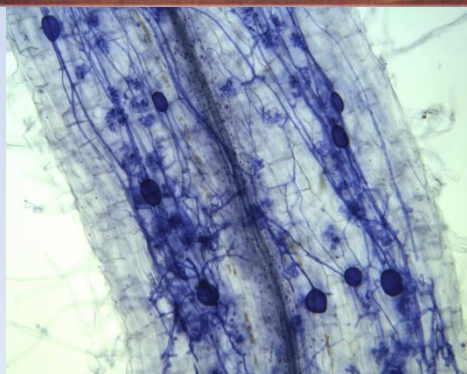


Prospettive di ricerca e sviluppo nel campo dell'orticoltura sostenibile

12 Ottobre 2021

I funghi simbionti micorrizici e il loro contributo per la produzione di cibo ad alto valore salustistico



LUCIANO AVIO
Università di Pisa
*Dipartimento di Scienze Agrarie,
Alimentari e Agro-ambientali*



I funghi: possono essere sgraditi, e temuti



ma possono essere anche ricercati, e apprezzati

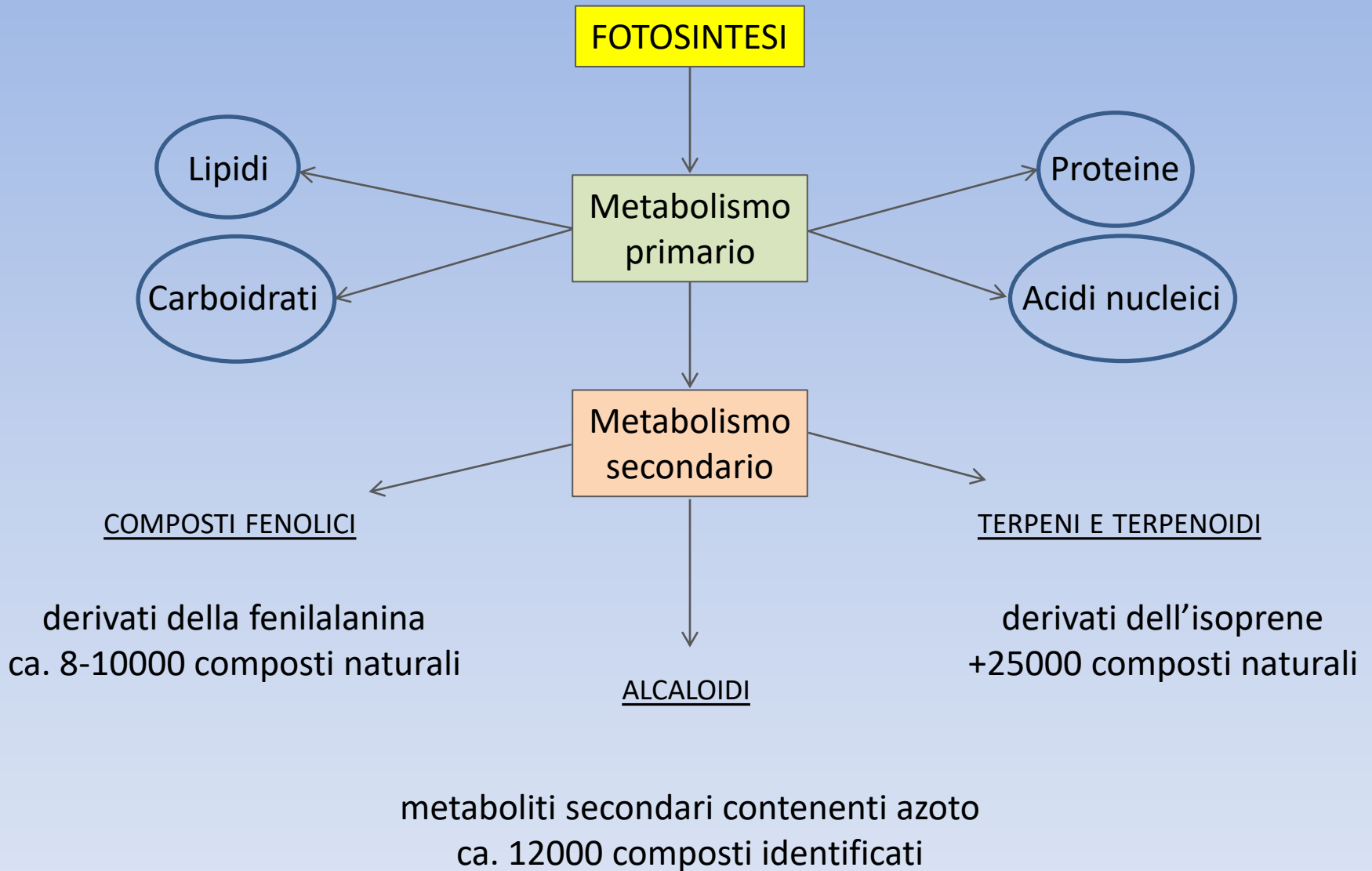


alimenti funzionali

Alimenti che hanno un'attività non solamente "nutritiva", apportatrice di calorie, proteine e acqua, ma forniscono all'organismo composti con azioni aggiuntive, per esempio la capacità di contrastare l'invecchiamento cellulare, l'azione dei radicali liberi o l'accumulo di molecole pericolose come il colesterolo

Consulta il portale del Ministero della Salute
www.salute.gov.it





COMPOSTI FENOLICI

FENOLI SOLUBILI

POLIFENOLI

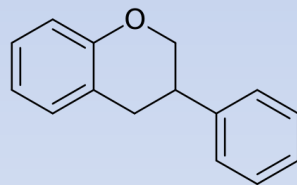
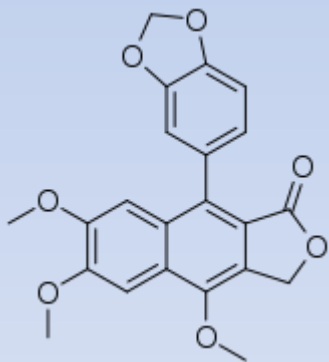
-LIGNINE

-TANNINI

-CHINONI

-FLAVONOIDI

-ANTOCIANINE



ALCALOIDI

CHININO

ATROPINA

CAFFEINA

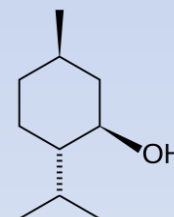
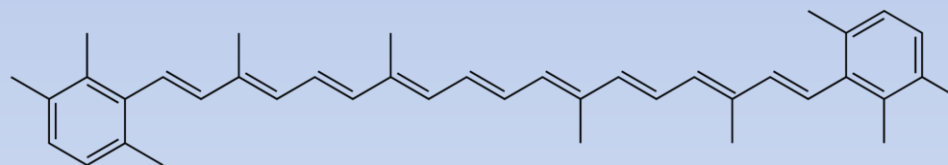
MORFINA

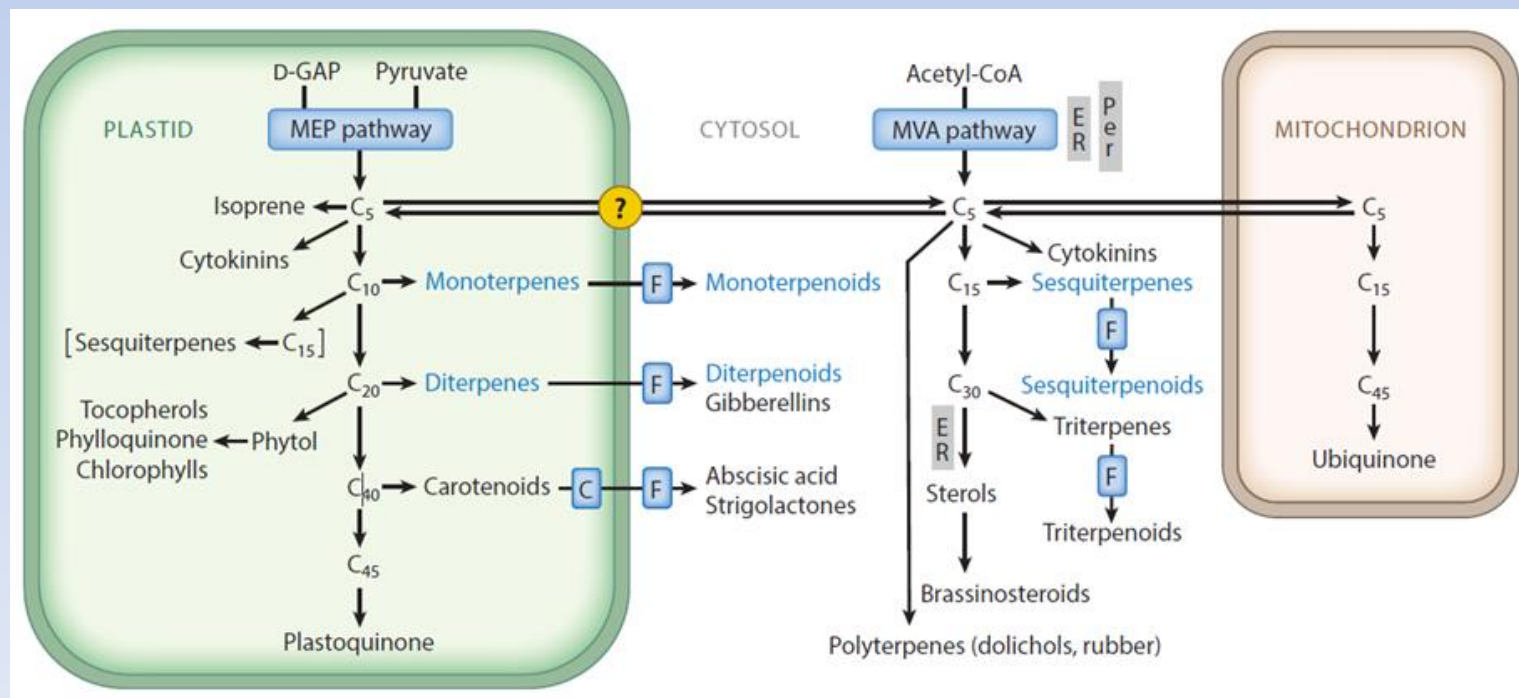
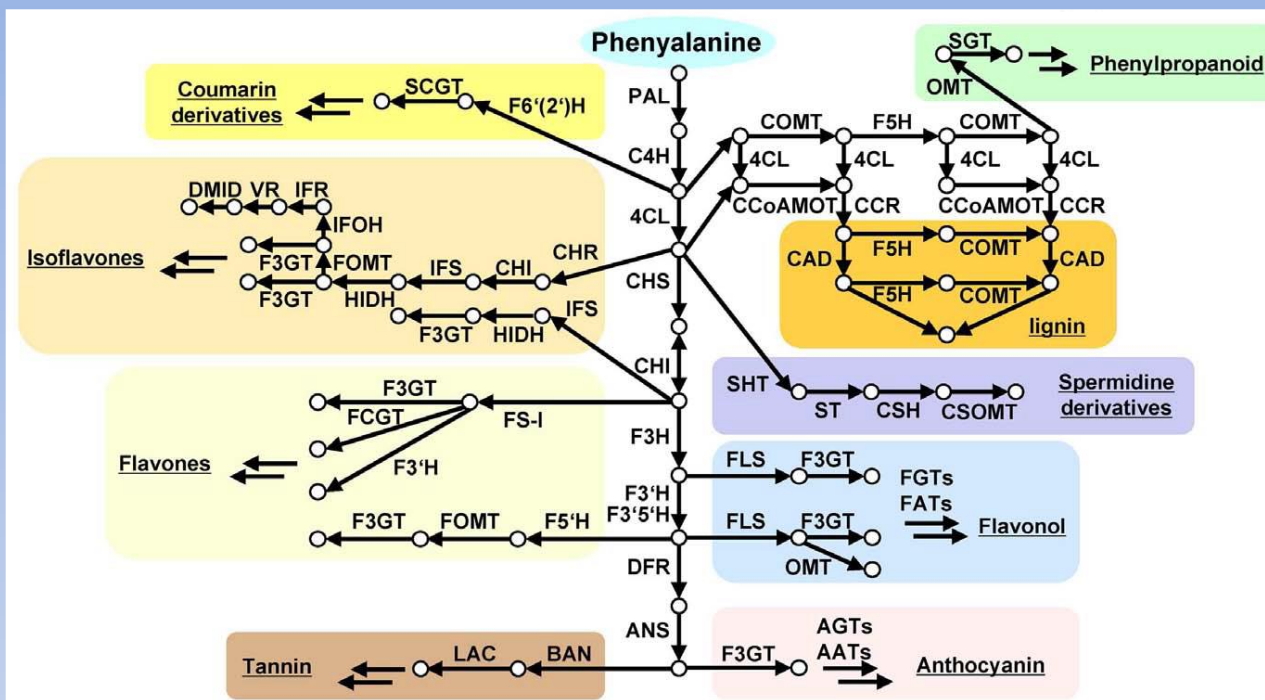
TERPENI E TERPENOIDI

CAROTENOIDI

STEROLI

OLI ESSENZIALI





Attività di molecole originate dal metabolismo secondario della pianta

Riparano il
DNA

Neutralizzano
radicali liberi

Contrastano i
carcinogeni

Inducono la morte
di cellule tumorali

Controllano la produzione
di colesterolo

Migliorano la risposta del
sistema immunitario

come ottenere cibi con più alto contenuto di metaboliti secondari?

- miglioramento genetico convenzionale
- ingegneria genetica
- tecniche agronomiche

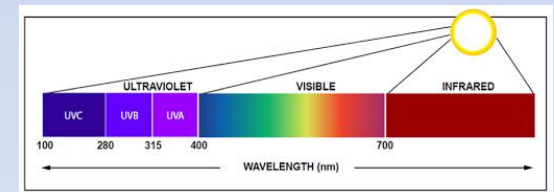
pomodoro nero (SunBlack) ad alto contenuto di antociani, è stato ottenuto mediante incroci con varietà preesistenti



golden rice, arricchito di beta-carotene ottenuto con l'editing genomico



applicazioni di Se, Zn, UV-A



inoculanti microbici



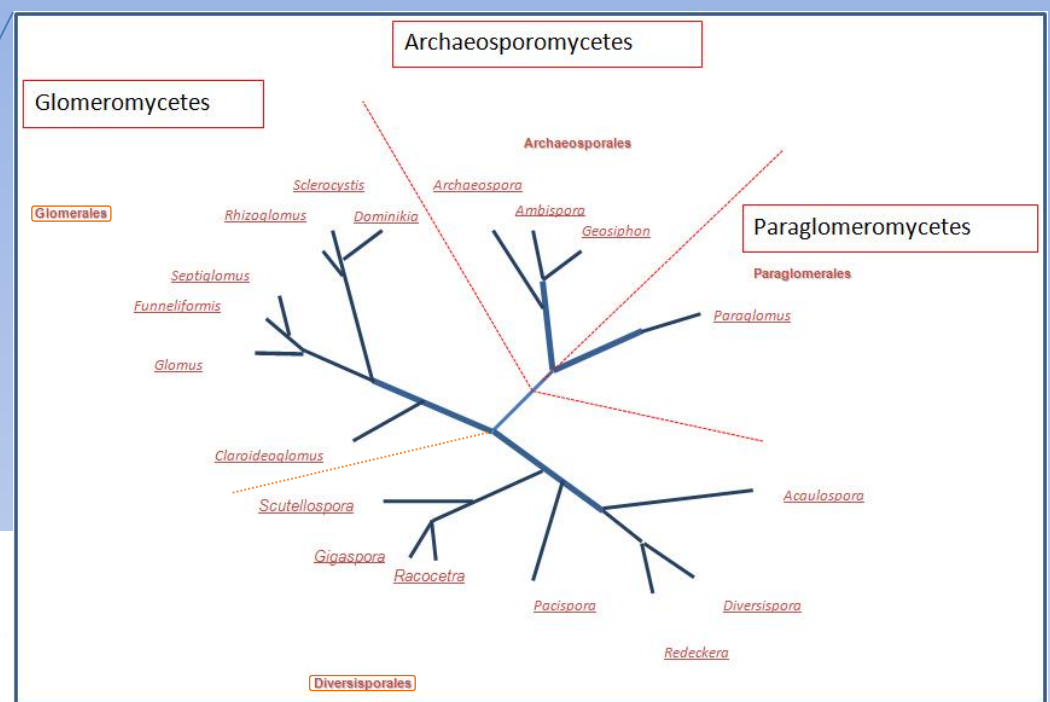
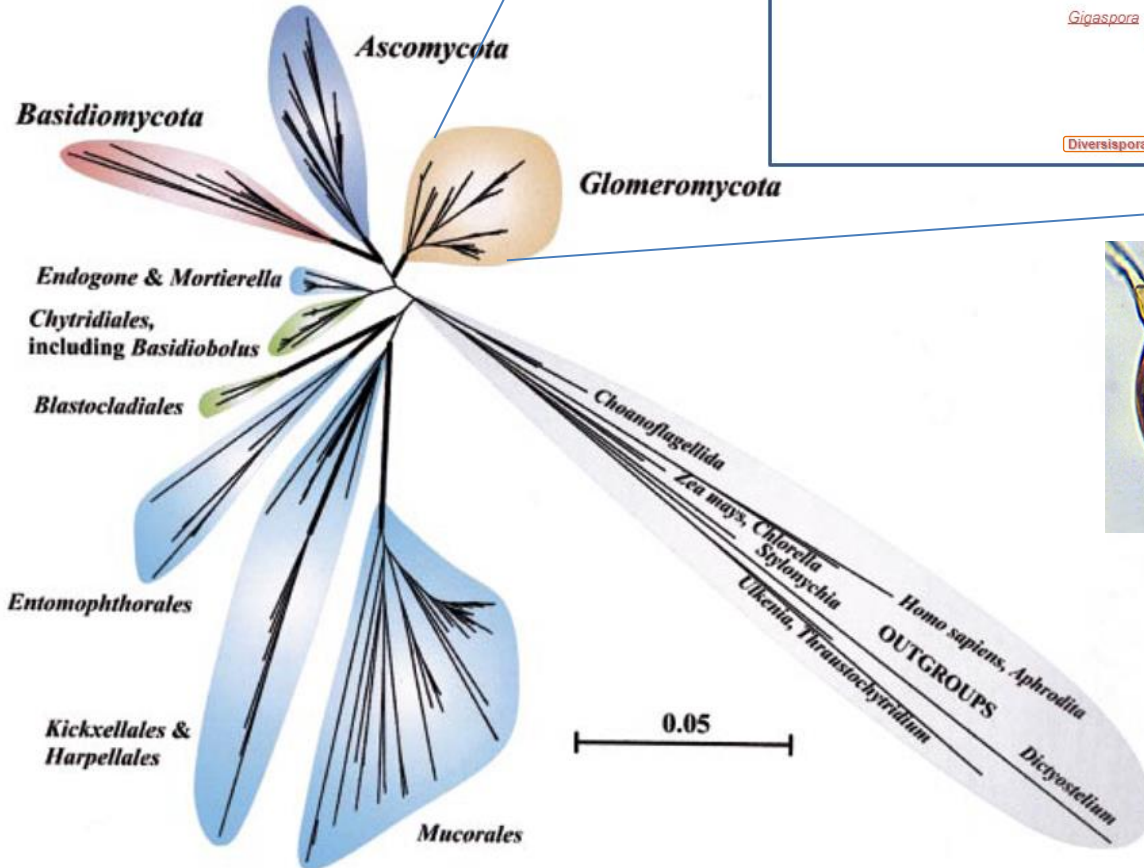
molti funghi sono quasi invisibili, ma spesso indispensabili



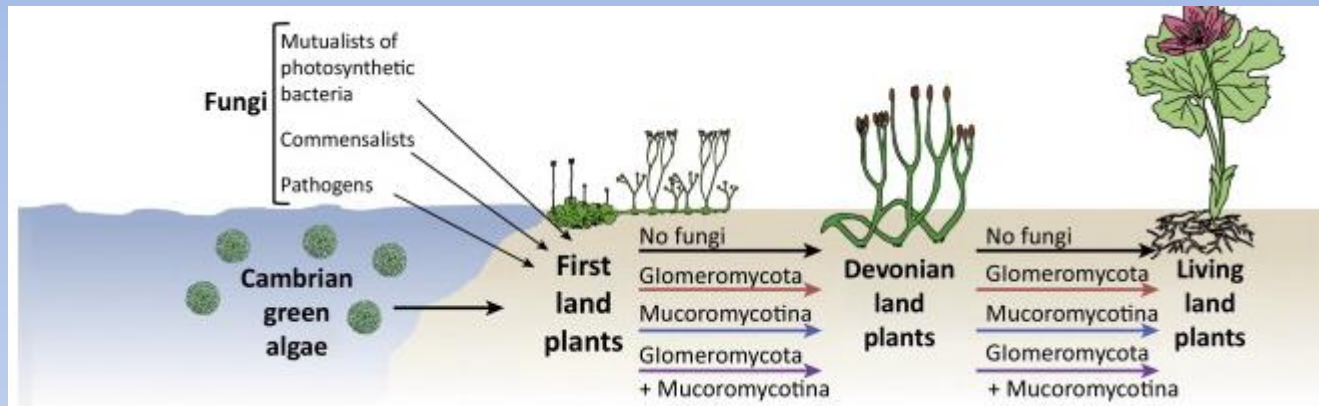
La simbiosi AM, inducendo cambiamenti del metabolismo secondario delle piante ospiti, può contribuire alla produzione di ortaggi più ricchi di sostanze bioattive



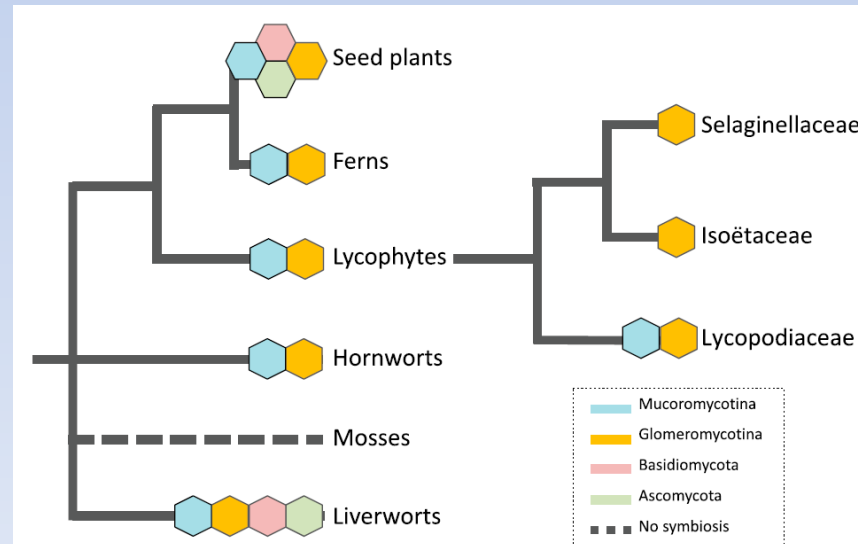
***Glomeromycota,
funghi micorrizici
ARBUSCOLARI***



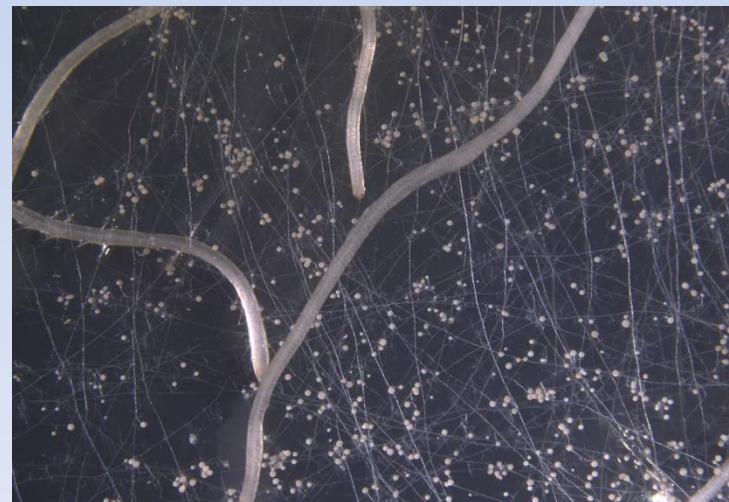
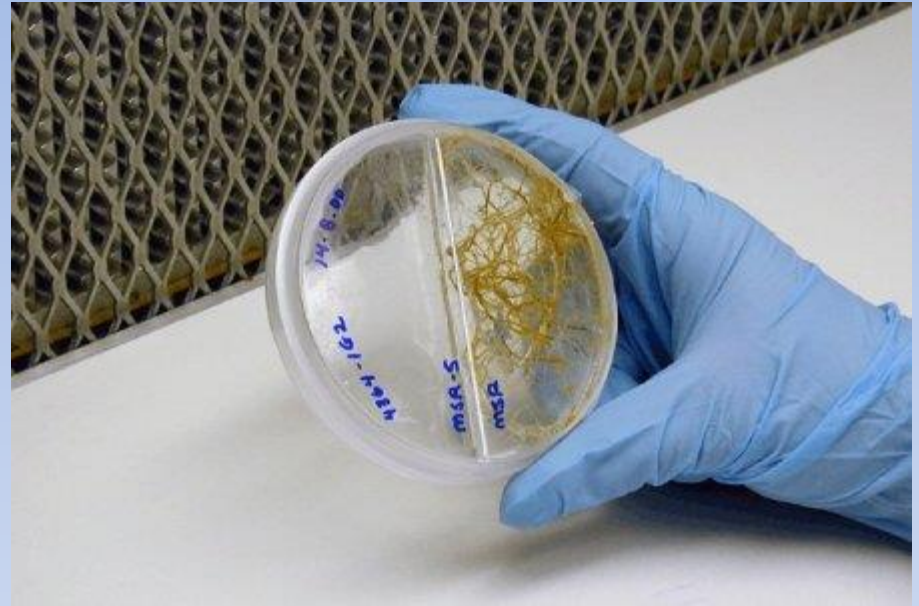
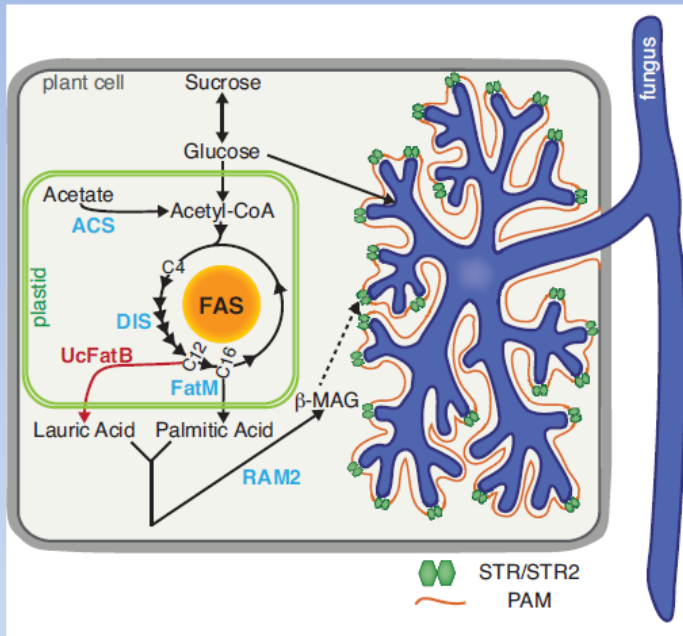
MICORRIZE ARBUSCOLARI, con la maggior parte delle piante vascolari. La simbiosi con i Glomeromycota/Mucoromycota ha permesso la colonizzazione delle terre emerse da parte delle piante

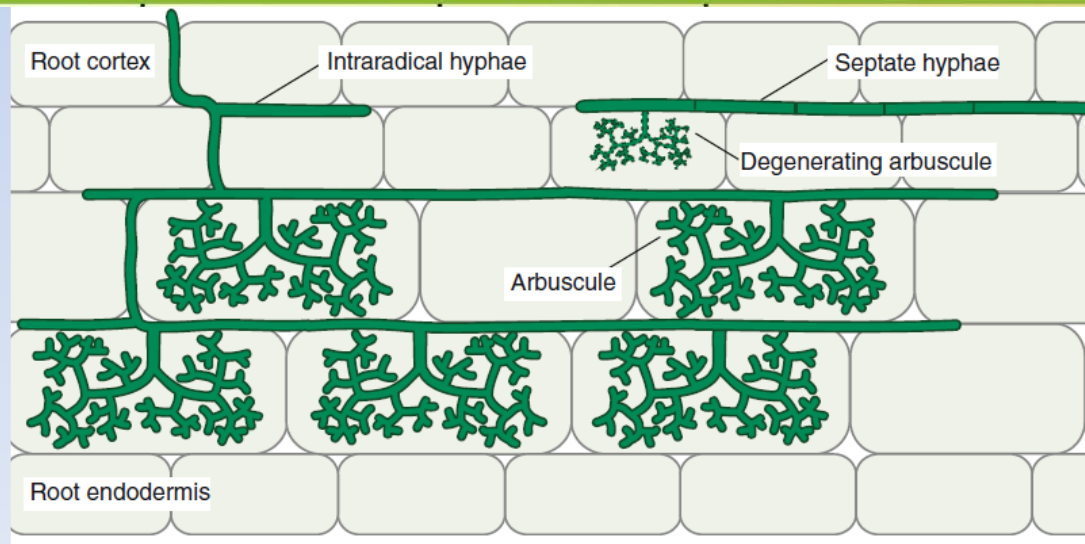
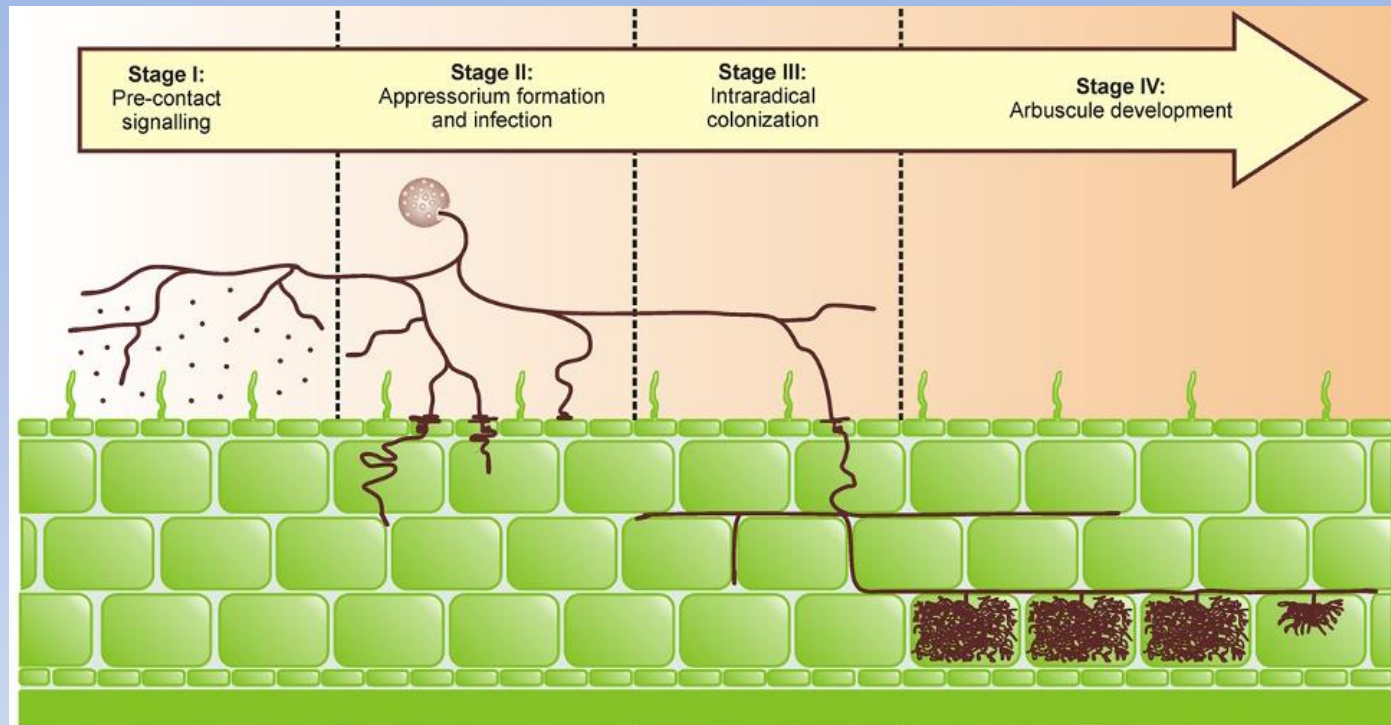


modificato da: Field et al 2015. Trends in ecology & evolution, 30:477-486.

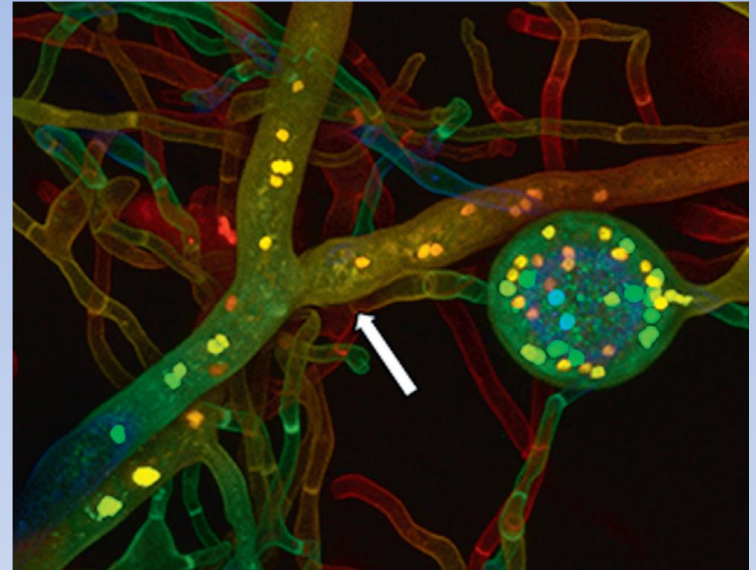
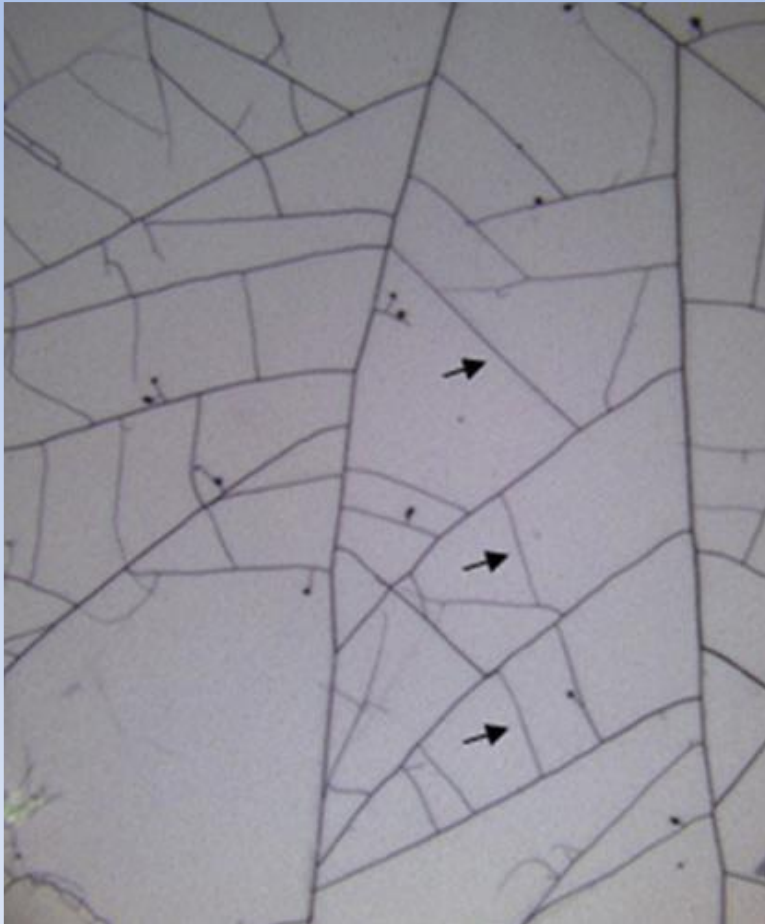


I funghi arbuscolari sono simbionti obbligati
dipendono dall'ospite per gli zuccheri e per gli acidi grassi

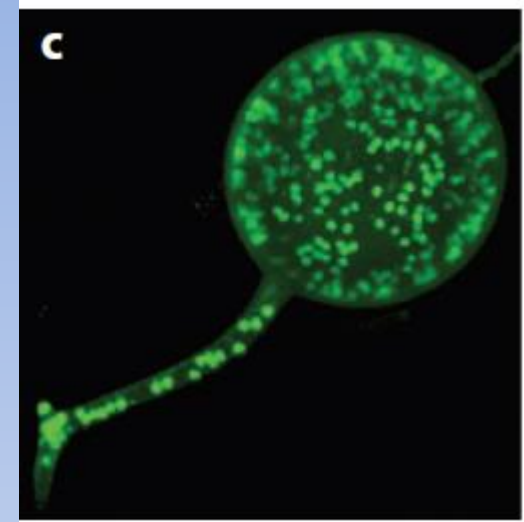
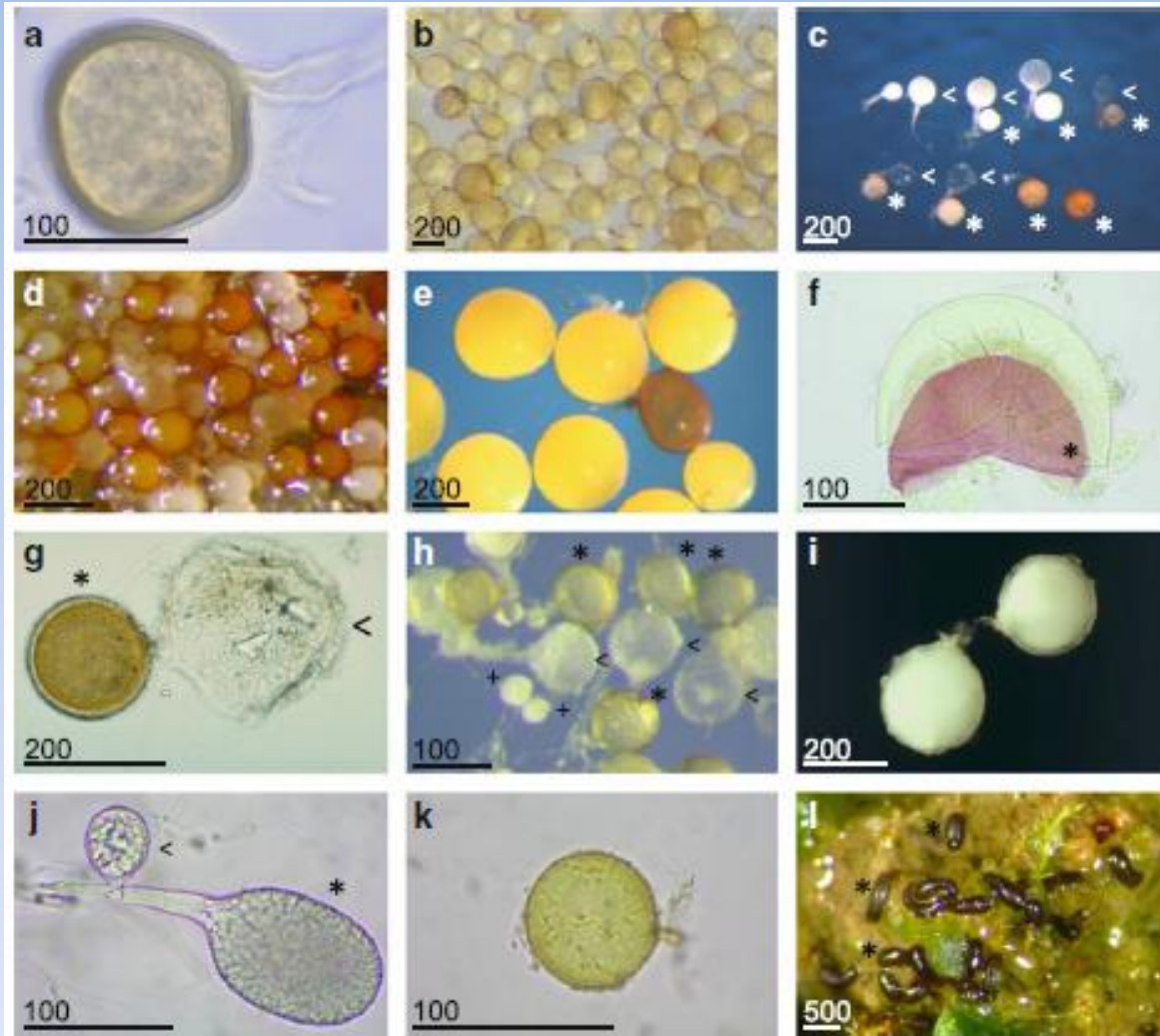




**le ife dei funghi arbuscolari
possono fondere per formare una rete interconnessa**



diversità dei funghi micorrizici
ARBUSCOLARI



caratteristiche delle spore dei funghi MA

>grandi dimensioni
(20-300 μm)

>multinucleati
(fino a 1000 nuclei)

>germinazione indipendente
>dall'ospite

la biomassa miceliare dei funghi arbuscolari
si sviluppa diversamente nelle radici e nel suolo

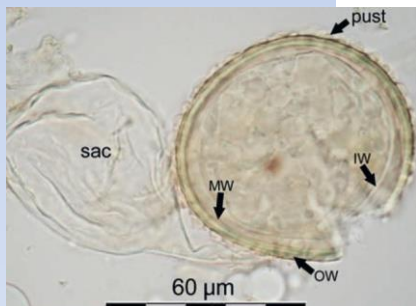
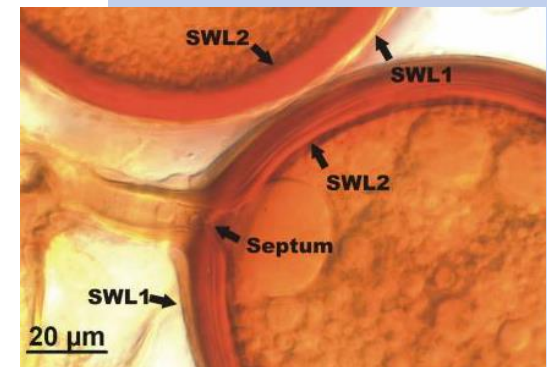
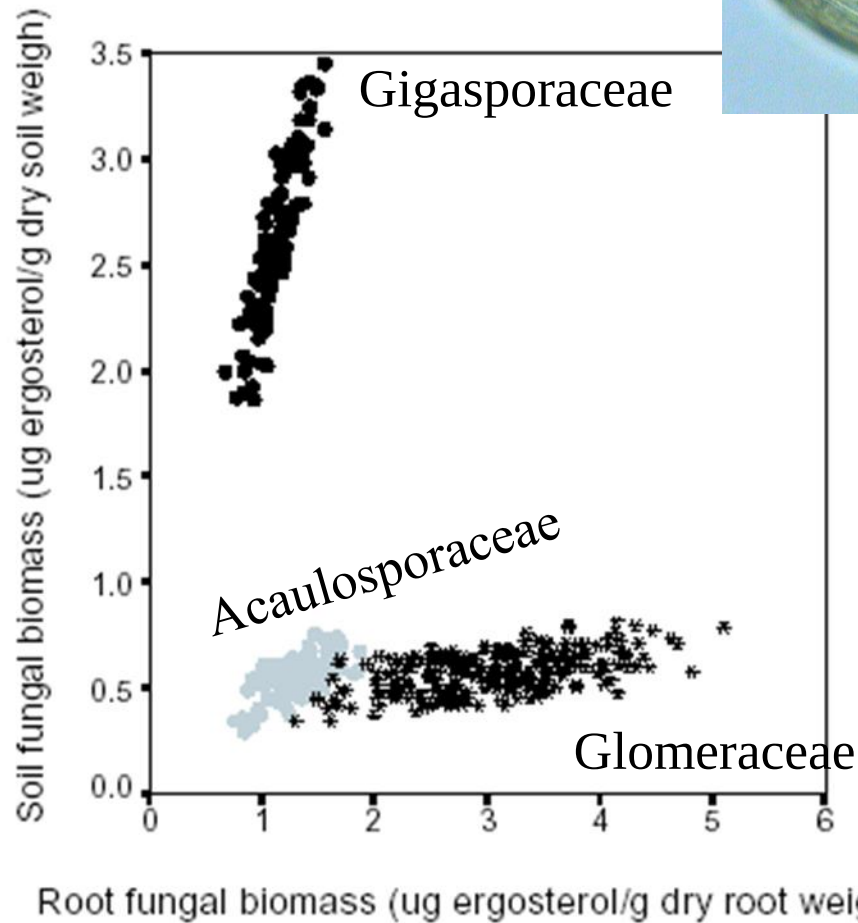
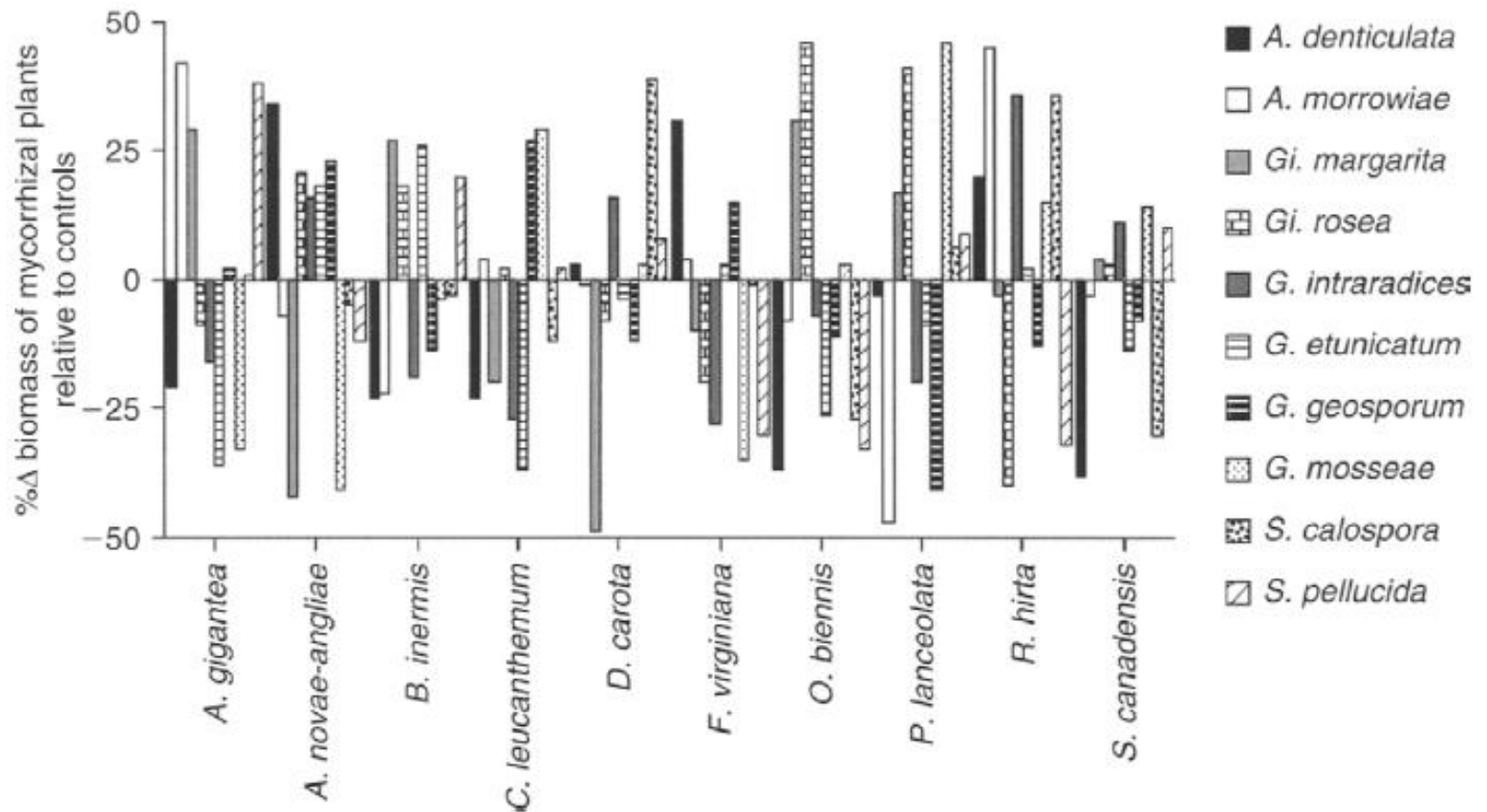


Fig. 6 Relationship between root and soil fungal biomass for arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) isolates classified by family. Acaulosporaceae, grey circles; Gigasporaceae, black circles; Glomeraceae, asterisks.

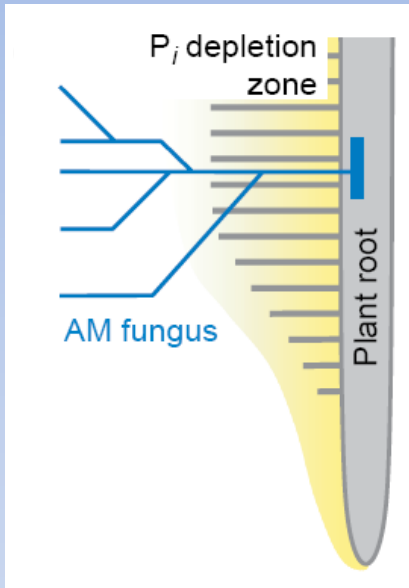


La risposta di crescita della pianta dipende dalla identità dei simbionti



Le vie micorriziche di assorbimento del P

a)

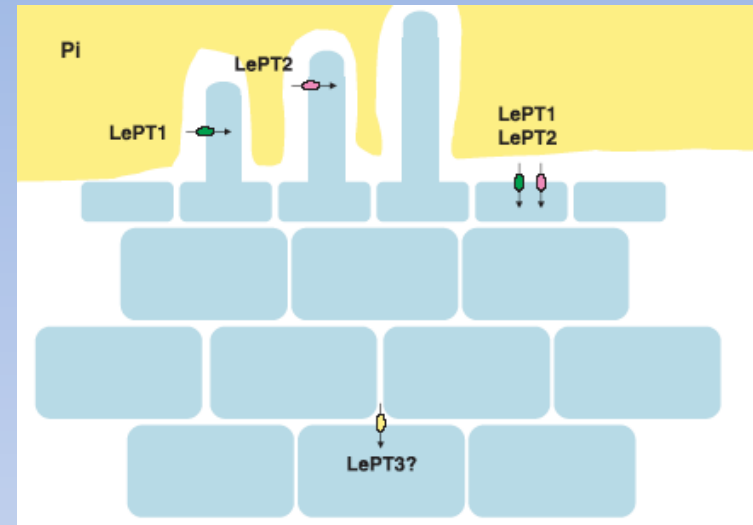


modificato Karandashov and Bucher 2005. Trends in plant science, 10:22-29.

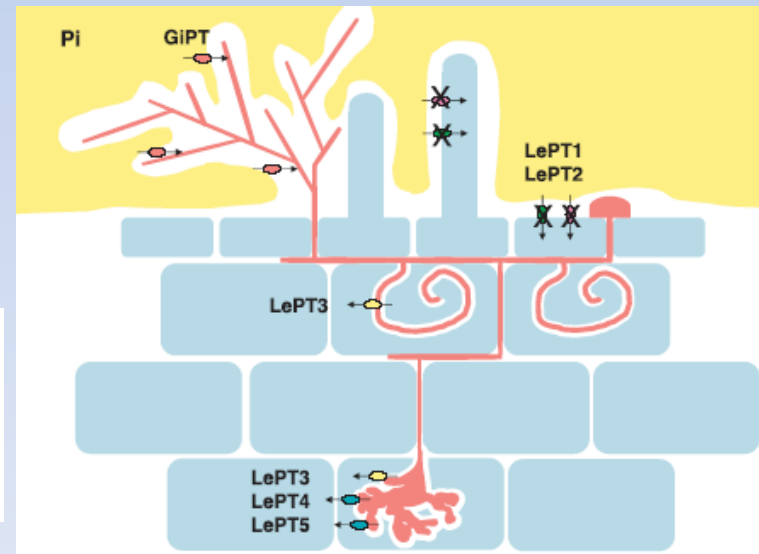
Formazione di una zona di esaurimento del P intorno alla radice dovuta alla scarsa mobilità di questo elemento. Il micelio extraradicale si espande oltre la zona di esaurimento e assorbe il P dal suolo non esplorato dalla radice.

b)

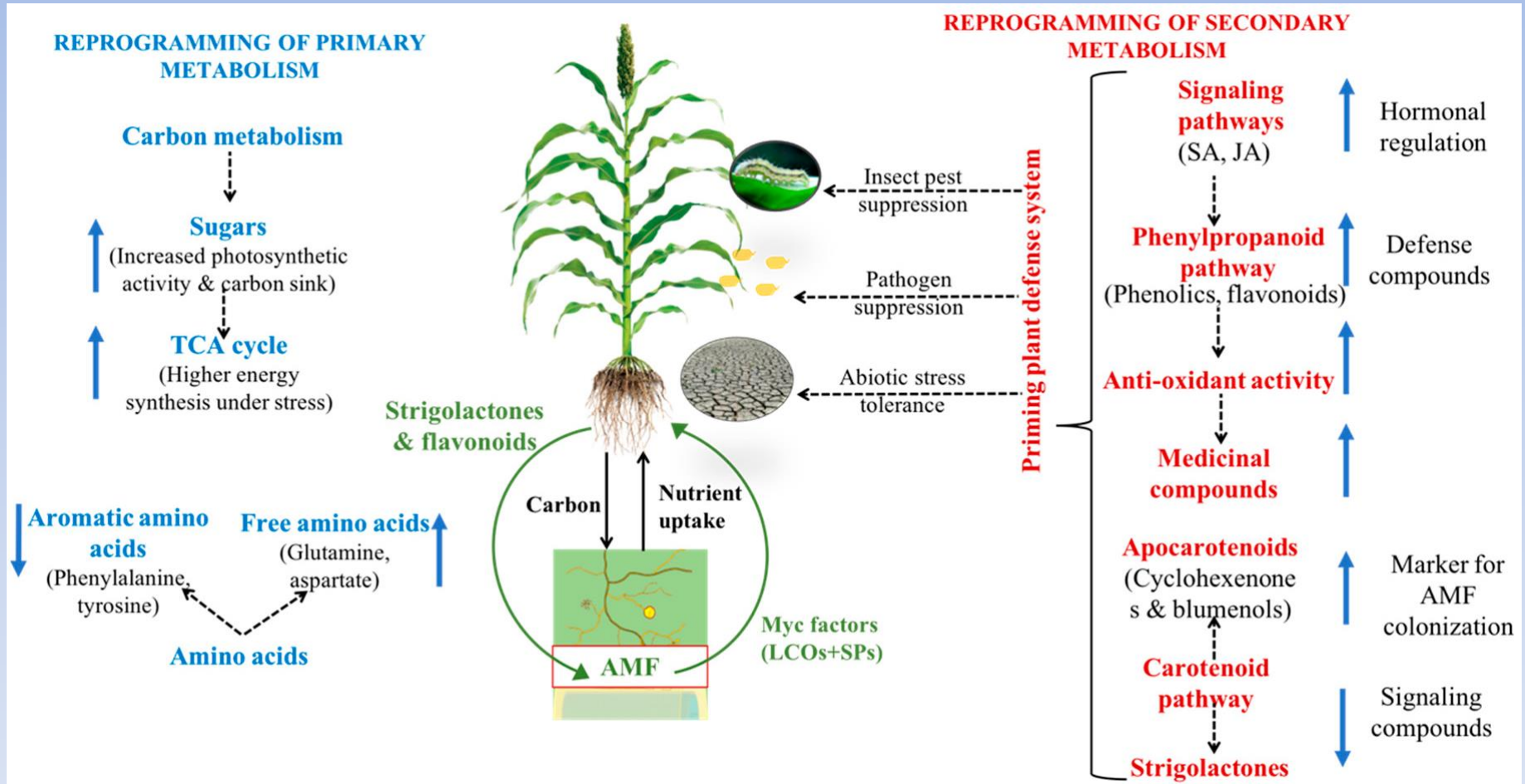
Trasportatori di P ad alta e bassa affinità vengono espressi sulla superficie dei peli radicalie delle cellule epidermiche della pianta non micorrizzata.



Il fungo inibisce l'espressione dei geni dei trasportatori periferici e stimola l'espressione dei geni di trasportatori delle cellule corticali.



I funghi micorrizici interferiscono con le vie metaboliche dell'ospite



L'accumulo di metaboliti secondari nelle piante micorrizzate può rappresentare il principale fattore che conferisce la resistenza ai patogeni e agli stress abiotici (siccità, salinità, radiazione UV, temperatura)

La colonizzazione micorrizica induce:

- più alti tassi di fotosintesi
- cambiamenti metabolici correlati all'accumulo di **apocarotenoidi**
- incremento della sintesi di polifenoli e carotenoidi
- alterazioni nella attività della SOD e di diversi enzimi con azione antiossidanti

Le piante micorrizate modificano il metabolismo secondario

Accumulo di nutrienti minerali e carotenoidi

Vitis vinifera

Accumulo di antiossidanti e oli essenziali

Ocimum basilicum, *Salvia officinalis*, *Foeniculum vulgare*

Accumulo di composti ad attività terapeutica

Coleus forskohlii, *Echinacea purpurea*, *Hypericum perforatum*

Accumulo di carotenoidi

Triticum spp.,
Zea mays

Accumulo di antocianine e antiossidanti

Fragaria vesca,
Solanum spp.

Gli ortaggi micorrizati hanno dimostrato....

Accumulo di composti
antiossidanti nei bulbi

Allium cepa

Accumulo di composti
antiossidanti e antitumorali
in bulbi e foglie

Allium sativum

Accumulo di antocianine
e carotenoidi nelle foglie

Lactuca sativa

Accumulo di antiossidanti
e polifenoli nei capolini

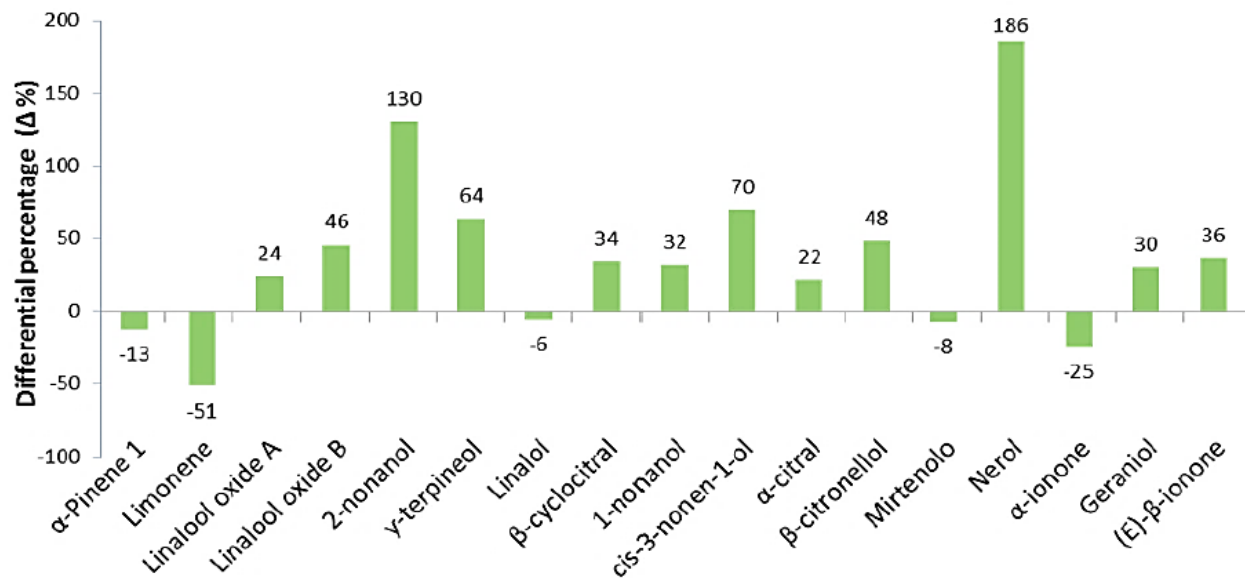
Cynara cardunculus
var. *scolymus*



Research article

The arbuscular mycorrhizal fungus *Funneliformis mosseae* induces changes and increases the concentration of volatile organic compounds in *Vitis vinifera* cv. Sangiovese leaf tissue

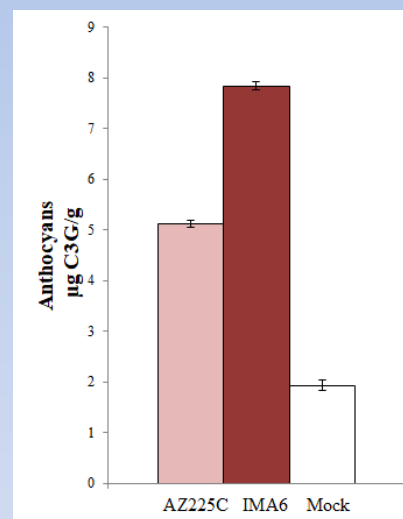
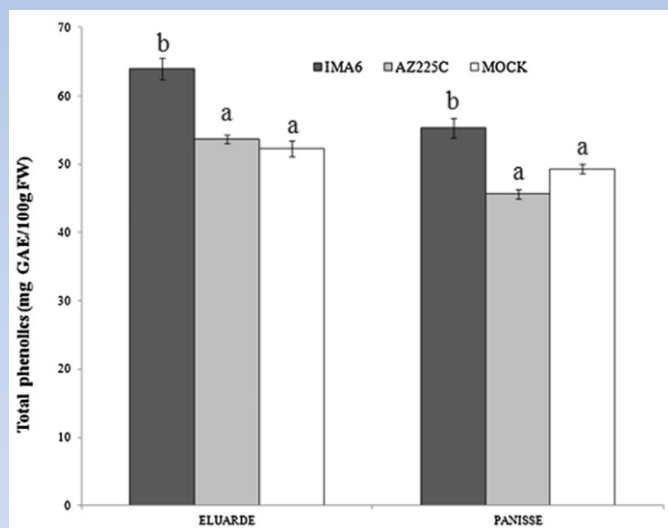
Alexis Velásquez^{a,b}, Miryam Valenzuela^{a,b}, Marcela Carvajal^{a,b}, Grazia Fiaschi^c, Luciano Avio^{c,d}, Manuela Giovannetti^{c,d}, Claudio D'Onofrio^{c,d}, Michael Seeger^{a,b,*}



Percent variation of volatile terpenes in C Sauvignon plants (*F. mosseae* IMA1 vs control)

Arbuscular mycorrhizal fungi affect total phenolics content and antioxidant activity in leaves of oak leaf lettuce varieties

L. Avio^{a,*}, C. Sbrana^a, M. Giovannetti^{b,c}, S. Frassinetti^a



Phenolics content and antioxidant activity in the leaves of two artichoke cultivars are differentially affected by six mycorrhizal symbionts

Luciano Avio¹, Rita Maggini¹, Gergely Ujvári, Luca Incrocci, Manuela Giovannetti, Alessandra Turrini*

Department of Agriculture, Food and Environment, University of Pisa, Via del Borghetto 80, 56124, Pisa, Italy

cv. Romanesco C3

questa varietà presenta un contenuto di polifenoli più elevato rispetto al violetto

cv. violettoTema

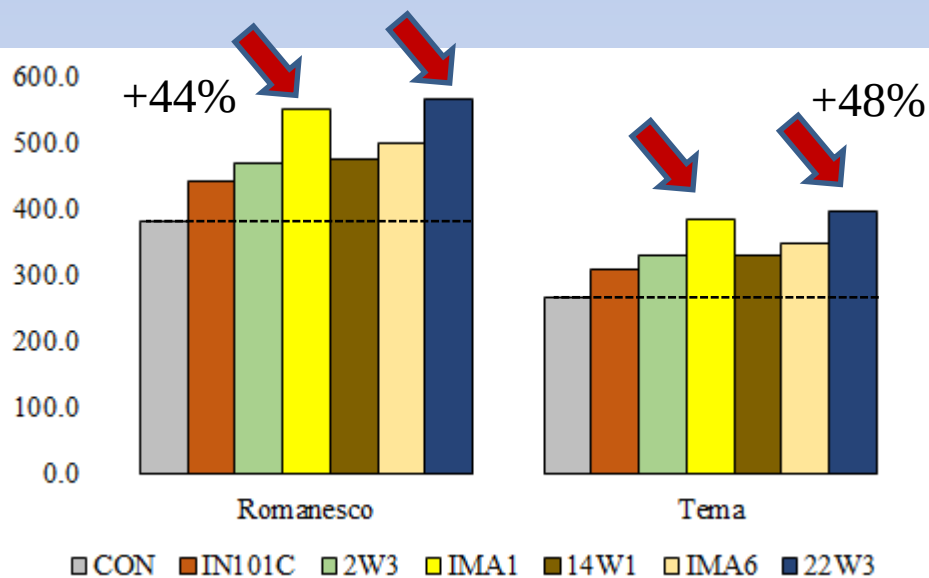


Phenolics content and antioxidant activity in the leaves of two artichoke cultivars are differentially affected by six mycorrhizal symbionts

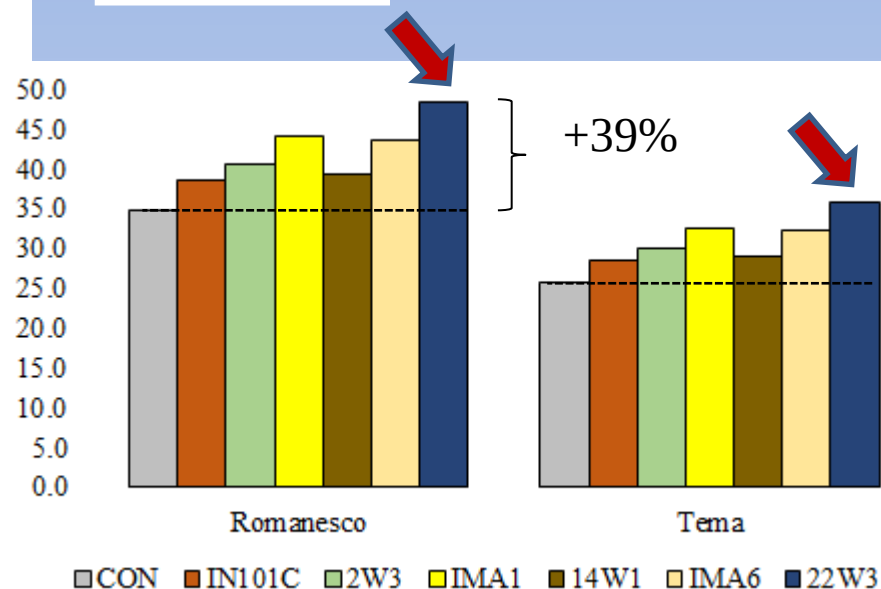
Luciano Avio¹, Rita Maggini¹, Gergely Ujvári, Luca Incrocci, Manuela Giovannetti, Alessandra Turrini*

Department of Agriculture, Food and Environment, University of Pisa, Via del Borghetto 80, 56124, Pisa, Italy

Antioxidant activity



Total phenols

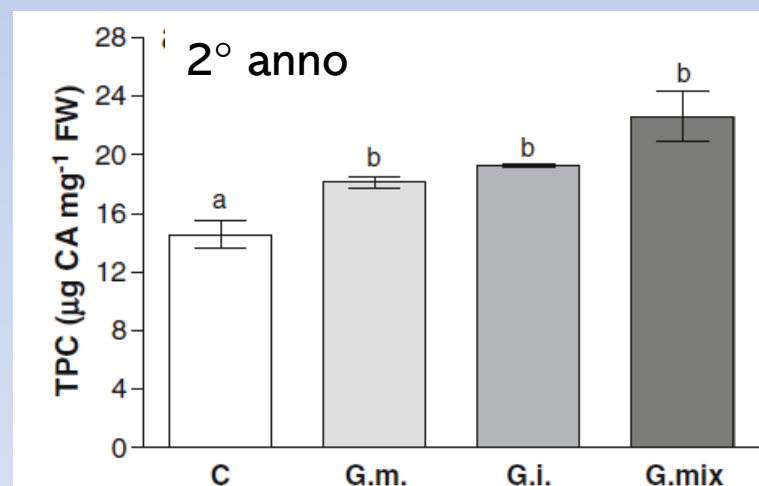
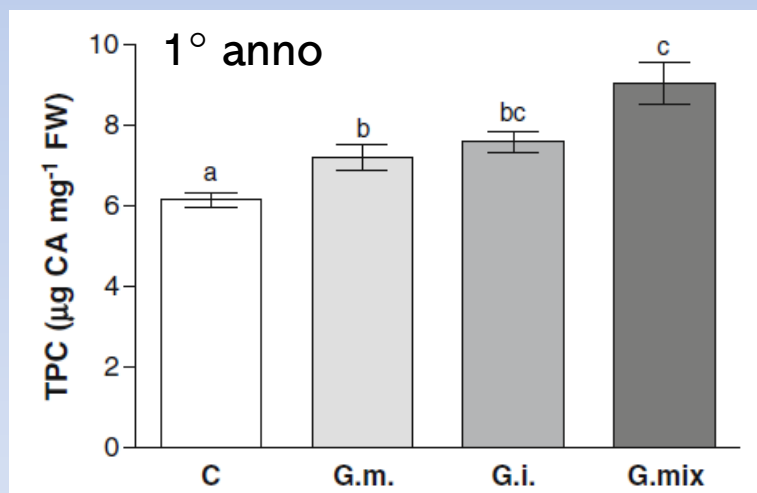


Mycorrhizal colonization impacts on phenolic content and antioxidant properties of artichoke leaves and flower heads two years after field transplant

Nello Ceccarelli • Maurizio Curadi •
Luca Martelloni • Cristiana Sbrana •
Piero Picciarelli • Manuela Giovannetti

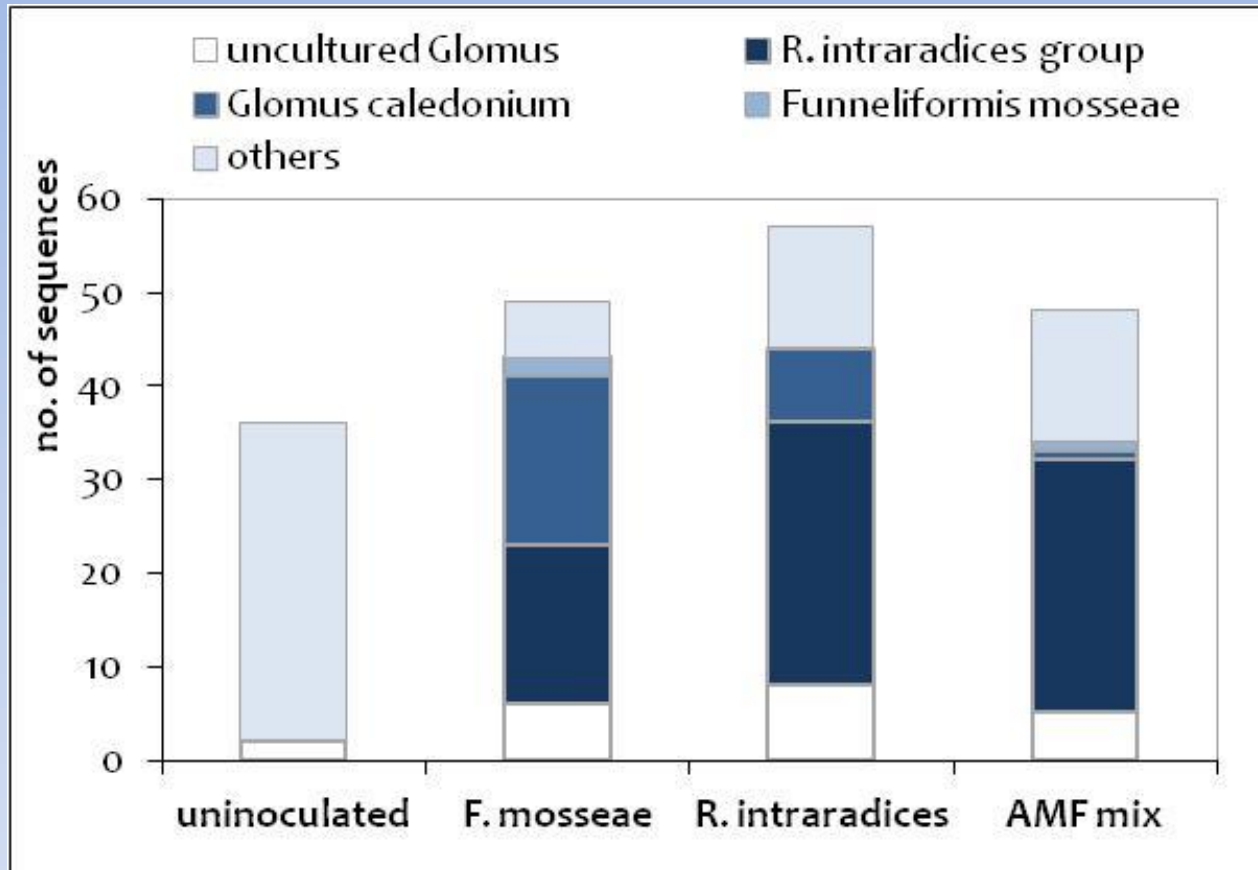


cv. violetto Terom



TPC: contenuto totale polifenoli (in estratti di capolini primari e secondari)

Funghi AM del carciofo in campo



Persistenza in campo dei funghi AMF: sequenze ITS rDNA attribuibili ai ceppi inoculati *F. mosseae* e *R. intraradices* erano presenti solo nelle radici delle piante inoculate.

Valore nutraceutico di prodotti alimentari derivati da filiera biologica: attività nutraceutiche e potere antiestrogenico del pomodoro di piante micorrizate



British Journal of Nutrition (2012), **107**, 242–251
© The Authors 2011

doi:10.1017/S000711451100290X

Nutraceutical value and safety of tomato fruits produced by mycorrhizal plants

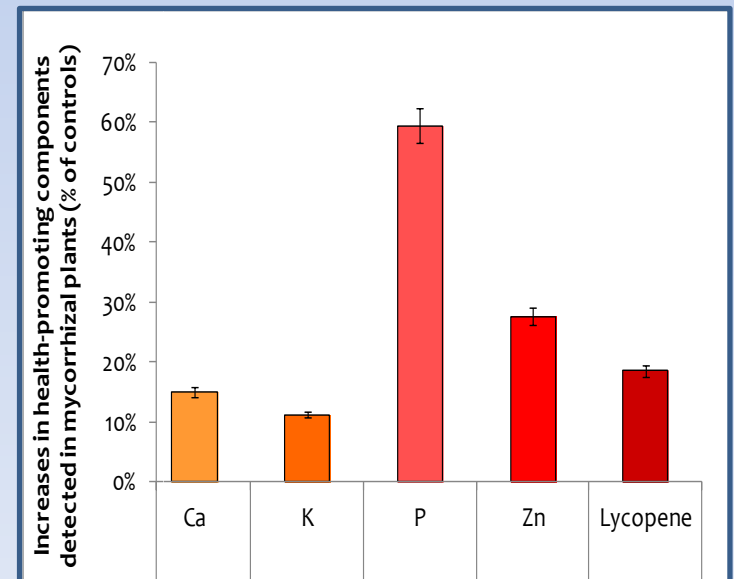
M. Giovannetti^{1*}, L. Avio², R. Barale³, N. Ceccarelli¹, R. Cristofani⁴, A. Iezzi¹, F. Mignolli¹, P. Picciarelli¹, B. Pinto⁴, D. Reali⁴, C. Sbrana² and R. Scarpato³



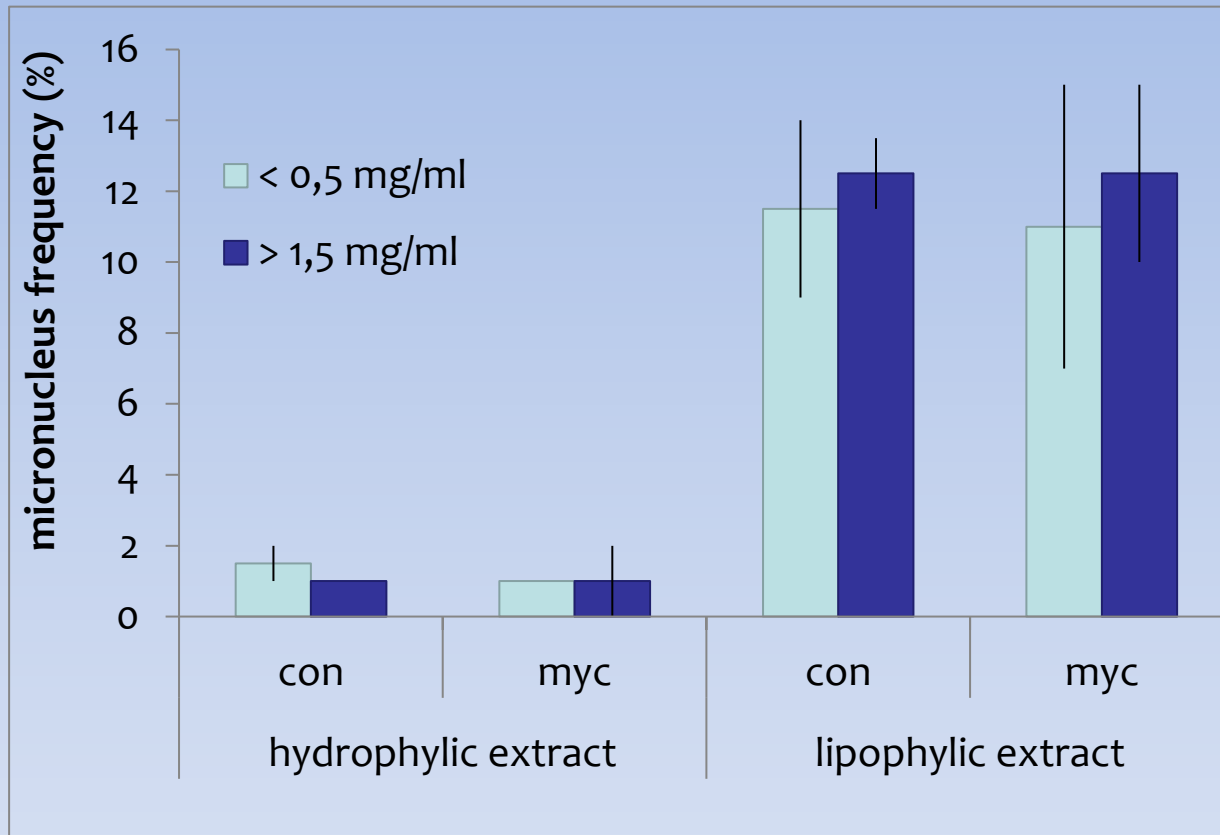
- Maggior numero di frutti commercializzabili
- Maggiore contenuto in nutrienti minerali dei frutti
- Maggiore contenuto in licopene

POMODORI PRODOTTI DA PIANTE MICORRIZATE

CALCIO	+15%
POTASSIO	+18%
FOSFORO	+59%
ZINCO	+27%
LICOPENE	+18,5%

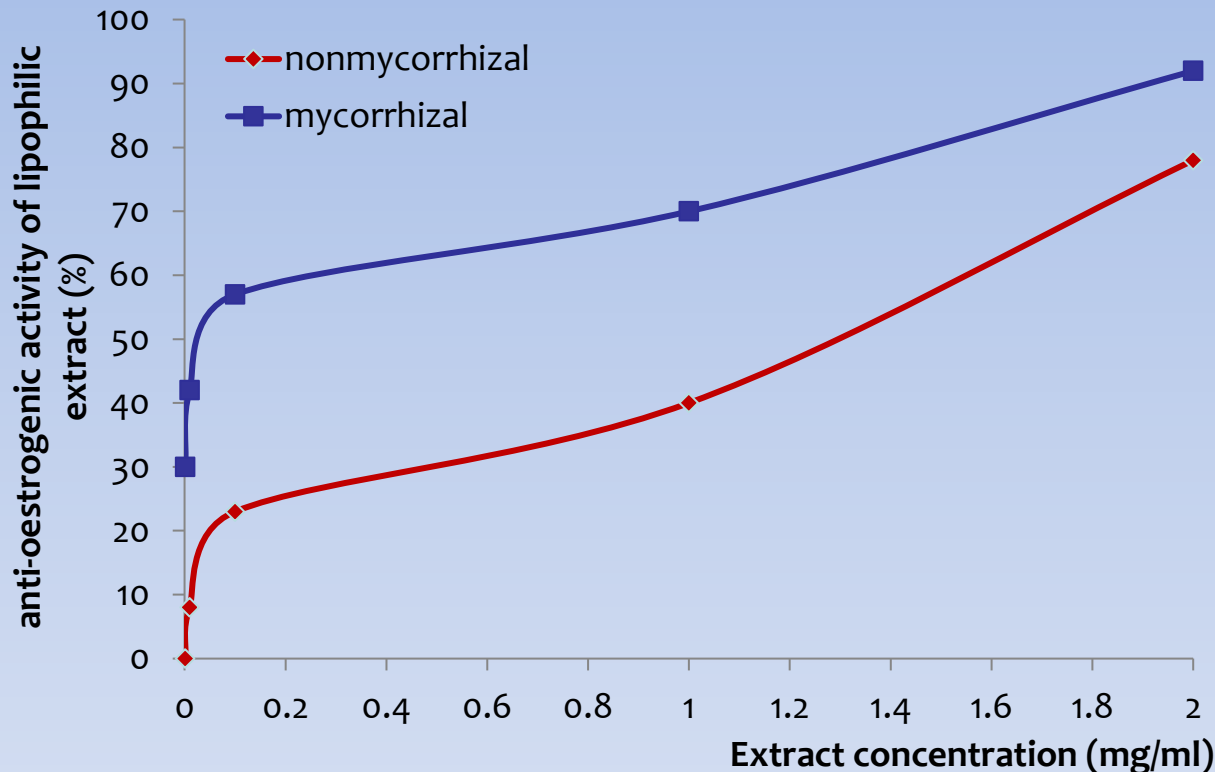


attività genotossica degli estratti di pomodoro:



Sia il test di Ames sia il test dei micronuclei dei linfociti umani hanno escluso la produzione di fitochimici con potenziale attività dannosa per il DNA nelle piante micorriziche.

attività anti-estrogenica degli estratti di pomodoro:



entrambi gli estratti (idrofili e lipofili) ottenuti dai frutti prodotti dalle piante micorrizzate inibivano fortemente il legame al recettore dell' estrogeno umano 17- β -estradiolo, mostrando una significativa maggiore attività anti-estrogenica, rispetto ai controlli.

***Solanum lycopersicum* L.**



F1 Hybrid, GS-15	Mix of: <i>Glomus intraradices</i> , <i>Glomus mosseae</i> , <i>Glomus etunicatum</i> (Soil and Water Institute of Iran)	Lycopene (FW) DPPH ^a	Increased concentration Increased activity	Ordookhani et al., 2010
Guadalete	Mix of: <i>Glomus mosseae</i> , <i>Glomus caledonium</i> , <i>Glomus viscosum</i> , <i>Glomus intraradices</i> , <i>Glomus coronatum</i>	Lycopene and β -carotene Lutein Ascorbic acid	No effect No effect Decreased concentration	Copetta et al., 2011
Moneymaker	<i>Glomus intraradices</i> IMA6	Lycopene (FW) Total phenols (FW) Ascorbic acid (FW) Glutathione (FW) ABTS ^b (FW)	Increased concentration No effect No effect No effect No effect	Giovannetti et al., 2012
Nemo-Netta	<i>Glomus mosseae</i> (Biocult Ltd., South Africa)	Lycopene (FW) Total flavonoids (FW) Ascorbic acid (FW) ABTS	Increased concentration, only at late inoculation time No effect No effect No effect	Nzarza et al., 2012b
Moneymaker	<i>Funnelliformis mosseae</i> BEG12 and/or <i>Rhizophagus irregularis</i> BB-E (Agrauxine, F)	Lycopene (FW) β -carotene and total carotenoids (FW) 29 Odor-active volatile compounds	Mixed inoculation: no effect; single isolate inoculation: increased concentration Mixed inoculation: increased concentration; single isolate inoculation: no effect Distinct phytochemical profiles, but variable quantitative effects	Hart et al., 2015
Komætt	<i>Rhizophagus irregularis</i> (Premier Tech Inc., Canada)	DPPH (DW) Vitamins B1, B3, B5, B6, ascorbic acid (FW) Vitamin B6, ascorbic acid (DW) Total carotenoids (DW)	No effect No effect Decreased concentration Increased concentration	Hart et al., 2015
PKM-1	<i>Glomus intraradices</i> # TNAU 120-02	Ascorbic acid (FW)	Increased concentration	Subramanian et al., 2006
Vitella F1	<i>Glomus</i> sp. (Amykor, Germany)	Lycopene (FW) β -carotene and Total phenols (FW)	Increased concentration Increased concentration, under organic management	Ulrichs et al., 2008
Nemo-Netta	<i>Glomus mosseae</i> (Biocult Ltd., South Africa)	Ascorbic acid (FW)	Increased concentration	Nzarza et al., 2012a
TC 2000	Mix of: <i>Rhizophagus intraradices</i> , <i>Glomus aggregatum</i> , <i>Glomus viscosum</i> , <i>Claroideoglomus etunicatum</i> and <i>Claroideoglomus claroideum</i> (Mybasol, Italy)	Lycopene β -carotene (FW) Ascorbic acid (FW)	No effect No effect Decreased concentration	Bona et al., 2017
Perfect Peel, Roma, Rio Grande	Mix of: <i>Rhizoglyphus irregularis</i> IMA6 (formerly <i>Glomus intraradices</i>), <i>Funnelliformis mosseae</i> IMA1	Lycopene (FW)	No effect	Njeru et al., 2017



CONCLUSIONI

Il consumo di frutta e ortaggi promuove la salute degli esseri umani, riducendo il rischio di mortalità da tumori o malattie cardiovascolari

**I funghi AM favoriscono
la crescita delle piante e
l'arricchimento in metaboliti secondari dei prodotti commestibili**

**L' inoculo di funghi AM per migliorare il valore nutraceutico degli alimenti
può rappresentare un'efficace biotecnologia da introdurre nelle filiere di
produzione agroalimentari**

