

• ESEMPI DI APPLICAZIONE SU LATTUGA, POMODORO, MELONE E ZUCCHINO

L'inoculo micorrizico costa poco e aumenta la resa produttiva

La simbiosi micorrizica permette di ottenere rese produttive e qualitative superiori in quanto incrementa l'assorbimento dei nutrienti e dell'acqua, aumenta la tolleranza ad alcune fitopatie e migliora la fertilità del suolo. Il costo dell'inoculo, poi, ha una bassa incidenza sul costo totale di produzione

di M. Tullio, E. Rea, M. Cardarelli, P. Crinò, G. Colla

I microrganismi simbiotici e in particolare i funghi micorrizici arbuscolari sono diffusi in quasi tutti gli ambienti e hanno la capacità di instaurare rapporti simbiotici con un elevato numero di colture orticole, contribuendo così ad aumentare la sostenibilità dei sistemi orticoli e migliorare la qualità del prodotto.

Numerose ricerche hanno dimostrato gli effetti positivi della simbiosi micorrizica con i funghi arbuscolari sui parametri vegeto-produttivi e sulle caratteristiche qualitative del prodotto di diverse specie ortive, come conseguenza soprattutto di una maggiore capacità di assorbimento dei nutrienti da parte delle piante micorrizzate (Gosling *et al.*, 2006).

Tuttavia, l'uso di pratiche agronomiche

inappropriate in orticoltura (monosuccessione, fumigazione del suolo, apporti eccessivi di fertilizzanti, ecc.) determina una riduzione, a volte irreversibile, della popolazioni indigene di micorrize. Ne consegue che la pratica dell'inoculazione artificiale degli apparati radicali di piante ortive con funghi micorrizici arbuscolari associata a una corretta tecnica agronomica rappresenta una via efficace per ripristinare la fertilità biologica del suolo e quindi la sostenibilità dei sistemi orticoli.

Miglioramento della qualità delle piantine di pomodoro e lattuga

La ricerca è stata condotta tra l'inverno e la primavera del 2005 presso una serra dell'Azienda didattico-sperimentale dell'Università della Tuscia. Semi di po-

modoro della cultivar Marmande (Four Sementi) sono stati seminati in contenitori alveolari da 104 fori, riempiti con un terriccio a base di torba concimato con un fertilizzante organico a base di guano, fornito dall'Italpollina, alla dose di 2,5 kg/m³ di substrato.

L'inoculazione è stata effettuata aggiungendo prima della semina un formulato commerciale a base di *Glomus intraradices* (Aegis argilla, Italpollina) alla dose di 12 L per ogni metro cubo di substrato. Dopo 35 giorni dalla semina le piantine micorrizzate presentavano una maggiore altezza, diametro dello stelo, biomassa epigea e ipogea rispetto a quelle non micorrizzate (foto 1).

Risultati simili sono stati riscontrati in lattuga canasta (foto 2).

Melone più tollerante alla tracheofusariosi

La ricerca è stata condotta in autunno 2005 presso una serra dell'Azienda didattico-sperimentale dell'Università della Tuscia. Piantine di melone della cultivar Hale's Best Jumbo (Royal Sluis - Seminis Vegetable Seeds) sono state coltivate in contenitori alveolari da 60 fori. Una parte delle piante sono state micorrizzate aggiungendo prima della semina 12 L di un formulato commerciale a base di *Glo-*



Foto 1 - Piantine di pomodoro a radice protetta in presenza (a destra) e assenza (a sinistra) di simbiosi micorrizica. Foto 2 - Piantine di lattuga a radice protetta in presenza (a destra) e assenza (a sinistra) di simbiosi micorrizica



3



4



5

Foto 3, 4 e 5 - Classi di incidenza della malattia causata da *Fusarium oxysporum* f.sp. *melonis* razza 1,2w in melone: piante sane (3), ingiallite/avvizzite (4) e morte (5)

mus intraradices (Aegis argilla, Italtollina) per ogni metro cubo di substrato.

Allo stadio di 1 foglia vera le piantine sono state trapiantate in vasi di 14 cm di diametro, riempiti con un substrato torboso concimato, e inoculate al trapianto mediante l'apporto nel foro di impianto di 10 mL di una sospensione contenente $1,5 \times 10^6$ conidi di *Fusarium oxysporum* f.sp. *melonis* razza 1,2w.

Dopo 18 e 30 giorni dal trapianto è stata determinata l'incidenza della malattia contando il numero di piante sane, di quelle che presentavano sintomi di ingiallimento/avvizzimento e di piante morte (foto 3, 4 e 5). I risultati hanno evidenziato un incremento della tolleranza delle piante micorrizzate al *Fusarium oxysporum* f.sp. *melonis* razza 1,2w con un ritardo della manifestazione dei sintomi (tabella 1).

Lo zucchini resta produttivo malgrado l'alta salinità

La ricerca è stata condotta nella primavera-estate del 2006 presso una serra dell'Azienda didattico-sperimentale dell'Università della Tuscia. Piantine di zucchini (cultivar Tempra, Sais) coltivate in

contenitori alveolari da 60 fori sono state trapiantate allo stadio di 2^a foglia vera in vasi del diametro di 30 cm riempiti con sabbia quarzifera, disposti in file binate a una distanza corrispondente a una densità di 1,3 piante/m². La micorrizzazione è stata effettuata al momento del trapianto posizionando sotto il pane di terra di ciascuna piantina una pastiglia di un formulato commerciale a base di *Glomus intraradices* (Aegis pastiglia, Italtollina). Le piante sono state fertirrigate a partire dal 7° giorno dal trapianto con una soluzione nutritiva completa di macro e micronutrienti tipo «Hoagland». È stato adottato uno schema fattoriale con 4 ripetizioni in cui sono stati confrontati 2 livelli di micorrizzazione (assente e presente) \times 2 concentrazioni saline ottenute aggiungendo alla soluzione nutritiva 1 e 35 mM di cloruro di sodio-NaCl (conducibilità rispettivamente pari a 1,8 e 5,0 dS/m).

I risultati hanno evidenziato un effetto positivo della micorrizzazione sullo sviluppo vegetativo delle piante e un minore decremento della produzione commerciabile nelle piante micorrizzate (-26%) rispetto al controllo (-43%) al crescere della salinità della soluzione nutritiva (grafico 1). I risultati sono da ricondurre a un migliore stato idrico e nutrizionale (incremento dell'assorbimento di potassio e zinco) delle piante micorrizzate. Inoltre la micorrizzazione ha ridotto l'accumulo di sodio nelle foglie ritardando la comparsa dei sintomi di fitotossicità nelle foglie basali.

Fattori che influenzano la micorrizzazione

Diversi sono i fattori che possono influenzare la colonizzazione radicale da parte dei funghi micorrizici arbuscolari. **Disponibilità di elementi nutritivi.** L'elevata disponibilità nel suolo di elementi nutritivi, soprattutto fosforo, determina il regresso dell'attività dei funghi micorrizici arbuscolari. Tuttavia è stato osservato che la somministrazione dei principali macronutrienti in forma non prontamente disponibile (ad esempio fertilizzanti organici, fosforiti) comporta un minore impatto sulla micorrizzazione. Elevate disponibilità di fosforo solubile sono negative soprattutto nelle fasi iniziali in cui si instaura il rapporto di simbiosi tra pianta e fungo micorrizico arbuscola-

È bene limitare gli apporti di concimi contenenti fosforo solubile soprattutto dopo i primi 3-4 giorni dall'inoculazione

TABELLA 1 - Ripartizione percentuale delle piante di melone in classi di incidenza della malattia

Trattamento	Piante sane (%)	Piante ingiallite/avvizzite (%)	Piante morte (%)
A 18 giorni dal trapianto			
Non micorrizzato	18 b	65 a	17 a
Micorrizzato	58 a	26 b	16 a
A 30 giorni dal trapianto			
Non micorrizzato	3 b	17 b	80 a
Micorrizzato	8 a	47 a	45 b

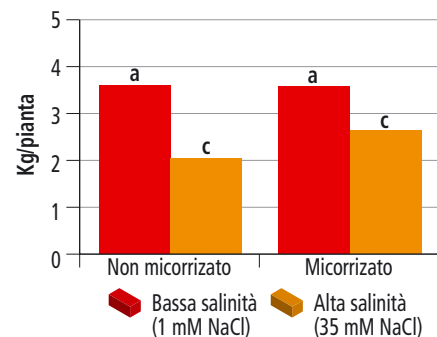
A lettere differenti corrispondono valori significativamente diversi per $P = 0,05$ (test LSD).

A 30 giorni dal trapianto l'80% delle piante non micorrizzate è morto, contro il 45% delle piante micorrizzate.

re. Per tale motivo le aziende produttrici di inoculi micorrizici consigliano di limitare soprattutto nei primi 3-4 giorni dopo l'inoculazione gli apporti di concimi contenenti fosforo solubile. Il pH del terreno è in grado di condizionare lo sviluppo di tali funghi con valori ottimali compresi tra 6 e 7,5.

Fumiganti e fungicidi

L'applicazione di alcuni fumiganti e fungicidi al terreno (rame, iprodione, zineb, triadimefon, tiofanate metil, folpet, etridiazolo), nelle prime fasi di sviluppo può inibire o uccidere i funghi micorrizici arbuscolari. Pertanto l'effetto negativo di tali fungicidi sui funghi micorrizici arbuscolari risulta più pronunciato se utilizzati come concianti della semente e quindi in uno sta-



A lettere differenti corrispondono valori significativamente diversi per $P = 0,05$ (test LSD).

GRAFICO 1 - Effetto della micorrizzazione sulla produzione commerciabile di zucchini a bassa e alta salinità della soluzione

Il decremento della produzione commerciabile nelle piante micorrizzate (-26%) è minore rispetto alle piante non micorrizzate (-43%) al crescere della salinità della soluzione nutritiva.

I vantaggi dei funghi micorrizici in orticoltura

I funghi micorrizici arbuscolari, simbiotici obbligati, costituiscono una delle più antiche e importanti associazioni simbiotiche piante-funghi diffuse in natura.

Migliore assorbimento dei nutrienti

Diversi sono i benefici che questa simbiosi apporta alla pianta ospite. Il principale è il migliorato regime nutrizionale che si ripercuote spesso su un maggior vigore delle piante soprattutto in condizioni di bassa fertilità del suolo. Ciò è dovuto alla costituzione di un ulteriore apparato di assorbimento per la pianta (rete di ife extraradicali) che possiede una più alta capacità di «sfruttamento» del suolo. Le ife extraradicali, avendo un diametro inferiore a quello delle radici fini, riescono a penetrare in pori di piccole dimensioni; esse si sviluppano anche su maggiori distanze superando eventuali zone depauperate di nutrienti, presenti nella soluzione circolante nel suolo, attorno alle radici. Vengono così migliorati gli assorbimenti di tutti gli elementi nutritivi e dell'acqua. In particolare la simbiosi micorrizica favorisce gli assorbimenti di macro (P, N, K, Ca, Mg) e micronutrienti (Cu, Zn, Fe), elementi che vengono trasportati a livello dell'arbuscolo (struttura fungina con funzione di scambio di elementi nutritivi tra pianta ospite e simbiote) e da questo ceduti alla pianta (Rea e Tullio, 2001). La quantità di carbonio necessaria per sostenere il fungo, pari a circa il 20% del carbonio fotosintetizzato dalla pianta (Jakobsen e Rosendahl, 1990), è inferiore a quella richiesta dalla stessa pianta per produrre radici fini e per il loro turnover.

Maggiore tolleranza agli stress idrici e salini e agli inquinanti del suolo

Le micorrize incrementano anche la tolleranza delle piante a condizioni di limitato stress idrico e salino, come risultato di un incremento della conducibilità idraulica delle radici, di un miglioramento della regolazione degli stomi e del potenziale osmotico cellulare e di una maggiore capacità di estrazione dell'acqua per una più elevata superficie di contatto del sistema ife-radici con le particelle del suolo (Rea e Bragaloni, 1997).

Un ulteriore vantaggio conferito dalle micorrize riguarda la maggiore tolleranza delle piante micorrizzate agli inquinanti nel suolo e in particolare ai metalli pesanti mediante meccanismi ancora poco conosciuti. Piante micorrizzate potrebbero quindi essere prese in considerazione per il recupero di suoli contaminati (Schutzendubel e Polle, 2002).

Miglioramento della struttura del suolo

Le micorrize influenzano indirettamente la crescita della pianta favorendo la strutturazione del suolo e migliorando la stabilità degli aggregati attraverso l'aumento del livello di carbonio nel suolo (i funghi micorrizici arbuscolari possono rappresentare oltre il 50% della biomassa totale microbica del suolo) e il rilascio di sostanze cementanti gli aggregati (ad esempio la glomalina).

Diminuzione dell'incidenza delle avversità biotiche

La presenza della simbiosi micorrizica nelle radici delle piante ospiti può garantire a queste ulteriori benefici quali la diminuzione significativa non solo dell'incidenza ma anche della gravità di alcune avversità biotiche causate da nematodi e soprattutto da patogeni tellurici (*Sclerotium cepivorum*, *Fusarium oxysporum*, *Verticillium dahliae*, *Rhizoctonia solani*, *Phitophthora capsici*, *Phytium* spp., ecc.) (Whipps, 2004).

La migliore risposta di difesa da parte della pianta micorrizzata è dovuta all'interazione tra più fattori, quali il maggiore vigore delle piante, la competizione per lo spazio con il patogeno, il cambiamento della composizione microbiologica della rizosfera, la variazione dell'architettura radicale e l'attivazione delle difese naturali della pianta (Tullio et al., 2002). Infatti è stato osservato che la colonizzazione radicale da parte dei funghi micorrizici arbuscolari determina un cambiamento di natura fisiologica e biochimica nelle cellule dell'apparato radicale. Diversi studi hanno mostrato che la micorrizzazione induce un incremento della produzione e dell'accumulo di composti fenolici nelle pareti cellulari delle radici. Ciò determina una maggiore rigidità delle pareti cellulari e una loro minore digeribilità da parte degli enzimi degradativi di alcuni patogeni fungini (Whipps, 2004).

Infine è stato evidenziato che le piante micorrizzate presentano una risposta più rapida nell'attivazione dei meccanismi di difesa nelle prime fasi di infezione dei funghi fitopatogeni. I numerosi vantaggi offerti dalla simbiosi micorrizica pianta-funghi micorrizici arbuscolari hanno indotto i ricercatori a considerare tali funghi dei «biofertilizzanti e bioprotettori naturali», di estrema importanza in un'orticoltura sostenibile in quanto permettono l'ottenimento di un prodotto orticolo di qualità superiore con minori apporti chimici nell'ambiente. •

dio in cui il rapporto di simbiosi non si è ancora instaurato. Per contro altri fungicidi sembrano non influenzare (clortalonil, mancozeb, tiram) o addirittura favoriscono (fosetil-Al, metalaxil, propamocarb) lo sviluppo dei funghi micorrizici arbuscolari (Jabaji-Hari e Kendrick, 1987).

Avvicendamento culturale e lavorazioni. L'avvicendamento culturale rappresenta un altro fattore condizionante la capacità di colonizzazione degli apparati radicali delle piante da parte dei funghi micorrizici arbuscolari. La monosuccessione, gli avvicendamenti che prevedono

un frequente ritorno di colture che non istaurano rapporti di simbiosi con i funghi micorrizici arbuscolari (piante appartenenti alle famiglie delle Chenopodiaceae e Brassicaceae) e il set aside deprimono notevolmente le popolazioni indigene di funghi micorrizici arbuscolari. Al contrario, l'avvicendamento con leguminose molto recettive alla micorrizzazione (*Trifolium* spp., *Medicago* spp., *Vicia* spp.) favorisce l'istaurarsi di un inoculo potenziale di funghi micorrizici nel suolo che può essere vantaggiosamente sfruttato da una coltura in successione particolarmente

dipendente dalla micorrizzazione (patata, cipolla, ecc.). Frequenti lavorazioni del terreno comportano ripetuti danni alle ife con conseguente riduzione dell'attività dei funghi micorrizici e minore colonizzazione degli apparati radicali.

Scelta varietale. Per quanto riguarda la scelta varietale, l'orticoltore dovrebbe tenere in considerazione il diverso comportamento varietale alla micorrizzazione. Infatti esiste una notevole variabilità di comportamento delle varietà coltivate alla micorrizzazione in termini sia di entità della colonizzazione degli appa-

rati radicali sia di risposta vegeto-produttiva delle piante micorrizzate (Sensory *et al.*, 2007). In genere, le moderne varietà coltivate sono caratterizzate da una minore reattività alla micorrizzazione rispetto alle vecchie varietà in quanto selezionate per la presenza di numerosi geni di resistenza a malattie fungine e in condizioni colturali di elevata disponibilità di nutrienti.

Da ciò si evince che le pratiche condotte nell'ottica di un'orticoltura intensiva tendono a minare il mantenimento nel suolo di una comunità di funghi micorrizici arbuscolari ben diversificata, necessaria per un sistema produttivo sostenibile. Può, quindi, in particolari situazioni, essere utile un reintegro di tali funghi nei suoli fortemente deteriorati dal punto di vista della fertilità biologica. Ciò spiega la presenza, sempre più numerosa, nel mercato nazionale e internazionale di prodotti costituiti da propaguli di funghi micorrizici arbuscolari.

Tuttavia è importante precisare che affinché l'apporto di inoculi micorrizici determini dei benefici sulla coltura è fondamentale scegliere il giusto binomio cultivar-micorrizza in relazione all'obiettivo che si intende perseguire (incremento dell'assorbimento dei nutrienti, aumento della tolleranza ai patogeni tellurici, incremento della tolleranza alla salinità, ecc.).

Inoculi commerciali di funghi micorrizici

Gli inoculi di funghi micorrizici arbuscolari disponibili in commercio presentano diverse formulazioni (granulari, scaglie, polvere, pastiglie e gel) studiate per poter semplificare l'utilizzo e adattarsi alle varie esigenze colturali. Questi inoculi sono composti da una matrice organica e/o inorganica e da più ceppi o da un unico ceppo fungino. Spesso vengono addizionati con fertilizzanti organici e/o con batteri della rizosfera e/o con il fungo *Trichoderma* spp.

La contemporanea presenza insieme alle micorrize di microrganismi antagonisti tipici dell'ambiente tellurico dovrebbe permettere di migliorare la crescita radicale e vegetativa delle piante, favorendo condizioni di maggiore sanità della rizosfera.

Di norma si consiglia l'applicazione di inoculi fungini alla semina o al trapianto al fine di permettere l'instaurarsi del rapporto di simbiosi già nelle prime fasi del ciclo colturale. Nel primo caso l'inoculo può essere mescolato al substrato prima della semina in vivaio o distribuito insieme al seme nel

TABELLA 2 - Costo dell'inoculo in base alla tipologia di contenitore alveolato usato in vivaio per preparare piantine a radice protetta

Contenitore (n. alveoli/contenitore)	Volume substrato (cm ³ /alveolo)	Dose di inoculo (L/m ³ substrato)	Costo dell'inoculo (eurocent/pianta)
60	57	12	0,68
104	33	12	0,40
160	20	15	0,30
228	19	15	0,28

L'inoculo usato per il conto economico è Aegis (a base di *Glomus intraradices*) commercializzato da Italtpollina.

Il costo dell'inoculo è sempre inferiore a un centesimo di euro per pianta con valori più elevati utilizzando i contenitori con un ridotto numero di alveoli.

caso si adotti la semina diretta in campo. Nel secondo caso, al trapianto, l'inoculo va collocato immediatamente sotto la piantina il più vicino possibile all'apparato radicale, in modo tale che il contatto tra l'inoculo e le radici favorisca una rapida micorrizzazione. Alcuni formulati polverulenti sono commercializzati per applicazioni mediante l'impianto di fertirrigazione e quindi permettono di semplificare l'applicazione sulle colture e di effettuare anche successivi richiami in copertura.

Affinché l'inoculo resti vitale è importante conservarlo in luogo fresco e aerato, al riparo dalla luce del sole e dagli sbalzi termici. È bene evidenziare che questi prodotti non presentano controindicazioni poiché non hanno alcun effetto negativo sulla salute umana.

L'inoculo incide pochissimo sui costi di produzione

Da un punto di vista economico le applicazioni in vivaio attraverso la miscelazione dell'inoculo al substrato risultano quelle più convenienti in quanto comportano un risparmio di prodotto rispetto alle applicazioni in campo. In *tabella 2* è riportato il costo dell'inoculo per la produzione in vivaio di piantine micorrizzate a radice protetta facendo riferimento ai contenitori alveolati più comunemente utilizzati per le diverse ortive.

Il conto economico è stato determinato facendo riferimento al prezzo medio di un prodotto commerciale (Aegis, Italtpollina)

contenente 100 spore di *Glomus intraradices* per cm³ di prodotto. Da esperienze condotte dalla società produttrice, per ottenere una buona micorrizzazione delle radici il substrato deve contenere almeno 1,2 spore/m³ e in ogni alveolo devono essere presenti almeno 25 spore. Il tutto si traduce in dosi di inoculo consigliate che vanno dai 10 ai 15 L/m³ di substrato. I dati riportati in *tabella 2* evidenziano un incremento dell'incidenza del costo dell'inoculo per pianta al crescere della dimensione degli alveoli a causa di una maggiore quantità di substrato inoculato per alveolo.

Nel complesso, comunque, l'incidenza del costo dell'inoculo micorrizico sul costo totale di produzione delle piantine è molto basso e ampiamente compensato dalla riduzione degli input di prodotti agrochimici (fertilizzanti e antiparassitari) e dalle migliori potenzialità produttive delle piante micorrizzate in campo. Inoltre il prodotto orticolo ottenuto da piante micorrizzate presenta un elevato valore aggiunto in quanto spesso presenta una maggiore qualità igienico-sanitaria e nutrizionale. Dai numerosi benefici che la simbiosi micorrizica apporta alla pianta ospite si evince l'utilità della diffusione sempre più ampia della

tecnica dell'inoculazione degli apparati radicali delle piante con funghi micorrizici arbuscolari tra le metodologie standard di allevamento in orticoltura. Tale pratica è a basso costo e permette l'ottenimento di una produzione orticola di qualità elevata ed economicamente conveniente (maggiore resa produttiva) con un più limitato apporto nell'ambiente di fertilizzanti e antiparassitari. ●

Monica Tullio, Elvira Rea

Cra - Istituto sperimentale

per la nutrizione delle piante - Roma

Mariateresa Cardarelli, Giuseppe Colla

Università della Tuscia

Dipartimento geologia e ingegneria meccanica, naturalistica e idraulica per il territorio

Viterbo

giucolla@unitus.it

Paola Crinò

Enea, Centro ricerche Casaccia

Dipartimento biotecnologie, agroindustria e protezione della salute - Roma

Si ringraziano la società Italtpollina e Leonardo Dragoni per le informazioni tecnico-commerciali sugli inoculi micorrizici.

La bibliografia sarà consultabile all'indirizzo www.informatoreagrarario.it/bancadati

BIBLIOGRAFIA

- Gosling P., Hodge A., Goodlass G., Bending G.D. (2006) - *Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming*. Agriculture, Ecosystems and Environment 11: 17-35.
- Jabaji-Hare S.H., Kendrick W.B. (1987) - *Response of an endomycorrhizal fungus in Allium porrum L. to different concentrations of systemic fungicides, metalaxyl (ridomil) and fosetyl-Al (aliette)*. Soil Biol. Biochem., 19: 95-99.
- Jakobsen L., Rosendahl L. (1990) - *Carbon flow into soil and external hyphae from roots of mycorrhizal cucumber plants*. New Phytol., 115: 77-83.
- Rea E., Tullio M. (2001) - *Arbuscular Mycorrhizae: a natural answer to fertilisation need*. Recent Res. Devel. Plant Biology, 1: 1.
- Rea E., Bragaloni M. (1997) - *Protagonisti dell'agricoltura sostenibile: i funghi vescicolo-arbuscolari*. Bollettino dell'Associazione micologica ed ecologica romana, 41-42: 41-48.
- Schutzendubel A., Polle A. (2002) - *Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization*. Journal of Experimental Botany, 53: 1351-1365.
- Sensoy S., Demir S., Turkmen O., Erdinc C., Savur O.B. (2007) - *Responses of some different pepper genotypes to inoculation with two different arbuscular mycorrhizal fungi*. Scientia Horticulturae, 113: 92-95.
- Tullio M., di Bartolomeo E., Rea E. (2002) - *Il possibile contributo dei funghi vescicolo-arbuscolari allo sviluppo di una agricoltura sostenibile*. Phytomagazine, 2: 1-7.
- Tullio M., Pierandrei F., Rea E. (2004) - *Caratterizzazione morfologica di funghi vescicolo-arbuscolari (va) associati a diverse cultivar di mela Annurca in areali tipici di produzione*. Atti del Convegno della Società Italiana Scienza del Suolo, 53: 153-156.
- Whipps J.M. (2004) - *Prospect and limitations for mycorrhizas in biocontrol of root pathogens*. Canadian Journal of Botany, 82: 1198-1227.