STREAM2B

Progetto PR-FESR EMILIA ROMAGNA 2021-2027

«STRategie di EfficientAMenTO della risorsa idrica nella coltivazione del Basilico»

Titolo Presentazione:

Biochar, ammendanti e consorzi microbici per aumentare la resilienza del suolo e l'efficienza d'uso dell'acqua

Responsabile scientifico:
Prof. Nelson Marmiroli

Ricercatori:
Dott.ssa Silvia Carlo
Dott.ssa Ilenia Peralta

PROGETTO REALIZZATO GRAZIE AI FONDI EUROPEI DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA

Il suolo è dove nasce il cibo

Il suolo rappresenta non solo un substrato per le colture, ma anche una componente attiva dell'agroecosistema: è infatti una matrice complessa composta da minerali, acqua, aria, sostanza organica (SOM) e microrganismi che svolgono funzioni chiave per la trasformazione della materia e la biodisponibilità dei nutrienti. Queste caratteristiche rendono il suolo un elemento centrale per lo sviluppo e la salute delle colture, regolando l'apporto di nutrienti influenzando direttamente la qualità dei prodotti vegetali.



Funzioni ecosistemiche: il suolo regola il ciclo dell'acqua, sostiene la biodiversità, sequestra carbonio e filtra contaminanti, contribuendo a mitigare l'impatto dei cambiamenti climatici.

Indicatori di qualità: porosità, capacità di scambio cationico (CEC), stabilità degli aggregati e biomassa microbica sono parametri fondamentali per valutare la salute del suolo.

Minacce attuali: erosione, compattamento, acidificazione, perdita di materia organica e impoverimento microbiologico riducono la funzionalità del suolo e compromettono la sicurezza alimentare.

Salute del suolo e fertilità



Direttiva (UE) 2025/2360 del Parlamento europeo e del Consiglio del 12 novembre 2025 sul monitoraggio e la resilienza del suolo (Soil Monitoring Law)

La salute del suolo si riferisce alla capacità del suolo di funzionare come un ecosistema sano e vitale, in grado di sostenere la vita vegetale e animale e di contribuire al benessere umano.

Oltre il 60% dei suoli europei versa in condizioni di degrado. Le evidenze scientifiche dimostrano che i suoli sono soggetti a un ulteriore deterioramento a causa di pratiche di gestione del territorio non sostenibili, dell'impermeabilizzazione, della contaminazione e dello sfruttamento eccessivo delle risorse pedologiche, a cui si aggiungono gli impatti dei cambiamenti climatici e degli eventi meteorologici estremi.

I suoli sani sono fondamentali per il raggiungimento della neutralità climatica, la transizione verso un'economia pulita e circolare e il contrasto ai fenomeni di desertificazione e degrado del territorio. Essi svolgono inoltre un ruolo essenziale nell'invertire la perdita di biodiversità, garantire la produzione di alimenti sani e tutelare la salute umana.

La Direttiva prevede un quadro di monitoraggio dello stato di salute del suolo con indicatori relativi all'impermeabilizzazione e asportazione del suolo, descrittori del suolo, criteri per definire un suolo in buono stato di salute, un elenco indicativo dei contaminanti del suolo, metodologie e procedure di misurazione.

Soil degradation	Indicator	Threshold used	Data used (reference)
Soil erosion	Water erosion	Erosion rate >2 tonnes ha^{-1} $year^{-1}$	Panagos et al. (2020)
	Wind erosion	Erosion rate >2 tonnes ha^{-1} $year^{-1}$	Borrelli et al. (2017)
	Tillage erosion	Erosion rate >2 tonnes ha^{-1} $year^{-1}$	Borrelli et al. (2023)
	Harvest erosion	Erosion rate >2 tonnes ha^{-1} $year^{-1}$	Panagos et al. (2019)
	Post-fire recovery	Recovery rate <1	Vieira et al. (2023)
Soil pollution	Copper excess	Cu concentration >100 mg kg^{-1}	Ballabio et al. (2018)
	Mercury excess	Hg concentration >0.5 mg kg^{-1}	Ballabio et al. (2021)
	Zinc excess	Zn concentration >100 mg kg^{-1}	Van Eynde et al. (2023)
	Cadmium excess	Cd concentration >1 mg kg^{-1}	Ballabio et al. (2024)
	Arsenic excess	Probability of high As (>45 mg kg^{-1}) >5%	Fendrich et al. (2024)
Soil nutrients	Nitrogen surplus	Agricultural areas where N surplus >50 kg ha^{-1}	Grizzetti et al. (2022); Lugato et al. (2018)
	Phosphorus deficiency	P deficiency <20 mg kg^{-1}	Ballabio et al. (2019)
	Phosphorus excess	P excess >50 mg kg^{-1}	Ballabio et al. (2019)
Loss of soil organic carbon	Distance to maximum SOC level	Distance from 'maximum' SOC >60%	De Rosa et al. (2024)
Loss of soil biodiversity	Potential threat to biological functions	≥Moderately high level of risk	Orgiazzi et al. (2016)
Soil compaction	Soil packing density	High packing density (>1.75 g cm^{-3})	Panagos, De Rosa, et al. (2024)
Salinisation	Secondary salinisation	Areas in Mediterranean biogeographical region where >30% is equipped for irrigation	Siebert et al. (2010)
Loss of organic soils	Peatland degradation	Peatlands under hotspots of cropland	UNEP (2022)
Soil sealing	Built-up areas	No threshold applied (all built-up areas)	Copernicus (2018)

Processi di degradazione del suolo, relativi indicatori e soglie di riferimento attualmente utilizzati nell'ambito dello sviluppo dell'EUSO Health Dashboard

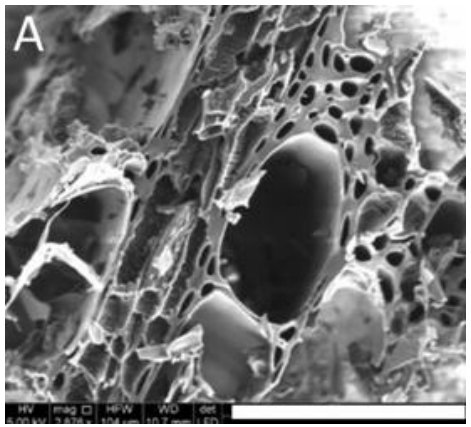
Come si può aumentare la salute del suolo: nuovi ammendanti

Nuovi ammendanti per un'agricoltura rigenerativa

- Compost da residui agroindustriali.
- Biochar ottenuto da biomasse mediante pirolisi.
- Digestati provenienti da impianti biogas.
- Ammendanti organici da economia circolare.







- Aumento del carbonio organico.
- Miglioramento della struttura del suolo.
- Maggiore capacità di ritenzione idrica.
- Incremento della biodiversità microbica.
- Sequestro di CO_2 nel lungo periodo.

Come si può curare il suolo malato: maggiore capacità idrica

Science of the Total Environment 839 (2022) 156265

Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv



Building a risk matrix for the safety assessment of wood derived biochars

Marta Marmiroli [a,b,1], Marina Caldara [a,b,1], Serena Pantalone [a,1], Alessio Malcevschi [a], Elena Maestri [a,b], Arturo A. Keller [c], Nelson Marmiroli [a,b,d,*]

[a] Department of Chemistry, Life Science and Environmental Sustainability, University of Parma, Parco Area delle Scienze, 43124 Parma, Italy
[b] Interdepartmental Centers SITEIA.PARMA and CIDEA, University of Parma, Parco Area delle Scienze, 43124 Parma, Italy
[c] Bren School of Environmental Science & Management, University of California Center for Environmental Implications of Nanotechnology, University of California, Santa Barbara, CA 93106-5131, USA
[d] National Interuniversity Consortium for Environmental Sciences (CINSA), Parco Area delle Scienze, 43124 Parma, Italy

frontiers in Plant Science

ORIGINAL RESEARCH
published: 17 August 2018
doi: 10.3389/fpls.2018.01119

Structural and Functional Features of Chars From Different Biomasses as Potential Plant Amendments

*Marta Marmiroli[1], Urbana Bonas[1], Davide Imperiale[1,2], Giacomo Lencioni[1], Francesca Mussi[3], Nelson Marmiroli[1,2,3] and Elena Maestri[1,3]**

[1] Department of Chemistry, Life Sciences and Environmental Sustainability, University of Parma, Parma, Italy, [2] National Interuniversity Consortium for Environmental Sciences (CINSA), Parma, Italy, [3] Interdepartmental Center for Energy and Environment (CIDEA), University of Parma, Parma, Italy

Science of the Total Environment 616–617 (2018) 1101–1123

Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv



Opinion Paper

Intensify production, transform biomass to energy and novel goods and protect soils in Europe—A vision how to mobilize marginal lands

P. Schröder [a,*], B. Beckers [b], S. Daniels [b], F. Gnädinger [a], E. Maestri [c], N. Marmiroli [c], M. Mench [d], R. Millan [e], M.M. Obermeier [a], N. Oustriere [d], T. Persson [f], C. Poschenrieder [g], F. Rineau [b], B. Rutkowska [h], T. Schmid [e], W. Szulc [h], N. Witters [b], A. Sæbø [f]

[a] Helmholtz Zentrum Muenchen, German Research Center for Environmental Health, GmbH, COMI, Ingolstädter Landstrasse 1, D-85764 Neuherberg, Germany.
[b] Hasselt University, Agoralaan Gebouw D, B-3590 Diepenbeek, Belgium
[c] University of Parma, Department of Chemistry, Life Sci. Environm. Sustainability, – Parco Area delle Scienze 11A, I-43124 Parma, Italy
[d] UMR BIOGECO INRA 1202, Bordeaux University, France
[e] CIEMAT - Departamento de Medio Ambiente, Avenida Complutense 40, E-28040 Madrid, Spain
[f] NIBIO - Norwegian Institute of Bioeconomy Research, NO-1431 Ås, Norway
[g] Martl-Hof, Hochwiesweg 6, D-83703 Ostin, Germany
[h] Warsaw University of Life Sciences - SGGW, 02-787 Warsaw, Poland

Come si può aumentare la salute del suolo: nuovi fertilizzanti

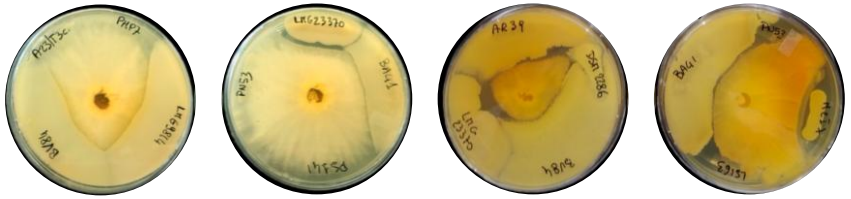
L'utilizzo di consorzi microbici in agricoltura rappresenta una strategia efficace per migliorare l'apporto di nutrienti alle colture, grazie a meccanismi che ottimizzano la salute del suolo e stimolano la crescita delle piante. Le interazioni sinergiche tra specie batteriche amplificano questi benefici, migliorando la salute e la produttività delle coltivazioni.

Aumento della Biodisponibilità dei Nutrienti: Facilitano cicli come la fissazione dell'azoto e la solubilizzazione del fosforo, rendendo i nutrienti più accessibili per le piante.

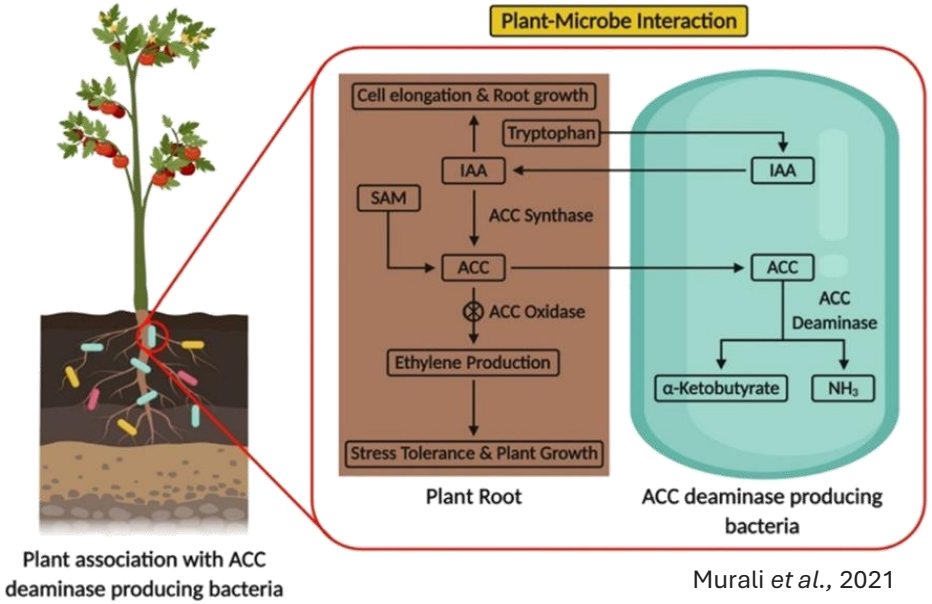
Miglioramento della Struttura del Suolo: Promuovono l'aggregazione, incrementando la ritenzione idrica e l'aerazione, favorendo la crescita radicale e riducendo l'erosione.

Stimolazione della Crescita e Resa: Producono fitormoni che possono influenzare lo sviluppo radicale e aumentano la resa delle colture.

Resistenza agli Stress Abiotici: Rafforzano la resilienza delle piante alla siccità e altri stress, contribuendo alla stabilità delle rese in condizioni climatiche variabili.



***in vitro* microbial interactions** (from Tabacchioni *et al.*, 2021)



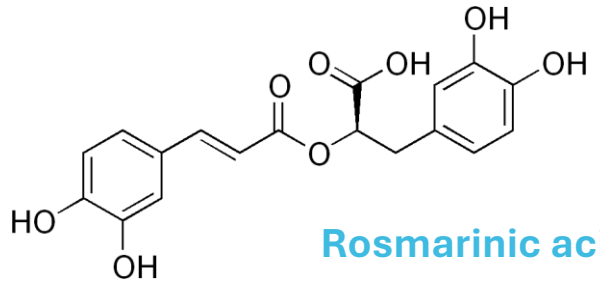
Plant association with ACC deaminase producing bacteria

Murali *et al.*, 2021

Rilevanza del basilico: produttività e qualità della biomassa

Ocimum basilicum L. è una specie di interesse alimentare e aromatico, caratterizzata da un profilo fitochimico articolato. Combina interesse orticolo, aromatico e alimentare; il valore commerciale e funzionale dipende anche dalla composizione della biomassa





Rosmarinic acid

Produttività

La resa in foglie e parte aerea è centrale per il prodotto fresco e per la trasformazione alimentare. Quantità, sviluppo fogliare e qualità visiva concorrono alla commerciabilità.

Qualità fitochimica

Il profilo di metaboliti secondari contribuisce ad aroma, gusto e caratteristiche biologiche attribuite alla specie. La sola biomassa non descrive quindi in modo completo il valore della produzione.

La composizione non è costante: varia in funzione di genotipo/chemotipo, organo vegetale, stadio fenologico e condizioni ambientali e agronomiche.

Acidi fenolici

Acido rosmarinico, caffeico e ferulico; associati alla capacità antiossidante in diversi modelli sperimentali.

Flavonoidi

Contribuiscono al profilo bioattivo e alle proprietà antiossidanti attribuite alla pianta.

Composti volatili

Terpeni e fenilpropanoidi, tra cui linalolo, eugenolo e metil chavicolo; determinano in larga misura il profilo aromatico.

STREAM2B
PROGETTO REALIZZATO GRAZIE AI FONDI EUROPEI DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA

STRategie di EfficientAMenTO della risorsa idrica nella coltivazione del Basilico





Principali risultati raggiunti



Salute della pianta
Effetti biofertilizzanti

Fattori chimici
Fattori biologici

Obiettivi

Utilizzo di ammendanti e consorzi microbici per migliorare salute e fertilità del suolo

- Maggiore biodisponibilità di nutrienti essenziali
- Aumento della biodiversità del suolo
- Migliore apporto idrico
- Aumento della resa e della qualità nutrizionale

Rese

- Quantitative (peso fresco, area fogliare)
- Qualitative (marcatori attività metabolica e antiossidante, analisi metabolomiche)

Trattamenti somministrati e analisi in corso

Consorzi microbici

Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF):
Rhizophagus intraradices



RhizoVital® 42 TB:
Bacillus amyloliquefaciens FZB42

Micosat F UNO:
Glomus spp. GB 67, *G. mosseae* GP 11, *G. viscosum* GC 41, *Agrobacterium radiobacter* AR 39, *Bacillus subtilis* BA 41, *Streptomyces* spp. SB 14, *Pochonia chlamydosporia* PC 50, *Trichoderma harzianum* TH 01, *Pichia pastoris* PP 59.

Ammendanti



Biochar (origine vegetale)

nerobiochar
N°1 in Italia nel Biochar

Argille (bentonite)

Organifer

Analisi in suolo

Analisi microbiologiche:
Colture su terreno LB (total count) e terreni selettivi (solubilizzazione fosforo, fissazione azoto)
Analisi enzimatiche:
Attività idrolitica totale (FDA), fosfatasi, arilamidasi, arisulfatasi, β-glucosidasi
Analisi su DNA microbico:
Tracciabilità consorzi somministrati, quantificazione microrganismi con funzioni specifiche (solubilizzazione fosforo, fissazione azoto, degradazione contaminanti)

Analisi in pianta

Valutazione della resa:
Peso fresco fusti, peso fresco foglie, area fogliare
Marcatori attività metabolica e antiossidante:
Respirazione cellulare, contenuto di pigmenti fotosintetici, perossidazione lipidi di membrana, contenuto di prolina, attività antiossidante, contenuto perossido di idrogeno, contenuto vitamina C, contenuto fenoli totali
Analisi metabolomica UHPLC-MS untargeted

Schema di campo e campionamenti

Schema di campo – anno 2024

B	3	1	4	5	B		B	7	6	2	B
B	5	4	7	1	B		B	3	2	6	B
B	2	3	6	7	B		B	4	1	5	B
B	4	5	1	6	B		B	2	7	3	B
B	1	2	3	4	B		B	5	6	7	B

Schema di campo – anno 2025

B	3	1	4	5	B		B	8	6	2	7	B
B	8	4	7	1	B		B	3	2	6	5	B
B	2	8	6	7	B		B	4	1	5	3	B
B	4	5	1	8	B		B	2	7	3	6	B
B	1	2	3	4	B		B	5	6	7	8	B

1. Test non trattato
2. Argilla in polvere
3. Biochar 1
4. Argilla + MICOSAT F
5. Biochar 1 + MICOSAT F
6. Argilla + RhizoVital + AMF
7. Biochar 1 + RhizoVital + AMF
8. Biochar 2

Schema di campo – anno 2026

1	2	3	4	1	2	3	4
B	1	5	2	3	4	5	3
1	2	3	4	5	2	1	4
B	B	B	B	B	B	B	B

Verietà basilico Paoletto

Distribuzione ammendanti sulle parcelle sperimentali:
15-20 cm di profondità, 0,25 Kg/mq

Somministrazione consorzi microbici:
2 settimane dalla semina + rinforzo dopo 20 giorni (10 g/mq)

1. Test non trattato
2. Biochar 1
3. Biochar 1 + RhizoVital + AMF
4. Biochar 2
5. Biochar 3

Campionamenti:

T_0: Suolo, al momento della prima somministrazione dei consorzi microbici

T_1: Suolo e pianta, prima del taglio, mese di **luglio**

T_2: Suolo e pianta, prima del taglio, mese di **settembre**

Risultati - 2024

Suolo

- Colonizzazione e attività microbica aumentate in presenza di biochar sia al T_0 sia al T_1 (mese di **luglio**)
- Colonizzazione da parte di microrganismi fissatori dell'azoto e solubilizzatori del fosforo aumentate in presenza di biochar sia al T_0 sia al T_1 (mese di **luglio**)
- A fine ciclo colturale (T_2 , mese di **settembre**), l'effetto dei trattamenti su colonizzazione e variabilità microbica risulta ammortizzato rispetto alle fasi iniziali

Pianta

- Biomarcatori come la perossidazione dei lipidi di membrana, l'attività antiossidante, il contenuto di prolina, acido ascorbico e fenoli, risultano influenzati dal trattamento sia nel mese di **luglio** sia nel mese di **settembre**.
- La risposta della pianta ai trattamenti dipende fortemente dall'interazione tra gli ammendanti e i consorzi microbici
- La combinazione di **biochar** con **RhizoVital e AMF** induce un incremento significativo della perossidazione dei lipidi di membrana, ma è anche associata a un **aumento** del contenuto di **antiossidanti**

Risultati - 2025

Suolo

- Anche durante il secondo anno di sperimentazione, la colonizzazione e l'attività microbica, così come la crescita di microrganismi con funzioni relative alla mobilizzazione dei nutrienti, risultano **migliorate in presenza di biochar**

- Anche in questo caso, a fine ciclo colturale (T_2 , mese di **settembre**), gli effetti dei trattamenti sulla funzionalità della rizosfera, risultano ridotti rispetto alle fasi iniziali

Pianta

- Il contenuto di fenoli totali e l'attività antiossidante, risultano ridotti a inizio ciclo colturale ed aumentati al T_2 nelle condizioni in cui Rhizovital+AMF combinato con il biochar viene applicato. Anche per l'anno 2025 appare una **risposta specifica** della pianta in suoli ammendati con **biochar** e inoculati con **Rhizovital+AMF**.

- Il contenuto di H_2O_2 e di acido ascorbico nelle foglie, risulta ridotto nelle condizioni in cui **RhizoVital+AMF** è applicato, **indipendentemente dall'ammendante** utilizzato, sia a inizio sia a fine ciclo colturale.

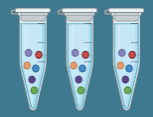
Analisi metabolomica untargeted

STREAM2B

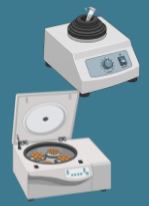
Sample Preparation



Freeze-dried basil leaves



Metabolite extraction



Vortexing
Sonication
Centrifugation

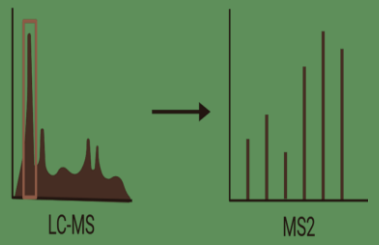


Filtration

Data Acquisition

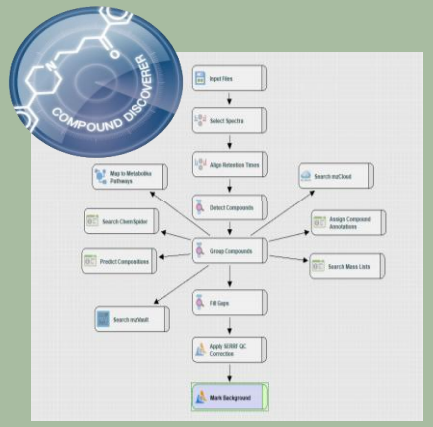
UHPLC-ESI-HRMS





Data Processing

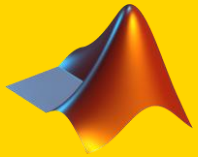
Compound Discoverer 3.3



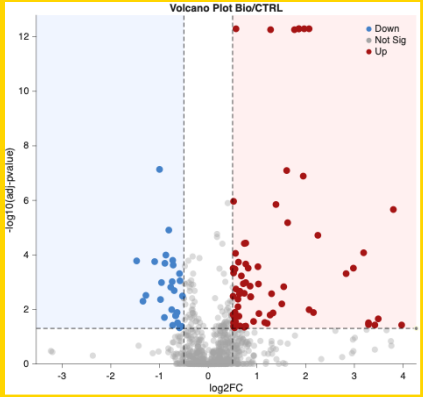
Feature alignment
QC-based normalization
Grouping
Molecular formula annotation

Statistical Analysis

MATLAB R2025b



PCA
ASCA
Volcano plot



Biomarker Discovery



MassBank
MoNA
MSNLIB
GNPS

In-house library





Ontology: ClassyFire

Ricercatore: Dott.ssa Ilenia Peralta

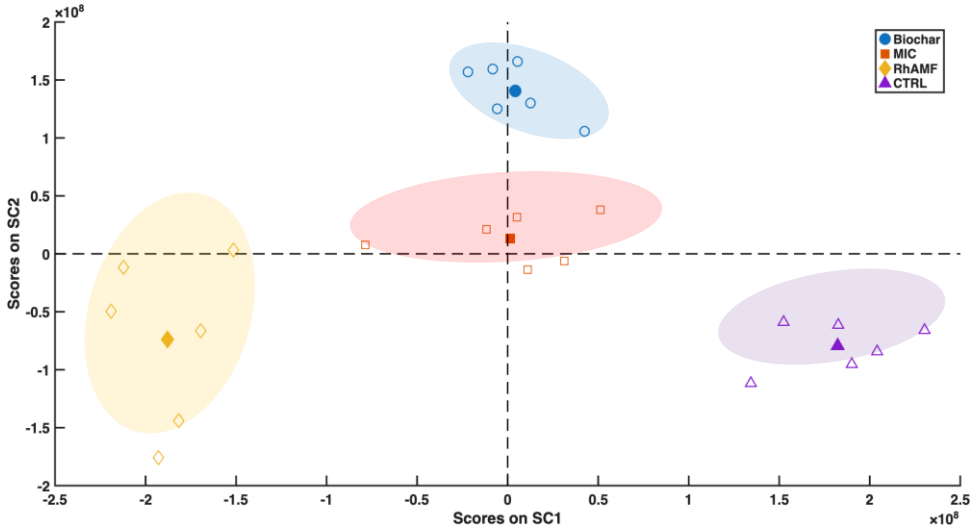
Gruppo di ricerca di Chimica Analitica - Prof.ssa Maria Careri
Prof.ssa Monica Mattarozzi

Analisi metabolomica untargeted

È stato applicato un metodo di statistica multivariata (ASCA) che ha consentito di separare il contributo dato dai due tempi dal contributo dei trattamenti. Sono state identificate le features che contribuiscono in modo significativo al fattore trattamento.

2024

Treatment effect model: 3 SCs (61.18, 28.32%)

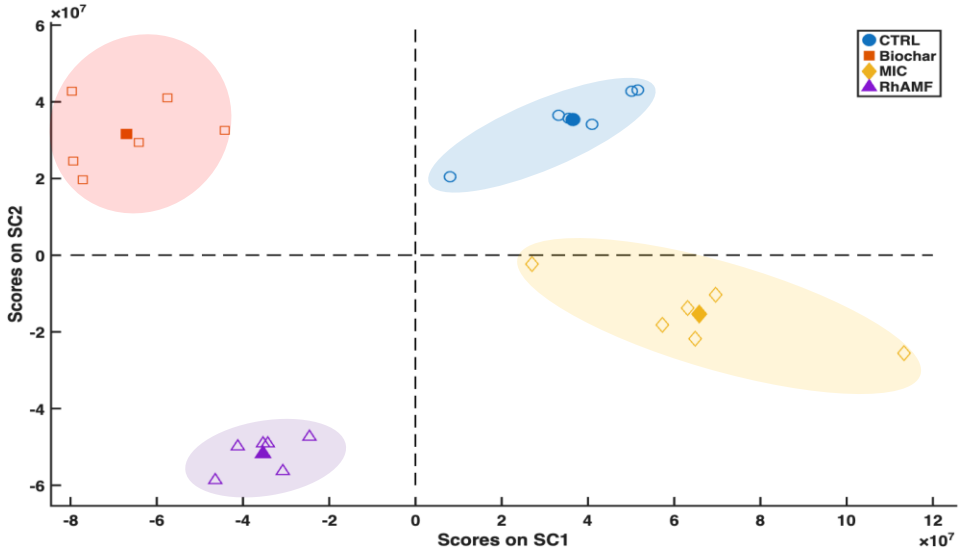


70 statistically significant features for distinguishing between treatments

10	16	3	27	14
Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5

2025

Treatment effect model: 3 SCs (58.39, 26.41%)



60 statistically significant features for distinguishing between treatments

4	18	0	22	16
Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5

VIP-driven pathway analyses

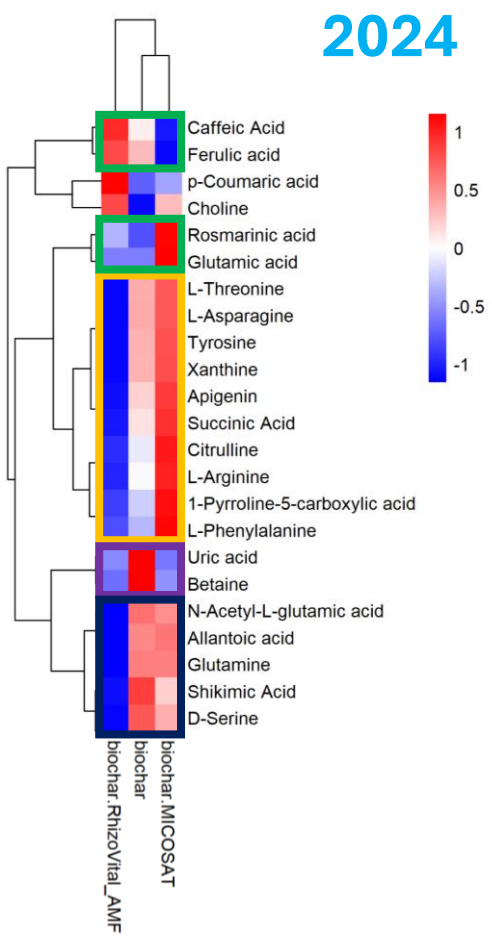
Osservabile in generale una riorganizzazione del metabolismo dell'azoto e del carbonio: ripetizione in due anni sperimentali di pathway centrati su glutammato/aspartato/GABA/arginina

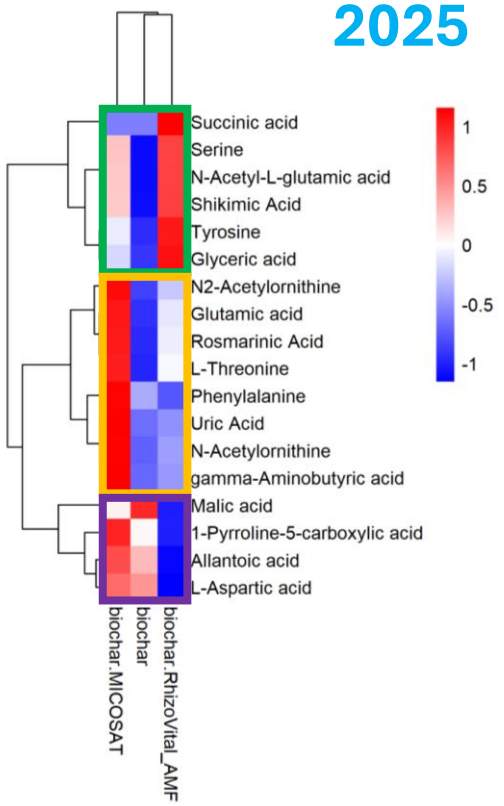
Possibile riallocazione verso fenilpropanoidi:

-acido rosmarinico
-acido caffeico
-acido p-cumarico
-acido ferulico
-acido cicorico

Biosintesi arginina modulata entrambi gli anni:

Arginina
↓
Ornitina
↓
Putrescina
↓
Spermidina
↓
Spermina





I metaboliti individuati si raggruppano in moduli funzionali distinti, suggerendo una **risposta metabolica** specifica **indotta dai diversi trattamenti**.

La clusterizzazione conferma il coinvolgimento delle stesse reti metaboliche per entrambi gli anni:

Complessiva riorganizzazione delle reti metaboliche primarie, canalizzazione del flusso metabolico specifica per i due consorzi microbici

RhizoVital+AMF agisce prevalentemente sui precursori del **metabolismo primario**

MICOSAT favorisce l'accumulo di **metaboliti dell'azoto** e di composti fenolici tipici del basilico.

Work in progress....

Suolo – sperimentazione 2025

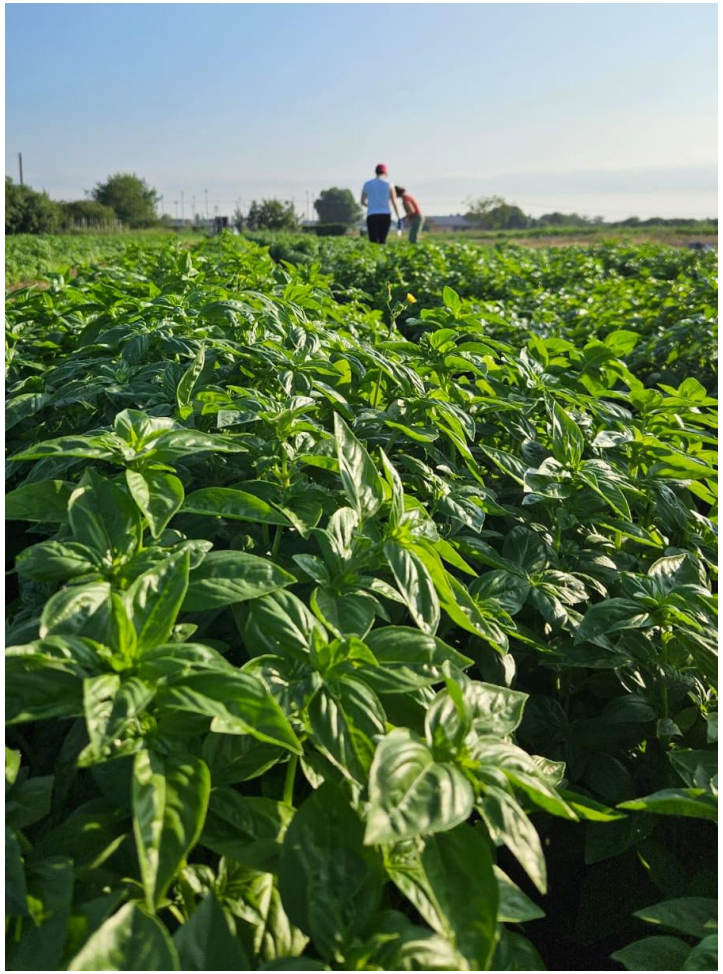
Analisi DNA microbico:

- **Microrganismi con funzioni di mobilizzazione dei nutrienti**
- **Tracciabilità RhizoVital + AMF**

Sperimentazione 2026

Campionamento mese di luglio (T_1) e settembre (T_2):

- **Suolo (analisi microbiologiche e fisico-chimiche)**
- **Pianta (analisi di resa, biochimiche e metaboliche)**





STREAM2B

Ringraziamenti

Grazie per l'attenzione

Attività scientifiche – Analisi metabolomiche
Prof.ssa M. Careri – Dipartimento SCVSA
Prof.ssa M. Mattarozzi – Dipartimento SCVSA
per il contributo alle attività di analisi metabolomica.

Attività sperimentali in campo – Azienda Agraria Sperimentale Stuard
Dott. S. Cornali
Dott. A. Rossetti
per il supporto e la collaborazione nelle attività sperimentali in campo.

Supporto amministrativo, gestionale e progettuale
Dott.ssa V. Manente – Progetto PR-FESR STREAM2B, per il lavoro di gestione amministrativa e rendicontazione del progetto.

Prof. A. Gambarotta – Direttore CIDEA, per lo stimolo e il contributo alla fase di ideazione e progettazione del progetto.

CIDEA
UNIVERSITÀ DI PARMA
STUARD LAB

COESIONE ITALIA 21-27 EMILIA-ROMAGNA
Cofinanziato dall'Unione europea
Regione Emilia-Romagna

PROGETTO REALIZZATO GRAZIE AI FONDI EUROPEI DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA