

MARIO AMADEI

## I FUNGHI POSSONO ESSERE CONSIDERATI BIOINDICATORI DELLA SALUTE DEL BOSCO?

### Riassunto

*L'autore compie un ampio excursus sugli studi relativi all'ipotesi che i funghi possano essere considerati come bioindicatori della salute del bosco. Le sue conclusioni sono che le attuali conoscenze non sono sufficienti a stabilire un parallelismo tra salute dei boschi, in senso lato, e associate popolazioni fungine tale da poter desumere elementi di valutazione attendibili sulla prima da indicazioni fornite dalle seconde.*

*Il diffuso interesse a individuare questo nesso, dovuto non solo alla sua rilevanza in termini scientifici ma anche alle conseguenti ricadute positive in termini ecologici ed economici, induce, però, a proseguire gli sforzi e a focalizzare il monitoraggio di presenza e distribuzione delle specie fungine a sistema con la valutazione dello stato di salute dell'habitat boschivo.*

### Abstract

*The author made a wide excursus on the studies related to the hypothesis that fungi could be taken as bio indicators of the forest health. He concludes that knowledge acquired so far is not sufficient to establish a linkage between forest health, in its wider sense, and associated fungal populations so that reliable assessment criteria of the former could be drawn on the latter.*

*However, a widespread interest in identifying such a possible relationship exists, due not only to its scientific relevance but also for its positive outcome in both ecological and economic terms. Therefore, further efforts should not be spared, focused on the presence and distribution of fungal species combined with the health status of the wooded habitat.*

### Premessa

I funghi giocano un ruolo essenziale negli equilibri ambientali come agenti decompositori, simbiotici o patogeni di organismi vegetali, tra l'altro regolando il ciclo del carbonio nei suoli forestali e favorendo gli apporti minerali alle piante. Per il posto di rilievo occupato negli ecosistemi, essi sono da tempo oggetto di studi accurati. Tuttavia, nonostante la mole di conoscenze acquisite, il loro comportamento resta ancora indeterminato.

I funghi non agiscono come dispositivi meccanici, cioè non svolgono sempre ed esclusivamente la medesima funzione e non agiscono sempre attuando gli stessi automatismi ma i risultati della loro azione, così come le loro attività metaboliche, sono strettamente correlati alle interazioni con l'ambiente, comprese quelle con gli altri viventi che vi risiedono.

Un elemento fondamentale di questa interazione è dato dalla conformazione stessa dell'apparato vegetativo dei funghi, che si presenta in forma filamentosa (le ife, che nel loro insieme costituiscono il micelio), o talvolta unicellulare (nei lieviti), con un elevato rapporto superficie/volume. La notevole estensione superficiale relativa e la ridottissima distanza alla quale ogni punto del protoplasma fungino si trova dall'ambiente circostante, fanno sì che gli scambi con l'esterno siano particolarmente intensi.

Nonostante la complessità delle relazioni dei funghi con l'ambiente non renda facilmente prevedibili il loro comportamento e i mutui rapporti con gli altri organismi, da tempo sono stati sollevati quesiti, e si sono condotti studi, sulla possibilità di dedurre informazioni sull'ambiente naturale, di carattere generale o puntuale, dall'osservazione dei funghi. Uno di questi quesiti riguarda la possibilità di ottenere dai funghi indicazioni sullo stato di salute delle foreste.



Foto 1. *Megacollybia plathyphylla*

Foto di Giovanni Segneri



Foto 2. *Coriolopsis gallica*

Foto di Bruno De Ruvo



Foto 3. *Trametes trogii*

Foto di Claudio Angelini

### Salute delle foreste

Il tema “salute delle foreste” è stato oggetto di ampia disamina da parte di Kolb, Wagner e Covington in un articolo pubblicato nel luglio 1994 sul *Journal of Forestry*.

Gli autori osservano che il termine è ampiamente usato in ecologia, in silvicoltura e, più in generale, in contesti di gestione delle risorse naturali ma, nonostante il suo impiego diffuso, per la mancanza di una chiara, univoca e condivisa definizione, il termine è utilizzato con accezioni diverse, causa di possibili fraintendimenti.

Il problema è avvertito particolarmente quando la tutela della salute forestale può essere percepita come un fattore limitante nella fruizione delle aree boschive.

Da qui i tentativi di offrire definizioni basate su presupposti utilitaristici in contrapposizione a quelle basate su criteri ecologici.

Nella prima fattispecie ricadono tutte le definizioni centrate sul conseguimento degli obiettivi gestionali del patrimonio boschivo.

Un esempio è dato da uno studio condotto dall’USDA Forest Service che nel 1993 concluse che uno stato ideale di salute delle foreste può consistere in una condizione nella quale non esistono minacce agli obiettivi gestionali attuali e futuri portate da fattori biotici e/o abiotici quali parassiti, inquinanti ambientali, trattamenti colturali, sfruttamento delle risorse. Di conseguenza una foresta è considerata sana se gli obiettivi gestionali sono soddisfatti e sofferente in caso contrario.

Il conseguimento degli obiettivi gestionali è un tema ricorrente in molte definizioni utilitaristiche (MONNING & BAYLER, 1992; SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS, 1993), basato sul presupposto che i parassiti siano specie che impattano negativamente sull’uso voluto del patrimonio boschivo (BARBOSA & WAGNER, 1989).

L’approccio utilitaristico non è scevro da critiche sia perché affetto da logica circolare (la salute della foresta, infatti, da un lato è testimoniata dal conseguimento degli obiettivi gestionali,

dall'altro è essa stessa uno degli obiettivi), sia perché contiene un'ambiguità intrinseca in quanto una data condizione può essere considerata sana in una determinata prospettiva e precaria in un'ottica diversa.

Il dialelle e l'ambiguità contenuti nelle definizioni proposte dagli utilitaristi hanno stimolato la ricerca di nuove enunciazioni che prendono in considerazione l'ecosistema. Da qui le proposte quali *"Una foresta in buone condizioni di salute è una comunità pienamente funzionante di piante, animali e il loro ambiente fisico"* o *"Una foresta sana è un ecosistema in equilibrio"* (MONNIG & BAYLER, 1992).

Altri studiosi hanno introdotto il concetto di resilienza offrendo *"Una foresta sana è una resiliente ai cambiamenti"* (JOSEPH ET AL., 1991), *"Il termine foresta in buona salute denota la produttività degli ecosistemi forestali e la loro capacità di recuperare dopo uno stress"* (RADLOFF ET AL., 1991), *"La salute di una foresta può essere definita come la capacità della stessa di recuperare dopo danni causati da fattori naturali e umani"* (USDA Forest Service, 1992).

La mera elencazione delle molteplici definizioni proposte risulterebbe un esercizio ripetitivo, che nulla aggiungerebbe alla comprensione del tema in discussione. Si osserva solo che nessuna è risultata totalmente soddisfacente e priva di elementi di criticità.

Oggi, quindi, persiste inalterata l'indeterminazione sul significato scientificamente rigoroso del termine.

Tuttavia, nonostante non ci sia una definizione semplice, esaustiva e condivisa, gli ecologi attualmente concordano nel considerare un ecosistema sano come un ecosistema capace di conservare nel tempo la propria struttura e la propria produttività nonostante i vari stress cui è sottoposta, armonizzando così i concetti di organizzazione, produttività e resilienza e conciliando una visione ecologica con una richiesta antropocentrica di beni e servizi.

In tale prospettiva, una foresta sana non è necessariamente costituita da un insieme di alberi privi di organismi patogeni. La valutazione è infatti riferita non solo all'intera popolazione di alberi ma si spinge ad abbracciare l'ecosistema nel suo insieme.

Gli agenti nocivi, siano essi funghi parassiti o insetti, sono componenti della biodiversità dell'ecosistema forestale e contribuiscono al suo funzionamento. Non bisogna dimenticare che nelle foreste naturali, in tempi geologici, piante e agenti patogeni si sono co-evoluti adattandosi le une agli altri in un continuo equilibrio dinamico.

## **Funghi e salute delle foreste**

Come detto in premessa, da tempo i micologi si sono posti il quesito sulla possibilità di ottenere dai funghi indicazioni sullo stato di salute delle foreste, in termini generali o limitatamente a specifici parametri chimici o pedologici.

In Italia, studi in merito sono stati condotti dall'ISPRA in collaborazione con numerosi istituti accademici e organizzazioni ecologiche, quali l'Associazione Micologica Bresadola.

Il tema è stato oggetto di una serie di seminari e ha trovato spazio nella pubblicazione *"Elementi chimici nei funghi superiori - I funghi di riferimento come strumento di lavoro per la bioindicazione e la biodiversità"* (ROBERTO M. CENCI, LUIGI COCCHI, ORLANDO PETRINI, FABRIZIO SENA, CARMINE SINISCALCO & LUCIANO VESCOVI, 2009), edita come rapporto scientifico del Joint Research Centre della Commissione Europea, Istituto dell'Ambiente e della Sostenibilità.

Il lavoro è finalizzato a verificare le potenzialità dei funghi quali indicatori della qualità del suolo, definita in funzione della contaminazione da metalli pesanti. Nella parte introduttiva ricapitola le conoscenze già acquisite sulle capacità dei funghi di fornire informazioni su:

- stato di alterazione delle foreste naturali e sul livello di decomposizione dei tronchi (HOLMER, 1997) per la stretta interrelazione tra pH del suolo, salute della copertura vegetale e presenza di determinate specie fungine;

- processi di degrado già in corso. Alcune specie fungine, con la semplice presenza e quantità dei propri basidiomi, indicherebbero uno squilibrio ecosistemico in corso dovuto a eccessi di necromassa e conseguente aumento delle sostanze azotate nella lettiera. Tra queste vengono citate *Megacollybia platyphylla* (Pers.) Kotl. & Pouzar (v. **foto 1**), *Cerrena unicolor* (Bull.: Fr.) Murrill, *Coriopsis gallica* Fr. (v. **foto 2**) e *Trametes trogii* Berk. (BERSAN, com. pers., 2002) (v. **foto 3**);

- futuri processi di degrado. Le specie fungine che si nutrono dei prodotti di scarto di altre specie con funzione di degradatori primari, indicherebbero con la presenza dei loro basidiomi un'alterazione dell'ecosistema che sarà percepita solo dopo molto tempo, cioè quando fruttificheranno i degradatori primari che hanno un ciclo molto lungo. Per caratteristiche legate al loro ciclo biologico, avrebbero questa funzione indicatrice alcune specie del genere *Mycena* (Pers.) Roussel (ROBICH, 2003): *Mycena rosea* (Schumac.) Gramberg; *Mycena pura* (Pers.: Fr.) P. Kumm. (v. **foto 4**); *Mycena pelianthina* (Fr.) Quél.; *Mycena galericulata* (Scop.: Fr.) Gray (v. **foto 5**); *Prunulus niveipes* Murrill [Sin. *Mycena niveipes* (Murrill) Murrill] (v. **foto 6**); *Mycena polygramma* (Bull.: Fr.) Gray; *Mycena amicta* (Fr.) Quél. (v. **foto 7**); *Mycena flavoalba* (Fr.) Quél. (v. **foto 8**);

- diversità di *habitat* in termini di ricchezza e abbondanza di popolazione di un ecosistema o di un ambiente (BENEDETTI ET AL., 2006);

- fertilità del suolo, grazie alle specializzate attività trofiche dei funghi che ne garantiscono la presenza in tutti gli *habitat* terrestri e la partecipazione alla formazione dell'*humus* (ZANELLA ET AL., 2001);

- salute delle piante poiché le ectomicorriche, oltre a costituire una barriera fisica alla penetrazione di parassiti nell'apice e a modificare qualitativamente e quantitativamente i metaboliti vegetali emessi nella rizosfera, generalmente producono anche dei composti antibiotici che rappresentano una barriera tossica nei confronti di molti microrganismi del terreno (MONTECCHIO, 2008). La conoscenza di questi prodotti del metabolismo micorrizogeno e dei loro meccanismi d'azione fornirebbe numerose chiavi di bioindicazione, tenuto conto che l'apparato radicale di una pianta forestale adulta può essere micorrizzato contemporaneamente da 30 a 50 specie fungine diverse, ciascuna in grado di esprimere al meglio le proprie potenzialità soltanto in determinate condizioni ecologiche, fenologiche, pedologiche, microclimatiche (KOIDE ET AL., 2000).

Micorriche in piena attività con produzione di corpi fruttiferi permetterebbero di monitorare anche i loro benefici effetti sulle piante ospiti. Molte ricerche avrebbero dimostrato che le radici assorbenti di alberi deperenti spesso mostrano significative variazioni nella composizione della comunità micorrizica (BLASCHKE, 1994; CAUSIN ET AL., 1996; MOSCA ET AL., 2007). È stato inoltre osservato che la frequenza relativa della comunità delle ectomicorriche più frequenti varia significativamente tra le piante sane e quelle poco e/o molto deperenti permettendo di identificare tale comunità come un valido bioindicatore del processo di deperimento in atto e del grado raggiunto (LILLESKOV ET AL., 2001; LOREAU ET AL., 2001).

Gli autori concludono che, nonostante la dovizia di riferimenti bibliografici, le conoscenze attuali legittimano solo ipotesi sulle potenzialità dell'utilizzo dei funghi come bioindicatori della qualità del suolo e dell'ambiente, anche se alcune specie fungine potrebbero essere utilizzate come "funghi sentinella". Solo ulteriori indagini potrebbero permettere di definire una o più specie di funghi da utilizzare quali bioindicatori ambientali.

Funzionale a tale scopo potrebbe risultare il "Programma RE MO - Rete nazionale di monitoraggio della biodiversità e del degrado dei suoli", descritto nel Quaderno ISPRA 4/2012, che inserisce i funghi tra i parametri da monitorare per valutare la biodiversità degli *habitat* naturali e lo stato di degrado dei suoli.



Foto 4. *Mycena pura*

Foto di Luigi Perrone



Foto 5. *Mycena galericulata*

Foto di Luigi Perrone



Foto 6. *Mycena niveipes*

Foto di Giovanni Robich



Foto 7. *Mycena amicta*

Foto di Luigi Perrone



Foto 8. *Mycena flavoalba*

Foto di Giovanni Robich



Foto 9. *Paxillus involutus*

Foto di Matteo Gelardi



Foto 10. *Lactarius rufus*

Foto di Giovanni Segneri

Il quesito sulla possibilità di utilizzare i funghi come indicatori della salute delle foreste se lo è posto, tra gli altri, anche Simon Egli, capo del gruppo di ricerca sulle micorrizze del Centro Federale di Ricerca Svizzero WSL, nell'articolo "*Mycorrhizal mushroom diversity and productivity – an indicator of forest health?*", pubblicato nel 2011 negli *Annals of Forest Science*.

Partendo dalla reciproca interdipendenza tra alberi e specie fungine simbiotici a questi associate, l'autore si chiede se alberi rigogliosi, con elevata capacità di fotosintesi, producano più sporofori di alberi dalla crescita stentata, riprendendo così un quesito irrisolto dagli anni '80 del secolo scorso, quando in Europa fu osservato un diffuso deperimento delle foreste e una concomitante diminuzione della produzione fungina di specie simbiotici.

I cambiamenti climatici, e in particolare la diminuzione delle precipitazioni, per quanto influenti non sembrerebbero poter spiegare da soli la costante diminuzione della presenza di funghi nelle foreste europee. Le stesse considerazioni sono valide per l'aumento nei suoli dell'azoto re condizionare in relazione inversa la fruttificazione di funghi simbiotici mentre non avrebbe alcun effetto sui saprotrofi. Esistono però delle specie, quali *Paxillus involutus* (Batsch) Fr. (v. foto 9) e *Lactarius rufus* (Scop.) Fr. (v. foto 10), che non mostrano di reagire negativamente a un aumento di nitrati nel suolo ma, al contrario, sembrano trarne vantaggio.

Tornando agli anni '80, la diminuzione del rapporto tra i funghi simbiotici e quelli di altre specie fu interpretata come conseguenza del deperimento delle foreste. ARNOLDS (1991) affermò che nella maggior parte degli ecosistemi forestali sani, gli sporofori dei funghi ectomicorrizici costituivano il 45-50% di tutti i funghi rinvenuti. In boschi squilibrati, invece, si attestavano intorno al 10%.

FELNER & PESKOVA (1995) definirono per la Repubblica Ceca tre livelli di disturbo delle foreste. La presenza del 40% di funghi simbiotici indicherebbe uno stato latente di disturbo, valori compresi tra il 40 e il 20% sarebbero sintomatici di uno stadio acuto, percentuali inferiori al 20% testimonierebbero un livello letale. I due osservarono anche che la rarefazione dei funghi simbiotici precedette le manifestazioni di sofferenza dei boschi. PESKOVA (2005) suffragò questa teoria con osservazioni condotte in un querceto dove nel periodo 2000-2002 registrò un graduale miglioramento della salute degli alberi, valutata sulla base dell'indice di trasparenza delle chiome, e un parallelo incremento della percentuale di funghi simbiotici.

Il già citato ARNOLDS (1991), analizzando i dati storici, riscontrò un continuo declino della produzione di funghi simbiotici che nel periodo 1912-54 si attestavano intorno al 47% per scendere al 30% nel periodo 1973-82.

Analogamente, nella Svizzera occidentale BOUJON (1997) rilevò valori del 58% nel periodo 1925-37, 53% negli anni 1964-76 e 31% nell'intervallo 1977-89 con un decremento maggiore nel periodo 1964-89, in concomitanza temporale con l'acuirsi delle preoccupazioni per il deperimento dei boschi europei.

Nonostante la dovizia di osservazioni, studi e analisi, la causa della riduzione della produzione fungina resta tutt'ora inspiegabile.

Egli si è anche posto il quesito sulla possibilità che singole specie possano fungere da sentinella dello stato di salute delle foreste. In letteratura ha però trovato una sola citazione in merito. FELLNER (1990) avrebbe riscontrato una stretta correlazione tra il deperimento progressivo delle peccete e la presenza di *Russula mustelina* Fr., un tempo specie fungina predominante nelle peccete della Boemia settentrionale, praticamente estinta negli anni '80.

Fatta astrazione delle osservazioni di Fellner, non ci sarebbero ulteriori evidenze di specie simbionti utilizzabili a fini diagnostici nella valutazione dello stato di salute dei boschi.

L'autore ha quindi preso in esame i dati registrati tra il 1975 e il 2006 (32 anni) nella riserva micologica La Chavénaz, sita nel cantone di Friburgo, dove, a similitudine di quanto osservato in altre regioni europee, è stato registrato un trend negativo nella produzione di specie fungine simbionti. I dati numerici delle specie rilevate e le quantità relative costituiscono, però, le sole informazioni registrate. Il deficit informativo su eventuali variazioni dei parametri che influiscono sullo sviluppo degli sporofori non permette, quindi, di ipotizzare alcun nesso di causalità per il trend osservato.

Tuttavia, applicando la teoria Fellner-Peskova alla riserva La Chavénaz dove, per estrapolazione, all'epoca dello studio la presenza di specie simbionti si sarebbe ridotta a meno del 40%, la foresta dovrebbe aver raggiunto un livello di disturbo critico che non è, invece, manifesto. Tale osservazione comporta, in alternativa, che sarebbe in atto un processo di degrado non ancora visibile o che la teoria Fellner-Peskova sia errata.

In mancanza di elementi a riprova dell'una o dell'altra possibilità, Egli rimanda un giudizio a quando saranno disponibili ulteriori evidenze. Osserva, tuttavia, che Boujon nel periodo 1977-89 aveva registrato nella stessa regione una diminuzione delle specie simbionti che avevano raggiunto il 31%. A questa percentuale corrisponderebbe un livello di disturbo acuto nel modello Fellner-Peskova. Malgrado ciò, non è stato notato alcun segno di deperimento dei boschi, né in quel periodo né successivamente (questa affermazione sembra però incoerente con quanto detto in precedenza a proposito della crisi degli anni '80).

In conclusione, Egli conferma l'esistenza di una stretta correlazione tra produzione di funghi ectomicorrizici e lo stato fisiologico dell'albero ospite, ma nota che i complessi meccanismi che la regolano sono ancora in gran parte ignoti e allo stato non è possibile avanzare valide ipotesi su un nesso biunivoco tra i due fenomeni, né prendendo in considerazione l'insieme dei funghi simbionti, né le singole specie, anche se concentrare l'attenzione su queste parrebbe la via più promettente per conseguire ulteriori traguardi cognitivi.

## Osservazioni finali

Ad eccezione dei concetti di base sulla complessità delle relazioni tra habitat e relativa componente micologica, i lavori dell'ISPRA e di Egli non presentano molti elementi in comune. Dissimili per scopi e impostazione, offrono tuttavia conclusioni analoghe.

Le attuali conoscenze non sono sufficienti a stabilire un parallelismo tra salute dei boschi, in senso lato, e associate popolazioni fungine tale da poter desumere elementi di valutazione attendibili sulla prima da indicazioni fornite dalle seconde.

Il diffuso interesse a individuare questo nesso, dovuto non solo alla sua rilevanza in termini scientifici ma anche alle conseguenti ricadute positive in termini ecologici ed economici, induce a proseguire gli sforzi e a focalizzare il monitoraggio di presenza e distribuzione delle specie fungine a sistema con la valutazione dello stato di salute dell'habitat boschivo.

## Ringraziamenti

Si ringraziano Caludio Angelini, Bruno De Ruvo, Matteo Gelardi, Luigi Perrone, Giovanni Robich, Giovanni Segneri per aver messo gentilmente a disposizione le immagini fotografiche.



Indirizzo dell'autore

MARIO AMADEI

Comitato scientifico AMER

Via Nazionale 243, 00184 Roma

E-mail: marioamadei@hotmail.com

### Bibliografia

- ABUZINADAH R.A. & READ D.J. – 1989: *The role of proteins in the nitrose nutrition of ectomycorrhizal plants. V. Nitrogen transfer in birch, Betula pendula L. grown in association with mycorrhizal and non mycorrhizal fungi.* New Phytologist, n.112, pp. 61-68.
- ARNOLDS E. – 1991: *Decline of ectomycorrhizal fungi in Europe.* Agriculture, Ecosystem & Environment Journal 35, pp. 209-244
- AYER F., ZINGG A., PETER M. & EGLI S. – 2006: *Effets de la densité des tiges des pessières de substitution sur la diversité et la productivité des macromycètes d'une forêt du Plateau Suisse.* Revue forestière française LVIII 5, pp. 433-448
- BARBOSA P. & WAGNER M.R. – 1989: *Introduction to forest and shade tree entomology.* Acad. Press, San Diego, p. 639
- BASSIN S., VOLK M., SUTER M., BUCHMANN N. & FUHRER J. – 2007: *Nitrogen deposition but not ozone affects productivity and community composition of subalpine grassland after 3 years of treatment.* New Phytologist Journal 175, pp. 523-534
- BERG M.P. & VERHOEF H.A. – 1998: *Ecological characteristics of a nitrogen-saturated coniferous forest in the Netherlands.* Biology and Fertility of Soils 26, pp. 258-267
- BLASCHKE H. – 1994: *Decline symptoms on roots of Quercus robur.* European Journal of Forest Pathology, n. 24, pp. 386-398.
- BEDINI S., PELLEGRINO E., AVIO L., PELLEGRINI S., BAZZOFFI P., ARGESI E. & GIOVANNETTI M. – 2009: *Changes in soil aggregation and glomalin-related soil protein content as affected by the arbuscular mycorrhizal fungal species Glomus mosseae and Glomus intraradices.* Soil Biology and Biochemistry, n. 41, pp. 1491-1496.
- 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.
- BENNETTS R.E. – 1991: *The influence of dwarf mistletoe on bird communities in Colorado ponderosa pine forests.* MS thesis, Dep. Fish. & Wildl. Biol., Colorado State University, Fort Collins.
- BOUJON C. – 1997: *Diminution des champignons mycorrhiziens dans une forêt suisse: une étude rétrospective de 1925 à 1994.* Mycol Helvetique 9, pp. 117-132
- 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 per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability (Ispra -VA), Associazione Micologica Bresadola – ENIA S.p.a. (ora IREN S.p.a.) – Istituto cantonale di microbiologia (Bellinzona -CH). Edito dal Joint Research Centre – European Commission (EUR 24415IT – ISBN 978-92-79-16023-3 – ISSN 1018-5593 – doi:10.2788/11507), pp. 1-230.
- COCCHI L., VESCOVI L. & PETRINI O. – 2006: *Il fungo di riferimento: un nuovo strumento nella ricerca micologica.* Atti del 3° Convegno Internazionale di Micotossicologia (Reggio Emilia, 6-7 dicembre 2004). Pagine di Micologia, n. 25, pp. 51-66.
- COCCHI L., VESCOVI L., PETRINI L.E. & PETRINI O. – 2006: *Heavy metals in edible mushrooms in Italy.* Food Chemistry, Volume 98, Issue 2, pp. 277-284.
- DESPREZ-LOUSTAN M.L. – 2014: *Fiche. Qu'est-ce qu'une forêt en bonne santé?* In *La Forêt et le bois en France en 100 questions*, Académie d'Agriculture de France.
- EGLI S., AYER F., PETER M., EILMANN B. & RIGLING A. – 2010: *Is forest mushroom productivity driven by tree growth? Results from a thinning experiment.* Annals of Forest Science 67(509), p. 9
- EGLI S., PETER M., BUSER C., STAHEL W. & AYER F. – 2006: *Mushroom picking does not impair future harvests - results of a long-term study in Switzerland.* Biological Conservation Journal 129, pp. 271-276

- FELLNER R. – 1990: *Mycorrhiza-forming fungi as bioindicators of air pollution*. Agriculture, Ecosystem & Environment 28, pp.115–120
- FELLNER R. & PESKOVA V. – 1995: *Effects of industrial pollutants on ectomycorrhizal relationships in temperate forests*. Canadian Journal of Botany 73, pp. 1310–1315
- GIOVANNETTI M. & AVIO L. – 2002: *Biotechnology of Arbuscular Mycorrhizas*. In: KHACHATOURIANS G.G. AND ARORA D.K. Eds. *Applied Mycology and Biotechnology, Vol 2*. Agriculture and Food Production, pp. 275–310.
- GIOVANNETTI M., AZZOLINI D. & CITERNESI A.S. – 1999: *Anastomosis and nuclear and protoplasmic exchange in arbuscular mycorrhizal fungi*. Applied and Environmental Microbiology 65, pp. 5571–5575.
- GIOVANNETTI M., FORTUNA P., CITERNESI A. S., MORINI S. & NUTI M.P. – 2001: *The occurrence of anastomosis formation and nuclear exchange in intact arbuscular mycorrhizal networks*. New Phytologist, 151, pp. 717–724.
- GIOVANNETTI M., SBRANA C., AVIO L. & STRANI P. – 2004: *Patterns of below-ground plant interconnections established by means of arbuscular mycorrhizal networks*. New Phytologist 164, pp. 175–181.
- GIOVANNETTI M., AVIO L., FORTUNA P., PELLEGRINO E., SBRANA C. & STRANI P. – 2006: *At the root of the wood wide web: self recognition and nonself incompatibility in mycorrhizal networks*. Plant Signaling and Behavior 1, pp. 1–5.
- ISERENTANT R.E. & DE SLOVER J. – 1976: *Le concept de bioindicateur*. Mémoires de la Société de Botanique de Belgique, 7, pp.15–24.
- JOSEPH P., KIETH T., KLINE L., SCHWANKE J. & OVERHULSER D. – 1991: *Restoring forest health in the Blue Mountains: a 10 year strategic plan*. For. Log 61(2), pp. 3–12.
- KOLB T.E., WAGNER M.R. & COVINGTON W.W. – 1994: *Concept of forest Health – Utilitarian and Ecosystem Perspectives*. Journal of Forestry 92(2) – pp. 10–15.
- MONNIG E. & BYLER J. – 1992: *Forest health and ecological integrity in the northern Rockies*. USDA Forest Service, FPM Report 92-7, p. 18.
- MONTECCHIO L. – 2008: *Simbionti ectomicorrizici come indicatori della salute delle piante forestali*. Atti del Ciclo di Seminari. *I macromiceti come indicatori biologici della qualità del territorio*, ISPRA, Dipartimento Difesa della Natura, Progetto Speciale Funghi, Roma, 8 aprile 2008.
- MOSCA E., MONTECCHIO L., SELLA L. & GARBAYE J. – 2007: *Short-term effect of removing tree competition on the ectomycorrhizal status of a declining pedunculate oak forest (Quercus robur L.)*. Forest Ecology and Management, n. 244, pp. 129–140.
- PARKE J.L., LINDERMAN R.G. & BLACK C.H. – 1983: *The role of ectomycorrhizas in drought tolerance of douglas fir seedlings*. New Phytologist, n. 95, pp. 83–95.
- PESKOVA V. – 2005: *Dynamics of oak mycorrhizas*. Journal of Forest Science 51, pp. 259–267
- RADLOFF D., LOOMIS R. BERNARD J. & BIRDSEY R. – 1991: *Forest health monitoring: taking the pulse of America's forests*. In *Agriculture and the environment – the 1991 yearbook of agriculture*. USDA Forest Service, pp. 41–47, Washington D.C..
- RILLIG M.C., HERNANDEZ G.Y. & NEWTON P.C.D. – 2000: *Arbuscular mycorrhizae respond to elevated atmospheric CO2 after long-term exposure: evidence from a CO2 spring in New Zealand supports the resource-balance model*. Ecology Letters 3, pp. 475–478.
- ROBICH G. – 2003: *Mycena d'Europa*. Ed. Associazione Micologica Bresadola, Fondazione Centro Studi Micologici, Trento-Vicenza, pp. 728.
- 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*. Nature 388, pp. 579–582.
- SINISCALCO C. & TORNAMBÈ A. – 2002: *Considerazioni sul fenomeno di assorbimento e accumulo di metalli pesanti nei funghi*. Atti del 2° Convegno Internazionale di Micotossicologia. Associazione Micologica Bresadola, Centro Studi Micologici, Pagine di Micologia, n. 17, pp. 191–226.
- USDA FOREST SERVICE – 1992: *Northeastern area forest health report*. Report NA-TP-03-93, p. 57.
- USDA FOREST SERVICE – 1993: *Healthy forests for America's future – a strategic plan*. MP-1513, p. 58.
- WRIGHT S.F. & UPADHYAYA A. – 1996: *Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein from arbuscular mycorrhizal fungi*. Soil Science, n. 161, pp. 575–586.