



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti
Risorse naturali e Ambiente

Corso di laurea in Scienze e Tecnologie Agrarie

Effetti dei funghi micorrizici sulle orticole da campo, l'esempio del radicchio

Relatore: Professore Paolo Sambo

Laureando: Giacomo Gatto
Matricola n. 1223001

ANNO ACCADEMICO 2024/2025

Indice

Riassunto	4
Abstract	5
Introduzione	7
1. I funghi e le micorrize	10
1.1 I funghi	10
1.2 Le micorrize	12
1.2.1. Le ectomicorrize	14
1.2.2. Le endomicorrize	15
1.3 Le interazioni tra le specie: la simbiosi	17
2. La biodiversità e le sue componenti	22
2.1 Biodiversità: una parola composta da infiniti elementi	22
2.1.1. L'uomo: un pericolo per la biodiversità	24
2.2. Il suolo: l'importanza e la sua diversità	26
2.2.1 Molto più che terra: le componenti del suolo	27
2.2.2 Il rischio della perdita della biodiversità nel suolo	28
2.3 Gli indicatori della diversità biologica: i miceti	30
3. Il progetto BIOFUTURE	35
3.1 BIOFUTURE e la biodiversità: un nuovo approccio	35
3.2 Aumentare la varietà del suolo: le tecniche di incremento di BIOFUTURE	39
3.3 I risultati di BIOFUTURE	42
Conclusione	45
Bibliografia	47
Sitografia	50

Riassunto

Da sempre l'agricoltura ha accompagnato l'evoluzione e la storia dell'essere umano, fornendogli una fonte di sostentamento prima e un'attività capace di garantirgli un'entrata economica successivamente; per questo non è difficile comprendere perché il tema dello sfruttamento del suolo sia divenuto tanto importante negli ultimi decenni per l'opinione pubblica.

Ad oggi è risaputo che l'attività umana tende ad essere intensiva e poco rispettosa nei confronti della Natura, che spesso è sfruttata e danneggiata per l'incapacità dell'uomo di mostrare sensibilità nei confronti di una risorsa che non rientra più tra quelle rinnovabili.

Gli equilibri che governano i 5 Regni della Natura sono sottili e difficili da mantenere; pertanto, è necessario non generare entropia nelle relazioni che intercorrono a livello macroscopico, dunque, tra piante e animali, e a livello microscopico con batteri e altri organismi unicellulari. Ciò che accomuna tutti questi elementi è la biodiversità, all'interno della quale esistono tutti gli esseri viventi, caratterizzati da peculiarità morfologiche, comportamentali e genetiche differenti.

BIOFUTURE è un progetto che si prefigge l'obiettivo di salvaguardare la diversità biologica e di implementarla, proponendo a piccole realtà locali ortofrutticole del Veneto un insieme di tecniche agronomiche capaci di preservare la ricchezza naturale del nostro Pianeta, ma allo stesso tempo di soddisfare le richieste dei consumatori che diventano ogni giorno più consapevoli dei propri bisogni e protagonisti di un mercato in costante cambiamento.

Punto cardine del progetto è l'utilizzo delle micorrize, antichissime interazioni mutualistiche che si vengono a creare tra le radici di una pianta superiore e le ife di particolari specie micotiche. Molti studi, così come BIOFUTURE, hanno dimostrato che l'applicazione delle micorrize nell'ambito agricolo risulta essere vincente per l'ottenimento di prodotti sempre maggiore qualità e per il mantenimento in salute dei terreni. Esse garantiscono l'accrescimento della diversità biologica e la fertilità del suolo, permettendo di conservare la produttività della terra sfruttando che l'alternanza delle colture.

Abstract

Agriculture has always accompanied the evolution and history of human beings, providing them with a source of sustenance first and an activity capable of guaranteeing them an economic income later; for this reason it is not difficult to understand why the issue of land exploitation has become so important in recent decades for public opinion. Today it is well known that human activity tends to be intensive and disrespectful towards Nature, which is often exploited and damaged due to man's inability to show sensitivity towards a resource that is no longer among the renewable ones.

The balances that govern the 5 Kingdoms of Nature are subtle and difficult to maintain; therefore, it is necessary not to generate entropy in the relationships that occur at a macroscopic level, therefore, between plants and animals, and at a microscopic level with bacteria and other unicellular organisms. What all these elements have in common is biodiversity, within which all living beings exist, characterized by different morphological, behavioral and genetic peculiarities.

BIOFUTURE is a project that aims to safeguard biological diversity and implement it, offering small local fruit and vegetable businesses in the Veneto region a set of agronomic techniques capable of preserving the natural wealth of our planet, but at the same time satisfying the demands of consumers who are becoming more aware of their needs and protagonists of a constantly changing market. The cornerstone of the project is the use of mycorrhizae, ancient mutualistic interactions that are created between the roots of a higher plant and the hyphae of particular fungal species.

Many studies, such as BIOFUTURE, have shown that the application of mycorrhizae in agriculture is a winning solution for obtaining increasingly higher quality products and for maintaining healthy soils. They guarantee the growth of biological diversity and soil fertility, allowing the productivity of the land to be maintained by exploiting the alternation of crops.

Introduzione

Sin dall'antichità la terra ha rappresentato, insieme al mare, la fonte di sostentamento principale per la sopravvivenza delle specie viventi. L'uomo ha presto compreso che il terreno utile alla coltivazione andava trattato come un bene di inestimabile valore.

Ancora oggi il suolo e la sua fertilità sono elementi di interesse cruciale per le attività umane, poiché rappresentano la base di tutta una serie di azioni grazie alle quali l'uomo può garantire i risultati migliori dal punto di vista della produttività sia per ciò che concerne il settore primario, come intuibile, sia per i settori secondario e terziario.

La produttività agricola è legata innanzitutto alla presenza di nutrienti essenziali, come il potassio, il fosforo e l'azoto, che indicano il benessere biologico del terreno. Ad oggi è possibile affermare che il costante rivolgersi all'utilizzo di fertilizzanti di natura chimica e alla messa a terra di pratiche agricole intensive è lo specchio di un suolo sempre più povero e meno capace di sopportare le odierne lavorazioni umane. Al fine di migliorare la salute del terreno sarebbe bene comprendere come integrare, nel quotidiano, comportamenti che preservino aspetti importanti come lo sfruttamento del suolo, la sostenibilità e la difesa della biodiversità.

Al giorno d'oggi il tema della biodiversità rappresenta un argomento di particolare interesse per la Comunità scientifica, che da tempo ha compreso l'importanza che tale parametro ha in relazione con la vita e la sopravvivenza delle creature terrestri e dei biomi terrestri. Con il suddetto termine si fa riferimento alla totalità di specie viventi, vale a dire animali, vegetali, micotiche e microrganismi che abitano l'ecosistema più grande del quale fanno parte, che altri non è che il pianeta Terra.

Sebbene possa risultare di difficile comprensione, la biodiversità è alimentata non solo dalla varietà di forme, colori, dimensioni e comportamenti che contraddistinguono le popolazioni terrestri, ma anche la moltitudine di geni, che compongono genotipo, capaci di differire anche da un individuo all'altro a causa di mutazioni genetiche, dell'interazione con l'ambiente o delle strategie adattative raffinate nel corso dell'ere evolutive. Pertanto, è possibile affermare che per tracciare i contorni della biodiversità non ci si debba limitare ad elencare le forme di vita presenti sulla Terra, ma anche la rete di interconnessioni che quest'ultime vanno ad instaurare con i propri simili e con l'ambiente, consentendo in questo modo il proseguimento dei processi biologici e garantendo il mantenimento dell'equilibrio.

Il seguente elaborato ha come tema principale la biodiversità, prestando particolare attenzione al ruolo svolto dalle comunità micotiche all'interno dei biomi terrestri. Il primo capitolo si concentra sul Regno dei funghi, all'interno del quale attualmente rientrano circa 100.000 specie caratterizzate da organismi complessi, eucariotici unicellulari o pluricellulari. Il primo a comprendere il ruolo occupato dai funghi

all'interno della vita sul nostro pianeta è stato Linneo, che nel 1753 dedica numerosi studi al mondo micotico, considerandoli inizialmente al pari di comuni organismi vegetali. Nonostante la struttura apparentemente semplice, sono molti i processi biologici che interessano i miceti e li rendono interessanti da studiare e di fondamentale importanza per il mantenimento dell'equilibrio delle componenti che interagiscono e determinano gli ecosistemi.

Primo fra tutti è il gran numero di metodi riproduttivi che rendono tali organismi in grado di portare avanti la specie e diffondersi anche nelle condizioni più sfavorevoli; e come se ciò non bastasse anche le particolari strategie adattative che gli hanno permesso di sopravvivere persino negli ambienti più ostici. Tra le tattiche maggiormente utilizzate, quella di maggior rilievo sembra essere la simbiosi, un'interazione biologica che si instaura tra due organismi viventi grazie alla quale quest'ultimi traggono un beneficio.

In categoria di rapporti di interdipendenza si trovano anche le micorrize, vale a dire interazioni simbiotiche mutualistiche che mettono in relazione il micelio di un fungo e la radice di una pianta.

Le micorrize possono essere classificate in tre gruppi: le ectomicorrize, le endomicorrize e le ectoendomicorrize. La differenza più lampante tra questi insieme è la modalità di interazione con le radici delle piante ospiti. Come suggerisce lo stesso prefisso "ecto", alla prima categoria appartengono quelle micorrize che non sono in grado di penetrare i tessuti interni degli organismi vegetali, ma si limitano a creare uno strato di ife all'esterno, che avvolge l'apparato radicale.

In opposizione le endomicorrize, presenti in maggior numero rispetto alle precedenti, si distinguono per l'attitudine a infiltrarsi all'interno dei tessuti e delle cellule degli ospiti. Le ectoendomicorrize, invece, presentano tratti caratteristici di entrambi i gruppi, ma spesso non vengono considerati un genere a sé stante, bensì integrato all'interno delle ectomicorrize. Ciò perché esse sono sia in grado di sviluppare uno strato di copertura esterna alla radice sia di infestare gli spazi intracellulari giungendo allo strato corticale.

Il secondo capitolo si focalizza sul tema della biodiversità, andando ad indagare sull'origine della definizione del suddetto concetto e dei parametri che ad oggi ne delimitano i confini. Inoltre, si intende indagare il ruolo di straordinaria importanza che questo elemento ha all'interno dell'ecosistema terrestre, in particolare in relazione al terreno e al suo sfruttamento. Tale tema è da prendere in considerazione al fine di comprendere il grado reale di benessere dei singoli ecosistemi e più genericamente dell'intero Pianeta. La diversità biologica influenza qualsiasi ambito relativo agli organismi viventi, sia animali sia vegetali, poiché il suddetto parametro è direttamente proporzionale al miglioramento evolutivo al quale andranno incontro in futuro le specie.

L'elaborato si propone, ulteriormente, di esplicitare la funzione svolta dalle specie micotiche a livello biologico e la conseguente variazione del grado di biodiversità in presenza o in assenza di tali organismi, in luce anche delle interazioni inter e intra specifiche che essi sono in grado di instaurare. È stato osservato, infatti, che i funghi possono essere utilizzati per comprendere la qualità dell'habitat del quale fanno parte, dato che sono in grado di percepire la presenza di eccessive quantità di sostanze tossiche generate per lo più dall'inquinamento umano, come i metalli pesanti che agiscono negativamente non solo sul terreno, ma anche sui miceti stessi la cui crescita e i cui processi metabolici vengono inibiti.

Per ultimo, il terzo capitolo descrive "BIOFUTURE", un progetto che si articola intorno al tema della biodiversità del suolo e dell'ambiente e si pone come fine ultimo la valorizzazione dell'ortofrutta e degli ecosistemi che caratterizzano determinate aree di produzione.

La questione della sostenibilità ambientale è cara agli esperti, soprattutto in un periodo storico in cui l'incremento di produttività, nella fattispecie quella agricola, ha provocato un proporzionale riduzione delle risorse naturali rinnovabili e non è un aumento del grado di disordine biologico.

A tal proposito BIOFUTURE propone dei modelli di comportamento alternativi, che comprendono l'utilizzo di tecniche agronomiche che si distinguono per lo scarso impatto ambientale che hanno e per l'attenzione al mantenimento e all'implemento della biodiversità.

L'idea alla base del progetto non è solo ottenere dei prodotti che soddisfano le richieste del mercato, ma anche di condurre una campagna di sensibilizzazione rivolta ai consumatori, poiché appare evidente che una maggiore attenzione da parte di quest'ultimi alle pratiche di coltivazione e al rispetto della biodiversità del suolo influisce sullo stress ambientale, sulla fertilità del terreno e sulla qualità della materia ultima.

Infine, verrà prestata particolare attenzione all'analisi dei dati acquisiti grazie allo studio condotto, con il fine ultimo di dimostrare quanto siano di rilievo gli effetti derivanti dall'adozione di comportamenti coscienti delle tematiche citate. In tal modo si vuole dimostrare che è possibile rafforzare le misure legate alla salvaguardia ambientale volte alla conservazione della biodiversità.

Inoltre, sarà possibile rappresentare le correlazioni tra l'introduzione di pratiche più responsabili e i risultati ottenuti, permettendo di comprendere come l'educazione e l'informazione su questi argomenti abbiano concretamente concorso alla creazione di una maggiore sensibilità e impegno la sostenibilità e la cura delle specie animali e vegetali.

1.I funghi e le micorrize

1.1 I funghi

I funghi rappresentano uno dei Regni in cui si suddividono gli esseri viventi e contengono al loro interno circa 100.000 specie differenti. Da un punto di vista biologico essi sono considerati organismi complessi, eucariotici, la cui struttura anatomica è caratterizzata da un micelio e un corpo fruttifero e non possiede clorofilla. I miceti possono essere unicellulari o pluricellulari, e sono contraddistinti dalla mancanza di tessuti specializzati, ma possiedono una parete cellulare ricca di chitina, chitosano e nella maggior parte dei casi anche N-acetilglucosammina e β -glucani.

Morfologicamente un fungo può essere suddiviso in due sezioni, una parte epigea, vale a dire quella che si intravede crescere al di sopra del suolo; l'altra invece è quella ipogea, ed è costituita da tutta una serie di ife che si intrecciano e creano una rete denominata micelio.

Le modalità con le quali un fungo si può riprodurre sono essenzialmente due, sessuata e asessuata, meccanismi che hanno in comune solamente l'utilizzo di strutture altamente specializzate denominate spore. Esse si spostano ed escono dalle lamelle, situate nella zona inferiore del cappello, ma durante il processo non tutte danno vita a germogli.

La riproduzione asessuata presenta differenti strategie riproduttive, la prima è certamente la scissione, che risulta essere la più semplice per l'organismo vegetale da utilizzare; in questo caso la cellula madre si divide per mitosi in due cellule figlie che possiedono un identico patrimonio genetico, aumentando dunque il numero di copie di individui ottenibile, ma incidendo negativamente sulla variabilità genetica.

Il secondo metodo è la gemmazione, grazie alla quale il fungo partendo da una cellula iniziale dà vita a un corpo definito con il termine "gemma". La gemma ha la possibilità di scindersi dalla struttura originale e generare o un singolo individuo autonomo o una vera e propria colonia composta da più elementi che potrebbero manifestare un corredo cromosomico differente l'uno dall'altro.

La terza tipologia è la riproduzione per frammentazione che sfrutta il distaccamento di un piccolo pezzettino di fungo per farne nascere e sviluppare un altro; infine, la sporulazione, che può essere attuata solo da alcune specie di funghi, ossia quelli che possiedono un elemento morfologico, lo sporocisti, in grado di generare spore.

La sporulazione permette però all'organismo di ricorrere alla quiescenza nel caso in cui le condizioni ambientali si dimostrino poco favorevoli alla riproduzione e alla sopravvivenza di nuovi individui; infatti, tramite questo fenomeno la spora entra in uno stato di dormienza fino al momento in cui la situazione ritorna ottimale e il meccanismo riproduttivo si riavvia nuovamente.

Attualmente il regno dei funghi è composto da sei grandi classi: i chitridiomyceti, che possono essere considerati il phylum più antico, poiché vi prendono parte le specie considerate primitive e spesso acquatiche; gli zigomiceti, vale a dire funghi caratterizzati dal possesso di spore sessuali. All'estremità delle ife si trovano dei nuclei, i quali se uniti danno vita allo zigote. Ciò si osserva per esempio nella muffa del pane.

I glomeromiceti sono le specie capaci di sviluppare un'interazione simbiotica con le piante, gruppo al quale appartengono le micorrize. Un'altra categoria è quella degli ascomiceti, denominati in questo modo a causa di una loro peculiarità anatomica; infatti, essi presentano dei sacchi, definiti aschi, all'interno dei quali sono contenute le spore. I basidiomiceti, che contengono le spore dentro il corpo fruttifero, all'interno di basidi.

Infine, si hanno i deuteromiceti, i maggiori responsabili delle patologie umane, tra le quali si annovera la micosi.

Come affermato in precedenza gli appartenenti al Regno dei funghi sono organismi eterotrofi e privi di clorofilla, risultano quindi totalmente inabili nella sintesi di sostanze inorganiche fondamentali per la vita e il corretto funzionamento del metabolismo cellulare. Dunque, per poter ricevere le sostanze nutritive mancanti, i miceti mettono in atto differenti strategie di adattamento, specializzandosi nelle modalità di ottenimento del nutrimento.

Essi possono essere:

- saprofiti nel caso in cui sviluppano la capacità di trarre nutrimento a partire da animali o vegetali ormai morti;
- parassiti, quando traggono beneficio da altri organismi, sfruttando gli ospiti per assorbire il nutrimento. Questa è una condizione a causa della quale gli individui ospitanti sono svantaggiati dalla relazione instaurata con il fungo al punto da contrarre anche importanti patologie, come nel caso dell'uomo;
- simbiotici, modalità grazie alla quale il vantaggio è reciproco, come avviene in seguito alla formazione delle micorrize.

1.2 Le micorrize

Quando si parla di micorizza si fa riferimento a un'interazione simbiotica che si viene a instaurare tra il micelio di un fungo e la radice di una pianta¹, il termine infatti è composto da due vocaboli "Mycos", ovvero fungo, e "Rhiza", cioè radice. Colui che conia il termine "micorizza" ed è in grado di spiegare dettagliatamente la reale funzione di quest'ultima è Albert Bernhard Frank, che nel 1885 accerta l'esistenza di tale relazione mutualistica, individuando dunque le specie protagoniste del suddetto evento (Trappe, J. M. 2005).

Oggi non si ha piena consapevolezza della totalità delle specie che possono partecipare a tale interazione, attualmente ne è stato studiato un numero esimo, circa il 5% delle monocotiledoni e il 23% delle dicotiledoni, ma gli esperti ritengono che potenzialmente tutte le specie terrestri possano concorrere a tale fenomeno.

Le micorrize sono un esempio di interazione mutualistica, vale a dire una relazione biologica grazie alla quale entrambe le specie interessate traggono un beneficio; infatti, in questo caso specifico la pianta è responsabile della fornitura di fotosintati, come zuccheri e grassi, mentre la componente fungina è deputata alla condivisione di azoto, acqua e fosforo (van der Heijden et al., 2014). Grazie a questa relazione le piante interessate a tale fenomeno dimostrano una crescita più rapida dovuta a un maggiore assorbimento nutritivo e idrico, oltre a una notevole capacità di resistere agli stress biotici e abiotici.

La necessità di sviluppare tale simbiosi nasce dalla natura eterotrofa del fungo, che in quanto tale è un organismo non in grado di produrre autonomamente tutte le sostanze nutritive indispensabili alla sua sopravvivenza. Il legame che si viene a creare è figlio della connessione tra gli apici radicali, poiché le radici secondarie sono quelle specializzate nell'azione di assorbimento direttamente dal terreno grazie alla presenza di numerose ife caratterizzate da un notevole ispessimento e dalla pigmentazione delle pareti (Harley, J. L. 1959).

Analizzando nel dettaglio si osserva che il fungo attacca le radici della pianta, colonizzando l'intera area e scambiando sali minerali ed acqua, fornendo in cambio gli zuccheri che l'organismo superiore non è in grado di sintetizzare autonomamente. Il suddetto trasferimento avviene mediante la formazione di un'ampia connessione determinata dalla disposizione dell'ife poste sulla superficie della radice (Giovannetti, M., Avio, L., 2002).

¹ [https://www.treccani.it/enciclopedia/micorizza_\(Enciclopedia-Italiana\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/micorizza_(Enciclopedia-Italiana)/)



Figura 1 <https://gardenculturemagazine.com/mycorrhizae-fungi-molasses-rock-phosphate/>

Il micelio extraradicale, che altri non è che l'apparato unico e fondamentale per garantire il corretto sviluppo d'interazione, rappresenta anche un collegamento tra differenti popolazioni di piante; risulta, infatti che il glucide prodotto da organismi vegetali che contraggono l'infezione dallo stesso fungo micorrizico (Simard et al., 1997). Oltre allo zucchero, può essere scambiato anche il fosforo, proprio grazie alla generazione di anastomosi², identificate anche con il nome di fusioni ifali.

Alla luce di quanto detto è bene sottolineare che questa stretta rete di interconnessioni simbiotiche non crea dunque, un beneficio soltanto alla singola specie, ma all'intera comunità vegetale, che diventa più forte e capace di adattarsi anche al mutamento delle condizioni iniziali dell'ecosistema. Basti pensare che l'espansione della colonia micorrizica non conosce limitazioni né di spazio né di direzione; a supporto di questa tesi vi sono numerose osservazioni documentate, prima tra tutte una risalente al 1992 dalla quale è emerso che una simbiosi micorrizica può ricoprire circa 15 ettari di terreno (Smith et al., 1992).

La probabilità e la concentrazione dell'insorgenza di quella che può essere considerata una vera e propria infezione è strettamente collegata a numerosi fattori di natura biologica, chimica e geografica. Primo fra tutti si deve tener conto delle caratteristiche del suolo, poiché quest'ultimo potrebbe ospitare alcuni microorganismi che causano l'inibizione dell'instaurazione della simbiosi o essere carente di tutte quelle sostanze necessarie alla sopravvivenza della micorriza.

I funghi in grado di produrre micorrize appartengono per lo più al gruppo dei basidiomiceti, come ad esempio le *Boletaceae* e le *Agaricaceae*, ma in generale è stato dimostrato che circa 6.000 specie creano una simbiosi con le radici di 240.000 tipologie di piante differenti, numeri talmente elevati

² Viene definita come il collegamento anatomico tra due organi o due sistemi istologici.
<https://www.treccani.it/enciclopedia/anastomosi/>

che appare evidente come siano davvero poche le popolazioni vegetali incapaci di partecipare a questo fenomeno (Smith, S. E., Read, D. J., 2008). Appartengono a quest'ultima categoria le piante acquatiche e quelle che fanno parte delle famiglie delle *Brassicaceae* e delle *Chenopodiaceae* (Wang et al., 2006).

Nel corso dell'evoluzione le micorrize hanno dimostrato di sapersi adattare a condizioni ambientali differenti, arrivando in breve tempo a colonizzare ogni ecosistema terrestre; naturalmente ogni specie ha manifestato una preferenza adattativa tale da modificare le proprie caratteristiche anatomiche e fisiologiche (Bosco et al., 2008).

Per esempio le ectomicorrize tendono a colonizzare i biomi forestali, nei quali è più semplice ottenere un accumulo di sostanze organiche superficiali, in quantità variabili in stretta relazione con parametri geografici quali la latitudine e l'altitudine; o ancora le micorrize arbuscolari preferiscono vivere in luoghi in cui sono presenti un numero elevato di piante erbacee ed alberi, per lo più a basse latitudini, ma anche in ecosistemi tropicali e temperali, dove il ciclo del fosforo assume un ruolo da protagonista, insieme all'acqua, al carbonio e al potassio all'interno dell'ecologia del bioma (Read, D. J., 1991).

L'unica anomalia si registra nei Paesi caratterizzati da una vegetazione di tipo mediterranea; pertanto, che si contraddistinguono per la presenza di specie come lecci, conifere, sughere, ma anche pini marittimi, sempreverdi, piante grasse o aromatiche; in questi luoghi si è osservata la crescita e la sopravvivenza di tutte le tipologie di simbiosi micorriziche.

1.2.1. Le ectomicorrize

Generalmente le micorrize si suddividono in due grandi gruppi: le ectomicorrize e le endomicorrize. Le prime colonizzano prettamente esemplari vegetali propri del bioma forestale, come l'abete, il larice, il leccio, il nocciolo, il tiglio e molti altri, che tra le molte caratteristiche in comune hanno anche la capacità di produrre frutti nel sottobosco; inoltre, attuano una strategia di colonizzazioni particolare, dato che non disintegrano la parete cellulare della pianta, ma si insediano negli spazi intercellulari che trovano liberi. Gli esempi più famosi di ectomicorrize sono il tartufo e i porcini.

Le ife avvolgono totalmente le radici, generando uno strato molto robusto definito micoclena o mantello che muta in base alla specie elementi come la colorazione, il volume dello strato e la propria struttura anatomica. Alla luce di ciò appare evidente che il mantello può essere utilizzato come discriminante per condurre una distinzione tra le varie popolazioni di ectomicorrize.

Dalla micoclena si diramano ife che intrecciandosi crescono in due direzioni differenti, alcune si rivolgono verso l'interno, insinuandosi tra gli spazi intercellulari della corteccia radicale, generando quello che gli esperti definiscono reticolo di Harting. Altre ife invece, si estendono al di fuori

dell'apparato radicale e creano delle strutture denominate “cordoni miceliari” di lunghezza variabile, che fungono tra canali di trasporto per le sostanze nutritive, e in presenza dei giusti parametri ambientali, anche da apparati riproduttori che vengono indicati con il termine “carpofori”.

Quando il fungo crea una connessione con la radice della pianta quest'ultima subisce una trasformazione evidente: innanzitutto l'apice smette di crescere e si biforca assumendo in poco tempo una forma simile a quella di un corallo. La micoclona non va incontro a frantumazione, bensì circonda totalmente le radichette secondarie generate in seguito alla simbiosi; motivo per il quale la radice simbiotica non presenta peli radicali.

Da un punto di vista evolutivo, è possibile distinguere un terzo gruppo che possiede molti elementi in comune con quello delle ectomicorrize, vale a dire le ectoendomicorrize. Quest'ultime sviluppano lo spesso strato del mantello e anche il reticolo di Hartig, ma oltre ad uno sviluppo superficiale, sono simbiotici in grado di colonizzare anche gli spazi intracellulari arrivando al primo strato corticale.

Le piante che presentano una simbiosi ectoendomicorrizica non sono molte, tra esse si annoverano alcune Ericales, in particolare *Arbutus*, *Arctostaphylos*, *Pyrola* e *Monotropa*.

1.2.2. Le endomicorrize

Similmente alle ectoendomicorrize, le endomicorrize sono chiamate in questo modo per la loro abilità di attraversare le cellule della radice della pianta senza formare una rete di ife esterne, ciò rende evidente che la colonizzazione dell'organismo non è riscontrabile dall'occhio umano, ma solo tramite studi più approfonditi.

L'infezione micotica avviene per mezzo delle cellule vegetali e per la penetrazione del fungo negli spazi intercellulari, ma la colonizzazione è un processo altamente preciso, poiché vi sono delle aree della pianta che rimangono inviolate, come il corpo centrale e le cellule dell'apice radicale.

Gli scambi di nutrienti avvengono grazie alla formazione di sottili strutture anatomiche, come gli arbuscoli e gomitoli (coils), che si sviluppano all'interno dell'apparato radicale. Le endomicorrize è un vasto gruppo che si suddivide ulteriormente in altre tre categorie: orchidoidi, arbuscolari ed eicoidi.

Le micorrize orchidoidi, come suggerisce il nome stesso, colonizzano tutti i membri della famiglia delle Orchidaceae e tale azione si rivela di primaria necessità per far avvenire la corretta germinazione dei semi della pianta, poiché quest'ultimi sono elementi che non possiedono autonomamente le sostanze di riserva indispensabili all'accrescimento e allo sviluppo dell'organismo vegetale durante i primi stadi della sua vita.

Dunque, è il fungo micorrizico che trasmette zucchero e vitamine rendendo così l'orchidea micoterotrofica, ma esso inizialmente non trae alcun vantaggio dalla simbiosi, tramutando pertanto contravvenendo ai principi che si trovano alla base dell'interazione mutualistica (McCormick et al., 2012). Alcuni funghi orchidoidi sono i Basidiomycota, in particolare i Rhizoctonia, Fomes, Armillaria e Marasmius.

Le micorrize ericoidi instaurano delle endo-simbiosi che arrivano ad attaccare le quali totalità del tessuto radicale, approssimativamente un 80%, formando delle strutture che prendono il nome di *coils*. I *coils* sono degli agglomerati di ife che avvolgono dall'interno le cellule radicali e sono generate grazie alla capacità del fungo di incunearsi nelle cellule corticali della pianta.

Anche in questo caso il nome identifica l'organismo vegetale con il quale l'elemento micotico instaura una relazione, vale a dire le piante *Ericales*, come l'*Erica*, *Calluna*, *Rhododendron* e *Vaccinium*, tipiche di biomi peculiari come la tundra, la brughiera e in terreni particolarmente acidi, che presentano il nutrimento in modo preponderante sotto forma organica.

Considerando queste condizioni ambientali sfavorevoli allo sviluppo della vita vegetale, appare evidente che le piante si servono della simbiosi mutualistica con i funghi per poter garantire la propria sopravvivenza (Cairney et al., 2003).

I miceti che fanno parte delle endomicorrize ericoidi sono per lo più Ascomycota, nel dettaglio *Hymenoscyphus ericae* o tipiche forme mitosporiche di *Oidiodendron* (Straker, C. J., 1996).

Come affermato in precedenza esiste però una terza tipologia di endomicorrize che risulta essere la più largamente diffusa negli ecosistemi terrestri, ossia le micorrize arbuscolari.

Esse, indicate generalmente con l'acronimo MA, non solo si associano a circa l'80% dei vegetali, ma in particolare attaccano quasi tutte le specie che interessano il settore agrario, per tale ragione il loro studio non è legato solo ad una necessità ecologia, ma anche economica, poiché capaci di instaurare un'interazione mutualistica con la maggior parte delle specie presenti in tutto il mondo (Lekberg et al., 2013).

Dunque, uno degli aspetti che colpisce in maggior misura è proprio l'abilità di stanziarsi in ogni bioma, persino in quelli più ostili come quelli presenti nell'Artide, Antartide, ma anche nei luoghi temperati, tropicali e desertici (Giovannetti, M., Avio, L., 2002).

I miceti che creano simbiosi micorriziche arbuscolari sono un gruppo monofiletico; pertanto, tutti i membri discendono da un antenato in comune³, la cui denominazione deriva dalla morfologia delle strutture anatomiche che si vengono a creare in seguito alla simbiosi all'interno delle cellule radicali, ossia ife ramificate che cui morfologia ricorda proprio quella di piccoli arbusti (Smith e Read, 2008).

³ <https://www.treccani.it/enciclopedia/monofiletico/>

Alla luce di importanti studi molecolari, le MA sono considerate le simbiosi micorriziche più antiche, poiché è stato dimostrato che i Glomeromycota, phylum al quale appartengono tutti i funghi micorrizici arbuscolari, sono stati i fautori della colonizzazione vegetale dell'ambiente terrestre milioni di anni fa (Heckman et al., 2001).

1.3 Le interazioni tra le specie: la simbiosi

Al fine di delineare al meglio le caratteristiche e le attitudini che delimitano e differenziano le specie è bene partire da un concetto ben più complesso e multidisciplinare, vale a dire quello di ecosistema. La prima definizione del termine ecosistema risale alla prima metà del secolo scorso, precisamente al 1935, quando Arthur Tansley⁴, uno dei più illustri ecologisti dell'epoca, afferma che esso è «il sistema formato dalle relazioni intercorrenti fra un complesso di organismi che vivono in una regione e l'insieme dei fattori fisici che formano il loro ambiente» (Tansley, A., 1935).

Alla luce di ciò gli studiosi hanno ritenuto opportuno porre l'ecosistema alla base dello studio dell'ecologia, rendendolo l'unità fondamentale all'interno della quale le componenti biotiche e abiotiche vivono e interagiscono. Quello che accomuna quest'ultimi è il costante scambio di energia che raggiunge tutti gli organismi appartenenti alla cosiddetta “catena trofica”⁵ (Paci, M., 2011).

Le specie che abitano lo stesso ecosistema instaurano delle relazioni biologiche intraspecifiche, vale a dire tra membri della stessa specie, e interspecifiche, ossia tra elementi di specie differenti. Tra le principali interazioni riscontrabili si hanno: la simbiosi, la competizione e la predazione⁶.

La competizione è l'antagonismo tra individui della stessa specie o di specie differenti che vivono nella medesima area geografica e si contendono una risorsa, che sia essa acqua, luce o cibo. A livello intraspecifico la competizione è molto più dura, poiché tutti gli elementi possiedono le medesime caratteristiche; pertanto, sono costretti a variare il proprio comportamento per ottenere la supremazia. La competizione interspecifica si manifesta in presenza di individui appartenenti a diverse specie, ma che necessitano della stessa risorsa probabilmente perché occupano nicchie simili e sviluppano simili abitudini.

⁴ <https://www.oxfordbibliographies.com/display/document/obo-9780199830060/obo-9780199830060-0094.xml>

⁵ Una catena trofica, o alimentare, rappresenta il trasferimento di energia dagli organismi autotrofi, esseri viventi come le piante, agli organismi eterotrofi, vale a dire tutte quelle specie che non sono in grado di sintetizzare il proprio nutrimento autonomamente. Le catene trofiche si suddividono in: catena di pascolo e catene di detrito. Le prime hanno alla base le piante che fungono da nutrimento per gli erbivori pascolanti e i carnivori; le seconde invece si fondono sulla materia organica morta che viene ingerita da microrganismi che a loro volta diventano prede di detritivori e di conseguenza dei predatori di quest'ultimi. <https://www.scienze-naturali.com/le-piramidi-ecologiche-e-le-catene-alimentari/1366>

⁶ <https://www.sapere.it/sapere/strumenti/studiafacile/biologia/Organismi-e-ambiente/Fondamenti-di-ecologia/Relazioni-tra-le-popolazioni.html>

La predazione è un'interazione biologica che prevede un organismo dedito alla caccia e all'uccisione di un altro animale per poter garantire la propria sopravvivenza, e di un altro elemento, normalmente più debole, che viene definito preda. La predazione funge da sistema di controllo del numero di elementi di una popolazione; tanto maggiore è il numero di prede tanto più caceranno i predatori; questo incremento delle uccisioni provoca una diminuzione delle prede e il conseguente decremento dei predatori, creando così un circolo infinito, ma equilibrato.

Tra le tecniche di predazione la più peculiare è il mimetismo criptico, che prevede un adattamento fenotipico che genera nel predatore la manifestazione di colori, disegni e forme geometriche tanto particolari da mimetizzarsi con l'ambiente circostanze o talmente ammalianti da catturare le prede in poco tempo. Un'altra strategia è il mimetismo batesiano, grazie alla quale le prede prendono delle caratteristiche tipiche di specie pericolose, tendendo così ad allontanare il proprio aggressore; o anche il mimetismo aggressivo che appartiene ai cacciatori mediante il quale si fingono innocui per avvicinarsi alla presa senza metterla in allarme e poi ucciderla.

Per ultima si ha la simbiosi, vale a dire l'associazione tra due esseri viventi, definiti simbionti, i quali possono trarre entrambi vantaggio da questa unione, o ne può trarre beneficio solo uno di essi. Nel primo caso si parla di simbiosi mutualistica; mentre nel secondo si parla di commensalismo, se il simbiote che non trae alcun beneficio non viene nemmeno sfavorito da tale rapporto; o parassitismo, se invece un elemento detto parassita sfrutta un altro detto ospite arrecando a quest'ultimo un danno di entità variabili. Quest'ultima relazione può instaurarsi per tutta la vita o soltanto per un breve arco temporale, chiari esempi di ciò sono tutti i microrganismi cause di malattie. Il parassitismo, così come la predazione è un processo altamente selettivo e pressante che consente di mantenere in equilibrio il numero di individui all'interno delle varie popolazioni.

Esiste anche un altro tipo di simbiosi definita inquilinismo, che prevede che due organismi occupano lo stesso ambiente ristretto.

Sebbene Charles Darwin ne abbia parlato nella sua opera più famosa "L'origine della specie" già nel 1859, è solo vent'anni dopo, nel 1878 che il termine "simbiosi" viene utilizzato per la prima volta durante un convegno di esperti naturalisti e medici. Il patologo Heinrich Anton De Bary parla di una relazione intima e, quasi sempre necessaria, che si crea tra individui di specie diverse (De Bary, H. A., 1887).

Generalmente le simbiosi si suddividono in permanenti o cicliche: si dicono permanenti le interazioni biologiche che caratterizzano tutta la vita dei soggetti interessati, che per tale motivo non sono più in grado di sopravvivere autonomamente, ma necessitano forzatamente di mantenere questo rapporto. Sono definite cicliche, invece, le simbiosi nelle quali i due simbionti entrano a contatto tramite lo spazio che li circonda, ma ciò non avviene sporadicamente o casualmente, bensì è un evento che si

ripete di generazione in generazione. Da ciò si evince che i simbionti sono capaci di vivere senza manifestare immediatamente una dipendenza l'uno dall'altro, eppure solo in presenza di condizioni ritenute opportune possono sviluppare questo legame, un esempio lampante è proprio la simbiosi micorrizica.

Come esplicitato nel paragrafo precedente quando si parla di micorriza si fa riferimento a una simbiosi mutualistica, vale a dire un rapporto di interdipendenza nel quale entrambi gli elementi traggono un vantaggio dall'altro. Numerosi studi hanno dimostrato che la simbiosi micorrizica è presente sul nostro Pianeta sin da tempi molto antichi ed ha giocato un ruolo di rilievo nel trasferimento della vita dall'ambiente acquatico a quello terrestre.

Un primo antenato della micorriza è *Aglaophyton major*, un organismo vegetale ad oggi estinto, che si fa risalire al periodo del Devoniano inferiore, vale a dire circa 410 milioni di anni fa. Essa è stata citata per la prima volta intorno agli anni '20 del secolo scorso da Kidston e Lang, i quali trovano tracce dell'*Aglaophyton major* nel sito *Rhynie chert*⁷.

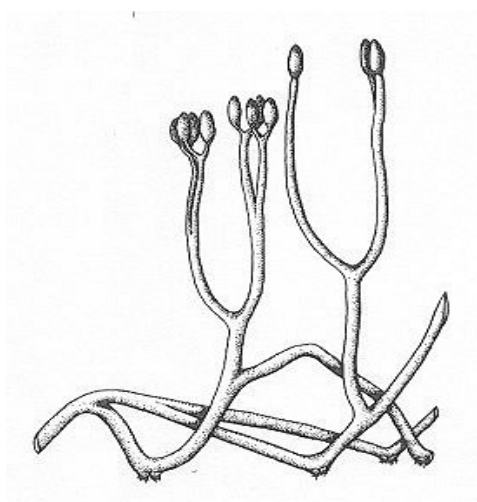


Figura 2 <https://steurh.home.xs4all.nl/engrhyn/eagla.html>

Nonostante sia lampante la similitudine con il simbionte odierno, in particolare con alcune briofite, appare evidente che il suddetto esemplare manifesta numerose discordanze anatomiche con la micorriza; infatti, esso non presenta un apparato radicale sviluppato, al contrario è caratterizzato da una serie di rizoidi che espletano il compito di ancorare il vegetale al suolo, inoltre l'infezione non

⁷ La selce di Rhynie è una selce prodotta per precipitazione di composti chimici allo stato liquido ricchi di silice. In particolare, questo fossile nasce da depositi provenienti da sorgenti termali. È una tipologia di fossile poco comune, caratterizzata da una selce blu grigiognola risalente al periodo geologico situato tra i 400 e i 412 milioni di anni fa. <https://www.abdn.ac.uk/geosciences/departments/geology/research/the-rhynie-chert/the-learning-resource-site/what-is-the-rhynie-chert/#panel58728>

attacca le radici, bensì le parti aeree, ragione che gli fa meritare il titolo di “paramicorriza” (Strullu-Derrien et al, 2018).

Altri scienziati sostengono invece che la comparsa della simbiosi micorrizica sia ben più antecedente e risalga a circa 460 milioni di anni fa; pertanto, al periodo dell’Ordoviciano quando le uniche piante presenti sulla terra erano briofite.

Se si vuole ricostruire con maggiore precisione l’evoluzione che ha accompagnato la simbiosi tra funghi e piante fino ad oggi è bene prendere come primo punto di riferimento la relazione che anticamente si è cementificata tra Glomeromycotina e Mucoromycotina. Alcuni studi condotti a livello molecolare su sequenze nucleotidiche codificanti per la sub-unità piccola dell’RNA ribosomiale hanno accertato la presenza del genere *Glomus* e la relativa coincidenza nei primi esemplari di piante sviluppatasi sulla terraferma e hanno datato tutto ciò collocando il tutto in un range temporale che va dai 353 ai 462 milioni di anni fa, dunque perfettamente in linea con le osservazioni precedenti (Simon et al., 1993).

La Glomeromycotina è probabilmente il gruppo micotico più largamente diffuso negli ecosistemi terrestri, ragion per cui gli scienziati hanno cercato di classificare tassonomicamente le specie che ne fanno parte nel modo più preciso possibile. Se inizialmente si riteneva fosse corretto considerare questi funghi come un phylum unico e indipendente, attualmente, forti dei test genetici condotti sui loci dell’rDNA, in contrasto però con il risultato di quelli basati sul genoma mitocondriale e sulle proteine nucleari, si è giudicato necessario considerarli al pari di subphylum del ben più esteso gruppo dei Mucoromycota.

La mucoromycota è un phylum particolarmente numeroso all’interno del Regno dei funghi, con caratteristiche morfologiche tali da distinguerlo con facilità dalle altre specie funginee, prima fra tutti il possesso di ife cenocitiche polinucleate e prive di setti. Questa struttura consente all’organismo di crescere molto velocemente e di assorbire con altrettanta prontezza le sostanze nutritive dal terreno⁸.

L’elemento che ha portato i botanici e i genetisti ad interessarsi a questa simbiosi mutualistica è l’esistenza di esemplari di queste famiglie che presentano molti più geni rispetto alle aspettative, quasi 2500 in più. Tra questi si osserva il deficit di tutti quei caratteri che codificano per la degradazione della lignocellulosa e per la sintesi degli acidi grassi, di fondamentale importanza per il corretto funzionamento del metabolismo cellulare. La suddetta mancanza è controbilanciata dalla manifestazione di molti geni indispensabili per la sintesi di catene proteiche impiegate nei processi di segnalazione cellulare e nel controllo immunitario durante l’accrescimento anatomico della pianta. Molti studiosi affermano che l’evoluzione della simbiosi micorrizica è scandita da tre fasi principali (Brundrett et al, 2018):

⁸<https://biologyinsights.com/mucoromycota-classification-characteristics-and-applications/>

- la prima avutasi nell'Ordoviciano Superiore, quindi intorno a 450 milioni di anni fa; momento in cui compaiono le endo-micorrize arbuscolari e si differenziano dal punto di vista morfologico e funzionale;
- la seconda risalente al Cretacico, periodo che va dai 66 ai 145 milioni di anni fa, ed è caratterizzata dall'origine e dallo sviluppo delle ecto-micorrize in molteplici specie vegetali;
- la terza ed ultima fase appartiene al Paleogene, intervallo di tempo che inizia dai 65 milioni di anni fa e si estende fino ai giorni d'oggi, durante il quale le interazioni biologiche create tra le piante e i funghi sono diventate molto più complesse.

In aggiunta a ciò, è stata riscontrata a livello genomico l'esistenza di una via di segnalazione legata allo sviluppo simbiotico presente in tutte le piante terrestri, che si è dimostrata essere utile anche alla generazione del corretto legame micorrizico. Essa è caratterizzata dai geni SYMRK, CYCLOPS e CCaMK e consentono non solo il riconoscimento del segnale inviato dal simbionte, ma anche il regolare trasferimento dei lipidi, processo alla base del funzionamento della simbiosi micorrizica (Radhakrishnan et al., 2020).

Gli studi incentrati sulla simbiosi che lega i funghi alle piante sono molteplici e grazie ad essi si sa che ad oggi sono circa 50.000 le specie appartenenti a questo Regno capaci di formare micorrize, inoltre è stato osservato che le piante solitamente sono in grado di instaurare un elevato numero di associazioni micotiche, quasi 80, ma ogni specie tende a manifestare delle propensioni altamente selettive relativamente all'esemplare di fungo con il quale interagire.

Le piante destinano al simbionte circa il 20% della produzione fotosintetica nel caso delle endo-micorrize e del 50% nel caso dell'ecto-micorrize. Dall'altro canto le micorrize svolgono un ruolo basilare nel ciclo del carbonio, del nitrato e del fosfato, elementi chimici alla base di ogni ecosistema presente sulla Terra.

2. La biodiversità e le sue componenti

2.1 Biodiversità: una parola composta da infiniti elementi

Si ritiene che il termine “biodiversità” sia stato pensato per la prima volta nel 1988 dall’entomologo Edward O. Wilson⁹, ma ben presto l’importanza primaria di tale tema appare così evidente da suscitare l’interesse della Comunità scientifica mondiale. Per questa ragione anni dopo, nel 1992, si è svolta a Rio de Janeiro un’assemblea generale preposta alla creazione di una vera e propria definizione dell’argomento, evento che da allora diviene annuale e prende il nome di *Convention on Biological Diversity*, il cui acronimo è CBD¹⁰. Quest’ultima si prefissa tre obiettivi principali, ossia conservare la biodiversità a livello globale, un’uguale distribuzione dei beni e dei servizi ad essi legati e l’utilizzo sostenibile e duraturo delle risorse naturali.

Quando si parla di biodiversità si fa riferimento alla varietà di organismi animali, vegetali e microrganismi che abitano la Biosfera; solo nel corso dei decenni successivi gli scienziati hanno ritenuto opportuno comprendere all’interno della nozione di diversità biologica anche i milioni di geni che costituiscono il patrimonio genetico di ogni specie vivente.

Alla luce di quanto detto è possibile riassumere il concetto di biodiversità come la varietà e la variabilità della dimensione genetica, specifica ed ecosistemica¹¹, definizione ben lontana dall’immaginario comune che collega tale parola a quella di semplice diversità.

Come affermato in precedenza, da un punto di vista genetico, la biodiversità punta l’attenzione al genotipo, dunque all’insieme di caratteri che determinano caratteristiche fisiche utili a distinguere un individuo dall’altro all’interno della stessa specie o grazie alle quali discriminare elementi appartenenti a specie differenti (Grassi et al, 2006).

Gerarchicamente è bene, poi, delineare la diversità biologica a livello di specie, poiché essa è l’unità di base per qualsiasi branca della Biologia. Secondo Ernst Mayr¹², il minimo comune denominatore che permette di individuare elementi della stessa specie è la capacità di accoppiarsi tra loro e di generare prole che a sua volta sia feconda. Inoltre, esemplari che fanno parte della stessa specie

⁹ Edward Osborne Wilson è nato a Birmingham nel 1929 ed è morto a Burlington il 26 dicembre del 2021. È stato un celebre biologo di origine statunitense che ha dedicato la maggior parte dei suoi studi all’apprendimento della mirmecologia e della biodiversità, arrivando a teorizzare il concetto di biogeografia insulare. <https://www.nature.com/articles/s41559-022-01680-8>

¹⁰ Ad essa aderiscono circa 192 Stati, l’intera Unione Europea e il Programma della Nazioni Unite per l’ambiente, che conta 193 Paesi membri.

¹¹ www.cbd.int

¹² Biologo statunitense nato in Germania nel 1904 e detentore della cattedra di zoologia presso l’Università di Harvard dal 1953 fino al 1975. Celebre per aver identificato molte specie animali sul continente europeo, in particolare quelle del *Larus fuscus graellsii* e *Larus argentatus argentatus*. I suoi studi sono stati di fondamentale importanza poiché forniscono dettagli di rilievo riguardanti la deriva genetica e la sistematica evolutiva in generale, supportando la teoria sintetica dell’evoluzione. https://www.treccani.it/enciclopedia/ernst-mayr_%28Enciclopedia-Italiana%29/

manifestano delle peculiarità in comune non solo da un punto di vista morfologico, ma anche fisiologico e biochimico¹³.

L'ultimo livello è quello ecosistemico. Gli organismi viventi interagiscono con altri individui e con l'ambiente instaurando una fitta rete di relazione tanto fondamentali da determinare la sopravvivenza o l'estinzione di un'intera specie e che caratterizza un'altra entità biologica, vale a dire quella dell'ecosistema. Un ecosistema è l'insieme degli elementi biotici, come piante e animali, e di quelli abiotici, dunque non viventi, come la temperatura, i nutrienti e luce, che interagiscono costantemente mediante lo scambio di materiali ed energia in un'area geografica ristretta¹⁴.

Gli individui che delineano un ecosistema possono essere suddivisi in organismi autotrofi, definiti produttori primari, che immagazzinano energia prelevandola direttamente dall'ambiente esterno e convertendola in materia organica di fondamentale importanza per l'espletamento di tutte quelle funzioni vitali necessarie alla sopravvivenza. Altri sono denominati eterotrofi o consumatori, e sono tutti quegli esseri viventi che si nutrono di sostanze organiche prodotte dai produttori primari.

I suddetti si classificano ulteriormente in consumatori primari, come gli erbivori, e consumatori secondari e terziari come i carnivori (Raven et al., 2013). Una menzione particolare deve essere rivolta ai decompositori, ovvero organismi unicellulari, come batteri, protozoi, funghi e licheni che, come suggerisce il nome, si nutrono di materiale organico in decomposizione (Santovito, G., 2015).

Alla luce di quanto affermato fino ad ora, è possibile, dunque, sostenere che il concetto di biodiversità può essere applicato a tutti gli ambiti legati agli esseri viventi presenti sul nostro pianeta, è che essa influisce enormemente sul corretto funzionamento del bioma e dell'ecosistema. La diversità biologica può essere considerata come un puzzle, i cui tasselli sono rappresentanti da ogni individuo appartenente a tutte le specie presenti nella moltitudine di ecosistemi che valorizzano la Terra; sono molte, infatti, le popolazioni animali e vegetali che svolgono un ruolo di primaria necessità per la sopravvivenza globale della Vita, come la conversione dell'anidride carbonica in ossigeno o la purificazione del suolo e dell'acqua (Stern, C., 2010).

A tal proposito, è di fondamentale importanza sottolineare come il destino della diversità biologica e quello delle specie presenti sul nostro pianeta siano strettamente interconnessi e mutino proporzionalmente grazie a uno scambio che avviene in modo reciproco e dinamico. Questo aspetto della vita sulla Terra è stato oggetto di studio di numerosi scienziati e pensatori di tutte le epoche, i quali hanno dedicato a tale argomento intere opere, primo tra tutti Charles Darwin¹⁵.

¹³ <https://www.treccani.it/vocabolario/specie/>

¹⁴ <https://www.treccani.it/enciclopedia/ecosistema/>

¹⁵ Nato nel 1809 nello Shropshire, a Shrewsbury, ed è morto nel 1882 a Londra. È stato uno dei più famosi naturalisti di fama mondiale, celebre in particolar modo per la sua teoria sull'evoluzione delle specie, nata dall'osservazioni di caratteri morfologici in comune tra fossili appartenenti a specie differenti esistite nella stessa area geografica. Egli sostiene che al fine di garantire la sopravvivenza le popolazioni sviluppano dei tratti ereditabili di generazione in

Durante i suoi viaggi a carattere naturalistico ed escursionistico egli è stato capace di osservare direttamente sul campo le relazioni che si instaurano tra individui appartenenti a specie diverse e l'ambiente in cui quest'ultimi nascono, si muovono, si riproducono ed infine, muoiono. Quanto detto è il fondamento della più grande teoria dello scienziato, vale a dire quella della selezione naturale.

Secondo Darwin ogni individuo ha un potenziale di sopravvivenza pari alla sua capacità di adattarsi ai cambiamenti che incontra nel corso della sua vita; ciò può essere tradotto in un adattamento morfologico, fisiologico e comportamentale, che rappresentano non solo l'evoluzione, ma che alimentano anche la diversità biologica. Pertanto, sono molti i fenomeni ai quali stimoli le specie devono rispondere, molti di essi però sono imprevedibili e con il susseguirsi delle ere geologiche hanno portato anche a conseguenze devastanti e ineluttabili, come la perdita di migliaia di individui che rendevano ancor più ricca la biodiversità della Biosfera.

Un chiaro esempio di quanto detto sono importanti eruzioni vulcaniche, il costante movimento delle placche continentali, glaciazioni o nei casi più eccezionali persino la caduta di meteoriti che ha determinato l'estinzione di specie largamente diffuse nella maggior parte dei biomi terrestri, come i dinosauri.

2.1.1. L'uomo: un pericolo per la biodiversità.

Forte degli insegnamenti degli eventi passati, la Comunità Scientifica odierna ritiene che le azioni umane attuate negli ultimi decenni possano assumere in breve tempo sfumature tali da infliggere un danno insanabile alla biodiversità mondiale. Ad oggi sono molte le specie animali e vegetali etichettate come a rischio di estinzione, addirittura secondo delle stime più puntuali, si ritiene che ogni anno dalle 25.000 alle 30.000 cessino di esistere, per non parlare poi della perdita di alleli che costituivano un tassello importante per la diversità biologica di ogni individuo (Grassi et al, 2006).

Analizzando dettagliatamente i comportamenti degli esseri umani, sono molti quelli che mettono in pericolo la biodiversità, primo tra tutti l'alterazione degli ambienti naturali.

Con il termine habitat si è soliti indicare sia l'insieme degli elementi ambientali in cui vive un qualsiasi tipo di organismo, sia esso animale, vegetale o batterico. Questi parametri possono essere di natura chimica e biologica e convergono nella creazione di dimensioni utopisticamente perfette

generazione che diventano nel corso dell'evoluzione sempre più frequenti. <https://www.treccani.it/enciclopedia/charles-robert-darwin/>

all'interno delle quali gli individui possono sopravvivere e riprodursi al massimo delle loro potenzialità¹⁶.

Da ciò si evince che persino la variazione della più infinitesimale variabile può comportare uno shock per la specie presa in esame e di conseguenza provocarne l'aumento esponenziale, la riduzione o addirittura l'estinzione.

Gli habitat naturali presenti sul nostro pianeta sono molteplici e caratterizzano e discriminano i vari biomi terrestri. Troppo spesso ultimamente viene data importanza all'avanzamento dell'edilizia, la quale è inversamente proporzionale al benessere dei grandi spazi verdi.

L'essere umano tende a devastare ettari di terreno un tempo forestale o in zone umide della Terra, con il fine ultimo di costruire più palazzi, fabbriche, negozi ed implementare così la produttività del settore terziario e in modo involontario anche il livello di inquinamento, poiché vengono rilasciate nell'ambiente sostanze di scarto nocive non solo per la salute dell'uomo stesso, ma anche per quella della natura (Padoa-Schioppa, E. 2018). L'eliminazione dei suddetti spazi naturali comporta anche la perdita drastica di spazi un tempo culla di un'elevata diversità biologica, poiché vengono a mancare molte specie endemiche, si avvia un involontario isolamento riproduttivo che con il trascorrere degli anni può portare a piccole estinzioni (Ferrari, C., Pezzi, G. 2013).

Un ulteriore elemento di particolare rilievo da prendere in considerazione è la globalizzazione, un fenomeno di natura prettamente positiva per l'uomo e per la sua evoluzione non solo biologica, ma anche culturale, eppure con impatti negativi per le specie animali e vegetali locali che si ritrovano a dover fronteggiare popolazioni rivali aliene.

Nell'ultimo decennio la percentuale di specie alloctone, vale a dire quelle che si trovano spontaneamente nell'ambiente considerato, è aumentata quasi all'80%, di cui il 96% solo nel nostro Paese, un dato visibilmente preoccupante dato il forte impatto sulla diversità biologica chiaramente intuibile. (Raven et al., 2013).

Infine, da non dimenticare come nemico della biodiversità è la sovrappopolazione umana; quest'ultima è determinata da una serie di eventi come l'allungamento dell'età media e la ridotta mortalità, esito diretto del miglioramento delle conoscenze mediche e delle nuove tecnologie. L'incremento demografico si riflette nella necessità impellente di avere maggiori spazi abitativi e un conseguente incremento di risorse quali materie prime ed energia, che iniziano ad essere prodotte con modalità intensive e non sostenibili, devastando in tal senso gli ecosistemi nel particolare, ma generalmente l'intero Pianeta.

Distruggere la biodiversità è una scelta da non prendere con leggerezza, anche solo tenendo conto che del risvolto economico; è possibile affermare quasi con certezza che un ecosistema equilibrato e

¹⁶ <https://dizionari.repubblica.it/Italiano/H/habitat.html>

pertanto perfettamente funzionale, rappresenta una fonte di guadagno sul lungo periodo ben più remunerativa e sicura rispetto al valore monetario prodotto da un edificio, da un'attività lavorativa nascente e dallo sfruttamento intensivo delle risorse.

Gli attivisti e i sostenitori della salvaguardia ambientale cercano di puntare l'attenzione su tali temi, sollecitando l'Opinione Pubblica a non voltare le spalle alla situazione in un'imperversa il mondo naturale odierno, sottolineando come l'uomo sia l'unica creatura con il potere di estirpare totalmente le altre e quindi, l'unico capace di salvaguardare il benessere globale e custodire quindi, la biodiversità. Lo stesso WWF, organizzazione non governativa che opera a livello internazionale per la cura delle specie animali e vegetali, si è prodigata nell'esortare alla riflessione del forte impatto che si ha sull'ambiente e chiede a gran voce l'istituzione di un garante che svolga attività di monitoraggio e di sorveglianza del rispetto delle norme condivise a livello mondiale.

Relativamente a ciò, nel 2020 l'Agenzia Europea dell'Ambiente ha redatto e diffuso il rapporto SOER dal quale emerge l'attenzione che le politiche europee dedicano a tali aspetti e convogliano gli sforzi di tutti gli Stati nella diminuzione delle pressioni che le attività umane esercita nei confronti della Natura.

2.2. Il suolo: l'importanza e la sua diversità

Il suolo viene definito come lo strato più superficiale della crosta terrestre caratterizzato da uno spessore molto sottile, infatti, può variare dai 70 ai 200 centimetri, e palcoscenico di alcuni dei processi geologici più importanti per il nostro Pianeta, poiché è responsabile del mantenimento dell'omeostasi delle relazioni tra gli strati interni e quelli più esterni¹⁷.

Nonostante si è propensi a credere che il suolo non sia un elemento vitale, come può esserlo una distesa di acqua dolce o salata o una foresta, in realtà esso ospita al suo interno quasi circa il 25-30% della biodiversità della Terra (Jeffrey S., Gardi C., 2010), non solo appartenenti al mondo animale o vegetale, ma anche quello dei batteri, poiché è stato osservato che un singolo ettaro di terreno è in grado di ospitare fino a un miliardo di microrganismi.

¹⁷ https://www.treccani.it/enciclopedia/soilo_%28Enciclopedia-dei-ragazzi%29/

2.2.1 Molto più che terra: le componenti del suolo

Generalmente il suolo è composto da elementi di differente natura e origine che ne determinano le caratteristiche. Prima tra tutti è bene menzionare il carbonio che nel suolo si presenta sotto molteplici aspetti, dalle più piccole molecole elementari, alla sostanza organica, fino ad arrivare all'anidride carbonica che attraversa i pori del tessuto terrestre.

Il carbonio è un elemento indispensabile causa della fertilità del suolo e dunque, diretto responsabile della primaria fonte di sostentamento non solo dell'essere umano, ma anche di molte altre specie.

Si è osservato che il suolo ha una capacità di assorbimento e trattenimento del carbonio migliore rispetto alle altre componenti che costituiscono un ecosistema, ciò avviene perché esso tende a bloccare con forza le sostanze che vi entrano a contatto e a rilasciare quest'ultime molto lentamente. In particolare, il suddetto strato viene rappresentato come un raccoglitore temporaneo poiché gli scambi tra interno e esterno sono continui, ma inversamente proporzionali alla profondità (Pileri, P., 2016).

Questa azione è vitale per la sopravvivenza della vita sulla Terra, perché nel caso in cui il suolo smettesse di trattenere il carbonio, esso si riverserebbe nell'atmosfera, aumentando il surriscaldamento globale e portando all'estinzione più di una specie, compreso l'uomo (Blanc, P., 2008). Quanto affermato è dimostrabile tenendo conto che la quantità di carbonio presente nei suoli delle zone boschive si aggira intorno alle 90-70 tonnellate per ettaro, mentre nelle aree deputate alla pratica agricola e, pertanto trattate dall'uomo il valore scende fino alle 57 tonnellate per ettaro.

Questo dato appare piuttosto preoccupante agli occhi degli esperti, i quali vedono nello sviluppo e nella diffusione dell'urbanizzazione un nemico alla sostenibilità ambientale, senza considerare inoltre, che i tempi di immagazzinamento del carbonio sono molto più lenti rispetto a quelli di dispersione nell'atmosfera, basti pensare che nel decennio che va dal 1999 al 2009 l'aria ha acquisito un incremento di anidride carbonica pari al 20%, proprio a causa dello sfruttamento intensivo dei terreni arabili.

Un'altra componente del suolo è la sostanza organica, che da un punto di vista trofico incarna una vera e propria fonte di energia. Essa è prodotta a partire dalla demolizione di foglie, radici e dall'humus. In base alla percentuale di materia organica presente è possibile determinare la ricchezza di un terreno, in particolare seguendo un ordine decrescente:

- Tra il 10 e il 20% il suolo presenta una quantità di sostanza organica così elevata da non essere adatto alla coltivazione
- Dal 3 al 10% il suolo è definito ricco di sostanza organica;

- Dal 2 al 3% il suolo è considerato moderatamente ricco di sostanza organica;
- Al di sotto del 2% il suolo presenta valori di materia organica talmente bassi da essere classificato come di scarsa qualità.

Ovviamente tra i costituenti del terreno si annoverano l'acqua e l'aria, che penetrano gli elementi allo stato solido, come le rocce, grazie alla presenza di pori che li raccolgono in seguito ad eventi atmosferici, quali pioggia, nevicate o fenomeni di condensazione e comparsa di brina in un costante scambio con l'atmosfera. Tutti questi fattori concorrono alla definizione dell'umidità del terreno, che per essere considerata ottimale deve risultare pari a circa il 20-25% del volume totale del suolo.

Per ultima è bene menzionare la componente minerale che si articola in argilla, limo e sabbia. Otticamente è questa che identifichiamo con il termine "suolo", anche se essa è solo una delle parti chiamate in causa per la determinazione di questo strato della crosta terrestre. Le componenti minerali ricoprono poco meno della metà del volume totale del terreno, arrivando a circa il 45%, eppure sono entità talmente minuscole da non possedere più di 2 mm di diametro.

Oltre a quelli già descritti, nella componente minerale è possibile menzionare anche le pietre, i frammenti e i granuli, che hanno la stessa composizione chimica di quelle precedentemente descritte, ma una differente dimensione granulometrica; infatti, possono variare dai 2 mm fino ad arrivare persino ai 20-25 cm.

Così come per la quantità di materiale organico, anche per quanto riguarda la grandezza della componente minerale è possibile definire se un suolo è adatto o meno alla coltivazione, dato che maggiore è la presenza di quest'ultima minore sarà l'attitudine del suolo ad essere lavorato e predisposto alle attività agricole.

2.2.2 Il rischio della perdita della biodiversità nel suolo

In seguito a numerosi studi condotti sullo sfruttamento del suolo è emerso come dato comune che lo strato di terreno caratterizzato da una spiccata fertilità è il *topsoil*, vale a dire quello con il quale l'essere umano e l'atmosfera entra maggiormente a contatto e che va dai 5 ai 20 cm di spessore.

Sulla base di quanto affermato non è difficile comprendere, dunque, che il *topsoil* sia proprio il piano terrestre che l'uomo utilizza per la realizzazione dei campi agricoli. A partire dalla seconda metà del secolo scorso, negli Stati Uniti, è stata redatta una classificazione puntuale applicabile alle molteplici tipologie di terreno, che prendere in considerazione non solo la componente strutturale del suolo, ma anche la profondità, l'anatomia degli strati sottostanti, la fertilità, l'umidità, la perdenza e la

probabilità che quell'appezzamento di terra vada incontro a erosione, siccità e a molti altri fenomeni atmosferici e ambientali.

Alla luce di ciò è possibile suddividere il suolo in:

- Adatto all'uso agricolo;
- Adatto all'allevamento e alla forestazione;
- Inadatto all'uso agricolo, forestale e pastorale.

Queste tre categorie definite inizialmente sono state implementate nel corso dei decenni fino a divenire 8 classi principali di classificazione del suolo, che rientrano nella cosiddetta *Land capability classification* (LCC). Sono le prime quattro classi della LCC a rappresentare un bene inestimabile per la specie umana, dato che a quest'ultime appartengono tutti quei suoli considerati migliori da un punto dal punto di vista della produzione agricola.

Al pari di qualsiasi altra risorsa naturale, il suolo è soggetto a fenomeni di degrado e invecchiamento sia dovuti a cause interne che a fattori esterni, in quest'ultimo caso la maggior parte delle volte dovuti alle azioni sconsiderate dell'uomo.

Il primo motivo di degradamento del suolo è la sigillatura, detta anche impermeabilizzazione; essa colpisce soprattutto i terreni coperti e trasformati colpendoli nelle loro capacità di assorbimento di sostanze liquide, in particolar modo dell'acqua, e di permeabilità. Quando l'uomo sceglie di usare un suolo per fini agricoli, va a intaccare lo strato più superficiale, quindi quello più fertile, e a diminuire la permeabilità del suolo stesso, andando ad intaccare anche il ruolo di difesa esercitato dal terreno durante eventi atmosferici avversi, come forti raffiche di pioggia o persino alluvioni. Purtroppo, è stato dimostrato che dopo aver lavorato artificialmente il suolo, e dunque dopo averlo reso impermeabile, questo non sarà più in grado di tornare allo stato originale; pertanto, l'impermeabilizzazione è un processo irreversibile¹⁸.

A tal proposito l'azione umana è la causa principale della contaminazione e dell'inquinamento, alterando il grado di porosità del terreno si provoca una variazione della capacità di assorbire l'acqua e smaltire le sostanze di scarto, che di conseguenza verranno rilasciate nell'ambiente circostante. L'impoverimento di determinate aree geografiche e la degradazione dovuta alla contaminazione richiede sforzi eccessivi di ripristino dei tratti salutarì precedenti, al punto che spesso per questioni economiche si tende a perdere interi ettari di terreno pur di non mettere in campo processi di bonifica del territorio. Anche in questo caso il suolo contaminato non può tornare allo stato primordiale (Tenywa M.M., Lal R., Majaliwa M.J.C., 2001). Relativamente alla contaminazione, è bene menzionare la salinizzazione, poiché percentuali eccessive di sale provocano la quasi immediata

¹⁸ www.globalsoilweek.org

morte del suolo, perché influisce su ogni processo metabolico che caratterizza lo strato di terreno e le sue componenti.

Anche la perdita di materia organica è dovuta all'attività antropica, infatti ingenti azioni di deforestazione o di trasformazione di aree prative in aree agricole, vanno a intaccare la quantità di carbonio presente nel suolo, portando quest'ultimo alla morte.

Un'ulteriore causa della perdita della diversità biologica e della fertilità del terreno è l'erosione, un fenomeno naturale generato da manifestazioni atmosferiche come il vento, la pioggia, il movimento dei ghiacciai o anche solo la forza di gravità alla quale sono soggetti tutti gli elementi che si trovano sul pianeta Terra, siano essi viventi o meno.

Nonostante siano quasi 30 miliardi di tonnellate di suolo perso a causa dell'erosione naturale, anche l'uomo può favorire il verificarsi di tale evento, ad esempio diminuendo la copertura vegetativa di alcuni ecosistemi.

Di spicco sono, infine, i fenomeni franosi, che già nei primi anni del nuovo millennio hanno interessato la Comunità scientifica nazionale, al punto da spingere il Consiglio Nazionale delle Ricerche a redigere una statistica riguardante i costi pubblici legati a eventi di esondazioni e carenza idrica.

Anche in questo caso è principalmente l'attività dell'uomo a impoverire i terreni e a causare danni di una tale portata; infatti, la riduzione delle zone boschive o il disinteresse per tutte quelle aree adibite al pascolo e all'allevamento intensivo favoriscono l'impermeabilizzazione del suolo, frane, smottamenti, perdita di fertilità e, pertanto, l'instabilità dell'intero ecosistema.

2.3 Gli indicatori della diversità biologica: i miceti

Come affermato nel paragrafo precedente, la biodiversità è un elemento di fondamentale importanza e soprattutto che merita di essere salvaguardata al fine di preservare la vita sul nostro Pianeta. Per poter monitorare quest'ultima è bene prendere in considerazione differenti parametri che concorrono alla definizione di biodiversità e permettono di valutare l'effettivo benessere delle specie animali e vegetali, oltre ai microrganismi, che caratterizzano tutti gli ecosistemi terrestri (Iserentant, R. E., De Slover, J. 1976, pp. 15-24).

In particolare, la corretta funzionalità delle interazioni biologiche che si vengono a instaurare tra gli organismi e l'ambiente circostante è determinata da molteplici fattori come la presenza di determinate popolazioni appartenenti alla flora, fauna e alle comunità micotiche locali (Siniscalco, C., 2008).

Negli ecosistemi i funghi ricoprono un ruolo talmente basilare da renderli insostituibili per il mantenimento delle condizioni ottimali per la sopravvivenza del bioma; infatti, essi prendono parte a

più di un processo biologico, ad esempio sono organismi in grado di modificare degradare il materiale organico al fine di produrre elementi inorganici essenziali, come il carbonio, lo zolfo e il fosforo (Benedetti A., Brookes P. C., Lynch J. 2006, pp. 63-70).

Per quanto riguarda la diversità biologica, i miceti possono essere usati come bioindicatori per analizzare la qualità del suolo mediante l'utilizzo di tecniche di analisi altamente specifiche come la granulometria, il pH, il contenuto dei Sali minerali e la macro e microporosità (Holmer, L., Stenlid, J., 1997). Per quanto riguarda il pH, ad esempio, al fine di garantire una crescita salutare dell'intera struttura micotica, pertanto, non solo del corpo fruttifero, ma anche del micelio, si prediligono valori quanto più vicino al 7; in realtà però possono essere accettati anche ambienti definibili subalcalini e subacidi, ma il valore ottimale si aggira intorno ai 7.2, vale a dire ad ambienti boschivi con una buona copertura vegetale sia dal punto di vista dell'abbondanza sia da quello della qualità della flora presente (Abuzinadah R. A., Read D. J. 1989, pp. 61-68).

Dopo anni di studi portati avanti dall'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (ISPRA) è stato dimostrato che i miceti, data l'influenza subita dalle condizioni pedologiche dell'ambiente circostante sono degli ottimi bio-indicatori. Alcuni elementi appartenenti alla vasta famiglia dei funghi possono essere un campanello dall'allarme per lo stato di degrado già avviato che caratterizza un ecosistema; infatti, mediante la semplice presenza del basidioma questi funghi annunciano anticipatamente stati di malessere ambientali di norma riscontrabili solo successivamente. A tal proposito è bene menzionare i *Megacollybia platyphylla* capaci di estendere i propri cordoni miceliari e di generare basidiomi, elemento che testimonia la presenza di deterioramento della flora già avviato (Cenci R., Cocchi L., Petrini O., Sena F., Siniscalco C., Vescovi L. 2010, pp. 1-230).



Figura 3 <https://www.flickrriver.com/photos/atrnkozy/35520794633/>

Un discorso analogo può essere fatto per i *Clitocybe phaeophthalma* specializzata nell'individuare l'esistenza più o meno eccessiva di molecole di nitrato nel sottobosco; questa specie in particolare merita un monitoraggio differente dal caso precedentemente citato, poiché non si manifesta mediante la produzione di lunghi filamenti facilmente osservabili, bensì tramite uno sfogo puntiforme, che causa la necessità di uno studio ben più attento e soprattutto una valutazione che non può essere soggetta a standardizzazione.

Peculiare è anche il comportamento di quelle specie, come i *Myceta rosea*, *Mycena galericulata*, *Mycena niveipes* e *Mycena flavoalba*, che sfruttano per il soddisfacimento del proprio bisogno nutritivo i prodotti di scarto derivati dall'azione di altre popolazioni mitotiche che svolgono il ruolo di degradatori primari all'interno dell'ecosistema (Robich G. 2003, pp. 728).



Figura 4 <https://www.wildfooduk.com/mushroom-guide/mycena-rosea/>

Affidarsi allo studio di queste popolazioni consente di intervenire con largo anticipo su tutti quegli elementi che danneggiano l'habitat naturale preso in considerazione, certamente in anticipo rispetto all'inizio della vera e propria fase di decomposizione irreversibile della flora.

I funghi sono insostituibili anche da un punto di vista fitopatologico, basti pensare che le individui appartenenti al gruppo delle ectomicorrize sono in grado di costituire non solo una protezione diretta dall'attacco di parassiti e di riflesso di influenzare le percentuali di metaboliti vegetali rilasciati, ma anche di sintetizzare dei composti chimici che svolgono una funzione antibiotica ai danni dei microrganismi che infettano il suolo.

Legata alla comunità mitotica è una patologia piuttosto comune, ma altrettanto articolata nella dimensione vegetale, vale a dire il deperimento. È stato osservato che le radici degli alberi soggetti a deperimento tendono a determinare delle variazioni sia nel numero sia nei processi metabolici dei funghi locali. In presenza di condizioni ambientali sfavorevoli, come una mancanza di acqua per

periodi prolungati o un cambiamento anomalo relativo al livello di salinità delle falde, provoca una drastica perdita della diversità biologica, colpendo in modo preponderante la comunità micotica.

Tali alberi sono in grado di privilegiare delle simbiosi rispetto ad altre; quindi, in presenza di ectomicorrize può essere un indice di una vegetazione in salute, ma anche di un fenomeno di deperimento; pertanto, deve sollecitare gli esperti ad indagare maggiormente analizzando l'area geografica interessata (Blaschke H. 1994, pp. 386-398.).

Un'altra attività svolta dai miceti è l'assimilazione massiva dei metalli pesanti che vengono raccolti dal suolo; una quantità elevata di tali sostanze nocive per l'intero ecosistema e per tutte le specie presenti, compreso indirettamente anche l'essere umano, è osservabile a partire dallo stato dei corpi fruttiferi. Errate convinzioni scientifiche del passato, che oramai sono considerate totalmente obsolete, attestano che il terreno da solo sia in grado di trattenere e smaltire le sostanze xenobiotiche, generate in particolar modo dall'inquinamento causato dal lavoro umano. Questa considerazione non è totalmente sbagliata, poiché il suolo può compiere realmente tale operazione di assorbimento, ma solo fino al raggiungimento del valore massimo di capienza; una volta superato tale limite assoluto il terreno rilascia tutte le sostanze nell'ambiente circostante inquinando ogni elemento naturale presente nelle vicinanze (Siniscalco C., Tornambè A. 2002, pp. 191-226).

Analizzando la struttura dei miceti è visibile che la parete cellulare è a stretto contatto con l'ambiente esterno, da ciò si evince che qualsiasi alterazione subita da quest'ultima si ripercuote sul fungo, che può sopperire alla difficoltà del terreno assorbendo anch'esso gli ioni metallici, inglobandoli all'interno delle proprie cellule e metabolizzandoli. A partire dai primi decenni del secolo scorso sono stati condotti nel continente europeo degli esperimenti proprio sul suddetto argomento che hanno dimostrato che alcuni di questi metalli sono utili alla corretta crescita del vegetale e che fluttuazioni nella composizione del terreno relativamente sempre ai metalli provoca stravolgimenti morfologici e funzionali. I metalli pesanti possono essere assorbiti dai miceti in percentuali predefinite; infatti, le ife delle ectomicorrize e la micoclona possono individuare le molecole di metalli a partire da alcune proteine e allo stesso tempo possono difendere l'apice dalla tossicità delle anzidette sostanze.

Ciò è reso necessario dall'azione inibitrice propria dell'assorbimento dei metalli pesanti, la quale provoca un arresto della crescita micotica andando ad attaccare il corretto funzionamento di enzimi di primaria importanza per completare processi metabolici, degradando la conformazione delle proteine e limitando la relazione che si viene a creare tra l'enzima e il substrato.

Recentemente gli scienziati stanno dedicando maggiore attenzione al comportamento dei funghi in presenza dei metalli pesanti, infatti, stanno sintetizzando in laboratorio un *reference mushroom* (Cocchi L., Vescovi L., Petrini O. 2006, pp. 51-66). Questo, letteralmente, fungo di riferimento con tutte le caratteristiche proprie della specie interessata, così da valutare la risposta del suddetto

organismo alla variazione degli stimoli ambientali, prima fra tutti la stima dei metalli presenti nel suolo designato per la sua crescita (Cocchi L., Vescovi L., Petrini L. E., Petrini O. 2006, pp. 277-284).

In ultimo, i funghi possono essere usati come rilevatori della salute del suolo, indagando il comportamento di certune relazioni simbiotiche di natura micorrizica. Un chiaro esempio è il comportamento della glomalina sintetizzata dai miceti micorrizici arbuscolari, simbionti capaci di infestare le radici di quasi tutte le specie vegetali presenti sul nostro Pianeta. Sembrerebbe che questa glicoproteina idrofobica abbia la tendenza a raccogliersi nel suolo come GRSP, vale a dire la *Glomalin Related Soil Protein* (Wright S. F., Upadhyaya A. 1996, pp. 575-586). Grazie alla GRSP è possibile rilevare la percentuale di anidride carbonica presente nell'atmosfera e l'equilibrio delle particelle che caratterizzano il suolo (Simard S. W., Perry D. A., Jones M. D., Myrold D. D., Durall D. M., Molina R. 1997, pp. 579-582).

A partire dal 2007 l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, coadiuvata dalle risorse di numerosi Enti comunali e organizzazioni, prime tra tutte le Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) e le Agenzie Provinciali per la Protezione dell'Ambiente (APPA), ha dato vita al così battezzato "Progetto Speciale Funghi" che si occupa di promuovere il tema dell'importanza delle specie micotiche nello studio della qualità ambientale e nella salvaguardia della diversità biologica.

3. Il progetto BIOFUTURE

3.1 BIOFUTURE e la biodiversità: un nuovo approccio

Come affermato nei capitoli precedenti il suolo rappresenta un elemento indispensabile per la sopravvivenza umana, poiché sin dall'antichità le attività dell'uomo sono state legate indissolubilmente all'agricoltura e ai suoi frutti. Per tale motivo la sostenibilità ambientale e la diversità biologica sono considerati dall'opinione pubblica temi di basilare importanza, poiché fanno riferimento a tutta una serie di fattori che influiscono considerevolmente su ogni ecosistema e su tutte le specie viventi che abitano il nostro Pianeta. La società moderna presta molta attenzione all'ecosistema agricolo, lottando contro lo sfruttamento del suolo e la produzione intensiva e affidandosi alla nuova Politica Agricola Comunitaria non solo per sensibilizzare le masse, ma anche per approfondire conoscenze e tecniche che permettano di raggiungere un uso più consapevole delle risorse naturali.

È proprio in questo clima di innovazione e miglioramento che nasce il progetto BIOFUTURE, le cui radici sono la volontà di promuovere l'applicazione di tecniche agronomiche che non abbiano semplicemente un basso impatto ambientale, ma che siano responsabili di un visibile incremento della biodiversità; e la consapevolezza che una maggiore cura della natura si riflette in una migliore tutela dell'agricoltore e del consumatore.

Tra gli attori protagonisti di questo processo di sensibilizzazione vi è proprio il consumatore, che negli ultimi decenni è divenuto una figura altamente impattata sul tema della cura della biodiversità, poiché quest'ultimo tra tutti è colui che ha maggiormente a cuore la produzione e la successiva vendita di prodotti che sia contraddistinti da una buona qualità. Negli ultimi decenni, grazie in particolar modo alla globalizzazione e alla conseguente diffusione delle notizie e delle conoscenze a livello mondiale, è stata registrata una maggiore propensione del cliente a preferire frutta e verdura del proprio territorio e non prodotti di importazione provenienti dall'altro capo del mondo.

Questa nuova attitudine sembra nascere dalla consapevolezza che il cibo stia diventando sempre meno fresco, salutare e la cui produzione poco eco-sostenibile¹⁹. Mediante lo studio del mercato dei prodotti alimentari basato sulla vendita al dettaglio e non su beni di largo consumo è stato possibile registrare le suddette necessità e le possibili risposte a un tale cambiamento non solo economico, ma anche di natura sociale e culturale. A tal proposito è sempre più frequente trovare all'interno di grandi realtà come i centri commerciali, spazi predisposti per piccole attività locali che vendono frutta e verdura coltivati nel rispetto dell'ambiente e il cui commercio dimostra una prepotente desiderio di

¹⁹ [https://www.treccani.it/enciclopedia/gdo_\(Lessico-del-XXI-Secolo\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/gdo_(Lessico-del-XXI-Secolo)/)

salvaguardare il proprio territorio e la biodiversità. Dunque, come affermato in precedenza, uno degli obiettivi cardine di BIOFUTURE è garantire il soddisfacimento delle necessità del consumatore, la cui attenzione sembra sempre più rivolta verso le produzioni territoriali, la sicurezza alimentare e la qualità. Esso si basa proprio su questo principio di solidarietà e sostenibilità ecologica e si prefigge come fine ultimo quello di permettere lo sviluppo e favorire alcune produzioni ortofrutticole del Veneto, come il Radicchio di Chioggia, Radicchio di Treviso, Lattuga, Kiwi e Asparago. La peculiarità del progetto preso in esame è la scelta di avvalersi di tecniche di coltivazione che non vanno a degradare il terreno impoverendolo, ma ottenendo prodotti di maggior qualità salvaguardando la diversità biologica, in particolar modo quella del suolo.

Il tema principale affrontato da BIOFUTURE è la biodiversità, che nell'ambito dello studio condotto viene analizzata tramite l'osservazione della variazione degli indici di Biodiversità del Protocollo *Biodiversity Friend* di WBA che prendono in considerazione l'acqua, il suolo e l'osservazione dei lombrichi presenti sul terreno preso in esame.

Per quanto riguarda l'acqua, le aziende Tenuta al Parco, San Giorgio, Insalata Plus, Pavarin e Gatto sono state sottoposte all'analisi attraverso l'IBA-bf, un parametro che rappresenta l'elevata qualità del suolo, tenendo presente soprattutto le caratteristiche climatiche del biennio durante il quale è stato condotto lo studio, distintosi per lunghi periodi di siccità intorno al 2021. Il suddetto risultato non desta troppa meraviglia alla luce della presenza del fiume Sile e dei derivanti da risorgiva, ma sottolinea quanto sia influente il compito svolto da queste aziende, che oltre alle risorse idriche sopracitate, devono servirsi dei fossi per mantenere stabile la biodiversità.

Una parentesi importante deve essere dedicata allo studio dei lombrichi, esso è un aspetto che rappresenta un'innovazione nel campo degli studi agronomici, ma si è dimostrato sin da subito una scelta corretta al fine di valutare la qualità biologica del terreno, grazie all'utilizzo dell'Indice di Qualità Biologica del suolo basato proprio sui lombrichi (IBS-bf), poiché essi svolgono un ruolo di fondamentale importanza nelle relazioni che si instaurano all'interno dell'ecosistema.

Dai dati emersi dallo studio dei terreni delle nove aziende prese in esame emerge in modo preponderante che i terreni che presentano siepi, boschi, fossi inerbiti; dunque, definibili "a copertura vegetale permanente" sono quelli che secondo l'IBS-bf possono vantare maggiori possibilità di ripristinare un equilibrio ecosistemico a favore dell'implemento della biodiversità, contrariamente a quelli con basse coperture vegetali o sciolti.

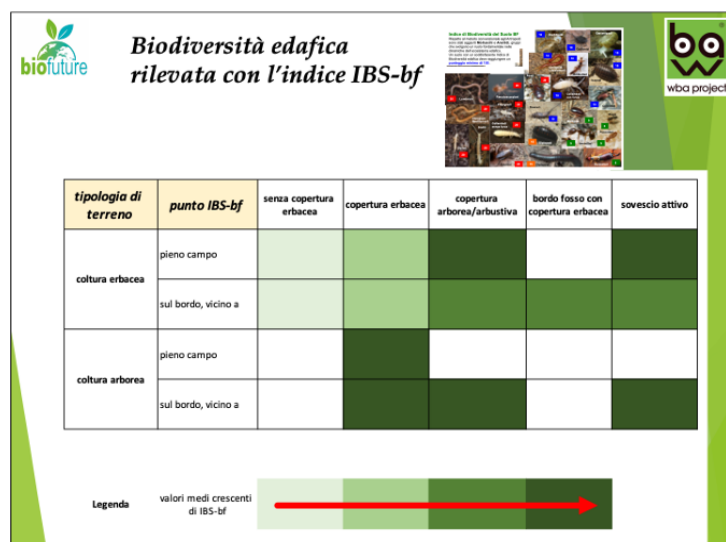


Figura 5: prontuario-biodiversita-e-valorizzazione-biofuture_241223_210751.pdf

In ultimo è bene menzionare l'Indice di Biodiversità relativo all'aria, applicato solo alle aziende Daminato, Tenuta al Parco e San Giorgio. In questo caso specifico il feedback può essere considerato attendibile, ma avendo ben chiaro che la decisione di realizzare i rilievi eseguiti sul campo è stata dettata dall'anatomia dell'area geografica, data la scarsa presenza di forofiti, che supportano positivamente questa tipologia di campionamento.

TABELLA RIASSUNTIVA DEI VALORI DELL'INDICE DI BIODIVERSITÀ IBL-bf RILEVATI PER L'AZIENDA DAMINATO				
Campione IBL-bf	DAM			valore medio
n. specie rilevate	3	4	5	4
valore IBL-bf	46	62	69	59
VALORE FINALE IBL-bf (media)				59
DS				12
LEGENDA		valore IBL-bf insufficiente (se considerato singolarmente)		
		valore IBL-bf quasi sufficiente (se considerato singolarmente)		
		valore IBL-bf sufficiente (≥ 45)		

**TABELLA RIASSUNTIVA DEI VALORI DELL'INDICE DI BIODIVERSITÀ IBL-bf
RILEVATI PER L'AZIENDA TENUTA AL PARCO**

Campione IBL-bf	TEN			valore medio
n. specie rilevate	4	4	5	4
valore IBL-bf	41	43	73	52

VALORE FINALE IBL-bf (media)	52
DS	18

LEGENDA

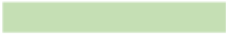
	valore IBL-bf insufficiente (se considerato singolarmente)
	valore IBL-bf quasi sufficiente (se considerato singolarmente)
	valore IBL-bf sufficiente (≥ 45)

**TABELLA RIASSUNTIVA DEI VALORI DELL'INDICE DI BIODIVERSITÀ IBL-bf
RILEVATI PER L'AZIENDA SAN GIORGIO**

Campione IBL-bf	SAN			valore medio
n. specie rilevate	7	5	5	6
valore IBL-bf	79	67	71	72

VALORE FINALE IBL-bf (media)	72
DS	6

LEGENDA

	valore IBL-bf insufficiente (se considerato singolarmente)
	valore IBL-bf quasi sufficiente (se considerato singolarmente)
	valore IBL-bf sufficiente (≥ 45)

Un ulteriore spunto di riflessione è dato dagli insetti impollinatori, la cui presenza viene rilevata tramite la tecnica delle *pan traps*, delle vere e proprie ciotole di norma di colore differente, le quali contengono un determinato volume di sostanze utili all'uccisione e alla cattura degli insetti. Nel caso di terreni che presentano una vegetazione molto fitta è possibile legare le trappole a dei paletti, in modo tale da essere facilmente ritrovabili e soprattutto per poter affiggere dei piccoli cartelli con le informazioni necessarie. Il monitoraggio tramite questa specifica metodologia e l'ausilio di un retino entomologico ha permesso di ottenere dei campioni biologici rappresentativi della fauna impollinatoria apoidea presente nei suddetti ecosistemi, nello specifico gli esemplari appartengono a circa 6 famiglie e 30 specie, indice di un'elevata biodiversità.

3.2 Aumentare la varietà del suolo: le tecniche di incremento di BIOFURE

L'attività agricola portata avanti dall'uomo è frutto di un sottile equilibrio tra differenti fattori, primo fra tutti è la stabilità tra le specie vegetali coltivate e quelle selvatiche; alla luce di ciò è possibile affermare che la biodiversità è un valore imprescindibile per ottenere una produzione alimentare che sia sana e utile al sostentamento mondiale.

Tenendo presente che risulta praticamente impossibile rallentare la crescita demografica, l'agricoltura deve essere in grado di mantenere il passo con questo aumento, sfruttando al massimo i terreni adatti alla coltivazione presenti sul nostro Pianeta. Per secoli, per raggiungere tale scopo l'uomo ha abusato dei suoli fertili, rendendo interi appezzamenti di terra completamente inutilizzabili.

La sensibilizzazione nei confronti di temi come la biodiversità e la salvaguardia dell'ambiente ha influito visibilmente sull'agricoltura, ponendo l'attenzione sugli errori del passato, come la predilezione di agricoltura intensiva, la coltivazione di singole varietà e l'utilizzo di fertilizzanti e pesticidi con effetto negativo non solo sulla salute della natura, ma anche su quella dell'essere umano. Oggi sono molte le accortezze che gli agricoltori possono attuare nei confronti del suolo per praticare un'agricoltura più consapevole ed eco-sostenibile, prima fra tutti la rotazione delle culture, attuata sin dall'antichità e in grado di ridurre la manifestazione della cosiddetta "stanchezza dei terreni"²⁰.

Di fondamentale importanza è anche la vigilanza delle specie parassitarie che infestano il terreno d'interesse, così che sia possibile contrastare la proliferazione esponenziale non solo delle suddette, ma anche di tutti quegli insetti che hanno un effetto negativo sulle piantagioni poiché limitano la presenza di simili che contrariamente svolgono un ruolo benefico.

Da prendere in considerazione come tecnica agricola sostenibile è il sovescio, una pratica oramai in disuso a causa del carattere poco pratico, ma largamente diffusa in passato. Essa permette di mantenere inalterato l'equilibrio di materiale organico migliorando, quindi, la composizione del terreno²¹. Infine, è impossibile non menzionare l'applicazione delle micorrize, poiché sfruttando la relazione di simbiosi mutualistica l'agricoltore può garantire una produzione agricola eco-sostenibile.

²⁰ Esso è un fenomeno che si verifica quando gli agricoltori tendono a coltivare per lunghi periodi la stessa specie vegetale impoverendo il suolo e aumentando la percentuale di inquinamento dello stesso. Ciò può essere dovuto al cambiamento drastico del metabolismo dei residui organici; alla diminuzione degli elementi organici dovuta all'eccessiva attività produttiva; alla produzione di parassiti o di sostanze tossiche per gli organismi vegetali.

<https://www.stilenaturale.com/stanchezza-del-terreno/#:~:text=Una%20guida%20ragionata%20per%20conoscere%20le%20cause%20ed,sovescio%2C%20la%20rotazione%20delle%20colture%20e%20la%20letamazione.>

²¹ Il sovescio consiste nella semina di specie erbacee che possono essere totalmente interrate o trinciate, che svolgono il ruolo di fertilizzanti per le piante che verranno piantate successivamente. Di solito si prediligono vegetali foraggeri, che nel periodo della fioritura vengono trinciati, essiccati per giorni e uniti al suolo fino a circa 25 cm di profondità. I microorganismi tendono a interagire con questo materiale organico, trasformandolo in humus, che si rileverà tanto più nutrienti quanto sarà la percentuale di fibra presente. <https://www.ortodacoltivare.it/terra-orto/sovescio-bio.html>

Tra le tecniche utili all'incremento della diversità biologica ecosistemica BIOFUTURE volge lo sguardo innanzitutto sull'agricoltura conservativa, il cui acronico è AC, che punta a realizzare un apparato agricolo che l'ambiente possa tollerare e allo stesso tempo capace di generare un profitto tale da ottimizzare il lavoro degli agricoltori. Questo genere di approccio si fonda su tre pilastri: le consociazioni e la rotazione delle culture, la manipolazione minima del suolo e la copertura permanente di quest'ultimo.

L'agricoltura conservativa, grazie alla sua versatilità che la rende idonea a differenti tipologie di terreno e a molteplici realtà lavorative, sembra essere particolarmente apprezzata da quelle aziende non molto grandi che per tale motivo possiedono pochi mezzi di produzione e scarsa manodopera. Secondo quanto affermato dal Parlamento Europeo, questa che in Italia viene definita con l'appellativo di "agricoltura blu", questo sistema agricolo non solo influisce positivamente sulla produttività del suolo, ma anche sulla sua fertilità, basandosi sull'utilizzo consapevole delle risorse naturali a disposizione, come l'acqua, e sulla versatilità, che consente di non percepire i cambiamenti climatici come tragiche minacce, ma come possibilità di cambiare e migliorarsi; inoltre è bene citare la diminuzione delle emissioni di gas serra.

Idealmente l'agricoltura conservativa punta al totale abbandono dell'esclusione dell'inversione degli strati e alla conseguente eliminazione delle lavorazioni, ma il processo volto al cambiamento di un sistema tradizionale agricolo deve essere realizzato un passo alla volta, attuando azioni intermedie come proprio l'AC. Tra le principali tecniche di coltivazione si ha: la copertura continua del suolo: essa si distingue in due tipologie; la prima prevede che terminato il raccolto i residui colturali non vengano eliminati, bensì utilizzati come copertura morta. La seconda invece è detta *cover crop* ed è caratterizzata dalla scelta di usufruire di determinate colture di copertura anche in periodi in cui il suolo dovrebbe rimanere scoperto. La copertura del terreno è un fattore di primaria necessità e la volontà di mantenerla perenne si dimostra essere una decisione vincente poiché in tal modo la componente organica è costantemente alimentata, il suolo appare maggiormente poroso e più fertile, grazie anche all'azione di lombrichi e microrganismi.

L'acqua è un bene di primaria necessità per l'essere umano e dato il consumo eccessivo che si è fatto in questi ultimi secoli, questo elemento è divenuto un tema che sta particolarmente a cuore alla comunità scientifica e all'opinione pubblica, in luce anche delle quantità sempre più ridotte presenti sul nostro Pianeta. Come affermato in precedenza, i cambiamenti climatici sono da sempre un nemico per gli agricoltori che si ritrovano a dover fronteggiare non solo la distruzione delle proprie colture, ma anche le ingenti somme economiche necessarie al ripristino dei terreni.

Coprire il suolo in modo adeguato consente di fronteggiare questo disagio, diminuendo la dispersione dell'acqua in seguito ad evaporazione, favorendo l'omeostasi termica e mantenendo più o meno costanti la temperatura del suolo coltivabile.

Persino dal punto vista dell'emissione del carbonio, l'agricoltura conservativa sembra essere un'ottima alternativa a quella tradizionale. È stato stimato che ipoteticamente sarebbe possibile decrescere del 60% le emissioni legate ai combustibili fossile e alla mineralizzazione del carbonio, ma è bene ricordare che la sola lavorazione del suolo non può bastare per incrementare la quantità di sostanza organica, tale compito è svolto solo dalle piante che tramite il proprio metabolismo sono in grado di fissare il carbonio.

Pertanto, l'agricoltura blu è una possibile sostituta dell'agricoltura tradizionale, ma sono molti gli espedienti nati nel corso degli anni grazie a studi condotti sul mondo vegetale ed ecosistemico, che possono migliorare le tecniche agronomiche.

Se si volesse citare un esempio di quanto appena affermato basterebbe citare le micorrize, una particolare simbiosi creatasi tra funghi e piante che negli ultimi decenni hanno occupato un ruolo di notevole importanza per lo studio del terreno.

Il processo di micorizzazione viene avviato a partire dall'inoculazione delle micorrize arbuscolari (AM) a livello delle piante coltivate, è stato riscontrato che è preferibile che ciò avvenga al momento del trapianto e della semina, per far sì che la simbiosi si instauri a partire dalle prime fasi di sviluppo dell'organismo vegetale. In particolare, prima la semina i funghi sono inoculati a livello del substrato in vivaio o direttamente erogato con il seme.

Per quanto riguarda il trapianto, invece, l'inoculazione avviene nell'apparato radicale così da velocizzare il processo di micorizzazione.

Ovviamente è bene evitare di procedere con la micorizzazione nel caso in cui l'agricoltore o il vivaista abbiano in precedenza sottoposto il terreno e dunque i semi all'azione di fumiganti e fungicidi. Inoltre, le micorrize rimangono nel terreno anche nei cicli successivi, anzi, di coltivazione in coltivazione il loro effetto appare sempre più visibile e benefico.

Dato che l'obiettivo primario è l'aumento della biodiversità oltre ad una buona coltivazione, si deve tener presente la necessità di utilizzare delle tecniche di difesa adeguate, che siano adatte sia al terreno prescelto che alla tipologia di coltura seminata. Nel dettaglio, per poter considerare eco-sostenibile una lavorazione anche le tecniche di difesa devono essere a basso impatto ambientale, per questo si potrebbe optare per una difesa integrata, denominata così perché al suo interno convergono tecnologie agronomiche, fisiche e biologiche.

La peculiarità di tale metodologia è che la componente parassitaria dell'ecosistema non viene contrastata al fine di eliminarla totalmente, ma solo sorvegliate così da poter creare un equilibrio naturale tra flora e fauna. Tutto ciò consente di distinguere due momenti specifici:

1. Decisionale e ottimale: il primo si ha quando si deve valutare se intervenire o meno e soprattutto se l'impatto dell'intervento può essere considerato dannoso in base alla natura del luogo e della coltivazione che si pensa di seminare. A tal proposito si deve introdurre il concetto di "soglia economica di intervento", vale a dire l'imprescindibile valutazione se il costo del trattamento è uguale o più basso della possibile perdita causata dall'azione di un patogeno o un insetto. Il momento ottimale è legato allo sviluppo degli eventi infestanti e alla pericolosità delle specie coinvolte; mediante determinate riflessioni è possibile stabilire il migliore programma di difesa vagliando tra modelli previsionali, accertamento dei sintomi delle malattie, la valutazione previsionale empirica e il privilegiare dell'uso di specie resistenti o tolleranti alle malattie.
2. Successivamente a questo primo step valutativo, si procede con l'individuazione dei mezzi di difesa, che devono essere commisurati all'entità del danno biologico ed economico che alcune specie parassitarie possono apportare alle colture.

Per evitare di dover ricorrere immediatamente a mezzi chimici, gli esperti hanno sviluppato dei metodi alternativi di difesa integrata compatibili con l'attuale concetto di sostenibilità ambientale. Tra i mezzi biologici si annoverano proprio le micorrize, che sono organismi vegetali presenti nelle colture spontaneamente. Esse sono considerate antagoniste dei funghi, in particolare il *Glomus*.

3.3 I risultati di BIOFUTURE

BIOFUTURE è un progetto che promuove l'utilizzo delle micorrize in campo agricolo, ottenendo dei risultati importanti che possono essere considerati un punto di inizio per la realizzazione di un'attività agricola più consapevole e a favore della diversità biologica.

Le specie vegetali predisposte alla semina sono state sottoposte in precedenza a inoculazione per via radicale con micorrize, essendo state messe a bagno in una soluzione contenente le suddette.

È stato osservato che esse abbiano determinato una produzione più elevata ed uniforme sulle piantagioni di lattuga; maggiore compattezza e intensità della colorazione in cespi e grumi e un miglioramento sia a livello qualitativo che nella shelf-life per quanto riguarda il radicchio tardivo di Treviso.

Per poter servirsi della simbiosi mutualistica sopracitata è emerso che è importante avere delle accortezze durante il trattamento del terreno: prima di tutto è bene non eseguire le lavorazioni troppo in profondità, ma solo negli strati superiori del suolo, questo per non provocare la lacerazione della struttura della complessa rete creata dalle ife. Inoltre, è preferibile limitare la quantità di fosforo presente nella terra, poiché può essere considerato un agente limitante per l'azione delle micorrize. In aggiunta, è stato dimostrato che le mono successioni o la predilizione per le piante appartenenti alla famiglia delle *Chenopodiaceae* e *Brassicaceae* rende difficile l'instaurazione del rapporto tra pianta e fungo micorrizico, al contrario particolarmente favorevoli sono le leguminose come il *Trifolium* e il *Medicago*.

Con l'ausilio del personale competente di OPO Veneto, è stato anche possibile indagare sulla risposta del radicchio alla presenza di micorrize, e si è osservato che nel caso di inoculazione e conservazione a basse temperature, come quelle che caratterizzano le celle frigorifere, le piante manifestano una minor percentuale di scarto se confrontate con quelle non micorriziche.

BIOFUTURE utilizza coperture vegetali intercalari CIPAN, vale a dire a cattura nitrati. La nascita di questa tecnologia risale a circa un ventennio fa, in un territorio interessato da pioggia costante e dall'influenza dell'oceano Atlantico. Inizialmente considerate solo per le colture monospecifiche, come la senape e la colza, in particolare durante la stagione autunnale.

La copertura vegetale ha permesso di recuperare l'azoto da un 50% fino a un 80%.



Figura 5: prontuario-biodiversita-e-valorizzazione-biofuture_241223_210751.pdf

Nella foto a sinistra si nota un paio di immagini del terreno preparato per la lavorazione; mentre sulla destra invece, è presente il favino che sarà soggetto ad una sola passata con l'erpice rotante, uno strumento noto in agricoltura utile alla preparazione del terreno prima della semina²².

Punto cruciale, rimane ovviamente la diversificazione vegetale, poiché non basta che le specie siano differenti, ma occorre anche che siano funzionali al benessere e alla produttività dell'ecosistema.

Un'ulteriore nota deve essere fatta relativamente alla biomassa ottenuta mediante il metodo MERCI. A inizio maggio 2020 la copertura vegetale è stata di circa 7,1 t/ha di sostanza secca; 195 unità di azoto, 35 unità di fosforo e 235 di potassio.

Sebbene sia normale che la fertilità raggiunga buoni livelli nei casi di coperture vegetali ben riuscite, è anche vero che un tale risultato deve essere unito alla progressiva riduzione delle lavorazioni del terreno.

A tal proposito BIOFUTURE ha ideato una sinergia tra una *cover relay*, vale a dire una estiva che si innesta su una vernina, e la *green tillage*, che prevede la semina del favino sulle successive linee di trapianto del radicchio. L'esperimento non ha dato risultati particolarmente incoraggianti, probabilmente a causa delle condizioni climatiche che si sono rivelate essere troppo calde e aride nel periodo estivo tra giugno e luglio.

²² Esso è composto da una serie di denti montanti che si muovono intorno ad un asse rotante, che non solo affinano il terreno, ma controllano anche le specie infestanti.

Conclusione

Con il termine “Biodiversità” si fa riferimento all’insieme di tutte le specie viventi, animali, vegetali o batteriche, che popolano il nostro Pianeta; l’insieme appena descritto è talmente vasto che è possibile distinguere tre livelli di diversità biologica: genetica, di specie ed ecosistemica.

Al pari di qualunque branca del sapere, la diversità biologica si è dimostrata essere nel corso dei secoli le fondamenta sulle quali nascono e si sviluppano gli equilibri che governano gli ecosistemi terrestri; basti pensare al turnover delle specie, alla purificazione dell’aria e dell’acqua, o alla regolazione dei cambiamenti climatici e dei relativi effetti che quest’ultimi possono avere sia sull’ambiente che sulla popolazione animale.

Come affermato in precedenza, ogni organismo pluricellulare o unicellulare è importante per il mantenimento del suddetto equilibrio, per questo l’essere umano deve prestare attenzione ad ogni Regno vivente, in particolar modo a quello vegetale, che regola molti dei processi metabolici indispensabili per la sopravvivenza dell’uomo.

Un chiaro esempio sono le micorrize, simbiosi che, come suggerisce il nome stesso, si vengono a instaurare tra le ife micotiche e le radici di una pianta superiore, anche detta “ospite”. Le micorrize possono essere suddivise in due tipologie: ectomicorrize, endomicorrize ed endoectomicorrize; ciò che differenzia una forma simbiotica dall’altra è senza dubbio l’anatomia stessa dell’interazione formatasi e le modalità con le quali quest’ultima si manifesta.

Nelle ectomicorrize la rete ifale si sviluppa intorno alla radice, dunque esternamente, senza mai penetrare all’interno della struttura cellulare; le endomicorrize, contrariamente alle precedenti, si sviluppano con una penetrazione spontanea dello strato corticale dell’apparato radicale della pianta superiore ospite. Questo tipo di simbiosi è quella maggiormente diffusa nelle piante erbacee e pertanto nelle pratiche agronomiche.

Infine, le ectoendomicorrize presentano le caratteristiche di entrambe le varietà appena descritte; infatti, sono in grado di sviluppare sia una struttura esterna che una a livello cellulare.

Il ruolo che le micorrize occupano nella vita dell’uomo interessa differenti ambiti, primo tra tutti quello biologico, poiché esse influenzano notevolmente il grado di diversità biologica che caratterizza ogni ecosistema terrestre, concorrendo a vari processi come quello di decomposizione della materia organica, di mantenimento della fertilità del terreno e a molti dei processi biologici, geologici e chimici di base.

La maggior parte degli studi condotti sulle specie micotiche hanno portato alla luce un dato importante, vale a dire la capacità di quest’ultime di svolgere la funzione di indicatori biologici della qualità ambientale. Questo comportamento deriva da una spiccata sensibilità posseduta dai funghi

alle variazioni delle condizioni standard del proprio habitat, come la presenza di metalli pesanti, principali antagonisti del benessere del suolo e prodotti dell'intensa attività umana.

I funghi sono anche alla base del delicato equilibrio che si crea tra l'uomo e l'agricoltura, fonte principale di sostentamento per quest'ultimo sin dall'antichità. A tal proposito si è tenuto sottolineare quanto nel corso dei secoli lo sfruttamento dei terreni sia divenuto all'ordine del giorno, prediligendo un uso intensivo delle risorse e una produzione esponenziale a discapito della sanità delle materie prime e della qualità del prodotto definitivo.

Data la necessità di un miglioramento delle condizioni del suolo, dei prodotti agroalimentari e dell'impatto ambientale molte ricerche e studi hanno cercato e verificato soluzioni alternative, economiche e non invasive per il miglioramento dell'attività agricola. Tra queste realtà emergenti si può menzionare il progetto BIOFUTURE, nato con lo scopo ultimo di realizzare un'agricoltura più consapevole ed ecosostenibile.

Grazie alle idee alla base del suddetto progetto, sono state proposte e diffuse delle tecniche agronomiche caratterizzate da un basso impatto ambientale, e soprattutto volte alla difesa e all'implemento della diversità biologica.

BIOFUTURE nasce con l'intento di favorire le realtà ortofrutticole della regione Veneto che sono state selezionate come campioni per la valutazione degli impatti che l'applicazione di determinati modelli possono avere sull'agricoltura; tra queste vi sono nello specifico coloro che si dedicano alla coltivazione del Radicchio di Chioggia, Radicchio di Treviso, Lattuga, Asparago e Kiwi.

Naturalmente l'idea predilige aziende del nostro territorio, in modo tale da soddisfare le necessità di consumatori sempre più esigenti e attenti alla provenienza della merce acquistata; poiché si preferisce favorire l'economia locale piuttosto che i commerci internazionali.

Un punto cardine del progetto BIOFUTURE è l'utilizzo delle micorrize, che hanno dimostrato di essere non solo ottimi indicatori dello stato di salute del terreno preso in considerazione, È stato osservato che queste specie favoriscono raccolti sani e mantengono il terreno fertile, riducendo la necessità di coltivazioni intensive dannose per l'ambiente e l'uomo.

Bibliografia

- Abuzinadah R. A., Read D. J. 1989. "The role of proteins in the nitrore nutrition of ectomycorrhizal plants. V. Nitrogen transfer in birch, *Betula pendula* L. grown in association with mycorrhizal and non mycorrhizal fungi", in *New Phytologist*, 112, pp. 61-68.
- Benedetti A., Brookes P. C., Lynch J. (2006). "Concluding remarks", in Bloem J., Hopkins D. and Benedetti A. (Eds.), *Microbial Methods for assessing soil quality*. CABI Publishing, pp. 63-70.
- Blanc P. (2008), *Il bello di essere pianta*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Blaschke H. 1994, "Decline symptoms on roots of *Quercus robur*", in *European Journal of Forest Pathology*, 24, pp. 386-398.
- Bosco, M., Giovannetti, L., Giovannetti, M., Viti, C. (2008). La rizosfera e le associazioni microrganismi-piante. In Biavati B., Sorlini C. (Eds), in *Microbiologia Agroambientale*, Casa Editrice Ambrosiana, pp. 195-228.
- Brundrett, M. C., & Tedersoo, L. (2018). "Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity", in *New Phytologist*, CCXX, 4, pp. 1108- 1115.
- Cairney, J. W. G., Meharg, A. A. (2003). "Ericoid mycorrhiza: a partnership that exploits harsh edaphic conditions", in *European Journal of Soil Science*, LIII, pp.735–740.
- Cenci R., Cocchi L., Petrini O., Sena F., Siniscalco C., Vescovi L. 2010. *Elementi chimici nei funghi superiori. I funghi di riferimento come strumento di lavoro per la bioindicazione e la biodiversità. Monografia in lingua italiana*. Pubblicazione congiunta tra l'Istituto Superiore pe la Protezione e la Ricerca Ambientale, pp. 1-230.
- Cocchi L., Vescovi L., Petrini O. (2006). "Il fungo di riferimento: un nuovo strumento nella ricerca micologica", in Atti del 3° Convegno Internazionale di Micotossicologia (Reggio Emilia, 6-7 dicembre 2004). *Pagine di Micologia*, 25, pp. 51-66.
- Cocchi L., Vescovi L., Petrini L. E., Petrini O. 2006. "Heavy metals in edible mushrooms in Italy", in *Food Chemistry*, 98 (2), pp. 277-284.
- De Bary, A. (1887). *Comparative morphology and biology of the fungi, Mycetoza and Bacteria*, Clarendon Press, Oxford, UK.
- Ferrari, C., Pezzi, G. (2013). *L'ecologia del paesaggio*. Bologna, Il Mulino.
- Giovannetti, M., Avio, L. (2002). "Biotechnology of Arbuscular Mycorrhizas. Applied Mycology and Biotechnology", in *Agriculture and Food Production*, II, pp. 275- 310.
- Grassi, F., Labbra, M., Sala, F. (2006). *Introduzione alla biodiversità del mondo vegetale*, Piccin, Padova.

- Jeffrey S., Gardi C. et al. (2010). European Atlas of Soil Biodiversity, European Commission, Publications Office of the European Union, Lussemburgo.
- Iserentant, R. E., De Slover, J. (1976). Le concept de bioindicateur, in *Mémoires de la Société de Botanique de Belgique*, VII, pp. 15-24.
- Harley, J.L. (1959). *Biology of mycorrhiza*, L. Hill Bo., London.
- Heckman, D. S., Geiser, D. M., Eidell, B. R., Stauffer, R. L., Kardos, N. L., Hedges, S. B. (2001). “Molecular evidence for the early colonization of land by fungi and plant” in *Science*, CCXCIII, pp. 1129-1133
- Holmer L., Stenlid J. (1997). “Competitive hierarchies of wood decomposing basidiomycetes in artificial systems based on variable inoculum sizes”, in *Oikos*, 79, pp. 77-84.
- McCormick, M. K., Lee Taylor, D., Juhaszova, K., Burnett, R. K., Whigham, D. F., O'Neill, J. P. (2012). “Limitations on orchid recruitment: not a simple picture”, in *Molecular Ecology*, XXI, pp. 1511–1523
- Paci, M. (2011). *Ecologia Forestale III*, a cura di s.l.:Edagricole.
- Padoa-Schioppa, E. (2018). *Metodi e strumenti per l'insegnamento e l'apprendimento della biologia*. Napoli, Edises.
- Pileri, P. (2016). *Che cosa c'è sotto*, Altraeconomia, Milano.
- Read, D. J. (1991). “Mycorrhizas in ecosystems”, in *Experientia*, XLVII, pp. 376-391.
- Radhakrishnan, G. V., Keller, J., Rich, M. K., Vernié, T., Mbadinga et al., (2020). “An ancestral signalling pathway is conserved in intracellular symbioses-forming plant lineages”, in *Nature Plants*, VI, 3, pp. 280-289.
- Raven, P., Johnson, G., Mason, K., Losos, J., Singer, S. (2013). *Ecologia e comportamento*. Piccin Nuova Libreria, Padova.
- Robich G. (2003). “Mycena d'Europa”, Associazione Micologica Bresadola (Eds), Fondazione Centro Studi Micologici, Trento-Vicenza, pp. 728.
- Santovito, G. (2015). *Insegnare la biologia ai bambini: dalla scuola dell'infanzia al primo ciclo di istruzione*. Carrocci, Roma.
- Simard, S. W., Perry, D. A., Smith, J. E., Molina, R. (1997). “Effects of soil trenching on occurrence of ectomycorrhizas on *Pseudotsuga menziesii* seedlings grown in mature forests of *Betula papyrifera* and *Pseudotsuga menziesii*”, in *New Phytologist*, CXXXVI, pp. 327–340.
- Simard S. W., Perry D. A., Jones M. D., Myrold D. D., Durall D. M., Molina R. (1997). “Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field”, in *Nature*, 388, pp. 579-582.
- Simon, L., Bousquet, J., Lèvesque, R. C., Lalonde, M. (1993). “Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular plants”, in *Nature*, CCCLXIII, pp. 67-69.

- Siniscalco C., Tornambè A. (2002). “Considerazioni sul fenomeno di assorbimento e accumulo di metalli pesanti nei funghi”, in Atti del 2° Convegno Internazionale di Micotossicologia. Associazione Micologica Bresadola, Centro Studi Micologici, Pagine di Micologia, 17, pp. 191-226.
- Siniscalco C. (2008). “I funghi come bioindicatori della qualità del territorio”, in *Atti del Workshop Biodiversità dei suoli italiani: verso una normativa ambientale*, ISPRA, Roma.
- Smith, M. L., Bruhn, J. N., Anderson, J. B. (1992). “The fungus *Armillaria bulbosa* is among the largest and oldest living organisms”, in *Nature*, CCCLVI, pp. 428–431.
- Smith, S. E., Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*, Third edition Academic Press, London.
- Stern, C. (2010). La biodiversité à petits pas. Arles: Actes Sud, trad. it. *La biodiversità a piccoli passi*, Giunti, Firenze.
- Straker, C. J. (1996). “Ericoid mycorrhiza: Ecological and host specificity”, in *Mycorrhiza*, VI, pp. 215-225.
- Strullu-Derrien, C., Selosse, M. A., Kenrick, P., & Martin, F. M. (2018). “The origin and evolution of mycorrhizal symbioses: from palaeomycology to phylogenomics”, in *New Phytologist*, CCXX, 4, pp. 1012-1030.
- Tansley, A. (1935). “The Use and the Abuse of Vegetational Concepts and Terms”, in *Ecology*, 3, pp. 284-307.
- Tenywa M.M., Lal R., Majaliwa M.J.C., (2001). “Characterization of the Stages of Soil Resilience to Degradative Stresses: Erosion”, in Stott D.E., Mohtar R.H., Steinhardt G.C. (eds), *Sustaining the Global Farm. Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting*, 24-29 maggio 1999, Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory.
- Trappe, J. M. (2005). “AB Frank and mycorrhizae: the challenge to evolutionary and ecologic theory”, in *Mycorrhiza*, XV, pp. 277-281.
- van Der Heijden, M. G., Martin, F. M., Selosse, M. A., & Sanders, I. R. (2014). “Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future”, in *New phytologist*, CCV, 4, pp. 1406-1423.
- Wang, B., Qiu, Y. L., (2006). “Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants”, In *Mycorrhiza*, XVI, pp. 299-363.
- Wright S. F., Upadhyaya A. (1996). “Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein from arbuscular mycorrhizal fungi”, in *Soil Science*, 161, pp. 575-586.

Sitografia

[https://www.treccani.it/enciclopedia/micorriza_\(Enciclopedia-Italiana\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/micorriza_(Enciclopedia-Italiana)/)
<https://gardenculturemagazine.com/mycorrhizae-fungi-molasses-rock-phosphate/>
<https://www.treccani.it/enciclopedia/anastomosi/>
<https://www.treccani.it/enciclopedia/monofiletico/>
<https://www.oxfordbibliographies.com/display/document/obo-9780199830060/obo-9780199830060-0094.xml>
<https://www.scienze-naturali.com/le-piramidi-ecologiche-e-le-catene-alimentari/1366>
<https://www.sapere.it/sapere/strumenti/studiafacile/biologia/Organismi-e-ambiente/Fondamenti-di-ecologia/Relazioni-tra-le-popolazioni.html>
<https://www.abdn.ac.uk/geosciences/departments/geology/research/the-rhynie-chert/the-learning-resource-site/what-is-the-rhynie-chert/#panel58728>
<https://steurh.home.xs4all.nl/engrhyn/eaglaio.html>
<https://biologyinsights.com/mucoromycota-classification-characteristics-and-applications/>
<https://doi.org/10.1111/nph.14913>
www.cbd.int
<https://www.treccani.it/enciclopedia/ecosistema/>
https://www.treccani.it/enciclopedia/ernst-mayr_%28Enciclopedia-Italiana%29/
<https://www.treccani.it/enciclopedia/charles-robert-darwin/>
<https://www.flickrriver.com/photos/atrnkoczy/35520794633/>
<https://www.wildfooduk.com/mushroom-guide/mycena-rosea>
<https://dizionari.repubblica.it/Italiano/H/habitat.html>
www.globalsoilweek.org
[prontuario-biodiversita-e-valorizzazione-biofuture_241223_210751.pdf](#)
<https://www.ortodacoltivare.it/terra-orto/sovescio-bio.html>
[https://www.treccani.it/enciclopedia/gdo_\(Lessico-del-XXI-Secolo\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/gdo_(Lessico-del-XXI-Secolo)/)
<https://www.stilenaturale.com/stanchezza-del-terreno/#:~:text=Una%20guida%20ragionata%20per%20conoscere%20le%20cause%20ed,sovescio%2C%20la%20rotazione%20delle%20colture%20e%20la%20letamazione.>