

REGNO FUNGI (EUMYCOTA o FUNGHI)

Capitolo 25 del Mauseth - Botanica Fondamenti di Biologia
delle piante - 2019, Idelson-Gnocchi Ed.

I funghi un tempo erano considerati piante primitive prive di clorofilla.

Oggi sappiamo che l'unica caratteristica che accomuna i funghi alle piante è l'immobilità e il tipo di organizzazione pluricellulare, anche se non mancano tra i funghi organismi unicellulari.

Studi molecolari e genetici hanno evidenziato che i funghi hanno caratteristiche affini agli animali.

Per questo si è reso necessario inserirli in un regno a parte.

I Funghi sono eterotrofi



EUMYCOTA:

Zygomycetes

Ascomycetes

Basidiomycetes

- I funghi sono diffusi in tutti gli ecosistemi della Terra
- Vivono principalmente in ambienti terrestri ma alcuni sono presenti anche in ambienti acquatici
- Sono presenti sia in luoghi illuminati che bui (organismi criptofili)
- Sia in ambienti molto freddi che in acque termali

La classificazione dei funghi e le potenzialità di degradazione del substrato

- Gli **zigomiceti** sono detti **funghi dello zucchero** perché utilizzano rapidamente, come fonte di carbonio, gli zuccheri liberi ed i carboidrati più semplici
- Gli **ascomiceti** ed i **basidiomiceti** attaccano invece fonti di C più resistenti, come cellulosa e lignina

Fattori ambientali che influenzano la crescita fungina:

- **TEMPERATURA**

Ogni specie possiede un minimum ed un maximum termico , al di sotto ed al di sopra del quale la crescita si blocca.

Es. i funghi psicrofili sono tipici della tundra ove sopportano, senza danno, anche inverni a -60°C

- pH.

Influisce sulla possibilità di azione degli ESOENZIMI che i funghi riversano nell'ambiente per demolire le sostanze organiche.

I funghi preferiscono AMBIENTI ACIDI per questo sono molto diffusi nei terreni boscosi e nelle BRUGHIERE.

- **H₂O**

I funghi prediligono elevati gradi di umidità, quindi la diffusione e la crescita sono favorite in zone equatoriali o comunque in ambienti con elevata umidità

- **O₂**

La maggior parte sono aerobi, per questo sono **poco** rappresentati nei **terreni acquitrinosi** con aerazione limitata

- **Luce**

Può regolare la crescita del fungo (**fotomorfogenesi**)

Quale è la principale funzione dei funghi nell'ambiente?

- I funghi sono insostituibili demolitori, soprattutto nei suoli a pH acido, ove solo poche specie batteriche sono capaci di compiere demolizioni.
- I funghi sono importanti soprattutto per la degradazione di CELLULOSA, EMICELLULOSA e LIGNINA.
- La parziale demolizione delle sostanze organiche, in particolare lignina, porta alla formazione dell'HUMUS.

Quindi hanno un'importanza ecologica fondamentale, infatti insieme ai batteri, costituiscono i principali decompositori della biosfera.

Il processo di decomposizione è importante quanto quello della produzione di composti organici.

Mediante la putrefazione, batteri e funghi, ritrasformano la sostanza organica di piante ed animali morti in composti inorganici (rimineralizzazione).

Si stima che in media i primi 20 cm di suolo fertile contengano circa 5 tonnellate di funghi e batteri per ettaro.

Essendo decompositori, i funghi non distinguono tra albero morto e una costruzione in legno, li attacca entrambi.

- **Il loro ruolo principale nell'ambiente, quindi, è la decomposizione di substrati organici (SAPROFITI)**
- **Alcuni funghi sono PARASSITI e PATOGENI**

SAPROFITI

SAPROFITI: traggono il nutrimento dalla decomposizione di organismi morti. Sono la maggioranza dei funghi.

Secernono **enzimi**, che degradano i substrati (es. lignina, cellulosa, proteine) in monomeri semplici che possono essere assorbiti e metabolizzati nelle cellule fungine.

Questi enzimi, secreti all'esterno sono detti esoenzimi.

I funghi possono attaccare vestiti, vernici,
pelli, cere, carburanti, petrolio, legno,
carta, materiali di isolamento di cavi e fili,
pellicole fotografiche.....

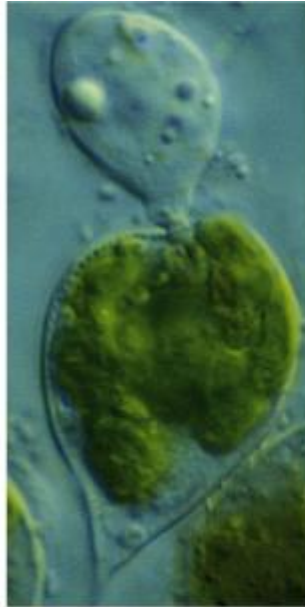
Sono in grado di crescere su prodotti
alimentari come frutta, verdura, carne,
pane.

Alcuni sono particolarmente pericolosi perchè
possono produrre sostanze molto tossiche,
micotossine.

Crescita della muffa *Rhizopus* su una fragola







(a)

Un insetto ucciso da un fungo



(b)

Fungo che ha parassitato una cellula di Euglena,
ne degrada tutto il citoplasma.

Le MICOSI

- Sono le malattie causate dall'attacco di un fungo patogeno.
- I funghi possono causare micosi alle piante e agli animali

Es. di micosi dell'uomo:

- **PNEUMOMICOSI** (causata da lieviti, ad esempio nel cavo orale)
- Micosi da aspergilli (cavo orale, faringe, polmoni, orecchie)
- Pericolosi sono i generi **Candida** e **Cryptococcus**.

I carboni e le ruggini sono responsabili di gravi malattie per le piante

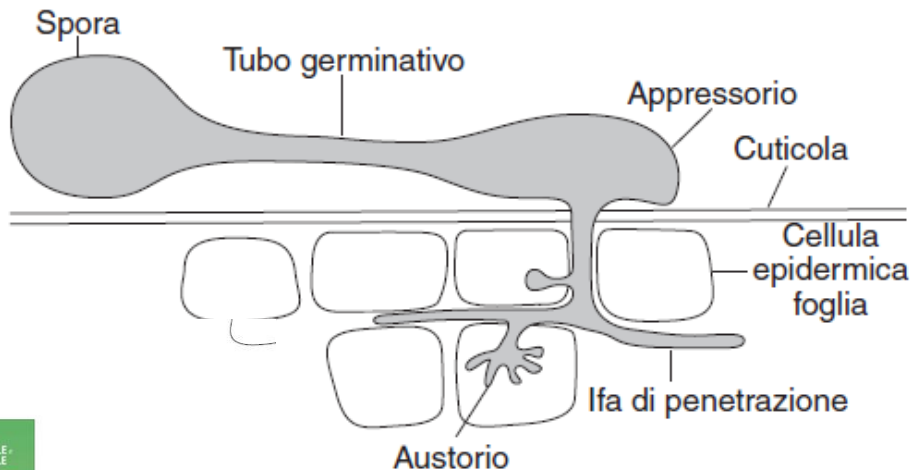


Sori (gruppi di spore) di una
ruggine su una foglia di una pianta
di more



Austorio di una ruggine entra nelle cellule di una foglia di lino

Austori: ife fungine che invadono tessuti vegetali per ottenere nutrimento

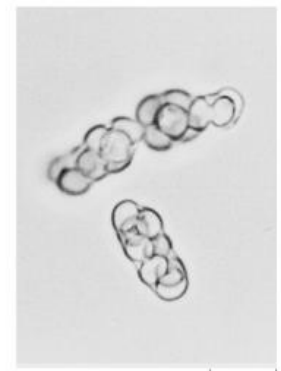


La cellula fungina

L'organizzazione unicellulare e coloniale dei lieviti

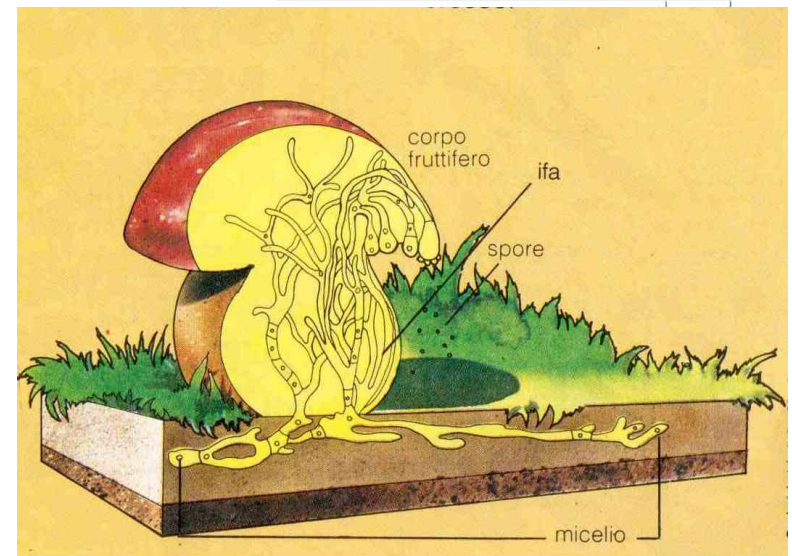
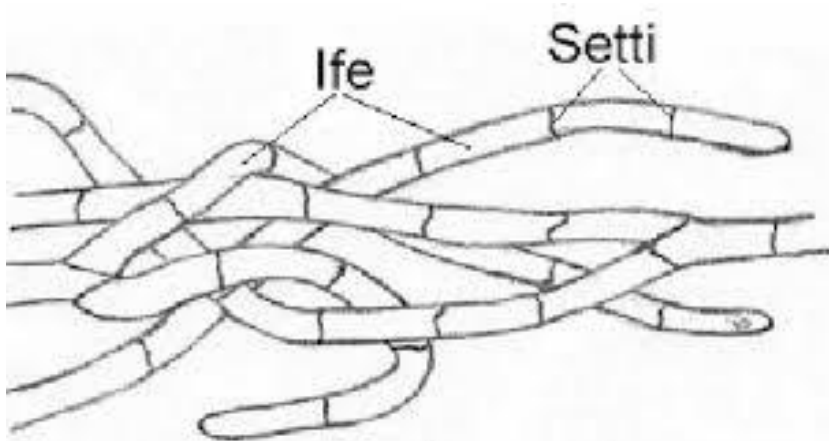


(a) 2.5 µm



(c) 10 µm

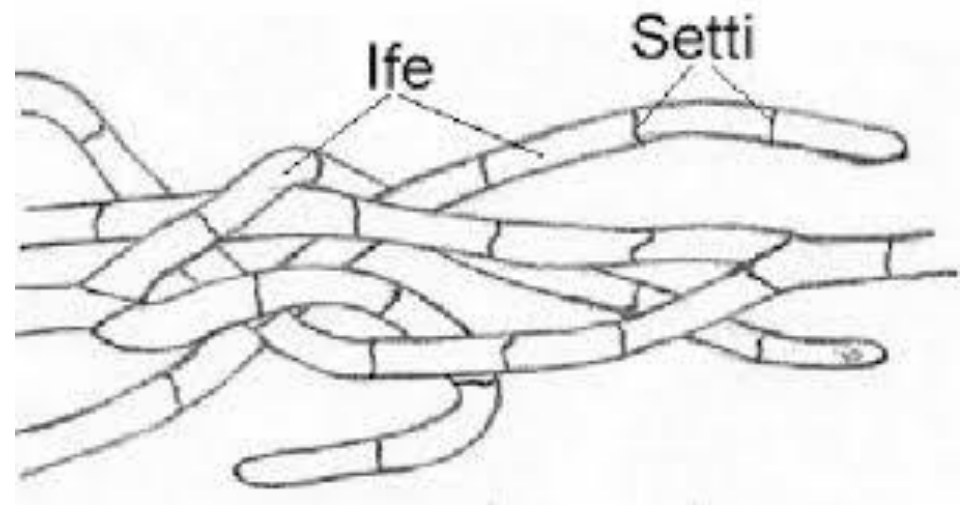
Organizzazione pluricellulare dei funghi



Organizzazione del tallo

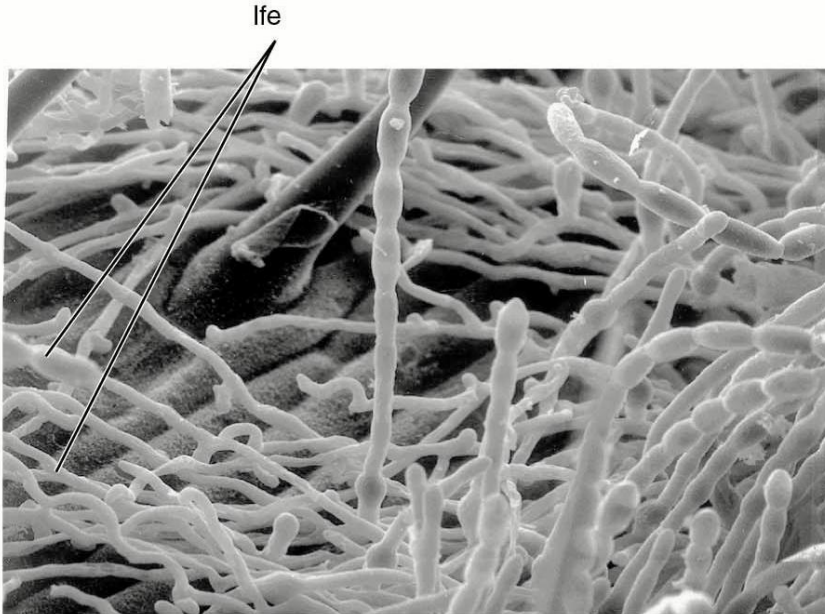
Alcuni funghi sono unicellulari, ma la maggior parte è pluricellulare.

I funghi pluricellulari sono costituiti da lunghi filamenti detti **IFE**, l'insieme di ife costituisce il **MICELIO**.

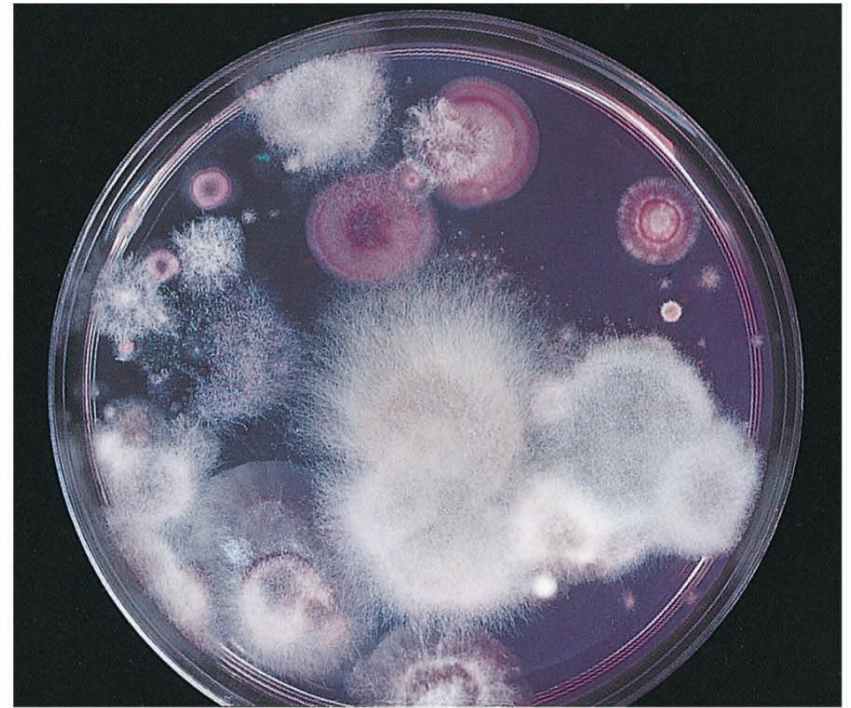


Il micelio forma un tallo filamentoso che si sviluppa nel substrato.

Il carpoforo dei funghi è un tallo costituito da un gran numero di ife strettamente associate.



(a)



(b)

Ife, strutture tubulari, con
un elevato rapporto
superficie/volume,
condizione ottima per
l'assorbimento dei nutrienti

Tipologie di ife:

- Organizzazione sifonale (filamenti plurinucleati), IFE senza setti (IFE degli Zigomiceti)
- Organizzazione tricale (cellule mononucleate o binucleate) IFE del MICELIO di Ascomiceti e Basidiomiceti)

Negli zigomiceti le ife sono sifonate, a settate e cenocitiche, con centinaia di nuclei



Micelio sifonale
(zigomiceti)

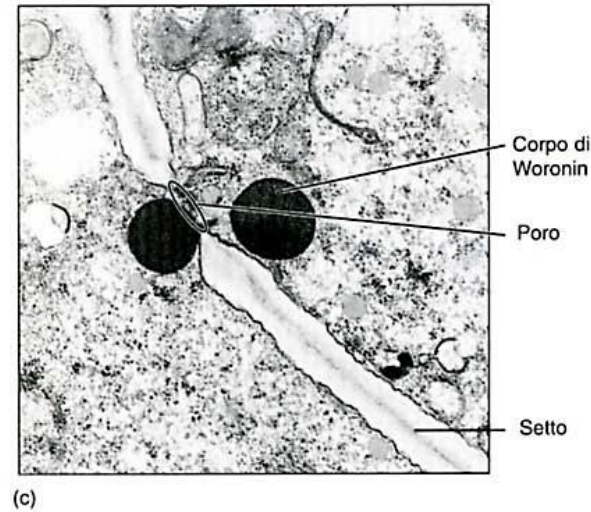
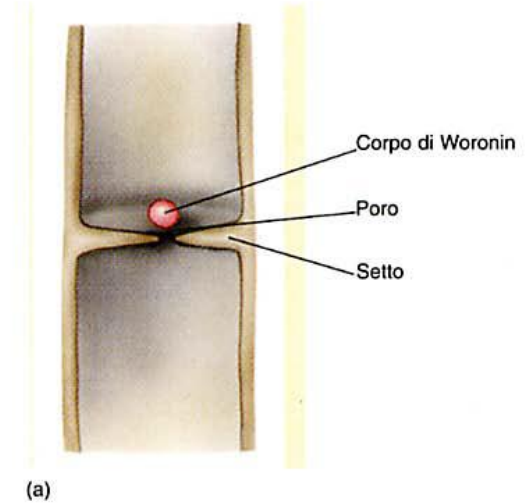
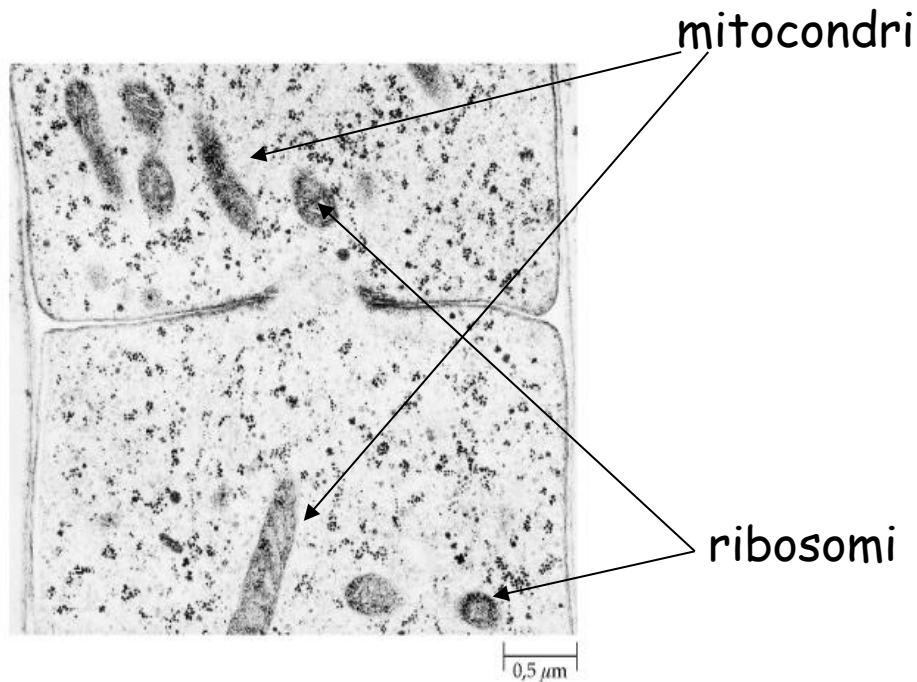
Figura 23.10
Rizoidi di *Rhizopus* (osservazione di O. Maggi).

Le ife di ascomiceti e basidiomiceti sono organizzate in cellule divise da setti trasversali. **Queste ife sono dette settate.** I setti però possono essere più o meno completi.

Nella maggior parte degli ascomiceti le ife settate, presentano un poro centrale (attraverso cui può avvenire il passaggio di nuclei, ed altri organuli) e solo di rado ai bordi del poro si osservano speciali strutture che limitano lo scambio di materiale citoplasmatico.

Nella maggior parte dei funghi con ife settate i setti sono attraversate da un poro centrale, tale da consentire comunicazione tra i protoplasti di cellule adiacenti appartenenti allo stesso filamento ifale.

Setto nell'ifa dell'ascomicete *Gibberella acuminata*



I **corpi di Woronin** hanno contenuto elettrodenso e sono circondati da membrana. In condizioni di danno consentono di occludere il poro e impedire il passaggio citoplasmatico.

FIGURA 23.2

Corpi di Woronin che occludono il setto (osservazione di S. Riess).

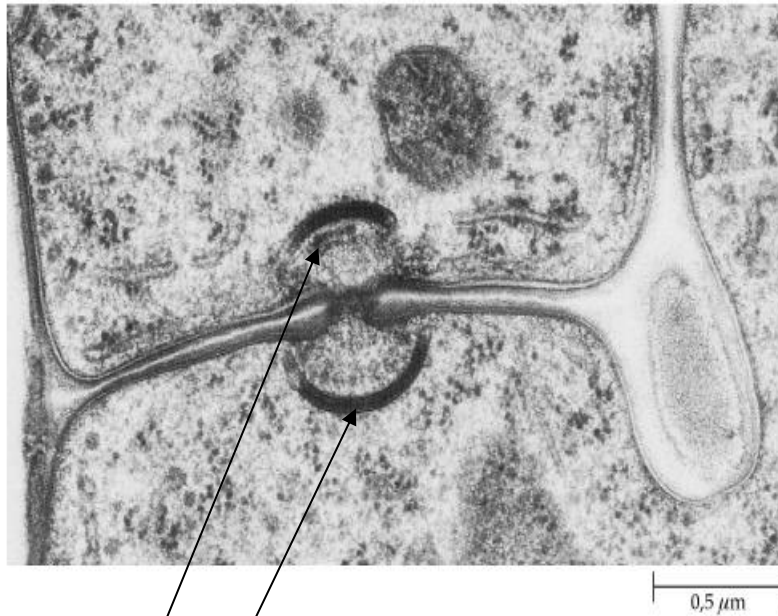


✓

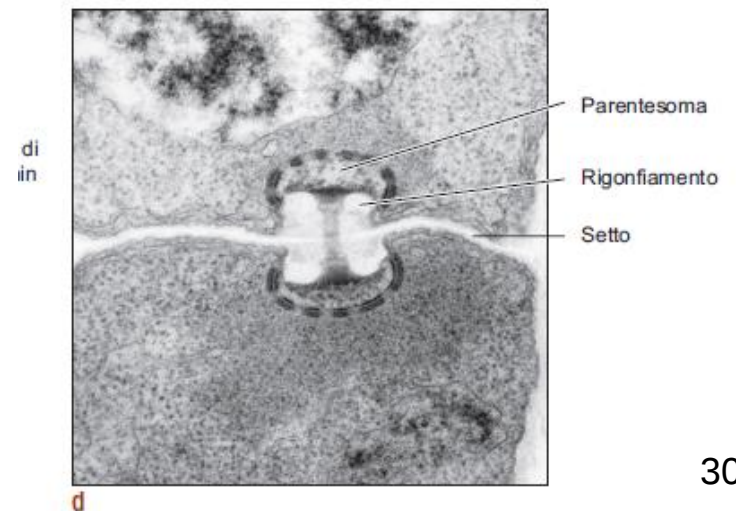
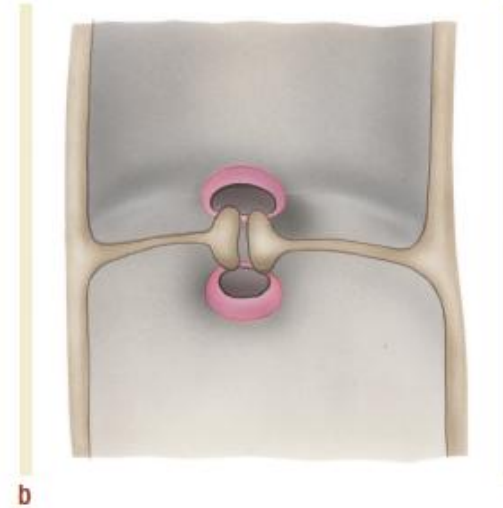
Il setto di alcuni basidiomiceti è detto
setto doliporo

- Il poro centrale ha diametro esiguo (i nuclei e gli organuli non lo attraversano), le estremità del setto sono rigonfie e sovrastate da strutture emisferiche (parentesomi) di membrana cellulare.

Setto con doliporo di un basidiomicete



parentosomi



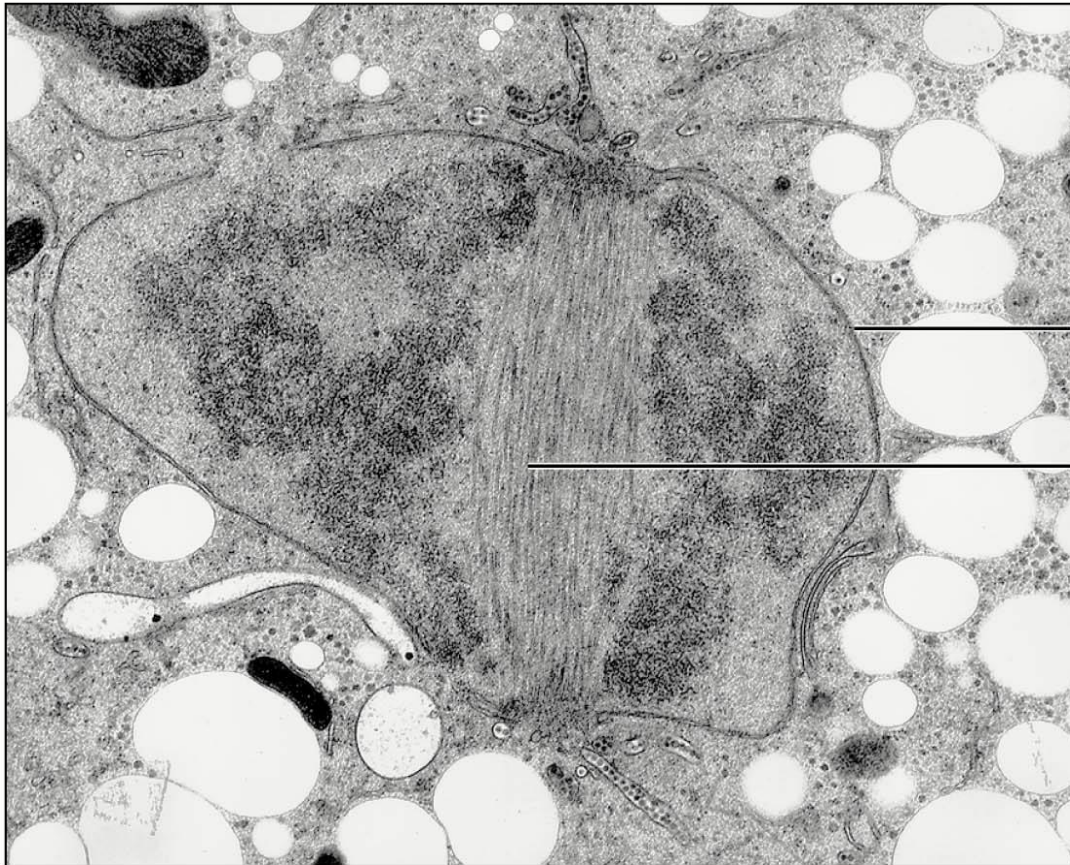
I miceli dei funghi possono presentarsi con parziali differenziamenti

- Rizoidi (ife di ancoraggio al substrato)
- Austori (ife dei funghi parassiti che consentono al fungo di assorbire nutrienti dall'ospite).
- Ife vasali (con funzione di conduzione), ife fibrose (con funzione di sostegno) ed ife laticifere, presenti nei corpi fruttiferi dei basidiomiceti.

MITOSI CHIUSA

- La membrana nucleare, in molti funghi, permane durante la mitosi (ad es. negli zigomiceti) e negli ascomiceti primitivi (lieviti).

Quasi in tutti i funghi mancano i centrioli, ma si formano i **corpi polari** al polo del fuso mitotico e, al pari dei centrioli agiscono come organizzatori dei microtubuli durante la divisione nucleare.



Membrana nucleare

Fuso mitotico

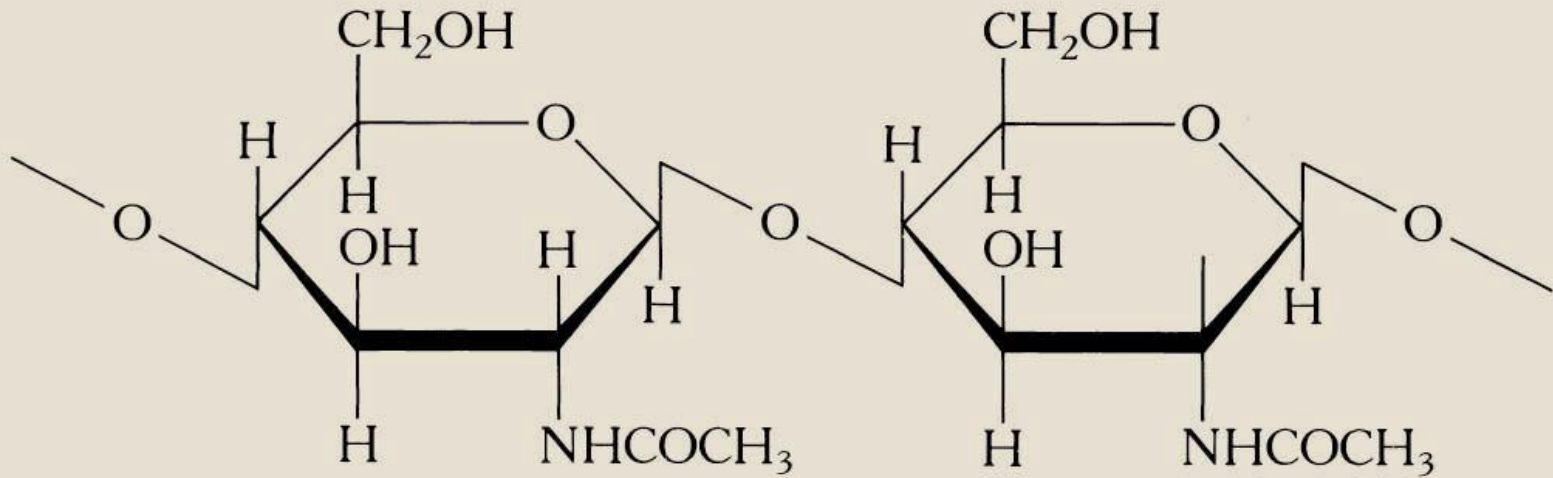
Nucleo in metafase è evidente il fuso all'interno della membrana nucleare

Solo i funghi acquatici
presentano cellule con flagelli

Tutti gli altri funghi non hanno
flagelli

La parete cellulare

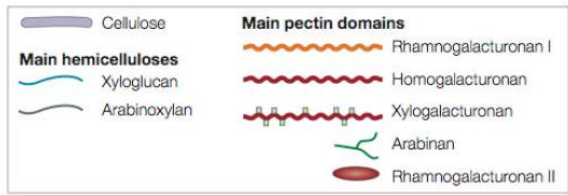
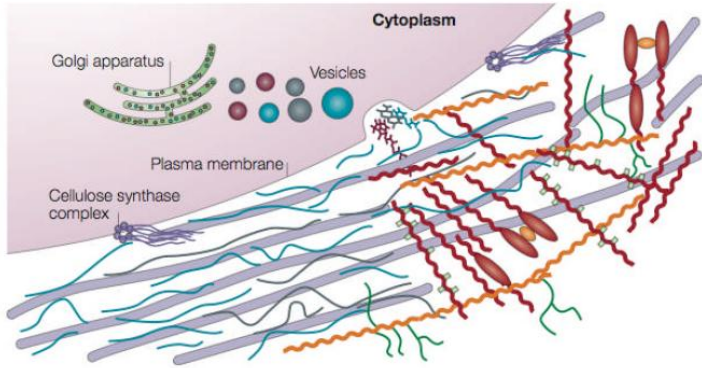
- Tutte le cellule dei funghi sono provviste di parete cellulare.
- E' di natura diversa nei diversi phyla, ma anche nei diversi stadi vitali dello stesso fungo.
- E' in genere sottile (fino a 125 nm)
- Il componente principale è la **CHITINA** (polimero di N-acetilglucosamina) organizzato in microfibrille simile a quelle della cellulosa.



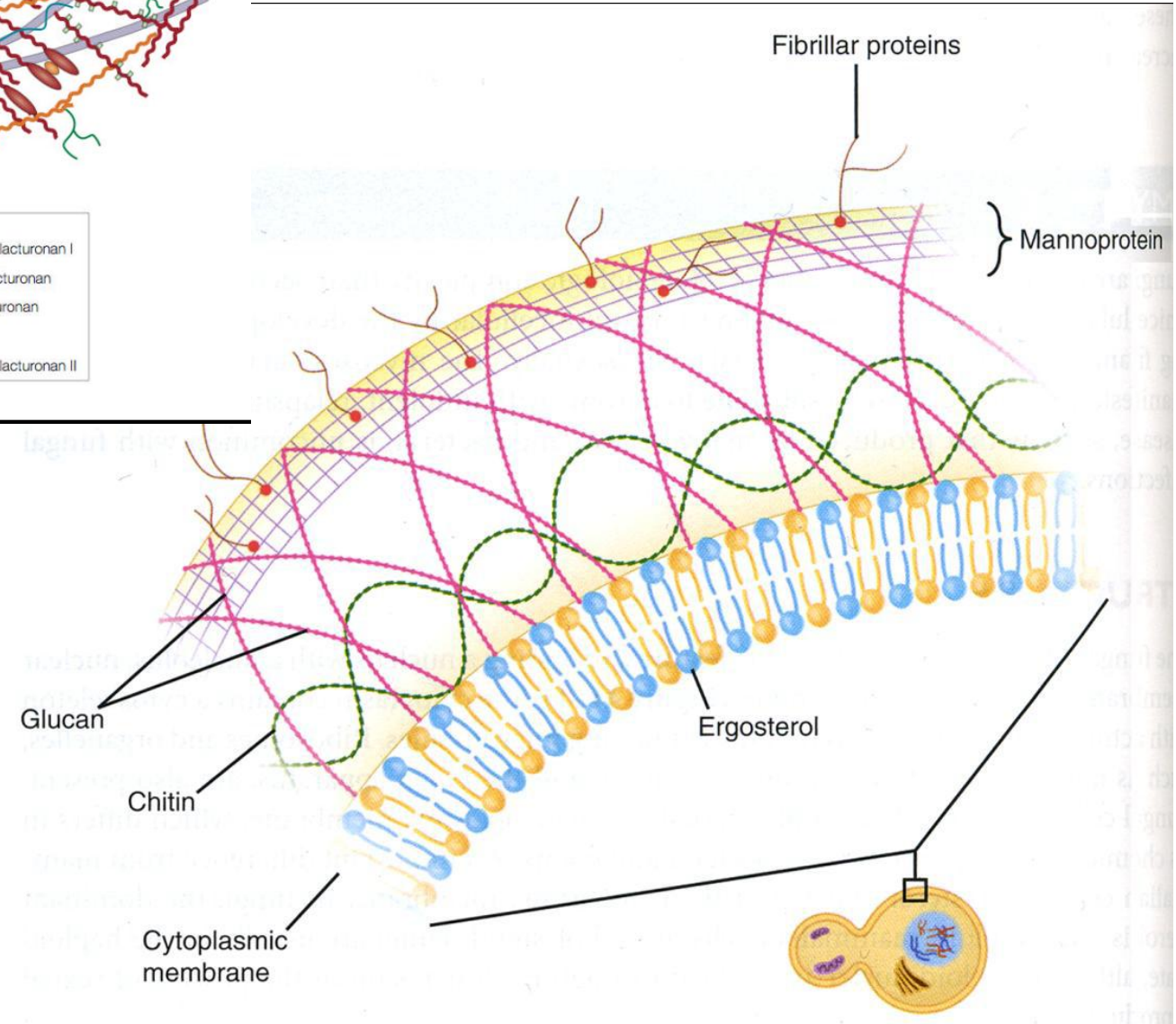
Chitina

La chitina è più resistente della cellulosa alla degradazione microbica. È presente anche nell'esoscheletro di artropodi, aracnidi e crostacei.

Le fibrille di chitina sono immerse in uno strato di proteine e di beta-glucani (polimeri di glucosio con legami beta-1,3 e beta-1,6, es. basidiomiceti).



• gli alfa (1,3) glucani ed i **chitosani**



- Fra le protei
idrofobiche
- La parete p
da, **allome**
protettiva c

PARETE

- Fornisce protezione alla cellula contro le aggressioni fisiche, chimiche e biologiche.
- È responsabile della morfologia della cellula fungina.
- Svolge un importante ruolo nella patogenesi perchè:
 - protegge il fungo dai meccanismi di difesa dell'ospite
 - è la struttura che inizia il contatto con l'ospite, mediante l'adesione

Nel plasmalemma, c'è l'**ergosterolo**, come sterolo prevalente, (negli animali c'è colesterolo e nelle piante fitosterolo)

La mancanza di ergosterolo nella membrana citoplasmatica provoca la perdita di funzionalità e di fluidità della membrana, che porta ad inibizione della crescita e della replicazione cellulare.

Il citoplasma delle cellule fungine è caratterizzato dall'assenza di tipici ditiiosomi, ma ci sono cisterne isolate o anelli di cisterne.

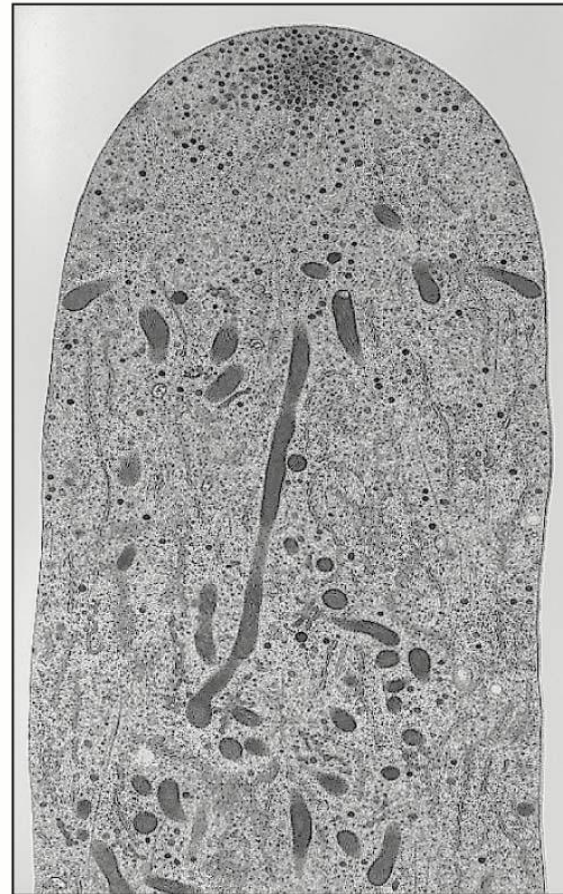
- Nel citosol abbondano le **vescicole**, in particolare coinvolte nella secrezione di esoenzimi
- I nuclei sono piccoli (1-3 μm), i cromosomi spesso non condensano,
- **Le cellule dei funghi sono in genere aploidi.**

Il genoma fungino è estremamente ridotto (limite inferiore degli eucarioti).

Le cellule fungine si distinguono per la mancanza di plastidi e la scarsità di vacuoli



(a)



(b)

Sono
presenti
numerosa
vescicole.

Modalità di crescita dei funghi con micelio:

- Le ife crescono solo all'apice, al di sotto dell'apice si ramificano, ed i “rami” ifali vanno ad occupare spazi liberi del substrato, consentendone un'esplorazione capillare!!

Composti di riserva

Lipidi e glicogeno (come negli animali)

Riproduzione

I funghi si riproducono mediante produzione di spore, forme di quiescenza e di dispersione, che possono essere il risultato di riproduzione sessuale o vegetativa.

Alcune spore, disidratate e piccolissime, possono rimanere sospese nell'aria per tempi lunghissimi ed essere trasportate dal vento a distanze considerevoli.

Altre spore sono mucillaginose e si attaccano al corpo di insetti o altri animali.

Le spore dei funghi

- Sia le mitospore che le meiospore dei funghi acquatici possono essere dotate di movimento (zoospore)
- Alcuni funghi sparano ad una notevole distanza le proprie spore.
- Il numero di spore prodotto è enorme: nell'aria si trovano a volte sospese fino a 10.000 spore per metro cubo



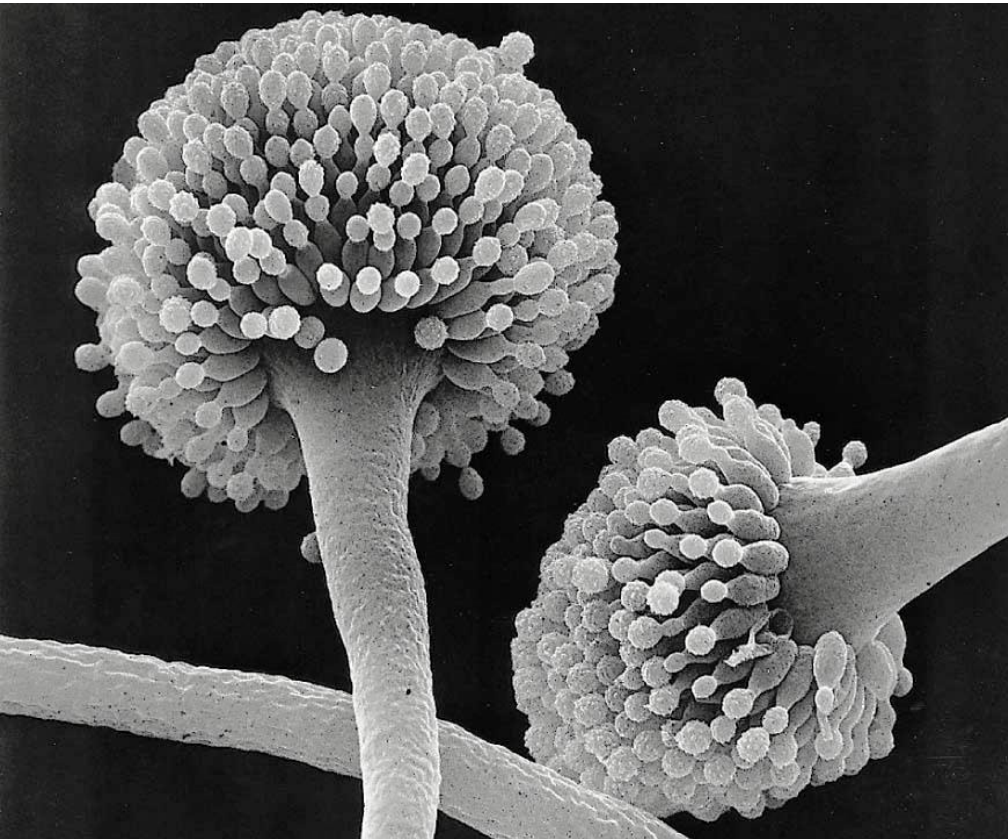
Un esempio da Guinness dei primati:

- Il corpo fruttifero di *Calvatia gigantea* produce 7×10^{12} basidiospore, se ogni spora germinasse e formasse a sua volta un corpo fruttifero si coprirebbe buona parte della terra!!



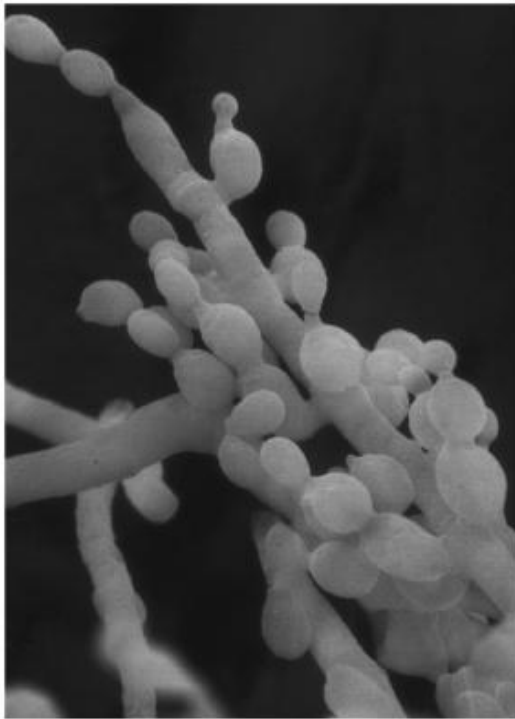
Le spore vegetative vengono prodotte all'interno di sporangi o all'interno di cellule ifali dette cellule conidiogene o conidiofori. Le spore prodotte dai conidiofori, dette **CONIDI**, possono essere isolate o raggruppate a formare catene.

Le mitospore

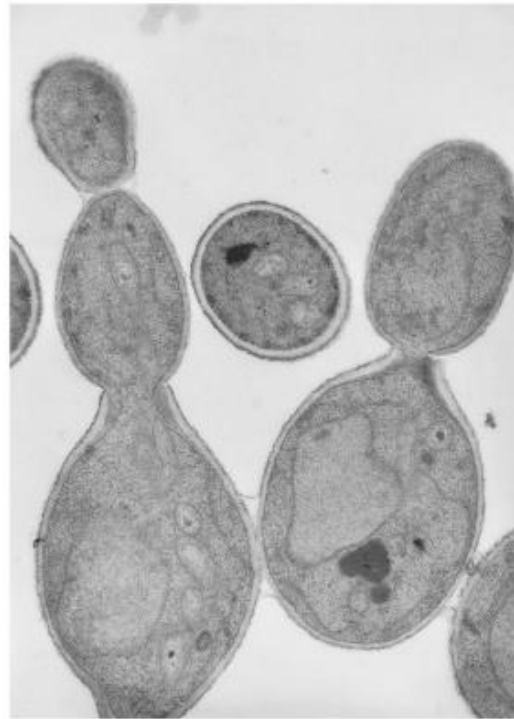


I conidifori con
all'estremità file di spore
(spore asexuate).

Altri tipi di spore asexuate



(a)



(b)

Conidi di ascomiceti a vari stadi di sviluppo

Il Pennicillium



Conidiofori
ramificati

**Alcuni funghi si
riproducono anche per
frammentazione delle
loro ife**

Corpo fruttifero o sporoforo o carpoforo

Lo sporoforo è la parte del tallo ad emergere dal substrato, la sua posizione consente una migliore dispersione aerea delle spore.



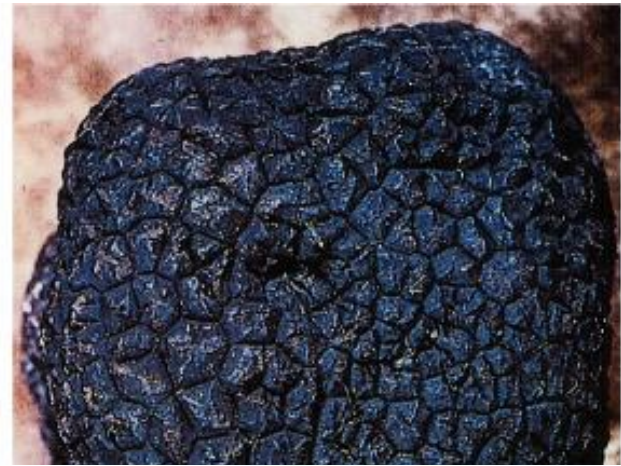
(b)

Dai corpi fruttiferi vengono liberate spore meiotiche.

Carpoforo di un ascomicete evoluto, Morchella



La superficie dello sporoforo è in gran parte costituita da ife specializzate nella produzione di spore meiotiche.





(a)



(c)



(d)



Sporofori di diversa forma, basidiomiceti



I funghi a mensola

(Basidiomiceti saprofiti o parassiti)

La riproduzione sessuale consiste di tre fasi successive:

Plasmogamia

Cariogamia

Meiosi

Le prime due fasi costituiscono il processo di singamia o fecondazione. La plasmogamia (fusione di protoplasti di due cellule di ife sessualmente compatibili), precede la cariogamia.

La cariogamia può, o seguire immediatamente la plasmogamia o avvenire dopo un certo periodo. In quest'ultimo caso i due nuclei restano appaiati a formare un **DICARION**.

La fase diploide nel ciclo vitale di un fungo è rappresentata solo dallo zigote.

La meiosi nei funghi è zigotica, cioè iniziale. Il ciclo metagenetico è aploide.

I gameti dei funghi sono simili per dimensione e aspetto e sono detti **ISOGAMETI**. In molti casi i nuclei si comportano da gameti. La struttura che produce i gameti è il **GAMETANGIO**.

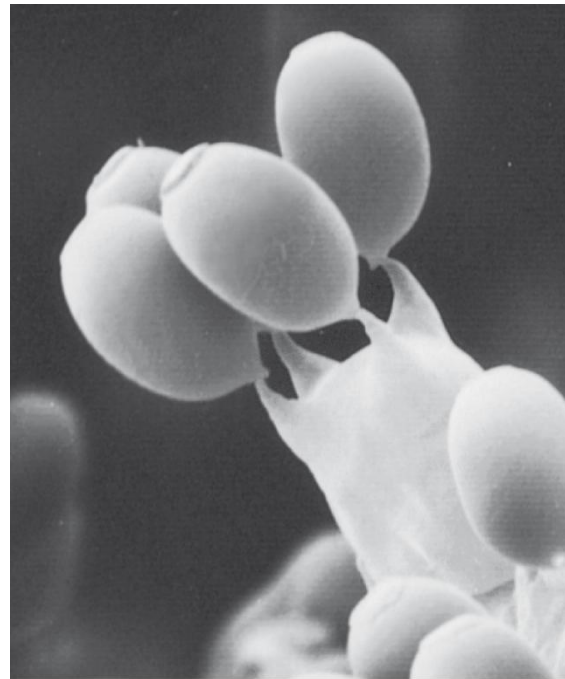
Le spore del ciclo sessuale (meiospore:ascospore, basidiospore e zigospore)



(b)

25 μm

asco



10 μm

basidio



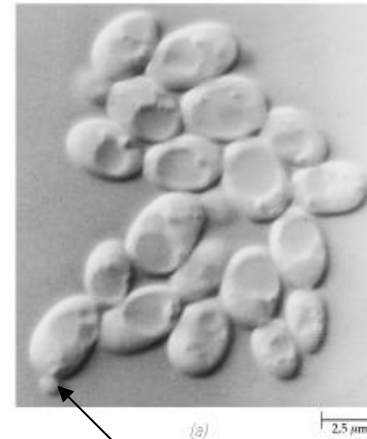
(b)

zigosporangio

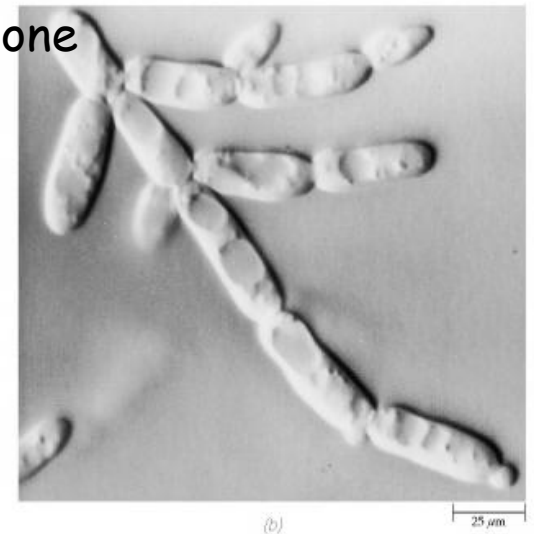
I lieviti

Presentano organizzazione unicellulare e filamentosa
Hanno riproduzione asessuale per scissione o gemmazione.
Formano aschi che non sono racchiusi in corpi fruttiferi.
Di alcuni non è noto il ciclo sessuale (deuteromiceti).

Aschi con
otto
ascospore



gemmazione



Forma filamentosa del
lievito del pane.

Un tempo si riteneva che *Saccharomyces cerevisiae* esistesse solo in forma unicellulare, successivamente sono state osservate anche le forme filamentose.

Alcuni lieviti si riproducono sessualmente. Ogni cellula aploide può fondersi con un'altra cellula aploide dando origine ad uno **zigote che rappresenta l'ASCO**. La meiosi ha luogo nell'asco.

Sono noti circa 600 specie di lieviti, la maggior parte è rappresentata da ascomiceti, in minor misura da basidiomiceti.

Phylum ZYGOMYCOTA o ZIGOMICETI

La maggior parte degli zigomiceti vive su materiale organico in decomposizione.

Specie terrestri saprofite
Assenza di forme flagellate

Il micelio è cenocitico.

La riproduzione asessuale avviene, in tutti gli zigomiceti, mediante la produzione di spore aploidi non flagellate prodotte in sporangi specializzati portate dalle ife.

Le spore sessuali **ZIGOSPORE**, prodotte all'interno di zigosporangi, derivano dalla plasmogamia di terminazioni ifali specializzate.

Muffa Rhizopus su pesche



Una delle specie più comune è rappresentata dalla muffa nera del pane, *Rhizopus stolonifera*

Questo fungo forma masse cotonose sulla superficie esposta all'aria di cibi umidi e ricchi di carboidrati.

Il micelio è costituito da ife anroidi. Da queste ife si sviluppano ife aeree

Gli stoloni formano e le estremità toccano un substrato dove si sviluppa un filamento

La parte terminale dello sporangio contiene numerosi nuclei. Intorno ad ogni nucleo si forma una cellula, queste si separano per formare le spore mitotiche che vengono liberate.

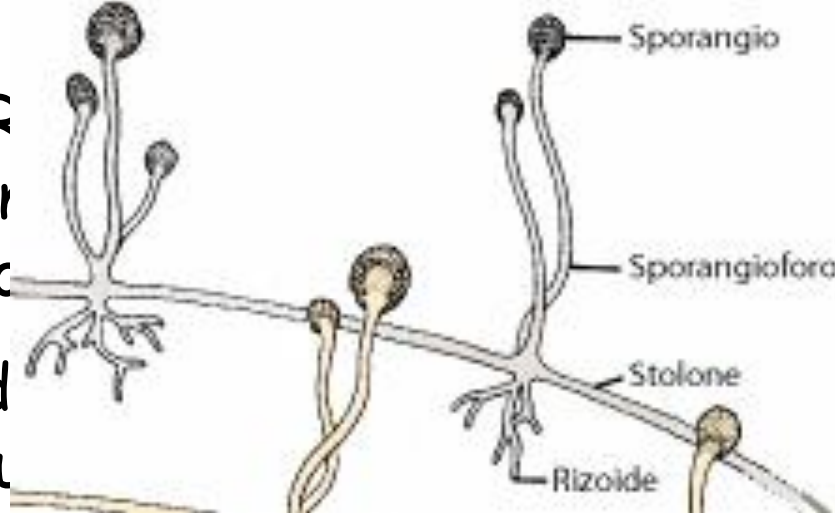


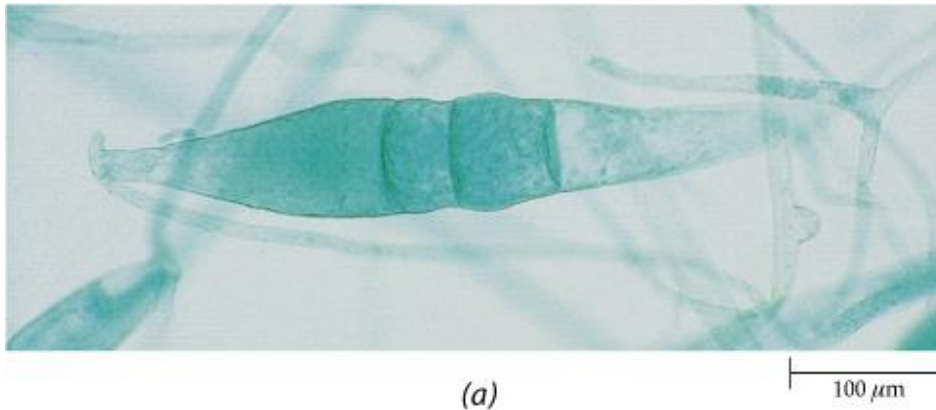


Figura 23.10
Rizoidi di *Rhizopus* (osservazione di O. Maggi).

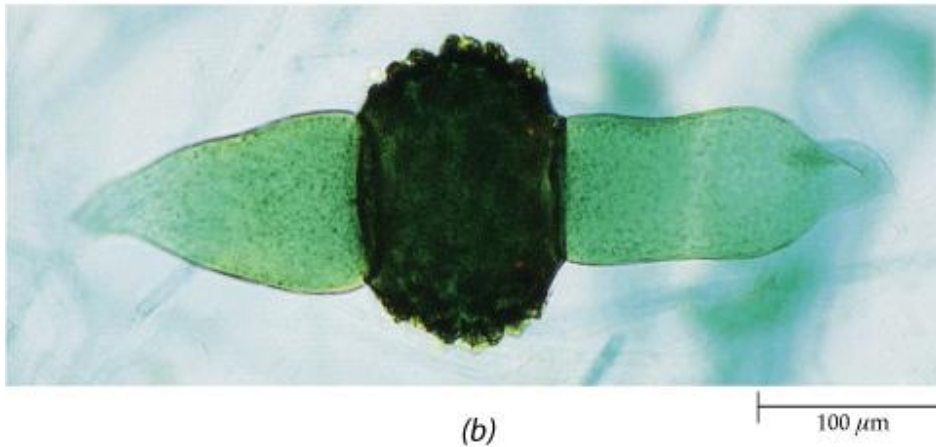


Figura 23.9
Sporangi di *Rhizopus* con sporangiospore (osservazione di O. Maggi).

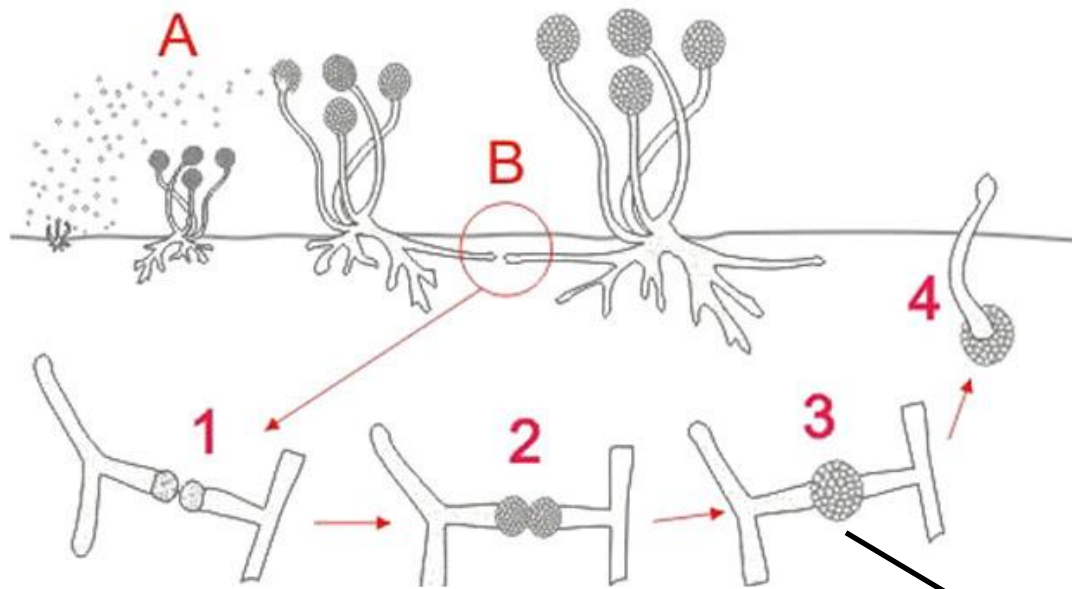
Gametangiogamia e formazione della zigospora



Gametangi
che si
fondono



Zigosporangio



A) Riproduzione asessuata da spore
B) Ripr. sessuata: formazione delle zigospore

- 1) attrazione e fusione delle ife di sesso opposto;
- 2) fusione dei gametangi e inizio della formazione dello zigosporangio;
- 3) Zigosporangio con zigospore; 4) germinazione;

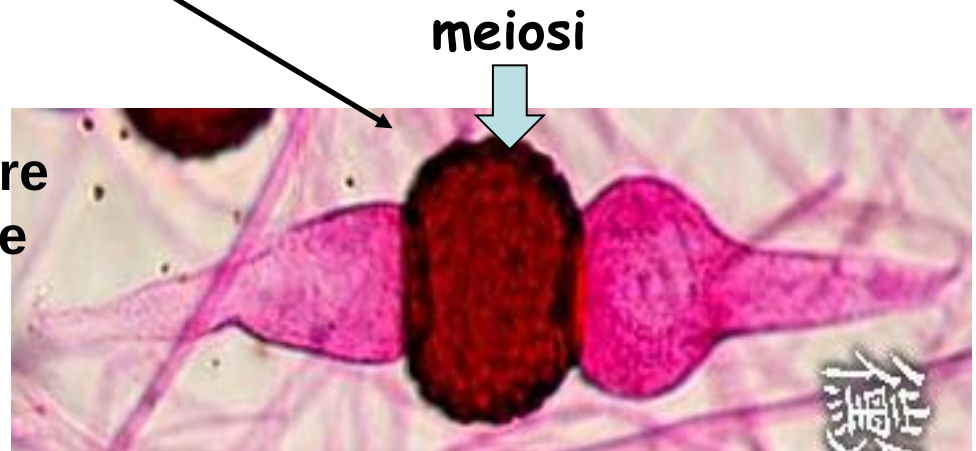
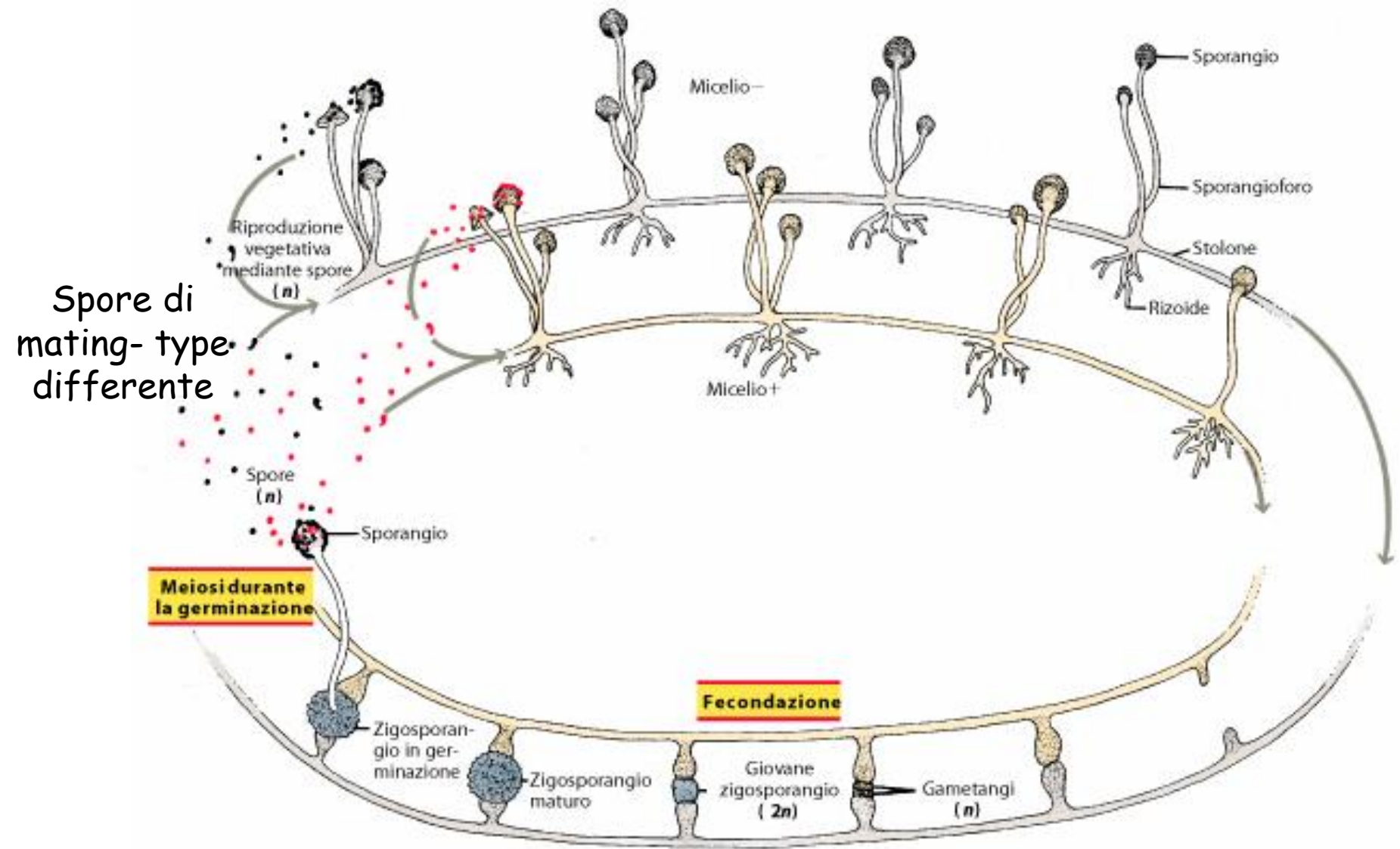




Figura 24.13 Due miceli di mating-type compatibile sono stati inoculati ai lati opposti della piastra Petri. Nei punti d'incontro dei miceli, al centro della piastra, sono avvenuti numerosi eventi di plasmogamia, seguiti da cariogamia, come segnalato dalla presenza delle strutture riproduttive (i corpuscoli scuri).



La riproduzione sessuale prevede quindi la formazione di **ZIGOSPORE** all'interno di **ZIGOSPORANGI**. Gli zigosporangi si circondano di parete spessa.

Divisione ASCOMYCOTA o ASCOMICETI

- Il gruppo più numeroso di funghi (più di 60000 specie!)
- La maggior parte presentano micelio con ife settate e perforate facilmente attraversabili da nucleo e citoplasma.
- La riproduzione asessuale avviene per conidi.
- La riproduzione sessuale comporta la formazione di un carpoforo, contenente **aschi**, in cui ha luogo la meiosi, con produzione di **ascospore**.
- **Gli aschi possono contenere 2, 4 o 8 ascospore.**

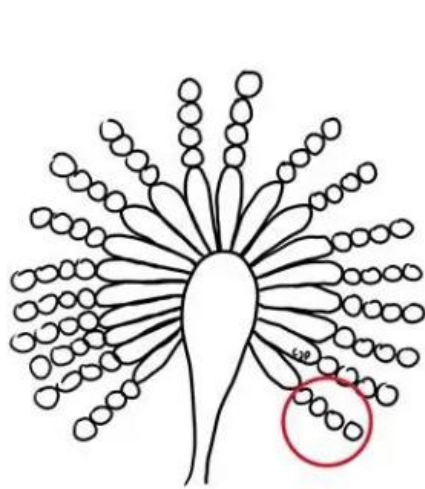


ASCOMICETI

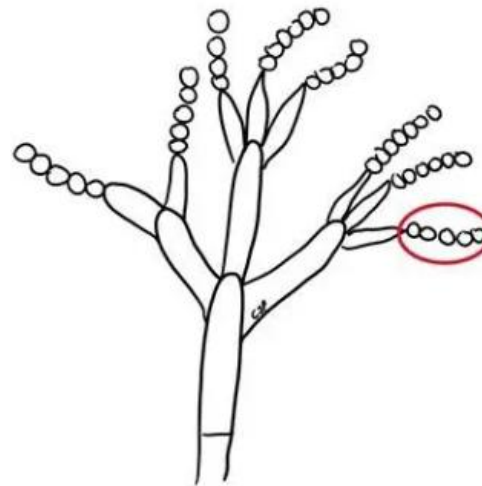
Comprendono forme unicellulari, filamentose e dimorfiche (funghi che cambiano forma in funzione dei parametri ambientali, es. temperatura, possono passare dalla forma filamentosa a quella unicellulare) (es: **lieviti, tartufi, Neurospora, Penicillium**), oppure funghi con micelio.

Metabolismo: si nutrono prevalentemente di biomassa, viva o morta, secernono numerosi enzimi → demoliscono praticamente tutto

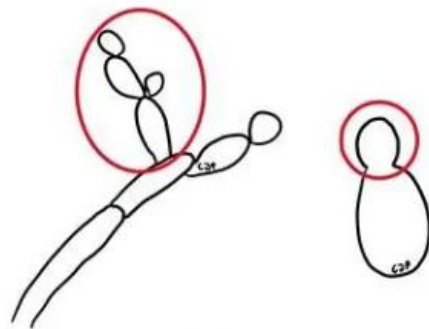
Distribuzione: presenza ubiquitaria, perfino in Antartide.



Fialospore



Porospore



Blastospore



Tallospore

Figura 7 – Alcuni tipi di conidi (Fonte: Cecilia Panzetti)

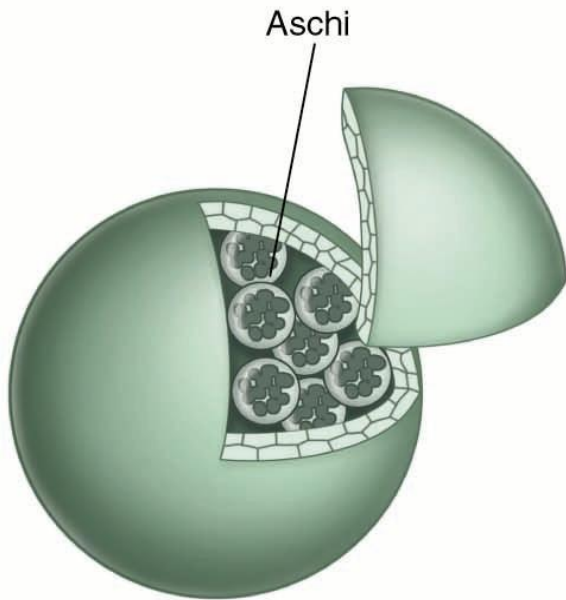
Conidi (spore mitotiche) di ascomiceti

Gli aschi si formano in una struttura ifale strettamente intrecciata, il carpoforo, detto **Ascocarpio (ascoma)**. Un ascocarpio può essere aperto, chiuso e sferico o a forma di fiasco.

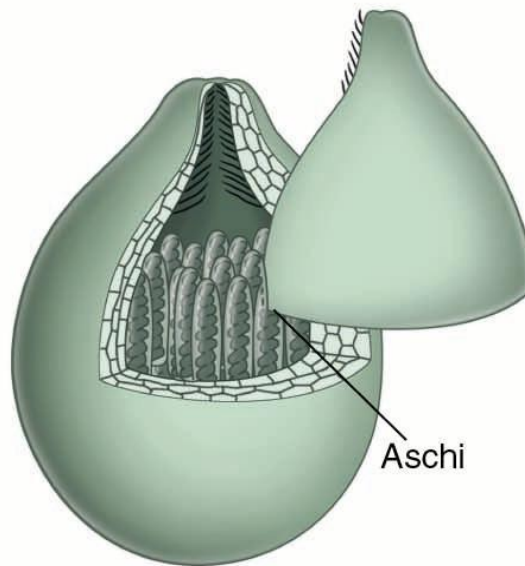
Gli aschi si formano sulla superficie interna dell'ascocarpio e lo strato in cui si formano è detto **IMENIO**.

Un ascoma è formato dall'imenio lo strato fertile con gli aschi e dal peridio strato di ife sterili esterne di protezione.

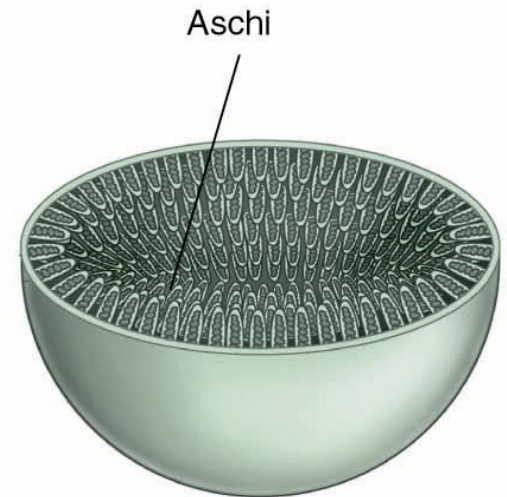
Esempi di corpo fruttifero degli ascomiceti



Cleistotecio



Peritecio

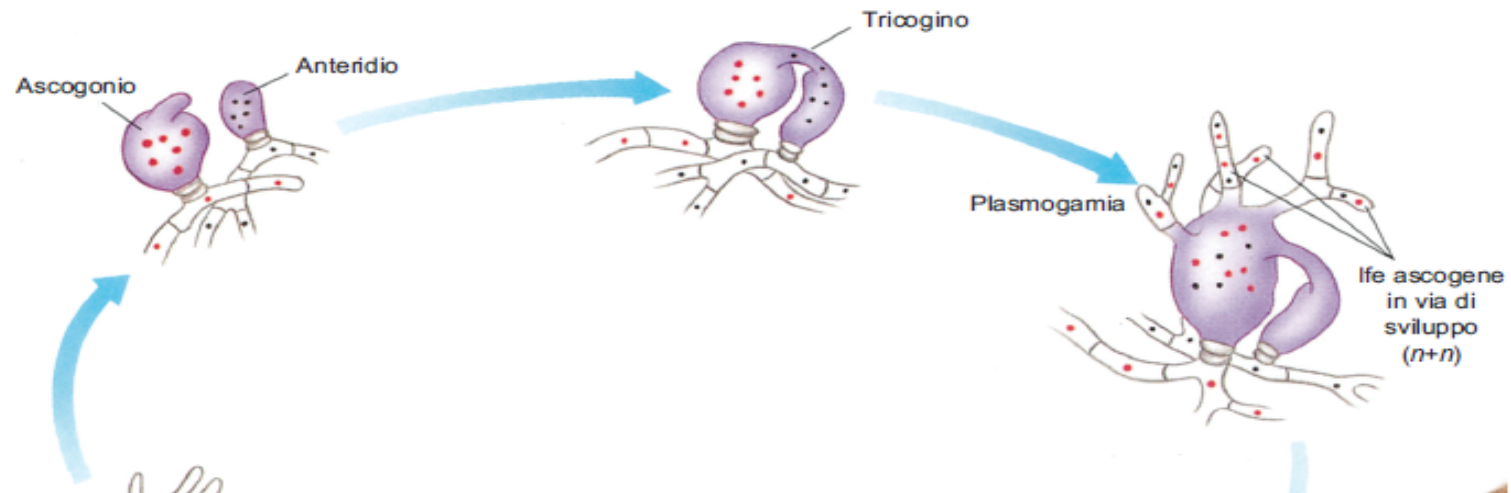


Apotecio

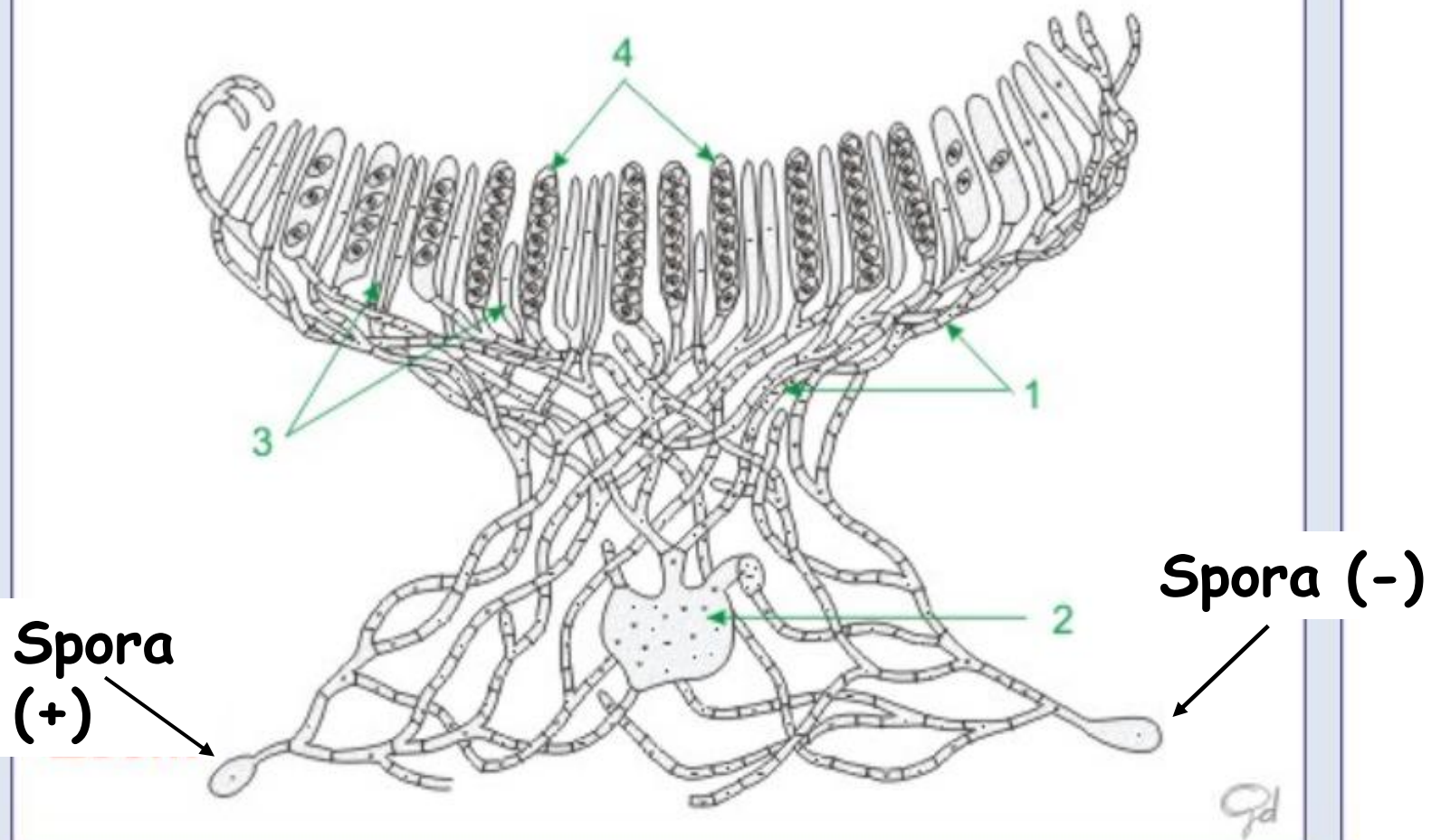
La riproduzione sessuale è preceduta dalla formazione di gametangi plurinucleati chiamati **Anteridi** e **Ascogoni**.

I due gametangi devono venire a contatto, la fusione avviene tramite la formazione di un collegamento detto **TRICOGINO**.

Attraverso il tricogino i nuclei - migrano verso quelli + e **si appaiono ma non si fondono**. Successivamente dall'ascogonio emergono le **ife ascogene** in cui migrano le coppie di nuclei che si separano per formare cellule dicariotiche.



Schema della struttura di un apotecio



Rappresentazione schematica della struttura di un apotecio:

- 1) ife ascogene binucleate (dicariotiche);
 - 2) **ascogonio** fecondato; 3) parafisi; 4) aschi.
- (da Gerola 1988 - ridisegnato)

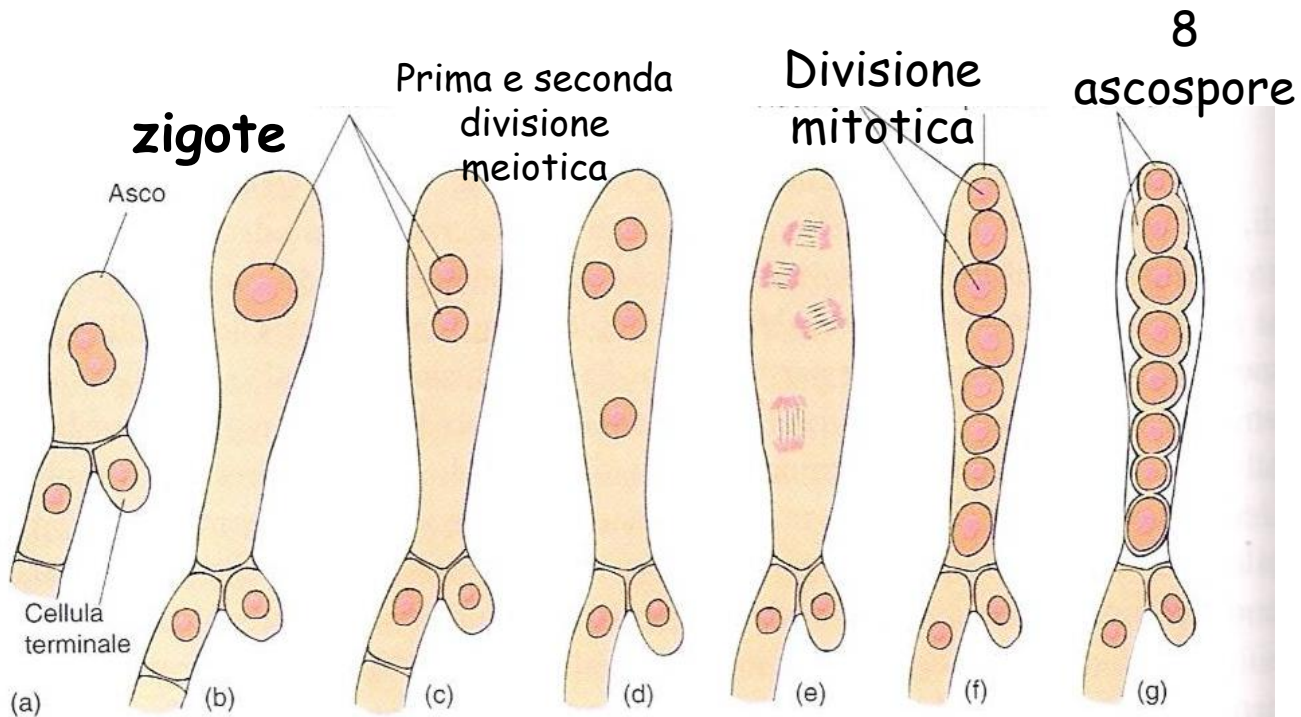
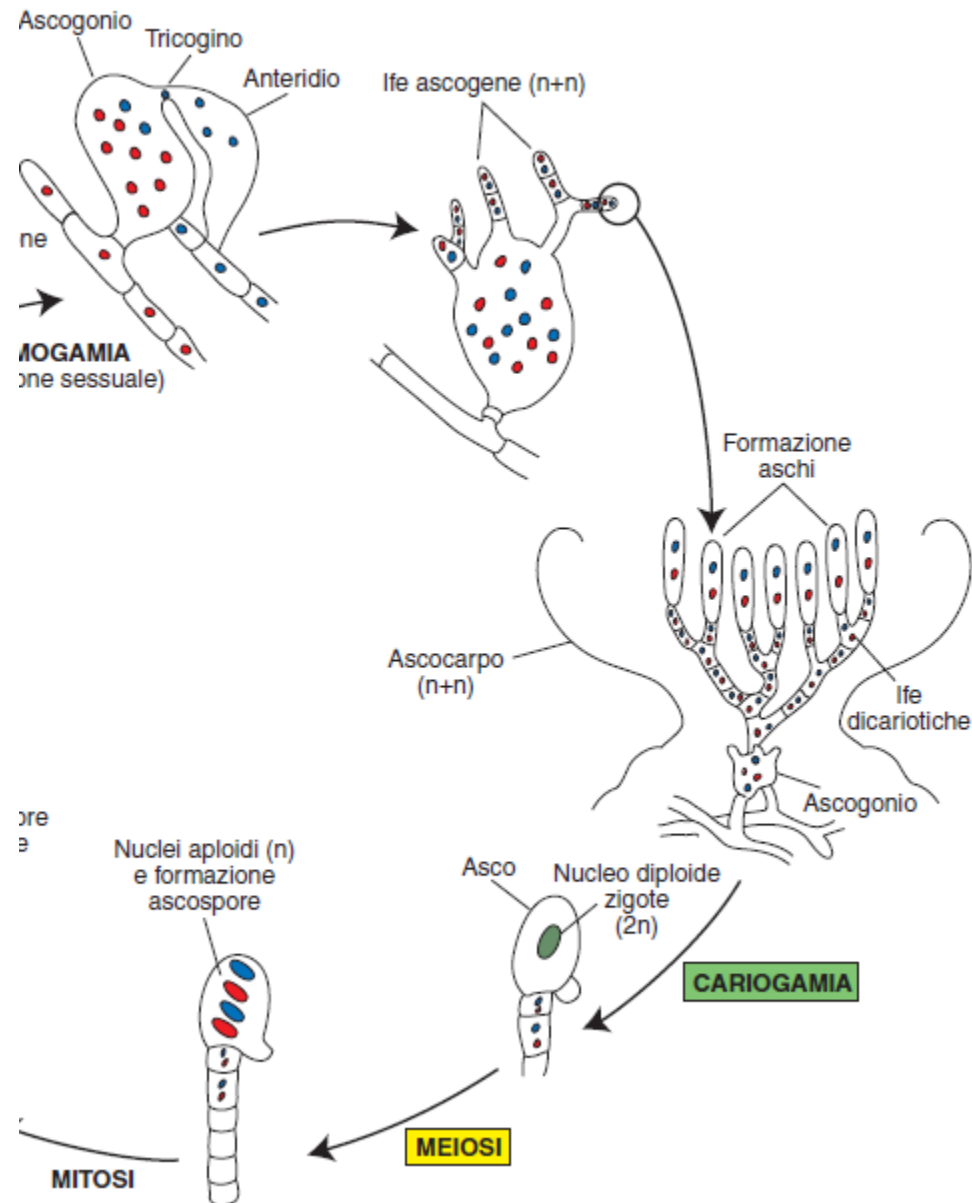


Figura 4.28 - L'asco, carattere diagnostico degli ascomiceti, deriva dal compartimento subapicale dell'ifa ascomigena, ripiegata ad uncino. In esso si verifica la cariogamia tra i due nuclei del dicarion e, subito dopo, la meiosi. Frequentemente la meiosi è seguita da una divisione mitotica, a dare otto nuclei, che si trasformano in altrettante ascospore (numeri di ascospore inferiori o superiori a otto sono tuttavia possibili). Il differenziamento delle ascospore comporta la suddivisione del protoplasma in unità uninucleate, delimitate da parete.

I due nuclei nell'asco si fondono formando l'unico nucleo diploide, zigote, di un ascomicete. Subito dopo la cariogamia avviene la meiosi e si formano 4 nuclei aploidi, segue una divisione mitotica per cui alla fine in ogni asco sono presenti 8 nuclei. Questi nuclei si separano dando origine a cellule distinte che sono le ascospore.

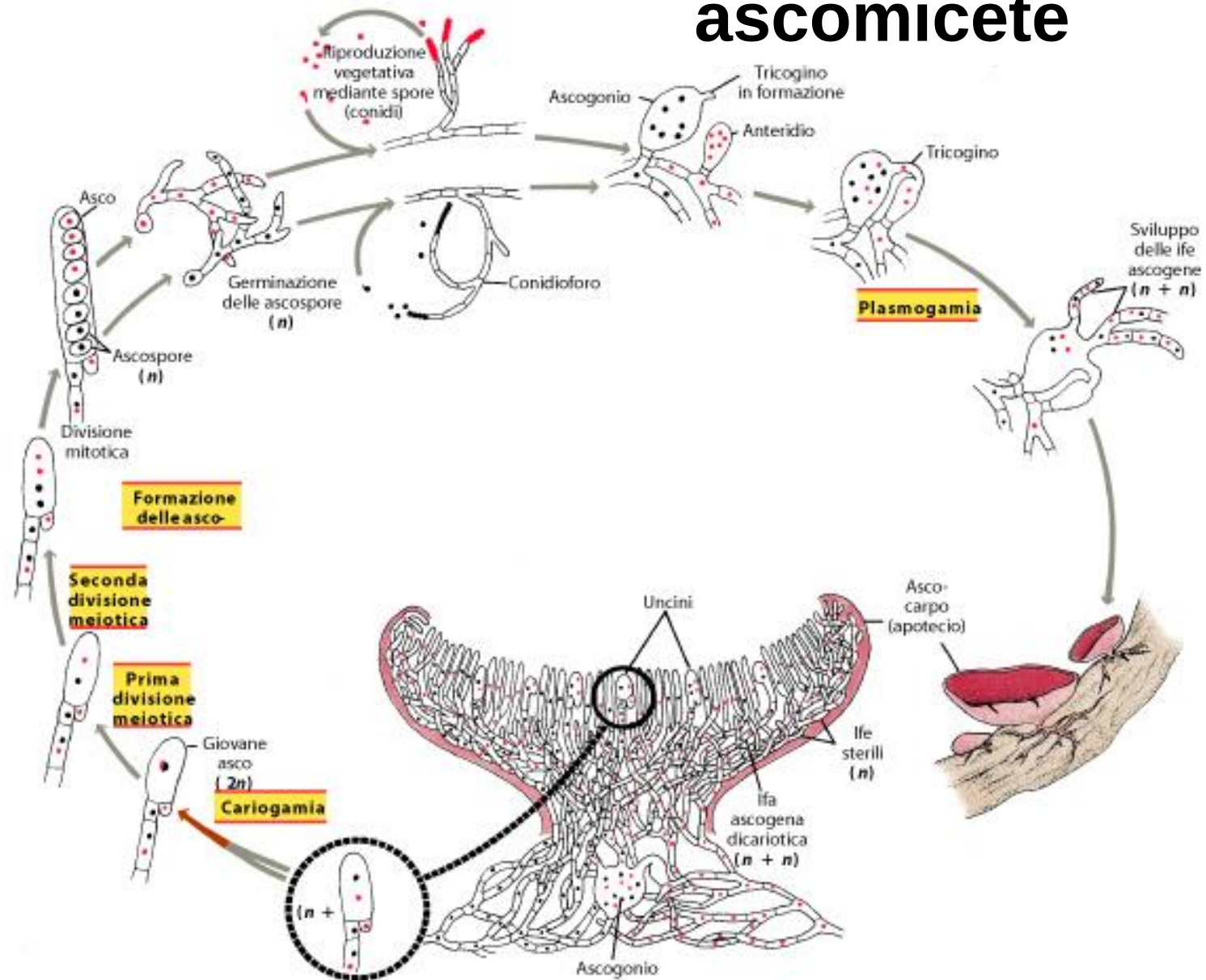
L'ifa dicariotica si accresce a forma di uncino, in questa cellula uncinata i due nuclei si dividono e i rispettivi fusi mitotici sono disposti parallelamente tra di loro. **Si formano 4 nuclei che vengono ripartiti in 3 cellule**, quella centrale con 2 nuclei diventa l'asco.

Quindi dalla cellula sub-terminale di un ifa ascogena si forma l'asco.



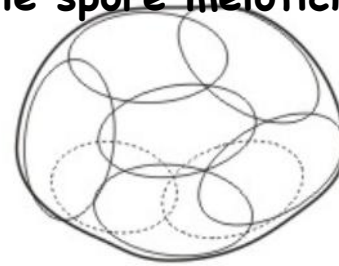
Ricapitolando:

Ciclo metagenetico di un ascomicete

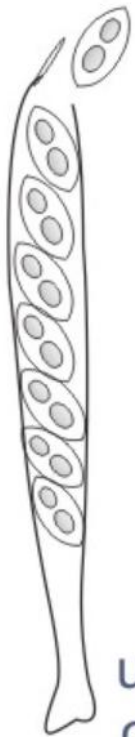


Tipi di Aschi

Non ha aperture per la liberazione delle spore meiotiche



prototunicato



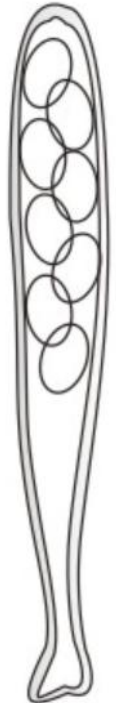
unitunicato
opercolato



unitunicato
inopercolato

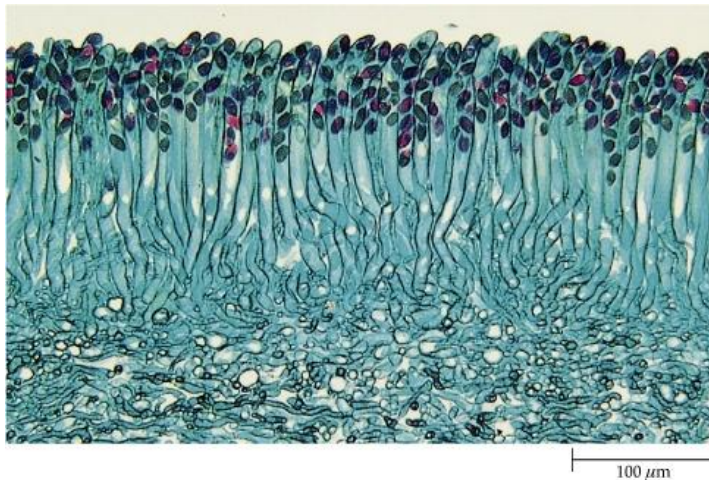
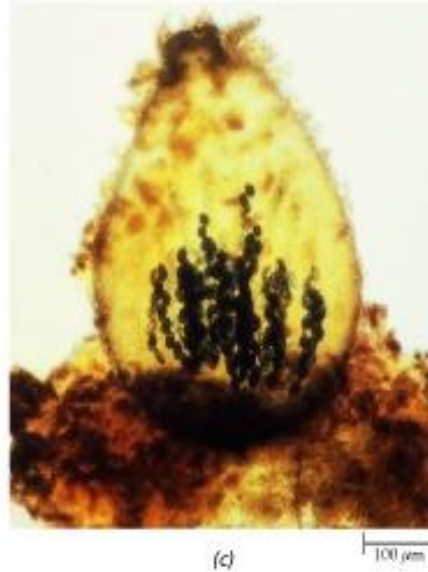
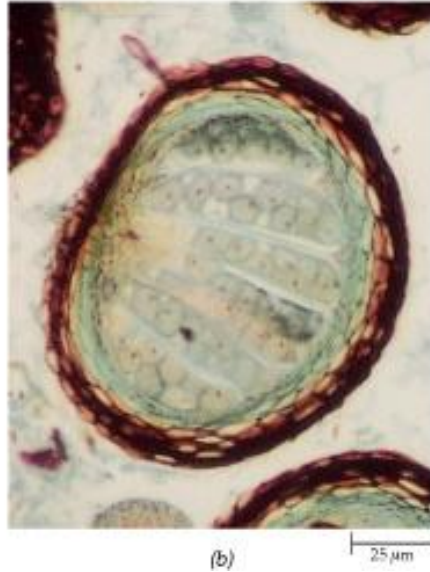
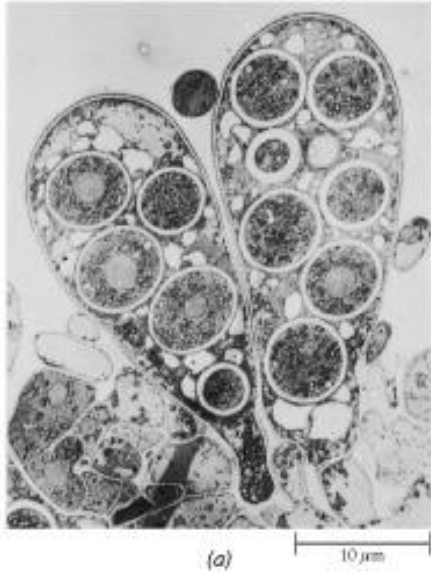


bitunicato



Qd

Gli aschi e le ascospore



Imenio di una
spugna con aschi
portanti ascospore

Scutellinia scutellata



(a)



(b)

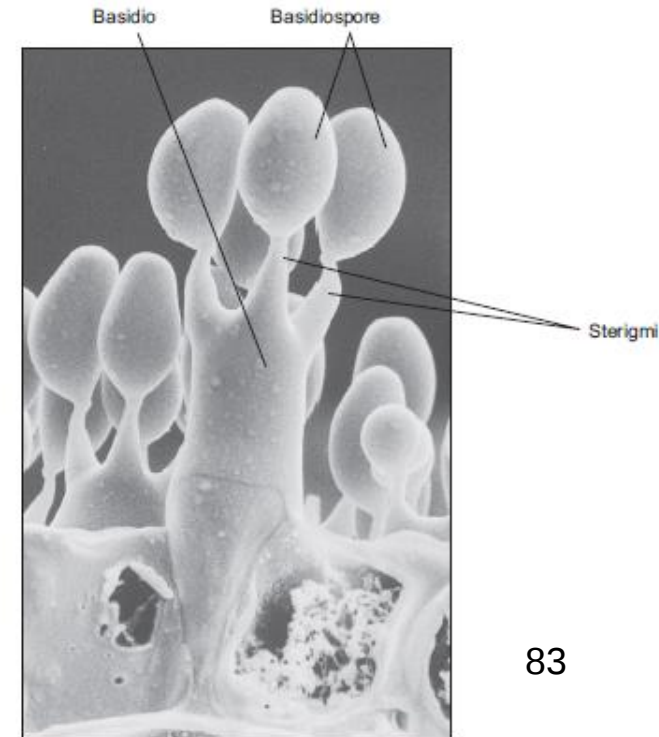
Tuber melanosporum



Divisione **BASIDIOMYCOTA** o **BASIDIOMICETI**

Oltre 30000 specie, comprendono **funghi commestibili** (parte edule è il corpo fruttifero), **ruggini** (patogeni di cereali e piante), **carboni** (parassiti di piante)

Funghi nei quali le spore della riproduzione sessuale maturano all'esterno (quindi MEIOSPORE ESOGENE) di strutture dette **BASIDI**, portate da sottili filamenti detti **STERIGMI**

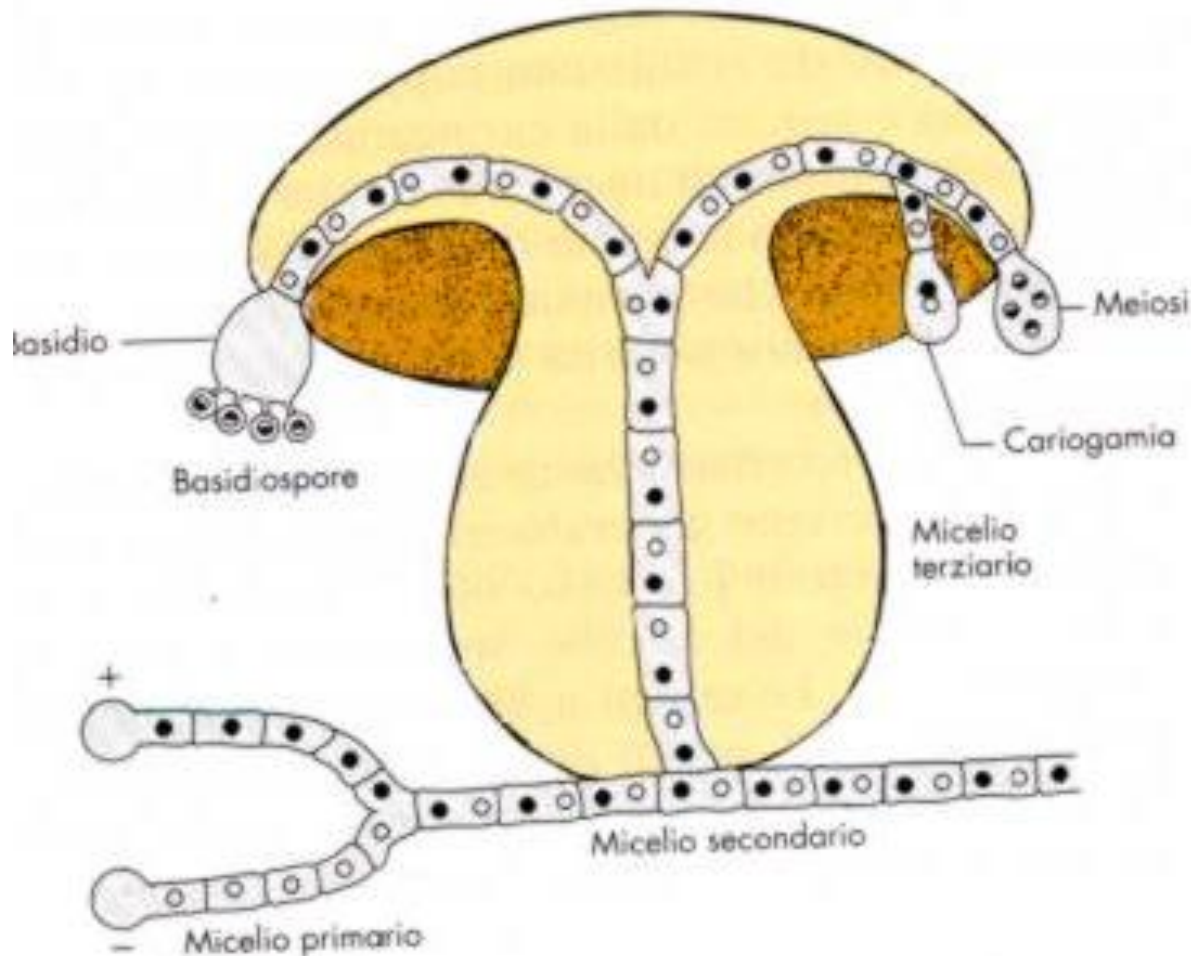


Funghi con micelio sempre settato a tre fasi:

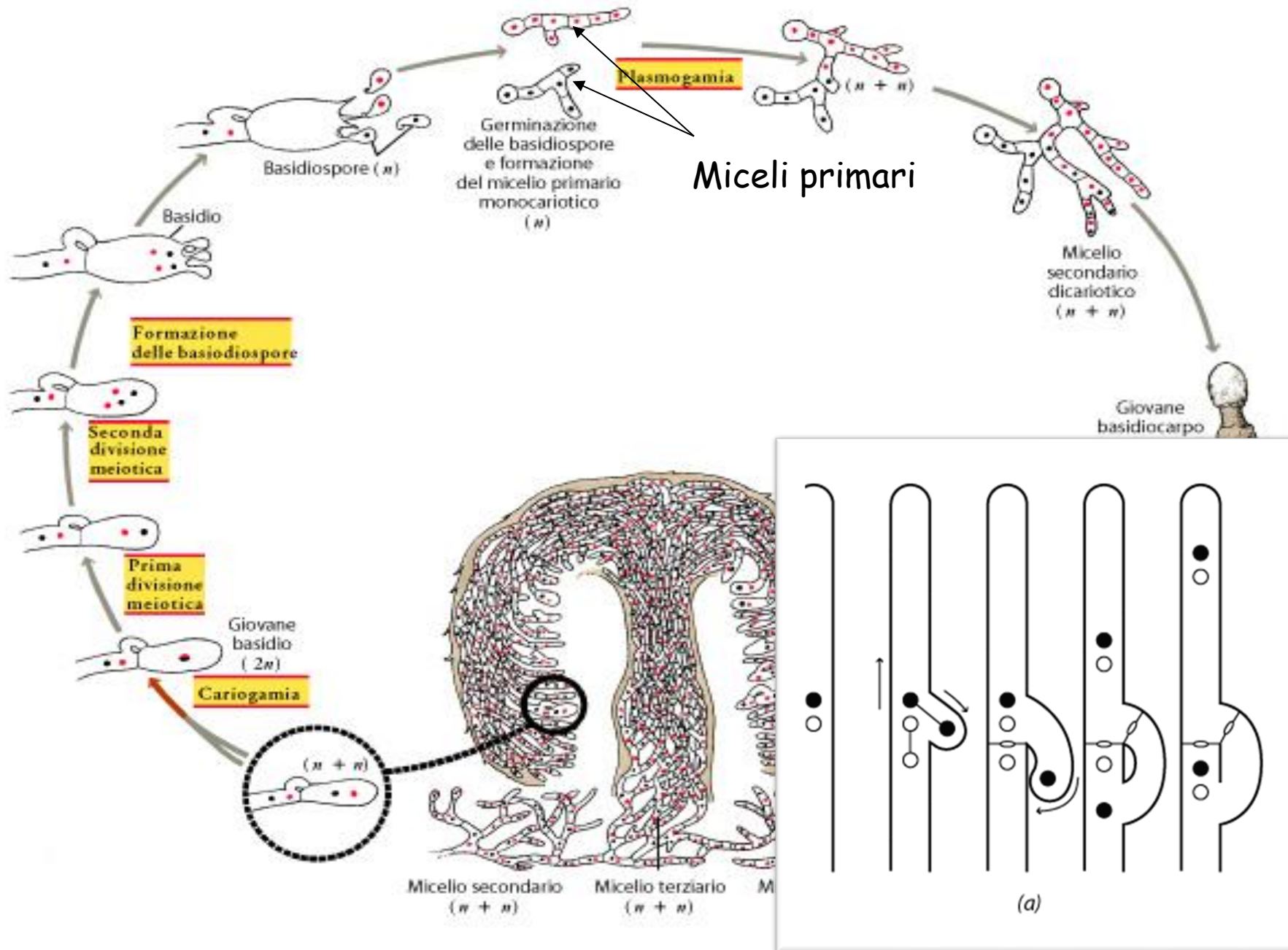
- A) **micelio primario** (deriva dalla germinazione della basidiospora, inizialmente sifonato, poi settato, a cellule aploidi)
- B) **micelio secondario** (si forma di solito per fusione di ife primarie eterotalliche) è dicariontico ($n + n$), quindi settato a cellule binucleate
- C) **micelio terziario** (è settato e dicariontico, costituisce il corpo fruttifero, detto basidiocarpo o basidioma).

Quindi:

L'ifa che si forma per germinazione delle meiospore, **BASIDIOSPORE**, forma il micelio primario. L'incontro di due differenti miceli primari da origine ad un micelio secondario.



Ciclo riproduttivo dei Basidiomiceti





(b)

1 μm

Conessioni a fibbia, le ife dicariotiche formano connessioni durante la divisione cellulare all'apice dell'ifa. Queste connessioni servono ad assicurare la corretta distribuzione, nel basidiocarpo, dei due nuclei geneticamente diversi.

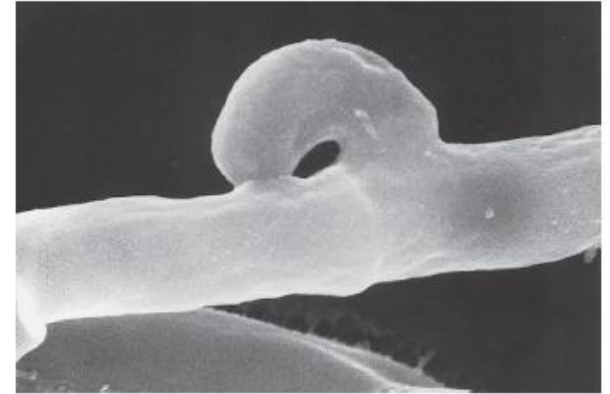
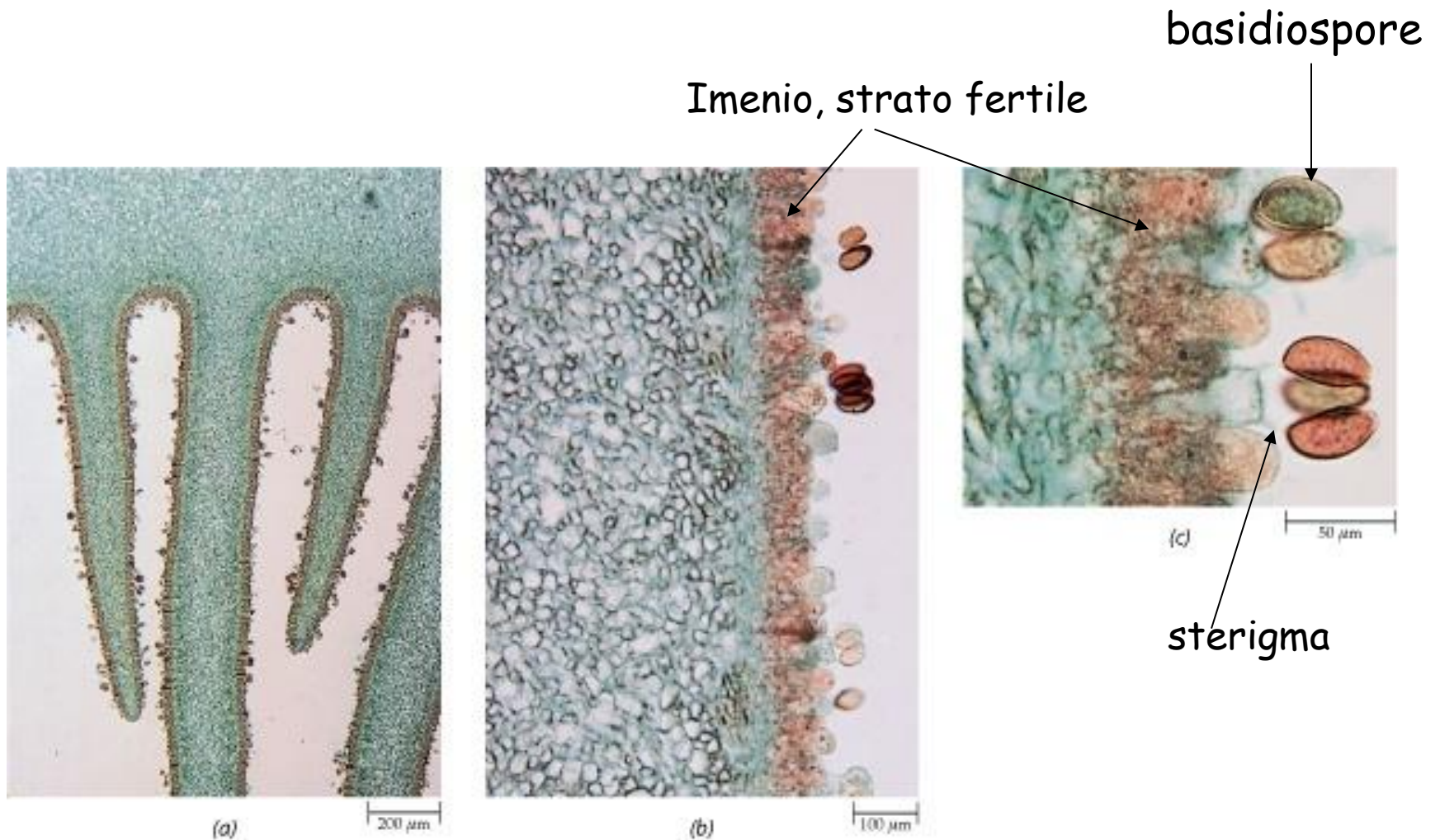


Figura 23.27

Unione a fibbia (osservazione di L. Quadraccia). 87



Lamelle di un fungo a cappello

Esempi di basidiomiceti: Amanita, poliporo, fungo a mensola, fungo corallo



(a)



(b)



(c)



(d)



(b)

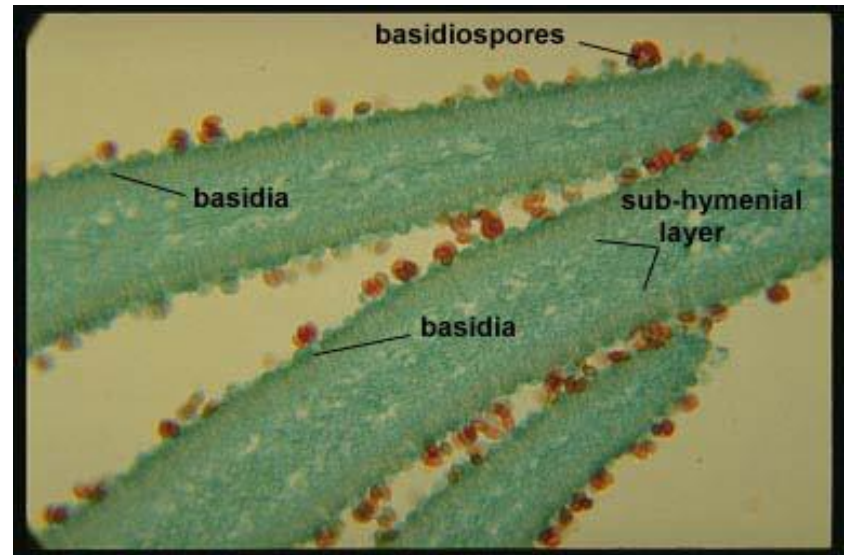




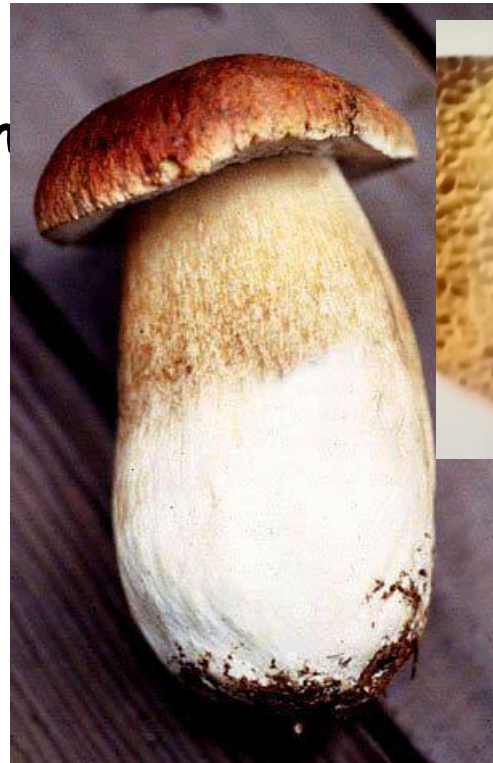
Figura 23.29
Imenio a lamelle di *Agaricus arvensis* (foto di L. Lunghini).



**Imenio
con
lamelle**



**Imenio con
aculei**



**Imenio con
tubuli**



Il cerchio delle streghe, formato dal fungo
Marasmius oreades

L'evoluzione premia i basidiomiceti

- La riproduzione sessuale comporta un **ciclo aplo-dicariontico** con formazione di uno sporocarpo contenente **basidi**, nel cui interno ha luogo la meiosi con produzione di spore **esogene**, le **basidiospore**.
- basta un incontro tra ife eterotalliche primarie nella vita perchè produca negli anni sempre nuovi basidiocarpi (e basidiospore). Al contrario l'ascomicete per ogni ciclo sessuale necessita di un nuovo incontro fra ascogonio ed anteridio.

I carboni e le ruggini sono responsabili di gravi malattie delle piante



Sori (gruppi di spore) di una ruggine su una foglia di una pianta di more

Applicazioni per l'agricoltura e l'ambiente

- Degradazione di pesticidi ed erbicidi (sostanze xenobiotiche) nel suolo anche tramite bioaccumulo
- Biocontrollo delle piante infestanti
- Uso di funghi endo ed ectomicorrizici per migliorare la crescita delle piante
- Rimozione ed eventualmente recupero (oro e argento) di ioni metallici, perché?

- Perché i funghi contengono CHITOSANO (chitina deacetilata) nella parete cellulare, ed è qui che si accumulano gli ioni anche di METALLI PESANTI, così che si possa ottenere ad esempio un miglioramento della qualità dell'ambiente.

I funghi possono produrre antibiotici



(a)

Penicillium fungo che
produce la penicillina



(b)

Aspergillus fungo
che causa
malattie
respiratorie
nell'uomo

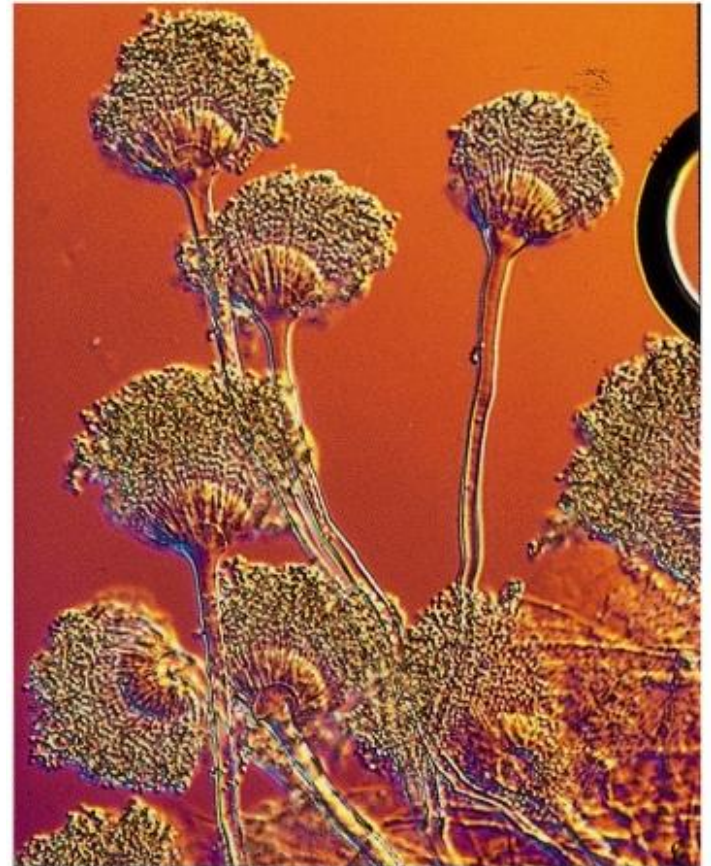
Attualmente il 20% circa degli antibiotici è prodotto da muffe. 98

Molti asperigilli e pennicilli sono deuteromiceti



(a)

Conidiofori di
penicillium (a) e
Aspergillus (b)



(b)

I funghi allucinogeni e tossici

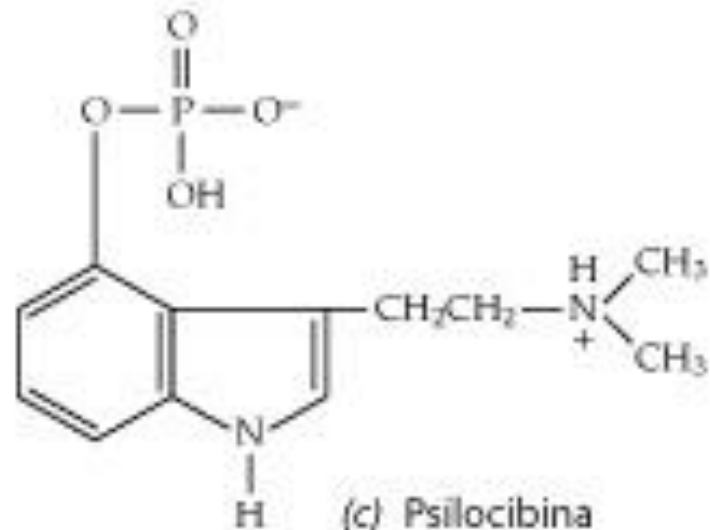


(a)

Fungo allucinogeno, utilizzato durante le cerimonie religiose da popolazioni indigene messicane



(b)



Amanita muscaria (allucinogeno)
Claviceps purpurea

Amanita phalloides (velenoso)
Veleni come la amanitina e la
falloidina distruggono le cellule.

Avvelenamento da funghi

- Le sostanze velenose e a volte mortali sono prodotte da *Amanita phalloides*, *A. virosa* e *A. verna*.
- Si tratta di sostanze (amanitine e falloidine) che agiscono sugli enzimi cellulari; la loro pericolosità risiede nel fatto che non ci sono antidoti e che spesso il riconoscimento dell'avvelenamento non è immediato e perciò le cure adatte sono tardive.



Anche altri funghi producono tossine, che però non hanno conseguenze letali. Comportano disturbi più o meno gravi all'apparato gastro-intestinale, con lesioni ad organi interni, come il fegato.



Figura 23.1.1
Basidiocarpi di *Amanita muscaria* (foto di D. Lunghini).

Tra i funghi più pericolosi



Figura 23.1.3
Basidiocarpi di *Amanita phalloides* (foto di O. Maggi).

Simbiosi MUTUALISTICA

MICORRIZE: Simbiosi fra le radici di piante e funghi. Le ife fungine avvolgono le radici degli alberi formando un denso intreccio, sostituendo funzionalmente i peli radicali.

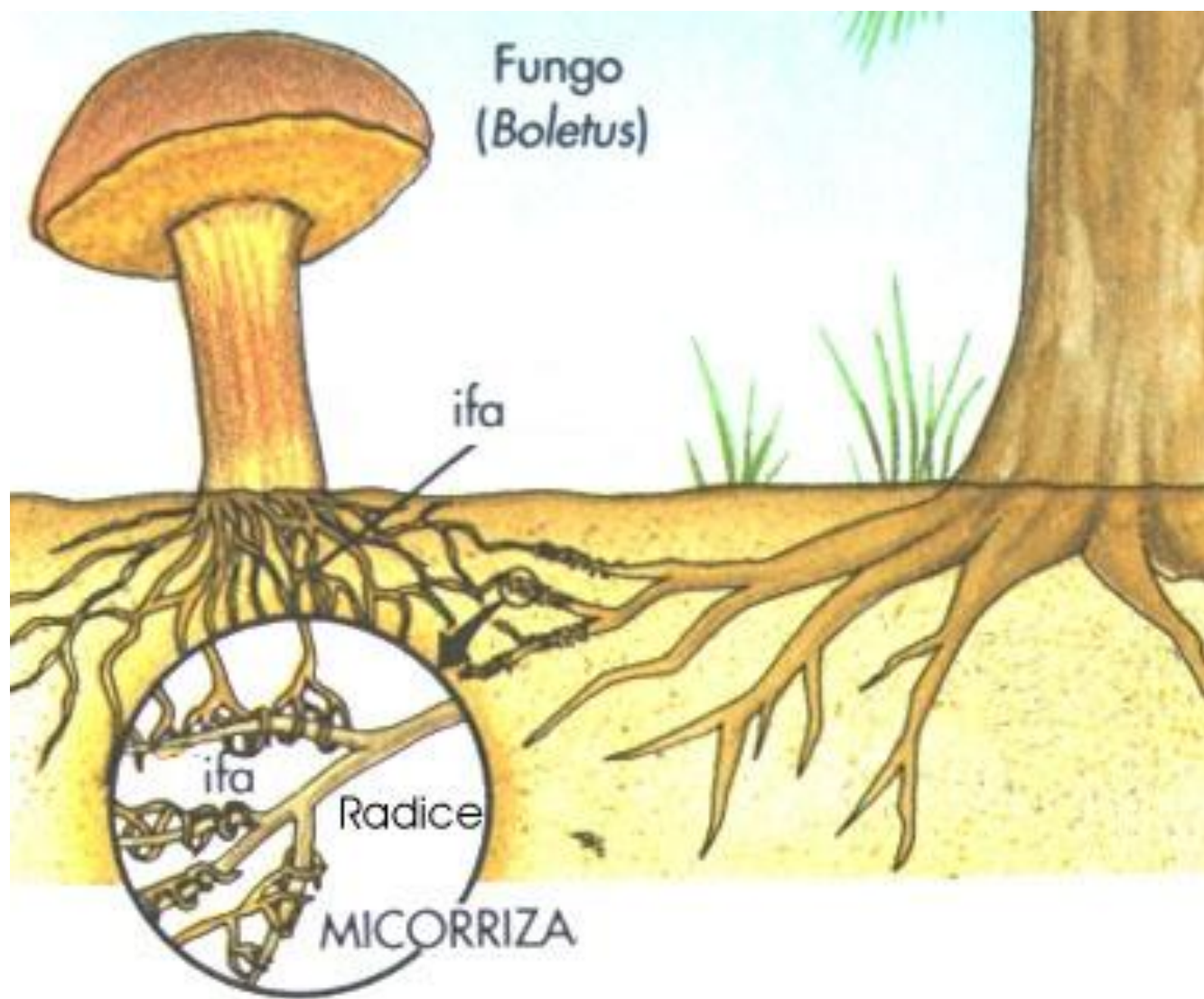
I funghi ricevono i carboidrati dalla pianta

Le piante ricevono:

- **Miglioramento della nutrizione minerale e nell'approvvigionamento dell' H_2O .**
- **Maggior rifornimento di azoto, di fosfati grazie alla decomposizione di humus da parte dei funghi**

Inoltre, i funghi aumentano l'area di assorbimento per l'acqua;

- **Secernono sostanze che stimolano la crescita e la ramificazione delle radici;**
- **Producono antibiotici che proteggono la pianta da funghi e batteri patogeni presenti nel terreno**



Esempi di funghi che partecipano alla formazione di una **MICORRIZA** sono i tartufi e funghi come le russole, le amanite, i porcini, i lattari che vivono quasi esclusivamente in simbiosi con radici di alberi e formano i corpi fruttiferi solo nell'associazione simbiotica.

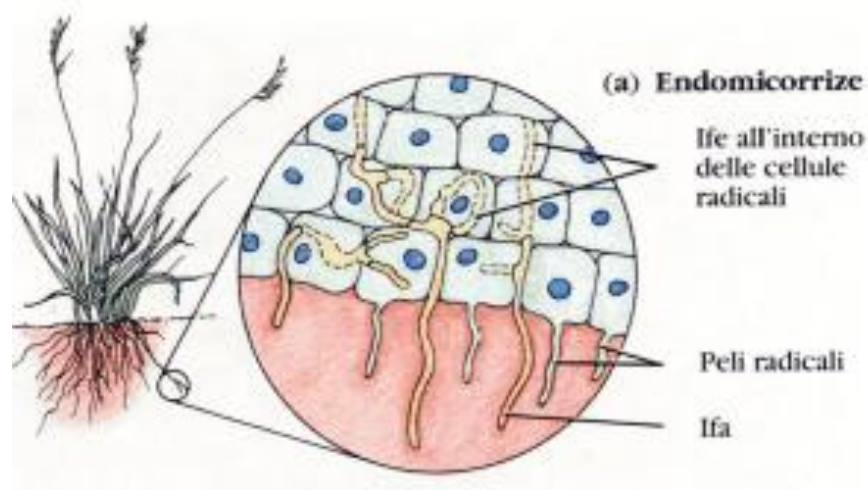
Nelle simbiosi micorriziche vengono messe in atto svariate strategie cellulari e molecolari che consentono al fungo di completare il ciclo biologico e alla pianta di migliorare il proprio sviluppo vegetativo.

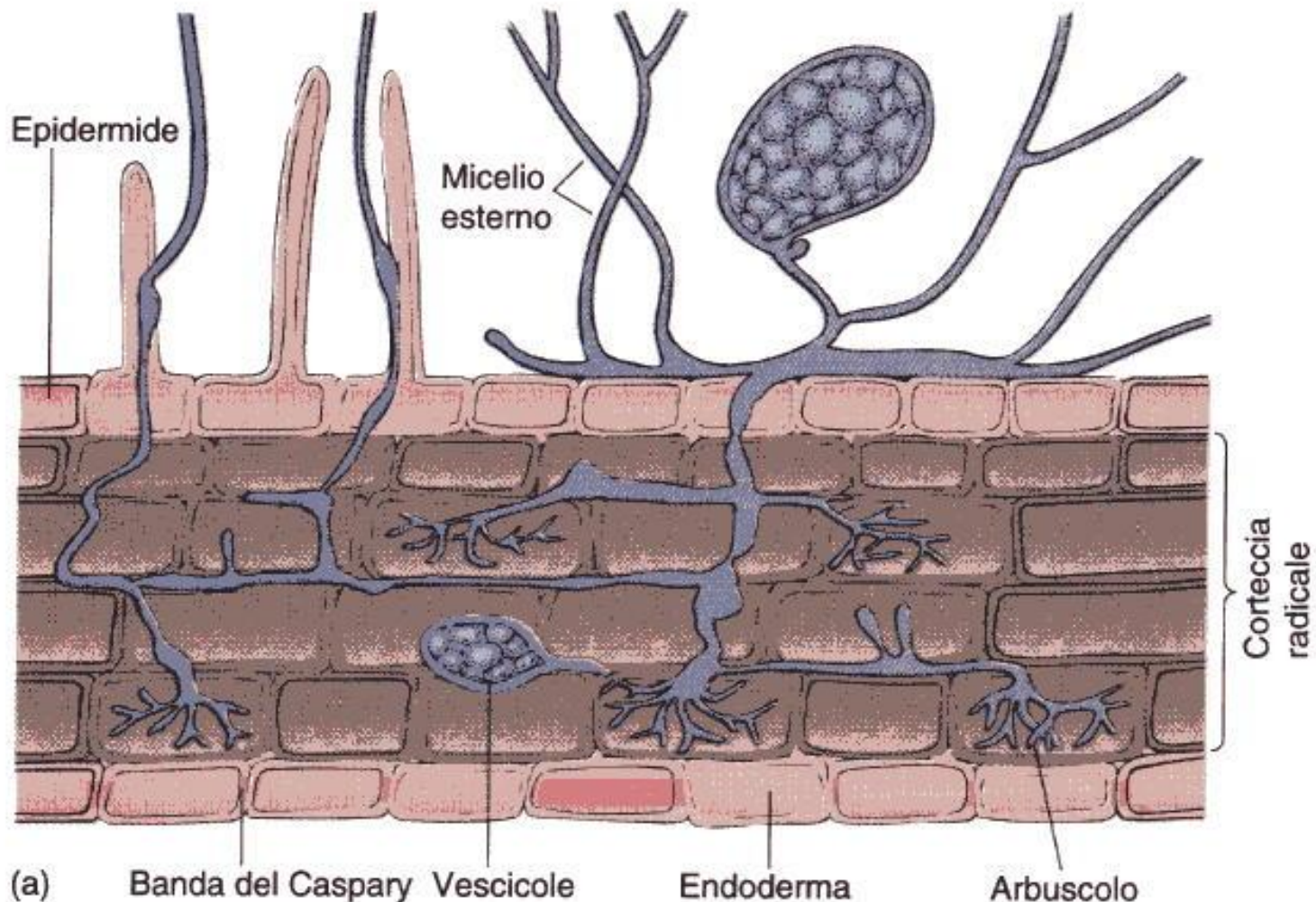
In generale le associazioni micorriziche sono più abbondanti in terreni poveri di sostanze nutritive

- Le micorrize sono di molteplici tipi, le più diffuse sono le
- **ECTOMICORRIZE e le ENDOMICORRIZE**
- Sono diverse per tipo di micobionte, modalità di invasione della radice dell'ospite.
- La relazione nutrizionale fra pianta e micobionte è simile nei due tipi di micorrize.

Le micorrize endotrofiche

- Sono le più comuni associazioni radice- fungo (SONO DIFFUSE NELL'80% delle piante vascolari).
- 30 specie di micobionti sono implicate in questo tipo di associazione, che quindi è altamente ASPECIFICA.
- Le ife invadono le cellule epidermiche e corticali, formando, entro le cellule infettate, ARBUSCOLI e VESCICOLE





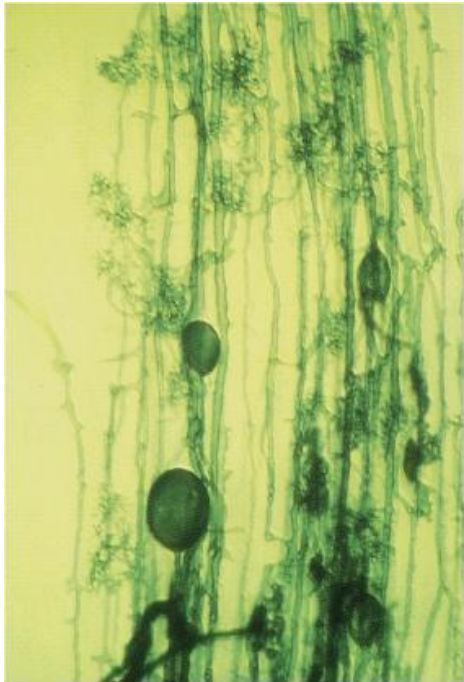
Endomicorrize, formano arbuscoli e vescicole all'interno delle cellule corticali della radice. Gli scambi che si realizzano tra fungo e cellula vegetale si realizzano a livello degli arbuscoli.

Per questo si chiamano **micorrize VA o vescicolo-arbuscolari**

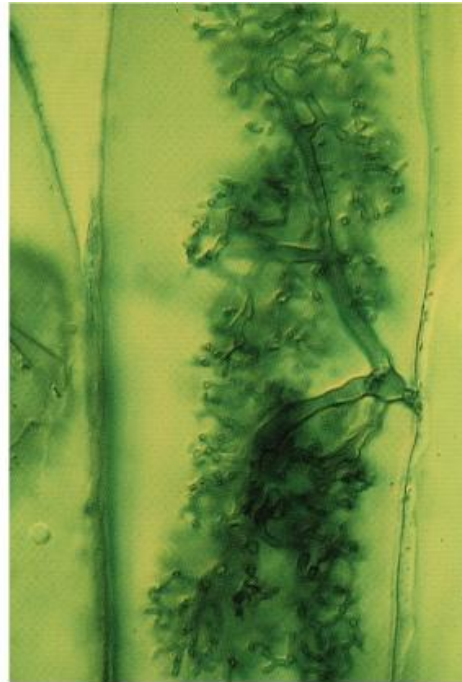
- Non determinano cambiamenti morfologici evidenti nelle radici invase.
- Tra i micobionti ci sono numerosi ZIGOMICETI.

Endomicorrize

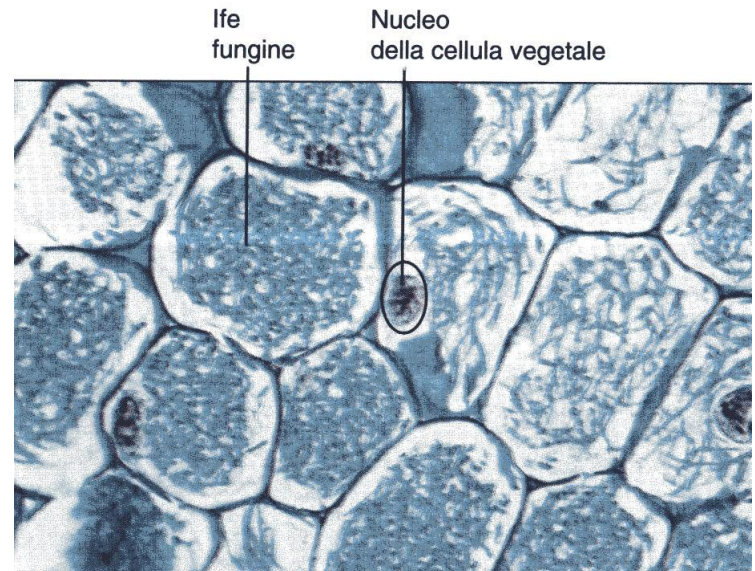
Arbuscoli e vescicole all'interno
di cellule radicali di *Allium*



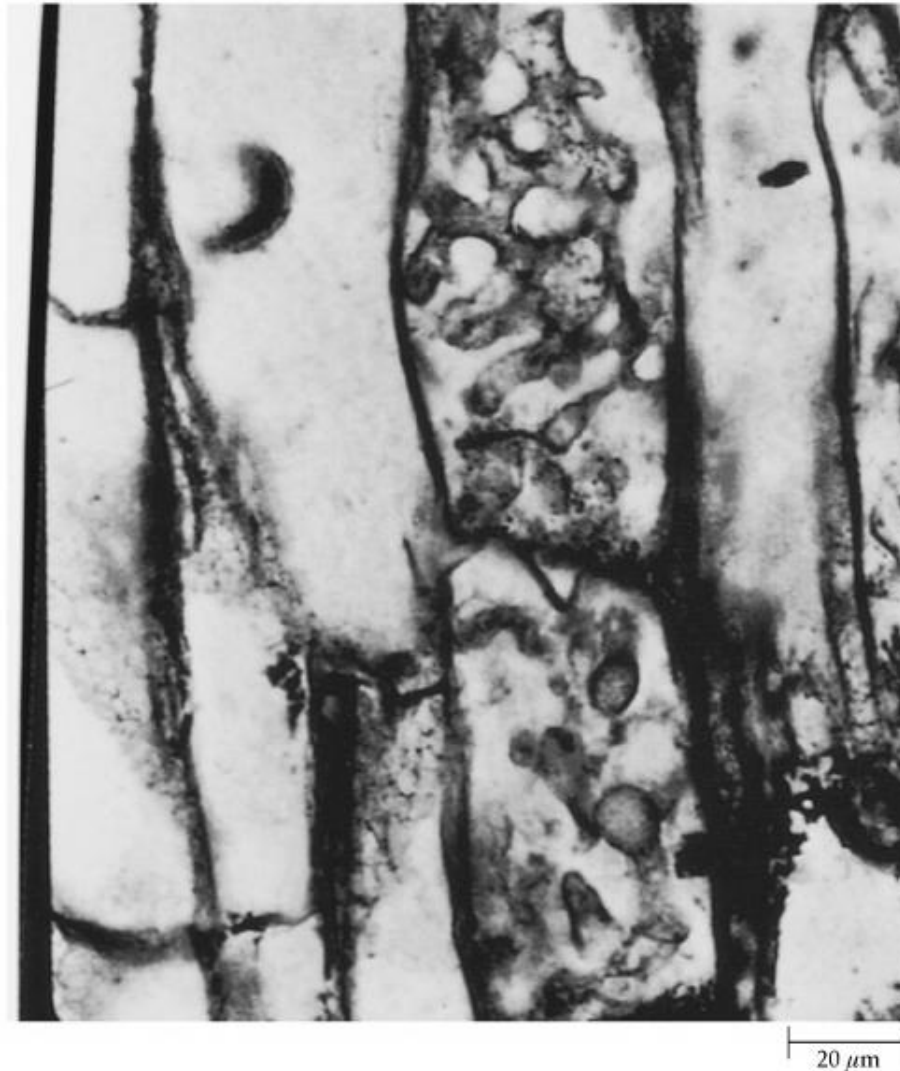
(a)



(b)

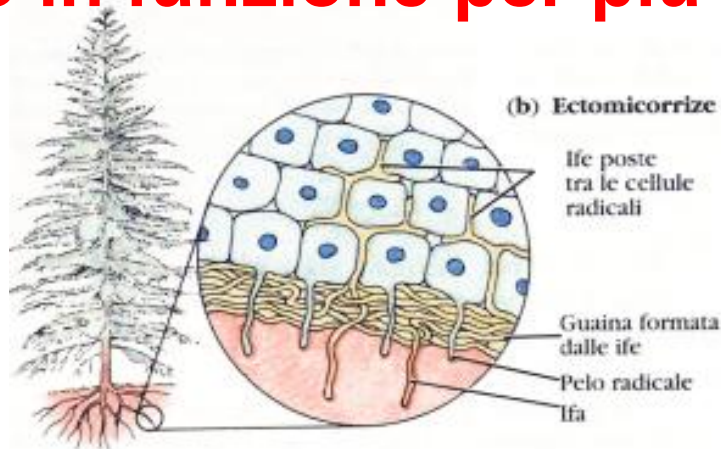


Endomicorrize, sono evidenti gli arbuscoli e le vescicole intracellulari in una radice di gimnosperma



Le ectomicorrize

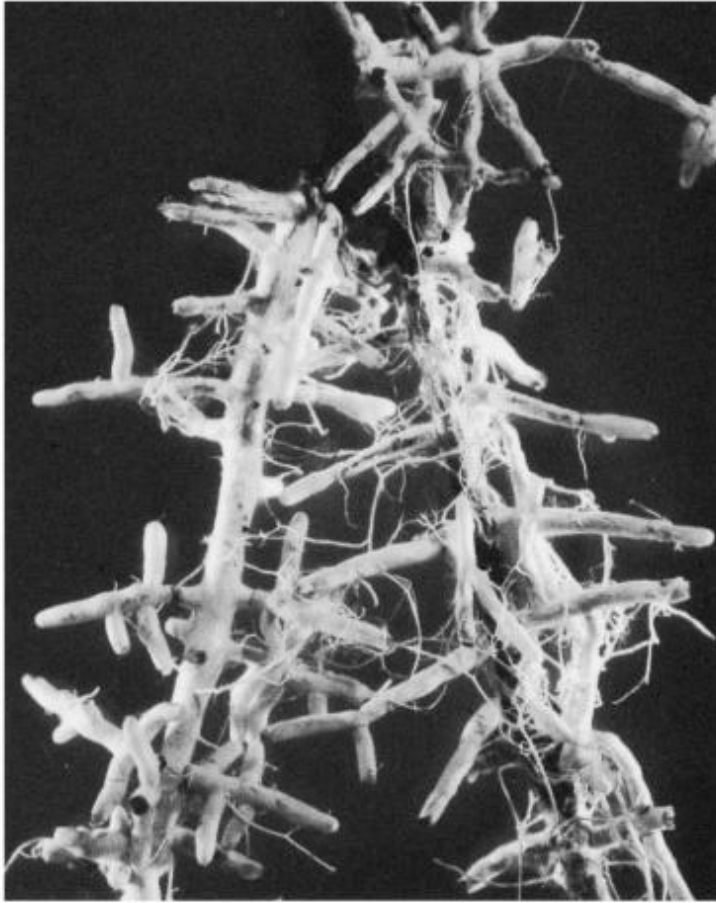
- Le ife formano un mantello intorno alle radici, si accrescono tra le cellule dell'epidermide e della corteccia, ma non penetrano nelle cellule né si estendono oltre la corteccia.
- L'intreccio di ife che si sviluppa negli spazi intercellulari della radice è detto RETICOLO DI HARTIG.
- Vantaggio della simbiosi: mentre le radici laterali non micorrizzate funzionano per un solo anno, le radici con micorrize **restano in funzione per più anni**



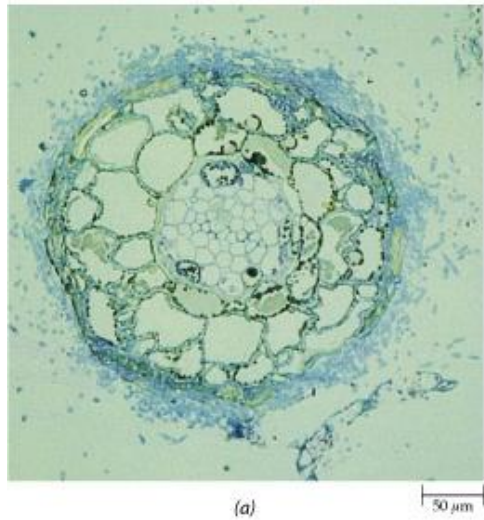
Le ectomycorhize



Ectomicorrize: il fungo forma sulla superficie della radice una guaina di ife

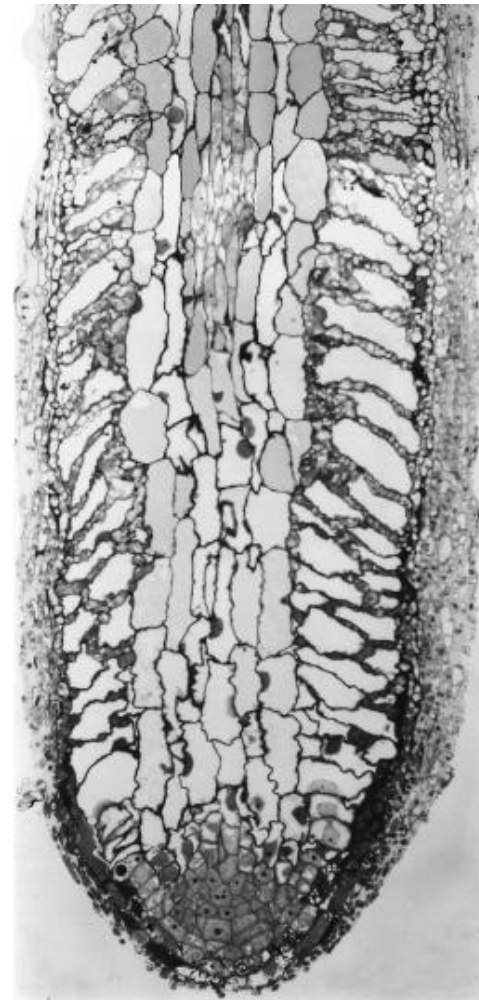


Ectomicorrize



(a)

Radice di Pinus, le ife del fungo hanno formato un mantello intorno ai tessuti tegumentali esterni della radice.



(b)

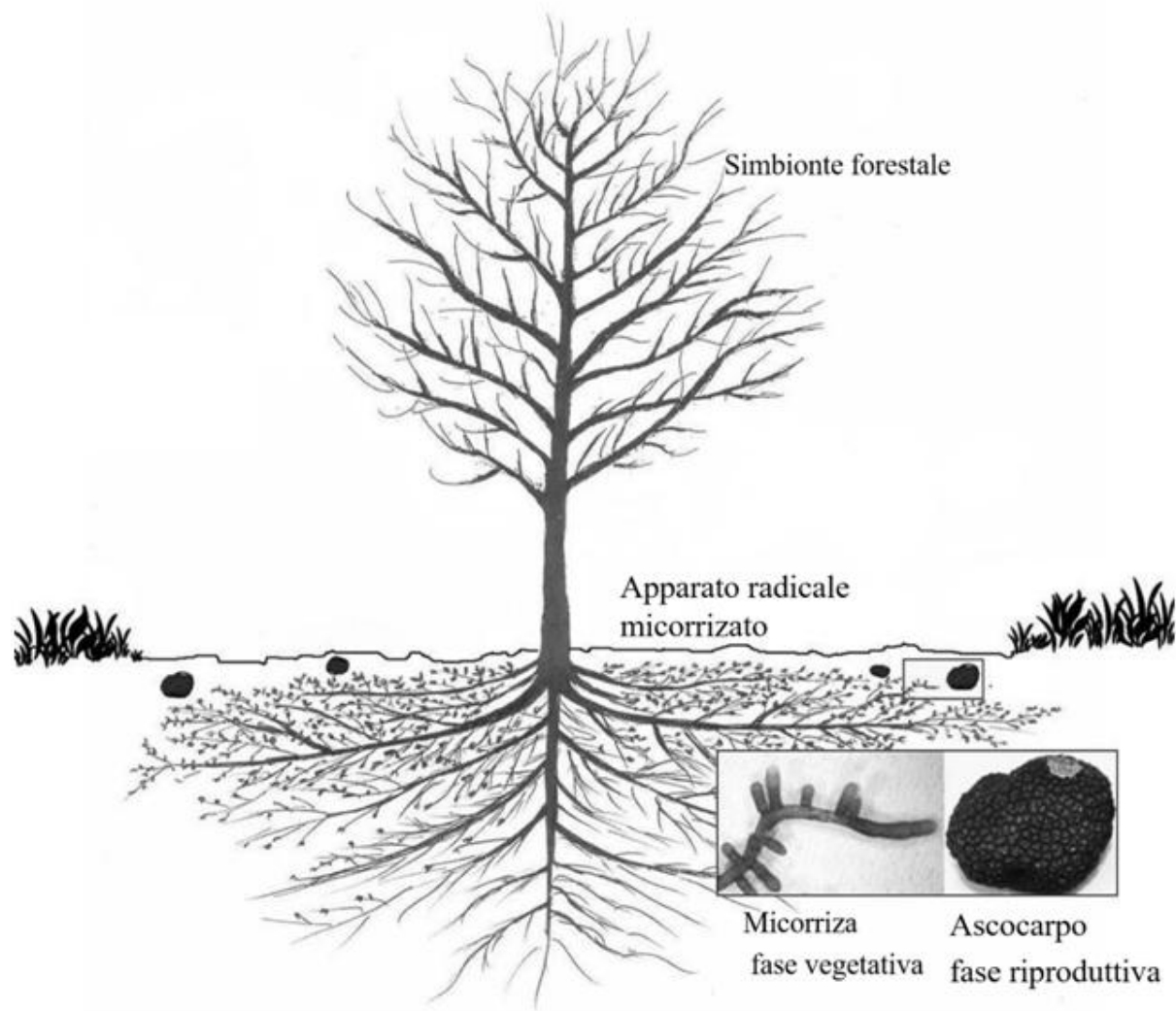


Immagine tratta dal manuale di tartuficoltura Regione Umbria e modificata

Esempio di ectomicorrizza

Vantaggi delle micorrize

- **Garantiscono una maggiore capacità di resistenza a stress idrici, squilibri termici e crisi da trapianto;**
- **Aumentano l'assorbimento dei nutrienti minerali (N, P, K, microelementi);**
- **Inducono una resistenza ai patogeni della radice e del colletto;**
- **Migliorano lo stato fitosanitario della pianta**
- **Aumentano la biomassa organica nel terreno, con conseguente aumento di produttività dei suoli agrari anche a lungo termine.**

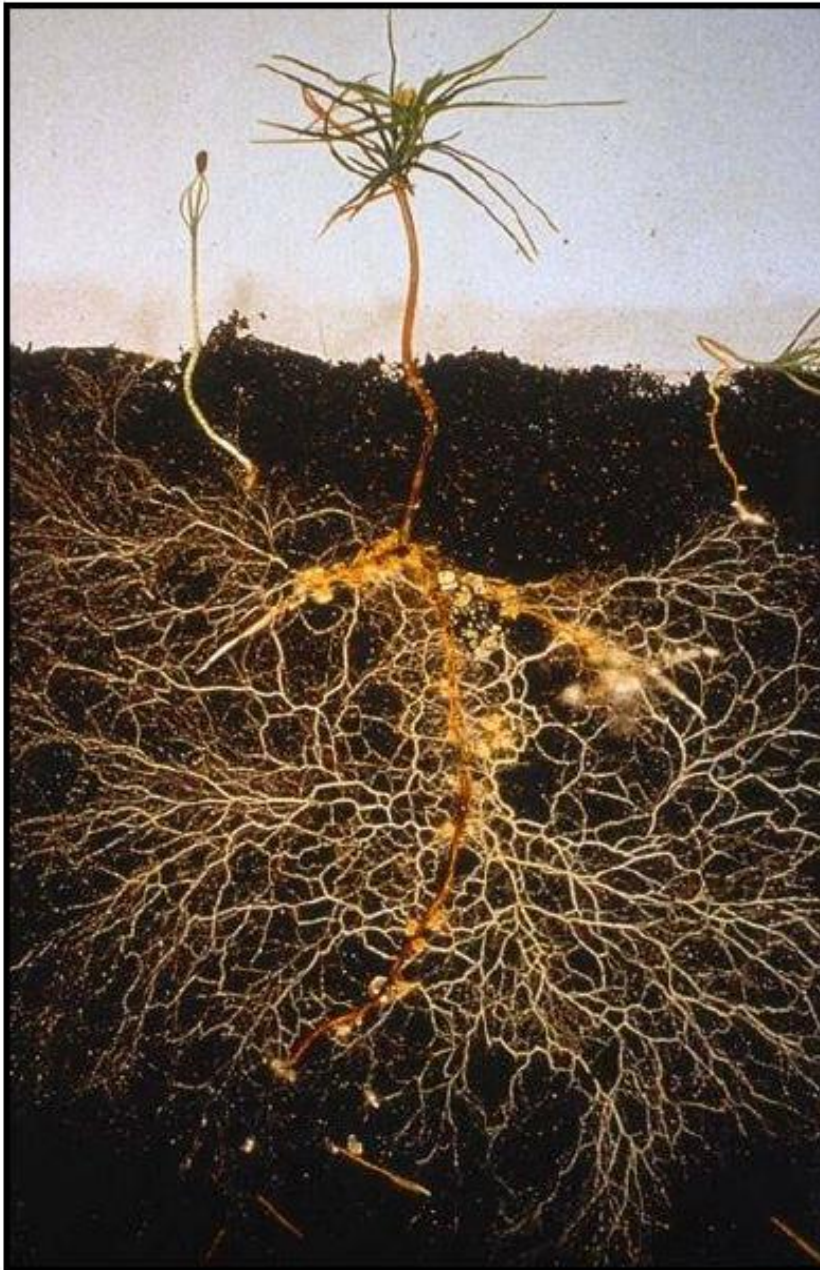
“Effetto Rizosfera”

Le radici delle piante stimolano la crescita microbica nelle loro vicinanze

Il numero dei microrganismi del suolo attorno a loro aumenta di 50–100 volte

Il complesso radici–suolo dove il fenomeno si verifica viene definito “rizosfera”





La rizosfera contiene circa:

10^{5-6} funghi

10^{7-8} attinomiceti

10^{8-9} batteri

10^{9-10} protozoi

10^{9-10} alghe

per grammo di suolo!

Alcuni Ricercatori hanno dimostrato l'incredibile somiglianza tra il funzionamento della rete Internet e di quella del “micelio” sotterraneo. L'esistenza di nodi e alberi hub capaci di riconoscere i propri figli genetici, nutrirli a grande distanza usando le ife dei funghi come se fossero degli acquedotti.

Ecco il **Wood Wide Web, come definito da Suzanne Simard, ecologa e studiosa di reti simbiotiche forestali canadese, l'incredibile rete fungina così soprannominata dalla rivista “Nature” che vive nel suolo in simbiosi con le radici trasferendo informazioni, acqua e nutrienti tra le piante.**

<https://www.youtube.com/watch?v=ZssQro5cmpU>

https://www.youtube.com/watch?v=ifpVfRaK_pI&t=496s