

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA

Corso di Laurea in Biologia



ELABORATO DI LAUREA

Interazioni micorriziche, reti fungine e bias di citazioni positive.

**Tutor: Dr. Marco Giovannetti
Dipartimento di Biologia**

Laureando: Francesco Baccaglini

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

Indice

Prefazione	pg. 2
Capitolo 1 Interazioni Micorriziche	pg. 2
1.1 Arbuscolari	
1.2 Ectomicorrize	
1.3 Altre micorrize	
1.4 Il Common Mycorrhizal Network	
Capitolo 2 Pregiudizi di citazione e risultati sopravvalutati	pg. 5
2.1 Le affermazioni nei media	
2.2 Affermazione 1	
2.3 Affermazione 2	
2.4 Affermazione 3	
2.5 Preconcetti verso gli effetti positivi dei CMN nelle citazioni	
Capitolo 3 Conclusioni personali	pg. 12
Bibliografia	pg. 14

Prefazione

Le interazioni micorriziche ed in particolare l'idea di una rete di connessione sotterranea formata da miceli fungini attraverso la quale le piante comunicano, hanno di recente suscitato l'interesse da parte della comunità scientifica e dei media popolari. L'obbiettivo di questo elaborato è quello chiarire i principali tipi di interazioni micorriziche e analizzare criticamente una recente pubblicazione: "Karst, J., Jones, M.D. & Hoeksema, J.D. Positive citation bias and overinterpreted results lead to misinformation on common mycorrhizal networks in forests. *Nat. Ecol. Evol.* 7, 501–511 (2023)" che sfata le 3 affermazioni più comuni riguardo il Common Mycorrhizal Network (CMN). Nello specifico che 1) I CMN sono diffusi nelle foreste, 2) trasferiscono nutrienti da una pianta all'altra aumentandone la fitness e 3) in questo trasferimento vi sia una preferenza nei confronti della progenie. I dati a supporto di queste affermazioni, sebbene abbiano invaso i media popolari e le credenze della comunità scientifica, risultano insufficienti, male interpretati, citati erroneamente o mancanti di peer-to-peer review, e non si prestano quindi a generalizzazioni o ad applicazioni nel campo della tutela forestale.

Capitolo 1

Interazioni Micorriziche

Il termine simbiosi è un termine neutro, usato per descrivere la "normale coesistenza di due organismi dissimili" (Smith and Read, 2008). Nelle simbiosi mutualistiche in particolare, entrambi i partner beneficiano dell'associazione. Le simbiosi micorriziche, le simbiosi batteriche per la fissazione della azoto, i coralli o i licheni sono validi esempi di simbiosi mutualistiche. Tuttavia nel corso della vita e al variare delle condizioni ambientali il mutualismo può assumere connotazioni meno marcate, fino a sfociare nel parassitismo. È importante considerare che il termine micorrizza prenda in considerazione tutte le strutture adibite all'assorbimento di organismi vegetali come i rizoidi delle Briofite, che non sono propriamente radici (Zhang and Guo, 2007)

La tabella 1.1 mostra in modo schematico le caratteristiche principali dei vari tipi di micorrizze. (Sally and Read 2008)

Kinds of mycorrhiza	Arbuscular mycorrhiza	Ectomycorrhiza	Ectendomycorrhiza	Arbutoid mycorrhiza	Monotropoid mycorrhiza	Ericoid mycorrhiza	Orchid mycorrhiza
Fungi septate	–	+	+	+	+	+	+
aseptate	+	–	–	–	–	–	–
Intracellular colonization	+	–	+	+	+	+	+
Fungal mantle	–	+	+ or –	+ or –	+	–	–
Hartig net	–	+	+	+	+	–	–
Achlorophyllly	– (+)	–	–	–	+	–	+†
Fungal taxa	Glomero	Basidio/Asco (Glomero)	Basidio/Asco	Basidio	Basidio	Asco	Basidio
Plant taxa	Bryo Pterido Gymno Angio	Gymno Angio	Gymno Angio	Ericales	Monotropeoideae	Ericales Bryo	Orchidales

1.1 Arbuscolari

Le micorrize arbuscolari (AM) sono il tipo micorrizico più diffuso (Genre et al., 2020), gli ospiti di tale interazione comprendono rappresentanti di quasi tutti i phyla vegetali (briofite, pteridofite, spermatofite). Il phylum fungino identificato come ospite è quello dei Glomeromycotina. Questo tipo di interazione sembra essere stata la chiave per la colonizzazione degli ambienti terrestri (Genre et al., 2020). Prendono il loro nome da strutture caratteristiche, gli arbuscoli, visibili all'interno delle cellule corticali delle radici colonizzate. Inoltre si distinguono dagli altri tipi di micorrize per la formazione di ampie quantità di ife fungine che corrono parallele all'endoderme, all'interno della corteccia radicale (Van der Heijden et al., 2015). Il tipo di simbiosi, per quanto riguarda il partner fungino è generalmente un mutualismo obbligato; basato sul trasferimento bidirezionale di nutrienti, offre benefici alla pianta anche in termini di resistenza alla siccità.

1.2 Ectomicorrize

Le radici delle piante ectomicorriziche sono spesso circondate da un mantello fungino, la maggior parte del fungo rimane al di fuori della radice, da cui il nome ectomicorriza. Una radice Ectomicorrizica (ECM) è caratterizzata dalla presenza di tre componenti strutturali: un mantello di tessuto fungino che racchiude la radice, una crescita labirintica di ife verso l'interno tra le cellule epidermiche e corticali chiamata rete Hartig, e un sistema di elementi ifali (il micelio extraradicale). Quasi tutte le piante su cui si sviluppano le ectomicorrize sono piante perenni legnose (Van der Heijden et al., 2015).

1.3 Altre micorrize

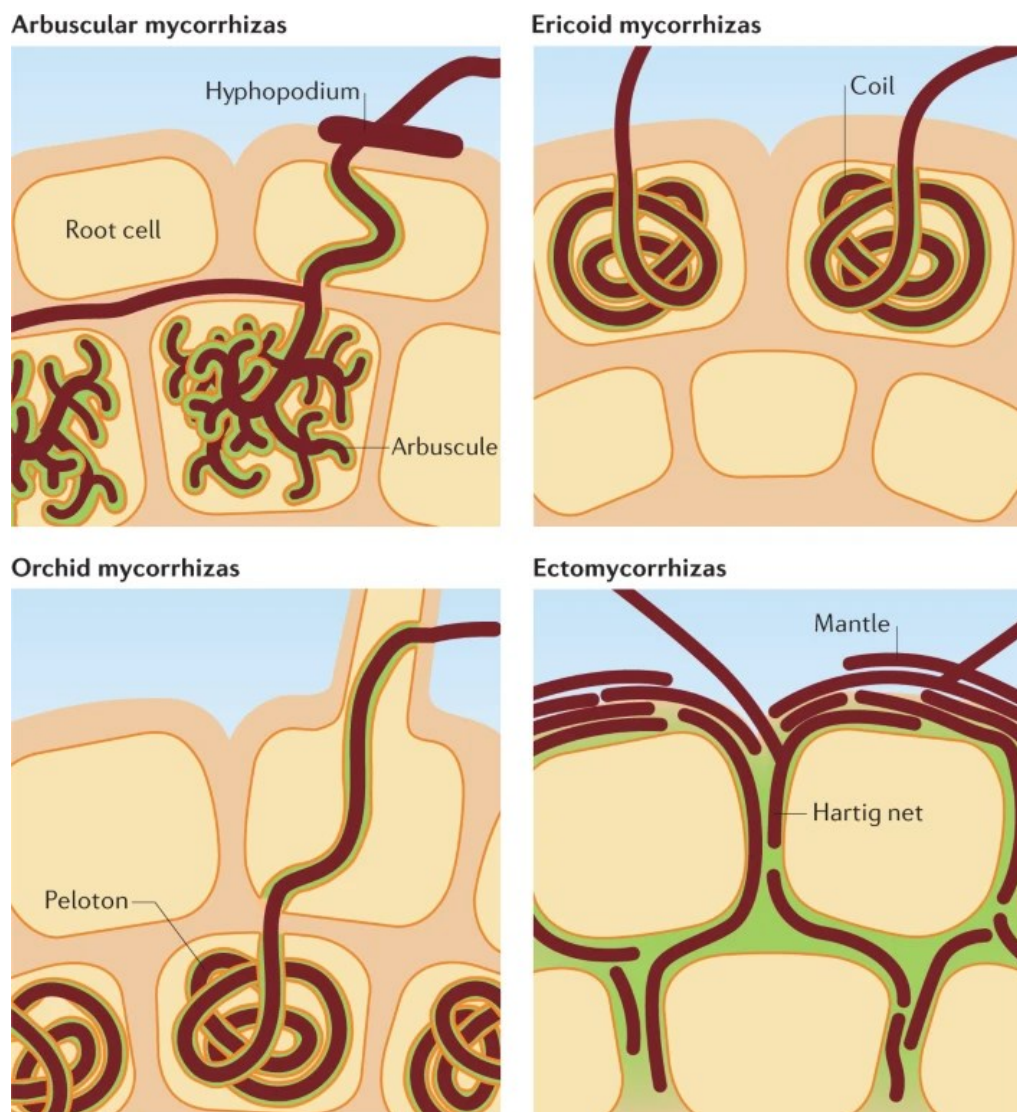
Ectoendomicorrize e micorrize arbutoidi sono due categorie che mostrano molte caratteristiche comuni alle ECM, ma con un maggior grado di penetrazione intracellulare. Le Ectoendomicorrize si distinguono per il fatto che, oltre a un mantello fungino solitamente sottile e a una rete Hartig ben sviluppata, le cellule epidermiche e corticali sono occupate da ife intracellulari.

La seconda categoria, denominata arbutoide, si trova nei generi ericici *Arbutusand*, *Arctostaphylosand* e in diversi generi della sottofamiglia ericacea *Pyrolae*. Si distingue dalla prima categoria per la restrizione della penetrazione intracellulare degli strati epidermici della radice e per il coinvolgimento di funghi in gran parte appartenenti al genere *Basidiomycota*, più presenti come simbionti ECM degli alberi. Le radici delle piante appartenenti alla famiglia *Ericaceae* sono strutture delicate, la cui anatomia mostra una notevole

uniformità fra specie. La loro caratteristica più distintiva è l'assenza di peli radicali. Mostrano capacità saprofitiche. (Smith and Read, 2008)

Tutte le orchidee hanno uno stadio eterotrofo relativamente prolungato durante la germinazione e la crescita precoce. I semi di molte specie possono essere indotti a germinare in assenza di un fungo micorrizico, finché vengono forniti zuccheri e fattori di crescita, questo d'altro canto non si verifica in natura. Durante la fase eterotrofa, le orchidee verdi dipendono dai carboidrati traslocati a loro attraverso il micelio di un fungo micorrizico. Nelle orchidee verdi, la fonte di carboidrati è più frequentemente la materia organica morta fornita da funghi saprotrofi del genere *Basidiomycota*. I funghi probabilmente forniscono anche N, P e altri nutrienti sia alle piantine che alle piante adulte, ma questo aspetto della fisiologia dell'associazione dovrebbe essere studiato con una gamma più ampia di piante e in condizioni ecologicamente rilevanti. (Smith and Read, 2008)

Immagine schematica dei vari tipi di micorrize.
(Genre et al., 2020).



1.4 Il Common Mycorrhizal Network

La parola “network” o rete, è usata per indicare diversi tipi di interazione micorrizica, Karst et al., 2023 definisce tre usi specifici del termine: a) reti micorriziche comuni; b) reti di interazione micorrizica bipartite; c) reti micorriziche.

a) Le “reti micorriziche comuni” (CMN), sono collegamenti fisici, continui e duraturi tra le radici di due piante distinte, da parte dello stesso fungo. Tali reti medierebbero le interazioni pianta-pianta e le prestazioni delle piante attraverso il trasferimento di molecole. Sono le protagoniste di gran parte delle affermazioni riportate dai media, spesso disconnesse dalla realtà e sono il focus principale delle indagini di questo studio.

b) Con “Reti di interazione micorrizica bipartita” si intendono interazioni specifiche pianta-fungo, indipendentemente dal fatto che le piante possano o meno essere collegate fra loro dal micelio.

c) Il termine “Rete micorrizica” indica la presenza di crescita miceliale simile a una ragnatela di funghi micorrizici attaccati a un singolo sistema di radici vegetali: né la loro esistenza né la loro importanza ecologica sono state messe in dubbio in questo studio.

Capitolo 2

Pregiudizi di citazione e risultati sopravvalutati

2.1 Le affermazioni nei media

Una rete micorrizica comune (CMN) si forma quando le ife fungine micorriziche collegano le radici di più piante, della stessa o di diverse specie, nel sottosuolo. I funghi micorrizici sono importanti mutualisti di molte specie vegetali e l'idea che gli alberi traggano beneficio dall'essere collegati sottoterra tramite ife micorriziche ha preso piede nei media popolari. Recentemente, i CMN, con il soprannome popolare di wood wide web: “la vastissima rete di radici, batteri e funghi che da milioni di anni aiuta gli alberi a vincere ogni avversità” (<https://rivistanatura.com/una-rete-di-sostegno-sotterranea-tra-le-piante/>), sono apparsi in libri, giornali, documentari (<https://youtu.be/yWOqeyPIVRo>), film, TED talk (<https://www.youtube.com/watch?v=Un2yBgIAXYs>), podcast e serie televisive. Hanno catturato l'interesse di un vasto pubblico, in particolare per quanto riguarda la gestione forestale. Le affermazioni dei media popolari sui CMN risultano spesso scollegate dalle prove, e sembrerebbe che nella letteratura scientifica si sia sviluppato un bias

(preconcetto) verso gli effetti positivi di questo tipo di interazioni. Le affermazioni più comuni sono 3:

- a) I CMN sono diffusi nelle foreste
- b) Le risorse vengono trasferite attraverso i CMN, con conseguente aumento delle prestazioni delle piante;
- c) Gli alberi maturi inviano risorse e segnali di difesa preferibilmente alla progenie attraverso i CMN.

Tali affermazioni però non sono sufficientemente supportate perché i risultati degli studi sul campo, i più rilevanti per comprendere le dinamiche forestali, variano troppo ampiamente, hanno spiegazioni alternative o sono limitati per supportare le generalizzazioni (Karst et al., 2023).

L'affermazione che gli alberi adulti inviino risorse e segnali di difesa alla progenie attraverso i CMN non ha prove pubblicate con peer-review.

È stato inoltre analizzato come i risultati della ricerca siano stati interpretati e comunicati dagli scienziati, dimostrando che molte delle affermazioni della letteratura precedente sono citate in modo errato, negli ultimi 25 anni le affermazioni citate ma non supportate da adeguata ricerca riguardo il ruolo positivo dei CMN sono raddoppiate, tali preconcetti impediscono la comprensione del reale funzionamento degli ecosistemi forestali. In conclusione, le conoscenze attuali sono troppo scarse e instabili per essere utilizzate nella gestione forestale. (Karst et al., 2023)

2.2 Affermazione 1

I CMN sono diffusi nelle foreste

Osservare i CMN in situ frammenta e distrugge la rete rendendo difficile dimostrare che le connessioni miceliali esistano e siano durature. In assenza di osservazioni dirette, sono stati utilizzati metodi alternativi per dedurre la struttura dei CMN nelle foreste. Fra i più usati vi è la genotipizzazione del DNA fungino e vegetale dalle radici micorriziche. La mappatura genetica indica una presenza spaziale discreta, non continua, tuttavia se condotte su scale fini, può fornire evidenze della presenza di un micelio spazialmente continuo che collega le radici di diversi alberi. Dato il costo e la complessità di tale tecnica sono stati eseguiti cinque studi:

- Beiler et al., 2010
- Beiler et al., 2012
- Beiler et al., 2015
- Lian et al., 2005
- Van Dorp et al., 2020

Soltanto due specie vegetali e tre specie fungine sono state mappate in relazione ai CMN, quando si stima che le specie arboree sulla terra siano circa 73.000. (Cazzolla Gatti, et al., 2022)

Inoltre non vi sono informazioni sulla continuità temporale del collegamento. Ife e radici si modificano rapidamente in seguito ad abrasione o pascolamento. Uno stesso genet (micelio originato dalla medesima spora) può infettare radici limitrofe di piante diverse, per poi danneggiarsi. Ciò non dimostra la presenza di un contatto continuo nonostante i risultati di mappatura genica siano coerenti con un CMN.

In alcuni studi fra quelli citati, le punte delle radici micorriziche di diverse specie arboree vengono campionate in prossimità, rendendo plausibili le affermazioni su un potenziale CMN. Tuttavia, la presenza di specie condivise non significa che le ife appartengano allo stesso individuo fungino (genet).

Il sostegno a questa affermazione è quindi limitato, a causa della scarsità di informazioni sulla struttura dei CMN, e in particolare sulle dinamiche sul campo. Le radici adiacenti sono spesso colonizzate dalla stessa specie di funghi micorrizici, suggerendo che i legami fungini dovrebbero essere comuni. Tuttavia, troppe poche foreste sono state mappate, e di queste, solo due studi (Beiler et al., 2012; Lian et al., 2006) dimostrano l'effettiva continuità dei legami fungini da parte del medesimo genet, ma in ogni caso non vi sono prove che questi collegamenti persistono abbastanza a lungo da essere funzionali.

2.3.1 Affermazione 2

Le risorse vengono trasferite attraverso i CMN e aumentano le prestazioni delle piantine

Questa visione, rafforzata dallo studio di Simard et al., 1997 prevede che ife fungano da estensioni delle radici come condotti passivi, ciò tuttavia non considera che i funghi possano avere dei comportamenti (Alekklett and Boddy, 2021) o che funghi micorrizici possano essere svantaggiosi (Karst et al., 2023). Karst et al., 2023 affermano che i risultati degli studi sul campo nell'ambito dei CMN nei 26 studi da loro revisionati abbiano possibili spiegazioni alternative che non riguardano i CMN (Fig. 1).

Le loro conclusioni però non sono da intendersi come un rifiuto ai CMN stessi, bensì un richiamo alla consapevolezza del fatto che i dati in nostro possesso a riguardo sono parziali. Fra gli studi esaminati il 67% riguarda foreste ectomicorriziche in buona parte popolate dall'abete di Douglas (*Pseudotsuga menziesii*).

Fig. 1: Spiegazioni alternative per i risultati di studi sul campo pubblicati peer-reviewed che rivendicano effetti positivi dei CMN sul trasferimento di risorse inter-pianta o sulle prestazioni delle piantine per almeno una serie di condizioni ambientali.

Method separating CMN from non-CMN effects	Study	Alternative explanations				
Compare resource transfer between EM and AM plants	Ref. ⁵⁰	●				
	Ref. ⁶⁰	●				
Compare resource transfer among plants of the same mycorrhizal type	Ref. ⁶¹	●				
	Ref. ⁷⁸	●				
	Ref. ⁷⁷	●				
	Ref. ⁷⁹	●				
	Ref. ⁸⁰	●				
Cylinders lined with mesh combined with trenching	Ref. ⁷²		○	●		
	Ref. ⁷³		○	●		
	Ref. ⁶⁴	●				
Mesh bags differing in pore size	Ref. ⁶⁹		○	●	○	●
	Ref. ⁵⁷		○	●	○	●
	Ref. ⁵⁹	●	○	●	○	●
	Ref. ⁵⁸	●				
	Ref. ⁸¹		○	●		●
	Ref. ⁷⁰		○			●
	Ref. ⁶⁷		○	●		●
	Ref. ⁶⁸		○	●		●

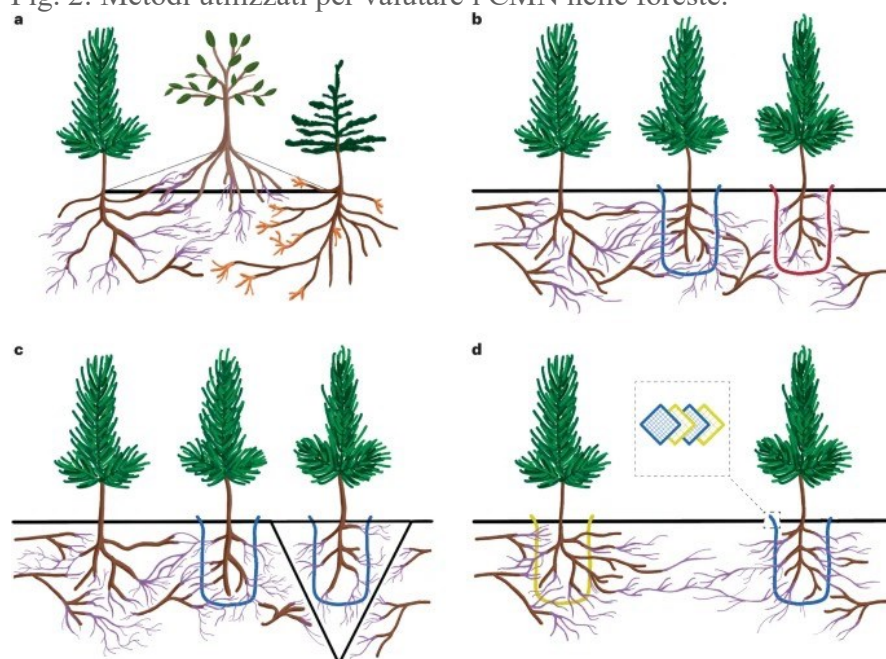
- At least part of the resource transfer pathway is discontinuous, involving the flow of solutes in soil solution, rather than a CMN per se
- The pathogen fungal community composition in the soil changed with treatment and altered seedling performance
- The mycorrhizal fungal community composition in the soil changed with treatment and altered seedling performance
- Access to surrounding roots positively influenced seedling performance
- Treatment reduced the soil volume available for hyphal foraging, subsequently affecting the performance of non-CMN seedlings

2.3.2 I metodi

I metodi per valutare la funzione dei CMN si basano su barriere fisiche naturali o create (Fig. 2). Il primo metodo consiste nel confrontare il trasferimento di risorse sotterranee tra piante con diverse micorrize e il trasferimento tra piante dello stesso tipo micorrizico; i ricercatori sfruttano il fatto che non si possano formare CMN tra alberi con diversi tipi micorrizici (Fig. 2a) poiché qualsiasi trasferimento sotterraneo di risorse tra alberi di diversi tipi di micorrizici comporterebbe necessariamente il passaggio attraverso il terreno al di fuori delle ife.

Sempre considerando che la continuità temporale (condizione necessaria per considerare un CMN tale) non viene dimostrata, le barriere naturali permettono un maggiore movimento nel terreno da parte delle radici ma presentano delle criticità. In molti studi il trasferimento di carbonio non è stato quantificato e qualora lo fosse il ruolo funzionale non è stato chiarito, rimanendo probabilmente all'interno delle ife e non disponibile per la pianta ricevente. (Robinson and Fitter, 1999).

Fig. 2: Metodi utilizzati per valutare i CMN nelle foreste.



a, Il trasferimento di risorse viene confrontato tra piante dello stesso tipo e diversi tipi di micorrizici. Le ife viola sono ectomicorriziche, le ife arancioni sono arbuscolari. Le radici delle piantine si mescolano e il flusso di massa dell'acqua è illimitato. **b**, Le piantine sono coltivate in contenitori fatti di strati di singola maglia, che formano barriere fisiche alle radici ma non alle ife (linea blu; dimensione dei pori 20-250- μm) o alle radici e alle ife (linea rossa; dimensione dei pori $<1\text{-}\mu\text{m}$). Per estendere il volume disponibile per le ife delle piantine ma escludere il contatto con le radici, alcune piantine vengono coltivate in contenitori identici e il terreno intorno a loro è scavata una trincea (V nera). **d**, Le piantine sono coltivate in contenitori fatti di rete con più strati progettati per consentire le ife ma escludere le radici e creare un spazio d'aria che elimina il flusso di massa di acqua attraverso il suolo. Il trasferimento di risorse viene confrontato tra queste piantine (a destra) e quelle a contatto con i percorsi del suolo, le ife fungine e le radici (piantina a sinistra, linea gialla; dimensione dei pori $>2\text{-mm}$).

Un altro metodo consiste nell'utilizzare sacchi o reti con pori di diversi diametri in modo da ridurre il contatto e l'estensione di ife o radici (Fig. 2b-d). Reti con diametri inferiori a $1\mu\text{m}$ impediscono completamente i contatti ifali, maglie comprese fra i $20\mu\text{m}$ e i $250\mu\text{m}$ consentono i contatti ifali ma non quelli radicali. Anche questo metodo tuttavia presenta criticità. In primo luogo la coltivazione in sacchi per prevenire la formazione di CMN potrebbe comprometterne la crescita a causa della riduzione di volume del terreno disponibile (Booth, M.G., 2004). Confrontare piante coltivate in vasi non-CMN, in cui sia le radici che le ife hanno volume di terreno che disponibilità di nutrienti ridotti con piante CMN libere di esplorare volumi di terreno maggiori può gonfiare gli ipotetici effetti positivi del CMN (Teste et al., 2009; McGuire et al., 2007).

In alcuni casi sono state scavate trincee al fine di interrompere i collegamenti radicali (Booth et al., 2010), tuttavia in qualsiasi esperimento che preveda la rottura del terreno influenza la composizione microbica e fungina, che viene alterata con possibili effetti sulle prestazioni delle piante.

Lo studio che maggiormente dimostra il trasferimento di risorse tramite CMN è quello di Teste et al., 2010; che utilizzando trattamenti a rete e analisi molecolari hanno dimostrato una maggior concentrazione di carbonio marcato nel germoglio della pianta ricevente, inoltre hanno riscontrato corrispondenza fra il genet fungino della pianta donatrice e quella ricevente. L'unica spiegazione alternativa a questi risultati è un innesto di radice. “Per quanto ne sappiamo, questa singola osservazione [...] è la prova più forte che i CMN possono trasferire una risorsa tra le piante sul campo, ma la sua influenza sulle prestazioni delle piantine è sconosciuta.” (Karst et al., 2023.)

La condizione più frequente in natura è quella in cui sia ife che radici si mescolano. L'interazione radice-radice può alterare gli effetti di un potenziale CMN.

“Se inclusi negli studi sul campo, gli effetti delle interazioni delle radici sulle piantine possono essere sostanziali... Solo cinque esperimenti hanno mostrato significativi effetti CMN positivi che non sono stati completamente compensati da effetti negativi della radice.” (Karst et al., 2023.)

Ciò che si può affermare è quindi che avvengano trasferimenti sotterranei di risorse, non necessariamente mediati da CMN. Gli approcci finora usati non permettono di escludere spiegazioni alternative, tantomeno si prestano a generalizzazioni.

2.4 Affermazione 3

Gli alberi maturi comunicano preferenzialmente con la progenie attraverso i CMN

La terza affermazione riguarda il fatto che le piante adulte comunicherebbero preferenzialmente con la progenie (Stefano Mancuso, Botanica, aboca 2017, pg: 76)

Vi sono due studi con peer-review pubblicati a riguardo: Song et al., 2015 e Pec et al., 2020.

Tuttavia nel primo caso non è stata rilevata segnalazione significativa in caso di contatto fra radici (situazione più probabile in natura). Nel secondo caso gli effetti sulla sopravvivenza delle piantine sono stati valutati dopo 2 anni dall'attacco, rendendo impossibile la valutazione di eventuali segnali.

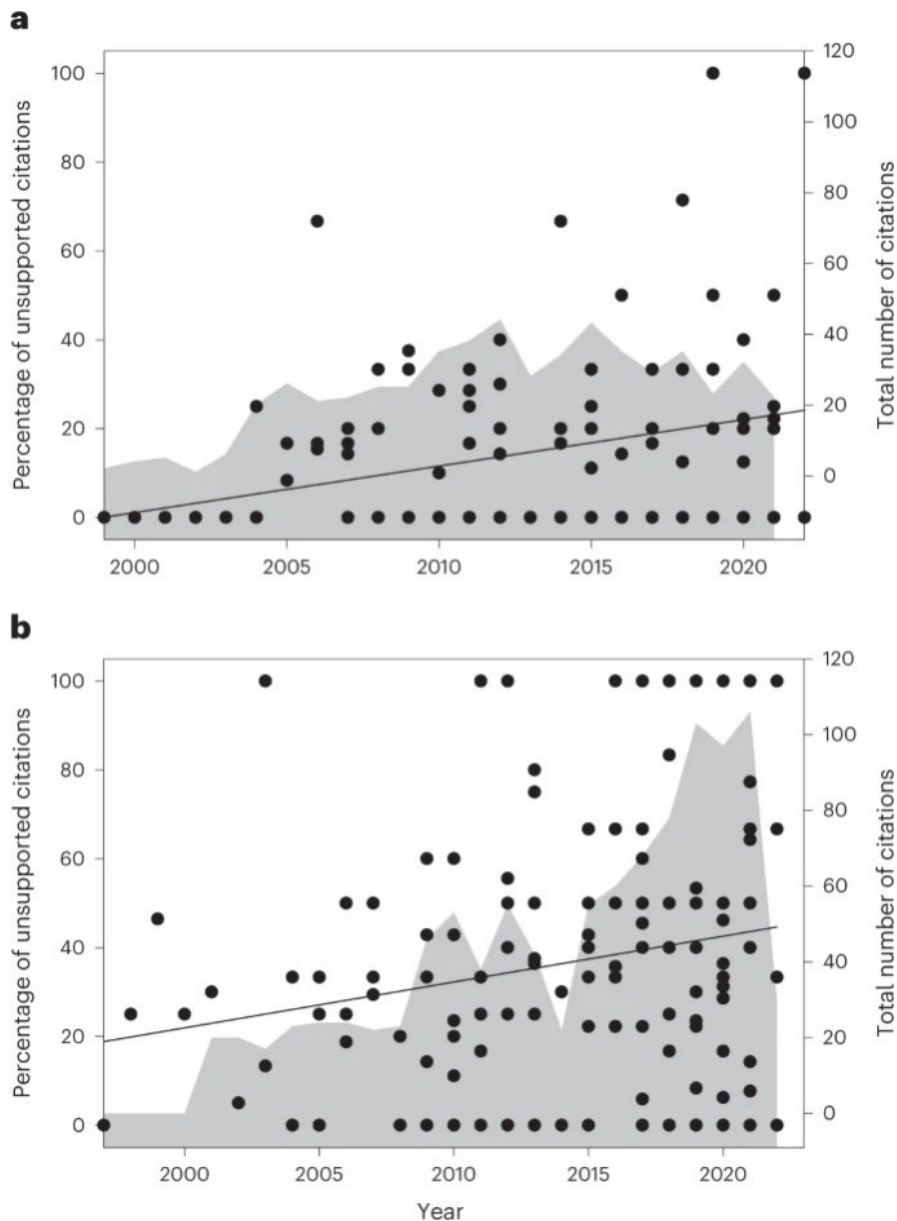
“In sintesi, non ci sono prove attuali da studi sul campo pubblicati e con peer-review a sostegno di questa affermazione.” (Karst et al., 2023)

2.5 Preconcetti verso gli effetti positivi dei CMN nelle citazioni

Karst et al., 2023 hanno identificato 18 studi sul campo con almeno 50 citazioni da Web of Science, hanno poi considerato una citazione come supportata, nel caso in cui vi fossero prove evidenti, e non supportata se le prove presentavano spiegazioni alternative (capitolo 2.1).

Sono stati poi analizzati 593 articoli sulla struttura e 1.083 sulla funzione dei CMN, da questa analisi hanno verificato che il tasso di citazioni non supportate è aumentato nel tempo, sfiorando il 20% nel primo caso e quasi il 50% nel secondo (Fig. 3).

Fig. 3: Percentuale di citazioni non supportate nel tempo di studi influenti sui CMN.



a,b, Percentuale di citazioni non supportate nel tempo di studi influenti sulla struttura CMN (**a**; ad esempio, topologia o architettura) e funzione (**b**; effetti sul trasferimento di risorse fra piante e/o sulle prestazioni delle piantine). [...] L'ombreggiatura grigia rappresenta il numero totale di citazioni all'anno.

Risulta evidente che le citazioni non supportate abbiano un bias (o preconetto) , in quanto tendono a sopravvalutare i risultati ed esaltare gli effetti positivi dei CMN.

Ad esempio; Grelet et al., 2010, viene citato come prova per la formazione di CMN, quando dallo stesso abstract si legge: “Concludiamo che i singoli genet di *M. variabilis* possono colonizzare contemporaneamente le radici di pino silvestre e *Vaccinium*, ma *non ci sono prove della formazione di grandi reti miceliali*”. Lo stesso vale per gli studi sul trasferimento del carbonio, che preferiscono ignorare il trasferimento tramite terreno, coerente con i dati ottenuti, sottolineando invece il ruolo dei CMN. É evidente come questo tipo di dichiarazioni sia problematico, in quanto, volontariamente o meno, la comunità scientifica plasmi la narrazione pubblica con affermazioni imprecise e non supportate da sufficienti evidenze.

Capitolo 3

Conclusioni personali

E' inevitabile che chiunque si approcci al mondo delle micorrize e si imbatta nei CMN, ne resti affascinato ed entusiasta, questo però non è sempre un bene. L'entusiasmo è generalmente dato dalla possibilità, che un tipo di divulgazione scientifica offre, di empatizzare con le piante. Ciò è detto “antropomorfismo” ed è “la tendenza a conferire aspetto umano alla realtà esterna e alla natura.” Questo fenomeno permette una comprensione apparente del mondo. Comprendere la realtà significa adattare il proprio pensiero e le proprie convinzioni ad essa e non il contrario. “L'antropomorfismo è tabù nella scienza perché ci inganna più spesso di quanto aiuti. Gli alberi non sono persone e le foreste non sono famiglie umane o addirittura repubbliche.” Suggerisce un articolo di Kathryn Flinn pubblicato nel 2021 su Scientific American. I nostri preconetti ci precludono la comprensione del reale, andando poi a utilizzare una falsa conoscenza nel trattare le questioni ecologiche, ad oggi sempre più sentite.

I media popolari in questo giocano un ruolo cruciale. Già nel 1991 Tiezzi E. Sottolineava come l'informazione su temi scientifici da parte dei mass media fosse sensazionalista e di bassa qualità: il titolo ad effetto (come “gli alberi parlano segretamente fra di loro”) e l'enfatizzazione degli aspetti emotivizzanti sono le caratteristiche più comuni nella divulgazione popolare ciò induce inevitabilmente imprecisioni e valutazioni distorte a discapito dell'esatta conoscenza delle cose.

L'incertezza insita nella comunicazione scientifica, in cui anche i modelli più corroborati o confermati vengono chiamati teorie, viene percepita dalla politica e dall'opinione pubblica come qualcosa di instabile e dannoso per la società.

“Una "promessa mancata" che, invece di rappresentare un indice di trasparenza, diventa motivo fondante di sfiducia e discredito. Comunicare la Scienza correttamente significa, al contrario, sensibilizzare l'opinione pubblica anche sull'intrinseca fallibilità dell'impresa oltre che sulle potenzialità della stessa.” (Bevilacqua G; 2014).

Il dubbio e la lentezza dovrebbero essere due elementi di forza della scienza e della sua comunicazione. Queste caratteristiche però sono antieconomiche e in controtendenza rispetto alla fretta e alla polarizzazione che il mondo ha avuto negli ultimi decenni. Tuttavia i legami che vi sono fra ricerca, case editrici e altri tipi di aziende mina la libertà e la serietà dell'informazione e danneggiano il rapporto fra lettore/cittadino nei riguardi dell'informazione scientifica e degli scienziati stessi.

Riappropriarsi quindi dei propri tempi per comprendere ed analizzare con mente critica i risultati delle ricerche non è un lusso, ma una necessità imprescindibile in un mondo sempre più complesso e veloce.

Bibliografia

Articoli:

Aleklett K, Boddy L. Fungal behaviour: a new frontier in behavioural ecology. *Trends Ecol Evol.* 2021 Sep;36(9):787-796.

Beiler, K.J., Durall, D.M., Simard, S.W., Maxwell, S.A. and Kretzer, A.M. (2010), Architecture of the wood-wide web: Rhizopogon spp. genets link multiple Douglas-fir cohorts. *New Phytologist*, 185: 543-553.

Beiler, K.J., Simard, S.W., LeMay, V. and Durall, D.M. (2012), Vertical partitioning between sister species of Rhizopogon fungi on mesic and xeric sites in an interior Douglas-fir forest. *Mol Ecol*, 21: 6163-6174.

Beiler, K.J., Simard, S.W. and Durall, D.M. (2015), Topology of tree-mycorrhizal fungus interaction networks in xeric and mesic Douglas-fir forests. *J Ecol*, 103: 616-628.

Booth, M.G. (2004), Mycorrhizal networks mediate overstorey-understorey competition in a temperate forest. *Ecology Letters*, 7: 538-546.

Booth, M.G. e Hoeksema, J.D. (2010), Mycorrhizal networks counteract competitive effects of canopy trees on seedling survival. *Ecology*, 91: 2294-2302.

Cazzolla Gatti, R. et al. The number of tree species on Earth. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 119, e2115329119 (2022).

David Robinson , Alastair Fitter, The magnitude and control of carbon transfer between plants linked by a common mycorrhizal network , *Journal of Experimental Botany*, Vol. 50, No. 330, January 1999.

E.I. Newman, *Mycorrhizal Links Between Plants: Their Functioning and Ecological Significance*, Editor(s): M. Begon, A.H. Fitter, E.D. Ford, A. Macfadyen, *Advances in Ecological Research*, Academic Press, Volume 18, 1988

Genre, A., Lanfranco, L., Perotto, S. et al. Unique and common traits in mycorrhizal 2. *Nat Rev Microbiol* 18, 649–660 (2020).

Karst, J., Jones, M.D. & Hoeksema, J.D. Positive citation bias and overinterpreted results lead to misinformation on common mycorrhizal networks in forests. *Nat Ecol Evol* 7, 501–511 (2023).

Lian, C., Narimatsu, M., Nara, K. and Hogetsu, T. (2006), *Tricholoma matsutake* in a natural *Pinus densiflora* forest: correspondence between above- and below-ground genets, association with multiple host trees and alteration of existing ectomycorrhizal communities. *New Phytologist*, 171: 825-836.

McGuire, (2007), Common ectomycorrhizal networks may maintain mono dominance in a tropical rain forest. *Ecology*, 88: 567-574.

Pec, G. J., Simard, S. W., Cahill, J. F. & Karst, J. The effects of ectomycorrhizal fungal networks on seedling establishment are contingent on species and severity of overstorey mortality. *Mycorrhiza* 30, 173–183 (2020).

Simard, S., Perry, D., Jones, M. et al. Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field. *Nature* 388, 579–582 (1997).

Song, Y., Simard, S., Carroll, A. et al. Defoliation of interior Douglas-fir elicits carbon transfer and stress signalling to ponderosa pine neighbors through ectomycorrhizal networks. *Sci Rep* 5, 8495 (2015).

Teste, F.P., Simard, S.W., Durall, D.M., Guy, R.D. e Berch, S.M. (2010), Net carbon transfer between *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* seedlings in the field is influenced by soil disturbance. *Journal of Ecology*, 98: 429-439.

Van der Heijden, M.G.A., Martin, F.M., Selosse, M.-A. and Sanders, I.R. (2015), Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytol*, 205: 1406-1423.

Van Dorp, C.H., Simard, S.W. & Durall, D.M. Resilience of *Rhizopogon*-Douglas-fir mycorrhizal networks 25 years after selective logging. *Mycorrhiza* 30, 467–474 (2020).

Zhang Y, Guo LD. Arbuscular mycorrhizal structure and fungi associated with mosses. *Mycorrhiza*. 2007 Jun;17(4):319-325.

Libri:

Sally E. Smith, David Read,
Mycorrhizal Symbiosis (Third Edition), Academic Press, 2008.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123705266500209>)

Mancuso S. (2017), Botanica, Aboca, Sansepolcro (AR), pg.46

Tiezzi E. (1991), Il capitombolo di Ulisse, Feltrinelli, Milano (MI)

Siti web:

<https://youtu.be/yWOqeyPIVRo>

<https://www.youtube.com/watch?v=Un2yBgIAxYs>

<https://www.nytimes.com/interactive/2020/12/02/magazine/tree-communication-mycorrhiza.html>

Bevilacqua G, La comunicazione scientifica: il delicato rapporto tra scienza, media e pubblico, 2014. (https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/periodici-tecnici/memorie-descrittive-della-carta-geologica-ditalia/memdes_96_bevilacqua.pdf)

<https://www.scientificamerican.com/article/the-idea-that-trees-talk-to-cooperate-is-misleading/>