

Biostimolanti microbici

una nuova frontiera per l'agricoltura sostenibile

Marco Nuti

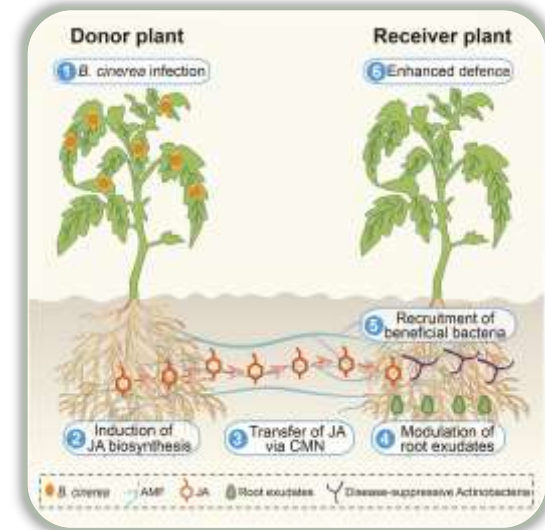
Secondo Forum Internazionale Almagra sulla sostenibilità agricola – Regenerating Agriculture.
Bologna, 3 Dicembre 2025



Nuti, 2025; questo ppt



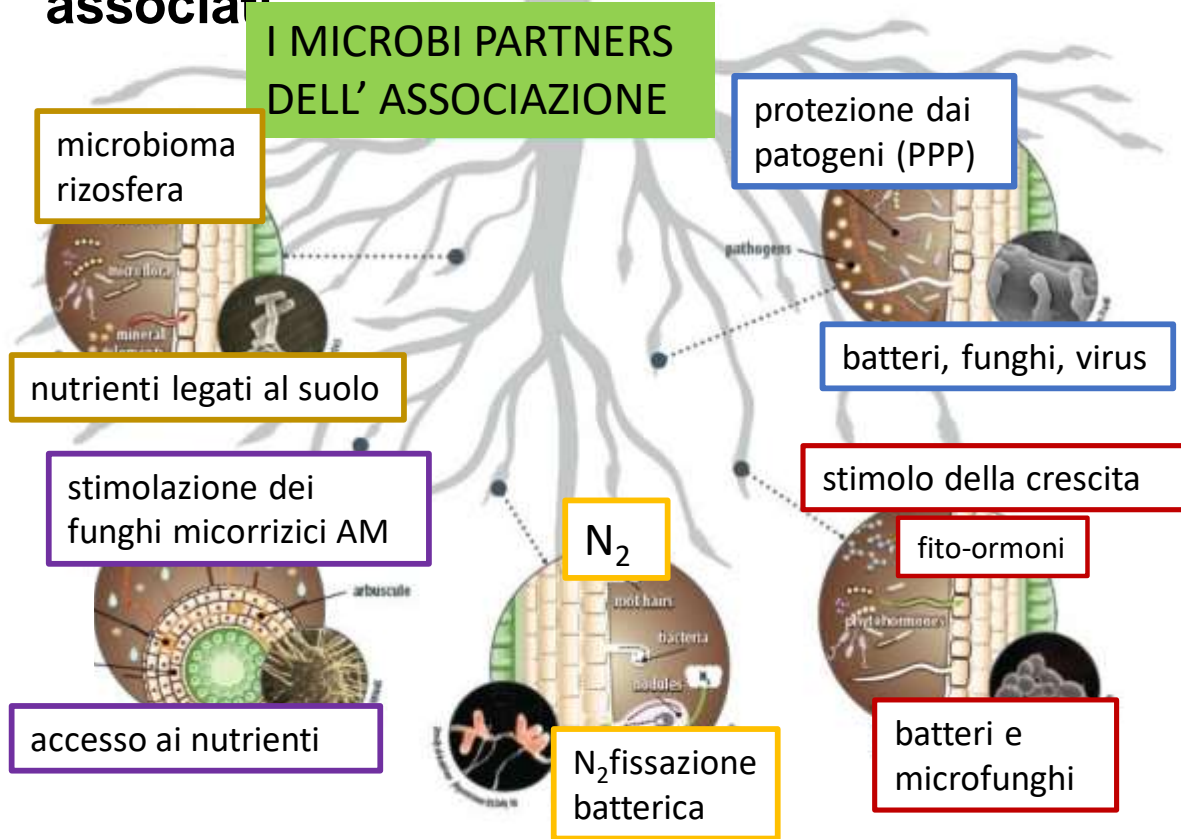
MASAF, gruppo GGDL, Sez. Fertilizzanti,
2025



Zhang et al., 2025

La pianta ed i microorganismi associati

I MICROBI PARTNERS DELL' ASSOCIAZIONE



DENSITA' MICROBICA

- nel suolo 10^3 - 10^8 ufc/g p.s.
- in rizosfera 10^8 - 10^9 ufc/g p.s.

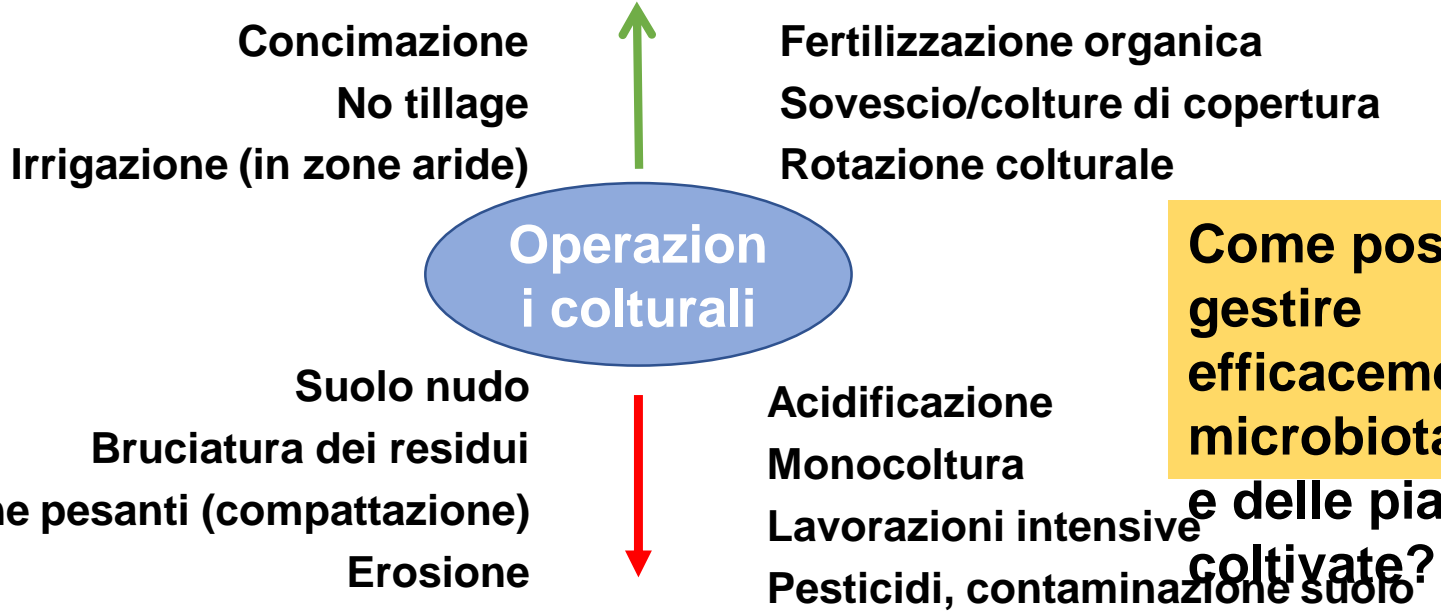
BIOMASSA MICROBICA

- 100 kg p.s./ha (s.o. $\leq 1\%$)
- 3.000 kg p.s./ha (s.o. $\geq 3.5\%$)

BIODIVERSITA', METADATA

(meta-genomica, meta-trascrittomica, -proteomica; 2007-2022) (Li et al 2022)

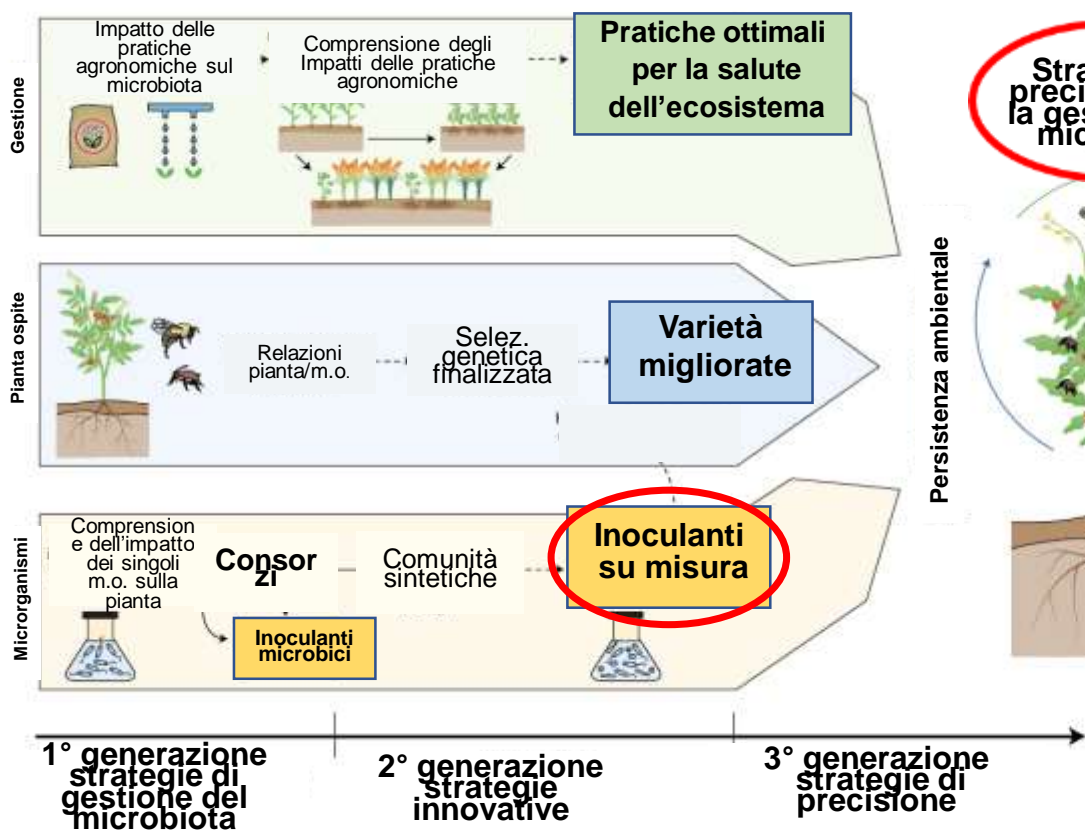
**Incremento della densità e
diversità delle popolazioni
microbiche**



**Come possiamo
gestire
efficacemente il
microbiota del suolo
e delle piante
coltivate?**

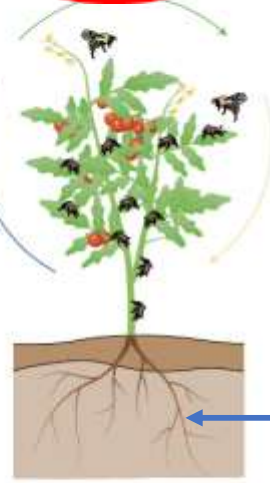
**Decremento della densità e
diversità delle popolazioni
microbiche**

A che punto siamo con gli inoculanti microbici ?



Strategie di precisione per la gestione del microbiota

Persistenza ambientale



Trattamenti foliari

Riboflavin

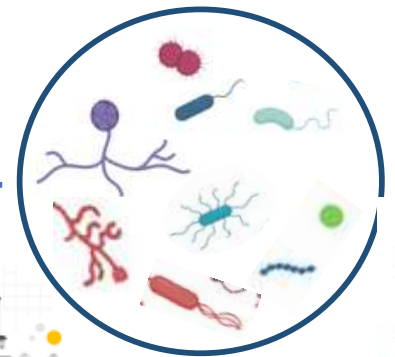
- ✓ Rapid response
- ✓ Direct absorption
- ✓ Systemic effects
- ✗ Specialized formulations
- ✗ UV & desiccation

Endoterapia

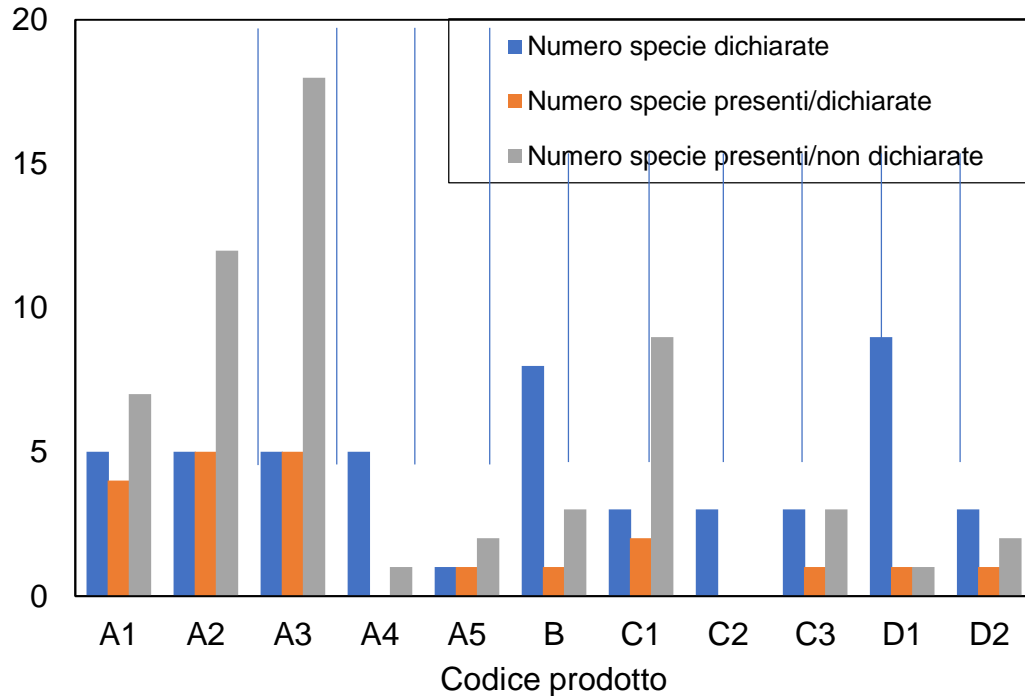
Thick bark barrier

Riboflavin

- ✓ Highly targeted mechanism
- ✓ Bypass soil & bark
- ✓ Systemic effects
- ✗ Specialized equipment
- ✗ Tree wounding



Aspetti critici: la qualità dei prodotti

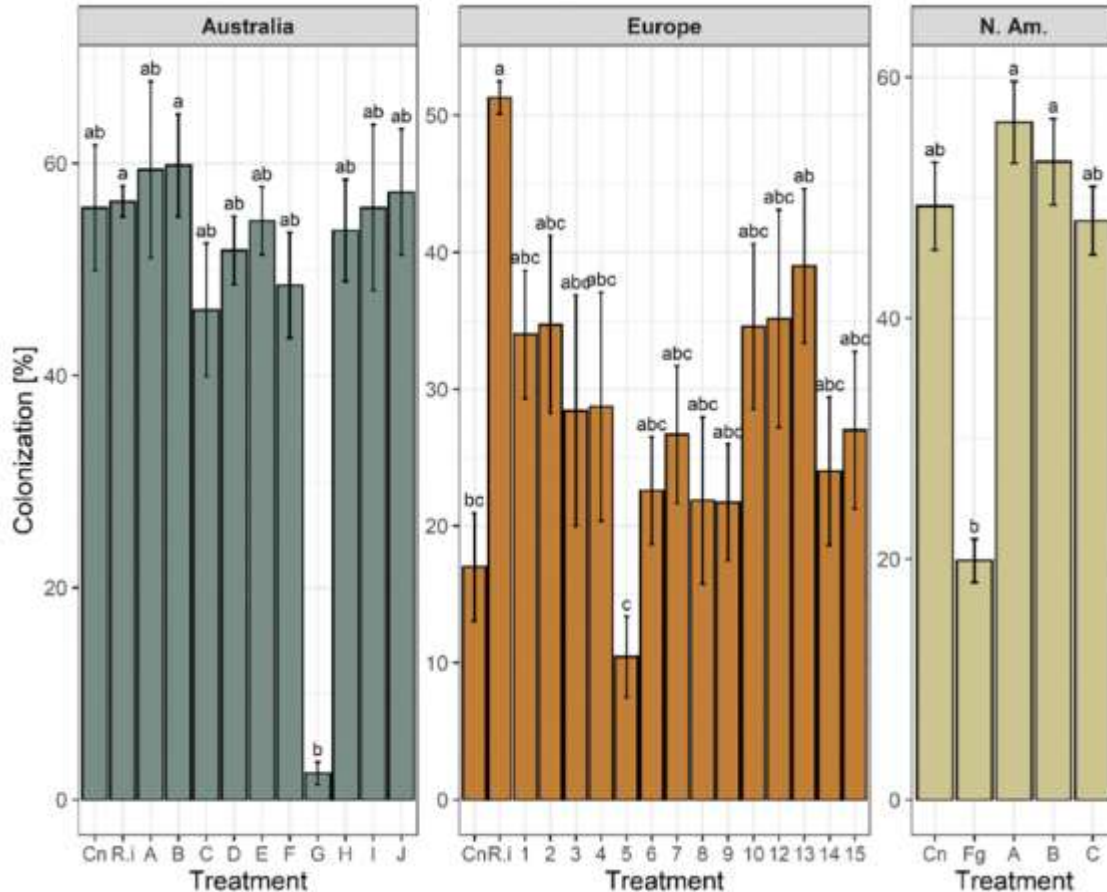


11 inoculanti AMF commerciali in Unione Europea

9 prodotti dichiarano 1-9 specie di AMF

- 9 prodotti contengono almeno 1 specie tra quelle dichiarate
- 2 non ne contengono nessuna
- 10/11 prodotti contengono specie non dichiarate

Aspetti critici: la qualità dei prodotti

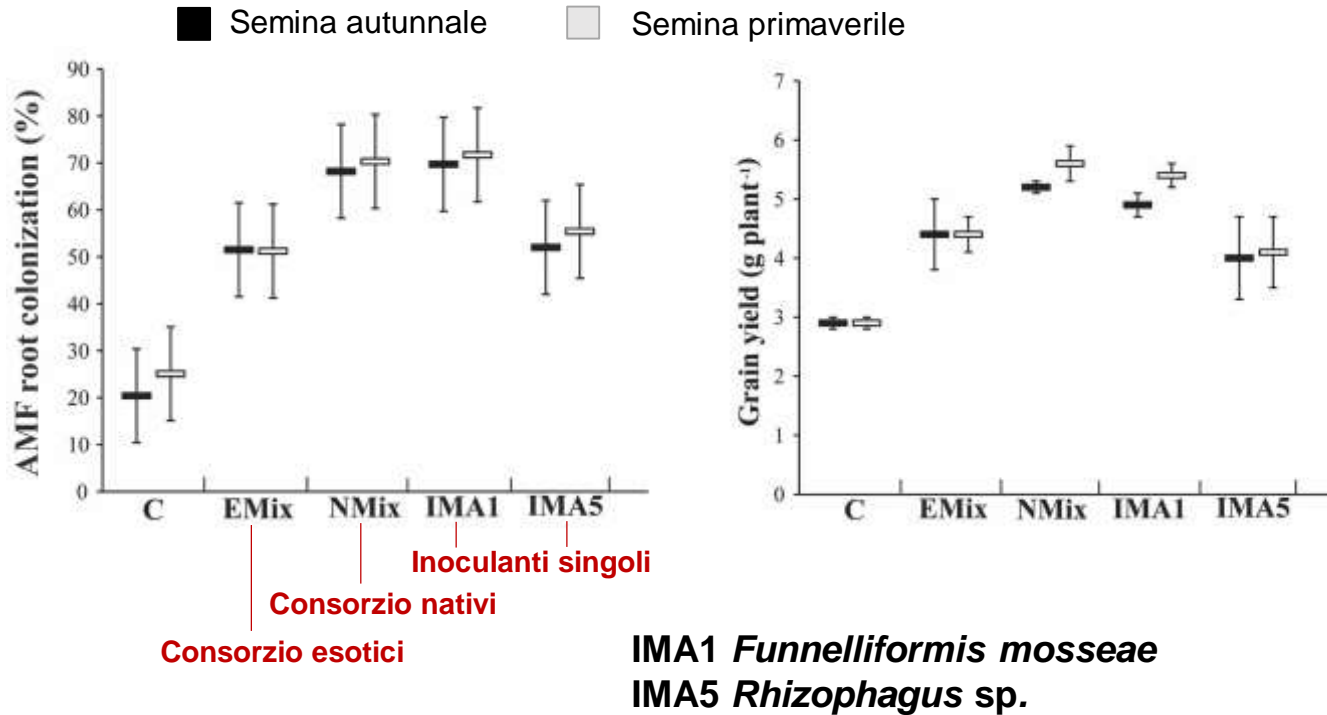


inoculanti AMF commerciali:

- 10 in Australia (pomodoro), 15 in Europa (pomodoro) e 3 in Nord America (porro)
- Controllo non inoculato (Cn)
- Controllo con isolato altamente efficiente (*Rhizophagus irregularis*, Ri) o fungicida in serra, in vaso (Fg)

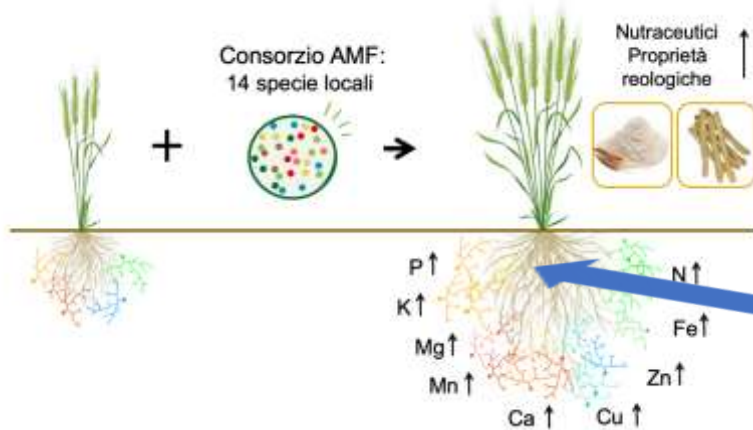
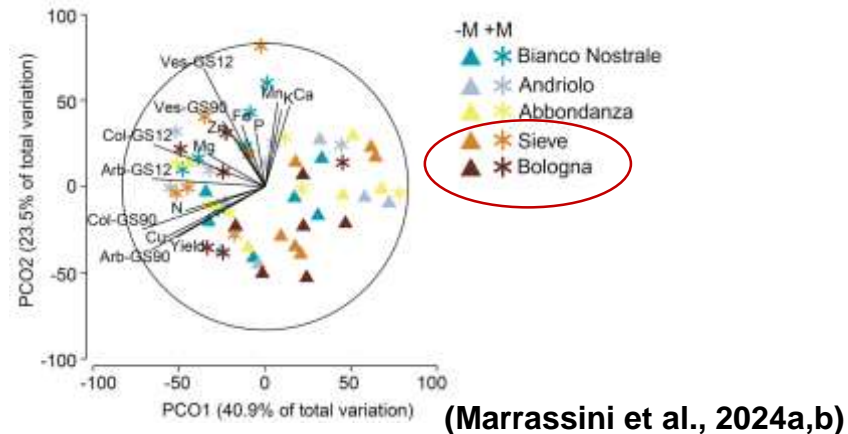
Aspetti critici: efficacia e complementarietà funzionale

Inoculanti singoli o consorzi (nativi/esotici)? su cece in campo



Cicer arietinum

Aspetti critici: efficacia e compatibilità isolati/genotipo pianta c

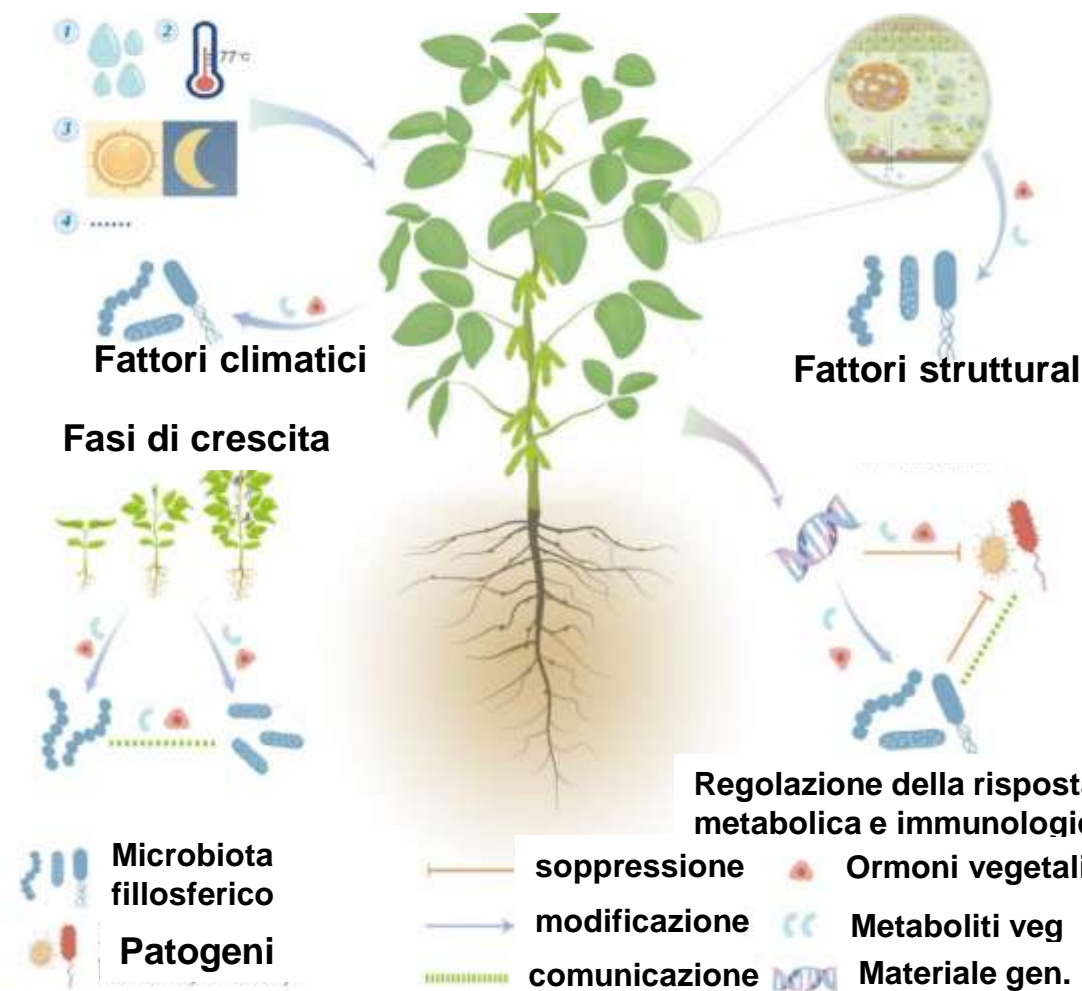


COLTURA	PROVE DI CAMPO	AMF	RISULTATI	BENEFICI	RIF.BIBL.
<p>Grano tenero (<i>Triticum aestivum</i> L)</p>	<p>Valutazione del potenziale dei PGPR (Biotol); le caratteristiche del terreno non sono riportate</p>	<p><i>Glomus intraradices (G.i.)</i></p>	<p>Aumento delle rese di campo 41% (Sakha 93) and 29% (Gemmeza 9); aumento prolina 38.6%, ac. salicilico 192.6% (Sakha 93); prolina 37.5%, ac. salicilic 135.4% (Gemmeza 9); miglioramento per NPK, chlorofilla e contenuto proteine nel seme.</p>	<p>Miglioramento della crescita, rese, tolleranza a stress salino.</p>	<p>Aboul-Nasr A. et al. (2016) J. Adv. Agric. Res. 21, 150–177.</p>
<p>Pomodoro industriale (<i>Solanum lycopersicum</i>)</p>	<p>Coltivazione in campo in un'Azienda italiana di pomodori industriali, con sette trattamenti con AMF e PGPR (<i>Pseudomonas</i> sp. 19Fv1T e <i>P. fluorescens</i> C7), applicati da soli o in combinazione e fertilizzazione ridotta. Terreno argilloso-limoso (40% limo, 28% argilla, 32% sabbia), pH 8.2 e 1.5% s.o., irrigazione a goccia.</p>	<p><i>Rhizophagus intraradices, Glomus aggregatum, Glomus viscosum, Claroideoglomus etunicatum Claroideoglomus claroideum (mixed inoculum)</i></p>	<p>Aumento del peso dei frutti del 35%, delle rese di campo del 160%, della s.s. del 100%, dell'acido citrico del 17.7%; diminuzione dei nitrati del 50%.</p>	<p>Aumento della colonizzazione radicale, fioritura, dimensione e qualità dei frutti; aumento degli zuccheri e diminuzione dei nitrati; effetto sinergico sull'equilibrio dell'aroma.</p>	<p>Bona E. et al. (2016) Mycorrhiza 26, 1–17.</p>

Aspetti critici: knowledge gaps

la fillosfera: interfaccia dinamico pianta/microbiota

Gli attributi strutturali, le cere cuticulari, i tricomi, l'architettura delle venature, i segnali (bio)chimici rappresentano le fondamenta dinamiche per il funzionamento del microbioma fillosferico

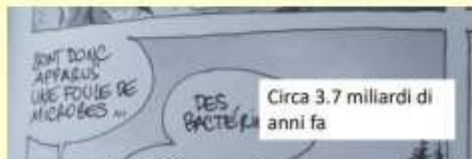


(modif da Ma et al.
2025)

Aspetti critici: efficacia e barriere autorizzative

Esempi di multifunzionalità intrinseca degli inoculanti (Nuti, 2023)

in natura i microbi...



Circa 3.7 miliardi di anni fa

0.8-1 miliardo di anni fa



Embriofite 470 milioni

Scorpione anfibio 437 milioni

Homo habilis 2.1 milioni
H. sapiens 0.3-0.4 milioni

Agenti microbici	Coltura	Effetto
Azospirillum spp., Pseudomonas spp.	Riso (<i>Oryza sativa</i> L.)	Aumento della crescita e delle rese
Bacillus spp., Pseudomonas spp. e Azospirillum spp.	Piantine e talee	Aumento di germinazione e radicazione delle talee, biocontrollo dell' appassimento batterico e aumento della sopravvivenza delle plantule dopo trapianto
Pantoea spp., Serratia spp., Acinetobacter spp., Bacillus spp., Agrobacterium spp., Burkholderia spp., Pseudomonas spp., Ochrobactrum spp.	Soia (<i>Glycine max</i> L.)	Produzione di noduli con alta azoto-fissazione. Importante attività inibitoria dei patogeni
<i>Pseudomonas frederiksbergensis</i>	Peperoncino rosso (<i>Capsicum annuum</i> L.)	Biostimolante in condizioni di stress idrico e salino
<i>Paenibacillus illinoisensis</i> , Bacillus spp.	Arachide (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	Aumento di crescita e rese
Pseudomonas spp., Paenibacillus spp.	Terreno calcareo	Alta capacità di rendere il Fe ³⁺ disponibile per le piante
Bacillus spp., Pseudomonas spp.	Grano (<i>Triticum aestivum</i> L.)	Eccellente biofertilizzante con effetti (in)diretti sugli entomopatogeni
Bacillus spp., Pseudomonas spp.	Terreno	Controllo dei nematodi <i>Meloidogyne javanica</i> e <i>Ditylenchus</i> spp.
<i>Azospirillum brasilense</i>	fragola	Controllo dell'antracnosi da <i>Colletotrichum acutatum</i>
<i>Azospirillum brasilense</i> 245	pomodoro	Controllo di <i>Rhizoctonia solani</i>

Aspetti critici: efficacia e barriere autorizzative

Esempi di multifunzionalità intrinseca degli inoculanti

ORGANISMO (agente BCA)	PATOGENO CONTROLLATO	PIANTA OSPITE	RIF. BIBL.
<i>Rhizobium</i> sp.	<i>Fusarium oxysporum</i> pv <i>ciceri</i>	Cece	Arfaoui et al. (2005)
<i>Mesorhizobium loti</i> MP6	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Senape indiana	Chandra et al. (2007)
<i>Rhiz.leguminosarum</i> bv. <i>viceae</i>	<i>Pythium</i> spp.	Pisello, lenticchia	Huang and Erickson (2007)
<i>Rhizobium</i> sp.	<i>Sclerotium rolfsii</i>	Arachide	Ganesan et al. (2007)
<i>Sinorhizobium fredii</i> KCC5	<i>Fusarium udum</i>	<i>Cajanus cajan</i>	Kumar et al. (2010)
<i>Rhiz. leguminosorum</i>	<i>F. oxysporum</i> pv <i>ciceri</i>	Cece	Singh et al. (2010)
<i>Ensifer meliloti</i> , <i>Rhizobium leguminosarum</i>	<i>F. oxysporum</i>	Trigonella (Fieno greco)	Kumar et al. (2011)
<i>Rhizobium</i> sp.	<i>F.oxysporum</i> , <i>F.solani</i> , <i>Macrophomina</i>	<i>Vicia faba</i> , Cece, Lupino	Shaban and El-Bramawy (2011)

Corso di Alta Formazione - A.A. 2025-2026 “Advanced Management of Fertilizers and Biostimulants in Cropping Systems” <https://www.santannapisa.it/it/alta-formazione/advanced-management-fertilizers-and-biostimulants-cropping-systems>

27/10/2025, Ore 10.30

Aula Magna Storica

Inaugurazione I edizione - Corso di Alta Formazione



Sant'Anna
Scuola Universitaria Superiore Pisa

CONTATTI: Prof. Antonio Ferrante, antonio.ferrante@santannapisa.it

Dott.ssa Chiara De Lena, (U.O. Alta Formazione) chiara.delena@santannapisa.it

Conclusioni e prospettive

- Sono necessarie **migliori linee guida e standard di settore** per garantire la protezione dei consumatori nel mercato dei biostimolanti microbici, includendo la verifica post-produzione
- Occorre superare le **barriere autorizzative** dovute alla multifunzionalità microbica
- Occorre **definire soluzioni specifiche** in base al sistema di gestione, tipologia di inoculanti microbici, genotipo della pianta ospite (gli isolati **microbici locali** hanno dimostrato di avere prestazioni pari o addirittura **migliori** rispetto a isolati esotici provenienti da banche internazionali)
- Occorre **migliorare ulteriormente la nostra comprensione** degli effetti dell'inoculazione con microorganismi in pieno campo, per valutare l'efficacia in condizioni di stress biotici e abiotici
- Occorre ulteriormente mettere a punto e **divulgare le tecniche di formulazione, conservazione e applicazione**

Riferimenti bibliografici



Arcidiacono M, Ercoli L, Piazza G, Pellegrino E (2025) Field inoculation with a local arbuscular mycorrhizal (AM) fungal consortium promotes sunflower agronomic traits without changing the composition of AM fungi coexisting inside the crop roots. *Applied Soil Ecology* 206. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105830>

French E, Kaplan I, Iyer-Pascuzzi A *et al.* (2021). Emerging strategies for precision microbiome management in diverse agroecosystems. *Nature Plants* 7, 256–267 <https://doi.org/10.1038/s41477-020-00830-9>

Koziol L, Lubin T , Bever JD (2024) An assessment of twenty-three mycorrhizal inoculants reveals limited viability of AM fungi, pathogen contamination, and negative microbial effect on crop growth for commercial products. *Applied Soil Ecology* 202,105559. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105559>

Koziol L, McKenna TP, JD Bever (2025) Meta-analysis reveals globally sourced commercial mycorrhizal inoculants fall short. *New Phytologist* 246: 821–827.

Li J, Sang Y, Zeng S, Mo S, Zhang Z, He S, Li X, Su G, Liao J and Jiang C (2022) MicrobioSee: A Web-Based Visualization Toolkit for Multi-Omics of Microbiology. *Frontiers in Genetics* 13, 853612. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.853612>

Marrassini, V, Ercoli L, Piazza G, Pellegrino E (2024a) Plant genotype and inoculation with indigenous arbuscular mycorrhizal (AM) fungi modulate wheat productivity and quality of processed products through changes in the frequency of root AM fungal taxa. *Field Crop Res.* 315, 109456. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109456> .

Marrassini V, Ercoli L, Paredes AV, Pellegrino E (2024b) Positive response of barley to an indigenous arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) inoculant is modulated by genotype and environment through changes in AMF root abundance and community structure. *Res. Sq.* <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4314201/v1> .

Riferimenti bibliografici



Ma X, Ling L, Wang B, Banerjee S, Nian H, Ma Q, Zhao S, Liang TX (2025) Chemical communication between plant and microbe in the

Phyllosphere. *Plant, Cell & Environment* (submitted, preprint). <https://doi.org/10.22541/au.175739964.49015293/v1>

Pellegrino E, Bedini S (2014) Enhancing ecosystem services in sustainable agriculture: Biofertilization and biofortification of chickpea (*Cicer arietinum* L.) by arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry* 68, 429-439.

<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.09.030>

Salomon MJ, Demarmels R, Watts-Williams SJ, McLaughlin MJ, Kafle A, Ketelsen C, Soupier A, Bücking H, Cavagnaro TR, van der Heijden MGA (2022) Global evaluation of commercial arbuscular mycorrhizal inoculants under greenhouse and field conditions. *Applied Soil Ecology*

169, 104225. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104225>

Vahter T, Lillipuu EM, Oja J, Opik M, Vasar M, Hiiesalu I. (2023) Do commercial arbuscular mycorrhizal inoculants contain the species that they claim? *Mycorrhiza* 33, 211-220. doi: 10.1007/s00572-023-01105-9 . Epub 2023 Feb 14. PMID: 36786883.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36786883/>

Zhang et al. (2025) Common mycorrhizal networks facilitate plant disease resistance by altering rhizosphere microbiome assembly. *Cell Host & Microbe* 33, 1765–1778. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2025.08.016>

Castiglione AM, Mannino G, Contartese V, Berteà CM, Ertani A (2021) Microbial Biostimulants as Response to Modern Agriculture Needs: Composition, Role and Application of These Innovative Products. *Plants* 10,1533.

<https://doi.org/10.3390/plants10081533>

Chhetri J et al. (2025) Improving olive farming with microbial biostimulants: benefits, challenges and opportunities. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* (2025) 41, 459. <https://doi.org/10.1007/s11274-025-04699-8>