Funghi filamentosi

I funghi sono organismi unici per caratteristiche morfologiche, genetiche e fisiologiche. Essi sono ubiquitari, in grado di colonizzare le matrici di tutti gli ambienti naturali (suolo, acqua, aria), dove svolgono un ruolo fondamentale per il mantenimento degli equilibri degli ecosistemi. Il grande successo evolutivo dei funghi è testimoniato dall'elevato numero di specie (si stima ne esistano circa 1,5 milioni, di cui circa 130.000 sono state isolate o descritte), dalla varietà di nicchie ecologiche e habitat occupati, dalla capacità di instaurare simbiosi, principalmente con piante e animali, e di sopravvivere in condizioni restrittive per la maggior parte degli altri organismi.

Introduzione

I funghi sono organismi eucarioti, generalmente dotati di parete cellulare. La maggior parte di essi presenta un tallo (un corpo formato da cellule che non si differenziano in tessuti e organi separati e ben distinti) filamentoso e multicellulare. I singoli filamenti sono chiamati **ife** e il loro insieme costituisce il **micelio.** Nei funghi più evoluti (ascomiceti e basidiomiceti), le ife possono aggregarsi tra loro per produrre strutture specializzate, ad esempio per la dispersione dei propaguli riproduttivi (corpi fruttiferi).

Un numero limitato di funghi si presenta sotto forma di cellule singole che si riproducono per gemmazione o per fissione (**lieviti**).

I funghi possono riprodursi attraverso due diverse modalità: la riproduzione **sessuale** e quella **asessuale.** La riproduzione asessuale è importante per la diffusione della specie, quella sessuale, garantisce la variabilità genetica e porta alla differenziazione di spore di resistenza. Per molti funghi sono note entrambe le modalità (talvolta presenti contemporaneamente); per altri la riproduzione sessuale non è nota (**funghi mitosporici** o **deuteromiceti**) e, in alcuni casi, non è nota neppure quella asessuale (miceli sterili).

La riproduzione asessuale può avvenire per semplice **moltiplicazione vegetativa** (frammentazione del micelio) oppure attraverso la produzione di spore molto variabili in forma e dimensioni (**sporangiospore**, tipiche degli zigomiceti oppure **conidi**, tipici di ascomiceti e basidiomiceti). La riproduzione porta alla formazione di meiospore aploidi, caratteristiche di ogni *phylum* (**zigospore**, **ascospore** e **basidiospore**).

Tutti i funghi sono eterotrofi e si nutrono per assorbimento in seguito all'azione di enzimi litici extracellulari che degradano le molecole di carboidrati, lipidi e proteine in molecole più piccole e più facilmente assorbibili attraverso la parete cellulare. Essi si procurano la sostanza organica necessaria per il loro accrescimento attraverso tre diverse modalità: il saprotrofismo, il parassitismo (simbiosi patosista) e la simbiosi mutualista.

L’organismo più grande del nostro pianeta è un fungo, appartenente alla specie *Armillaria solidipes*, che in Oregon (USA) si estende su una superficie di più di 2400 acri (equivalente a 1665 campi da calcio), con un’età stimata di circa 2200 anni.

Inquadramento sistematico

I funghi appartengono al dominio Eukaryota e al gruppo Opisthokonta che, oltre ai Fughi comprende anche gli Animali. Contrariamente a quanto la maggior parte delle persone crede, infatti, i funghi sono molto più simili agli animali che alle piante e condividono con gli animali un comune antenato.

Ruolo ecologico

I funghi svolgono ruoli cruciali per la sopravvivenza del nostro pianeta e negli ultimi anni abbiamo imparato a utilizzarli anche in numerose applicazioni biotecnologiche. Cambiamenti nella composizione e nel funzionamento delle comunità fungine possono avere profonde implicazioni sulla diversità, sulla salute e sulla produttività di differenti ambienti naturali.

I **funghi saprotrofi**, insieme ai batteri, sono gli organismi maggiormente coinvolti nel processo di decomposizione della sostanza organica e, quindi, nel ciclo degli elementi, sia negli ambienti naturali, sia in quelli agrari, dove sono i principali organismi mineralizzatori. Essi sono in grado di degradare quasi tutti i composti organici, anche i polimeri naturali più recalcitranti quali lignina, chitina e cheratina.
Gli stessi enzimi che i funghi utilizzano per degradare la lignina possono essere utilizzati per rimuovere la maggior parte degli inquinanti nell’ambiente mediante tecniche di **biorisanamento**: i funghi e i loro enzimi sono anche molto studiati per la rimozione di inquinanti persistenti quali petrolio e derivati, PCB, IPA, coloranti sintetici, etc. Poichè l’inquinamento ambientale è una delle emergenze più attuali, l’utilizzo dei funghi nel biorisanamento diventerà sempre più importante per migliorare la qualità delle acque e dei suoli.

D’altro canto, una così spiccata capacità degradativa nei confronti di un’ampia varietà di substrati, rende i funghi tra i più importanti agenti di **biodeterioramento** per tutti i manufatti dell’uomo (tessuti, accessori in pelle, oggetti in legno, carta, pellicole fotografiche…) e, ovviamente, per tutte le derrate alimentari destinate al consumo umano o animale. A tale proposito, è bene menzionare la capacità di numerose specie fungine di produrre sostanze molto tossiche, note come **micotossine**, che rappresentano uno degli aspetti più rilevanti e preoccupanti delle contaminazioni alimentari.

Oltre che come saprotrofi, i funghi sono fondamentali per gli equilibri degli ecosistemi perché sono in grado di creare una vasta rete d’interazioni mutualiste o patosiste con numerose piante, animali e batteri.
Di grandissima importanza per il nostro pianeta sono le simbiosi mutualiste tra funghi e organismi fotosintetizzanti: licheni e micorrize.
I **licheni** sono associazioni tra un fungo (micobionte) e un partner fotosintetico (fotobionte), normalmente rappresentato da un’alga verde, più raramente da un cianobatterio (talvolta la

simbiosi è a tre: fungo + alga verde + cianobatterio). Si conoscono circa 20.000 specie di licheni, organismi pionieri in grado di colonizzare ambienti estremi inaccessibili alla maggior parte degli esseri viventi. In questi ambienti sono importanti come fonte alimentare di animali, ad esempio possono rappresentare fino al 95% dell'alimentazione delle renne e, secondo gli studiosi, la manna citata nella Bibbia (Esodo16, v 13-15) era un lichene.
I licheni, oltre ad essere importanti bioindicatori (soprattutto della qualità dell'aria), sono molto studiati per la capacità di sintetizzare metaboliti secondari utili in differenti settori industriali, primo fra tutti l'industria cosmetica.

I funghi crescendo in intima associazione con le radici della maggior parte delle piante, sia erbacee sia forestali, formano le cosiddette **micorrize**, essenziali per l'evoluzione della vita sul nostro pianeta. Queste simbiosi, infatti, hanno permesso la colonizzazione delle terre emerse da parte delle piante e sono ancora oggi indispensabili perché favoriscono la nutrizione delle piante, in particolare l'assorbimento di fosforo e azoto, proteggono dalla presenza di composti tossici (es. metalli pesanti), rendono la pianta più resistente agli stress (soprattutto stress idrici, così importanti oggigiorno) e spesso forniscono un'utile barriera contro i patogeni dell'apparato radicale. Le micorrize, inoltre, creano network tra piante, rendendo le comunità vegetali più resilienti agli stress e ai disturbi.
Ad oggi, sono note circa 6000 specie fungine che formano micorrize con più di 240.000 specie di piante (95% del totale), presenti in qualsiasi tipo di habitat. Per le piante, le micorrize sono la norma, non l'eccezione; lo stesso non si può dire per i funghi: la maggior parte di essi non forma, infatti, micorrize.
Le micorrize hanno importanti applicazioni a livello agrario e forestale (es. sostenibilità ambientale, rivegetazione di suoli contaminati).

Per quanto riguarda l'**interazione funghi-animali**, come già accennato, molti funghi sono utilizzati come alimento da diversi animali (dai ruminanti ai microartropodi).
A livello microscopico, circa l'80% delle migliaia di specie di microortropodi che vivono nelle foreste sono fungivore, cioè si nutrono principalmente o esclusivamente di funghi. Sono poi note molte simbiosi specifiche tra funghi e animali: le formiche tagliafoglie usano coltivare il micelio [1] di alcuni funghi (*Leucocoprinus* e *Leucoagaricus)* all'interno del nido creando i cosiddetti "giardinetti delle formiche", per produrre le risorse alimentari.
Un tipo di simbiosi particolarmente importante è quella che s'instaura nel rumine dei ruminanti e che coinvolge Chitridi, funghi anerobi obbligati che rappresentano i primi degradatori del materiale vegetale ingerito. I funghi sono quindi indispensabili alla nutrizione dei ruminanti che tanto utili sono all'uomo.
Un gruppo particolare di funghi (circa 150 specie) ha poi evoluto un sistema per predare i nematodi del suolo attraverso vere e proprie trappole. Poichè i nematodi sono importanti patogeni delle piante, questi funghi possono essere utilizzati nella lotta biologica.

I funghi come agenti patogeni

Numerosi funghi parassiti di vegetali si ritrovano in tutti i *phyla* e rappresentano i principali (70-80%) patogeni delle piante, sia erbacee sia arboree, causando danni notevoli all'economia mondiale. In molti casi le perdite dei raccolti possono raggiungere il 20-50% e tale perdita di produzione primaria non è più compatibile con l'aumento della popolazione mondiale e con la necessità di garantire un'adeguata nutrizione a tutti; combattere la fame nel mondo, dunque, significa anche contenere gli effetti di numerose malattie fungine.

I funghi, inoltre, rendono inutilizzabile una quota rilevante delle derrate alimentari destinate al consumo umano e/o animale a causa della produzione di micotossine (es. aflatossina, ocratossina, ecc.), metaboliti molto tossici e spesso cancerogeni, attivi anche a bassissime concentrazioni e termoresistenti.
I funghi parassiti delle piante possono avere effetti molto negativi sul paesaggio e sull'ambiente, possono incidere sulla funzione turistico-ricreativa delle formazioni forestali e possono ridurre il livello di sicurezza nei contesti urbani o antropizzati aumentando significativamente il rischio di schianto di alberi.
Alcuni funghi caratterizzati da elevata capacità lignivora (es. *Serpula lacrimas*) possono infine determinare criticità di ordine strutturale su legno in opera (es. travi).
Relativamente pochi funghi, invece, sono in grado di attaccare l'uomo e gli altri animali a sangue caldo. Si tratta per lo più di patogeni opportunisti, che vivono come saprotrofi in natura, ma che possono causare infezioni, soprattutto negli individui immunodepressi, in seguito all'inalazione di spore o alla penetrazione attraverso ferite. In clinica umana, le infezioni fungine sono un problema sempre più rilevante a causa del continuo aumento di pazienti con immunodeficienza cronica per i quali i funghi rappresentano la prima causa di morte (circa l'80% dei malati di AIDS muore in seguito a polmonite causata da *Pneumocystis carinii*).
Inoltre, in un mondo dove l'estetica è particolarmente importante, è giusto segnalare che, non solo nell'uomo ma anche in animali come cani e gatti, molte infezioni alla pelle, ai capelli e alle unghie (onicomicosi) sono causate da funghi (*Tinea capitis, T. corporis, T. pedis*, ecc.).
I funghi presenti nell'aria (principalmente sotto forma di propaguli di vario tipo) e negli ambienti indoor possono causare importanti allergie e malattie respiratorie (riniti, asma) o produrre metaboliti tossici che possono provocare differenti sintomatologie (es. sick building syndrome - sindrome dell'edificio malato).
Un numero molto limitato di macromiceti, se ingeriti, può provocare differenti tipi di avvelenamento e, in alcuni casi, portare anche alla morte (es. *Amanita phalloides*).
Da non dimenticare che le più importanti pandemie del mondo animale negli ultimi anni sono state causate da funghi: la sindrome del naso bianco dei pipistrelli, provocata dal fungo *Pseudogymnoascus destructans*, ha causato la morte di milioni di pipistrelli, decimando le popolazioni di chirotteri soprattutto nel continente americano; la chitridiomicosi degli anfibi, provocata da *Batrachochytrium dendrobatidis*, è, invece, implicata nel declino globale degli anfibi.

Applicazioni biotecnologiche

I funghi dominano decisamente la scena delle biotecnologie e il loro impiego è destinato a crescere in maniera esponenziale nei prossimi decenni.
Il caratteristico stile di vita dei funghi è basato sulla secrezione di enzimi per digerire le sostanze nutritive all'esterno (sono i principali organismi degradatori sul nostro pianeta); gli stessi enzimi sono oggigiorno sfruttati in molteplici settori biotecnologici per fornirci prodotti di uso comune.
Oltre che nell'industria alimentare, in cui ceppi selezionati sono utilizzati da lunghissimo tempo per impartire particolari aromi a formaggi e insaccati, i funghi contribuiscono alla nostra quotidianità attraverso la produzione di metaboliti primari come acidi grassi (soprattutto acidi grassi polinsaturi come l'acido arachidonico, usato per abbassare i livelli di colesterolo e trigliceridi nel sangue, ma anche come integratore per i neonati, poiché favorisce lo sviluppo cerebrale e della retina), acidi organici (primo fra tutti l'acido citrico), metaboliti secondari

d’interesse farmaceutico (es. antibiotici) ed enzimi (es. cellulasi, amilasi, lipasi, proteasi).
Da un punto di vista **biotecnologico** i funghi hanno, dunque, moltissime applicazioni che ci toccano nella nostra quotidianità, basti pensare che la **fermentazione alcolica**, utilizzata per la produzione di qualsiasi tipo di bevanda alcolica, ma anche per produrre un biocarburante come il bioetanolo, avviene ad opera di lieviti, cioè di funghi unicellulari. Il tipo di lievito utilizzato e le materie prime danno origine a una varietà infinita di prodotti. Da ricordare che nella produzione di bevande alcoliche si utilizza l’etanolo, mentre durante il processo di lievitazione della pasta (panificazione) si utilizza l’anidride carbonica liberata nella stessa reazione (lievito di birra).
Un’altra importantissima molecola prodotta dai funghi è **l’acido citrico**, uno degli additivi più utilizzati in campo alimentare e farmaceutico come molecola tampone del pH, acidulante, conservante. La produzione di acido citrico per via fermentativa (prima si estraeva dai limoni), è una delle produzioni industriali più antiche e consolidate, e comincia nel 1919 in Belgio e poi nel 1923 negli Usa da parte della Pfizer.
Una delle principali applicazioni biotecnologiche dei funghi consiste nel loro utilizzo come agenti di **lotta biologica** al fine di contrastare funghi parassiti o più in generale patogeni delle piante. I funghi possono essere attivi contro i fitopatogeni in base ad uno o più dei seguenti meccanismi di azione: competendo con essi per la nicchia o il substrato nutritivo, sintetizzando antibiotici attivi contro di essi oppure parassitizzandoli. Sono attualmente disponibili diversi prodotti biologici o ammendanti a base di funghi in grado di prevenire l’infezione di fitopatogeni. Alcuni prodotti sono addirittura in grado di curare una pianta ad infezione già avvenuta, come nel caso della guarigione del cancro del castagno in base al fenomeno dell’ipovirulenza esclusiva.

Altri esempi di applicazioni biotecnologiche dei funghi:

Industria tessile e conciaria
Cellulasi fungine vengono utilizzate nel trattamento del denim “stone-washed” e nel “biofinishing” di tessuti (cellulasi e proteasi) per rimuovere le fibre non aggregate o il “bioscouring” per rimuovere i residui di lignina. Gli enzimi fungini trovano applicazione nel finissaggio e nella funzionalizzazione dei tessuti di fibre sia naturali, sia sintetiche.

Industria dei detersivi
Quasi tutti i detersivi sono addizionati di enzimi fungini (proteasi, lipasi, enzimi ossidativi) che favoriscono la rimozione delle macchie anche a basse temperature o in condizioni alcaline.

Idrolisi dell’amido
Amilasi fungine vengono utilizzate per la produzione di sciroppi ad alto contenuto di fruttosio impiegati nell’industria dolciaria.

Produzione di formaggi
Le proteasi ??fungine sono state utilizzate per molti anni nell’industria casearia in alternativa alla chimosina di origine bovina. Sempre più diffuso è oggigiorno l’utilizzo di chimosina bovina prodotta attraverso espressione eterologa in lieviti e funghi filamentosi. Inoltre, in tutti i formaggi erborinati (gorgonzola, stilton, roquefort) alcuni funghi (*Penicillium roquefortii*) sono inoculati nella pasta del formaggio affinché producano enzimi (proteasi e lipasi) che agiscono sulla tessitura del formaggio e sulle proprietà organolettiche. Per alcuni formaggi (brie, camembert) i funghi (*Penicillium camembertii)* sono, invece, inoculati sulla superficie.

Produzione di salami

Funghi specifici (*Penicillium nalgiovense)* vengono nebulizzati all’esterno dei salami affinchè, attraverso la produzione di proteasi e lipasi, favoriscano la maturazione e migliorino le proprietà organolettiche.

Produzione di cibi fermentati
Molti cibi fermentati asiatici come salsa di soja e tempeh, miso, ang-kak, vengono prodotti mediante l’impiego di funghi filamentosi.

Produzione di birra
Amilasi, glucanasi e proteasi ??vengono utilizzate per migliorare l'estrazione dell'orzo durante il processo di "mashing" prima della fermentazione.

Industria alimentare
Enzimi di macerazione (miscela di pectinasi, cellulasi ed emicellulasi) sono impiegati per favorire la fase di estrazione durante la spremitura dei frutti e delle olive per la produzione di olio, succhi di frutta, ecc. Le pectinasi vengono anche molto utilizzate nella chiarificazione del vino e dei succhi di frutta per rimuovere i residui della polpa e della buccia e per modificare le qualità organolettiche del prodtto.

Prodotti da forno
Soprattutto le xilanasi vengono utilizzate per aumentare il volume dell’impasto e favorire la lievitazione.

Industria farmaceutica
Differenti enzimi di origine fungina possono essere utilizzati per modificare steroli e altri precursori durante la preparazione di farmaci semisintetici, ad esempio l'acido 6-amino-penicillanico (6-APA), un precursore semisintetico della penicillina. Altri prodotti di interesse farmaceutico, per la cui produzione sono impiegati funghi, sono ciclosporine (immunosoppressori), statine (ipocolesterolemici), alcaloidi (usati per ottenere vasodilatazione, abbassamento della pressione sanguigna e per indurre le contrazioni della muscolatura liscia), steroidi (antinfiammatori, immunosoppressivi, diuretici, contraccettivi, etc), antitumorali e immunomodulatori.

I funghi come risorsa alimentare

I funghi sono anche un **cibo prezioso** non solo per molti animali, ma anche per l'uomo! Alcuni dei funghi più pregiati possono essere solo raccolti in campo (porcino, cantarelli, tartufo bianco), altri invece possono essere coltivati abbastanza facilmente (champignon, pleurotus, tartufo nero, ecc.) con un volume di affari molto rilevante a livello mondiale.
I funghi hanno moltissime proprietà a livello nutrizionale (hanno un elevato contenuto in proteine e fibre e non contengono colesterolo!) e spesso contengono anche sostanze farmacologicamente attive che li rendono da sempre utilizzati nella medicina tradizionale orientale (medical mushrooms).
Per quanto riguarda la produzione di biomassa fungina per uso alimentare, i due principali casi di successo sono il lievito di birra e il Quorn^{TM}. Il lievito di birra nei paesi anglosassoni è convertito in prodotti noti come Marmite e Vegemite. Il Quorn^{TM} è invece prodotto altamente proteico (micoproteine) a base del fungo filamentoso (*Fusarium venenatum)*. Il prodotto, molto diffuso nei paesi anglosassoni, è un alimento a basso contenuto di grassi, a basso contenuto calorico e privo di colesterolo.

Source URL: http://www.tucc.unito.it/it/content/funghi-filamentosi

Links
[1] https://it.wikipedia.org/wiki/Micelio