

FUNGHI

I **funghi** appartengono al **dominio Eukarya, regno Funghi**. La micologia è la scienza che studia il regno dei funghi e i micologi hanno identificato circa 100000 specie differenti che vanno da **funghi unicellulari** a funghi **pluricellulari** sotterranei che sono in grado di coprire centinaia di ettari. Sono **eucarioti chemioeterotrofi**, quindi assorbono nutrienti e materia dall'ambiente circostante cibandosi di materiali organici morti e quindi, per la maggior parte, sono **decompositori**.

Sono in grado di instaurare **relazioni simbiotiche con molte specie**, in particolar modo con le radici della maggior parte delle piante terrestri e questo li rende fondamentali per la nostra vita. In questa partnership, i funghi aiutano la **pianta** a ottenere **ioni fosfato ed altri minerali** dal suolo, mentre la pianta fornisce loro **nutrienti organici**.

Alcune relazioni simbiotiche tra **funghi ed alghe e/o cianobatteri** costituiscono i **licheni** mentre **altre specie fungine** sono **parassite e patogene** per piante ed animali. Possono comporre anche parte della flora batterica dell'intestino per esempio la quale è solo in parte batterica. Sono molto variegati in forme, funzioni e ruoli. Il loro ambiente prediletto è caldo e umido con Ph pari 5-6 (pelle umana), questi comunque tollerano un ambiente tra Ph 2 a Ph 9. Inoltre in ambienti molto secchi questi riescono a sopravvivere entrando in una fase di riposo dove producono spore che si oppongono alla disidratazione.

Al contrario dei batteri e che i funghi e in particolar modo le muffe sono in grado di resistere ad un ambiente **IPERTONICO** e anche **IPOTONICO**.

I funghi di base sono dei decompositori ed il loro obiettivo è crescere e svilupparsi in un ambiente nutritivo, infatti secernono enzimi digestivi che degradano le strutture complesse dei nutrimenti e assorbendo il cibo predigerito.

Sono **altamente efficienti nella conversione dei nutrienti in materiale cellulare** ed immagazzinano **l'eccesso in goccioline lipidiche o glicogeno**, di fatto in condizioni di adeguato nutrimento essi riescono a svilupparsi nell'arco di poche ore. Anche i funghi hanno una parete cellulare che ha una struttura chimica differente da quella delle piante e dei batteri; questa è composta da carboidrati in particolare modo da **CHITINA**, polimero complesso costituito da subunità di **AMMINIGLUCANO** (presenta azoto) ma non sono legati agli ossigeni e oligopeptidiche e carboidrati. Questo è lo stesso polisaccaride che si ritrova nella cuticola degli insetti con funzione completamente differente di fatto nei funghi si ritrova solo a livello della parete cellulare invece negli insetti e artropodi generalmente parlando va a costituire un esoscheletro esterno. Questa tipologia di esoscheletro nei funghi li rende resistenti all'azione degradativa da parte dei microrganismi. Non tutti i funghi sono di dimensioni macroscopiche ma abbiamo anche organismi funginei microscopici e unicellulari come i lieviti (funghi unicellulari) ambito tecnologico e farmaceutico perché la produzione di molecole di interesse antibatterico sono estratte a partire da questi lieviti.

STRUTTURA DEI FUNGHI

Non tutti i funghi hanno dimensioni macroscopiche ma abbiamo anche organismi funginei microscopici e unicellulari come i lieviti, che rappresentano i funghi più semplici, e sono importanti sia ambito tecnologico che in ambito farmaceutico (la produzione di molecole di interesse antibatterico sono estratte a partire da questi lieviti).

La maggior parte dei **funghi** sono **pluricellulari** con il **corpo**, generalmente sotterraneo, **costituito da filamenti ramificati e intrecciati** chiamati **ife**. Le ife variano in base al phylum e alla specie di appartenenza del fungo e di solito abbiamo 3 possibili varianti:

1. Singola parete cellulare con dei setti che dividono le cellule;
2. Singola parete cellulare con dei setti porosi che dividono le cellule e avendo un poro relativamente grande consentono il passaggio di organuli e materiale da una cellula all'altra;
3. Ifa cenocita, non presenta setti e sembra avere un'unica singola cellula polinucleata. Infatti si presenta con un solo citoplasma con molti nuclei. Non avviene divisione del citoplasma dopo divisione nucleare.

Le ife, espandendosi, formano una massa aggrovigliata detta **micelio** ed i **funghi che li formano** sono chiamati **muffe**. Alcuni funghi, a seconda delle condizioni ambientali, possono passare rapidamente da stato lieviti a stato muffa.

La riproduzione dei funghi

Aspetto molto importante poiché va ad influenzare in maniera importante il profilo fitochimico di ciò che osserviamo.

La riproduzione avviene per mezzo di **spore** (aploidi) microscopiche trasportate da vento, acqua ed animali. Quando una **spora germina** dà origine ad **un'ifa** che si **sviluppa in micelio**. Si avranno diversi rapporti in base ai vari stadi evolutivi e fenomenologici. Essendo eucarioti possono seguire una riproduzione sessuata o asessuata. Questi si riproducono a partire da spore che possono essere prodotte o sessualmente o asessualmente e queste spore sono prodotte da ife aeree specializzate (sporifere) o nei **corpi fruttiferi** entrando in questi organi sono chiamate SPORANGI. C'è la necessità che le spore vengano prodotte da parti aeree poiché questi nutrendosi di materiale organico (materia finita nel mondo) hanno bisogno di svilupparsi il più lontano possibile così da avere maggiori risorse per accrescersi ed evitare una competizione tra generazione e possono colonizzare territori favorevoli lontani dall'individuo madre. Di fatto le spore non sono dotate di movimento autonomo di fatto c'è la necessità che vengano trasportate da vento, acqua ecc.

I **lieviti** si riproducono **asessualmente** mediante la formazione di **gemme** che si staccano dalla cellula madre. Anche **funghi pluricellulari** possono riprodursi **asessualmente** producendo **spore per mitosi** dette **conidi** grazie ad **ife specializzate** dette **conidiofori**.

I funghi a differenza delle piante e degli animali non hanno caratteri sessuali definiti e si parla quindi di polarità: POLARITÀ + e POLARITÀ -. Solo attraverso questa modalità è possibile ottenere uno scambio genetico e vi saranno dei recettori che permetteranno di differenziare ife di tipo sessuale positivo e altre di tipo sessuale negativo che poi andranno incontro ad una fusione nella riproduzione sessuata.

Generalmente i funghi passano la loro esistenza in forma aploide e nella riproduzione sessuata di incrociano ife aploidi di due tipi sessuali differenti che si fondono e formano uno zigote. Attraverso un processo chiamato PLASMOGAMIA si fondono il loro citoplasmi. Queste **cellule** così formate possiedono **due nuclei aploidi** che, per mitosi, **originano altre cellule con due nuclei** (micelio dicariotico $n + n$). Successivamente i **due nuclei aploidi si fondono** in un nucleo diploide $2n$ (**nucleo zigotico**) con un processo detto **cariogamia**, questo processo avviene solo nella parte apicale del micelio dove successivamente con la **meiosi** si producono **spore aploidi** che vengono **rilasciate** per poi **germinare**.

Nei due phyla fungini più grandi, gli ascomiceti e i basidiomiceti (discussi più avanti nel capitolo), si verifica la plasmogamia (le ife si fondono), mentre la cariogamia (la fusione dei due nuclei) non segue immediatamente. Per un certo arco di tempo, i nuclei rimangono separati all'interno del citoplasma fungino. Le ife che contengono, in ogni cellula, due nuclei geneticamente distinti ma sessualmente compatibili, sono dette dicariotiche, e vengono indicate con il simbolo $n + n$ piuttosto che con $2n$ poiché si riconoscono due nuclei aploidi separati. Le ife che contengono un solo nucleo per cellula sono dette monocariotiche. La presenza di una fase dicariotica è un importante carattere distintivo di ascomiceti e basidiomiceti.

I funghi comunicano chimicamente mediante la secrezione di molecole segnale dette feromoni. In ciascun phylum fungino è stato identificato almeno un feromone. Il feromone si lega a un recettore compatibile su un fungo con polarità opposta. Ad esempio, negli zigomiceti un feromone induce la formazione di ife aeree specializzate. Un altro feromone fa sì che le estremità delle ife di funghi con polarità opposta crescano l'una verso l'altra e si fondono prima della riproduzione sessuata.

Diversità nei funghi

Per secoli, i funghi sono stati inseriti nel regno delle piante per alcune caratteristiche quali: parete cellulare, vacuoli, sessili (non in grado di spostarsi autonomamente), sono ancorati al terreno. Tuttavia vi sono maggiori differenze: le **pareti cellulari non contengono cellulosa ma chitina** (come gli insetti), sono **eterotrofi e non autotrofi**, il **polisaccaride di riserva è glicogeno e non amido**. Vi sono ulteriori similitudini con gli animali: i **mitocondri presentano creste appiattite** e la locomozione avviene tramite un **singolo flagello posteriore** nelle piante 2 flagelli. Conseguentemente, i funghi sono ritenuti più strettamente correlati agli animali che non alle piante.

A livello evolutivo sono state rilevate **spore fungine fossilizzate risalenti a 225 milioni di anni fa**, ed **ife associate a cianobatteri o alghe datati 550 milioni di anni**, ma non vi sono fossili fungini di dimensioni maggiori. La classificazione si basa sulle caratteristiche delle spore sessuali e dei corpi fruttiferi integrate con informazioni genetiche. Attualmente si riconoscono 5 gruppi:

- **Chytridiomycota**= funghi più antichi del regno ed hanno caratteristiche locomotive sono molto simili a dei piccoli batteri e sono presenti negli stagni e nei terreni umidi. La maggior parte sono **decompositori**, alcune specie sono anche parassite per gli anfibi. Sono unicellulari o presentano un numero limitato di

cellule chiamato tallo. Da questo partono delle **estensioni**, i **rizoidi**, che lo **ancorano** ad una fonte nutritiva e ne **assorbono i nutrienti**. Questi assorbono il materiale esterno grazie a meccanismi di trasporto e endocitosi. Infatti dopo che secernono enzimi digestivi questi le strutture complesse diventano molecole assorbite tramite trasporto ed endocitosi. Si riproducono essenzialmente per via asessuata, è caratterizzato da un'alternanza di generazioni comune nelle piante ma specifiche solo di questa Phylia di piante. Si parte da una zoospore che va a formare un tallo, così abbiamo due tipologie di gameti differenziati uno A è uno B. Questi due gameti con polarità opposta di vanno ad unire ottenendo uno zigote mobile che crea un tallo di tipo diploide che presenta due diverse tipologie di zoorengi uno finalizzato a r

- **Zygomycota**= simili ai precedenti ma sopravvivono anche al di fuori di un ambiente propriamente acquoso. Alcuni sono decompositori altri patogeni sia per animali che per piante. Sono fondamentali del punto di vista botanico perché formano micorrizze. Le **zigospore** sono rivestite da una **spessa copertura (zigosporangio)** e possono rimanere dormienti anche per mesi, e la **meiosi** avviene **subito prima o durante** la loro germinazione. La mitosi all'interno dello sporangio produce spore aploidi che possono essere tutte +, tutte - o una miscela. I **microsporidi**, discendenti dai zigomiceti, sono parassiti unicellulari che infettano le cellule eucariotiche. Sono patogeni opportunisti che infettano animali (come l'uomo) con sistemi immunitari compromessi e possono causare anche malattie letali. All'interno degli ospiti presentano **due stadi**, uno stadio **nutritivo** ed uno **riproduttivo**. Tra le diverse specie solo le spore presentano caratteri distintivi, con un **tubo polare** che serve per **iniettare il citoplasma infettivo** nella cellula ospite (spesso intestinale).

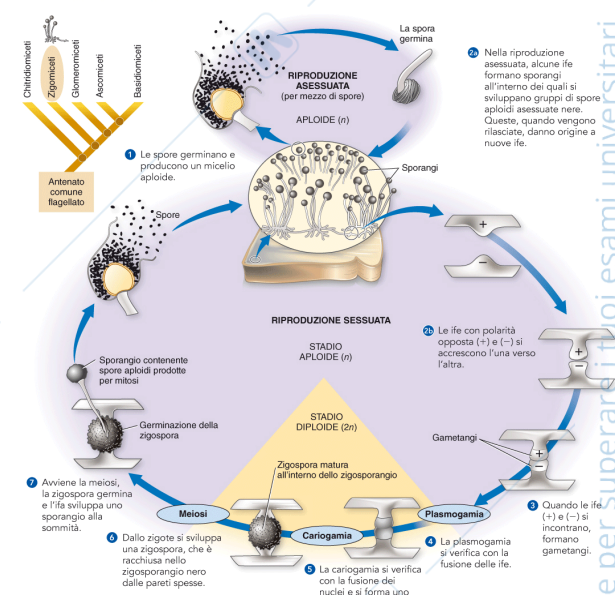
- **Glomeromycota**= categoria benigna, sono assieme alle micorrizze le tipologie di strutture funginee che hanno una maggiore simbiosi con le piante. Si riproducono principalmente per via asessuata per mezzo di spore multinucleate. Sono simbiotici che stabiliscono associazioni intracellulari nelle radici della maggior parte di alberi e delle piante erbacee.

In queste micorrizze le **ife** del fungo **attraversano le pareti** (ma spesso non la membrana) delle cellule vegetali e per questo sono definite **endomicorrize**.

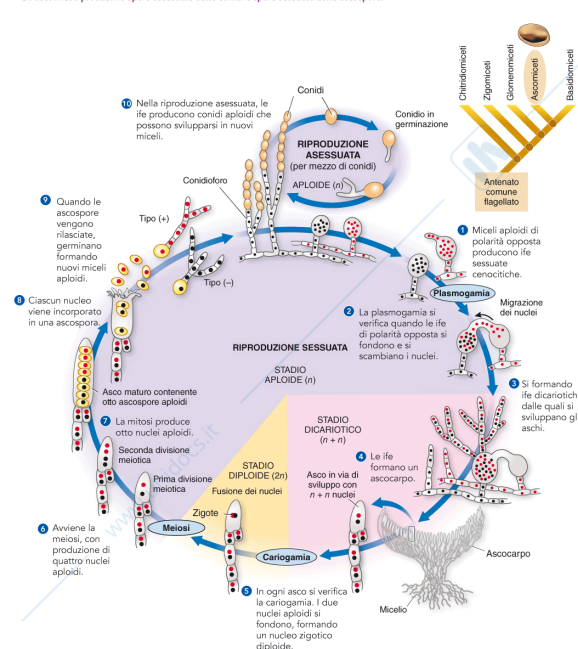
Le **endomicorrize** più diffuse sono quelle **arbuscolari**, interamente sotterranee e che si **estendono a forma di albero all'interno delle cellule**. In base alle caratteristiche del suolo il rapporto pianta fungo può essere mutualistica o parassitica. Alcuni di questi funghi possono anche rilasciare alcaloidi in grado di proteggere le piante da erbivori e da patogeni.

- **Ascomycota**= Al phylum degli **ascomiceti** appartengono la maggior parte dei **lieviti**, le **muffe polverose**, la maggior parte delle **muffe verde-blu, rosa e marroni** che causano l'alterazione di alimenti, i **funghi decompositori a coppa**, le **spugnole** e i **tartufi**. Sono impiegati nella produzione di **formaggi**, nella **lievitazione** e nella **fermentazione**. Alcuni sono **commestibili** ed altri ancora sono usati nella **produzione di antibiotici**. Sono anche **responsabili** della maggior parte delle **malattie fungine** di piante ed animali, uomo incluso. Gli ascomiceti sono detti **funghi a sacco** dalla **forma** delle **spore sessuali** detti **aschi**. Le sue spore sessuate e asessuate consentono una rapida diffusione. Le loro ife possiedono setti forati. Le spore asessuate, dette **conidi** (colorati), permettono la rapida propagazione di miceti in condizioni avverse. Il ciclo è uguale a quello degli zigomiceti, cambia solo il corpo fruttifero che è un ascocarpio. Sulle sommità di questo si creano delle

Come la maggior parte dei funghi, quasi tutti gli zigomiceti si riproducono sia asessualmente che sessualmente.

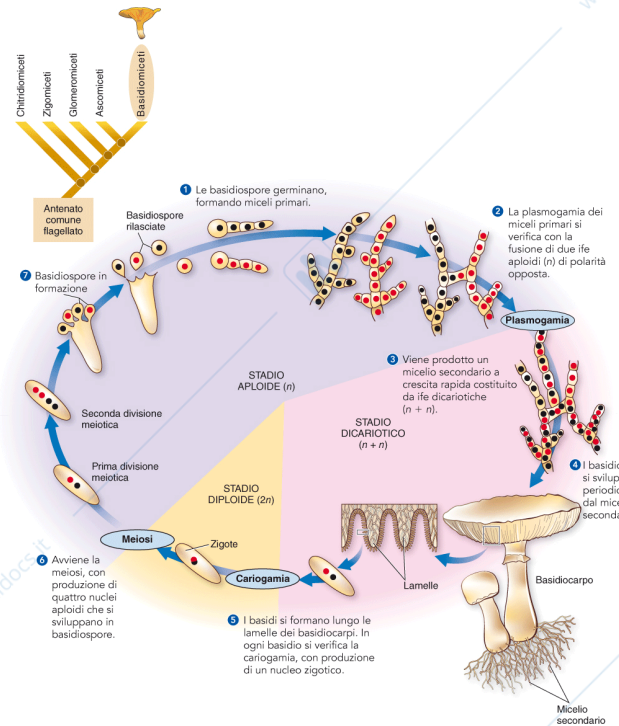


Gli ascomiceti producono spore asessuate dette conidi e spore sessuate dette ascospore.



spore che poi vengono rilasciate. Non è stata ancora attuata il tipo di simbiosi osservata tra piante e funghi nei rapporti tra funghi e animali.

- **Basidiomycota**= Al phylum dei **basidiomiceti** appartengono i funghi più conosciuti come quelli mangerecci, i polipori e le vesce. Anche in questa categoria vi è un nutrito assortimento tra simbionti, parassiti e patogeni. Sono definiti **funghi a mazza dal basidio** a forma di clava. Un basidio è una **cellula ifale allargata** alla cui sommità (all'esterno) si sviluppano per meiosi quattro **basidiospore**. Ogni singolo fungo produce milioni di basidiospore per potenzialmente originare un micelio primario (monocariotico), le cui **ife (bianche) sono suddivise da setti perforati** come negli ascomiceti. Efficienti per il trasporto di materia lungo il percorso del 'ifa. Assente la riproduzione asessuata. In questo phylum la riproduzione asessuata è meno comune. Quando **miceli primari (aploidi)** di polarità opposta vanno incontro alla **plasmogonia**, le ife si espandono e si crea un **micelio secondario (dicariotico)**. In condizioni favorevoli le **ife formano masse compatte** dette **bottoni** che danno origine a **corpi fruttiferi, i basidiocarpi** (che noi chiamiamo funghi). I basidiocarpi sono costituiti da ife aggrovigliate, un gambo ed una cappella con lamelle, sottili e perpendicolari. Nelle lamelle del basidiocarpo si sviluppano i basidi, nei quali avviene la cariogamia e per meiosi vengono a prodursi le 4 basidiospore.



I licheni sono dei super organismi costituiti da una parte funginea e sono autotrofi cioè svolgono fotosintesi, questi possono essere alga verde, un cianobatterio o entrambi. Non ce una vera e propria simbiosi tra parte funginea è quella autotrofa, difatti se la parte autotrofa viene tolta a quella funginea quest'ultima muore in caso contrario no. Quindi è meglio parlare di parassitismo controllato da parte dei funghi. Il fungo costituisce il tallo (corpo) del lichene, mantenendo in sede la componente fotoautotrofa. Separate le due componenti, la porzione fotoautotrofa può sopravvivere a differenza di quella fungina (parassitismo controllato o mutualismo?). A seconda dell'aspetto vi sono licheni:

- Crostosi, forma laminare,
- Fogliosi, con strutture lobate non a contatto del substrato,
- Fruticosi, a crescita verticale e con numerose ramificazioni.

RILEVANZA IN AMBITO MEDICO

I funghi producono farmaci e sostanze chimiche molto utili, basti pensare alla **penicillina**, scoperta da Fleming nel 1928, e prodotta dall'ascomicete *Penicillium notatum*, ma anche gli antibiotici **cefalosporine** (dal fungo *Cephalosporium*), le **statine** usate per abbassare i livelli ematici di colesterolo e la **ciclosporina**, usata per sopprimere la risposta immunitaria in pazienti in seguito a trapianti quindi evitano crisi di rigetto.

La **fumagillina**, prodotta dall'ascomicete *Aspergillus fumigatus* inibisce l'angiogenesi e si prospetta un importante agente antitumorale. Il rovescio della medaglia è che numerose specie sono tossiche per la presenza di **micotossine**. Derrate alimentari di origine vegetali mal conservate. Portano alla nascita anche di tumori autoindotti. Le α -tossine prodotte dal genere *Aspergillus* sono fortemente tossiche e potenzialmente cancerogene (qualità degli alimenti e tracciabilità). Altre specie ancora sono **patogeni opportunisti**, come la *Candida*, lo stesso *A. fumigatus* e tutta una serie di funghi che causano **infezioni cutanee**. Assolutamente non trascurabili sono gli effetti deleteri di infezioni fungine a carico di piante di interesse alimentare, che avvengono o tramite gli stomi o tramite ferite superficiali. Possono ripercuotersi su tutti i livelli, di fatto anche le piante possono avere al loro interno come negli animali dei patogeni che possono agire all'interno.