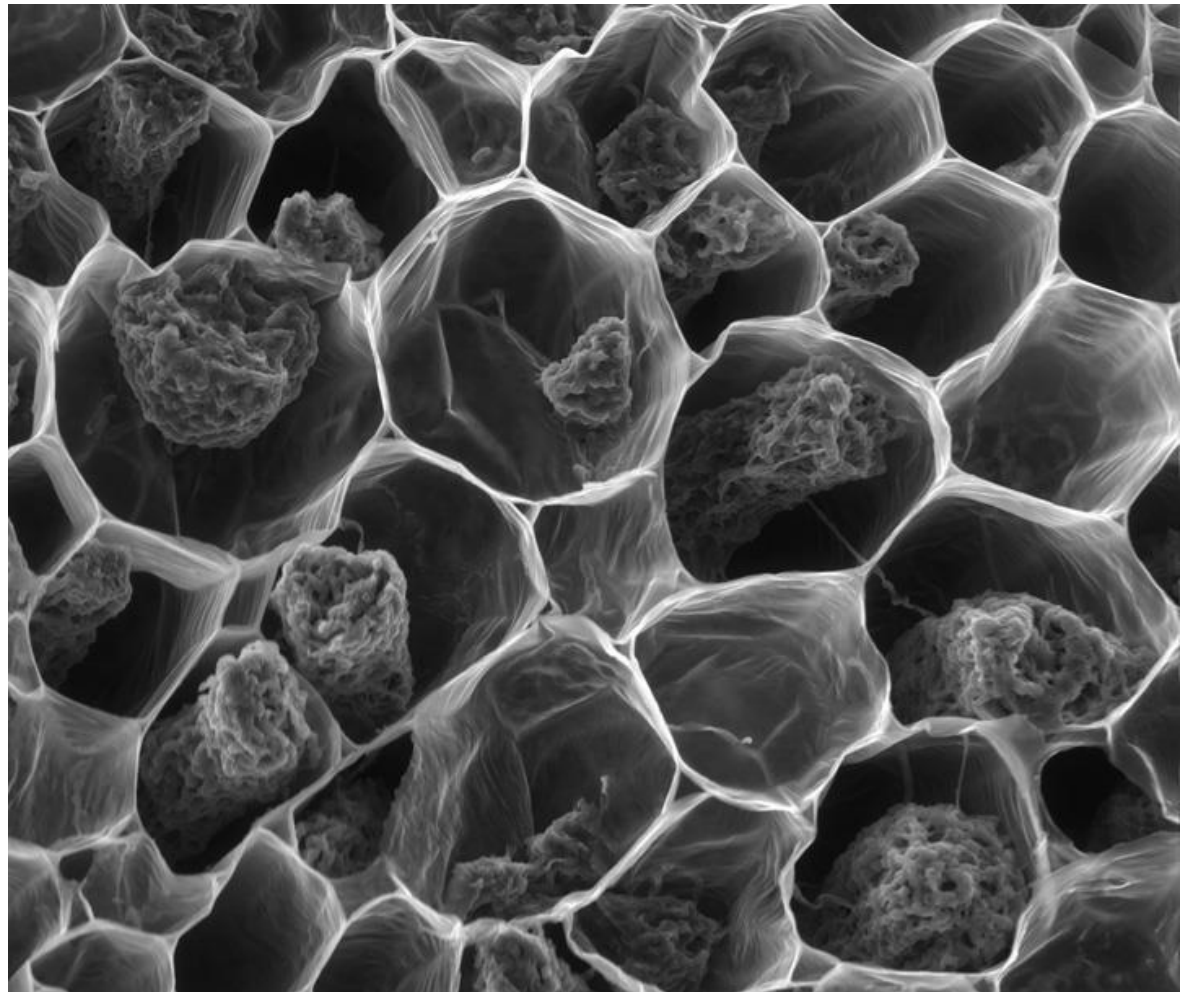


Basidiomycetes, Tremellales
(*Ceratobasidium*, *Russula*, *Sebacina*,
Tulasnella)



Neottia (Listera) ovata

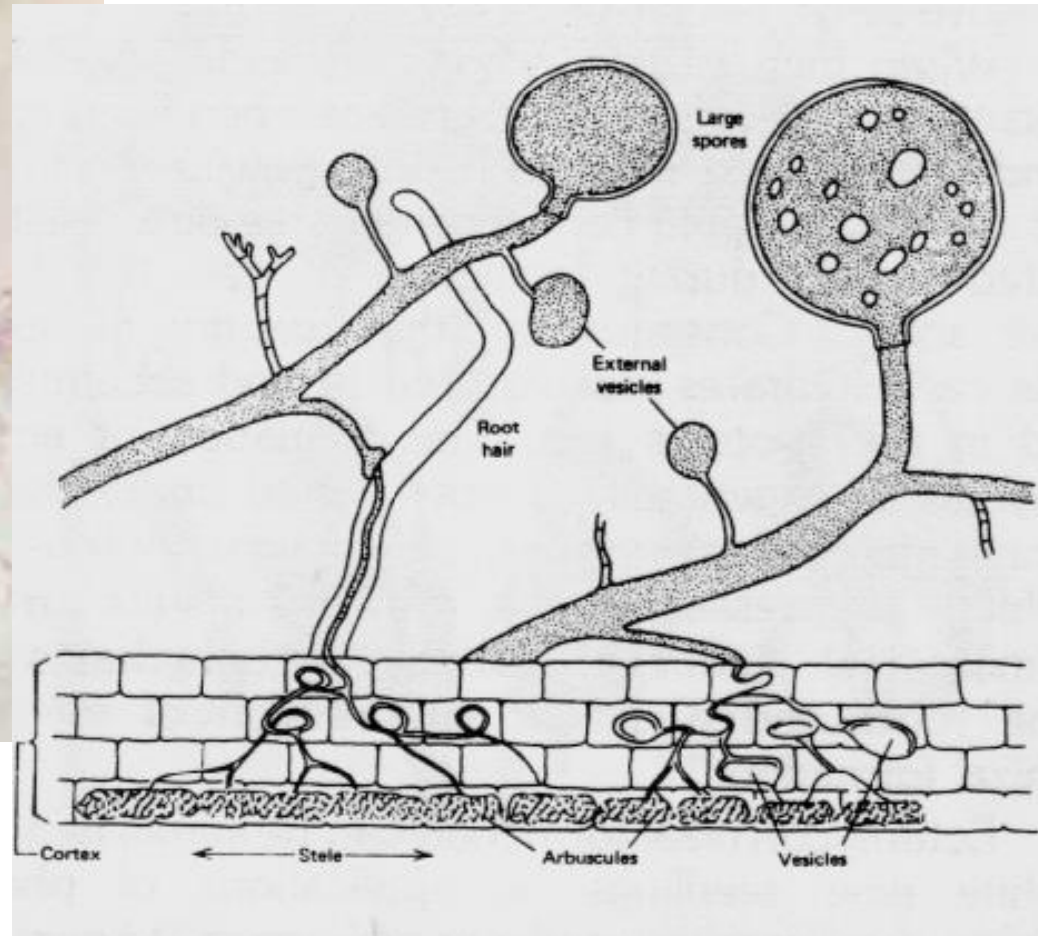
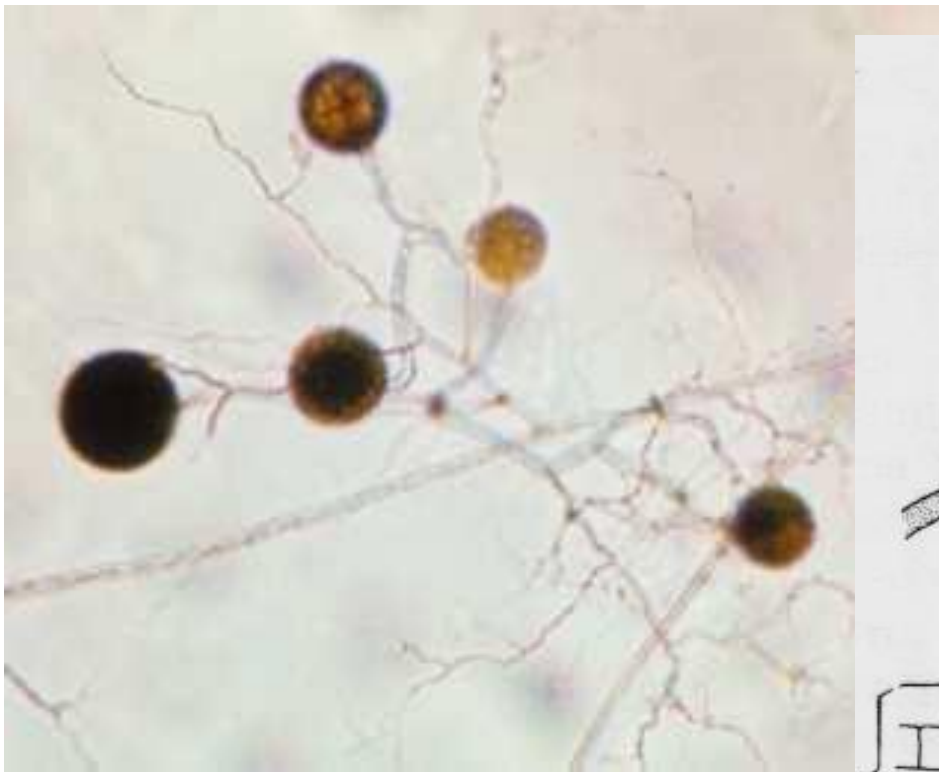
Cellule degli strati corticali penetrate dal fungo che forma densi arbuscoli (cellule attive e cellule svuotate prive di citoplasma)

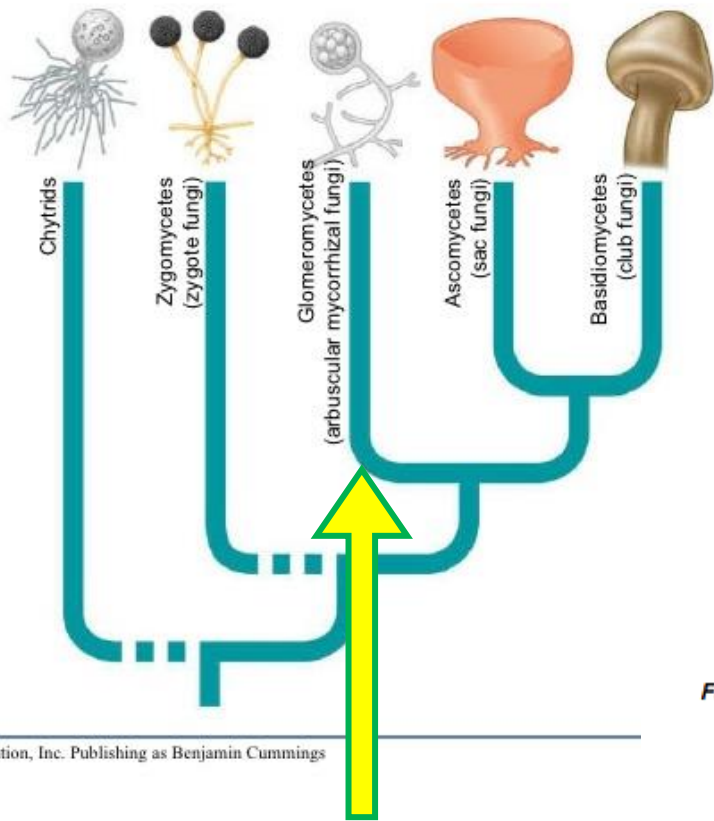


Orchinolo ed ircinolo:
principi tossici che
impediscono lo sviluppo
del fungo micorrizico
nelle orchidee
tuberizzate

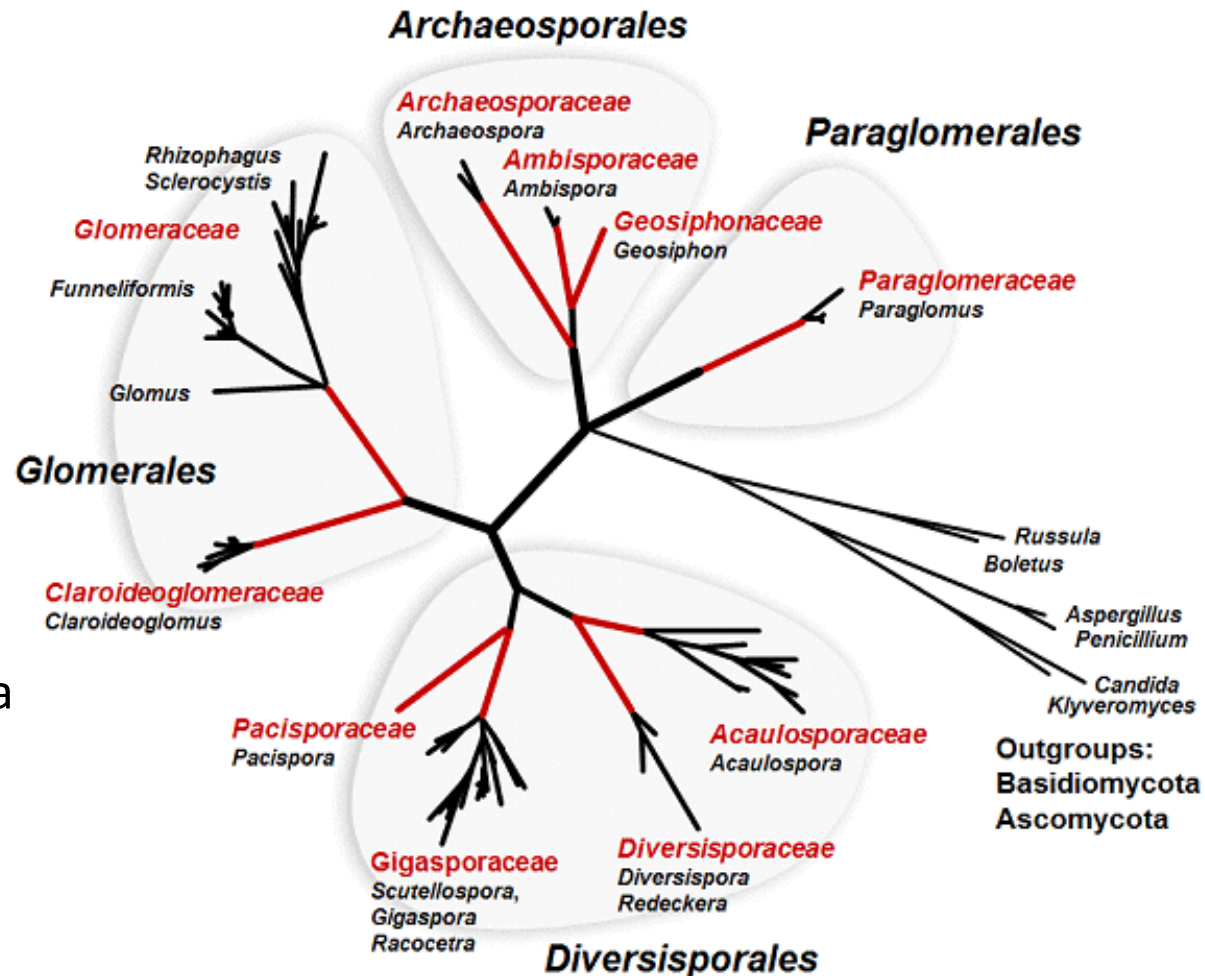
GLOMEROMICETI

Le **ENDOMICORRIZE s.lat.** coinvolgono circa l'80% delle piante vascolari e sono dovute a poco più di **220 specie di funghi molto primitivi, i GLOMEROMICETI**

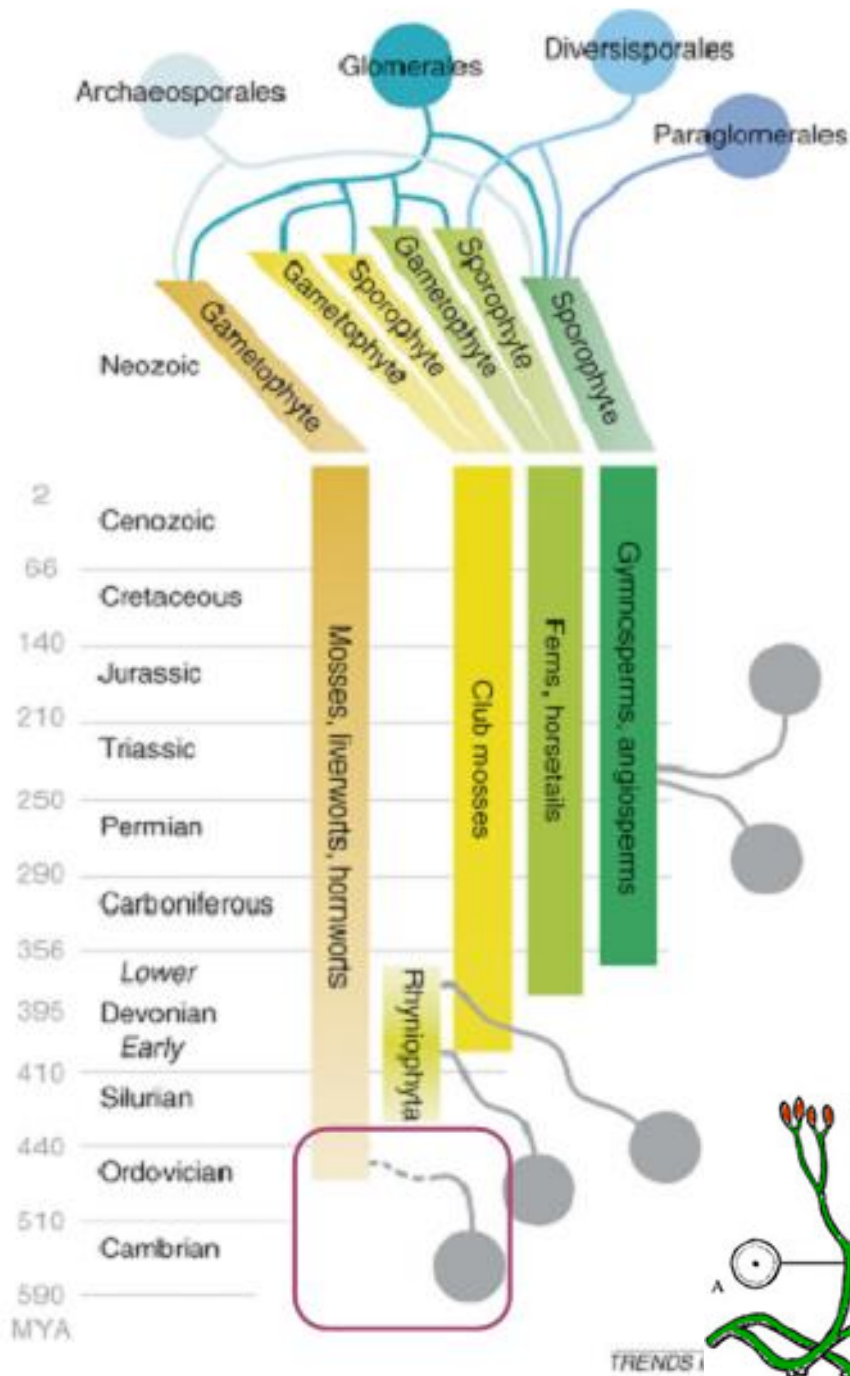




Funghi «imperfetti», si riproducono solo tramite la produzione di mitospore.



Sono simbionti obbligati (in colture aseniche muoiono dopo 2-3 settimane).
Mitospore polinucleate → alta variabilità genetica.
 Specie, comunità vs. individui difficili da definire!



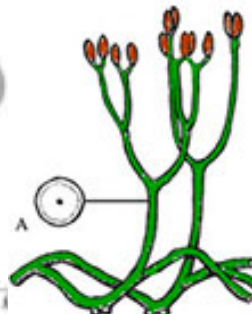
Glomeromycota: presenti assieme alle prime piante terrestri - fossile Ordoviciano (460 mya), spore ma NON associate a tessuti vegetali.

Le prime piante terrestri erano associate ai funghi AM?

I funghi AM hanno assistito le piante in quel difficile passaggio dall'ambiente acquatico alla colonizzazione delle terre emerse?

Ipotesi del "mycorrhizal landing"

Fungi found associated with *Rhynia*



Atmosphere:	4500 ppm CO ₂	4500 ppm CO ₂	3000 ppm CO ₂	350 ppm CO ₂
Substrate:	Brackish water	Moist, mineral soil	Mineral and organic soil	Mineral and organic soil
Water and nutrient uptake:	Direct	Direct	Direct and symbiotic	Direct and symbiotic
Specialized structures:	Rhizoids	Rhizoids	Rhizoids, rhizomes and fungal symbionts	Roots, root hairs and fungal symbionts

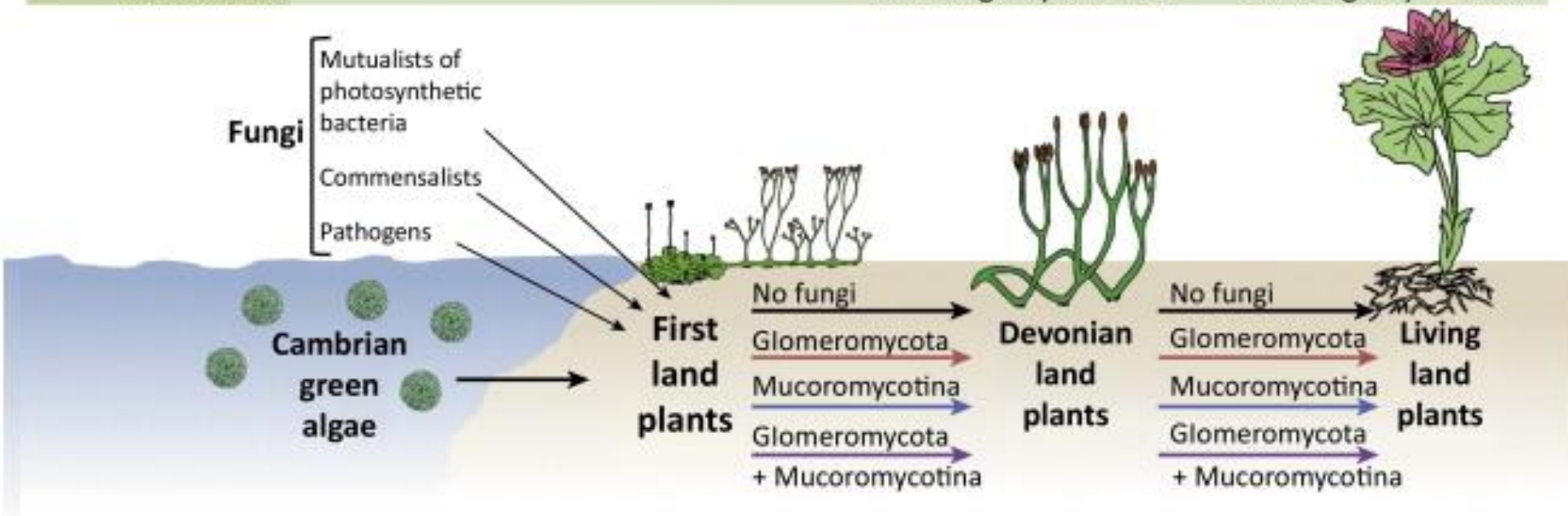
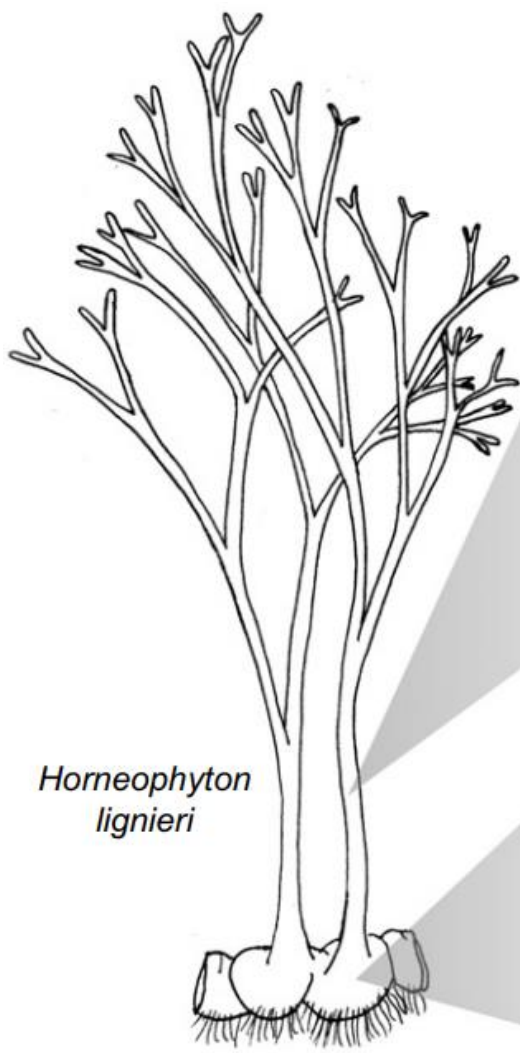
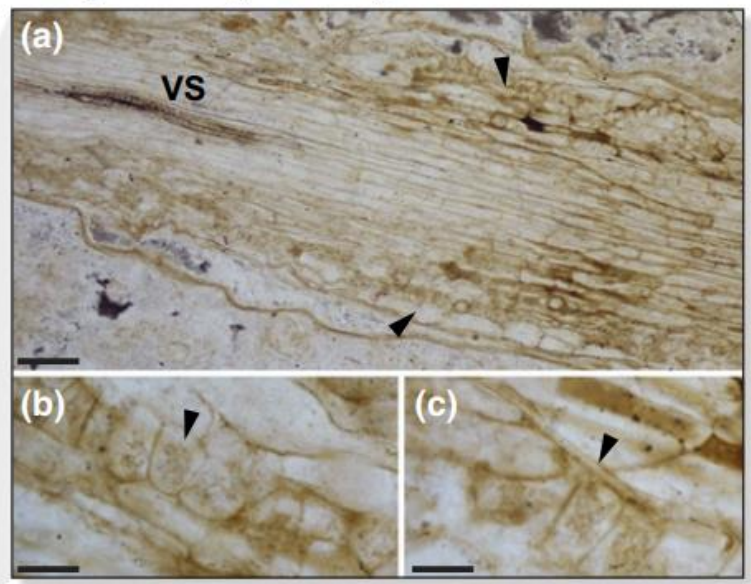


Figure 2 of Strullu-Derrien et al. (2018). Fossil (c. 407 million years) of the Rhynie plant *Horneophyton lignieri*. Left: plant (5-10 cm height) habitat. Right: 'Paramycorrhizas' (mycorrhizal-like) structures such as hyphae, vesicles, arbuscules, and spores from different fungal phyla (Glomeromycotina and Mucoromycotina).

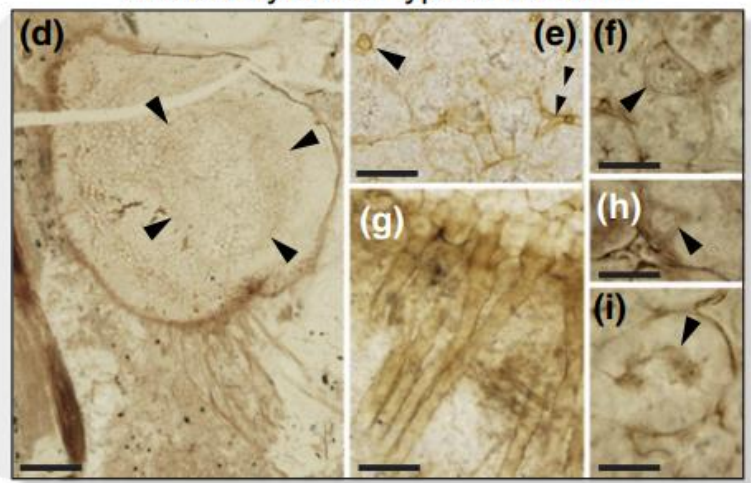
Figure reproduced with permission of the authors and New Phytologist.

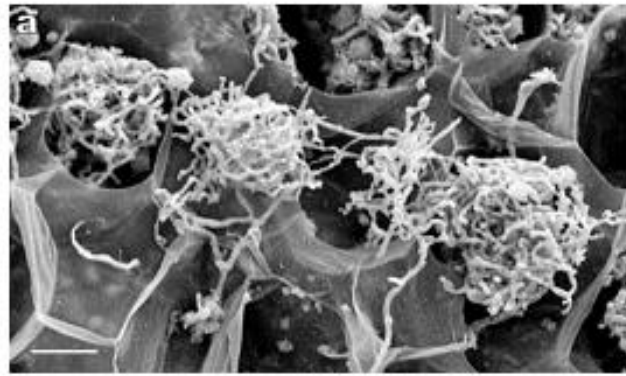


Paramycorrhiza of the glomeromycotean type in the aerial axis



Paramycorrhiza of the mucoromycotean type in the corm





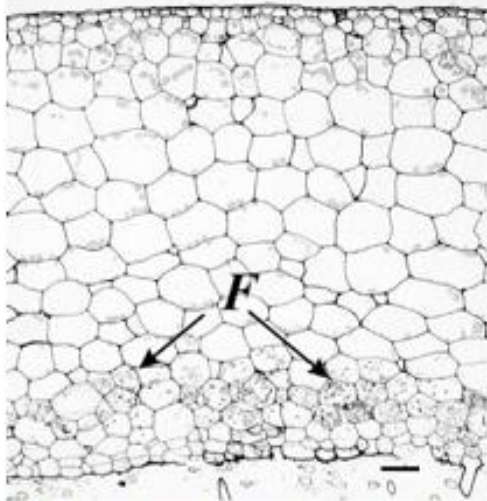
Le briofite, le più antiche piante terrestri viventi, sono colonizzate dai funghi AM



Associazioni Briofite - - Glomeromycota

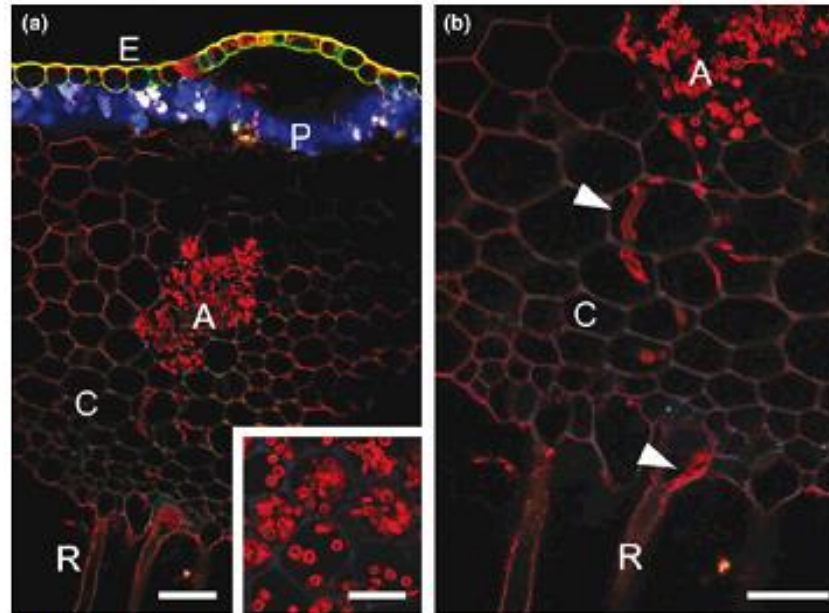
Immagine di microscopia a scansione di strutture fungine intracellulari in *Treubia lacunosoides*.

Duckett, Carafa, Ligrone 2006



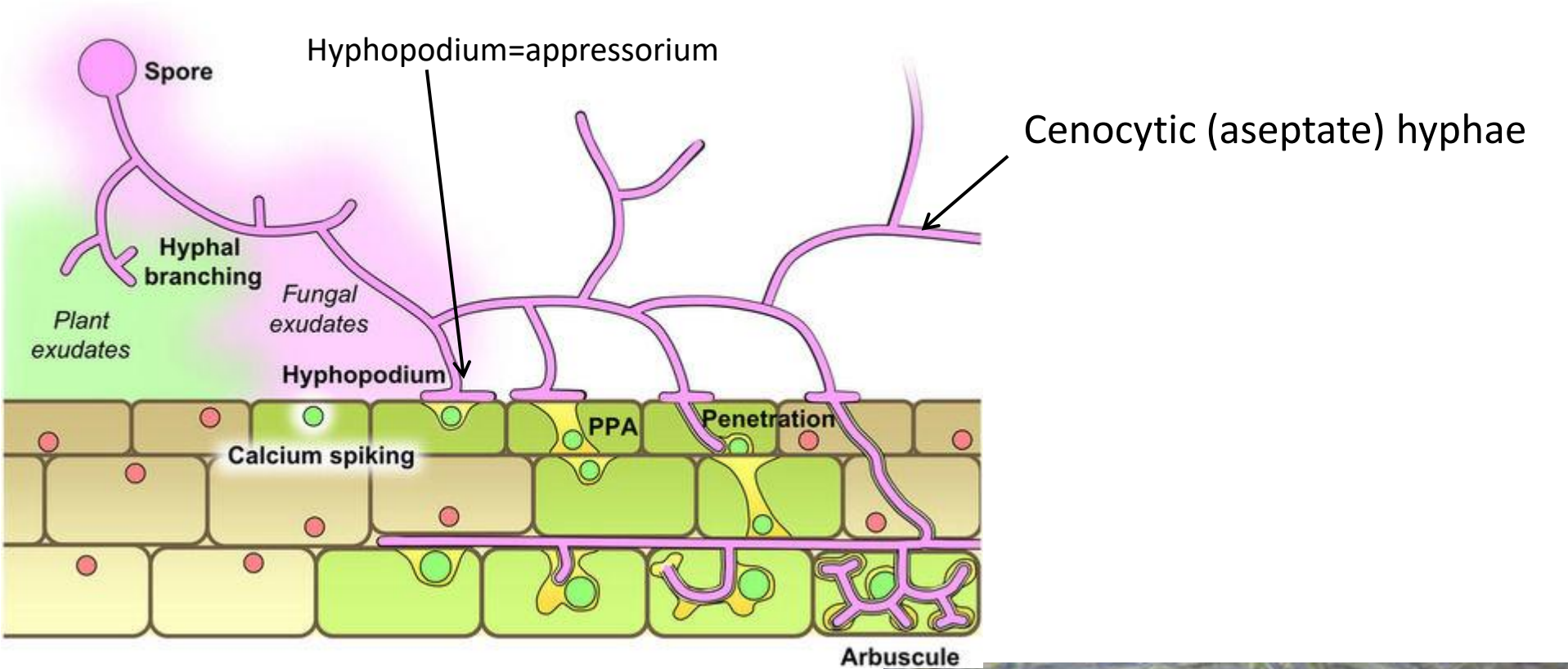
Gametofito di *Monoclea forsteri*

Ligrone et al. 2007



Gametofito di *Marchantia polymorpha*

Bonfante & Genre 2010



Germinazione della spora

Crescita presimbiotica

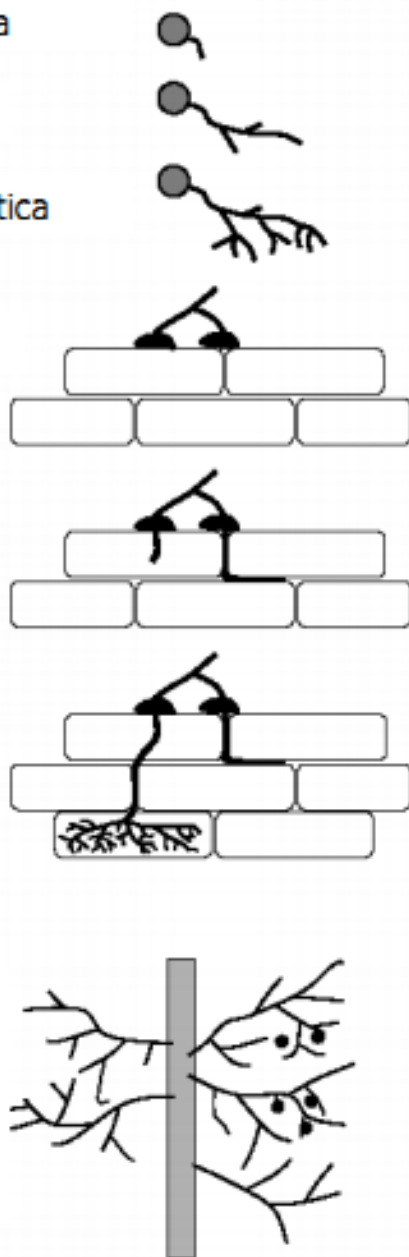
Ramificazione presimbiotica

Formazione dell'ifopodio

Penetrazione

Formazione degli arbuscoli

Crescita del micelio extraradicale e formazione di nuove spore



Il processo di colonizzazione

La fase presimbiotica

La fase simbiotica

Fig. 1 Stages of arbuscular mycorrhiza development. Spore germination and limited hyphal growth may occur in the absence of the plant root (a,b), whereas extensive preinfection branching and sustained hyphal growth require the presence of host plant roots (c). Upon contact with the root epidermis, hyphal tips swell and form appressoria (d). This is followed by the penetration of the root and the proliferation of intraradical hyphae. Cortical cells are subsequently penetrated and arbuscules develop (f). Colonisation of the root promotes extensive growth of external hyphae (g). This scheme represents the 'Arum' type of AM. This type is formed on the model plant species *M. truncatula*. Note that under natural conditions infections do not need to originate from germinating spores, but occur predominantly from previously infected root segments covered with external hyphae.

Piante modello:
Lotus japonicus
Medicago truncatula

Formazione
dell'ifopodio



Penetrazione

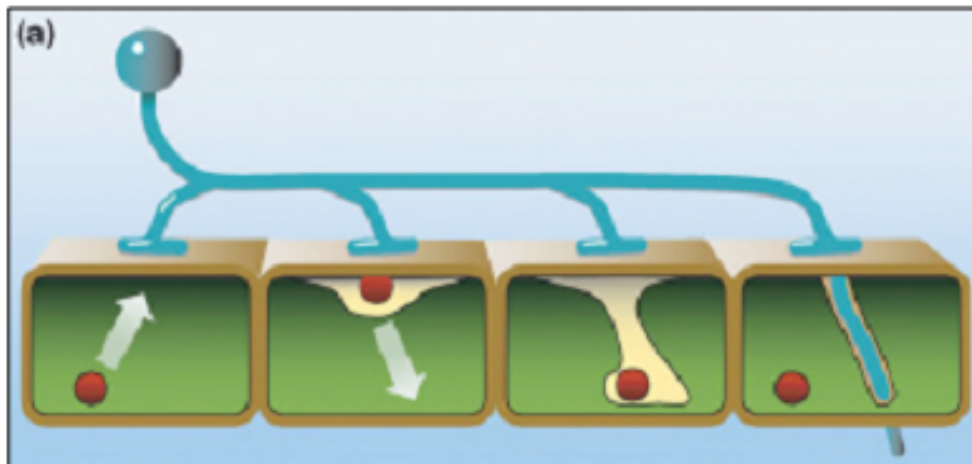


Fase presimbiotica



Fase simbiotica

La cellula epidermica ha un ruolo attivo



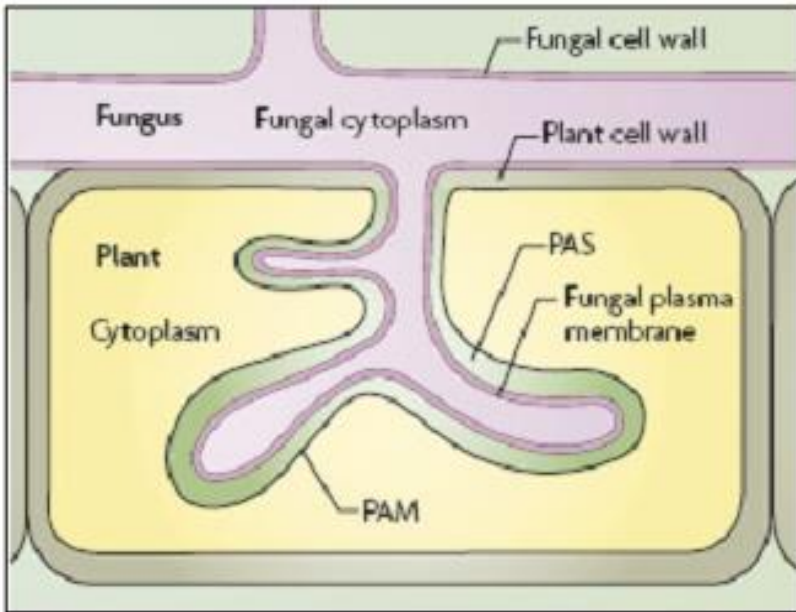
Un apparato di pre-penetrazione (PPA) si forma nelle cellule epidermiche **prima** dell'entrata dell'ifa fungina (Genre et al., Plant Cell 2005)

Il contatto con l'ifa induce il riposizionamento del nucleo e l'assemblaggio di un aggregato citoplasmatico al di sotto dell'ifopodio. Successivamente il nucleo inizia una seconda migrazione attraverso la cellula associata all'assemblaggio di un tunnel citoplasmatico, il PPA, che segna la traiettoria di sviluppo dell'ifa intracellulare.

La fase simbiotica formazione degli arbuscoli

La colonizzazione intracellulare
si accompagna ad una profonda
riorganizzazione cellulare

Estese ramificazioni ifali
all'interno delle cellule corticali
portano alla formazione degli
arbuscoli.

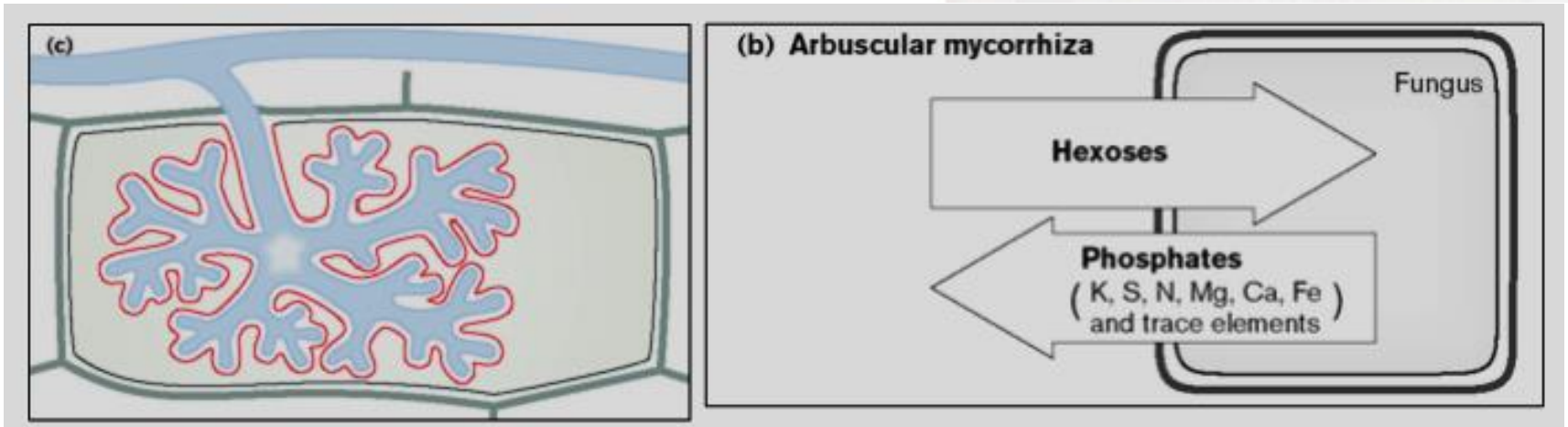
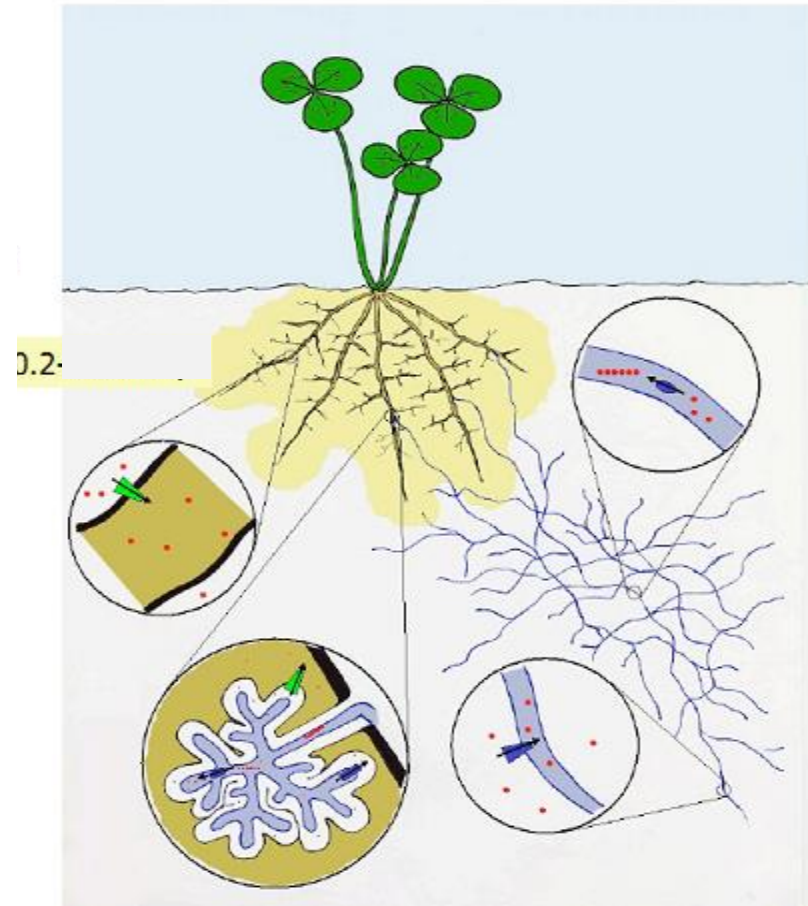


Ogni ifa è sempre circondata
dalla membrana plasmatica
della cellula vegetale e da una
parete modificata (membrana
peri-arbuscolare – **PAM**).



FOSFORO

- Le endomicorrize sono particolarmente importanti per il recupero del **fosforo (P)**, elemento essenziale → 3-9x maggiore rispetto a radice non micorrizzata!!
- Nel suolo gli ioni fosfato sono scarsamente disponibili e poco mobili (0.1-0.2 mm) → immagazzinato attivamente nel vacuolo del fungo → scambio con la pianta.

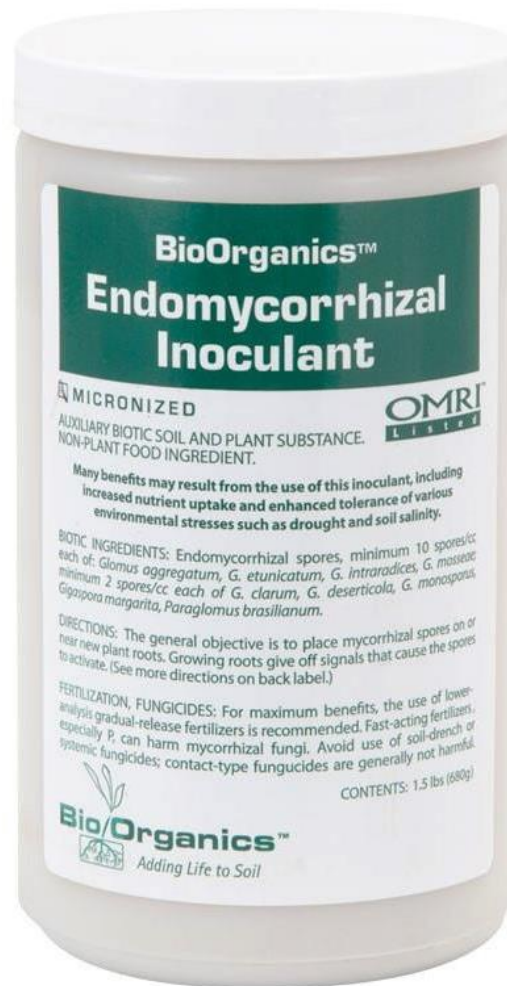


AZOTO (N), viene recuperato dal fungo micorrizico direttamente dalla materia organica presente nel suolo.

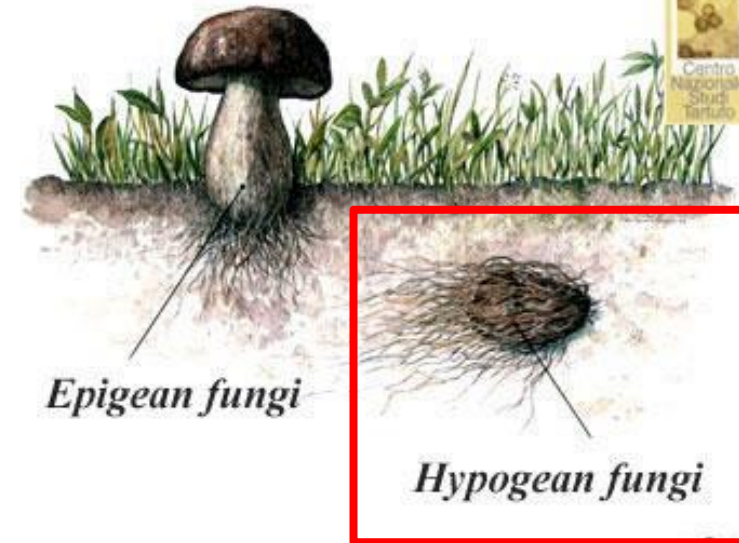
Aumento biodisponibilità N \leftrightarrow processi di demolizione extracellulare della sostanza organica, assorbimento di molecole organiche contenenti azoto operato sempre dal fungo.

Scambio di sostanze azotate tra fungo e pianta è più accentuata nelle ectomicorrize che nelle endomicorrize → ectomicorrize delle Ericales



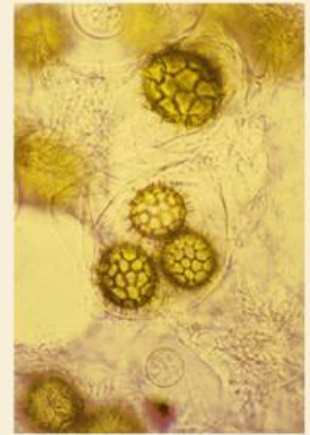


Tartufi



Tuber melanosporus, *T. album*, *T. aestivum*,

- Ascomycetes
- Ectomicorrize
- Associati a diverse specie di piante ospiti (di solito alberi (*Quercus* spp., *Populus*, *Olea*, *Corylus*...))
- Scrofa cerca tartufi (no dal 1985)



Centro
Nazionale
Studi
Tartufo

1. Preparazione dei semenzali:

In autunno: raccolta, lavaggio conservazione dei semi delle piante simbionti selezionate.

Semina: in vari periodi a seconda della specie coltivata.

I semenzali vengono allevati in vermiculite in ambiente confinato (serra riscaldata) per circa 2 mesi → acclimatazione in tunnel per circa 15 giorni.



Quercus ilex (holm oak, New Zealand)

2. Preparazione dell'inoculo sporale (1 di 2)

Per i tartufi, si parte dai corpi fruttiferi delle specie che si desidera inoculare, che vengono preparati per la conservazione tramite lavaggio, disinfezione mediante passaggio alla fiamma, stratificazione in sabbia sterile e conservazione in frigo.

Per l'**inoculazione sporale** di funghi epigei, i carpofori vengono conservati dopo lavaggio sommario, prelevando possibilmente solo l'imenio e quindi stratificandoli in sabbia.

I corpi fruttiferi vengono quindi omogeneizzati in un mortaio insieme a sabbia precedentemente sterilizzata e setacciata e a degli attivatori sporali.

2. Preparazione dell'inoculo sporale (2 di 2)

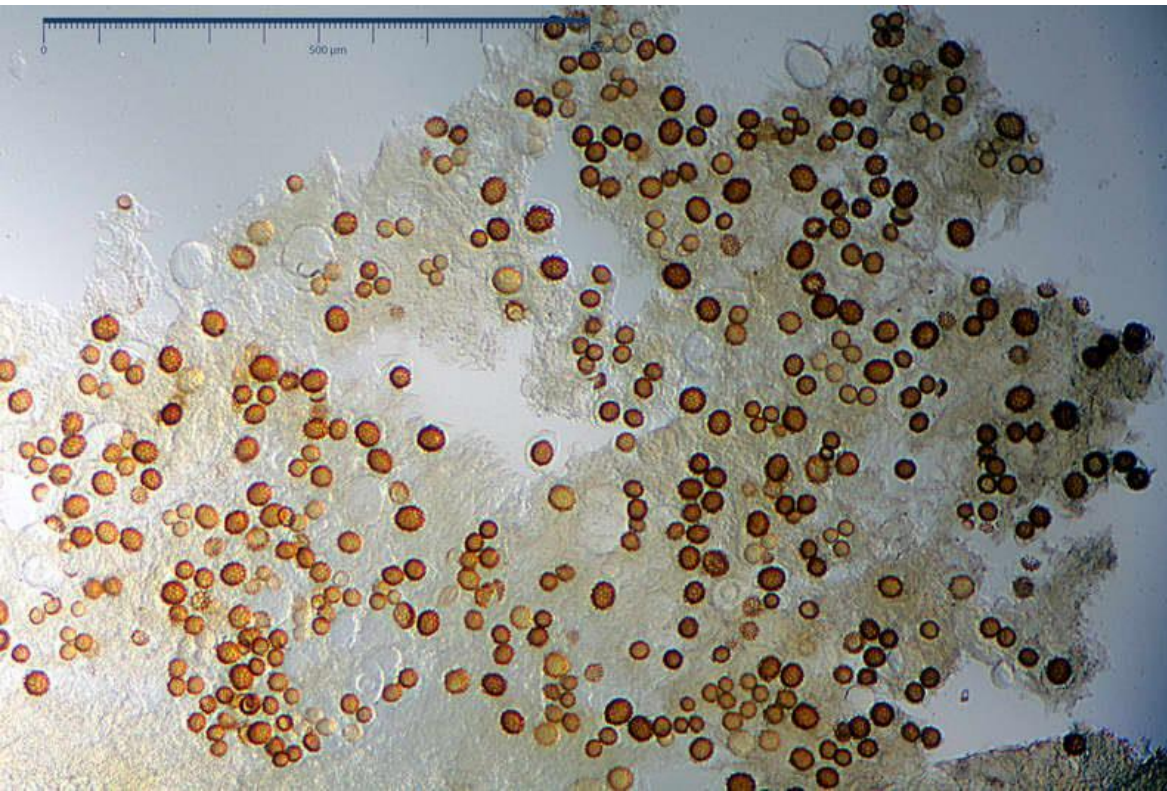
In alternativa si utilizza anche l'**inoculo miceliare**, che richiede maggior tecnica e soprattutto strutture adeguate per isolare il micelio dai corpi fruttiferi in condizioni di sterilità e quindi coltivarlo su substrati artificiali idonei che ne permettano lo sviluppo e una vitalità e maneggevolezza sufficienti per poterlo poi collocare in prossimità delle giovani piante
→ preferito solo per poche specie di tartufi.



3. Inoculazione sporale dei semenzali

Avviene ad aprile–maggio.

E' fondamentale la pulizia: disinfezione di ogni materiale utilizzato nel processo, incluso il terriccio di coltivazione dei semenzali. Le condizioni di “semisterilità” sono necessarie a ridurre al minimo il rischio di contaminazione da parte di propaguli vitali di funghi simbionti competitori.



4. Allevamento delle giovani piantine

Le piante inoculate (= piante micorrizate) vengono allevate in ambiente confinato estremamente pulito (tunnel) → conservano un'alta percentuale di apici micorrizzati → le piante micorrizzate vengono messe a dimora nell'area di impianto, gli apici radicali già "occupati" sono difficilmente colonizzabili da parte di altri funghi → il micelio del fungo si sviluppa rapidamente nella rizosfera → colonizza nuovi apici radicali che si differenziano.



TRUFFLE FARMING TODAY

a Comprehensive World Guide

Marcos Morcillo, Mónica Sánchez and Xavier Vilanova



Tartuficoltura
Vecchi Vivai

