

IV CONGRESSO CONGIUNTO SICA - SISS - SIPE

ROOTS OF THE FUTURE

Suolo e pianta nel cambiamento globale:
tecnologie, degrado, sostenibilità

LIBRO DEGLI ABSTRACT



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO
DI SCIENZE E TECNOLOGIE
AGRO-ALIMENTARI



Bologna, 08-11 settembre 2026

Si ringraziano gli sponsor:



Frontiers in
Soil Science

A journal by  frontiers

biorepack



Bologna, 08-11 settembre 2026



ROOTS OF THE FUTURE
SUOLO E PIANTA NEL
CAMBIAMENTO GLOBALE



SESSIONE 1

Sfide per la resilienza degli
ecosistemi agro-forestali:
interazioni tra servizi
ecosistemici, cambiamento
climatico e impatti antropici



LA SALUTE DEL SUOLO NELLE POLITICHE EUROPEE E ITALIANE: QUADRO NORMATIVO E PROSPETTIVE

Costantini Edoardo AC

*International Union of Soil Sciences
CNR-IBE – Istituto per la Bioeconomia*

La salute del suolo è diventata una priorità strategica delle politiche europee, in risposta a un degrado sempre più diffuso. Il cambiamento di paradigma prende avvio con il Green Deal europeo, che riconosce il suolo come capitale naturale essenziale per la neutralità climatica, la tutela della biodiversità e la resilienza degli ecosistemi. In questo quadro si inseriscono la Missione "A Soil Deal for Europe", che punta ad avere almeno il 75% dei suoli europei in buona salute entro il 2030 attraverso Living Labs e Lighthouse, e un insieme coordinato di strumenti normativi che comprendono la Soil Monitoring Law (SML), il Regolamento sulla certificazione delle rimozioni di carbonio (CRCF) e la Nature Restoration Law (NRL). La SML introduce un sistema armonizzato europeo di monitoraggio basato su indicatori fisici, chimici e biologici, definisce criteri comuni per valutare la salute del suolo e richiede agli Stati membri di sviluppare sistemi di monitoraggio, individuare soglie operative e predisporre piani di risanamento. La disponibilità di dati affidabili e confrontabili rappresenta il presupposto per orientare le politiche di gestione sostenibile e valutare nel tempo l'efficacia degli interventi. Un ruolo crescente è attribuito al carbon farming, incluso nel CRCF, che promuove pratiche agricole capaci di aumentare il carbonio organico del suolo e ridurre le emissioni di gas serra. La certificazione dei crediti di carbonio richiede sistemi rigorosi di monitoraggio, rendicontazione e verifica. La NRL completa il quadro imponendo il ripristino degli ecosistemi degradati, includendo suoli agricoli e forestali, torbiere e zone umide. L'Italia dovrà predisporre un Piano Nazionale di Ripristino integrato con la pianificazione territoriale. Nel contesto nazionale, gli obiettivi europei trovano attuazione attraverso il PNRR, la Rete PAC e programmi di coordinamento come SOILHUB2 e ISPRA-SNPA. Le prospettive al 2030-2035 prevedono il recepimento della SML, incentivi alla rigenerazione, un portale nazionale dei dati.

Mentre il quadro europeo è ormai coerente e strutturato, con obiettivi chiari anche se probabilmente troppo ambiziosi, in Italia mancano ancora una strategia nazionale per il suolo ben definita e una cabina di regia nazionale. La sfida principale sarà integrare gli strumenti attuali in una governance unitaria, fondata su solide conoscenze scientifiche e capace di collocare il suolo al centro delle politiche agricole, ambientali e di sviluppo sostenibile.



A SOIL ASSESSMENT TO GUIDE THE REINTRODUCTION OF *CYTISUS AEOLICUS* IN THE AEOLIAN ISLANDS

Chiodi C¹, Zardinoni G¹, Gavinelli F¹, Shunlei L¹, Blandino C², Squartini A¹, Concheri G¹, Celi L³, Celletti S³, Cagnin M¹, Stevanato P¹, Andriani V⁴, Pasquini S⁴, Cristaudo A²

¹ Department of Agronomy, Food, Natural Resources, Animals and Environment (DAFNAE), University of Padua

² Department of Biological, Geological and Environmental Sciences (DBGES), University of Catania

³ Department of Agricultural, Forest and Food Sciences (DISAFA), University of Turin
⁴ Centro Nazionale Carabinieri Biodiversità Peri

Parole chiave: *Cytisus aeolicus* conservation, Plant–soil interactions, Soil microbiome, Volcanic soils, Mediterranean island restoration

Cytisus aeolicus Guss. (Fabaceae) is a perennial shrub endemic to the Aeolian archipelago and classified as Endangered by the International Union for Conservation of Nature (IUCN). The species currently survives in only three islands, with its largest natural population on Stromboli, a small and declining population on Alicudi, and no confirmed wild population on Vulcano, where it persists only in cultivation. Reinforcement actions for the Vulcano populations have been planned in the framework of the LIFE SEEDFORCE project. However, identifying the key environmental factors that support the survival of reintroduced plants is fundamental for effective conservation strategies: our interdisciplinary study combines botanical expertise from the University of Catania with soil chemical and microbial analyses from the University of Padova, to identify the key environmental drivers and the optimal ecological and pedological niches supporting the long-term survival of reintroduced plants. We compared the natural habitats of Stromboli with potential reintroduction sites on Vulcano by jointly analysing soil chemistry and microbiome composition, CNS elemental analysis, using X-ray fluorescence (XRF), and 16S rRNA gene sequencing. Preliminary results reveal marked edaphic differences between the islands: Vulcano soils show distinct texture and pH, higher levels of exchangeable calcium, potassium, and magnesium, and greater organic carbon content than Stromboli. While microbial alpha diversity did not differ significantly at the genus level, beta diversity indicates distinct species-level community structures. By integrating soil chemistry and microbiome ecology, this study identifies the edaphic and microbial conditions that characterize suitable reintroduction sites and provides an evidence-based framework to guide the reinforcement action scheduled for October, helping to overcome past constraints and secure the long-term conservation of this iconic Aeolian endemic.

Life Seedforce received funding by the Life Programme - The European Union funding instrument for the environment and climate action, under contract LIFE20/NAT/IT/001468. Project website: <https://lifeseedforce.eu/>



ANALISI INTEGRATA MEDIANTE FTIR-ATR E SEM-EDS DI MICROPLASTICHE NEI SUOLI DUNALI DEL MOLISE

Cusano M, Circelli L, Angelico R, Colombo C, Di Iorio E

Dipartimento Agricoltura, Ambiente e Alimenti, Università degli Studi del Molise

Parole chiave: Microplastiche, suolo, spettroscopia ATR, microscopia elettronica SEM

L'inquinamento da microplastiche (MPs) rappresenta una problematica ambientale crescente, dovuta alla loro persistenza e alla scarsa biodegradabilità. Sebbene inizialmente l'attenzione si sia concentrata sugli ambienti marini, negli ultimi anni è emersa una significativa presenza di MPs anche negli ecosistemi terrestri, in particolare nei suoli costieri. Nel suolo, queste particelle possono alterare le proprietà fisiche e biologiche, con potenziali effetti negativi sulla fertilità e sulle interazioni suolo-pianta. Tuttavia, lo studio delle MPs nei suoli è ancora limitato, soprattutto a causa delle difficoltà legate alla loro estrazione, identificazione e quantificazione in matrici complesse. In questo contesto, il presente studio indaga la presenza e la tipologia di MPs nei suoli sabbiosi di ambienti dunali situati a Campomarino (Molise), valutando anche l'efficacia di diverse metodologie di identificazione. Sono state applicate tecniche d'indagine a scala micrometrica, quali la spettroscopia FTIR-ATR e la microscopia elettronica a scansione (SEM), al fine di identificare le principali tipologie di polimeri plastici di sintesi presenti nei suoli e per descriverne le caratteristiche morfologiche. Mediante la spettroscopia ATR-FTIR sono stati acquisiti 70 spettri di particelle separate manualmente da campioni di suolo preventivamente setacciati. Gli spettri FTIR sono stati messi a confronto con spettri di una libreria interna composta da 52 polimeri plastici standard. L'analisi delle componenti principali (PCA) ha evidenziato una buona corrispondenza tra i campioni e gli standard polimerici, supportando l'accuratezza dell'identificazione. L'analisi della correlazione spettrale delle bande ha permesso di individuare le plastiche maggiormente presenti nei suoli esaminati. L'osservazione al SEM ha consentito di caratterizzare la morfologia delle particelle, evidenziandone i principali segni di degradazione superficiale. L'analisi elementale mediante EDS ha fornito informazioni aggiuntive sull'eventuale presenza di additivi o sulla contaminazione da materiale organico e inorganico. I risultati di questa ricerca evidenziano che l'identificazione e la caratterizzazione delle microplastiche nella matrice suolo richiedono un approccio integrato basato su metodi complementari. Inoltre, lo studio evidenzia la necessità di sviluppare protocolli analitici standardizzati per garantire una comparabilità tra i diversi studi e per ottenere procedure più accurate per misurare il grado di inquinamento delle microplastiche negli ecosistemi terrestri.



INFLUENCE OF WARMING, REDOX DYNAMICS, AND EXOGENOUS ORGANIC MATTER ON IRON PLAQUE MINERALOGY IN PADDY SOILS

Giannetta B¹, Pellegrini E², Moro D², Oliveira De Souza D³, Zaccone C⁴

¹ Department of Agricultural Sciences, Food, Natural Resources and Engineering (DAFNE),
University of Foggia

² Department of Agricultural, Food, Environmental and Animal Sciences, University of Udine

³ Institute of Physics, Rio de Janeiro State University, Brazil

⁴ Department of Biotechnology, University of Verona

Parole chiave: paddy soils; iron plaque; Fe redox cycling; warming; digestate

Rice paddy soils play a central role in global carbon (C) cycling and food security. Nevertheless, climate warming, drought stress in particular, threaten soil organic carbon (SOC) stability by modifying redox-driven biogeochemical processes. This study investigates how warming, flooding regime, and exogenous organic matter interact in controlling iron (Fe) plaque formation and root trait development in rice (*Oryza sativa* L.), a key interface regulating Fe-mediated SOC stabilization and mineralization.

A field experiment was conducted using open-top chambers to simulate warming (+2 °C; WR) relative to ambient temperature (AM). Rice plants were grown under normal flooding (NF) or reduced flooding (RF), with or without anaerobic digestate amendment. Root Fe plaque formation was quantified to assess treatment-driven redox responses. To investigate Fe speciation changes within the plaque, Fe K-edge X-ray Absorption Spectroscopy (XAS) analyses were performed. Under reduced flooding, periodic soil re-oxygenation interrupted prolonged anoxia and limited Fe reduction, promoting comparatively more stable and crystalline Fe mineral assemblages. RF treatments generally showed higher contributions of hematite and less ferrihydrite-rich assemblages, suggesting greater mineral aging and structural reorganization during oxic phases. Under warming and waterlogging conditions, plaques showed increased contributions of ferrihydrite and lepidocrocite, indicating enhanced Fe redox turnover and the formation of reactive and poorly crystalline Fe phases. Across both flooding regimes, digestate amendment modified Fe plaque abundance and Fe mineral transformation pathways, indicating that exogenous organic matter strongly influenced Fe redox dynamics and mineral formation. Moreover, pre-edge centroid positions, used as indicators of the average oxidation state of Fe atoms within the plaques, were generally lower and more variable under NF than under RF, indicating that continuous flooding promoted more reduced and dynamically cycled Fe pools.

Overall, the results highlight how flooding regime, warming, and exogenous organic matter jointly regulate Fe mineral transformations and Fe redox turnover within rice root plaques, with potential consequences for Fe-mediated organic matter stabilization in paddy soils.



PEDOTECNOLOGIA DELLA RICOSTITUZIONE “IN SITU” PER L'ABBATTIMENTO DELL'INDICE DI INCROSTAMENTO NEI SUOLI LIMOSI DEGRADATI

Manfredi P

mcm Ecosistemi srl

Parole chiave: Indice di incrostamento, permeabilità superficiale, stabilità di struttura, suoli degradati, rigenerazione suoli

L'evento alluvionale che ha interessato il territorio romagnolo nella primavera del 2023 ha investito vaste aree di terreni agricoli, ricoprendo le loro superfici con spessi strati di sedimenti di natura limosa portando a delle gravi criticità, soprattutto sulla fertilità fisica dei suoli coinvolti. Le problematiche principali, rappresentate dagli elevati indici di incrostamento e da una molto bassa permeabilità superficiale, sono apparse di difficile soluzione per il ripristino dell'originaria fertilità sia per l'insostenibilità logistica ed economica degli interventi di rimozione, sia per l'individuazione di lavorazioni meccaniche sui suoli atte alla rigenerazione in tempi ragionevoli dei danni subiti. Le complessità nell'individuare risoluzioni concrete sulle gravi criticità dei terreni romagnoli ha indotto alla realizzazione di una ricerca nel settore della pedotecnologia miratamente diretta alla riduzione dell'indice di incrostamento, all'incremento della permeabilità superficiale e della stabilità degli aggregati. L'approccio utilizzato è stato quello della tecnologia della ricostituzione^[1] dei suoli nella sua nuova modalità di trattamento in situ, ovvero, operando direttamente sulla superficie dei terreni le lavorazioni di miscelazione, disaggregazione e ricostituzione e adottando degli specifici dosaggi di differenti tipologie strutturali di sostanza organica secondo i fabbisogni derivati dalle formule di Rémy Marin Lafliche^[2] per la determinazione dell'indice di incrostamento e di Pieri^[3] sulla stabilità degli aggregati. Unitamente a tali dosaggi sono state utilizzate due forme strutturali di sostanza organica da integrare nei suoli: una frazione fibrosa e una amorfa per agire rispettivamente sulle frazioni strutturali del suolo grossolane e fini. La sperimentazione è stata condotta su tre campi prova nell'azienda Agricola Fertilia (PC) in suoli limosi con forte carenza di sostanza organica: in due campi sono stati effettuati trattamenti a differenti dosaggi, il terzo senza trattamento.

Gli esiti delle prove hanno confermato una forte riduzione dell'indice di incrostamento, un incremento della permeabilità superficiale, un aumento della stabilità di struttura ed un incremento della fertilità globale (incremento del tasso di saturazione, della capacità di scambio cationico, della percentuale in Potassio scambiabile) grazie al dosaggio delle matrici organiche aggiunte. La sperimentazione condotta è stata associata a prove agronomiche nelle annate 2023-2024 su mais e su frumento duro con esiti produttivi superiori rispettivamente del 9% e del 20% rispetto al campo non trattato.

[1] Manfredi P, Cassinari C, Trevisan M. (2022). doi: 10.1016/j.eti.2021.102246

[2] Rémy J.C., Marin-Lafliche A. (1974). Ann Agronomiques 25(4):607–632

[3] Pieri C.J.M.G. (1992). Springer-Verlag, Berlin, Germany



THE CHALLENGE OF SOIL VARIABILITY IN THE HILLY HIGH-QUALITY VINEYARDS OF PIEMONTE, ITALY: EFFECTS ON VINE PERFORMANCE

Negri S¹, Vereshchagina D¹, Revchuk S¹, Stanchi S¹, Ganugi P¹, Schiavon M¹, Savoi S¹, Eberle D², Sabbatini P¹, Bonifacio E¹

¹ Department of Agricultural, Forest and Food Sciences, University of Torino

² Vite Colte Spa, Barolo, Italy

Parole chiave: *Vitis vinifera* L., calcareous soils, precision viticulture

The wine sector economic stability is threatened by the poor sustainability of conventional systems, compromising both plant productivity and soil health. Italy holds a prominent position in wine production. In Langhe and Monferrato hills of Piemonte, approximately 20,000 ha are vineyards. In these areas, soils are calcareous, clay-rich, low in organic matter (OM) content, and vulnerable to accelerated erosion. Climate change exacerbates the situation, leading to inconsistent berry quality and fluctuating yields. It is urgent to develop precision viticulture practices aimed at optimizing sustainable vineyard management, considering spatial heterogeneity at the vineyard scale.

We selected two study areas cultivated with prestigious local grapevine varieties, Barbera and Nebbiolo, both included in Piemonte Living Lab of LivingSoiLL project. Our goal was to investigate how topsoil spatial variability would influence resource allocation towards either vegetative vigor or fruit ripening.

At both sites, topography drove the particle-size distributions along the slopes. Available phosphorus (P) was higher in the presence of higher OM or clay contents, while bulk density was correspondingly higher in OM-poorer spots. For both varieties, vegetative vigor prevailed over fruit ripening: (i) at lower calcium carbonate contents, with a greater tolerance of Nebbiolo; (ii) at lower sand contents (Barbera is limited already at ca. 20% sand content, while Nebbiolo at ca. 40%); (iii) in presence of clay contents >30% for Barbera, while Nebbiolo adopts an opposite strategy, favoring berry ripening with clay contents >25%; (iv) at high OM contents for both varieties (again, Nebbiolo seems to tolerate higher OM contents before shifting from fruit ripening to vegetative vigor).

It is forecasted that greater summer stress will be imposed on these systems (under RCP 8.5). Therefore, the understanding of soil-plant relationships in these heterogeneous landscapes is crucial for the development of tailored management practices that may include variable application rates of amendments/fertilizers, differential harvest, or one-time selective harvest. These and other possibilities could be implemented to sustainably manage these vineyards without compromising the ability of future generations to equally produce one of the most valuable agricultural products in the world.



MELATONIN AND SEROTONIN DIFFERENTIALLY MODULATE GROWTH, METABOLISM AND ANTIOXIDANT RESPONSES OF LETTUCE UNDER SALINITY STRESS

Zhang L¹, Criscuolo R^{1,2}, Becchi PP¹, Montesano S³, Pii Y³, Lucini L¹

¹ Department for Sustainable Food Process, Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

² Department of Science, Technology and Society, Scuola Universitaria Superiore IUSS Pavia

³ Faculty of Science and Technology, Free University of Bozen-Bolzano

Parole chiave: salt stress, melatonin, serotonin, hormone cross-talk, hydroponic

Soil salinization reduces global agricultural productivity each year by impairing plant growth and metabolic function. While melatonin (N-acetyl-5-methoxytryptamine; MLT) is known to be an effective regulator of plant growth and development in response to abiotic stress, the role of serotonin (5-hydroxytryptamine; SER) in mitigating abiotic stress remains comparatively underexplored. The present study investigates, under both non-stress and salt-stress conditions (NaCl, 150 mM), the effect of MLT (100 μ M), SER (100 μ M), and their combinations (MLT+SER) on lettuce (*Lactuca sativa* L. var canasta) under hydroponic conditions. Exogenous treatments were applied four times over nine days, beginning at the onset of salinity stress. Specifically, we assessed plant morphological traits (shoot and root fresh weight) and key physiological parameters, including photosynthetic performance, chlorophyll content, and relative water content. In addition, ionomic profiling was performed to determine how the treatments influenced plant nutrient accumulation and homeostasis. Finally, untargeted metabolomics was employed to characterize plant metabolic responses and to explore potential hormone cross-talk underlying the observed physiological effects.

Results revealed a positive role of SER in plant growth in both shoots and roots, as well as in photosynthetic performance, particularly under stress conditions. In contrast, MLT exerted a markedly stronger antioxidant effect, significantly reducing ROS accumulation, as indicated by oxidative marker quantification (e.g., H₂O₂ and MDA) when applied alone or in combination. The metabolite profile revealed that the three treatments (MLT, SER, MLT+SER) under both control and salinity conditions modulated secondary metabolite accumulation in leaves and roots, primarily affecting isoprenoids, phenylpropanoids, and polyketides. Moreover, AMOPLS-DA revealed that the interaction between stressor and treatment is found to have a more significant effect in the individual treatment as a mitigator. These results laid the groundwork for future studies on the use of serotonin to enhance plant tolerance to salinity stress.



BEHAVIOR UNDER UV IRRADIATION OF BIOACTIVE COMPOUNDS WITH POTENTIAL HERBICIDAL ACTIVITY RECOVERED FROM PLANT BIOMASS RESIDUES

Bacci L¹, Montegiove N², Zikeli F³, Puglia D³, Gigliotti G², Orlandi F², Fornaciari M²,
Quaglia G¹, Cesaretti A¹, Elisei F¹, Pezzolla D², Latterini L¹

¹ Department of Chemistry, Biology and Biotechnology, University of Perugia

² Department of Civil and Environmental Engineering, University of Perugia

³ Department of Civil and Environmental Engineering, University of Perugia

Parole chiave: Bioactive compounds, Photodegradation, UV irradiation, FTIR spectra, Circular economy

The growing demand for sustainable agricultural practices has intensified interest in natural alternatives to synthetic herbicides. In this context, plant biomass residues represent a valuable source of bioactive molecules with potential herbicidal properties. This work aims to investigate the photostability of bioactive compounds derived from plant biomass residues under UV exposure, focusing on the transformations induced by irradiation. Extracts were obtained from discarded leaves and branches of eight plant species (*Ailanthus altissima* Mill., *Prunus persica* (L.) Batsch, *Nerium oleander* L., *Pinus* spp. L., *Olea europaea* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Corylus avellane* L., *Juglans regia* L.), potentially having phytotoxic secondary metabolites, as well as for their widespread availability in agricultural, domestic, and urban environments. Extractions were carried out using a microwave-assisted method, by using a 50:50 (v/v) water-ethanol mixture as the extraction solvent for 10 minutes. Each extract was firstly characterized by ATR-IR Attenuated Total Reflectance Infrared Spectroscopy to identify and compare its main functional groups, with particular emphasis on the region between 1500 and 800 cm⁻¹. The possible photodegradation was then investigated by exposing the extracts to UV irradiation (LED lamp, 3.38 mW cm⁻²) for up to 2 hours. ATR-IR analysis revealed clear differences among the extracts, with a distinct spectral profile for each sample. Specifically, variations were observed in the bands at 1253 cm⁻¹, assigned to aromatic ester stretching, and in the 1040–1030 cm⁻¹ region, associated with C–O and C–O–C glycosidic vibrations. These differences suggest species-specific variations in the composition of esterified and glycosylated secondary metabolites, providing a characteristic chemical fingerprint for each extract. After 2 hours of UV irradiation in all samples, no significant changes were observed in the peak positions or signal intensities, indicating overall photostability of the extracts under the tested conditions. The only exception was the *Ailanthus* sample, which showed opposite relative intensities of the 1030–1040 cm⁻¹ bands, likely due to changes in C–O bond deformation. The plant-derived extracts showed overall photostability under UV irradiation, with no significant structural degradation or chemical alteration under environmental light exposure. This preliminary characterization will provide key information on the stability of the extracts and their active compounds, paving the way for the subsequent assessment of their herbicidal effect on certain selected weed species through biological tests that will then be carried out. Based on the results obtained, the most effective extracts will be further characterized by HPLC analysis to identify the compounds responsible for their herbicidal activity.



ONE HEALTH E RESILIENZA DEGLI AGROECOSISTEMI: IL PROBLEM FORMULATION COME STRUMENTO DI GOVERNANCE PER INTEGRARE I SERVIZI ECOSISTEMICI NELLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DEI PESTICIDI

Calliera M¹, Capri E^{1,2}

¹ Opera Research Centre, Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza

² DISTAS Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza

Parole chiave: One Health; PPPs e specific protection goals; servizi ecosistemici; problem formulation; governance partecipativa

L'approccio One Health, fondato sull'interconnessione tra salute umana, animale e ambientale, offre una cornice interpretativa essenziale per ripensare la governance dei prodotti fitosanitari (PPP) in relazione alla resilienza degli agroecosistemi. L'attuale quadro regolatorio europeo – basato sul Reg. CE 1107/2009 e sugli indicatori di rischio armonizzati (HRI) – misura prevalentemente il pericolo (hazard) piuttosto che il rischio reale, inteso come combinazione tra pericolo ed esposizione effettiva. Questo disallineamento può generare conseguenze non intenzionali nei processi di sostituzione di sostanze attive, in cui composti con profilo hazard più favorevole non risultano necessariamente meno rischiosi per la biodiversità e i servizi ecosistemici.

Il contributo analizza il gap tra framework concettuale e pratica autorizzativa con riferimento agli Specific Protection Goals (SPG) basati sui servizi ecosistemici, sviluppati da EFSA dal 2016 ma non ancora sistematicamente integrati nelle procedure correnti. I recenti mandati europei sulla ecotossicologia terrestre e sugli effetti indiretti sulla biodiversità confermano che questo processo è attivamente in corso a livello scientifico-istituzionale, attraverso iniziative di partnership per una valutazione del rischio ambientale di nuova generazione. In questo quadro, una problem formulation strutturata e trasparente rappresenta il presupposto metodologico per colmare questo divario.

Tuttavia, per tradurre questi strumenti in governance realmente operativa in chiave One Health, è necessario affiancare percorsi partecipativi strutturati che coinvolgano attori territoriali – agricoltori, consulenti agronomi, comunità rurali, gestori ambientali – nella definizione stessa degli obiettivi di protezione. Recenti esperienze di consultazione multi-stakeholder in contesti agricoli italiani mostrano che le scelte operative degli agricoltori sono guidate principalmente da fattori economici e percettivi locali, con il rischio economico che supera il peso della valutazione del rischio formale nei criteri decisionali. Questo conferma che fattori comportamentali e socioculturali non possono essere catturati da soli processi tecnico-scientifici. Un modello di governance adattivo e inclusivo – che integri conoscenza scientifica, sapere esperto territoriale e prospettive degli stakeholder già nella fase di problem formulation, riconoscendo il ruolo chiave dei consulenti agronomici come mediatori – appare condizione necessaria per costruire sistemi agro-forestali resilienti coerenti con gli obiettivi del Green Deal europeo.



SECONDARY FOREST SUCCESSION ALTERS SOIL CARBON AND NITROGEN CYCLING AND PHYSICAL PROPERTIES IN ALPINE LARCH-DOMINATED LANDSCAPES: A CASE STUDY FROM TELLINOD (N-W IT ALPS)

Cesarini V^{1,2}, Girardi A², Benech A², Galvagno M³, Pintaldi E^{2,4}, Freppaz M^{2,4}, Stanchi S^{2,4}

¹ University School for Advanced Studies IUSS Pavia

² DISAFA, University of Torino

³ Regional Agency for Environmental Protection (ARPA), Aosta

⁴ Alpine Soil Partnership

Parole chiave:

The progressive abandonment of pastoral activities in alpine regions promotes secondary forest succession, leading to shrub and tree encroachment and the loss of semi-natural alpine grasslands. In Italy, about 42% of these grasslands have disappeared over the last 150 years. Besides vegetation changes, succession alters soil chemical, physical, and biological properties (e.g. pH, C and N content, aggregate stability, microbial communities), thereby affecting soil ecosystem services. However, studies of the effect of secondary succession on soils in larch-dominated alpine environments remain scarce. This study presents preliminary findings on how the dynamic of the vegetation affects soil properties, with a focus on C and N cycling, and their implications for ecosystem services. This ongoing study will include 3 vegetative seasons. Here we present the preliminary results from the first 2 years of sampling. The research was conducted at the LTER site of Tellinod (Aosta Valley, northwestern Italy), where five successional stages were identified: (i) active pasture, (ii) abandoned pasture, (iii) shrubland, (iv) tree colonization front, and (v) mature larch forest. Soil sampling included an initial survey of 50 samples across representative plots, followed by seasonal campaigns (July, August, October) over 2024–2025, totaling 400 samples. Results show that succession significantly affects both chemical and physical soil properties. Grazing-induced compaction persists nearly two decades after abandonment. Mature forests showed lower aggregate stability and higher erodibility, while soil C and N content declined gradually along the sequence. Although inorganic N (DIN) decreased along succession, the increasing Nitrification Relative Index (NRI) indicates shifts in ammonification and nitrification dynamics consistent with changes in organic matter inputs. DOC shows a non-linear pattern, increasing in shrublands and the larch front but decreasing in mature forests, suggesting a transition from labile, microbially active systems to more conservative ones. These results highlight the importance of long-term monitoring of soil biogeochemical dynamics, as they regulate key ecosystem services, such as nutrient retention, carbon sequestration, and soil structural stability in alpine ecosystems undergoing land-use change and succession. The completion of the case study in summer 2026 will allow a more comprehensive assessment of the succession dynamics.



EFFETTI DELLA DIVERSA GESTIONE DEL SUOLO E DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLE DINAMICHE DEGLI STOCK DI CARBONIO ORGANICO NEI VIGNETI

Galluzzi G¹, Capri C¹, Andreolli M¹, Lamastra L², Lampis S¹, Zaccone C¹

¹ Dipartimento di Biotecnologie, Università di Verona

² DISTAS, Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

Parole chiave: sostanza organica del suolo, MAOM, POM, warming, LCA

Il cambiamento climatico incide in maniera significativa sugli stock di carbonio organico del suolo (SOC) nonché sulla biodiversità microbica di diversi agroecosistemi, compresi i vigneti. Data l'ampia diffusione della coltivazione della vite, il settore vitivinicolo è chiamato a conciliare la competitività economica ed agronomica con la tutela ambientale. Per tale ragione, il progetto SUSTAIN ha come obiettivo principale determinare il potenziale dei vigneti nell'accumulare SOC nel contesto attuale del cambiamento climatico. Lo studio è stato condotto in tre vigneti del Veneto (Negrar di Valpolicella, NG; Albaredo d'Adige, AD; Lonigo, LO) caratterizzati da differenti condizioni pedologiche, climatiche e varietali (Corvina, Glera, Garganega rispettivamente). In ogni sito è stato adottato un disegno sperimentale a blocchi randomizzati (3 blocchi con 8 parcelle ciascuno) per valutare l'effetto e la relativa interazione di due fattori. Il primo riguarda la gestione del suolo nel sottofilo, con il confronto tra suolo nudo (B), applicazione di digestato solido (D) ed inerbimento (G) rispetto ad un controllo senza vite. Parallelamente, l'installazione di open-top chambers ha permesso di simulare un incremento di temperatura di circa 2 °C (scenario SSP2-4.5), confrontando quindi l'effetto del riscaldamento (W) rispetto alla temperatura ambientale (E). I suoli campionati a 6 (t6), 12 (t12) e 18 (t18) mesi dall'installazione delle OTC, e a tre profondità (0-15, 15-30 e 30-45 cm), sono stati caratterizzati dal punto di vista fisico, chimico e microbiologico. Da ciascun campione sono state isolate la sostanza organica associata ai minerali e quella particolata (MAOM e POM, rispettivamente) e caratterizzate mediante analisi elementare e termica. Inoltre, per ogni topsoil (0-15 cm) sono stati eseguiti saggi enzimatici (ureasi, fosfatasi ed FDAH) ed estratto il DNA per l'analisi metagenomica. I risultati preliminari indicano l'assenza di differenze significative del SOC a seguito di riscaldamento nel breve periodo (t6). Al netto delle OTC, il vigneto AD presenta un leggero incremento del SOC in tutti i trattamenti rispetto ai controlli, mentre nei vigneti NG e LO, l'incremento avviene solo nei plots G. In particolare, nel vigneto NG al tempo t6, i plot WG e EG presentano un incremento della concentrazione del SOC rispettivamente del ca. 50 e 20% rispetto ai rispettivi controlli (WC ed EC). La POM svolge un ruolo più rilevante nell'accumulo di SOC soprattutto dei plot G ma, indipendentemente dal vigneto e dalla gestione del suolo, risulta essere la più labile, come dimostrato dall'analisi termica. Al contrario, la MAOM rappresenta il principale stock di SOC (ca. 75%), la cui stabilità aumenta con la profondità. Le analisi microbiologiche hanno evidenziato differenze significative nelle comunità batteriche tra i diversi vigneti sperimentali, mentre non sono emerse variazioni di rilievo in risposta ai trattamenti di gestione del suolo o alla manipolazione climatica nel breve periodo. Parallelamente, l'analisi del ciclo di vita (LCA - ISO 14040), integrando i dati sperimentali con gli inventari aziendali, ha consentito di stimare l'impronta di carbonio (carbon footprint) associata alle diverse gestioni. In definitiva, il presente studio individuerà strategie di gestione del suolo capaci di potenziare il sequestro di carbonio nel lungo periodo, riducendo l'impatto ambientale complessivo della viticoltura.

Studio condotto nell'ambito del progetto SUSTAIN "SeqUeSTro del cArbonio in vlgNeto: utilizzo di biomasse in uno scenario di cambiamento climatico" finanziato dal MASAF (Area 2; D.M. n. 419782 del 14/08/2023).



EFFETTI DI PRATICHE AGRONOMICHE SOSTENIBILI SULLA LOMBRICOFAUNA IN AMBIENTE VITATO: RISULTATI PRELIMINARI DEL PROGETTO CARBOVIT

Gavinelli F¹, Tomasi D², Pizzol M², Squartini A¹, Stevanato P¹, Concheri G¹

¹ *Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente. Università degli Studi di Padova*

² *Consorzio di Tutela del Conegliano Valdobbiadene Prosecco DOCG, Treviso*

Parole chiave: qualità del suolo, indicatori ambientali, lombricofauna, viticoltura sostenibile, fertilizzazione organica.

La qualità del suolo e la gestione agronomica sostenibile sono elementi fondamentali per la resilienza e la produttività dei sistemi viticoli. Recenti meta-analisi hanno evidenziato che pratiche quali la lavorazione intensiva del suolo, il mantenimento del suolo nudo e la fertilizzazione minerale riducono significativamente la biodiversità edafica, mentre le cover crop, i fertilizzanti organici e i residui di potatura ne favoriscono la vitalità. In questo contesto, i lombrichi, insieme ad altre componenti della fauna edafica, rappresentano efficaci indicatori della qualità del suolo, grazie alla loro sensibilità ai cambiamenti ambientali e al ruolo svolto nei processi di decomposizione della sostanza organica, di strutturazione del suolo e di ciclo dei nutrienti.

Il presente studio è stato sviluppato nell'ambito del progetto CARBOVIT, finalizzato a promuovere pratiche di fertilizzazione sostenibili basate sull'impiego di sostanza organica e su strategie di carbon farming nei vigneti.

L'obiettivo della ricerca è stato valutare l'impatto di diverse strategie di fertilizzazione, organiche e minerali, sulla comunità di lombrichi, su altre componenti della fauna edafica e sugli indicatori della qualità del suolo in sette vigneti della provincia di Treviso coltivati a Glera. I trattamenti comprendevano compost, letame, sovescio, fertilizzanti organici pellettati e concimazione minerale a base di solfato ammonico.

I risultati evidenziano una forte influenza della gestione, con effetti legati alla compattazione, alla tessitura e alla disponibilità idrica. Lo studio conferma il valore dei lombrichi come indicatori biologici della qualità del suolo e sottolinea il ruolo delle pratiche organiche nel mantenimento della biodiversità edafica e della resilienza degli agroecosistemi viticoli.

Paoletti, M.G., et al. (1998). [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(98\)00036-3](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00036-3)

Gontier, L., et al. (2025). <https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2025.8481>

Giffard B, et al. (2022). doi: 10.3389/fevo.2022.850272

CSR Veneto 2023-2027. CARBOVIT: Carbonio e Azoto da agricoltura Rigenerativa mediante tecniche BiO sostenibili in VigneTo. CUP B79H25000030009.



SOIL CARBON SEQUESTRATION AND CLIMATE MITIGATION FROM WHEAT STRAW BIOCHAR: A DYNAMIC LCA ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL TRADE-OFFS

Lamastra L, Voccia D, Suciù NA, Trevisan M

DISTAS Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza

Parole chiave:

The conversion of agricultural residues into biochar is widely proposed as a carbon dioxide removal (CDR) strategy, yet its overall sustainability depends heavily on system configuration. This study assesses the climate mitigation potential and environmental trade-offs of converting wheat straw into biochar in Italy, combining dynamic soil carbon modeling with life cycle assessment (LCA).

Soil carbon dynamics were simulated over a 100-year horizon, comparing direct straw incorporation with biochar application. Results show a substantially higher persistence of biochar-derived carbon, with about 96% retained after 100 years, whereas straw-derived carbon is largely mineralised within the first decade. At the functional unit scale (1 t of straw carbon), the biochar system achieves a net climate benefit of $-1.19 \text{ t CO}_2\text{eq}$, mainly driven by long-term carbon sequestration and avoided emissions from energy recovery.

However, multi-impact LCA results highlight significant environmental trade-offs, with net burdens in most impact categories due to the energy demand of the pyrolysis process. Sensitivity analysis indicates that the energy source is the key driver determining whether the system delivers net environmental benefits.

These findings demonstrate that biochar systems cannot be considered inherently sustainable but rather condition dependent. The integration of low-carbon energy sources and process optimization is critical to ensure net benefits. This study provides a decision-oriented perspective to support the sustainable deployment of biochar within circular bioeconomy and climate mitigation strategies.



NUOVE SOLUZIONI DI ILLUMINAZIONE URBANA PER MITIGARE GLI EFFETTI DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO SU SPECIE ARBOREE DA ARREDO URBANO

Lauria G¹, D'Asaro L¹, Lo Piccolo E², Beltrami S², Alderotti F^{2,3}, Brunetti C^{2,3}, Gori A^{2,3}, Paoli L⁴, El Horri H^{1,4}, Landi M^{1,5}

¹ Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università di Pisa

² Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI),
Università di Firenze

³ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante,
Firenze

⁴ Dipartimento di Biologia, Università di Pisa

⁵ Centro Interdipartimentale per lo Studio degli Effetti dei Cambiamenti Climatici (CIRSEC),
Università di Pisa

Parole chiave: Illuminazione LED, Fisiologia delle piante, Fotosintesi, Illuminazione urbana

L'inquinamento luminoso urbano modifica profondamente l'ambiente notturno e può compromettere i ritmi fisiologici naturali degli alberi. Per valutarne gli effetti, quattro specie arboree tipiche dell'ambiente urbano i.e., *Platanus acerifolia*, *Populus nigra*, *Prunus cerasifera* "nigra" e *Liriodendron tulipifera* sono state esposte durante la notte a tre differenti illuminazioni LED stradali (neutral-white: NW, warm-white: WW, e uno spettro sperimentale arricchito in verde: V) oppure mantenute al buio come controllo. Lo studio, condotto in estate e autunno, ha valutato le performance fotosintetiche e le modifiche biochimiche sia durante il giorno che di notte.

Tutte le piante illuminate hanno mostrato assimilazione netta di CO₂ positiva durante la notte, a differenza dei controlli, che hanno mantenuto il normale trend respiratorio. In estate, i trattamenti neutral-white e warm-white hanno ridotto la fotosintesi all'alba, soprattutto per limitazioni stomatiche, senza evidenti stress idrici. Inoltre, *P. nigra* e *L. tulipifera* hanno evidenziato riduzioni fotosintetiche anche a mezzogiorno con gli spettri NW e WW. Al contrario, lo spettro V ha mantenuto valori più vicini ai controlli, suggerendo una minore interferenza fisiologica.

In autunno, l'esposizione notturna alla luce artificiale ha ritardato la dormienza fogliare in tutte le specie illuminate, che hanno conservato livelli fotosintetici superiori rispetto ai controlli. I risultati ottenuti confermano che la luce artificiale notturna altera il metabolismo fotosintetico e la fenologia degli alberi urbani, ma indicano anche che specifiche modulazioni spettrali, come l'arricchimento in verde, potrebbero ridurne l'impatto.

Lo sviluppo di sistemi di illuminazione urbana più sostenibili appare, quindi, essenziale per mitigare l'impatto dell'inquinamento luminoso sulla fisiologia degli alberi in città.

Progetto realizzato con il contributo del programma PRIN 2022, Progetto "StreeTLAMP – New streetlamp solutions to reduce the impact of urban light pollution on tree and lichen species". – Codice progetto 20222YF92Y CUP I53D2300480001.



ROOTS AND THE RHIZOSPHERE: A PERSPECTIVE ON THE HIDDEN ENGINE OF REGENERATIVE, ANTIFRAGILE, AND DIGITALLY ENABLED AGRICULTURE

Cesco S¹, Alzate Zuluaga MY¹, Cavani L², Borruso L^{1,3}, Laudicina VA^{4,5}, Mazzetto F¹, Mimmo T^{1,3}, Pii Y¹, Terzano R⁶, Astolfi S⁷

¹ Faculty of Agricultural, Environmental and Food Sciences, Free University of Bolzano

² Department of Agricultural and Food Sciences, Alma Mater Studiorum University of Bologna

³ Competence Centre for Plant Health, Free University of Bozen-Bolzano

⁴ Department of Agricultural, Food and Forest Sciences, University of Palermo

⁵ National Biodiversity Future Center (NBFC), MUR National Research Center, Palermo

⁶ Department of Soil, Plant and Food Sciences, University of Bari

⁷ Department of Agricultural and Forestry Sciences, University of Tuscia

Parole chiave: Soil fertility, Microbial ecology, Carbon sequestration, Nutrient cycling, Climate-resilient farming systems

For decades, agricultural optimization has focused primarily on aboveground yield and external inputs while neglecting the complexity and functional integrity of belowground processes. The rhizosphere, the dynamic zone surrounding roots, has long been investigated through isolated components but rarely in a holistic framework, despite its critical role in agroecosystem productivity, soil fertility, and sustainability. Moreover, the translation of this knowledge into routine farm-scale practice remains quite limited. This perspective argues for repositioning the rhizosphere at the centre of agricultural innovation. In this review, roots and their microbial partners are not only fundamental for crop performance but also drivers of antifragility, enabling farming systems to withstand and even improve under environmental stresses, while sustaining productivity. Integrating advances in root biology, soil chemistry, microbial ecology, and agronomics, this review shows that rhizosphere processes drive key biogeochemical functions such as carbon sequestration, nutrient cycling, and stress adaptation. Critical gaps include limited integration of root-microbiome traits in crop breeding, lack of field-ready rhizosphere diagnostics, and variable performance of microbial inoculants across soils and climates. Addressing these challenges is essential to operationalize rhizosphere science at field scale and support reduced-input, climate-resilient farming systems. Looking forward, emerging technologies ranging from high-resolution imaging and spectroscopy to artificial intelligence offer unprecedented insight into belowground complexity and a unique opportunity to bridge the gap between experimental insights and real-world farming. Ultimately, the review calls for a paradigm shift embedding rhizosphere processes into crop breeding, farming system design, and management strategies. Recognizing the rhizosphere as a primary entry point for innovation is essential for translating science into practical levers for regenerative, antifragile, and sustainable agriculture.



RESILIENZA DEL SUOLO ALLO STRESS TERMICO: IL CONTRIBUTO DEGLI AMMENDANTI ORGANICI IN UN VIGNETO

Paesano A, Cioffi N, Caponetti V, Marzadori M, Mazzon M

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-alimentari, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

Parole chiave: resilienza del suolo; resistenza del suolo; cambiamenti climatici; ammendanti organici; microbioma del suolo

Il cambiamento climatico sta rendendo le ondate di calore sempre più frequenti e intense, arrivando a registrare nel cosiddetto topsoil temperature fino a 35°, per cui, comprendere i meccanismi di resistenza e resilienza del suolo a tali stress è fondamentale per preservarne la funzionalità^[1]. In questo contesto, lo studio esplora l'effetto di diverse matrici organiche derivate da scarti, nel modulare la resistenza e la resilienza del suolo, anche in un'ottica di economia circolare. L'esperimento è stato condotto su suolo campionato in un vigneto sperimentale ammendato per sei anni con differenti fertilizzanti: controllo non trattato (CTRL), fertilizzazione minerale (MIN), compost derivato da rifiuto organico municipale (ACM) e gessi di defecazione da fanghi (GDF). Campioni di suolo superficiale (0–20 cm) sono stati incubati in microcosmi in condizioni controllate simulando una fase di acclimatazione (21–25 °C), e sequenze di stress termico (26–35 °C) e recupero post-stress. I campionamenti sono stati effettuati a tempi diversi rispetto alle fasi climatiche per valutare la risposta immediata e la capacità di recupero del sistema attraverso parametri biochimici come la respirazione basale, la biomassa microbica e le attività enzimatiche nel suolo.

I parametri biochimici hanno evidenziato una risposta differenziale ai cicli di stress termico in funzione della gestione organica: in particolare, durante la seconda fase di recupero la biomassa microbica in ACM è risultata circa +10% rispetto al controllo e +60% rispetto al MIN, mentre al termine dell'esperimento l'incremento ha raggiunto valori circa 3.2 volte superiori rispetto al controllo e 2.3 volte superiori rispetto al MIN. L'attività deidrogenasica è risultata complessivamente comparabile tra i trattamenti considerati, suggerendo una risposta relativamente stabile dell'attività ossidativa microbica. La respirazione basale del suolo ha evidenziato un incremento più marcato nei suoli con ACM nelle fasi successive allo stress termico. Durante la seconda fase di stress, i valori sono risultati circa 2 volte superiori rispetto al controllo, mentre nella successiva fase di recupero l'incremento ha raggiunto circa 2.4 volte il CTRL. Anche al termine dell'esperimento, la respirazione basale nei suoli ACM si è mantenuta circa +74% più elevata rispetto al controllo, indicando una maggiore attività microbica e disponibilità di substrati organici. Nel complesso, i risultati indicano che l'applicazione di matrici organiche, in particolare compost, contribuisca al mantenimento della funzionalità biologica del suolo e dell'attività microbica in condizioni di stress termico ripetuto^[2]. Ulteriori approfondimenti saranno dedicati alla caratterizzazione del microbioma del suolo, e ad analisi trascrittomiche, al fine di approfondire i meccanismi microbici alla base della resilienza osservata nei suoli ammendati con matrici organiche.

[1] Allison S.D., Martiny J.B.H. (2008). Proceedings of the National Academy of Sciences, 105, 11512–11519.

[2] Griffiths B.S., Philippot L. (2013). IFEMS Microbiology Reviews, 37(2), 112–129.



EFFETTI DI LUNGO PERIODO DELL'AGROFORESTAZIONE SULLA SALUTE DEL SUOLO: EVIDENZE DAL PROGETTO EUROPEO 'EARTHONE'

Quintarelli V¹, Agostinetto L², Bondesan V², Furlan L², Chiarini F², Carletti P¹, Renella G¹

¹ Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse Naturali e Ambiente, Università degli Studi di Padova

² Veneto Agricoltura

Parole chiave: Suolo; Agro-forestazione; Salute del suolo; Funzionalità del suolo;

Il progetto finanziato dall'Unione Europea Environmental Analysis and Resilience for Transformative Human-Optimised Natural Environments 'EARTHONE' ha l'obiettivo di aumentare la comprensione dei fattori che influenzano i flussi di emissioni di gas a effetto serra (GHG) dai sistemi agricoli mediante un approccio interdisciplinare che combina tecnologie avanzate di monitoraggio e modellistica ambientale basati su dati provenienti da regioni vulnerabili dell'Europa meridionale e mediterranea. Il progetto esamina la relazione tra cambiamento climatico e cambio di uso del suolo valutando gli effetti dell'interazione sullo stoccaggio del carbonio per indicare le idonee misure di mitigazione dei cambiamenti climatici e di sostenibilità dell'uso del suolo in Europa. Nell'ambito del progetto EARTHONE, sono oggetto di studio sistemi agroforestali esistenti da almeno venti anni, uno dei quali è localizzato in a Ceregnano (Rovigo, Veneto) nell'Azienda Sperimentale Sasse-Rami gestita dal Veneto Agricoltura. Nell'ambito del progetto EARTHONE sono stati determinati i principali parametri fisici, chimici e biochimici descrittori della salute del suolo, quali stock di C, contenuto in nutrienti primari e secondari, valore di pH e conduttività elettrica, di parcelle gestite: ad agroforestazione, a seminativo in regime di agricoltura convenzionale e a sistema forestale con pioppi. Il sistema di agroforestazione integra filari di pioppi a bassa densità (40 piante/ha) distanziati con le stesse colture erbacee oggetto di rotazione colturale nelle parcelle convenzionali da circa venti anni. Le parcelle sotto agroforestazione sono ampie 40 m per ottimizzare la produzione di legno di qualità e la sostenibilità ambientale, e sono stati campionati a diversa distanza dai filari. I suoli confrontati sono stati prelevati alla profondità 0-30 e 30-60 cm e a diversa distanza dai filari nel sistema agroforestale. I dati preliminari evidenziano in entrambi i siti sperimentali un contenuto maggiore di C organico nello strato superficiale 0-30 cm nel sistema agroforestale rispetto al seminativo convenzionale, paragonabile a quello di un campo clonale a pioppeto sito nella stessa azienda. Per quanto riguarda l'area di Rami, a parità di valori di pH e conducibilità elettrica, è stato osservato un contenuto di K, Ca e Mg maggiore nel suolo sotto agroforestazione e a pioppeto rispetto a quelle a seminativo sia alle profondità 0-30 che 30-60 cm. Per gli altri parametri misurati le differenze tra suoli sotto seminativo e sotto agroforestazione non sono risultate significative. Attualmente è in corso l'analisi dei suoli di attività biochimica e l'analisi del microbioma e i relativi risultati saranno presentati durante in convegno.

SENSORI FLUORESCENTI A BASE DI CARBON DOTS PER APPLICAZIONI AMBIENTALI

Rizzo M¹, Pirozzi D¹, Latte A¹, Sannino F²

¹Dip. di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale (DICMaPI), Università degli Studi di Napoli "Federico II"

²Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Napoli "Federico II"

Parole chiave: carbon dots, fluorescenza, sensori, detection, antibiotici

I Carbon Dots (CDs) rappresentano una nuova classe di nanoparticelle a base di carbonio con dimensioni inferiori a 10 nm, caratterizzate da una struttura core-shell composta da atomi di carbonio ibridati sp^2 e sp^3 , con morfologie che variano da amorfe a cristalline. La loro struttura include un guscio esterno ricco di gruppi funzionali come COOH, C=O e OH, spesso arricchito con eteroatomi (S, P, B), che conferiscono ai CDs solubilità, stabilità e versatilità. Questi nanomateriali si distinguono per le loro proprietà fotoluminescenti, la bassa tossicità, l'elevata biocompatibilità e la fotostabilità. I CDs sono impiegati in diversi campi, tra cui biomedicina, ottica, catalisi, sensoristica, bioimaging e sicurezza alimentare, anche grazie alla possibilità di essere sintetizzati a partire da fonti rinnovabili come biomasse e rifiuti organici, in linea con i principi dell'economia circolare. La loro fotoluminescenza viene sfruttata per il rilevamento di contaminanti attraverso meccanismi di "quenching" o "turn-on", permettendo analisi sia qualitative che quantitative. Inoltre, i CDs sono utilizzati nella bonifica delle acque per il rilevamento e la rimozione di inquinanti come metalli pesanti e antibiotici, tramite processi di adsorbimento e fotocatalisi. I nanocompositi multifunzionali basati su CDs, ottenuti incorporando le nanoparticelle in matrici polimeriche (ad esempio chitosano, idrogel) o combinandole con altri nanomateriali (ad esempio TiO_2), migliorano le prestazioni dei CDs stessi, mitigando effetti come l'aggregazione.

In questo lavoro si riporta la sintesi di CDs ottenuti per via idrotermica a partire da precursori *green* (urea e acido citrico), valutandone il potenziale per il sensing ottico di antibiotici appartenenti alle classi dei fluorochinoloni (ofloxacina, OFL) e dei sulfamidici (sulfametossazolo, SMX). Le indagini preliminari hanno confermato la formazione dei suddetti nanomateriali caratterizzati da una spiccata risposta fluorescente a seguito di eccitazione UV. Le analisi spettroscopiche e vibrazionali (UV-Vis, Fluorescenza, FTIR) hanno mostrato la presenza di raggruppamenti funzionali derivanti dai precursori e dall'incorporazione dell'azoto nella struttura carboniosa, confermando così la presenza di siti attivi superficiali che garantiscono l'interazione con i suddetti antibiotici.

I risultati ottenuti da prove di interazione dei CDs con OFL ed SMX in soluzione hanno evidenziato un effetto di *quenching* della fluorescenza in presenza di entrambi gli antibiotici, e la variazione dell'intensità di emissione risulta dipendente dalla concentrazione di ciascuna molecola oggetto di studio. Il meccanismo di spegnimento è presumibilmente riconducibile a un "inner filter effect" (IFE), e un possibile contributo di un processo di "photoinduced electron transfer" (PET).

Questi risultati confermano che i CDs rappresentano una strategia valida per la progettazione di sensori fluorescenti, aprendo nuove prospettive per applicazioni ambientali avanzate, come l'integrazione della *detection* con processi di adsorbimento o degradazione fotocatalitica (approccio *detect-and-degrade*), permettendo lo sviluppo di piattaforme multifunzionali per il monitoraggio e la bonifica delle acque.



LIVING LABS PER LA SALUTE DEL SUOLO IN UN'AREA URBANA MARGINALE MEDITERRANEA

Vernile P, Curci M, Colatorti N, Calabrese FM, De Angelis M, Spagnuolo M

Dipartimento del Suolo della Pianta e degli Alimenti (DiSSPA), Università "Aldo Moro", Bari, Italia

Parole chiave: interazione suolo-pianta, Living Lab, erosione del suolo, aree marginali

In Europa, i suoli degli agroecosistemi mediterranei sono tra i più vulnerabili al degrado a causa degli effetti combinati dello stress climatico e di pratiche non sostenibili, tra cui deforestazione, sovrappascolamento e lavorazioni intensive. Nonostante i processi di degradazione del suolo siano ben noti, applicare le evidenze scientifiche in strategie efficaci di gestione territoriale rappresenta ancora una sfida rilevante. In questo contesto, i Living Labs si stanno affermando come strutture collaborative che permettono l'interazione tra ricercatori, stakeholder e autorità pubbliche per testare e validare soluzioni sostenibili in condizioni reali di campo. Questo studio ha integrato pratiche innovative di gestione del suolo con specie vegetali selezionate per la loro adattabilità alle condizioni pedo-climatiche locali valutandone gli effetti sulle proprietà fisico-chimiche del suolo, sull'attività microbica e sulla struttura delle comunità microbiche di un Living Lab realizzato presso l'area sperimentale DiSSPA (Campus, Bari, Italia). Il sito, collocato in una zona urbana marginale, adiacente a una strada ad alto traffico, è caratterizzato da bassa fertilità, contenuto di sostanza organica ridotto ed elevata suscettibilità al degrado. I campioni di suolo rizosferico sono stati raccolti un anno dopo l'allestimento del Living Lab mediante un disegno di campionamento a blocchi randomizzati. Le analisi fisico-chimiche hanno incluso la determinazione della tessitura del suolo, del pH, della conducibilità elettrica, dell'azoto totale, del carbonio organico e inorganico e del fosforo disponibile. Le attività enzimatiche del suolo (β -glucosidasi, fosfatasi acida e alcalina e idrolisi della fluoresceina diacetato) sono state utilizzate come indicatori della funzionalità microbica e dell'efficienza del ciclo dei nutrienti. Il Community-Level Physiological Profiling (CLPP) e l'high-throughput sequencing sono stati applicati per caratterizzare la diversità funzionale e la composizione delle comunità microbiche. Tutti i suoli sono stati classificati come franco-argillosi, con valori di pH leggermente alcalini (7,78–8,01). La conducibilità elettrica è risultata compresa tra 214 e 417 $\mu\text{S cm}^{-1}$, con i valori più bassi nei plot di *Equisetum arvense* e leguminose. I suoli rizosferici campionati da *E. arvense* hanno inoltre mostrato contenuti inferiori di azoto e carbonio organico, attività enzimatiche ridotte e minore diversità funzionale microbica rispetto agli altri trattamenti, suggerendo un calo della fertilità biologica. Al contrario, i plot con specie alofite hanno evidenziato un'attività idrolitica più elevata della fluoresceina diacetato, indicativa di una maggiore attività microbica. Le analisi CLPP hanno ulteriormente confermato livelli inferiori di diversità e funzionalità microbica nei suoli con *E. arvense*. I risultati evidenziano il ruolo chiave degli effetti rizosferici specie-specifici nel modulare la composizione e la funzionalità delle comunità microbiche del suolo. Un aumento della diversità microbica guidata dalla rizosfera potrebbe rafforzare la resilienza del suolo e la stabilità dell'ecosistema, confermando il potenziale dei Living Labs come strumenti efficaci per una gestione sostenibile e climaticamente resiliente dei suoli mediterranei degradati.

The study was funded by the European Union Next-GenerationEU (PNRR – MISSIONE 4 COMPONENTE 2, INVESTIMENTO 1.4 – D.D. 1032 17/06/2022, CN00000022) within the Agritech National Research Center.



VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ DELLA GESTIONE FORESTALE NEI CEDUI DI FAGGIO MEDIANTE INTEGRAZIONE DI NDVI, STOCK DI CARBONIO E FIRME ISOTOPICHE DEL SUOLO

Falsone G¹, Trenti W¹, De Feudis M¹, Mazzoni E², Di Bonito M^{1,3}

¹ Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-alimentari, Alma Mater Studiorum Università di Bologna

² Timesis s.r.l., San Giuliano Terme (PI), Italia

³ School of Rural, Animal and Environmental Sciences, Nottingham Trent University

Parole chiave: gestione forestale, stock di C, NDVI, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, distribuzione delle radici

In una cronosequenza di cedui di faggio, con età comprese tra 5 e 70 anni dal taglio e sviluppati su Dystrochets ben drenati, è stato analizzato il turnover della sostanza organica del suolo (SOM) per valutare la sostenibilità della gestione forestale. Sono stati esaminati 26 minipit, confrontando gli stock di carbonio organico, la firma isotopica della SOM ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$), la distribuzione delle radici negli orizzonti superficiali (O e A) e profondi (Bw, AC e BC), nonché i valori di NDVI derivati da immagini Landsat.

Gli stock di C negli orizzonti O variavano da 1,89 a 4,54 Mg C ha⁻¹, con differenze significative tra i popolamenti più giovani e quelli più maturi, mentre gli stock negli orizzonti minerali risultavano simili tra i siti ($79,4 \pm 18,3$ Mg C ha⁻¹). Tuttavia, il gradiente isotopico lungo il profilo del suolo (β_{C} e β_{N}) evidenziava un turnover della SOM più rapido nei siti tagliati 5 e 16 anni prima e più lento in quelli di 11 e 70 anni. Anche la distribuzione radicale variava con l'età del popolamento, raggiungendo un massimo a 11 anni e stabilizzandosi a 70 anni.

Nel sito più recente il taglio sembra aver innescato un effetto priming associato all'accumulo di residui organici nell'orizzonte O, come indicato dall'elevato spessore dell'orizzonte e dagli alti valori di β_{C} e β_{N} . Nei popolamenti di 11 anni, l'intensa crescita radicale e valori isotopici meno marcati suggeriscono un maggiore apporto di SOM radicale e un più intenso rimescolamento fisico del suolo. A 16 anni prevale invece l'accumulo di composti organici più trasformati e potenzialmente stabilizzati, associato a una riduzione della biomassa radicale e a bassi valori di β_{C} e β_{N} . Nel ceduo di 70 anni si osserva infine un accumulo di SOM poco trasformata e potenzialmente mineralizzabile, che pone interrogativi sulla sostenibilità dell'abbandono della gestione a ceduo in scenari di riscaldamento climatico.

Le dinamiche della vegetazione ricavate dalle serie Landsat (1984–2022) risultano coerenti con questo modello: gli incrementi di NDVI diminuiscono progressivamente con l'età del popolamento, passando da una pendenza di circa 0,019 nei cedui più giovani a circa 0,0008 in quelli più vecchi. Tuttavia, l'apparente stabilità superficiale dei popolamenti sovramaturi maschera un progressivo squilibrio del bilancio di C e N nel suolo, evidenziando i limiti dei proxy da telerilevamento come unici indicatori del funzionamento ecosistemico. I risultati mostrano inoltre che la sola quantificazione degli stock di C e degli incrementi di NDVI, comunemente utilizzati per valutare la gestione forestale, fornisce informazioni parziali, mentre l'integrazione tra stock profondi di C, firma isotopica e distribuzione radicale consente una valutazione più accurata della dinamica del carbonio nel suolo e della sostenibilità della gestione forestale.



STRATEGIE DI PIANIFICAZIONE DEL VERDE URBANO: EFFETTI SU BIODIVERSITÀ VEGETALE, STOCK DI CARBONIO E NUTRIENTI NEL SUOLO

Falsone G¹, Marotti I¹, Nardelli M¹, Urso V¹, Di Bonito M^{1,2}, Sferrazza RE¹, Alpi M¹,
Menconi ME³, Torreggiani D¹

¹ DISTAL - Alma Mater Studiorum Università di Bologna, 40127, Bologna, Italia

² ARES - Nottingham Trent University, United Kingdom

³ DSA3 - Università degli Studi di Perugia

Parole chiave: suoli urbani, stoccaggio di C, nutrienti, biodiversità vegetale

La pianificazione del verde urbano rappresenta uno strumento fondamentale per migliorare le funzioni ecosistemiche nelle città, tra cui la conservazione della biodiversità, la regolazione climatica e i cicli biogeochimici^[1]. Questo studio confronta due modelli di pianificazione del verde urbano applicati a Perugia e Bologna: l'aumento della copertura arborea nelle aree verdi esistenti (modello W) e l'espansione della superficie degli spazi verdi (modello S), realizzata in aree precedentemente abbandonate. In tutti i siti sono stati raccolti campioni di suolo a diverse profondità e analizzate le proprietà fisico-chimiche, tra cui carbonio organico, nutrienti, firma isotopica ($\delta^{13}\text{C}$); gli stock degli elementi sono stati calcolati fino a 20 cm di profondità. Parallelamente, è stata analizzata la composizione floristica, valutando ricchezza specifica, struttura della comunità e caratteristiche funzionali delle specie (autoctone vs. alloctone, taxa ruderali e specie a supporto degli impollinatori). Nel modello W, i siti arborati, probabilmente attribuibili alla maggiore densità radicale negli orizzonti B, mostrano valori più elevati di stock di C e N ($48,2 \text{ Mg C ha}^{-1}$; $4,4 \text{ Mg N ha}^{-1}$) rispetto ai controlli ($36,0 \text{ Mg C ha}^{-1}$; $3,3 \text{ Mg N ha}^{-1}$). Gli orizzonti organici risultano simili tra i siti, mentre differenze emergono negli orizzonti minerali, dove C e nutrienti presentano una distribuzione più uniforme rispetto ai controlli, nei quali diminuiscono con la profondità. Anche dal punto di vista floristico, i siti arborati mostrano comunità più equilibrate e una maggiore proporzione di specie autoctone e funzionalmente rilevanti, evidenziando un miglioramento non solo quantitativo, ma anche qualitativo, della biodiversità urbana e della capacità di stoccaggio di C del suolo. Nel modello S, gli orizzonti minerali differiscono tra siti trattati e di controllo per contenuto di C e nutrienti, ma gli stock risultano complessivamente simili ($45,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$; $5,3 \text{ Mg N ha}^{-1}$; $12,9 \text{ Mg K ha}^{-1}$; $2,1 \text{ Mg P ha}^{-1}$), ad eccezione dello zolfo ($0,6$ e $0,8 \text{ Mg S ha}^{-1}$), che presenta valori più elevati nei siti trattati. Questi ultimi mostrano tuttavia una maggiore variabilità lungo il profilo e un turnover del carbonio più lento, indicato dai valori di $\delta^{13}\text{C}$. L'espansione delle superfici verdi ha determinato un aumento della ricchezza specifica, ma anche una maggiore incidenza di specie ruderali e alloctone, suggerendo che l'intervento non comporti necessariamente un miglioramento della qualità ecologica dal punto di vista floristico. Nel complesso, lo studio evidenzia che entrambe le strategie influenzano le proprietà del suolo e i processi ecosistemici; tuttavia, il maggiore disturbo antropico associato al modello S, che può aver limitato l'espressione dei benefici ecosistemici attesi, sottolinea l'importanza di una pianificazione delle aree verdi che consideri non solo l'incremento della copertura vegetale, ma anche la qualità degli interventi e la limitazione del disturbo, al fine di promuovere ecosistemi urbani sostenibili e resilienti.

[1] Fan, K., Chu, H., Eldridge, D.J. et al. (2023). <https://doi.org/10.1038/s41559-022-01935-4>

Ricerca finanziata dall'Unione Europea - NextGenerationEU a valere sul Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) – Missione 4 Istruzione e ricerca – Componente 2 Dalla ricerca all'impresa Investimento 1.1, Avviso PRIN 2022 PNRR indetto con DD N. 1409 del 14/09/2022, Progetto "Urban green systems: integrated modelling of environmental, energy and microclimatic benefits and GHG offsetting for strengthening resilience and adaptation to climate change – GRACE (Green for climAte resilience)", codice progetto MUR [P20229ZC79] - CUP [J53D23018250001]



ECTOMICORRIZE NEGLI ORIZZONTI PROFONDI: UNO SGUARDO DAL SOTTOSUOLO

Zuffi V¹, Puliga F¹, Nardelli M¹, Trenti W¹, Falsone G¹, Di Bonito M^{1,2}, Francioso O¹, Vittori Antisari L¹, Zambonelli A¹

¹ Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari, Alma Mater Studiorum Università di Bologna

² Nottingham Trent University, 50 Shakespeare Street, Nottingham (UK)

Parole chiave: ectomicorrize, suoli profondi, metagenomica, suoli forestali, biota del suolo

I funghi ectomicorrizici (ECM) hanno un'importanza fondamentale nella regolazione dell'acquisizione dei nutrienti, nel ciclo del carbonio e nella crescita delle piante negli ecosistemi forestali; tuttavia, il loro ruolo ecologico è stato studiato prevalentemente negli orizzonti superficiali del suolo. Evidenze recenti suggeriscono che le ECM si estendano anche negli strati minerali profondi, formando comunità verticalmente stratificate con composizione tassonomica e caratteristiche funzionali differenti.

Le ECM dei suoli profondi contribuiscono allo stoccaggio del carbonio di origine vegetale, alla formazione della sostanza organica e alla mobilitazione di azoto, fosforo e altri microelementi altrimenti poco disponibili. Inoltre, le loro reti miceliari possono favorire l'assorbimento idrico, contribuendo potenzialmente alla resilienza delle piante agli stress ambientali. Questi processi sono alla base delle dinamiche che collegano gli orizzonti superficiali al sottosuolo e possono influenzare la stabilità degli interi ecosistemi forestali.

Nonostante la crescente attenzione verso questi organismi, le ECM dei suoli profondi risultano ancora poco rappresentate negli studi sperimentali; ciò è dovuto in parte alle difficoltà legate alle tecniche di campionamento e di analisi. I recenti sviluppi nelle tecniche molecolari e nel sequenziamento metagenomico consentono oggi una caratterizzazione più efficiente e approfondita delle comunità microbiche in matrici complesse come suolo e rizosfera.

Il presente studio analizza le comunità ectomicorriziche in profili di suolo profondi fino a 2 m, con l'obiettivo di valutarne presenza, composizione tassonomica e distribuzione verticale. Parallelamente, sono state analizzate le proprietà chimico-fisiche dei suoli e la composizione della comunità vegetale, al fine di esplorare possibili correlazioni con i dati biologici. I campioni di suolo sono stati raccolti in diversi siti forestali appartenenti al progetto europeo Deep Horizon. Le analisi metagenomiche hanno evidenziato variazioni nella composizione e nell'abbondanza relativa delle comunità di ECM lungo il profilo del suolo. L'integrazione dei dati biologici e chimico-fisici ha permesso di individuare pattern specifici in relazione al sito e alla profondità, fornendo nuove informazioni sulle dinamiche di queste comunità nei suoli profondi.

Questo studio pone le basi metodologiche ed empiriche per l'analisi delle ECM negli orizzonti profondi, contribuendo a una più ampia comprensione del loro ruolo nella salute degli ecosistemi forestali europei.

DEploying Ecosystemic solutions to imPROve soil Health and unCOVeRing subsoil functlons in the critical ZONE (DeepHorizon); (GA: 101156701)



ROOTS OF THE FUTURE
SUOLO E PIANTA NEL
CAMBIAMENTO GLOBALE



SESSIONE 2

Vocazionalità, fertilità dei suoli
e nutrizione delle piante:
costruire filiere forestali e
agroalimentari resilienti e
tracciabili



FERTILITÀ DEI SUOLI: DALLA TEORIA AL CAMPO

Ciavatta C

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-alimentari, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

Dalla bellissima definizione di fertilità del suolo di Cosimo Ridolfi (1843) “La mirabile capacità che ha il suolo a produrre” alle più recenti “The status of soil with respect to its ability to supply the nutrients essential to plant growth” (Soil Sci. Soc. Am., 1994), “The ability of soil to sustain agricultural plant growth providing a habitat with essential nutrients and favorable chemical, physical and biological characteristics to sustain plant growth, without toxic substances that inhibit plant development” (Tudi et al., 2022; Tang et al., 2021) sono trascorsi quasi due secoli, caratterizzati da enormi progressi scientifici, ma tanto resta ancora da fare.

Il progredire delle conoscenze di natura fisico-chimica, biochimica, biologica e microbiologica sul sistema suolo-pianta, con l'individuazione degli elementi nutritivi, delle forme e dei meccanismi fisiologici e biochimici di assimilazione, la misura analitica dei singoli parametri, ha contribuito a una migliore definizione e gestione della fertilità dei suoli.

La correlazione fra la misura di laboratorio di un determinato parametro della fertilità e il risultato agronomico (taratura agronomica) resta un aspetto chiave per gli agricoltori.

Oggi resta molto da fare, soprattutto nel campo dello sviluppo di modelli previsionali che possano utilizzare ed enalizzare l'enorme mole di dati analitici eterogenei a disposizione: occorre dare forte impulso in questa direzione. All'agricoltore non si chiedono solo produzioni di qualità, ma di farlo attento alla sostenibilità ambientale e con strategie per contenere i cambiamenti climatici, dovendo restare competitivo sui mercati.

L'agricoltura, quindi, ha la necessità di avere strumenti capaci di aiutarla nel fare le scelte migliori in tempi rapidi. Tuttavia, operando in un sistema aperto dove, ad esempio, la variabile meteorologica è di fatto non governabile, non può diventare il capro espiatorio in caso di insuccessi.

Ai fornitori di mezzi di produzione si chiede di operare in stretta sinergia con le imprese agricole e i centri di ricerca per lo sviluppo di prodotti sempre più efficienti, fortemente legati ai principi dell'economia circolare, e di modelli gestionali sviluppati con il supporto dell'intelligenza artificiale.

La fertilità dei suoli è solo un aspetto della funzionalità e qualità dei suoli e delle loro essenziali funzioni ecosistemiche. Questa maggiore consapevolezza, tuttavia, richiede di essere tradotta in atti normativi coerenti per passare dalla teoria, al campo e al mercato.

Tudi M. et al. (2022). Ecol. Indic. 143:109431.

Tang L. et al. (2021). Chemosphere 270: 128634.



BELOW-GROUND DYNAMICS UNDER SUSTAINABLE AGRICULTURAL PRACTICES: EVIDENCE FROM A MEDITERRANEAN CEREAL SYSTEM

Addresso R¹, Picariello E², Pellegrini M³, Amato M¹, Rosati L⁴, Sofo A¹

¹ Department of Agricultural, Forestry, Food and Environmental Sciences (DAFE), University of Basilicata

² Department of Science and Technology (DST), University of Sannio

³ Department of Clinical Medicine, Public Health, Life and Environmental Sciences (MeSVA), University of L'Aquila

⁴ Department of Health Sciences (DISS), University of Basilicata

Parole chiave: Soil quality, Sustainable agriculture, Microbe-rich root areas, Organic amendment, Mediterranean agroecosystems

Sustainable agriculture hinges on plant–soil–microbe cross-talk that drives nutrient cycling, stress resilience, and biodiversity. Microbe-rich root zones, the rhizosphere and rhizosheath, are dynamic hotspots that sustain nutrient turnover and plant growth. In a two-year field study in Caselle in Pittari (Salerno, Italy), we tested how management shapes soil biological (enzymatic activities, 16S rRNA profiles) and physico-chemical properties. We ran two trials: (1) wheat under organic amendment (SUST) versus mineral fertilization (CONV); and (2) pollinator-friendly mixes (Eco-plus, Rustico) aligned with EU CAP eco-schemes. In both trials, an unmanaged control (CTRL) with spontaneous vegetation was included. Samples were collected from bulk soil, rhizosphere (rp), and rhizosheath (rs) at pre-sowing and flowering.

An initial survey identified time as the main driver, with all enzymatic activities peaking at flowering, indicating stronger microbial stimulation during active growth. Spatial differentiation was also evident, as rhizosphere (rp) and rhizosheath (rs) diverged from bulk soil, reflecting root-driven filtering. In trial 1, PERMANOVA showed no significant differences among CONV, SUST, and CTRL, whereas NMDS revealed early spatio-temporal structuring. Dehydrogenase activity (DHA) was higher in rp than in bulk soil ($p < 0.05$), and SUST increased labile C in bulk soil, with micronutrient shifts paralleling microbial-community changes. Diversity, enzyme activities, and organic matter covaried positively, although plant stage explained most separation, with biodiversity highest at flowering. In trial 2, plant mixes significantly affected soil properties (PERMANOVA, $p < 0.05$): Rustico showed higher DHA and urease than Eco-plus ($p < 0.001$), indicating stronger plant-driven microbial responses. High enzymatic activity often coincided with lower microbial diversity, suggesting functionality concentrated in dominant taxa. Overall, time primarily shaped soil microbial functioning, with activity peaks tracking crop stages. Rustico enhanced above-ground biodiversity while intensifying below-ground processes. Soil-health assessment should therefore integrate temporal variability and root-associated microenvironments; combining diverse plant mixes with reduced mineral inputs appears crucial for preserving soil ecosystem services.

This study was carried out within the Agritech National Research Center and funded from the European Union Next-GenerationEU (PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR) – MISSIONE 4 COMPONENTE 2, INVESTIMENTO 1.4 – D.D. 1032 17/06/2022, CN00000022). The content reflects only the authors' views and opinions, neither the European Union nor the European Commission can be considered responsible for them.



IMPACTS OF BIOCHAR ON PLANT PHYSIOLOGY, NUTRITION AND PHYLLOSPHERE METABOLIC ACTIVITY IN CHINESE CABBAGE

Nogués¹, Passatore L¹, Agnello C², Festa S², Kotikova Z³, Kouřimská L⁴, Praus L⁵, Škvorová P⁴, Portier P⁶, Pietrini F¹, Mazzurco-Miritana V⁷

¹ Institute of Research on Terrestrial Ecosystems, CNR, 00015, Monterotondo Scalo, Rome, Italy

² Center for Research and Development in Industrial Fermentations, La Plata, Argentina

³ Department of Chemistry, Faculty of Agrobiological Sciences, University of Natural Resources and Life Sciences Prague

⁴ Department of Microbiology, Nutrition and Dietetics, University of Life Sciences Prague,

⁵ Department of Agroenvironmental Chemistry and Plant Nutrition, Faculty of Agrobiological Sciences, University of Life Sciences Prague

⁶ Univ Angers, Institut Agro, INRAE, IRHS, SFR QUASAV, CRM-CFBP, F-49000 Angers, France

⁷ Department of Energy Technology and Renewables, ENEA, 00123, Rome, Italy

Parole chiave: Soil fertility, nutritional quality, eco-physiological responses, soil amendment

Biochar, a carbon-rich product of plant biomass pyrolysis, is increasingly recognized for enhancing soil fertility, structure, water retention and nutrient availability. It is particularly valuable in Mediterranean regions, where erosion, low organic matter, and water scarcity limit productivity. In such contexts, biochar can mitigate soil degradation, improve soil structure and support plants growth, while promoting the recycling of local residues and reducing reliance on external inputs. Chinese cabbage, a fast growing and substrate sensitive leafy vegetable, was used to assess biochar effects on growth, ecophysiology and nutritional quality under greenhouse conditions. Four experimental conditions were evaluated: soil, soil amended with biochar, peat and peat amended with biochar.

Biochar significantly increased leaf biomass in nutrient-poor soil, highlighting its effectiveness in low fertility conditions. Plants grown on peat developed more rapidly and reached flowering. Eco-physiological data revealed treatment-dependent differences in photosynthetic performance and stress indicators, while elemental analyses showed that substrate strongly influenced nutrient accumulation (Ca, Mn, Na, P). Biochar also affected biochemical traits such as carotenoid and ascorbic acid, with responses varying by substrate.

Community level physiological profiling estimated by Biolog EcoPlate™ indicated higher overall microbial activity and richness as well as an increase in the utilization of amines in the phyllosphere of plants grown in biochar-amended poor soil. By contrast, this stimulatory biochar effect was not observed in the rich soil. This suggests biochar enhanced microbial functionality depending on the type of soil that receive the amendment.

The study confirms biochar as a valuable tool for improving plant performance and quality in suboptimal soils within sustainable agroecological production systems.

This study has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 101058020 (Agroserv).



BATTERI NATIVI FOSFORO-SOLUBILIZZANTI E NANOPARTICELLE DI IDROSSIAPATITE PER MIGLIORARE LA CRESCITA E LA NUTRIZIONE DEL MAIS

Quattrocelli P¹, Pompili F^{1,2}, Pecchia S², Pellegrino E¹

¹ Scuola Superiore Universitaria Sant'Anna, Istituto di Produzioni Vegetali

² Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università di Pisa

Parole chiave: Batteri solubilizzanti il fosforo (PSB), Biofertilizzanti microbici, Nano-idrossiapatite (nHA), Efficienza d'uso del fosforo, espressione genica

La limitata biodisponibilità del fosforo (P) nei suoli rappresenta una criticità rilevante per la sostenibilità dei sistemi agricoli, rendendo necessario lo sviluppo di strategie di gestione alternative basate sull'impiego di biofertilizzanti microbici^[1,2,3]. Nel presente studio, batteri nativi fosforo-solubilizzanti (PSB) sono stati isolati da prove di lungo periodo sulla lavorazione del suolo condotte in tre differenti aree climatiche, ovvero arida (Niger), continentale (Austria) e mediterranea (Spagna), in sistemi sia a lavorazione convenzionali (conventional tillage) sia no-tillage. Gli isolati sono stati ottenuti su un terreno contenente fosfato tricalcio e caratterizzati per la capacità di solubilizzare il fosforo, fissare biologicamente l'azoto e produrre acido indol-3-acetico. L'identificazione molecolare è stata effettuata mediante il sequenziamento del gene 16S rRNA. I ceppi più promettenti sono stati quindi valutati per la capacità di mobilizzazione del fosforo a partire da nano-idrossiapatite (nHA) biogenica e successivamente validati mediante prove in vaso su mais, impiegando consorzi microbici sito-specifici. Complessivamente, sono stati isolati 59 ceppi di PSB, prevalentemente appartenenti ai generi *Priestia sp.*, *Sinorhizobium sp.*, *Streptomyces sp.* e *Bacillus sp.* I ceppi di origine continentale hanno mostrato i più elevati indici di solubilizzazione, mentre quelli mediterranei si sono distinti per la maggiore efficienza nella mobilizzazione del fosforo da nHA. Le prove in vaso hanno evidenziato effetti sito-specifici dell'inoculazione con PSB e della fertilizzazione con nHA, con interazioni significative sulla crescita delle piante e sull'assorbimento dei nutrienti. Tali effetti sono stati valutati mediante parametri chimici e analisi dell'espressione genica. Nel complesso, i risultati dimostrano il potenziale dei PSB nativi nel migliorare l'efficienza d'uso del fosforo, soprattutto se combinati con nanofertilizzanti.

[1] Alewell C., Ringeval B., Ballabio C., Robinson D.A., Panagos P., Borrelli P. (2020). Nature communications 11:4546.

[2] Pellegrino E., Öpik M., Bonari, E., Ercoli L. (2015). Soil Biology and Biochemistry 84, 210-217.

[3] Quattrocelli P., Piccirillo C., Kuramae E.E., Pullar R.C., Ercoli L., Pellegrino E. (2025). Science of the Total Environment 973:179082.

This work was funded by the European Agricultural Fund for Rural Development 2004–2020 for Tuscany (Italy) mis. 16.2 "MICROforAGRI – MICRorganismi ed idrOssiapatite da sOttoprodotti della lavorazione del pesce come Risorsa di fosforo in AGRicoltura sostenibile" (CUP ART6A 1074061 – CUP CIPE J53C23002020002; Principal investigator: E. Pellegrino), and by AGRTEh National Center for Technology in Agriculture task 1.2.4. Mechanisms underlying plant/animal-microbial interactions beneficial for tolerance. Piera Quattrocelli was supported by a PhD scholarship in Agrobiosciences (XXXVII cycle) from the Scuola Superiore Sant'Anna (SSSA, Pisa, Italy).

QUALI CARATTERISTICHE DEL SUOLO SONO ASSOCIATE CON I SINTOMI DEL MAL DELL'ESCA NELLA VITE? UNO STUDIO INTERDISCIPLINARE NEL COMPRESORIO DI BOLGHERI, TOSCANA.

Bigazzi F¹, Priori S², Del Duca S^{3,4}, Vitali F³, Mocali S³, Carella G¹, Mugnai L¹

1 Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI),
Università di Firenze

2 Università della Tuscia, Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali (DAFNE), Viterbo

3 Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria - Centro di ricerca
Agricoltura e Ambiente (CREA-AA), Firenze

4 Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria - Centro di ricerca
Genomica e Bioinformatica (CREA-GB), Fiorenzuola D'Arda

Parole chiave: idrologia, viticoltura, terroir, microbiota rizosferico, diversità microbica

Il Complesso del Mal dell'Esca è una delle malattie del legno più diffuse e pericolose per la viticoltura Europea e mondiale. Sebbene sia una malattia studiata da molti anni, il meccanismo e le cause scatenanti della malattia più comune del Complesso, la *Malattia delle foglie tigrate*, non sono ancora chiare. Si tratta infatti di una malattia del legno in cui un complesso di funghi patogeni (basidiomiceti quali *Fomitiporia mediterranea*, e ascomiceti quali *Phaeomoniella chlamydospora* e specie di *Phaeoacremonium*) è associato, oltre che alla degradazione e inattivazione del legno, anche allo sviluppo di caratteristici sintomi fogliari che compaiono in maniera intermittente negli anni. La presenza dei patogeni nel legno è costante e non sono chiari i meccanismi e i fattori che determinano queste fluttuazioni annuali dei sintomi. Si è perciò ipotizzato che fattori abiotici, tra cui le caratteristiche fisico-chimiche e microbiologiche del suolo, svolgano un ruolo fondamentale nell'interazione ospite-patogeno e nella conseguente insorgenza dei sintomi.

Questo lavoro riporta i risultati di uno studio interdisciplinare in un vigneto di Cabernet Sauvignon nel comprensorio di Bolgheri, di circa 25 anni d'età e 1.5 ettari di dimensione. Tutte le viti sono state monitorate per 5 anni consecutivi per quanto riguarda l'insorgenza della malattia durante la stagione viticola. Una mappa di rischio della sintomatologia del Mal dell'Esca è stata interpolata tramite indicator kriging. Il suolo nel vigneto è stato cartografato in dettaglio tramite l'utilizzo di sensore ad induzione elettromagnetica (EMI) e lo scavo di 4 profili, effettuati nelle diverse combinazioni di conducibilità elettrica apparente del suolo (ECa alta/bassa) e insorgenza della malattia (alta/bassa). All'interno dei 4 scavi, campioni di radici e suolo ad esse adeso sono stati prelevati in triplicato, sia alla profondità di 30-60 cm che di 60-90 cm. Il suolo così ottenuto è stato usato per l'estrazione del DNA e per l'analisi delle comunità batteriche e fungine rizosferiche, tramite analisi metabarcoding.

I profili scavati nelle aree di bassa incidenza della malattia hanno mostrato dei suoli molto simili, caratterizzati da forte carbonatazione (calcare attivo > 10%), tessitura franco argillosa limosa, pH da subalcalino a debolmente alcalino, e figure di ossido-riduzione da ristagno idrico a partire da 30-55 cm. Al contrario, i suoli nelle aree ad alta incidenza sono profondi (>130 cm), con tessitura da franco sabbiosa a franco argilloso sabbiosa, maggiore contenuto di carbonio e azoto, e calcare quasi assente. L'esplorazione radicale profonda della vite è sicuramente più elevata nei suoli ad alta incidenza, mentre negli altri trova una forte limitazione per elevato contenuto di calcare attivo e ristagno idrico. Un altro fattore discriminante dei suoli ad alta incidenza è la maggiore quantità di manganese disponibile, osservabile anche dall'elevato numero di pellicole di Fe-Mn negli orizzonti B sotto-superficiali. Anche la struttura delle comunità microbiche della rizosfera di vite nelle aree di bassa ed alta incidenza è risultata profondamente diversa. Inoltre, in accordo con la loro maggiore fertilità, la diversità microbica è risultata superiore alla profondità 30-60 e nei suoli di aree ad alta incidenza.



ALLUVIAL-ENRICHED SOILS AS FERTILITY HOTSPOTS IN ARID REGIONS

Salvucci A¹, Baldoni N², Labate G¹, Barbetti R³, Kurup S², Cocco S⁴, Otero XL⁵,
Fernández-Sanjurjo MJ⁶, Corti G⁴

¹ Research Centre for Agriculture and Environment, CREA, Florence (Italy).

² Department of Integrative Agriculture, College of Agriculture and Veterinary Medicine, UAEU, Al Ain (United Arab Emirates).

³ Research Centre for Forestry and Wood, CREA, Alessandria (Italy).

⁴ Department of Agriculture, Food and Environmental Sciences, UNIVPM, Ancona (Italy).

⁵ Department of Soil Science and Agricultural Chemistry, Faculty of Biology, USC, Santiago de Compostela (Spain).

⁶ Department of Soil Science and Agricultural Chemistry, Engineering Polytechnic School, Lugo (Spain)

Parole chiave: alluvial fan; aeolian deposits; texture; soil fertility

Drylands represent challenging environmental systems, covering approximately 41% of the Earth's surface and characterized by a negative water balance in which potential evapotranspiration exceeds annual precipitation. Therefore, soil development in these regions is generally limited, as pedogenesis and mineral weathering are strongly constrained and dominated by processes such as salinization, alkalization, and aeolian erosion and deposition. The prevalence of coarse-textured aeolian deposits results in soils with low water-holding capacity, reduced cation exchange capacity (CEC), poor nutrient retention, and limited soil organic matter (SOM) accumulation, thereby limiting agricultural productivity. In contrast, soils enriched with finer fractions generally exhibit better water retention, greater nutrient availability, and higher fertility. This study investigates the impact of alluvial deposits resulting from ancient geomorphological processes on the physicochemical properties and fertility of dryland soils in the United Arab Emirates.

The presence of variable proportions (5–40%) of water-rounded pebbles with millimetre- to centimetre-size, predominantly in surface horizons, provides evidence of alluvial deposition resulting from sediment transport that probably occurred during a wetter period dated between 6.0 and 4.4 ka BP. Soils influenced by alluvial inputs were characterized by a higher content of fine fractions, with a sixfold increase in silt + clay content, and greater concentrations of essential micro- and macronutrients. Specifically, available manganese ranged from 1.05 mg kg⁻¹ in coarse-textured soils to 23.67 mg kg⁻¹ in the horizons influenced by alluvial deposition. These horizons also recorded higher CEC, with mean values increasing from 5.8 cmol(+) kg⁻¹ in soils developed on aeolian sands to 18.5 cmol(+) kg⁻¹ in alluvial affected horizons. Due to the role of these properties in soil fertility and crop productivity, these findings emphasize the importance of identifying dryland soils shaped by past alluvial processes, as they represent priority areas for agricultural development and further scientific investigation.

VESCICOLE LIPIDICHE FUNZIONALIZZATE CON SOSTANZE UMICHE DA SCARTI AGRO-ALIMENTARI: SMART DELIVERY DI AGRO-FARMACI PER UNA GESTIONE SOSTENIBILE DEL SISTEMA SUOLO-PIANTA

Verrillo M^{1,2}, Costabile G³, Ungaro F³, Spaccini R^{1,2}, Cozzolino V^{1,2}

¹ Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Napoli Federico II

² Cermanu, Centro di ricerca interdipartimentale per la risonanza magnetica nucleare per l'ambiente, l'agroalimentare ed i nuovi materiali, Università degli Studi di Napoli Federico II

³ Dipartimento di Farmacia, Università degli Studi di Napoli Federico II

Parole chiave: Liposomi, Economia Circolare, Pesticide Use Efficiency (PUE), caratterizzazione chimio-molecolare

Nel contesto dell'agricoltura rigenerativa, la preservazione della fertilità dei suoli è cruciale per la resilienza delle filiere agroalimentari^[1]. Questo studio propone un cambio di paradigma nel design degli agrofarmaci, presentando lo sviluppo di vescicole lipidiche ibride stabilizzate con sostanze umiche (HS) estratte da sottoprodotti agroindustriali in un'ottica di economia circolare. Le HS sono state ottenute da compost di residui dell'olivo (sansa e foglie), attraverso un impianto di compostaggio prototipale. Il sistema, basato su due bioreattori da 30L in configurazione "closed vessel", ha permesso di gestire un processo di tipo industriale con la tipica successione di fasi mesofile e termofile^[2]. Le sostanze umiche estratte (HS-OL) sono state liofilizzate e utilizzate per stabilizzare vettori lipidici ingegnerizzati per l'incapsulamento del Protioconazolo, fungicida d'elezione contro *Fusarium* spp. La sintesi dei vettori ha previsto la preparazione di un film lipidico sottile composto da fosfatidilcolina e colesterolo, successivamente idratato con una soluzione acquosa contenente le HS liofilizzate. Questo processo di auto-assemblaggio molecolare è stato ottimizzato mediante sonicazione ed estrusione calibrata attraverso membrane in policarbonato, ottenendo popolazioni vescicolari monodisperse con dimensioni nanometriche controllate. L'integrazione delle HS durante l'idratazione ha permesso la formazione di un'architettura ibrida, dove le molecole umiche si ripartiscono tra il core acquoso e il bilayer fosfolipidico, ottimizzando l'incapsulamento del Protioconazolo. Le indagini spettroscopiche e termodinamiche (DSC) hanno confermato che le HS agiscono come stabilizzanti sterici, migliorando la stabilità strutturale e la capacità di carico del vettore. Il rilascio del principio attivo è risultato di tipo stimolo-responsivo, attivandosi in risposta alle variazioni di pH e salinità della soluzione circolante del suolo. L'efficacia biologica del sistema è stata validata tramite analisi di RT-PCR (Real-Time PCR): i profili trascrizionali hanno evidenziato una significativa down-regolazione dei geni target coinvolti nella biosintesi dell'ergosterolo in *Fusarium* spp., confermando la superiore capacità di penetrazione del vettore ibrido. Grazie alla loro natura biomimetica, le vescicole ottimizzano l'affinità con le interfacce biologiche della rizosfera, riducendo la lisciviazione e favorendo il ripristino del carbonio organico. Questo approccio rappresenta una frontiera avanzata per una difesa delle colture di precisione, capace di coniugare innovazione tecnologica, nutrizione sostenibile e resilienza delle filiere produttive.

[1] Maaz, T. M., et al. (2025). Sustainable Agriculture, 3(1), 25.

[2] Bianca, P., et al. (2026). Cell Death Discovery

SALINITÀ E CARENZA DI FERRO MODULANO IN MODO NON ADDITIVO LA CRESCITA E L'OMEOSTASI MINERALE NEL FRUMENTO DURO

Bruschini A, Quagliata G, D'Attilia C, Sestili F, Astolfi S

Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali (DAFNE), Università degli Studi della Tuscia

Parole chiave: Clorosi, Ionomica, MDA, NaCl

La coltivazione del frumento duro (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) nell'area mediterranea è spesso ostacolata dalla salinizzazione dei suoli e dalla carenza di ferro (Fe), ma gli effetti della loro interazione sono ancora poco conosciuti. In questo studio, piante di frumento duro sono state coltivate in idroponica per 14 giorni in quattro condizioni sperimentali: controllo (C), carenza di Fe (0 μ M FeII-EDTA; F), stress salino (100 mM NaCl; S) e combinazione di carenza di Fe e salinità (0 μ M FeII-EDTA + 100 mM NaCl; SF). L'obiettivo era valutare gli effetti dei diversi trattamenti sulla produzione di biomassa, sulla morfologia dell'apparato radicale, sul contenuto di clorofilla, sulla perossidazione lipidica e sul profilo ionomico.

La carenza di Fe è risultata il principale fattore limitante per la crescita, determinando una riduzione del peso fresco di foglie e radici rispettivamente del 44% e del 57% rispetto al controllo, mentre la sola salinità ha mostrato effetti meno marcati. L'analisi dell'architettura radicale ha evidenziato che il rimodellamento morfologico del sistema radicale era guidato prevalentemente dalla disponibilità di Fe. La misura del contenuto di clorofilla (SPAD) ha mostrato che la condizione di carenza di Fe induceva una clorosi progressiva, con valori in diminuzione da 31,9 al 7° giorno a 12,3 al 14° giorno, mentre le piante sottoposte a sola salinità mantenevano valori comparabili al controllo per l'intera durata dell'esperimento. Al contrario, le piante sottoposte allo stress combinato SF, inizialmente clorotiche, al 14° giorno raggiungevano valori di SPAD simili a quelli delle piante C e S, senza tuttavia mostrare un corrispondente incremento della concentrazione fogliare di Fe. Questo risultato suggerisce che la salinità sia in grado di attenuare i sintomi visivi della carenza di Fe senza ripristinare effettivamente l'accumulo del micronutriente nei tessuti fogliari.

La perossidazione lipidica, valutata attraverso la concentrazione di malondialdeide (MDA), non ha mostrato variazioni significative nei tessuti fogliari. A livello radicale, invece, è emersa una risposta differenziale: i livelli di MDA risultavano più bassi nelle piante Fe-carenti e più elevati nelle piante sottoposte allo stress combinato, indicando che l'interazione tra salinità e carenza di Fe intensifica il danno ossidativo nei tessuti ipogei. Anche il profilo ionomico ha evidenziato una netta distinzione tra i trattamenti Fe-carenti e quelli Fe-sufficienti (C e S): i primi erano caratterizzati da minori concentrazioni di Fe e da un accumulo più elevato di Mg, Mn, Zn e Cu, mentre la salinità promuoveva in particolare l'accumulo di Na e Mo.

Nel complesso, i risultati indicano che la salinità è in grado di alleviare parzialmente la clorosi indotta dalla carenza di Fe, ma al tempo stesso amplifica lo stress ossidativo a livello radicale, evidenziando un'interazione non additiva e tessuto-specifica tra i due fattori di stress.

EFFETTI DI BIOCHAR E DISTILLATO DI LEGNO SULLA FERTILITÀ DI SUOLI MARGINALI E SULLE RISPOSTE NUTRIZIONALI E FISIOLOGICHE DI *OCIMUM BASILICUM* L.

Bianchini G, D'Asaro L, Ceccanti C, Guidi L, Cardelli R

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

Parole chiave: agricoltura sostenibile, ammendanti, biostimolanti, interazione suolo-pianta, nutrizione minerale, sistemi antiossidanti

La continua perdita di fertilità nei terreni sabbiosi ha suscitato un crescente interesse nei confronti degli ammendanti in grado di migliorare la disponibilità di nutrienti e la funzionalità biologica del suolo. In tale contesto, l'esigenza di preservare e ripristinare la fertilità del suolo ha orientato la ricerca verso strategie sostenibili basate sull'utilizzo di prodotti biobased capaci di incrementare sia la produttività delle colture che l'attività biologica del suolo. Il presente studio ha avuto l'obiettivo di valutare gli effetti del biochar (3% p/p; BC) e del distillato di legno (fertirrigazione settimanale, diluito al 2% v/v in H₂O; WD), applicati singolarmente o in combinazione (BC+WD) su un suolo marginale sabbioso. I trattamenti sono stati confrontati con un controllo non trattato (CNT) al fine di analizzare le variazioni della fertilità del suolo e su alcune caratteristiche fisiologiche e biochimiche di piante di basilico coltivate in vaso. Dopo 28 e 56 giorni di trattamento sono stati valutati i contenuti di macronutrienti disponibili nel suolo (NPK) e l'attività enzimatica, mentre nelle piante sono stati valutati la crescita, l'assorbimento di macronutrienti, gli scambi gassosi e le risposte del sistema antiossidante.

La disponibilità di fosforo nel suolo è risultata significativamente maggiore nei trattamenti BC e BC+WD rispetto al CNT, con incrementi finali pari al 36 e 37%. Un andamento analogo è stato osservato per il potassio scambiabile e per il pH del suolo. Sebbene l'applicazione del solo BC abbia determinato una riduzione dell'attività enzimatica del suolo, il trattamento combinato BC+WD ha indotto, alla fine dell'esperimento, un incremento significativo dell'attività dell'ureasi (+26%) e della fosfatasi acida (+7%) rispetto al CNT. Dopo 56 giorni, l'assorbimento di fosforo da parte delle piante è risultato significativamente più elevato nel trattamento BC+WD, mentre l'assorbimento di potassio è aumentato sia nelle piante coltivate in presenza di BC sia nel trattamento combinato, con incrementi rispettivamente del 38% e del 75% rispetto al controllo. Inoltre, i trattamenti con BC e BC+WD hanno determinato un aumento significativo dell'attività fotosintetica delle piante di basilico, mentre il WD ha influenzato principalmente le risposte associate al metabolismo antiossidante per tutta la durata della prova sperimentale. In particolare, il trattamento combinato BC+WD ha indotto un aumento dell'attività della deidroascorbato riduttasi (+52%), dell'ascorbato perossidasi (+78%) e della glutatione riduttasi (+41%) rispetto al CNT, evidenziando una marcata attivazione del sistema antiossidante. Tuttavia, i risultati ottenuti suggeriscono che tale risposta sia principalmente attribuibile alla presenza del biochar nel substrato piuttosto che all'azione del solo distillato di legno.

Nel complesso, i risultati ottenuti dimostrano che il biochar, applicato singolarmente o in combinazione con WD, migliora la fertilità dei suoli marginali sabbiosi aumentando la disponibilità di fosforo e potassio e modulando l'attività enzimatica del terreno. Inoltre, il WD, soprattutto in associazione con il BC, agisce come modulatore delle dinamiche dei nutrienti e delle risposte fisiologiche e biochimiche delle piante. Tali evidenze confermano il potenziale impiego di questi ammendanti biobased nell'ambito di strategie di agricoltura sostenibile finalizzate al miglioramento della qualità del suolo e della resilienza delle colture.

USO DEL BIOCHAR PER ALLEVIARE LO STRESS SALINO IN FRUMENTO DURO

Bruschini A, Coppa E, Picchio R, Astolfi S

Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali (DAFNE), Università degli Studi della Tuscia

Parole chiave: Biochar, Germinazione, WinRHIZO, Zolfo, NaCl

La salinizzazione dei suoli rappresenta una crescente criticità per la coltivazione del frumento duro (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) negli ambienti mediterranei, dove compromette la germinazione, la crescita e l'efficienza nell'assorbimento di acqua e nutrienti. In questo contesto, l'impiego del biochar come ammendante del substrato può costituire una strategia sostenibile per migliorare la tolleranza delle piante allo stress salino.

Il presente studio ha valutato gli effetti di tre biochar ottenuti da differenti matrici legnose, B1 (*Abies alba* e *Pinus nigra*, 50% v/v), B2 (*Populus* spp.) e B3 (*Corylus avellana*), sulla risposta del frumento duro a diversi livelli di salinità. Gli esperimenti sono stati condotti in condizioni controllate, coltivando le piante in una miscela di perlite e sabbia (50:50, v/v) in presenza di quattro concentrazioni di NaCl (0, 50, 100 e 150 mM) e tre dosi di biochar (0, 10 e 20%, v/v). L'applicazione di B1 e B2 ha determinato percentuali di germinazione superiori rispetto a B3. In particolare, in condizioni di salinità più elevata (100 e 150 mM NaCl), l'effetto positivo di B1 sulla germinazione è risultato associato a una maggiore produzione di biomassa radicale e fogliare, suggerendo una migliore capacità di insediamento e di crescita iniziale delle plantule.

L'analisi comparativa delle heatmap e del clustering gerarchico dei parametri di morfologia radicale ha evidenziato che la salinità rappresenta il principale fattore responsabile delle variazioni osservate, mentre il biochar ne modula la risposta in modo dose-dipendente. In generale, i trattamenti in assenza di salinità sono risultati associati ai valori più elevati di lunghezza, superficie, volume e numero di apici radicali. Al contrario, l'aumento della concentrazione di NaCl ha determinato una progressiva riduzione di questi parametri e, in diversi casi, un incremento relativo del diametro medio, indicativo di una risposta morfologica più conservativa. Tra le dosi testate, il 10% di biochar si è dimostrato il trattamento più efficace nel preservare una morfologia radicale favorevole, soprattutto a 50 e 100 mM NaCl, condizioni nelle quali i parametri associati alla capacità esplorativa dell'apparato radicale sono risultati generalmente superiori rispetto al controllo e al trattamento con il 20% di biochar. Al contrario, il 20% di biochar ha mostrato effetti più variabili e spesso meno favorevoli, collocandosi più frequentemente nei cluster associati ai trattamenti più penalizzati.

Nel complesso, i risultati indicano che il biochar può attenuare gli effetti della salinità sul frumento duro, in particolare a livello della germinazione e della morfologia radicale, ma che la sua efficacia dipende sia dalla matrice di origine sia dalla dose applicata. In particolare, dosi moderate risultano più efficaci nel sostenere lo sviluppo radicale sotto stress salino, mentre dosi più elevate tendono a ridurne il beneficio, soprattutto in condizioni di salinità severa.



LINKING SOIL HEALTH TO FOOD SAFETY IN URBAN VEGETABLE GARDENS OF NAPLES

Caporale AG¹, Carbone FA¹, Arbi G², Ventorino V¹, Adamo P¹, Suciù NA²

¹ Department of Agricultural Sciences, University of Naples Federico II

² Department for Sustainable Food Process, Università Cattolica del Sacro Cuore

Parole chiave: urban soil, sustainable agriculture, food quality, PTEs and POPs, risk assessment

Over the past decades, the metropolitan area of Naples has experienced significant soil consumption and urban sprawl, despite a gradual population decline since 2013. Currently, ~35% of the metropolitan area is occupied by sealed urban soils (ISPR, 2025). Some of the remaining land is dedicated to agriculture and food production, however limited information is available regarding the soil health, and food quality/safety in these areas.

The 2-year HealthySoil4QualityFood PRIN-2022 project (CUP: E53D23011040006) aimed to fill this knowledge gap through research focusing on: i) evaluating soil health and potential chemical contamination in vegetable gardens of Naples metropolitan area; ii) assessing irrigation water quality; iii) investigating biodiversity, sustainability of cultivation practices, and the chemical composition of edible plant biomass (including mineral nutrients, bioactive compounds, and potential contaminants); iv) identifying possible risks associated with contamination.

Five case study sites were selected based on their geographical distribution, proximity to potential contamination sources, stakeholder profiles, and land use (e.g., community gardens for self-consumption or educational green spaces for children/students). These sites are located in the districts of Capodimonte (SITE-1, northern part of the city), Vomero (SITE-2 and SITE-3, south-western side) and Ponticelli (SITE-4, north-eastern side), within Naples, and in the nearby municipality of Portici (SITE-5, at south-eastern of Naples).

Soil physicochemical characterization highlighted an overall good health of the urban soils, with a sandy loam texture, neutral to slightly alkaline pH, adequate nutrient availability, and negligible to low content and bioavailability of contaminants. Biomolecular investigations unveiled a similar total microbial abundance (16S rRNA and ITS) across the sites, while the functional composition of microbial communities varied significantly, reflecting differences in ecological processes such as nitrogen fixation, cellulose degradation, and pectin degradation. On average, the soil total element concentrations were in line with the background/baseline values identified for the volcanic soils derived from the Phlegraean Fields and/or the Somma-Vesuvius complex. Although the total concentrations of Pb in the study soils were often above the Italian limit of 100 mg kg⁻¹ (frequent finding in urban environments), single-step and sequential extractions highlighted poor/low Pb bioavailability for plants and soil microbiota. Even the bioaccessibility assays on fine soil particle-size fractions (< 50 µm) did not prove critical findings. PCBs content in soil was below the Italian intervention limit whereas PAHs rarely exceeded their own legal limit. Food products, monitored across different growing seasons, demonstrated high nutritional quality and reliable safety (even in terms of Pb concentration and POPs), comparable to those grown in less human-impacted rural areas. The water quality was also satisfactory. Realistic exposure scenarios for potential contaminants (potentially toxic elements and persistent organic pollutants) were developed by the MERLIN-Expo tool and USEPA-based risk assessment, with no concerning outcomes for human health, including the most vulnerable population categories.

Cultivation techniques and the management of vegetable gardens were improved and oriented toward sustainable, resilient, and site-specific models. At the conclusion of the research activities, the HealthySoil4QualityFood project team consolidated the findings and, in collaboration with the main stakeholders, developed guidelines including monitoring indicators to support the assessment and sustainable management of urban soils.

SOTTOPRODOTTI AGRO-INDUSTRIALI DEL POMODORO COME INGREDIENTI FUNZIONALI: SVILUPPO E CARATTERIZZAZIONE DI BISCOTTI SALATI ARRICCHITI

Ceccanti C¹, Narra F¹, Bozzini MF², Sanmartin C¹, Taglieri I¹, Guidi L¹

¹Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università di Pisa

²Dipartimento di Farmacia, Università di Pisa

Parole chiave: scarti di lavorazione, pomodoro, panificati, digestione gastrointestinale, bioaccessibilità

La valorizzazione dei sottoprodotti agro-industriali rappresenta una strategia rilevante per migliorare la sostenibilità dei sistemi alimentari e promuovere approcci di economia circolare. Tra questi sottoprodotti, i residui della lavorazione del pomodoro, come bucce e semi, sono peraltro anche ricchi di composti bioattivi (e.g., licopene) e possono essere riutilizzati come ingredienti funzionali nelle formulazioni alimentari. Il presente studio ha valutato il potenziale utilizzo di una polvere ottenuta da sottoprodotti del pomodoro liofilizzati (comprendente bucce e semi) come ingrediente funzionale in biscotti salati, valutando sia l'impatto sulla composizione nutraceutica di questi prodotti, nonché le caratteristiche sensoriali e i profili dei composti organici volatili (VOCs). Inoltre, è stata condotta una digestione gastrointestinale simulata in vitro, seguendo il protocollo INFOGEST, al fine di determinare la bioaccessibilità (BC%) dei principali composti bioattivi. La polvere di sottoprodotti del pomodoro è stata incorporata nelle formulazioni dei biscotti salati a due concentrazioni (4% e 6% p/p sulla farina), mentre i biscotti non arricchiti sono stati utilizzati come controllo (Cnt). Nei campioni non digeriti, i biscotti arricchiti alle due concentrazioni presentavano livelli significativamente più elevati di licopene (+79.6% in media) e β -carotene (+74.6% in media) rispetto al Cnt. L'analisi sensoriale ha mostrato che, sebbene i campioni arricchiti si distinguessero dal controllo per alcuni attributi visivi, gustativi e per le caratteristiche note aromatiche di pomodoro, l'aggiunta del liofilizzato derivato dagli scarti non ha compromesso l'accettabilità complessiva del prodotto, con differenze minime tra i due livelli di arricchimento. Nonostante l'elevata temperatura (190 °C) di cottura, l'analisi dei VOCs ha evidenziato la presenza di composti volatili caratteristici derivati dal pomodoro (e.g., 6-metil-5-epiten-2-one) nei biscotti arricchiti rispetto al controllo, mentre quest'ultimo ha mostrato livelli più elevati di aldeidi associate all'ossidazione lipidica. Sebbene l'aggiunta del liofilizzato derivato dagli scarti di pomodoro ai biscotti salati abbia mostrato risultati promettenti in termini di palatabilità e contenuto di composti bioattivi prima della digestione, l'analisi post-digestione ha evidenziato valori di BC% inferiori per licopene e β -carotene nei campioni arricchiti a entrambi i livelli di arricchimento ed in particolare nella formulazione al 6%, rispetto al Cnt. Al contrario, una maggiore bioaccessibilità era evidenziata per l'acido ascorbico e il contenuto totale di flavonoidi nei biscotti arricchiti rispetto al Cnt, nonostante, durante le analisi sui campioni non digeriti, la concentrazione di tali molecole non riportava differenze significative tra trattati e Cnt. Nel complesso, nonostante risultati contrastanti, in termini di qualità nutraceutica, tra campioni non digeriti e digeriti e che richiedono ulteriori approfondimenti, i risultati del presente studio dimostrano che i sottoprodotti della lavorazione del pomodoro possono essere efficacemente impiegati come ingredienti funzionali nei prodotti da forno, migliorandone il profilo nutraceutico e contribuendo alla riduzione degli sprechi e allo sviluppo di sistemi alimentari più sostenibili e funzionali.



STRESS-SELECTED PGPR FROM TOMATO RHIZOSPHERE AS CANDIDATES FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE UNDER SALINITY AND DROUGHT

Chaudhry A, Alzate Zuluaga MY, Cesco S, Pii Y

Faculty of Agricultural, Environmental and Food Sciences, Department of Food Engineering and Biotechnology, Free university of Bozen-Bolzano

Parole chiave: Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR); salinity stress; drought stress; tomato (*Solanum lycopersicum*); rhizosphere bacteria

Salinity and drought are major environmental stresses that significantly limit tomato growth and productivity. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) offer a sustainable strategy to enhance plant tolerance to these adverse conditions. In the first year of this study, stress-tolerant bacteria associated with tomato roots and rhizosphere soil were isolated and characterized to identify promising PGPR strains. Tomato seedlings were cultivated in a sterilized soil:perlite:peat mixture and subjected to controlled salinity and drought stress. Salinity stress was gradually applied at concentrations of 50, 100, and 150 mM NaCl, while drought stress was imposed by maintaining soil moisture at 30% field capacity. Bacterial isolates were obtained from root and rhizosphere samples using selective media supplemented with NaCl or PEG-6000. These isolates were screened for key plant growth-promoting traits, including phosphate and potassium solubilization, nitrogen fixation, siderophore production, indole-3-acetic acid synthesis, and sulfur oxidation. A total of 127 isolates were recovered, with the highest number obtained under salinity stress and the lowest under non-stressed conditions. Isolates from stressed environments exhibited a higher frequency of beneficial traits compared to controls. ARDRA analysis grouped the isolates into 83 distinct clusters, demonstrating substantial genetic diversity. Subsequent 16S rRNA gene sequencing identified representatives from 23 genera, predominantly *Pseudomonas* and *Bacillus*. Most isolates were non-pathogenic, and approximately 72% were confirmed or considered potential PGPR. Overall, this study established a diverse collection of stress-adapted rhizobacteria, providing a strong foundation for selecting effective strains to support sustainable tomato cultivation under salinity and drought stress conditions.



LA VALUTAZIONE DELLA RIGENERAZIONE DEL SUOLO MEDIANTE AMMENDANTI ORGANICI PER MIGLIORARE LA SALUTE DEL SUOLO IN VIGNETO

D'Avino L¹, L'Abate G¹, Mocali S¹, Varone L², Del Duca S¹, Gambelli MA¹, Rocchi F,
Becagli C¹, Fabiani A¹, Alinari C³, Bertolotto L³

¹ CREA Research Centre for Agriculture and Environment, Florence, Italy

² Department of Environmental Biology Sapienza University of Rome, Italy

³ Paneco Ambiente s.r.l., Rome, Italy

Parole chiave: ripristino sostanza organica, resilienza suoli, QBS-ar, microbiologia del suolo, ecofisiologia della vite

Il mantenimento della fertilità del suolo e della sostanza organica è fondamentale per garantire la sostenibilità dei vigneti mediterranei. Per valutare l'applicazione di tecniche agronomiche avanzate e di prodotti per il ripristino della fertilità dei suoli è indispensabile un approccio interdisciplinare. In questo contesto, è fondamentale operare una scelta consapevole riguardo alla metodologia da impiegare e alla selezione di indicatori appropriati. Viene proposto un modello interpretativo per valutare gli ammendanti organici nei vigneti. Le analisi considerate nel modello sono (i) il rilevamento prossimale per ottimizzare il disegno sperimentale, (ii) la scelta di alcuni specifici parametri fisico-chimici del suolo, (iii) indici relativi alla comunità batterica e (iv) dei microartropodi del suolo e infine (v) misurazioni di ecofisiologia della vite.

In un prestigioso vigneto a Montalcino (Siena, Italia), questo modello è stato messo in pratica attraverso l'applicazione di un digestato vermicompostato registrato e una particolare gestione del suolo tra i filari. I risultati dello studio hanno evidenziato, nell'area trattata, un aumento del contenuto di carbonio organico e una conseguente riduzione del pH del suolo. Anche la conducibilità ha registrato un aumento, pur rimanendo ben al di sotto della soglia di tollerabilità per le viti. Ciononostante, è consigliabile tenere conto di questo parametro, in particolare nei terreni moderatamente salini. La comunità batterica sembra essere influenzata da un effetto di posizione. Tuttavia, la componente coltivabile ha mostrato un aumento significativo in tutto il vigneto durante il periodo di sperimentazione, con un incremento particolarmente marcato osservato nell'area trattata nell'ultimo anno di trattamento. La successiva analisi del DNA batterico totale dei campioni di terreno raccolti nel secondo anno ha rivelato una struttura della comunità batterica diversa tra i campioni trattati e quelli di controllo. Come per i batteri coltivabili, l'analisi della comunità di microartropodi ha dimostrato un aumento della popolazione nel tempo sia nelle aree trattate che in quelle di controllo, ma l'aumento è stato maggiore e con una bassa variabilità nell'area trattata. Per quanto riguarda le viti nell'area trattata, hanno mostrato un aumento dei livelli di attività produttiva, come i tassi di assimilazione del carbonio e una maggiore efficienza nell'utilizzo dell'acqua per la fotosintesi. Inoltre, è stata osservata una maggiore consistenza strutturale delle foglie, che ha portato a una maggiore resistenza allo stress idrico.

In conclusione, i risultati hanno confermato l'efficacia di questa strategia come possibile strumento per valutare l'effetto di prodotti ammendanti, o meglio, di sistemi colturali diversificati per la gestione del suolo, atti a migliorare la salute del suolo. Tuttavia, come è noto, la rigenerazione del suolo è un processo di lunga durata, che richiede un approccio su misura per ogni sito. Questo modello di valutazione interdisciplinare ha mostrato di essere uno strumento utile per la gestione dei suoli viticoli; tuttavia, si raccomandano ulteriori studi per valutarne l'applicabilità su scala più ampia e su diversi tipi di suolo.



IL SUOLO COME DRIVER DEL MAL DELL'INCHIOSTRO DEL CASTAGNO: RUOLO DI MORFOLOGIA DEL VERSANTE, RIDISTRIBUZIONE DELL'ARGILLA E DINAMICA IDRICA

De Feudis M¹, Trenti W¹, Marinari S², Murolo S³, Tabanelli G¹, Puliga F¹, Marabottini R²,
Zambonelli A¹, Gardini F¹, Vittori Antisari L¹

¹ Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

² Dipartimento per la innovazione nei sistemi biologici, agroalimentari e forestali, Università della Toscana

³ Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali, Università Politecnica delle Marche,

Parole chiave: Lessivage, orizzonti pedogenetici, Luvisol, microbiologia del suolo

Il mal dell'inchiostro del castagno, causato dai patogeni tellurici *Phytophthora cambivora* e *Phytophthora cinnamomi*, rappresenta una crescente minaccia per i castagneti (*Castanea sativa*) europei. Tuttavia, i fattori pedologici che ne regolano la distribuzione e la propagazione rimangono ancora poco chiariti. In questo studio è stato valutato il ruolo della morfologia del versante e dei processi pedogenetici associati nel modulare le proprietà del suolo, le comunità microbiche e la presenza dei patogeni lungo l'intero profilo.

L'indagine è stata condotta in un castagneto situato nel comune di Alto Reno Terme (Bologna), lungo un transetto altitudinale comprendente una pianta sintomatica (INK1, 978 m s.l.m.) e due piante senza sintomi (INK2, 988 m; INK3, 998 m). A valle di ciascuna pianta sono stati aperti profili di suolo, descritti e campionati per orizzonte pedogenetico. I suoli, classificati come Luvisol, presentavano pendenze del 3% (INK1), 9% (INK2) e 30% (INK3). I campioni sono stati analizzati per proprietà fisiche e chimiche, caratteristiche idrauliche e composizione delle comunità microbiche.

I risultati evidenziano come la posizione lungo il versante e la minore pendenza di INK1, che si trova in chiusura di versante, abbiano favorito l'accumulo di argilla e acqua provenienti dai siti a monte. I profili di INK1 mostrano infatti un maggiore contenuto in argilla, associato a valori più elevati di conducibilità idraulica satura ($K_s = 25,1\%$) e di punto di appassimento ($WP = 14,9\%$) rispetto a INK2 ($K_s = 4,6\%$; $WP = 11,7\%$) e INK3 ($K_s = 6,5\%$; $WP = 8,2\%$). Tali condizioni determinano una maggiore ritenzione idrica negli orizzonti profondi, dove è stata rilevata la presenza del DNA di *Phytophthora*.

La presenza del patogeno risulta associata a modificazioni nella funzionalità microbica, evidenziate dalla predominanza di ectomicorricce di contatto (~20%) e a distanza media (~60%) rispetto a quelle a lunga distanza.

Nel complesso, lo studio dimostra come i processi pedogenetici legati alla ridistribuzione di argilla e acqua lungo il versante rappresentino un fattore chiave nel controllo delle proprietà edafiche, nella strutturazione delle comunità microbiche e nella dinamica dei patogeni del suolo.



INORGANIC NITROGEN FORMS INFLUENCE THE CHEMICAL COMPOSITION AND PROTEOMIC PROFILE OF THE MATURE TAPROOT OF RADISH (*RAPHANUS SATIVUS* L.) GROWN IN A HYDROPONIC SYSTEM

Muratore C, Bernardo L, Pesenti M, Prinsi B, Nocito FF, Espen L

Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali – Produzione, Territorio, Agroenergia. Università degli Studi di Milano

Parole chiave: *Raphanus sativus* L., nitrate/ammonium co-provision, glucosinolates, proteomics

The presence of high nitrate (NO_3^-) concentrations in vegetables, such as radish (*Raphanus sativus* L.), represents a health concern, since this nitrogen form can be converted into toxic nitrite by bacteria present in the human digestive system. To mitigate this risk, an EC regulation has set limits for NO_3^- content in vegetables. Previous studies have suggested several strategies to reduce NO_3^- accumulation. Among these, the reduction of NO_3^- in the growth medium during the final cultivation period, as well as the use of different nitrogen forms such as ammonium (NH_4^+), have shown promising results. In this context, soilless cultivation represents an effective tool for radish growth, allowing precise management of nutrient supply. Preliminary experiments showed that hydroponic cultivation of radish plants under $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ co-provision regimes significantly limited NO_3^- accumulation in the edible taproot (i.e., hypocotyl) without compromising plant growth or productivity (biomass and developmental parameters). The present study investigated the possibility that different $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ co-provision regimes could affect the quality traits of radish taproots. For this purpose, plants were grown either with 3.5 mM NO_3^- as the sole nitrogen source or with $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratios of 1 and 4, while maintaining a total nitrogen availability of 3.5 mM. Total phenolic content, antioxidant capacity, amino acid and glucosinolate profiles were determined. To investigate the metabolic responses induced by different nitrogen inputs and to further explore the relationships between the chemical composition and biochemical changes, a proteomic analysis was performed. Our findings showed that an $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio of 1 had a positive effect on taproot biomass and did not affect either total phenolic content or antioxidant capacity. Consistent with the typical response to NH_4^+ supply, glutamine levels increased under the co-provision regimes. Co-provision also resulted in increased glucosinolate content, mainly associated with higher levels of glucoraphenin and glucoraphastin, two aliphatic glucosinolates known for their chemoprotective and antioxidant properties in animal cells. Proteomic analysis enabled the identification and quantification of a total of 390 proteins. Of these, 37 proteins mainly associated with protein metabolism, carbon metabolism, and regulation/signaling functional categories showed significant changes in abundance in the taproots of plants grown under the co-provision regimes. Protein-protein interaction analysis, performed using the STRING database, revealed several functional networks, including nitrogen metabolism, heat shock protein binding, and proteasome-related processes. Taken together, these results describe biochemical responses to NH_4^+ exposure that, within this concentration range, exert positive effects on the quality traits of radish taproots.

Project funded under the National Recovery and Resilience Plan (NRRP), Mission 4 Component 2 Investment 1.3 - Call for proposals No. 341 of 15 March 2022 of Italian Ministry of University and Research funded by the European Union – NextGenerationEU.



RISPOSTA DEL SUOLO IN SISTEMI DI AGRICOLTURA RIGENERATIVA: STRIP CROPPING E MONOCOLTURA A CONFRONTO

Ferri G¹, Franchi L¹, Allevalo E², Stazi SR¹

¹ Dipartimento di Scienze Chimiche, Farmaceutiche e Agrarie (DOCPAS) - Università di Ferrara

² Dipartimento di Scienze Ambientali e della Prevenzione (DiSAP) - Università di Ferrara

Parole chiave: Agricoltura rigenerativa, gestione del suolo, sostenibilità agronomica, strip cropping

L'agricoltura moderna meccanizzata ha generato diverse criticità, tra cui la degradazione del suolo, l'inquinamento ambientale e la perdita di ecosistemi. Tali problematiche hanno incentivato la ricerca di pratiche agricole più sostenibili come l'agricoltura rigenerativa che si distingue per il suo approccio orientato al ripristino della funzionalità del suolo e degli equilibri ecosistemici. Il presente studio ha l'obiettivo di studiare le potenzialità dell'agricoltura rigenerativa e di attuare, sempre nel contesto di sistemi rigenerativi, un confronto tra monocoltura e strip cropping.

La prova sperimentale è stata condotta presso l'European Regenerative Organic Centre (EROC), nato nel 2022 da una partnership tra il Rodale Institute e Davines Group.

L'esperimento è stato organizzato secondo un disegno a blocchi completamente randomizzato, con 4 repliche per ogni trattamento, per un totale di 56 parcelle. I campioni di suolo prelevati sono stati fatti essiccare all'aria, frantumati e setacciati (<2mm).

I risultati delle analisi fisico-chimiche e biologiche realizzate, hanno evidenziato differenze statisticamente rilevanti tra i due sistemi di coltivazione. In particolare, per quanto riguarda le analisi chimiche, le parcelle coltivate a strip cropping presentano valori più elevati di sostanza organica e carbonio organico totale (TOC), evidenziando una maggior fertilità del suolo. I livelli di pH sono notevolmente più elevati nelle parcelle a coltivazione monocolturale con valori fortemente alcalini, mentre lo strip cropping ha valori di pH più moderati, debolmente alcalini.

Per quanto riguarda l'analisi della capacità di scambio cationico (CSC), i valori si presentano più stabili nelle parcelle con strip cropping mentre la monocoltura presenta maggiore variabilità. Dal punto di vista biologico, le analisi effettuate hanno mostrato che mediamente la biomassa microbica e i tassi di respirazione microbica del suolo risultano più elevati nelle parcelle coltivate con pratica strip cropping, anche se entrambe le tipologie di suolo hanno un'elevata attività di respirazione microbica, confermando una buona vitalità microbiologica all'interno del contesto di agricoltura rigenerativa, ma suggerendo un miglioramento della salute microbica e in generale della vitalità del suolo nelle parcelle con coltivazione strip cropping.

Osservando i dati ottenuti emerge che lo strip cropping migliora significativamente la qualità e fertilità del suolo rispetto alla monocoltura: la diversità varietale all'interno delle singole parcelle porta a interazioni positive tra le piante e i microrganismi, con miglioramento della fertilità del suolo e della biodiversità. L'agricoltura rigenerativa, e lo strip cropping in particolare, è quindi sicuramente una strategia attuabile per mitigare gli effetti dell'agricoltura tradizionale sull'ambiente e per il raggiungimento di una maggior sostenibilità ambientale e produttività agricola.



EFFICIENZA IDRICA E RESILIENZA DEL SUOLO: EFFETTI DI DIVERSI METODI IRRIGUI IN AGROECOSISTEMI COLTIVATI A PATATA

Franchi L¹, Ferri G¹, Allevato E², Radicetti E¹, Coluccia L¹, Solimando D³, Stazi SR¹

¹ Dipartimento di Scienze Chimiche, Farmaceutiche e Agrarie (DOCPAS), Università di Ferrara

² Dipartimento di Scienze Ambientali e della Prevenzione (DiSAP), Università di Ferrara

³ Consorzio di Bonifica di Il' per il Canale Emiliano Romagnolo-Budrio-Italia

Parole chiave: Gestione del suolo, sostenibilità agronomica, TOC, ammonio disponibile

Il cambiamento climatico e la crescente scarsità di risorse idriche rappresentano una delle principali sfide per la sostenibilità dei sistemi agricoli, rendendo necessaria l'adozione di strategie irrigue più efficienti e capaci di preservare la funzionalità del suolo nel lungo periodo. In questo contesto, il presente studio valuta gli effetti di diversi metodi di irrigazione sulle proprietà fisiche, chimiche e biologiche del suolo in un agroecosistema coltivato a patata (*Solanum tuberosum* L.), specie di grande rilevanza agronomica e caratterizzata da elevate esigenze idriche.

La prova sperimentale è stata condotta presso l'Acqua Campus di Budrio (Bologna), sotto la supervisione del CER (Canale Emiliano Romagnolo), confrontando due sistemi irrigui convenzionali ad aspersione, ala piovana e mini-sprinkler, e tre sistemi di precisione: goccia tradizionale, Defend (sistema di irrigazione in profondità) e goccia su suolo pacciamato. Le analisi del suolo sono state eseguite su campioni prelevati in tre momenti del ciclo colturale: prima della semina, alla fioritura e dopo la raccolta. Per ciascun trattamento sono stati determinati indicatori della salute del suolo, tra cui stabilità degli aggregati, ritenzione idrica, pH, carbonio organico totale (TOC), forme dell'azoto, biomassa microbica e respirazione microbica. A completamento del quadro sperimentale, sono stati inoltre raccolti dati agronomici sulla coltura della patata, al fine di integrare la risposta del suolo con quella produttiva della pianta.

I risultati preliminari mostrano che il metodo irriguo influenza la distribuzione dell'acqua nel suolo e la dinamica dei nutrienti, con possibili effetti sull'attività microbica e sulla qualità complessiva del sistema suolo.

Nel complesso, i sistemi di irrigazione di precisione evidenziano una maggiore efficienza d'uso dell'acqua e favoriscono condizioni del suolo più stabili rispetto ai metodi convenzionali, pur senza determinare necessariamente valori più elevati per tutti i parametri analizzati. L'integrazione dei dati pedologici con i risultati agronomici consente una valutazione più completa dell'efficacia dei diversi metodi irrigui e fornisce indicazioni utili per lo sviluppo di strategie di gestione sostenibile nei sistemi colturali intensivi soggetti a crescente variabilità idrica.

Questo lavoro di ricerca è stato sviluppato nell'ambito del progetto RER Bando PSR 2021-2027 dal titolo P.A.T.A.T.A. (No. 2343 of 22/12/2023) - Produrre aggregando tecnici ed Agricoltori, tutelando l'acqua

BASILICO (*OCIMUM BASILICUM* L.) BIOFORTIFICATO CON IODIO: UNA NUOVA OPPORTUNITÀ PER CONTRASTARE LA CARENZA DI IODIO NELLA DIETA?

Ceccanti C, D'Asaro L, Landi M, Pardossi A, Puccinelli M, Guidi L

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

Parole chiave: Iodio, elementi benefici, carenze dietetiche, INFOGEST, fase gastrica

La carenza di iodio rappresenta una delle più diffuse carenze di micronutrienti a livello globale, interessando quasi due miliardi di persone e causando disturbi alla tiroide. La biofortificazione agronomica delle colture orticole costituisce una strategia promettente per incrementare l'assunzione di iodio attraverso la dieta. Il presente studio ha indagato l'effetto della biofortificazione con iodio sulla qualità nutraceutica del basilico (*Ocimum basilicum* L.) coltivato in idroponica e sulla bioaccessibilità dello iodio a livello gastrointestinale. Le piante di basilico sono state coltivate in serra e biofortificate per dieci giorni mediante l'aggiunta di ioduro di potassio (KI, 10 μ M) alla soluzione nutritiva. Piante di basilico non biofortificate con iodio sono state considerate come controllo. Al momento della raccolta, sono stati rilevati i parametri biometrici e, nelle foglie, sono state condotte analisi biochimiche per la determinazione dell'acido ascorbico, dei flavonoidi, dei fenoli totali e della capacità antiossidante, oltre al contenuto di iodio. Successivamente, le percentuali di bioaccessibilità (%BC) dei composti bioattivi e dello iodio nelle foglie sono state determinate nel digestato di basilico ottenuto a seguito del processo di simulazione gastrointestinale in vitro seguendo il protocollo INFOGEST. Le analisi sono state effettuate sia a seguito della fase gastrica che di quella intestinale per distinguere le differenti frazioni di bioaccessibilità dello iodio nell'apparato digerente. Il trattamento con iodio ha influenzato negativamente la crescita delle piante, determinando una riduzione significativa dei parametri di biomassa totale (-23,2%) rispetto al controllo. Tuttavia, la biofortificazione ha comportato un aumento nel contenuto in fenoli totali (+50,5%), in flavonoidi totali (+26,0%) e in acido ascorbico (+17,2%) nelle foglie fresche di basilico, suggerendo una possibile risposta metabolica indotta da stress. Nonostante tali risultati, promettenti in termini di incremento della qualità nutraceutica, non sono state evidenziate differenze significative nelle %BC dei composti bioattivi rispetto al controllo, né dopo la fase gastrica né dopo quella intestinale. Al contrario, il contenuto di iodio è incrementato significativamente in foglie fresche biofortificate e non digerite (+85,3%) ma anche la sua %BC in fase gastrica ha riportato un incremento del 26,8% rispetto al digestato del controllo. Nel complesso, i risultati indicano che la biofortificazione è efficace nell'arricchire il basilico con più alti contenuti in iodio, incrementando anche la bioaccessibilità di tale elemento in fase gastrica e mantenendo inalterata, al contempo, la bioaccessibilità dei principali composti antiossidanti. Tali evidenze supportano il potenziale utilizzo del basilico biofortificato con iodio come alimento funzionale per contribuire all'apporto dietetico di iodio.



VALUTAZIONE INTEGRATA DELLA QUALITÀ DI SISTEMI ORTICOLI E VITIVINICOLI CAMPANI MEDIANTE APPROCCIO ONE HEALTH

Maddaloni A, Adamo P, Caporale AG

Department of Agricultural Sciences, University of Naples Federico II

Parole chiave: Fertilità del suolo, qualità delle produzioni agrarie, sicurezza alimentare, sostenibilità ambientale, salute umana

La qualità dei sistemi agricoli deriva dalla complessa interazione tra suolo, pianta e ambiente, in cui il microbioma del suolo rappresenta uno dei principali regolatori della produttività, della resilienza e della sicurezza alimentare. In una regione come la Campania, caratterizzata da aree altamente produttive e specializzate ma esposte a potenziali rischi di contaminazione ambientale, emerge la necessità di un approccio integrato in grado di mettere in relazione processi biologici, dinamiche chimico-fisiche ed effetti sulla salute umana ed ambientale. A tal fine, stiamo implementando un progetto di dottorato basato sull'approccio One Health, che collega il benessere umano alla qualità e sicurezza degli alimenti, alla salute del suolo e dell'ambiente, all'uso sostenibile delle risorse e alla collaborazione interdisciplinare. Abbiamo pertanto selezionato un paio di sistemi agricoli campani, uno orticolo in Piana del Sele (SA), l'altro vitivinicolo in Valle Telesina (BN), gestiti secondo tecniche rigenerative/sostenibili o convenzionali, al fine di valutare le proprietà del suolo e il suo stato di salute mediante caratterizzazione fisico-chimica, analisi della qualità della sostanza organica e indagini biomolecolari delle comunità microbiche ed edafiche, in collaborazione con ricercatori di microbiologia ed entomologia. Parallelamente, la qualità e la sicurezza dei prodotti agroalimentari, insieme allo stato fisiologico delle piante, vengono analizzate attraverso rilievi morfologici e biometrici, indagini fisiologiche e analisi chimiche e metabolomiche, con il contributo di colleghi di scienze degli alimenti. Il progetto mira altresì ad ottimizzare i processi produttivi promuovendo il riciclo e la valorizzazione dei residui agroalimentari, mentre la presenza, la mobilità e la bioaccessibilità per l'uomo di contaminanti ambientali, inclusi elementi potenzialmente tossici, inquinanti organici persistenti e microplastiche, saranno investigate mediante approcci analitici avanzati e di modellistica integrata finalizzati alla quantificazione e alla mitigazione del rischio. Nei suoli studio della Piana del Sele (SA) si producono ortaggi baby leaf in coltura protetta, in più cicli produttivi durante l'anno. I primi dati di caratterizzazione del suolo rivelano una tessitura franco-argillosa, una reazione alcalina (pH 8,1–8,2) ed un contenuto di carbonati eterogeneo ma piuttosto elevato (43–374 g kg⁻¹). Il rapporto C/N è basso nei lotti convenzionali (4.1–8.2) e tende ad aumentare in quelli biologici (6.6–10.3). La CSC è mediamente alta (18–32 cmol⁺ kg⁻¹) e prevalentemente saturata da calcio scambiabile, buona è la dotazione in P biodisponibile (36–166 mg kg⁻¹). Sebbene il contenuto totale di cadmio nel suolo sia piuttosto basso (<0.5 mg kg⁻¹), stiamo monitorando la sua biodisponibilità e mobilità nel sistema suolo-pianta, anche studiando e ricorrendo a tecniche che ne limitino la traslocazione negli organi eduli epigei. Nei suoli studio della Valle Telesina (SA) viene invece prodotta uva bianca cv. Falanghina (portinnesti: 420A, sistema d'allevamento: Guyot), vinificata in loco per produrre vino DOC. I suoli sono argillosi e calcarei (99–663 g kg⁻¹) ed a reazione alcalina (pH 8,0–8,4). Il monitoraggio della qualità del suolo, della pianta e del vino verrà condotto in due annate produttive consecutive (2026 e 2027), sia in vigneti biologici da più di 10 anni, sia in vigneti non biologici ma in fase di prossima conversione. L'approccio multidisciplinare e l'integrazione dei dataset consentiranno di definire indicatori specifici in grado di correlare la qualità del suolo con la funzionalità del suo microbioma, lo stato di salute delle colture e la sicurezza della filiera alimentare, fornendo strumenti operativi per una gestione sostenibile e proficua dei sistemi produttivi. L'originalità del progetto risiede nella capacità di connettere analisi chimiche, biomolecolari e ambientali all'interno di un unico quadro concettuale, traducendo i principi dell'approccio One Health in una visione applicabile alla realtà agricola della Campania e orientata alla tutela dell'ambiente, degli alimenti e della salute umana.



BEYOND PHYTOTOXICITY: DISSECTING THE IMPACT OF NOOTKATONE ON NITROGEN ACQUISITION AND AMMONIUM HOMEOSTASIS IN ARABIDOPSIS THALIANA

Nocito FF, Teruzzi C, Zambelli A, Espen L, Araniti F

Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali – Produzione, Territorio, Agroenergia. Università degli Studi di Milano

Parole chiave: ammonium toxicity, nitrate and ammonium uptake

Nootkatone, a naturally occurring sesquiterpenoid, has recently attracted attention as a potential allelochemical for sustainable weed management. Previous work in *Arabidopsis thaliana* demonstrated that exogenous nootkatone elicited diverse phytotoxic effects, from reduced biomass accumulation through impaired photosynthetic performance to extensive metabolic reprogramming. In particular, integrated metabolomic, nutritional, and stable isotope analyses revealed that nootkatone deeply perturbs nitrogen homeostasis by altering nitrogen source preference, promoting a shift from nitrate to ammonium assimilation. This shift leads to enhanced ammonium uptake and accumulation, increased levels of free amino acids and other nitrogen-rich metabolites, and mineral imbalances, thereby reflecting an ammonium toxicity syndrome and supporting a mechanistic link between nootkatone toxicity and ammonium accumulation.

Building on these findings, the present study aims to verify whether the phytotoxic effects of nootkatone are directly linked to the stimulation of ammonium uptake and to altered root nitrogen transport capacity. To this end, we are performing kinetic analyses of nitrate and ammonium uptake in roots of *Arabidopsis thaliana* plants grown in the presence or absence of nootkatone. Uptake kinetics will be integrated with the analysis of transcript levels of key genes encoding high- and low-affinity nitrate transporters as well as ammonium transporters expressed in roots, in order to establish functional relationships between nitrogen transport activity and molecular regulation.

Finally, the effects of nootkatone on plant growth will be compared under contrasting nitrogen nutritional regimes, including exclusive nitrate supply, exclusive ammonium supply, and nitrate–ammonium co-provision. This comparative approach will allow us to determine whether nootkatone-induced toxicity is primarily attributable to altered ammonium accumulation and toxicity, or whether additional metabolic pathways and regulatory mechanisms contribute to its phytotoxic action. Overall, this work seeks to refine our understanding of how nootkatone interferes with nitrogen acquisition and metabolism, providing new insights into the regulation of nitrogen source preference and its role in plant growth and stress responses.

The European EU-Horizon project “AGROSUS: AGROecological strategies for SUStainable weed management in key European crop” funded the research under Grant Agreement Number 101084084.



BIOCHEMICAL RESPONSE OF TOMATO TO REDUCED MINERAL FERTILISATION UNDER BIOPRODUCT APPLICATION

Saccone R, Salvagno S, Bonfante G, Puglisi I, Baglieri A

Università di Catania, Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente

Parole chiave: Biostimulants, Fertilisers reduction, Plant nitrogen metabolism, Waste valorization, Sustainable agriculture

The intensive use of mineral fertilizers in agriculture is a major cause for concern for the environment and the economy. It highlights the need for more sustainable nutrient management. This study evaluated the biostimulant potential of bioproducts (BPs) derived from solid anaerobic digestate for use in the cultivation of tomatoes in a cold greenhouse, with the aim of maintaining crop productivity with reduced mineral fertilization. Field trials were conducted in Sicily over two growing cycles. The BPs were applied to the soil at a rate of 150 kg per hectare before transplanting, in combination with either 100% or 60% of the standard mineral fertilization (MF). The impact on plant growth, yield, fruit quality, pigment content, protein accumulation, and key enzymatic activities involved in nitrogen metabolism was assessed. Reducing MF by 40% significantly decreased the total yield of marketable fruit. By contrast, the combined application of BPs and 60% MF compensated for the reduction in yield, achieving levels comparable to the 100% MF control in both growing cycles. Fruit quality parameters were unaffected by the level of fertilization or BP application. Although chlorophyll content decreased under reduced MF, BP-treated plants exhibited significantly higher protein accumulation and increased enzyme activity involved in nitrogen assimilation, suggesting enhanced nitrogen metabolic efficiency.

The results demonstrate that BPs act as effective biostimulants, enabling a 40% reduction in mineral fertilizer input without compromising tomato yield or fruit quality. This approach is a promising way to enhance the sustainability and efficiency of resource use in greenhouse tomato cultivation.



ORGANIC PHOSPHORUS FORMS AND THEIR DYNAMICS IN IRON PLAQUE ON RICE ROOTS: A LABORATORY INVESTIGATION

Seren Rosso A, Ganugi P, Martin M, Celi LR

Dept. of Agricultural, Forest and Food Sciences (DISAFA), University of Torino

Parole chiave:

Although organic phosphorus (OP) forms are ubiquitous and highly reactive in soils, their role in the formation and properties of iron (Fe) plaque—a Fe (hydr)oxide coating that develops on rice roots as a result of radial oxygen loss—remains largely unexplored. This knowledge gap limits our understanding of phosphorus cycling within the rhizosphere of flooded rice agroecosystems. This study investigates how different OP species, namely phosphate monoesters (inositol hexaphosphate, IHP) and phosphate diesters (phosphatidylcholine, PC), influence Fe plaque formation, mineral composition, and phosphorus bioavailability.

Synthetic Fe–P coprecipitates were produced under controlled O_2 flux (20 mL min^{-1}), simulating oxygen release from rice aerenchyma, at two P/Fe molar ratios (0.05 and 0.5; 2 mM Fe), using inorganic phosphate (monoammonium phosphate, Pi), IHP, and PC as phosphorus sources. Precipitation kinetics were continuously monitored, followed by physicochemical and spectroscopic characterization (XRD and FTIR) of the resulting precipitates. The results showed that Pi delayed Fe(II) oxidation at low P/Fe ratios, leading to the formation of nanometric Fe–Pi particles. Likewise, OP species, together with the P/Fe ratio, significantly affected Fe(II) oxidation kinetics as well as the mineralogical structure and chemical composition of the Fe precipitates.

By clarifying how different OP forms regulate Fe plaque formation and phosphorus bioavailability in rice systems, this study provides new insights into rhizosphere P cycling and contributes to the development of more sustainable phosphorus management strategies in flooded agroecosystems.



SUSTAINABLE NUTRIENT MANAGEMENT USING FOOD-WASTE-DERIVED DIGESTATE COMBINED WITH NPK FERTILIZER TO IMPROVE SOIL HEALTH AND LETTUCE GROWTH

Kashif AM¹, Allevato E², Ferri G¹, Franchi L¹, Stazi SR¹

¹ Department of Chemical, Pharmaceutical and Agricultural Sciences, University of Ferrara

² Department of Environmental and Prevention Sciences, University of Ferrara

Parole chiave: Soil quality, microbial biodiversity, sustainable agriculture, nutrient cycling, sustainable farming

This study evaluates the agronomic effects of digestate derived from processed vegetable food waste, applied alone and in combination with NPK compound fertilizer, on soil health and lettuce (*Lactuca sativa*) growth under controlled conditions. A preliminary screening trial was conducted using a completely randomized experimental design was implemented with five treatments: an unfertilized control, digestate alone, NPK fertilizer alone, low digestate combined with NPK fertilizer, and high digestate combined with NPK fertilizer. Soil physicochemical properties, including pH, electrical conductivity, cation exchange capacity, total organic carbon, moisture content, and nutrient availability, were analysed alongside microbial biomass carbon and soil respiration as indicators of microbial activity. Plant growth responses were assessed through standard growth and yield parameters of lettuce.

Results showed that digestate application improved soil organic carbon content, enhanced microbial biomass, and increased soil biological activity compared to the control. The combined application of digestate and NPK fertilizer further enhanced nutrient availability, stimulated microbial processes, and promoted more efficient nutrient uptake by lettuce plants. Consequently, lettuce grown under the integrated treatment exhibited higher growth performance, including increased biomass and yield. These findings indicate that processed vegetable food-waste-derived digestate, particularly when integrated with mineral fertilizer, can improve soil functionality and crop productivity while supporting sustainable nutrient management strategies.

This work funded by the Emilia-Romagna PR-FESR EMILIA ROMAGNA 2021-2027 and is part of the project C+AgroForER - Not just carbon: a multifunctional approach for ecosystem services and quality food production in agroforestry systems in Emilia-Romagna



PHOSPHORUS RECOVERY FROM WASTE STREAMS AND ASSESSMENT OF FERTILIZER EFFICIENCY

Tambone F¹, Trombino L², Scaglia B¹, de Jagher G¹, Golinelli A¹

¹ *Department of Agricultural and Environmental Sciences, University of Milan*

² *Department of Earth Sciences "Aldo Desio", University of Milan*

Parole chiave: phosphorous recovery; struvite precipitation; sustainable fertilization

Within a global production dominated by the increasing demand for mineral fertilizers, phosphorus (P) is becoming an essential raw material to support population growth and ensure food security. Phosphorus is a non-renewable resource, and its scarcity could become a major challenge in the near future. Its strategic importance is due not only to its biochemical role but also to its geographical distribution. Global reserves are concentrated in a limited number of countries, making the supply chain vulnerable to geopolitical fluctuations and market instability.

In addition to supply-related challenges, poor phosphorus management can lead to severe environmental impacts. If not properly removed from civil and industrial effluents, phosphorus represents the main limiting factor driving eutrophication processes in surface waters.

From this perspective, phosphorus recovery from secondary sources is no longer merely a waste management option, but rather a crucial strategy for securing alternative supplies of this element.

In this study, we investigated the recovery of phosphorus from wastewater generated during tripe washing through struvite precipitation.

As a first step, preliminary characterizations of the supernatant were carried out to assess its chemical properties, followed by batch experiments aimed at identifying optimal recovery conditions (pH, temperature, and retention time). Once the product was obtained, it was analyzed using scanning electron microscopy (SEM) and X-ray techniques to accurately determine the crystal structure of the precipitate.

Further analyses performed by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) allowed for a highly accurate determination of the elemental composition of the recovered precipitate, enabling comparison with other phosphorus sources such as phosphorite.

After completing the characterization of the tripe-derived precipitate, its agronomic efficiency was evaluated. Plant growth trials were conducted using *Lactuca sativa* L., comparing the recovered product with a standard mineral fertilizer, raw phosphorite, and an untreated control.

Based on biomass measurements of individual replicates and analyses of the growth substrates, the recovered product exhibited excellent fertilizing properties.

In conclusion, this study demonstrates that complex waste streams, such as slaughterhouse by-products, can be successfully reintegrated into the production cycle, providing a concrete solution for more sustainable and circular fertilization.

SOIL PHOSPHORUS FRACTIONATION FOLLOWING SIX YEARS OF COMPOST-BASED FERTILIZATION: A FIELD STUDY

Vignali L¹, Shulga A¹, Grigatti M¹

¹Department of Agricultural and Food Sciences, Alma Mater Studiorum University of Bologna

Parole chiave: Sequential chemical extraction, Inorganic phosphorus, Organic phosphorus

Phosphorus (P) is essential for crop production and is increasingly recognized as a critical and limited resource. Consequently, the recycling of organic wastes (OW) as alternative P sources has gained considerable attention within circular economy strategies^[1]. However, the long-term effects of OW-derived fertilizers on soil P dynamics and the related environmental risks are still poorly understood, particularly in the context of emerging European soil protection policies (Soil monitoring law).

To investigate the fate of soil P, a six-year field experiment was established to compare three types of compost: a bio-waste compost (BWC), an anaerobically digested BWC (DC), and one from urban/agro-industrial sludges (SC), with mineral fertiliser (Chem) and unamended control (Ctrl). Two fertilization strategies were evaluated: continuous annual application (Pathway-1) and pulsed application every three years (Pathway-2), combined with supplementary mineral nitrogen inputs.

After six years of cultivation, soil inorganic phosphorus (P_i) fractions were assessed through sequential chemical extraction (SCE), using H₂O, NaHCO₃ (0.5M, pH 8.5), NaOH (0.1M), and HCl (1M) to fractionate inorganic P (P_i). Organic P (P_{org}) was also assessed as the difference between calcinated and non-calcinated soil samples following H₂SO₄ (0.5M) extractions.

Under Pathway-1, compost application markedly increased P_i concentrations across all fractions compared with the Ctrl, particularly in DC. The largest increases were observed in the labile NaHCO₃-P fraction up to 273.3 (DC) vs. 14.2 mg kg⁻¹(Ctrl), together with increases in moderately labile NaOH-P and stable HCl-P pools. In contrast, mineral fertilization (Chem) showed only limited changes and remained close to Ctrl. Under Pathway-2, P_i accumulation was substantially lower across all treatments. Water-extractable P remained nearly constant, while moderate increases in NaHCO₃-P were observed mainly in DC. NaOH-P and HCl-P fractions showed only limited accumulation, suggesting a more efficient crop utilization of the applied P.

Overall, continuous compost application promoted the accumulation of both labile and stable P_i fractions, reflecting the residual effect of repeated organic inputs. Conversely, pulsed application limited soil P build-up and slowed P redistribution among fractions. Organic P did not significantly differ among treatments or fertilization strategies, remaining approximately constant at 250 mg kg⁻¹.

The results indicate that repeated compost applications may increase the accumulation of potentially mobile soil P pools, whereas pulsed applications appear to better balance P recycling efficiency and environmental sustainability. These findings highlight the importance of optimizing compost management strategies to improve nutrient use efficiency while minimizing long-term environmental risks associated with soil P surplus. Further investigations using liquid-state ³¹P-NMR are planned to better elucidate soil P_{org} speciation and following compost-based fertilization.

[1] Cordell et al. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.10.0092>



ROOTS OF THE FUTURE
SUOLO E PIANTA NEL
CAMBIAMENTO GLOBALE



SESSIONE 3

Stress abiotici,
contaminazione e
risanamento: strategie di
adattamento del sistema
suolo-pianta per la tutela
ambientale e la sicurezza
alimentare



MICRO E NANOPLASTICHE NEL SISTEMA SUOLO-PIANTA: IMPATTO SU CULTURE AGRARIE E INTERAZIONE CON ALTRI CONTAMINANTI

Lucini L

*Dipartimento di Scienze e tecnologie alimentari per una filiera agro-alimentare sostenibile,
Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza*

The increasing input of plastic residues into agricultural soils raises concerns about consequences for crop performance, rhizosphere functioning and contaminant transfer. Our work investigated how polyethylene micro- and nanoplastics affect soil-plant systems, with emphasis on particle size and dose, crop-specific responses, and interactions with water limitation and co-occurring contaminants. A preliminary factorial experiment with lettuce (*Lactuca sativa* cv. Canasta) compared polyethylene particles spanning 0.2–1000 μm and concentration gradients up to 500 mg kg^{-1} for nanoplastics and 5000 mg kg^{-1} for microplastics. Plant biomass, phenotypic and photosynthetic traits, tissue and root-exudate metabolomes, and rhizosphere microbial communities were evaluated and integrated through multivariate multi-omics approaches. Responses were strongly dependent on particle size and concentration. Nanoplastics altered biomass allocation and increased the maximum quantum yield of photosystem II dose-dependently, whereas larger microplastics produced weaker physiological effects. Metabolomics indicated general elicitation of leaf metabolism together with down-modulation of root metabolism, accompanied by particle-size-related changes in microbial diversity and coordinated shifts across plant, exudate and microbial datasets. A second experiment compared lettuce with tomato (*Solanum lycopersicum* cv. Microtom) exposed to 0, 20 or 200 mg kg^{-1} polyethylene nanoplastics. Nanoplastics reduced lettuce shoot biomass and affected root development, while tomato displayed a more resilient vegetative response. In tomato, exposure increased berry number and but reduced mean berry weight. Both crops showed lower chlorophyll content and altered photosynthetic performance. Integrated analysis confirmed a strong correlation among root metabolites, exudates and microbial communities, with lettuce already showing clear discrimination at the lower dose.

A third experiment crossed nanoplastic exposure with well-watered (70% field capacity) and water-limited (40%) conditions in lettuce. Water deficit dominated biomass reduction, but nanoplastics modified the magnitude and direction of growth responses, promoted membrane lipid peroxidation despite relatively preserved leaf function, and altered particle distribution within the soil-plant continuum. Metabolomics highlighted secondary metabolism remodelling under adequate water supply and lipid-metabolism remodelling under drought. Ongoing work extends this framework to combined exposure with perfluoro compounds, indicating a plastics-mediated enhancement of plant uptake. Overall, the results demonstrate that micro- and nanoplastic effects cannot be generalized from particle presence alone: size, dose, crop identity, water availability and contaminant mixtures jointly determine biological outcomes. Multi-omics integration provides a powerful basis for identifying mechanisms and improving environmental risk assessment in agroecosystems.



DESTINO AMBIENTALE DI ANTIBIOTICI VETERINARI ED EFFETTI SUL MICROBIOTA DEL SUOLO

Buscaroli E, Luise D, Ciurli A, Cavani L, Correa F, Braschi I

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari, Università di Bologna

Parole chiave: Antibiotici veterinari; Persistenza nel suolo; Comunità microbiche del suolo; Biodisponibilità ambientale

Gli antibiotici veterinari che raggiungono i suoli agricoli rappresentano una crescente criticità ambientale poiché possono influenzare l'equilibrio ecologico delle comunità microbiche del suolo e le relative funzioni ecosistemiche^[1,2,4]. In questo studio si riportano adsorbimento e persistenza di una miscela di sei antibiotici veterinari in due suoli agrari, quali parametri indicatori di biodisponibilità al microbiota, la cui composizione e funzionalità sono definite tramite analisi metagenomiche e impronta metabolica (Community Level Physiological Profiling CLPP)^[3].

Come atteso, i risultati evidenziano una forte dipendenza del comportamento ambientale degli antibiotici dalle loro proprietà chimico-fisiche e dalle caratteristiche del suolo. Le molecole più lipofile e con carica +2, come gamitromicina e tilmicosina, mostrano elevato coefficiente di adsorbimento e persistenza molto elevata ($DT_{90} \geq 717$ d), con cinetiche dissipative di tipo bifasico. In generale, tra i due suoli, quello caratterizzato da maggiore contenuto in argilla e carbonio organico mostra maggiore capacità di ritenzione e favorisce la persistenza degli antibiotici. Al contrario, composti più idrofili come florfenicolo e lincomicina, hanno evidenziato minore affinità per il suolo e, possibilmente, maggiore biodisponibilità.

L'analisi metagenomica mostra che la composizione tassonomica e funzionale delle comunità microbiche è fortemente influenzata dalla presenza degli antibiotici e dal tipo di suolo. In presenza di antibiotici si osserva una riorganizzazione verso comunità dominate da Actinomycetota e Firmicutes, accompagnato da modificazioni nei percorsi metabolici associati a (i) metabolismo centrale, (ii) biosintesi di nucleotidi e (iii) processi di adattamento metabolico. Parallelamente, il CLPP evidenzia una generale inibizione dell'attività metabolica microbica dopo esposizione prolungata agli antibiotici, particolarmente marcata nel suolo in cui le molecole persistono più a lungo.

I risultati suggeriscono che la biodisponibilità e la persistenza degli antibiotici nel suolo possano contribuire a modulare struttura e funzionalità del microbiota, influenzando l'intensità della pressione selettiva esercitata sulle comunità microbiche.

[1] Albero, B., Tadeo, J. L., Escario, M., Miguel, E., & Pérez, R. A. (2018). Science of The Total Environment, 643, 1562–1570. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.314>

[2] Chee-Sanford, J. C., Mackie, R. I., Koike, S., Krapac, I. G., Lin, Y., Yannarell, A. C., Maxwell, S., & Aminov, R. I. (2009). Journal of Environmental Quality, 38(3), 1086–1108. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0128>

[3] Rutgers, M., Wouterse, M., Drost, S. M., Breure, A. M., Mulder, C., Stone, D., Creamer, R. E., Winding, A., & Bloem, J. (2016). Applied Soil Ecology, 97, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.06.007>

[4] Tasho, R. P., & Cho, J. Y. (2016). Science of The Total Environment, 563–564, 366–376. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.140>



MULTI-SCALE CHARACTERIZATION AND RESTORATION APPROACHES FOR URBAN SOILS: THE INTEGRATION OF OPTICAL MICROSCOPY, MICRO-TOMOGRAPHY, AND FTIR MICRO-SPECTROSCOPY

Perreca C, Mzid N, Terribile F

Università di Napoli Federico II

Parole chiave: Urban Andosols, Soil Restoration, Integrated Micromorphology (μ CT / μ FTIR)

Despite the growing debate on soil sealing, de-paving, and urban regeneration, there remains a lack of awareness regarding the intrinsic complexity of soils in anthropized environments. These systems are characterized by extreme spatial variability that overlays natural pedological heterogeneity. In urban contexts, the site-specific history of each area determines a "short-range" variability of physical and chemical properties, drastically affecting the capacity of soils to provide essential ecosystem services. Often, these functions are significantly depressed due to multi-factorial degradation processes linked to anthropogenic interventions stratified over time.

This work examines the degradation processes induced by urbanization in specific soils and sites of the Campania region: the area north of Naples (Municipality of Parete, CE). This area is characterized by the presence of andic soils (Humic Ustivitrands) which, under natural conditions, represent some of the most fertile soils in the region. However, in an urban setting, these soils often exhibit severe compaction and reduced structural resilience. The objective of this research is to evaluate the effectiveness of various regeneration treatments (different types of organic amendments and the introduction of soil fauna) aimed at restoring the physical, chemical, and biological quality of the soil system.

The experimentation proposes the combined use of advanced microscopy techniques to monitor both the initial degree of degradation and the functional recovery post-treatment:

- Classical Optical Micromorphology: for the analysis of mineral constituents and the identification of anthropogenic artifacts.
- X-ray Computed Micro-tomography (μ CT): for the quantitative characterization of the microstructure, with a specific focus on pore size distribution and the connectivity of the pore system.
- Infrared Microscopy (μ -FTIR): employed to identify the nature of organic compounds and detect the presence of microplastics within the soil matrix.

The combined approach of multiple microscopic techniques proved to be extremely effective in providing a holistic view of urban soil health, overcoming the limitations of traditional chemical analyses that often fail to capture the structural complexity of the system. Preliminary results indicate that the integration of organic amendments and soil fauna promotes a partial reorganization of microporosity, which is essential for restoring water and gas fluxes. In particular, microtomography allowed for the 3D visualization of aggregate regeneration, while infrared microscopy highlighted how the persistence of emerging contaminants (microplastics) can interfere with recovery processes. In conclusion, this work emphasizes that the regeneration of urban soils cannot overlook a multi-scale diagnostic approach that considers physical architecture as a cornerstone for the restoration of ecosystem services in cities.



IL RUOLO CENTRALE DELLO STELO NELLO STOCCAGGIO DEI CARBOIDRATI E NELLA RIDISTRIBUZIONE DEI NUTRIENTI NEL GRANO DURO SOTTOPOSTO A STRESS NUTRIZIONALE E MECCANICO

Quagliata G, D'Attilia C, Sestili F, Astolfi S

*Department of Sciences and Technology for Agriculture, Forest, Environment and Energy -
University of Tuscia*

Parole chiave: Defogliazione, stelo, Ionoma, Amido

Il grano duro (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) rappresenta una coltura strategica per gli agroecosistemi mediterranei e semi-aridi. Tuttavia, le sue prestazioni sono frequentemente limitate da condizioni di elevata temperatura, siccità e carenze nutrizionali. A tali fattori si aggiungono i ricorrenti episodi di perdita di superficie fogliare causati da stress biotici, abiotici o danni meccanici. La defogliazione, pertanto, non si configura semplicemente come una riduzione della superficie fotosintetica, ma come una perturbazione sistemica dell'equilibrio source-sink, che impone una rapida ridistribuzione delle sostanze nutritive.

Questa prospettiva integrata evidenzia inoltre una rilevante lacuna nella maggior parte degli studi, prevalentemente concentrati su foglie e radici, con lo stelo che viene considerato esclusivamente come un organo strutturale o di trasporto, mentre evidenze recenti suggeriscono che esso svolga un ruolo molto più attivo nella risposta agli stress. Il presente studio mira a colmare tale lacuna, valutando se la disponibilità di zolfo (S) e ferro (Fe) influenzano la risposta del grano duro alla defogliazione a livello di foglie, stelo e radici.

Il genotipo di grano duro tollerante alla siccità SvEMS-16 è stato coltivato in idroponica per 19 giorni, applicando due livelli di zolfo (1.2 e 0 mM, sufficiente e carente), due livelli di ferro (80 e 20 μ M Felli-EDTA, sufficiente e carente) e in condizioni di assenza o parziale defogliazione.

La carenza di S si è rivelata il principale fattore limitante della crescita, determinando una marcata riduzione della biomassa fresca e secca, del contenuto di clorofilla e della maggior parte dei parametri morfologici in tutti gli organi analizzati. La carenza di Fe e la defogliazione hanno prodotto ulteriori effetti specifici nei diversi tessuti, spesso amplificati in condizioni di carenza di S, in particolare per quanto riguarda la biomassa secca di foglie, stelo e radici e i tratti morfologici radicali.

L'analisi dello ionoma ha evidenziato profonde modificazioni dovute all'interazione tra disponibilità di S, apporto di Fe e defogliazione, con una marcata specificità tissutale. In particolare, la carenza di S è stata associata a significativi cambiamenti nella distribuzione dei minerali, tra cui un evidente accumulo di molibdeno e una riduzione delle concentrazioni di potassio in steli e radici.

L'analisi dell'amido ha indicato che lo stelo è il principale organo di riserva. In condizioni di carenza di S, le piante non defogliate hanno accumulato consistenti riserve di amido negli steli e nelle radici, mentre la defogliazione ha favorito il loro esaurimento, coerentemente con la rimobilizzazione del carbonio necessaria a sostenere la ricrescita.

In conclusione, la disponibilità di S emerge come il principale determinante delle risposte dell'intera pianta alla limitazione di Fe e alla perdita di superficie fogliare, mentre lo stelo si conferma un elemento chiave per l'accumulo e la ridistribuzione dei nutrienti in condizioni di stress combinato.



IDROGEL INNOVATIVI HUMIC-ENRICHED PER IL TRATTAMENTO DI ACQUE CONTAMINATE DA COLORANTI

Savy D¹, De Martino A¹, Oliviero G¹, Stanzione M², Rao MA¹

¹Dipartimento di Agraria, Università di Napoli Federico II

²Istituto per i Polimeri, Compositi e Biomateriali (IPCB), Consiglio Nazionale delle Ricerche

Parole chiave: Sostanze umiche da compost o digestato; Valorizzazione di scarti agro-industriali; Matrici adsorbenti eco-friendly; Immobilizzazione covalente di laccasi in idrogel

L'inquinamento delle acque reflue delle industrie tintorie rappresenta una questione ambientale rilevante, a causa della persistenza dei coloranti e della loro tossicità nei confronti di organismi viventi¹. Un'efficace maniera per ridurne le concentrazioni nelle acque reflue consiste nel trattare queste ultime con idrogel capaci di adsorbire il contaminante. Tra i vari materiali proposti vi sono le biglie di alginato di calcio, particolarmente convenienti grazie alla loro biocompatibilità e al basso costo². In questo studio, si vuole migliorare l'azione adsorbente delle biglie arricchendole con sostanze umiche (SU) isolate da scarti agro-industriali. Esse sono miscele polielettrolitiche ed eterogenee, con proprietà anfifiliche, in grado di influenzare significativamente le proprietà chimico-fisiche e la reattività delle biglie di alginato³. Su tale base, è plausibile che tali matrici biocomposite mostrino una migliorata rimozione di coloranti rispetto alle biglie di solo alginato di calcio.

In questo studio, le biglie sono state sintetizzate gocciolando una soluzione acquosa di alginato tal quale o miscelato con le SU in una soluzione di cloruro di calcio. Successivamente, la capacità di queste biglie di adsorbire il blu di metilene è stata studiata immergendole in una soluzione acquosa contenente 10 ppm di contaminante e valutandone la concentrazione residua in soluzione dopo 24 ore di agitazione. È stato anche studiato il potenziale di riutilizzo delle biglie a valle di quattro cicli di adsorbimento/desorbimento del contaminante. Infine, le biglie ad inizio esperimento e dopo il quarto ciclo sono state caratterizzate chimico-fisicamente mediante Microscopia Elettronica a Scansione e Analisi Meccanica Dinamica per studiarne la morfologia e le proprietà viscoelastiche, così da poterle correlare all'efficacia di rimozione mostrata.

I risultati hanno mostrato una maggiore rimozione per le biglie contenenti SU, a causa della loro significativa affinità chimica con il contaminante, che ne ha permesso una più efficace ritenzione nella matrice delle biglie. Tale capacità appare dipendente anche dal numero di cicli di adsorbimento/desorbimento, che tende a diminuire nel tempo a causa di una degradazione dell'idrogel a prescindere dal tipo di idrogel considerato.

Allo scopo di migliorare la rimozione del contaminante, l'enzima laccasi, noto per riuscire a degradare il contaminante oggetto di studio, è stato immobilizzato sulle biglie in maniera covalente mediante reazione di crosslinking mediata dalla glutaraldeide, così da evitare la dispersione dell'enzima per sua dissoluzione una volta immerse le biglie nella soluzione di contaminante. I risultati hanno evidenziato una maggiore rimozione del blu di metilene in biglie contenenti laccasi e SU rispetto alle rispettive matrici senza laccasi o senza SU, probabilmente per la capacità di queste ultime di agire da mediatore dell'attività enzimatica, aumentando quindi l'efficienza catalitica del bio-sistema ottenuto.

[1] Khan et al., (2022). <https://doi.org/10.3390/w14020242>

[2] Llorens-Gómez M and Serrano-Aroca A, (2018). <https://doi.org/10.3390/polym10040405>

[3] Savarese et al., (2025). <https://doi.org/10.1016/j.jbiomac.2025.145927>

AMMENDANTI BIOFORTIFICATI CON BATTERI PROMOTORI DELLA CRESCITA DELLE PIANTE POSSONO MITIGARE GLI EFFETTI DELLA CONTAMINAZIONE DEL SUOLO SULLA CRESCITA DELLO SPINACIO?

Scarpino G¹, Gelsomino A¹, Denora N², Loffredo E²

¹ Dip. di Agraria, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria

² Dip. di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti, Università degli Studi di Bari Aldo Moro

Parole chiave: ammendanti organici, contaminazione, batteri promotori della crescita, salute del suolo

La crescente diffusione di contaminanti organici emergenti (CEC) nei suoli agricoli per uso intensivo e/o improprio di fitofarmaci ed apporto di contaminanti industriali presenti in acque reflue usate per l'irrigazione rappresenta una minaccia per la salute del suolo, per la sostenibilità degli agroecosistemi e la qualità alimentare. L'arricchimento degli ammendanti organici con batteri promotori della crescita delle piante (PGPB) può costituire una strategia innovativa per rimediare il suolo contaminato, limitare l'ingresso dei contaminanti nelle piante coltivate e l'accumulo negli organi vegetali edibili. La sperimentazione è stata condotta su piante di spinacio (*Spinacia oleracea* L.) allevate in sistemi microcosmo con suolo trattato con 4 ammendanti organici – biochar (BC), digestato (DG), compost (CP) e vermicompost (VC) – applicati separatamente alle dosi di 0 (controllo), 10 e 30 t ha⁻¹, in presenza o assenza di PGPB. Il suolo è stato contaminato con una miscela di 4 CEC aventi accertata o sospetta attività di interferenti endocrini: il fungicida penconazolo (PEN), l'erbicida S-metolachlor (S-MET) e i contaminanti industriali bisfenolo A (BPA) e 4-nonilfenolo (4NP). Alla raccolta dell'orticola sono stati analizzati parametri fisico-chimici del suolo e caratteri biometrici e morfo-fisiologici della pianta. La contaminazione ha determinato una riduzione delle performance vegetative e fisiologiche delle piante, influenzando negativamente la produzione di biomassa, lo sviluppo radicale, l'efficienza fotosintetica e gli indicatori biochimici. Tuttavia, l'applicazione degli ammendanti organici, soprattutto al dosaggio più elevato e in combinazione con l'arricchimento batterico, ne ha efficacemente mitigato gli effetti, migliorando contemporaneamente le proprietà chimiche del suolo e la risposta fisiologica dello spinacio. Rispetto al controllo (suolo contaminato non trattato), il DG e i suoi derivati CP e VC hanno favorito l'incremento del C organico del suolo, lo sviluppo dell'apparato radicale e della biomassa epigea ed i parametri di fluorescenza della clorofilla. L'arricchimento con PGPB ha amplificato gli effetti positivi degli ammendanti, suggerendo una possibile azione sinergica tra matrice organica e PGPB nel sostenere la resilienza delle piante in condizioni di stress chimico. I residui dei contaminanti sono stati estratti sia dal suolo che dai tessuti vegetali dello spinacio e quantificati con HPLC e rivelatori a serie di diodi (PEN e S-MET) e fluorimetrico (BPA e NP), mostrando effetti differenziati nel suolo: tutti i trattamenti hanno ridotto i residui di BPA, alcuni trattamenti hanno ridotto i residui di PEN e aumentato quelli di S-MET, mentre differenze non significative sono state rilevate negli altri casi e per il NP. Nessun residuo di contaminanti è stato osservato negli organi aerei dello spinacio, mentre le radici presentavano concentrazioni <1 µg g⁻¹ dei soli BPA e NP, con livelli quasi sempre più bassi in tutti i trattamenti, rispetto al suolo non ammendato. L'integrazione tra ammendanti organici e PGPB può rappresentare una promettente strategia nature-based per promuovere sistemi agricoli più resilienti, produttivi contribuendo al contempo alla riduzione del rischio di ingresso dei CEC nella catena alimentare umana e animale.

Questo studio ha contribuito al Progetto PRIN 2022 PNRR, cod. P20223YAYP, finanziato da European Union – Next GenerationEU-PNRR–Mission 4, Component 2, Investment 1.1.



URBAN AGRICULTURE: HUMAN RISK ASSESSMENT TO PCBs IN THE METROPOLITAN CITY OF NAPLES

Suciu NA¹, Arbi G¹, Giordani C¹, Capri E¹, Lamastra L¹, Carbone FA², Adamo P², Caporale AG²

¹ DISTAS, Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

² Dipartimento di Agraria, Università degli studi di Napoli Federico II

Parole chiave:

Urban agriculture has emerged as a significant component of sustainable food systems, particularly in response to the rapid urbanisation observed on a global scale. According to the Food and Agriculture Organization (FAO), over 50% of the world's population currently resides in urban areas, and it is projected to rise to 70% by 2050 (FAO, 2024). This rapid urban expansion poses a multitude of challenges, including urban expansion, loss of green spaces, and mounting pressure on local ecosystems. This trend underscores the mounting imperative for innovative food production solutions that address food security, environmental sustainability, and community resilience. Urban agriculture encompasses a wide range of activities, including community gardens, rooftop farms, and vertical gardening, with the overarching objective being to augment local food production while fostering social interaction and ecological balance (FAO, 2022; Santo, Palmer and Kim, 2016; Corbould, 2013). Cities such as Naples are progressively acknowledging the significance of urban gardens in supplying local communities with fresh produce (HLPE, 2024; FAO, 2022). In this context, the HealthySoil4QualityFood project, which is funded by the Italian Ministry of University and Research (MUR), highlights the importance of urban agriculture in Naples. The project focuses on the assessment of soil quality, water resources, and the overall health of urban gardens (<https://www.healthysoilhealthyfood.it/>).

The present study aims to identify the health and environmental risks associated with urban gardening, particularly those posed by persistent organic pollutants (POPs) such as polychlorinated biphenyls (PCBs), throughout monitoring and modelling approaches. To this end, a total of five study sites were selected within the metropolitan city of Naples (Italy), based on factors such as geographic distribution and proximity to potential sources of contamination (e.g. vehicular traffic or former industrial activities). The analytical assessment revealed that the concentrations of PCBs in water, soil, and vegetables were found to be minimal. This study emphasised the efficacy of straightforward practices, such as the washing of vegetables, in reducing these concentrations. The modelling assessment, applying the MERLIN-Expo model, enabled a thorough evaluation of human exposure to contaminants via dietary intake. This showed an overall lower exposure to PCBs than in other European studies and below the tolerable daily intake (TDI) for all population categories, even if a higher risk was observed for children. Consequently, these findings underscore the necessity for continuous monitoring and risk assessment to safeguard public health, and the imperative for integrated strategies that balance the benefits of urban gardening with effective contamination management.



EFFECTS OF COMPACTION ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES IN HAZELNUT ORCHARDS AND ENHANCED SOIL RESILIENCE PROVIDED BY BIOCHAR APPLICATION

Aloi R, Negri S, Stanchi S, Bonifacio E

University of Torino, Department of Agricultural, Forest and Food Sciences

Parole chiave: incubation, *Corylus Avellana* L., soil porosity, aggregate

In recent years, modern agricultural systems are shifting towards more sustainable management practices. Soil compaction, defined as an increase in density and decline in macro-porosity, remains one of the main soil threats in these systems, which include permanent crops. To date, there are limited long-term solutions. Hazelnut orchards (*Corylus avellana* L.), a profitable permanent crop widespread in North-Western Italy, are no exception, with soils characterized by a bulk density that reaches values up to 1.7 kg dm⁻³. In this context, compaction-induced alterations in soil porosity are strictly linked to aggregates, their stability and the arrangement into soil structure. The magnitude of the changes and the variability in soil physical properties in these environments remain poorly quantified, as does the effectiveness of organic amendments (e.g. biochar) in mitigating the impacts. Therefore, we are conducting a three-months laboratory incubation experiment (25 °C, constant moisture) on two hazelnut orchard soils (both Luvisols, differing in topsoil organic matter and clay contents) with four treatments: (i) control; (ii) compacted; (iii) biochar amended; (iv) compacted + biochar amended. Biochar was applied at a dose of 10 t ha⁻¹. To simulate the degree of compaction caused by the passage of heavy agricultural machinery, a ground pressure of 160 kPa was applied. The recorded average increment in bulk density was approximately 167%, reaching a maximum value in the Luvisol with inherently lower organic matter and clay contents. Samples characterized by biochar application show a lower bulk density both before and after the compaction. The application of a blue dye (brilliant blue) to the soil surface revealed different infiltration patterns, indicating differences in pore connectivity. Also, preliminary results from mercury intrusion porosimetry revealed a reduction in total porosity and a shift in pore size distribution, with the decrease of macropores. Soil compaction clearly induces structural degradation. Biochar, with its intrinsically high porosity, is likely to alleviate the negative effects of compaction in the two selected soils.



UNRAVELING THE PHYTOTOXIC EFFECTS OF CUMINALDEHYDE IN ARABIDOPSIS THALIANA THROUGH PHYSIOLOGICAL, METABOLOMIC, AND IONOMIC ANALYSES

Araniti F, Zambelli A, Teruzzi C, Nocito FF

Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali – Produzione, Territorio, Agroenergia. Università degli Studi di Milano

Parole chiave: Cuminaldehyde, Phytotoxicity, Chlorophyll fluorescence, Water stress, Metabolomics

In modern agriculture, weeds pose a major threat to crop productivity, leading farmers to make extensive use of synthetic herbicides. Although effective, these compounds raise significant environmental and health concerns and contribute to the emergence of herbicide-resistant weed populations. A promising alternative consists of plant-derived phytotoxic molecules, which may support the development of more sustainable weed management strategies. The specialized metabolite Cuminaldehyde was initially bioassayed in vitro on *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Based on the inhibition of primary root growth, an IC_{50} (Inhibitory Concentration) of 190 μM was determined. To further investigate its mode of action and phytotoxic effects on established *A. thaliana* was cultivated under hydroponic conditions. Fifty days after sowing, seedlings were individually transferred into 50 mL polypropylene tubes containing a complete nutrient solution supplemented with increasing concentrations of Cuminaldehyde, chosen according to the IC_{50} value (0, 22.5, 45, 90, 180, 260 μM). Over a nine-day treatment period (T0–T8), the impact of the compound on the photosynthetic apparatus was monitored daily through chlorophyll a fluorescence analysis. At the end of the experiment, shoots and roots were harvested separately, and fresh weight, dry weight, and water content were recorded. The same tissues were further analyzed through metabolomic profiling using gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS), as well as ionomic and stable isotope analyses. Physiological data were consistent with visual observations, showing clear wilting symptoms in treated rosettes. A dose-dependent decrease in water content was observed in shoots, with a reduction of approximately 14% between control and 260 μM treatment, compared to a smaller decrease (~4%) in roots. Chlorophyll fluorescence measurements revealed a marked impairment of the photosynthetic apparatus, likely linked to reduced water availability; notably, the Fv/Fm parameter (maximum photochemical efficiency of PSII) decreased by 74% between control and the highest concentration. Ionomic analysis did not reveal significant changes in elemental composition. In contrast, metabolomic profiling, conducted separately for shoots and roots, highlighted distinct tissue-specific responses. In roots, a coordinated decrease in central carbon metabolites, tricarboxylic acid (TCA) cycle intermediates, and redox-related compounds was observed, with ribulose-5-phosphate emerging as a key hub in the metabolic network. In shoots, the most affected metabolites included amino acids and osmoprotective compounds, with histidine identified as a central node in the shoot metabolic network. Despite these findings, the precise mode of action (MoA) of Cuminaldehyde as a phytotoxic compound remains unresolved, and further investigations are required to achieve a comprehensive mechanistic characterization.

The European EU-Horizon project “AGROSUS: AGROecological strategies for SUSTainable weed management in key European crop” funded the research under Grant Agreement Number 101084084.



IMPATTO DELLA SALINIZZAZIONE SU BIODIVERSITÀ VEGETALE E PROPRIETÀ DEL SUOLO: EVIDENZE DA SISTEMI NATURALI E AGRICOLI TOSCANI

Santin M¹, Bazihizina N², Carril P², Coppi A², Guardigli G², Castagna A¹

¹ *Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università di Pisa*

² *Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Firenze*

Parole chiave: salinizzazione del suolo, biodiversità vegetale, Nature-Based Solutions, fertilità del suolo

La salinizzazione del suolo, causata da fattori naturali e antropici quali pratiche agricole non sostenibili, cambiamenti climatici e scarsità idrica, rappresenta una delle principali minacce per la fertilità dei suoli, la produttività agricola e la biodiversità. Nonostante l'evidenza crescente degli effetti negativi della salinizzazione secondaria sugli ecosistemi, il suo impatto sulla biodiversità in contesti agricoli rimane ancora poco esplorato. In questo contesto si inserisce il progetto Biodiversa+ SaltyBEATS, che, attraverso lo studio delle dinamiche della biodiversità in habitat naturalmente salini e la valutazione della diversità e ricchezza delle specie alofite, mira a sviluppare soluzioni basate sulla natura per ripristinare la biodiversità e migliorare la resilienza degli agroecosistemi in ambienti salini marginali, promuovendo al contempo modelli innovativi di agricoltura sostenibile.

Questo studio presenta i risultati ottenuti dalle attività di monitoraggio della biodiversità vegetale e delle proprietà del suolo condotte durante il primo anno di progetto in tre siti della Toscana meridionale, situati nel Parco Regionale della Maremma (Alberese, GR): due siti naturali costieri e un sito agricolo rappresentato dai margini del campo coltivato. Il disegno sperimentale ha previsto il campionamento in nove plot (2x2 m) per sito, durante due stagioni (primavera ed estate), con rilievi sulla vegetazione e analisi chimico-fisiche del suolo.

L'analisi della biodiversità vegetale ha evidenziato una chiara differenziazione tra i siti, con valori più elevati di diversità (indice di Shannon e Evenness) e percentuale di copertura nei sistemi naturali rispetto al sito agricolo, e una generale riduzione stagionale della ricchezza specifica in estate.

I siti hanno inoltre mostrato pattern distinti in termini di fertilità del suolo: uno dei due siti naturali si è distinto per bassi livelli di C organico, N e P assimilabile, mentre il secondo sito naturale presenta maggiori contenuti di carbonio e azoto. Il sito agricolo si caratterizza invece per livelli più elevati di fosforo e conducibilità elettrica, coerenti con la gestione agronomica e indicativi di processi di salinizzazione.

Le analisi multivariate (PCA) evidenziano una netta separazione tra siti naturali e agricoli e confermano una stretta relazione tra proprietà del suolo e struttura della vegetazione, suggerendo un effetto degli input agricoli sulla riduzione della biodiversità vegetale.

Nel complesso, questi risultati contribuiscono agli obiettivi di SaltyBEATS fornendo evidenze sui legami tra salinità, fertilità del suolo e biodiversità vegetale in ambienti costieri. I dati saranno integrati con una terza campagna di monitoraggio prevista nella primavera 2026, al fine di rafforzare l'analisi delle dinamiche stagionali. Parallelamente, sono in corso attività sperimentali per valutare l'effetto sulle funzioni ecosistemiche dell'introduzione ai margini dei campi di fasce vegetate comprendenti specie alofite e specie ad altamente attrattive per gli impollinatori.

Ringraziamenti. SaltyBEATS is supported by the European Union's Horizon Europe Programme under the 2023 Joint Transnational Call of the European Partnership Biodiversa+ and by national granting authorities. In Italy it is supported by the Ministry of Universities and Research (BIODIV23_00014).



HYDROLYSATE-ENRICHED PBAT MULCHING FILMS FROM CIRCULAR ECONOMY FEEDSTOCKS ENHANCE TOMATO PERFORMANCE BY MODULATING ROOT ARCHITECTURE AND REDUCING OXIDATIVE STRESS

Celletti S, Chen X, Comis S, Schiavon M, Padoan E

Department of Agricultural, Forest and Food Sciences (DISAFA), University of Turin

Parole chiave: antioxidants; biostimulants; microplastics; nitrogen status; waste valorization

The widespread use of polyethylene mulching films in agriculture is a major source of soil microplastic contamination, posing long-term threats to soil health and crop productivity. Biodegradable alternatives derived from circular economy processes represent a promising strategy to mitigate these impacts. This study evaluated the effects of four treatments on tomato plants (*Lycopersicon esculentum* cv. M82), grown under controlled conditions in a climate chamber for 30 days: no mulching (CTRL), a conventional PBAT (Polybutylene Adipate Terephthalate) mulching film (PBAT), and two newly developed three-layer PBAT-based films (PBAT+FDH and PBAT+TRH), whose core layer was enriched with food waste anaerobic digestate hydrolysate (FDH) and post-harvest tomato residue hydrolysate (TRH). Plant performance was assessed by measuring fresh biomass (shoots and roots) accumulation, leaf spectral indices (SPAD, NDVI, NDNI), leaf carbon (C) and nitrogen (N) content, leaf oxidative stress markers (malondialdehyde, MDA; total phenolic content, TPC), and root morphological traits (i.e., total length, surface area, average diameter, volume, and tip number). Mulching improved overall plant performance compared to the CTRL, with hydrolysate-enriched films performing better than the conventional PBAT. Shoot biomass increased by 14% and 6% under PBAT+FDH and PBAT+TRH, respectively, and PBAT+FDH also enhanced root biomass (+17%). Chlorophyll content (SPAD) was higher under both PBAT+FDH and PBAT+TRH (~+18%), as well as NDNI values (+4% and +7%, respectively), suggesting improved N status, in line with the increase in leaf N content under both hydrolysate-enriched films (+7%), compared to the CTRL. In contrast, NDNI decreased significantly under the PBAT treatment (-15%). Oxidative stress was markedly reduced under PBAT+FDH and PBAT+TRH, as indicated by lower MDA concentrations (-47% and -37%, respectively), and TPC increased (+9% in PBAT+TRH), suggesting a more efficient antioxidant response. Root system architecture was also modified, with total root length increasing by an average of 14% under mulched treatments. Notably, PBAT+TRH promoted the development of a finer and more highly branched root system, characterized by reduced average diameter (-25%) and volume (-13%), and a strong increase in root tip number (+79%), indicative of improved absorptive efficiency. These responses of PBAT+TRH are consistent with enhanced nutritional status (higher NDNI and N content), reduced oxidative damage (lower MDA), and increased antioxidant capacity (higher TPC), and indicate a potential biostimulant effect of bio-based compounds added to the films, via promotion of lateral root formation and resource acquisition. Overall, hydrolysate-enriched PBAT mulching films outperformed conventional bioplastic mulch, thus offering a promising circular strategy to simultaneously reduce microplastic contamination and improve crop performance.

This research was co-funded by the European Commission within the LIFE 2019 program, under the LIFE EBP project, grant number LIFE19 ENV/IT/000004.



HUB METABOLICI CHE COORDINANO L'INTERAZIONE TRA FERRO E ZOLFO NEL FRUMENTO DURO

Coppa E¹, Watanabe M^{2,4}, Maghrebi M³, Quagliata G¹, Bruschini A¹, Hoefgen R⁴, Pii Y⁵, Cesco S⁵, Vigani G³, Astolfi S¹

¹ Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali (DAFNE), Università degli Studi della Tuscia

² Department of Biological Sciences, Nara Institute of Science and Technology, Nara, Japan

³ Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, Università degli Studi di Torino

⁴ Max Planck Institute of Molecular Plant Physiology, Potsdam, Germany

⁵ Facoltà di Scienze Agrarie, Ambientali e Alimentari, Libera Università di Bolzano

Parole chiave: interazione ferro-zolfo; frumento duro; citrato; asparagina

L'interazione tra ferro (Fe) e zolfo (S) rappresenta un fattore chiave per la crescita delle piante, il metabolismo e la qualità nutrizionale delle colture, anche se i meccanismi di regolazione non sono ancora stati completamente chiariti.

In questo studio è stata analizzata la risposta del frumento duro (*Triticum durum* Desf.) a diverse condizioni di disponibilità di Fe (20, 50, 80 μ M) e S (0, 1,2 e 2,4 mM), quindi da limitata ad alta disponibilità, per valutare come ogni nutriente, singolarmente o in combinazione, modula lo sviluppo della pianta, il profilo ionomico, metabolomico e l'espressione dei geni coinvolti nell'omeostasi del Fe e dello S.

La disponibilità di S condiziona profondamente la risposta della pianta alla disponibilità di Fe, influenzando l'allocazione della biomassa, la morfologia dell'apparato radicale, il profilo ionomico e l'espressione dei trasportatori (TdSULTR1.1 e TdSULTR1.3) e degli enzimi coinvolti nell'assimilazione (TdSAT1 e TdOASTL1) del solfato, e dei geni coinvolti nell'acquisizione e nel trasporto del Fe (TdIDEF1, TdYSL1 e TdIRT).

L'analisi metabolomica ha identificato il citrato, l'O-acetilserina, e la metionina come componenti di un hub metabolico radicale strettamente interconnesso, mentre i network di correlazione hanno permesso di collegare questo hub metabolico centrato sul citrato ai processi di trasporto e assimilazione del solfato, suggerendo l'esistenza di una via coordinata a sostegno dell'adattamento alla limitazione nutrizionale.

La carenza di S ha inoltre favorito l'accumulo di asparagina libera nei tessuti vegetativi, risposta amplificata dalla Fe-carenza, indicando una rimodulazione del metabolismo dell'azoto in condizioni di stress nutrizionale, con possibili implicazioni per la traslocazione dell'asparagina alla granella e per la formazione di acrilammide nei prodotti a base di frumento.

Nel complesso, lo studio fornisce nuove evidenze sul crosstalk tra Fe e S: una gestione coordinata dei due nutrienti appare cruciale per modulare questi hub metabolici condivisi, ottimizzare la crescita del frumento e contribuire potenzialmente alla qualità della granella e alla sicurezza alimentare.

PLASTICHE BIODEGRADABILI NEL SUOLO: EFFETTI SULLE EMISSIONI DI CO_2

Cupi J, Gioacchini P, Malena P, Mazzon M, Marzadori C

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari, ALMA MATER STUDIORUM Università di Bologna

Parole chiave: Plastiche biodegradabili, emissioni di CO_2 , comunità microbica, qualità del suolo

La plastica biodegradabile (PBD) rappresenta un materiale di grande interesse grazie al suo potenziale benefico ambientale. In campo agricolo, l'uso di teli pacciamanti è una pratica consolidata, ma solo negli ultimi 20 anni sono stati introdotti materiali biodegradabili, in seguito agli effetti negativi associati all'uso di plastiche convenzionali nel suolo^[1]. Uno dei principali vantaggi dei teli a base di PBD è la possibilità di interrarli direttamente a fine utilizzo^[1]. Una volta nel suolo questo materiale costituisce una forma di carbonio (C) esogeno in grado di influenzare l'attività e la composizione della comunità microbica^[2]. Al fine di valutare l'effetto della PBD sui microrganismi e nello specifico sulla respirazione microbica del suolo, è stata allestita una prova di incubazione della durata di un mese, a condizioni controllate. Sono stati utilizzati due suoli (S1 e S2), provenienti dallo stesso sito, caratterizzati da proprietà fisiche simili ma diverso contenuto di C e azoto (N): il suolo S1 presenta concentrazioni superiori (2,32% di C; 0,24% di N) rispetto a S2 (1,37% di C; 0,15% di N). Inoltre, i due suoli differiscono nella composizione isotopica naturale del carbonio ($\delta^{13}\text{C}$: -26‰ per S1; -22‰ per S2). Ai suoli è stata addizionata una dose di PBD ($\delta^{13}\text{C}$: -25‰) pari all'1% (p/p) in presenza o meno di una fonte di N. A intervalli regolari sono state misurate le emissioni di CO_2 derivanti dalla respirazione microbica. I risultati mostrano che l'aggiunta di PBD determina un aumento del tasso di respirazione in entrambi i suoli e che la presenza di N, nei primi 10 giorni, induce un aumento del tasso di respirazione sia nei controlli (+68% in S1; +90% in S2) sia nei trattamenti con PBD (+23% in S1; +33% in S2). Successivamente, invece, l'effetto dell'N in presenza di PBD differisce nei due suoli: nell'S1 il tasso di respirazione nei trattamenti PBD e PBD-N si mantiene uguale nel tempo, e circa tre volte maggiore rispetto ai controlli. Al contrario, nell'S2 dopo 10 giorni, il trattamento con PBD-N mantiene un tasso di respirazione significativamente superiore al trattamento con solo PBD. Entrambi, comunque, inducono una respirazione significativamente più elevata rispetto ai controlli. Per quanto riguarda la respirazione cumulata, nell'S1 i valori in presenza di PBD e PBD-N risultano circa quattro volte superiori rispetto ai controlli, mentre nel suolo S2 l'aumento è circa doppio. Nel complesso, i risultati suggeriscono che la PBD stimolando la respirazione, favorisce l'emissione di CO_2 da suolo e che la disponibilità di N provoca inizialmente un incremento di tali perdite. Tuttavia, non è ancora possibile definire se il C respirato derivi dal suolo o dal materiale aggiunto. Ulteriori studi saranno necessari per chiarire i meccanismi coinvolti e il destino del carbonio derivante dalla degradazione delle PBD.

[1] Mansoor, Zinnia, et al. (2022) <https://doi.org/10.3390/polym14235062>

[2] Jiang, Xiao Jin, et al. (2017) <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.10.011>



FROM BREWER'S SPENT GRAIN TO NANOLIGNIN: IONIC LIQUID TREATMENT, CHARACTERIZATION, AND APPLICATION TO REMEDIATE WATER CONTAMINATED BY TERBUTHYLAZINE

Del Buono D¹, Grigoros AM², Nocella S¹, Gigliotti G³, Bondi R², Quaglia G², Costantino F⁴, Girolmoni S⁴, Latterini L²

¹ Department of Agricultural, Food and Environmental Sciences, University of Perugia

² Nano4Light Lab Dipartimento di Chimica, Biologia e Biotecnologie - Università degli Studi di Perugia

³ Department of Civil and Environmental Engineering, University of Perugia

⁴ Dipartimento di Chimica, Biologia e Biotecnologie - Università degli Studi di Perugia

Parole chiave: waste valorization, ionic liquid, water remediation, photocatalysis, Terbutylazine

The improper disposal of agricultural and agro-industrial residues poses an environmental burden, as they can seriously threaten ecosystems and human health. On the other hand, most of these residues can be rich in structurally diverse compounds, including cellulose, hemicellulose, lignin, starch, pectin, proteins, and secondary metabolites. Such unexploited bio-based sources can be transformed through physical, chemical, and biological processes into functional products, including nanomaterials, thereby opening avenues for generating high-value materials with applications across multiple sectors.

Lignin is one of the main components of the fibrous fraction of plant cell walls and the second most abundant biopolymer on Earth after cellulose. Lignin can be recovered from certain residual biomasses and reduced to nanometric dimensions. The resulting nanostructured material can exhibit interesting catalytic and electronic properties, which are markedly enhanced by its high surface area relative to the raw material.

Based on these premises, the present study aimed to isolate and produce nanoscaled lignin (LNPs) from brewer's spent grain using a method employing an ionic liquid composed of triethylamine and sulphuric acid ([TEA][HSO₄]). IL-based biomass treatments enable high fibre deconstruction and significant lignin recovery. The lignin obtained was characterized by FE-SEM, EDX, DLS, and FTIR and then used to remediate water from terbuthylazine (TBA).

The morphological profile of the particles was classified as spherical-globular, with an average particle size of approximately 200 nm. The images also revealed the formation of agglomerates. EDX analysis indicated a surface elemental composition characteristic of lignin, dominated almost exclusively by carbon and oxygen, and the relative C/O ratio was found to be consistent with the lignin nature of the material. FTIR analysis revealed the main bands attributable to functional groups characteristic of lignin.

Adsorption studies of TBA in lignin aqueous dispersion were assessed as a function of pH values. Results indicate efficient adsorption of TBA onto lignin at pH 5-6. Exposure of the TBA-lignin aqueous dispersions to UV radiation evidenced the photo-induced degradation of TBA with the formation of side products. The nature of photoproducts is currently under investigation.



SOFTWOOD BIOCHAR IMPROVES SOIL (BIO)CHEMISTRY, MICROBIAL COMMUNITY STRUCTURE AND FUNCTION, AND SULLA CORONARIA GROWTH IN MEDITERRANEAN ACIDIC SOILS

Nieddu M¹, Garau M¹, Vasileiadis S², Mangia N¹, Sanna A¹, Roggero PP¹, Castaldi P¹,
Garau G¹

¹ Dipartimento di Agraria, University of Sassari, Viale Italia 39, Sassari 07100, Italy

² Department of Biochemistry and Biotechnology, University of Thessaly, Larissa, Greece

Parole chiave: Soil pH; Liming amendments; Mediterranean subhumid dryland; Soil health; Forage production

This study evaluated the potential of a softwood biochar (B, added to soil at 5% w/w) to improve the chemical and biological properties of an acidic soil (pH=5.2) of a typical Mediterranean subhumid dryland silvopastoral ecosystem. Our hypothesis was that biochar can be a complementary or alternative material to lime to buffer soil acidity, thereby enabling the establishment and growth of acid-sensitive but drought-tolerant forage legumes in Mediterranean grazed grasslands. The experiment also included treatments with lime (L, added at 0.2% w/w), a combination of B+L (added at 4.8% + 0.2% w/w respectively) and an untreated control soil (Ctr). Soil pH increased by +1 unit after biochar addition and significant increases were also recorded for cation exchange capacity, dissolved organic carbon, and available phosphorus. The urease, β -glucosidase and phosphatase activities increased in B-treated soil by ~2.20, 1.03 and 1.06-fold respectively vs Ctr, while the dehydrogenase activity decreased by ~30%. Biochar (alone and with lime) increased soil microbial biomass and basal respiration (on average by ~2.75 and 1.6-fold vs Ctr, respectively) and had a significant impact on soil culturable microorganisms and community structure as assessed with Biolog Ecoplates. Sequencing of the partial 16S rRNA gene showed that all amendments augmented the bacterial α -diversity, with biochar increasing the relative abundance of taxa including several potential plant growth-promoting bacteria. The results from a pot experiment and a field trial showed that biochar, alone and with lime respectively, promoted significant increases in the growth and forage production of *Sulla coronaria*, an acid-sensitive, drought resistant perennial forage legume. Over two growing seasons, the forage production in the field trial was + 50% higher for B+L (4700 kg ha⁻¹) vs Ctr (3100 kg ha⁻¹) highlighting the suitability of biochar, in combination with lime or as possible alternative, to improve soil health and productivity of acidic dryland environments.

This work was supported by the SALAM-MED project funded under the EU PRIMA 2021 programme (Grant number: 2123; CUP number: J83C21000200006). This paper and related research were also carried out with the support of the PhD course in Agricultural Sciences of the University of Sassari (Italy) (curriculum Desertification and land degradation).



EFFECTS OF BIOCHAR AND DROUGHT STRESS ON CHEMICAL PROPERTIES AND MICROBIAL COMMUNITIES OF A PEAT-BASED SUBSTRATE IN YOUNG GRAPEVINES PRE-TREATED WITH WOOD DISTILLATE

Sergi V¹, Giagnoni L¹, Fedeli R², Pathan SI³, Arfaioli P³, Pietramellara G³, Renella G⁴, Gilioli G¹, Loppi S^{2,5}, Celletti S^{2,6}

¹ Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics (DICATAM), University of Brescia

² BioAgry Lab, Department of Life Sciences, University of Siena

³ Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry (DAGRI), University of Florence

⁴ Department of Agronomy, Food, Natural Resources, Animal and Environment (DAFNAE), University of Padua

⁵ National Biodiversity Future Center, 90133 Palermo

⁶ Department of Agricultural, Forest and Food Sciences, University of Turin

Parole chiave: biochar; wood distillate; microbial communities; enzymatic activity; drought stress

The implementation of sustainable viticultural practices needs to address major environmental challenges, such as water scarcity, while improving soil management strategies by considering both soil functionality and plant resilience. A controlled pot experiment was conducted to evaluate the effects of wood distillate root pre-treatment, biochar amendment, and drought stress on young grapevine (*Vitis vinifera* L.) plants through physiological assessments and chemical, biochemical, and microbiological analyses of the peat-based substrate.

Biochar significantly improved the physicochemical properties of the substrate by increasing pH, cation exchange capacity, and nutrient availability (P, N, K, Ca, and Fe), while also stimulating enzyme activities involved in P and N cycling. These changes were associated with marked shifts in microbial community composition, favouring copiotrophic and stress-tolerant taxa and enhancing functions related to N transformations and labile C utilization. Drought stress mainly affected microbial functional profiles, reducing chemoheterotrophic activity and promoting fermentative pathways, with stronger effects on fungal communities. Wood distillate modulated plant-soil-microbe interactions by increasing fungal diversity, altering bacterial community structure, and affecting plant biochemical traits, likely through changes in root exudation patterns.

Biochar emerged as the main driver of microbial structure and function, whereas wood distillate primarily modulated rhizosphere microbial assembly. However, the improvement in substrate fertility and microbial activity did not enhance plant growth under drought condition, indicating that water availability remained the dominant limiting factor. Overall, the results highlight the importance of considering both amendment-driven and plant-mediated effects when evaluating soil management strategies for viticulture under water-limited conditions.

OZONATE IRRIGATION: SOIL MICROBIAL STRESS, NEMATODE SUPPRESSION AND TOMATO BROWN RUGOSE FRUIT VIRUS CONTROL

Muscarella SM¹, Madonia F¹, Caruso AG¹, Davino S¹, Loria F¹, Lucia C¹, Manachini B¹,
Paliaga S¹, Panno S¹, Laudicina VA^{1,2}

¹ Department of Agricultural, Food and Forest Sciences, University of Palermo

² National Biodiversity Future Center (NBFC), University of Palermo

Parole chiave: Ozonated water, Soil microbial biomass; Tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV); Root-knot nematodes (*Meloidogyne incognita*); Stress management

Ozonated water (O₃), owing to its strong oxidizing and biocidal properties, has been proposed as a sustainable alternative to conventional plant-protection products. However, its effects on soil biological functioning and plant performance under biotic stress remain not fully understood. This study aims to evaluate the response of the soil-plant system to ozonated water irrigation, focusing on its effects on soil microbial processes, nutrient dynamics, plant growth, and its potential role in mitigating the biotic stress caused by tomato brown rugose fruit virus (*Tobamovirus frutctirugosum* - ToBRFV) and root-knot nematodes (*Meloidogyne incognita* Kofoid & White). Greenhouse experiments were conducted using tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under three irrigation regimes: tap water (control), ozonated water applied before transplanting (Pre O₃), and ozonated water applied after transplanting (Post O₃), in the presence or absence of ToBRFV infection. In parallel, trials on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) evaluated the effectiveness of ozonated water against *M. incognita*, comparing pre- and post-transplant applications. Ozonated water significantly altered soil biological functioning. Both Pre O₃ and Post O₃ treatments reduced soil microbial biomass C and N, indicating a decline in soil biological fertility. The higher microbial respiration (CO₂) and increased metabolic quotient (qCO₂) suggesting oxidative stress and reduced microbial efficiency. Ozonated water also enhanced N transformations, promoting ammonification and nitrification, as reflected by higher soil NO₃⁻ concentrations, particularly under Pre O₃ treatment.

However, ozonated water did not mitigate the negative effects of ToBRFV infection on tomato plants; instead, pre-transplant ozone application further reduced biomass in virus-infected plants, indicating an amplification of stress under combined oxidative and viral pressure. Conversely, ozonated water proved effective in reducing populations of *M. incognita*, especially when applied before transplanting. Pre O₃ treatments significantly decreased soil nematode density, root galling, and plant damage in both tomato and cucumber. This enhanced efficacy is likely due to the absence of host plants during pre-transplant application, which increases nematode exposure to ozone, impairing juvenile mobility and host root penetration. Overall, ozonated water irrigation induced oxidative stress within the soil-plant system, negatively affecting microbial biomass and efficiency and failing to alleviate viral infection, while demonstrating promising nematocidal and nematostatic effects when applied before transplanting. These findings highlight the need for careful, context-specific application strategies to maximize the benefits of ozonated water while minimizing potential risks to soil biological health.



IRON AVAILABILITY DRIVES DISTINCT METABOLIC REPROGRAMMING OF CUCUMBER ROOT EXUDATES

Pieri T¹, Zhang L², Alzate Zuluaga M¹, Monterisi S¹, Lucini L², Cesco S¹, Pii Y¹

¹ Faculty of Agricultural, Environmental and Food Sciences, Free University of Bozen/Bolzano

² Faculty of Agricultural, Food and Environmental Sciences, Catholic University of the Sacred Heart

Parole chiave: Root exudates; Iron deficiency; Metabolomics; Cucumber; *Azospirillum brasilense*

Root exudates play a central role in mediating plant responses to biotic and abiotic stresses such as nutrient availability and shaping rhizosphere interactions. In this study, we investigated the compositional shifts of cucumber (*Cucumis sativus* L.) root exudates under contrasting iron conditions (+Fe and -Fe) using a metabolomics approach. Plants were grown hydroponically and root exudates were collected under controlled conditions, followed by filtration, lyophilization, and resuspension for downstream analysis. Multivariate analysis revealed a clear separation between treatments, with OPLS-DA showing strong model performance ($R^2Y = 0.998$, $Q^2 = 0.978$, $p < 0.001$), indicating distinct metabolic profiles associated with iron availability. Hierarchical clustering further confirmed treatment-specific grouping, highlighting coordinated metabolic reprogramming under Fe deficiency. Differential metabolite analysis identified several enriched compound classes in response to Fe starvation, including phenolic glycosides, coumarins, flavonoids, and terpenoid-related compounds. Notably, clusters associated with phenylpropanoid metabolism and redox-active secondary metabolites were significantly upregulated under -Fe conditions, suggesting an adaptive strategy to enhance iron mobilization and acquisition. Key metabolites such as coumarin derivatives and flavonoid glycosides were among the most discriminant features. These exudates will be further employed as biologically relevant treatments for *Azospirillum brasilense*, a well-known PGPR, to investigate how plant-derived chemical cues shaped under contrasting iron conditions can reprogram bacterial responses. These findings highlight that root exudation is not only a plant adaptive response but also a potential driver of microbial functional reprogramming, opening new perspectives for understanding plant-microbe interactions under nutrient stress. A deeper understanding of interaction between plants and microorganisms will be crucial for the development of successful PGPR based biostimulants to apply in real field conditions.



APPROCCI IONOMICI E MICROANALITICI A RAGGI-X PER LO STUDIO DEL SISTEMA SUOLO-PIANTA IN ACTINIDIETI COLPITI DALLA SINDROME DELLA MORIA DEL KIWI

Di Spiridione C¹, Porfido C¹, Crecchio C¹, Mininni AN², Di Chio B², Terzano R¹, Gattullo CE¹

¹ *Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti (DiSSPA), Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"*

² *Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari e Ambientali (DAFE), Università della Basilicata*

Parole chiave: omeostasi fogliare, moria del kiwi, asfissia radicale

La sindrome della moria del kiwi (Kiwifruit Vine Decline Syndrome - KVDS) è un problema estremamente rilevante per questa coltura, compromettendo salute e produttività degli actinidi fino al completo collasso. In Italia, terzo paese al mondo per la produzione di kiwi, sono migliaia gli ettari di actinidi colpiti negli ultimi quindici anni, con danni economici ingenti per l'intero indotto. Ristagno idrico ed asfissia radicale sono i principali fattori scatenanti della KVDS: l'asfissia, infatti, compromette l'assorbimento di nutrienti e acqua, e determina un passaggio al metabolismo anaerobico^[1]. Questo studio, condotto in un actinidieta (Cisterna di Latina, Lazio) caratterizzato da aree a diversa severità della sindrome, ovvero, da alta, media e bassa moria, indaga le proprietà del suolo maggiormente correlabili alla KVDS e le potenziali modifiche fisiologiche delle piante. A tal fine, sono state eseguite una serie di analisi chimiche del suolo e degli organi vegetali (foglie, radici, e frutti), anche utilizzando tecniche basate sui raggi-X^[2]. La caratterizzazione chimico-fisica del suolo ha evidenziato differenze significative tra le zone ad alta e bassa gravità della KVDS per parametri quali pH, capacità di scambio cationico (CSC), carbonio organico totale e biodisponibilità di elementi come Cu e Mn. Successivamente, per investigare possibili differenze nello stato nutrizionale delle piante in aree a diverso grado di severità della sindrome, è stata effettuata un'analisi ionomica (mediante ICP-OES) su foglie campionate in tre diverse fasi fenologiche: i) germogliamento e crescita (maggio); ii) fioritura e inizio accrescimento dei frutti (luglio); iii) maturazione dei frutti (ottobre). Si è osservato che, per elementi come P, Cu e Zn, le concentrazioni in fase di germogliamento risultavano differenti a seconda del livello di moria, tendendo però ad uniformarsi nel tempo; invece, il Fe risultava maggiormente elevato nella zona ad alta severità in tutte le fasi di campionamento. Questo effetto potrebbe essere ricondotto alle condizioni più fortemente riducenti in cui versa il suolo nella zona ad alta severità della sindrome, dato che il Fe(II) viene assorbito più facilmente dalle piante. I frutti, raccolti in ottobre, sono stati processati per analisi ionomiche, di microfluorescenza a raggi-X, e microtomografiche, in seguito alle quali non sono emerse differenze significative tra frutti provenienti dalle diverse aree di sintomaticità della KVDS. Inoltre, le tecniche di microanalisi hanno rivelato la presenza di granuli ricchi in calcio, identificati poi come cristalli di ossalato mediante analisi di diffrazione a raggi X. Formazioni simili sono state osservate anche nelle radici. Le analisi in corso mirano a comprendere le dinamiche del calcio nelle piante di kiwi e possibili relazioni con la KVDS. I risultati ottenuti finora suggeriscono che alcune proprietà chimiche del suolo siano correlate alla KVDS, mentre diversi stadi di gravità della sindrome determinano differenze fisiologiche più marcate nelle piante principalmente nella fase di germogliamento. Ulteriori ricerche sono in corso per identificare marcatori affidabili della severità della sindrome, sia a livello del suolo che della pianta.

Questo studio è stato svolto nell'ambito del progetto PRIN 2022 "KiWinner" - 2022JKZJL8

[1] A. Sofo, A.N. Mininni, B. Dichio, et al., *Acta Hortic.* 1332 (2022), 195–202.

[2] R. Terzano, M.A. Denecke, G. Falkenberg, et al., *Pure Appl. Chem.* 91 (2019), 1029-1063.



STRIGOLACTONES AND MYCORRHIZAL SYMBIOSIS AS STRESS RELIEVERS IN TOMATO: A METABOLOMIC AND PHYSIOLOGICAL PERSPECTIVE

Ragnoli I¹, Zhang L¹, Asinari F^{2,3}, Brischetto C², Caffi T^{2,4}, Fiorini A⁴, Lucini L¹

¹ Department for Sustainable Food Process, Università Cattolica del Sacro Cuore

² Department of Sustainable Crop Production, Università Cattolica del Sacro Cuore

³ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Instituto de Patología Vegetal, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Unidad de Fitopatología y Modelización Agrícola, Córdoba, Argentina

⁴ Research Center on Plant Health Modelling, Department of Sustainable Crop Production, Università Cattolica del Sacro Cuore

Parole chiave: Strigolactones, mycorrhizal symbiosis, abiotic stress tolerance, untargeted metabolomics

Climate change is increasing the frequency and co-occurrence of heat and drought episodes, posing severe threats to tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivation worldwide. Strigolactones and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) have independently shown promise as biostimulants enhancing abiotic stress tolerance, yet their combined potential under combined stress conditions remains unexplored. This study evaluated the physiological, and metabolic responses of tomato plants subjected to heat, drought, and their combination, treated with the synthetic strigolactone analog GR24 alone or combined with AMF inoculation.

GR24 alone promoted the highest shoot biomass under non-stress conditions. Conversely, combined stress with GR24 alone or GR24+AMF resulted in the lowest biomass values, reflecting a metabolic priority shift under severe stresses. AMF+GR24 co-inoculated plants achieved the highest Φ_2 and Fv/Fm values, demonstrating that the combination of strigolactones and mycorrhizal symbiosis markedly enhances photosynthetic efficiency and apparatus integrity. At the oxidative level, combined stress+AMF+GR24 plants showed the lowest H₂O₂ accumulation, supported by a more favourable GSH/GSSG ratio under heat, indicating a synergistic antioxidant effect. Stress marker quantification revealed a stress- and treatment-specific remodelling of the compatible solute pool: betaine was suppressed by heat but rescued by GR24, while GABA reduction under heat+GR24 and heat+AMF+GR24 was interpreted as reduced stress perception rather than metabolic inhibition, coherently supported by the oxidative marker data. Broader leaf and root metabolomic profiling confirmed treatment-specific shifts in metabolite profiles, reflecting distinct adaptive strategies under individual versus combined stress, with mycorrhizal plants displaying a particularly distinct root metabolite signature consistent with enhanced symbiotic activity. Taken together, the convergence of all evidence supports a stress relief model in which GR24 and AMF act as physiological optimizers that recalibrate the plant's metabolic response depending on the nature and intensity of the stress encountered.

This study was supported by the PhD in Agro-Food System (Agrisystem) and by Portus project funded by Romeo and Enrica Invernizzi Foundation.



VALUTAZIONE DELLE POTENZIALITÀ DELLA CANNABIS SATIVA L. NEL BIORIMEDIO FITO-ASSISTITO DI UN SUOLO DEGRADATO SITUATO ALL'INTERNO DEL SIN DI TARANTO

Sardano M^{1,2}, Rutigliano A^{1,2}, Savino I¹, Barra Caracciolo A³, Rolando L³, Grenni P³,
Toma V⁴, Uricchio VF¹, Ancona V¹

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Tecnologie delle Costruzioni di Bari

² Dipartimento di Scienze del suolo, della Pianta e degli Alimenti, Università di Bari

³ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque, Montelibretti

⁴ You're up benefit, Sava

Parole chiave: Cannabis sativa L., Biorimedio Fito-assistito, SIN Taranto, Economia Circolare

Nel contesto critico del SIN di Taranto, il biorimedio fito-assistito si configura come una strategia green per promuovere la riqualificazione di suoli degradati per effetto della contaminazione da metalli pesanti, idrocarburi, diossine e furani. Tale tecnologia fonda le sue basi sull'azione sinergica che si instaura tra l'apparato radicale della specie vegetale e le comunità microbiche della rizosfera nel favorire i processi di decontaminazione del suolo. La Canapa Sativa è nota per le sue proprietà di fitorisanamento, grazie alla capacità naturale di assorbire e accumulare metalli pesanti presenti nel suolo attraverso le radici, contribuendo così alla bonifica di terreni contaminati in modo ecologico e a basso impatto^[1]. Oltre al suo valore ambientale, la canapa rappresenta una risorsa agricola e industriale estremamente versatile. Ogni parte della pianta – fusto, foglie, semi e radici – può essere trasformata in prodotti utili per numerosi settori^[2]. Nel presente studio si riportano i risultati preliminari del progetto "HEMP REVIVE" condotto da You're up -società benefit in collaborazione con ENI (Taranto) e finalizzato a valutare l'efficacia della Cannabis Sativa L., in due varietà differenti (di cui una a fibra lunga), nel recupero ambientale di un suolo degradato per la presenza di metalli pesanti, situato all'interno del SIN di Taranto. Il gruppo di ricerca del ITC-CNR di Bari è coinvolto nella messa a punto e implementazione di un approccio di indagine multidisciplinare che integra tecniche chimico-fisiche, spettroscopiche e microbiologiche per supportare la valutazione dei processi di riqualificazione ambientale innescati dalla sinergia tra la specie vegetale e le popolazioni microbiche della rizosfera. Accanto all'attività di risanamento ambientale, il progetto mira anche a indagare i possibili impieghi della biomassa generata, valorizzando ogni parte della pianta – semi, fibre, canapulo e fogliame – in una logica di economia circolare.

[1] Cáceres-Cáceres, M., et al. (2024). Tropical and Subtropical Agroecosystems (Vol. 27, Number 3). <https://doi.org/10.56369/tsaes.5693>

[2] Picchi, G., et al. (2026). Sustainability, 18(6), 2926. <https://doi.org/10.3390/su18062926>

Gli autori desiderano esprimere il loro più sincero apprezzamento ai Dott. Ing. Michelangelo Di Luozzo, Emanuele Memmola e Giulia Catalini (Eni s.p.a. Taranto) per il prezioso supporto tecnico.



BIOCHAR AS A FUNCTIONAL CARRIER FOR BIOACTIVE COMPOUNDS IN AGRICULTURE

Esposito M¹, Lotti G², Tambone F¹, Casini D, Scaglia B¹

¹ Department of Agricultural and Environmental Sciences, University of Milan

² RE-CORD-Renewable Energy Consortium for Research and Demonstration, University of Florence

Parole chiave: Biochar, sustainable agriculture, tomato waste, biopesticide

The challenge for modern agriculture is finding a balance between providing sustenance to a growing global population and reducing its environmental footprint. Consequently, innovation in agricultural practices is focused on reducing greenhouse gas emissions while optimizing crop yields. In this context, the use of biochar represents a promising strategy to positively contribute to these sustainability goals.

Biochar is produced through thermal decomposition of different organic biomasses in the absence of oxygen (pyrolysis) and is used as a soil amendment to improve soil physicochemical conditions and mitigate contamination.

This study explores the potential use of biochar as a functional carrier for bioactive compounds as an alternative to synthetic pesticides.

Two biochars produced from distinct feedstocks, lignocellulosic poplar wood-PW and tomato cannery waste (stems and leaves-SL), were characterized by their physicochemical properties and tested for their capacity to load and release α -tomatine, a glycoalkaloid known for its biological activity.

The results showed that PW and SL differ in mineral composition and pore structure, which directly influence their sorption behavior and loading capacity. PW exhibited higher uptake capacity than SL.

Furthermore, the release kinetics of α -tomatine was significantly influenced by both biochar feedstock and pH of the medium. PW biochar reached a release approximately 40% after seven days. In contrast, the SL biochar showed a high initial release between 50% and 80% at pH 6 and 5 respectively, within the first hour. Interestingly, when loaded with α -tomatine enriched plant extract, both biochars showed a higher release percentage.

The tailored selection of biochar feedstocks opens new scenarios for the development of delivery systems to promote sustainable agriculture

This work was supported by the Cariplo Foundation, Call "Circular Economy – Promoting research for a sustainable future – 2022" Project: "Development of biocide tomatine-biochar product for agriculture using the tomato industry waste residues as feedstock and a cascade production approach. BECOME -BiopEstiCide from tOMato rEsidues"



ANALYSIS OF URBAN SOIL HEALTH: THE EUROPEAN BENCHMARKS FRAMEWORK AND ITS APPLICATION TO PARETE (CE) CASE STUDY

Bancheri M¹, Basile A¹, De Mascellis R¹, Di Lonardo DP³, Ferraro G², Langella G², Manna P¹, Mileti FA², Minieri L², Mzid N², Perreca C², Pisano L¹, Vingiani S², Terribile F²

¹ CNR ISAFOM: Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo

² Università di Napoli Federico II: Centro di Ricerca CRISP

³ Wageningen University and Research: Soil Biology Group

Parole chiave: Soil Health, Urban soils, Soil Monitoring

Soil degradation represents one of the most critical environmental challenges for Europe, with an estimated 60-70% of soils currently in poor health. In response to this scenario, the Horizon Europe BENCHMARKS project aims to develop a harmonized, transparent, and multi-scale monitoring framework to assess Soil Health across diverse land-use contexts: agricultural, forestry, and urban.

This contribution illustrates the methodology and preliminary results derived from applying this framework in an Italian urban context: the Municipality of Parete (Caserta). The study addresses the lack of interoperability between existing monitoring systems through the integrated "Sample, Space, Stats" approach, which combines local laboratory analysis, remote sensing technologies (Copernicus/Sentinel), and the use of pre-existing databases such as LUCAS.

In Parete, the research focused on green areas within the dense urban fabric, particularly in school recreational spaces where surface compaction compromises water infiltration and generates harmful dust. Despite the pedological homogeneity of the area – characterized by Humic Ustvitrandis soils developed on volcanic ash – investigations conducted across 20 sampling sites revealed significant variability in anthropogenic degradation.

The urban fragmentation analysis, performed using high-resolution Pleiades Neo imagery, allowed the territory to be mapped into six classes (from "Core" to "Isolated"). Initial results indicate that 60% of the sampled sites (12 out of 20) exhibit a high level of degradation (Class 1), characterized by severe compaction and the presence of anthropogenic artifacts. However, there is a lack of direct correlation between the urban fragmentation class and the qualitative degree of soil degradation, suggesting that urban alteration processes are linked to local dynamics more complex than simple building density. The work concludes by highlighting the importance of tools such as the Soil Health Dashboard to support land management policies based on solid scientific data.

CONTAMINAZIONE DA SOSTANZE PER- E POLIFLUOROALCHILICHE (PFAS) NEI SUOLI DESTINATI ALLA VITICOLTURA

Tomasello B¹, Fusari P¹, Rovellini P¹, Renella G²

¹ *Innovhub Stazioni Sperimentali per l'Industria S.r.l., Milano*

² *Università di Padova*

Parole chiave: PFAS, LC-MS/MS, Soil Monitoring and Resilience Directive (2025/2360), viticoltura

Le sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS) costituiscono una famiglia di oltre 10.000 composti sintetici caratterizzati dall'eccezionale stabilità del legame carbonio-fluoro (C-F), che conferisce loro proprietà idrofobiche e oleofobiche, nonché un'elevata persistenza ambientale^[1]. A causa della loro mobilità e tendenza alla biomagnificazione lungo la catena alimentare i PFAS rappresentano una minaccia per la salute delle popolazioni che vivono in aree contaminate (patologie oncologiche, metaboliche e dello sviluppo)^[2].

In tali aree, l'accumulo di PFAS nel suolo è dovuto all'utilizzo di acque di irrigazione, ammendanti contaminati, fitofarmaci e dal potenziale adsorbimento dei PFAS sui colloidi del suolo. Rispetto alla vasta letteratura sulla contaminazione di PFAS in acque e alimenti, il suolo resta la matrice naturale meno studiata in termini di accumulo, nonostante la contaminazione da PFAS si stia dimostrando ubiquitaria. Infatti, questi composti risultano essere presenti anche in aree non interessate da fenomeni di inquinamento diffuso^[3]. Nel presente studio vengono riportati i risultati ottenuti dall'analisi di PFAS eseguita su suoli di vigneto di due aziende situate in aree non contaminate, confrontando sistemi di gestione convenzionale e biologica.

L'analisi di PFAS è stata condotta mediante cromatografia liquida accoppiata alla spettrometria di massa tandem (LC-MS/MS), affrontando le criticità legate sia alla complessità della matrice sia alla determinazione di composti a corta catena. I risultati ottenuti dallo screening evidenziano la presenza di alcuni PFAS nei suoli analizzati. Il parametro Total PFAS è maggiore nei suoli a gestione biologica rispetto a quelli a gestione convenzionale. Tale differenza è determinata dal più alto contenuto in PFAS, per la maggior parte a lunga catena ($C \geq 6$), per i suoli a gestione biologica rispetto a quelli a gestione convenzionale. Tali valori, potrebbero fornire indicazioni preliminari utili alla futura individuazione di concentrazioni di riferimento nell'attuazione degli obblighi previsti dalla Directive (EU) 2025/2360, che introduce il monitoraggio dei PFAS tra i contaminanti emergenti del suolo. Entro il 2050, attraverso la raccolta di dati ottenuti dal monitoraggio di gruppi armonizzati di PFAS (quali PFAS-21, PFAS-43 o altri PFAS selezionati dagli Stati membri), sarà possibile migliorare la valutazione dello stato di salute del suolo, supportare la definizione di valori di riferimento e criteri di rischio per la sicurezza delle produzioni agroalimentari e rafforzare la resilienza degli ecosistemi terrestri nel medio-lungo termine^[4].

[1] Podder, Aditi, et al. Journal of hazardous materials 419 (2021): 126361.

[2] Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). Paris, France: OECD; 2002.

[3] Han, Miao, Chao Qin, and Yanzheng Gao. New Contaminants 1.1 (2025).

[4] DIRETTIVA (UE) 2025/2360 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 12 novembre 2025 sul monitoraggio e la resilienza del suolo.

Tale lavoro è stato portato avanti all'interno del progetto iCOSHELLS, numero progetto "101157394", chiamata "HORIZON-MISS-2023-SOIL-01", tipo di azione "HORIZON Research and Innovation Actions".



INTEGRATED RESPONSES TO IRON AND PHOSPHORUS DEFICIENCY IN LUPINUS ALBUS: LINKING ROOT ADAPTATIONS, IONOMICS, AND HYPERSPECTRAL SIGNATURES

Lodovici A¹, Delle Vedove M¹, Flagiello F¹, Vogel Mikuš K², Pinton R¹, Tomasi N¹,
Zanin L¹

¹Department of Agricultural, Food, Environmental and Animal Sciences, University of Udine

²Department of Biology, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana

Parole chiave: white lupin, plant nutrition, Fe-deficiency, P-deficiency, hyperspectral data

Limited availability of essential nutrients such as iron (Fe) and phosphorus (P) is a major constraint to agricultural productivity. White lupin (*Lupinus albus* L.) is a model species for studying nutrient stress responses due to its high resilience to low P status, mainly through the development of cluster roots.

This study investigated the interaction between Fe and P deficiency by integrating physiological, biochemical, morphological, and ionic analyses under single and combined stresses. Plants were grown hydroponically under six nutrient regimes differing in Fe and P availability. Root morphology, ferric chelate reductase activity (FCR), multi-elemental analysis, and plant nutritional status (SPAD, hyperspectral reflectance) were assessed together with preliminary elemental localization analysis performed using mPIXE.

Fe availability emerged as the primary limiting factor, with complete Fe deprivation causing severe shoot necrosis, confirming its essential role in early growth and chlorophyll biosynthesis. In contrast, P deficiency mainly triggered adaptive morphological responses without inducing early visible symptoms. Notably, under combined deficiency (-P-Fe_{low}), a "stay-green" phenotype was observed, mitigating Fe chlorosis. Ionic analysis revealed significant nutrient interactions, with P deficiency promoting Fe concentration in shoots and low Fe availability inducing the concentration of Fe and other divalent cations (like Mn, Zn, Cu). In comparison to low Fe availability (+P-Fe_{low}), the combined stress (-P-Fe_{low}) increased the concentration in shoots of Fe and Zn, in roots of K and Mg; whereas in comparison to -P+Fe, -P-Fe_{low} increased the concentration of K (in shoot), Cu and Zn in plants.

In -P-Fe_{low} plants, FCR activity was observed to be localized in the pseudo-cluster roots. During the experiment, hyperspectral monitoring of phenotypic responses proved to be effective in characterizing the nutritional status of the plants. Data elaboration of hyperspectral images (400-1000 nm) enabled a canopy-level discrimination of treatments. PCA and correlation analyses based on values of vegetation indices (VIs) highlighted that some of them are very responsive to plant nutrition.

Overall, results highlight the high plasticity of *Lupinus albus* to overcome multiple nutrient stress responses, suggesting that P deficiency-induced root adaptations and putative metabolic reprogramming that may synergistically enhance Fe acquisition. These findings contribute to improve nutrient management strategies and support the development of non-destructive diagnostic tools for sustainable agriculture.

The authors acknowledge the financial support of short-term research mobility award 2025 granted by the Italian Society of Agricultural Chemistry (SICA); Ager project – WATER PEARL 2026-2030; EU-HORIZON BIO2 NATURAL BIO-MASS AND MICROBIAL BIO-CONTROL AGENT SOLUTIONS FOR THE REPLACEMENT OF CONTENTIOUS INPUTS IN ORGANIC FARMING, GA 101181331, 2025-2029.



ROOTS OF THE FUTURE
SUOLO E PIANTA NEL
CAMBIAMENTO GLOBALE



SESSIONE 4

Tecnologie emergenti per
l'analisi e la gestione integrata
del sistema suolo-pianta



HPC, AI E INFRASTRUTTURE DIGITALI PER COMPRENDERE E GOVERNARE LA COMPLESSITÀ DEI SISTEMI AGRO-AMBIENTALI

Scipione G

CINECA, High Performance Computing (HPC)

Agriculture and environmental management are entering an era of unprecedented complexity, driven by climate change, increasing pressure on natural resources, evolving regulatory frameworks and the need to ensure food security while preserving ecosystems. Addressing these challenges requires new approaches capable of integrating data, knowledge and predictive capabilities across multiple spatial and temporal scales.

High Performance Computing (HPC), Artificial Intelligence (AI) and advanced digital infrastructures are becoming key enablers for understanding and governing this complexity. By combining large-scale simulations, Earth observation data, IoT sensor networks, digital twins and AI-driven analytics, it is now possible to model agro-environmental systems with greater accuracy, anticipate risks and support more informed and resilient decision-making.

This presentation will explore how modern computing infrastructures are transforming the way we observe, analyse and manage agricultural and environmental processes, from climate risk assessment and precision irrigation to crop monitoring, predictive modelling and intelligent decision-support systems. Particular attention will be given to the role of Europe's HPC and AI ecosystem, highlighting the experience of CINECA, Italian HPC center and hosting entity of the EuroHPC LEONARDO supercomputer and coordinator of the IT4LIA AI Factory initiative. These infrastructures provide researchers, public administrations, startups and enterprises with access to world-class computing resources, AI technologies and domain expertise, accelerating the adoption of innovative solutions for sustainable agriculture and environmental resilience. The presentation will discuss how the convergence of HPC, AI and data infrastructures can help transform complex data into actionable knowledge, supporting the transition towards a more sustainable, adaptive and data-driven future.

STUDIO DELLE STRATEGIE DI COMPARTIMENTALIZZAZIONE DEL CADMIO IN DIFFERENTI GENOTIPI DI GRANO DURO MEDIANTE L'IMPEGNO DI MICROTOMOGRAFIA DI FLUORESCENZA DI RAGGI X CON LUCE DI SINCROTRONE

Allegretta¹, De Pascalis M¹, Brueckner D², Falkenberg G², Aprile A¹

¹ Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali, Università of Salento

² Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY), Amburgo, Germania

Parole chiave: Cadmio, *Triticum turgidum* L., μ XRF-CT

Il cadmio (Cd) è un metallo potenzialmente tossico naturalmente presente nei suoli a basse concentrazioni, che possono incrementare a causa di attività antropiche. L'acquisizione di Cd da parte della pianta, oltre a compromettere l'attività fisiologica dell'organismo, può essere traslocato nelle parti edibili della pianta creando problemi di sicurezza alimentare. Il grano duro (*Triticum turgidum* L. subsp. durum) è una coltura di interesse alimentare tra le più soggette all'acquisizione e accumulo di Cd. L'impiego di NILs (Near Isogenic Lines) di grano duro ha permesso di evidenziare rilevanti risposte molecolari nei tessuti radicali in risposta all'esposizione a Cd, inclusa la modulazione di geni coinvolti nei processi di trasporto, chelazione e compartimentalizzazione del Cd. Tuttavia, le differenze di espressione genica osservate nelle cultivar di grano duro con diversa capacità di traslocazione del Cd non sono state accompagnate da studi sulla localizzazione dell'elemento nei tessuti vegetali. Inoltre, là dove presenti, la distribuzione del Cd in tessuti e organi è stata eseguita mediante l'impiego di metodi indiretti che possono complessare anche altri metalli o l'uso di tecniche che prevedono una forte perturbazione come l'applicazione di vuoto (SEM e TEM) oppure l'uso di fissativi e polimeri per la realizzazione di sezioni (LA-ICP-MS o μ XRF). Al contrario, negli ultimi anni, l'impiego della spettroscopia di microtomografia di fluorescenza di raggi X (μ XRF-CT) con luce di sincrotrone, si è rivelato un importante strumento per lo studio della compartimentalizzazione di metalli all'interno di tessuti vegetali in condizioni fisiologiche. Al fine di poter comprendere le diverse strategie di compartimentalizzazione del Cd in differenti cultivar di grano duro, i genotipi Iride e Kronos sono stati coltivati in idroponica (95 giorni) ed esposti ad una concentrazione di Cd pari a 10 μ M. L'analisi dell'espressione genica è stata condotta su geni noti per essere coinvolti nella risposta al Cd, inclusi fattori di trascrizione, trasportatori e geni codificanti enzimi coinvolti nel ciclo di Yang e nella biosintesi della nicotianamina e dei fitosiderofori, composti chiave della Strategia II adottata dai cereali in condizioni di carenza di ferro. La concentrazione del Cd e degli elementi nutritivi è stata eseguita mediante analisi ICP-OES e TXRF. La distribuzione del cadmio in radici e semi è stata analizzata mediante μ XRF-CT con luce di sincrotrone eseguita presso l'Hard X-ray Micro/Nano-Probe Beamline (P06) del Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY) di Amburgo (Germania). Le cariossidi sono state analizzate tal quali, mentre le radici sono state raccolte ed inserite in tubi di poliimide, congelate rapidamente in isopentano super-raffreddato con azoto liquido, mantenute a -80°C e poi trasferite in azoto liquido per il trasporto presso la linea P06. L'analisi è stata eseguita usando un'energia del fascio di 32 keV, uno spot di 710 (v) x 1470 (h) nm². Le acquisizioni sono state condotte scansando il campione a 360°, variando i parametri di dwell time, step di rotazione e di scansione a seconda del campione. La radiazione di fluorescenza emergente è stata acquisita da due detector (Vortex e ARDESIA) posti a 90° e 270 °C dal fascio incidente. I risultati mostrano che in Iride, il Cd è localizzato principalmente nelle pareti cellulari del cilindro centrale della radice, e nel solco ventrale delle cariossidi. Al contrario, in Kronos è presente all'interno del parenchima del cilindro centrale della radice, e nel pericarpo e nella radice primaria delle cariossidi.

Lo spettrometro TXRF Horizon (GNR), impiegato per l'analisi elementare dei campioni, è stato finanziato da Fondazione Puglia



EFFECTS OF ALTERNATE WETTING AND DRYING (AWD) ON DRIVING FACTORS CONTROLLING CH₄ EMISSIONS FROM RICE PADDY SOILS

Crosetto ^L¹, Sleutel ^S², Said-Pullicino ^D¹

¹ Department of Agricultural, Forest and Food Sciences, University of Torino

² Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University-Belgium

Parole chiave: alternate wetting and drying; methane emissions; rice paddies; hysteresis; stable carbon isotopes

Alternate wetting and drying (AWD) are increasingly promoted as a climate-smart irrigation strategy in rice systems because it can reduce water use while mitigating methane (CH₄) emissions. However, mitigation outcomes remain variable, suggesting that the effectiveness of AWD depends on how soil properties and residue management interact with redox conditions, substrate availability, and CH₄ transport pathways. In particular, drying and rewetting may not simply represent opposite phases of the same trajectory, raising the possibility of hysteretic CH₄ responses. We hypothesized that the contrasting microbial and redox dynamics occurring during AWD cycles could generate hysteresis in net CH₄ emissions, and that this effect would depend on soil texture and residue incorporation depth, which influence redox stratification and substrate availability within the soil profile.

To test this, we conducted a mesocosm experiment using two soils of contrasting texture (coarse and fine) and two straw incorporation depths (0–10 and 20–30 cm) in a full factorial design. After an initial flooding period, two AWD cycles were imposed by progressively lowering and then raising the water table in 10 cm steps. During these cycles, we measured CH₄ fluxes and $\delta^{13}\text{C-CH}_4$, soil redox potential at multiple depths, and porewater chemistry (including Fe²⁺, DOC, dissolved CH₄, and dissolved $\delta^{13}\text{C-CH}_4$).

AWD strongly altered porewater redox conditions across the soil profile and substantially affected CH₄ dynamics. Net CH₄ fluxes declined sharply during drainage, but the response was clearly hysteretic: at the same water level, fluxes were significantly higher during drying than during rewetting at 0 and –10 cm. CH₄ fluxes were also higher in the fine-textured soil, in the first AWD cycle, and under deep straw incorporation. These patterns suggest that under drying conditions, reduced microsites at depth, enriched in labile carbon, may sustain CH₄ production even as the bulk soil becomes more oxidized. Dissolved CH₄ and ebullition contribution were mainly controlled by AWD stage and cycle.

In contrast to net CH₄ flux, the isotopic composition of emitted CH₄ did not show a clear hysteretic response. Instead, emitted $\delta^{13}\text{C-CH}_4$ was primarily affected by hydrological phase, being more ¹³C-depleted during rewetting than during drying, while the isotopic offset between emitted and dissolved CH₄ showed no consistent phase-dependent pattern. These results indicate that AWD effects on CH₄ emissions depend not only on water level, but also on hydrological history, and that soil texture and straw placement influence emission magnitude more than the hysteretic pattern itself. Overall, this study provides a process-based framework for improving CH₄ mitigation in rice systems under AWD.



SOS_ROOT: SPERIMENTAZIONE IN CAMPO E MODELLISTICA PREVISIONALE PER LA RESILIENZA DELLA PRODUZIONE DELLA PATATA IN VENETO

Locatelli S¹, Sofia G¹, Dal Cero S², Galluzzi G², Zaccone C²

¹ Centro di sperimentazione per l'innovazione irrigua – Ce.Sp.I.I. - Consorzio di Bonifica di Il Grado
Lessinio, Euganeo, Berico

² Dipartimento di Biotecnologie, Università degli Studi di Verona

Parole chiave: Suolo, Patata, Cambiamento climatico, Irrigazione, Qualità

La pataticoltura veneta ha conosciuto una significativa trasformazione negli ultimi anni, affermandosi come uno dei comparti più rilevanti a livello nazionale grazie alla qualità e varietà dei prodotti e alle caratteristiche distintive del territorio. Il settore, tuttavia, si trova ad affrontare pressioni crescenti legate ai mutamenti climatici, che incidono negativamente sull'andamento stagionale e delle produzioni. Questo studio è concepito per analizzare e quantificare gli effetti del clima in evoluzione su suolo, fabbisogno idrico e produttività di due varietà pataticole tipiche del Veneto, con l'obiettivo di fornire strumenti operativi per mitigare i rischi associati al cambiamento climatico e orientare il comparto verso una maggiore sostenibilità e resilienza. Il lavoro si compone di due parti sinergiche: una sperimentazione in campo e un approccio modellistico. Nell'area sperimentale sono state installate open-top chambers per riprodurre condizioni rappresentative di uno scenario climatico futuro (+2 °C). Parallelamente, sono state determinate le principali caratteristiche fisiche e chimiche del suolo. Sulla base di questi dati e dei sensori di campo è stato poi sviluppato un modello previsionale di crescita agronomica e di stima dei fabbisogni irrigui in grado di operare sia in modalità nowcast (sulla base dei sensori di campo e degli ultimi dati meteorologici acquisiti in tempo reale) sia in modalità previsionale a 3,10 e 45 giorni. Le due varietà coltivate, sia in condizioni ambientali che di warming, sono state irrigate secondo le indicazioni modellistiche, soddisfacendo il 100% e il 70% del fabbisogno idrico.

I risultati della sperimentazione forniscono quindi una base quantitativa per valutare la risposta fisiologica e produttiva delle varietà selezionate in condizioni di riscaldamento globale, nonché per dimostrare l'efficacia della modellistica previsionale in scenari di deficit idrico. L'analisi dell'effetto congiunto del cambiamento climatico sulle principali variabili meteorologiche (precipitazioni, temperatura, evapotraspirazione) e sul degrado dei suoli (e.g., perdita di carbonio organico) consentirà di stimare gli impatti sulle rese produttive e sulla domanda d'acqua per l'irrigazione, traducendo i dati raccolti in indicazioni pratiche per una gestione irrigua adattativa e contribuendo a rafforzare la resilienza del comparto pataticolo di fronte alle proiezioni climatiche future.

Questa ricerca è stata realizzata nell'ambito del progetto "SOS_Root – SOstenibilità e Resilienza del cOmparto prOduttivo pataticolo in uno scenario di cambiamento climaTico". Regione Veneto. DGR n. 1084/2024.



EPO-CORRECTED NIR SPECTROSCOPY FOR IN-SITU SOIL ORGANIC CARBON PREDICTION IN HAZELNUT ORCHARDS

Pace L, Caccia S, Cristofori V, Priori S

University of Tuscia

Parole chiave: NIR spectroscopy, In-situ measurement, Soil Moisture Correction, Soil Organic Carbon, External Parameter Orthogonalization (EPO)

Near-infrared (NIR) spectroscopy offers a rapid and cost-effective alternative to conventional laboratory analysis for soil organic carbon (SOC) determination, but its application under field conditions is challenged by the confounding effect of soil moisture on reflectance spectra. This study investigated the use of External Parameter Orthogonalization (EPO) to enable SOC prediction from in-situ NIR spectra acquired in hazelnut orchards (*Corylus avellana* L.). A total of 120 soil samples were collected from four local farms. Of these, 62 were used for model calibration (alongside 55 additional samples from comparable sites in the same area, yielding a combined calibration dataset of 117 samples); a subset of 30 local samples was reserved for EPO matrix construction, and the remaining 28 served as an independent validation set. Raw reflectance spectra were converted to absorbance, smoothed with a Savitsky-Golay filter, and standardized via Standard Normal Variate (SNV) normalization. Two EPO correction strategies were compared: (1) a projection matrix derived from laboratory-controlled paired dry and moist spectra at gravimetric moisture levels of 15% and 25%; and (2) a projection matrix derived from real paired dry and field-moist spectra of the same samples. SOC values were log-transformed prior to modelling; Partial Least Squares Regression (PLSR) and Cubist algorithms were then evaluated against the 28 independent validation spectra. EPO correction substantially reduced moisture-related spectral interference across all approaches. The strategy based on real paired field spectra yielded the most realistic correction, as it captured the actual spectral shift observed under natural measurement conditions rather than laboratory-simulated moisture levels. These findings support the feasibility of EPO-corrected NIR spectroscopy for rapid, non-destructive SOC monitoring in hazelnut orchards, while underscoring the importance of a moisture-diverse EPO calibration set for robust field application.



PLANT GROWTH PROMOTION AND BIOCONTROL BY SOIL CYANOBACTERIA IN TOMATO: A SOIL–MICROBE–PLANT INTERACTION PERSPECTIVE

Addresso R¹, Elshafie HS¹, Yaghoubi Kanghahi M^{1,2}, Zhang L³, Lucini L³, Teruzzi C⁴,
Araniti F⁴, Sofo A¹

¹Department of Agricultural, Forestry, Food and Environmental Sciences (DAFE), University of Basilicata

²Department of Soil, Plant and Food Sciences (DiSSPA), University of Bari "Aldo Moro"

³Department for Sustainable Food Process, Catholic "Sacro Cuore" University

⁴Department of Agricultural and Environmental Sciences, Production, Landscape, Agroenergy (DiSAA), University of Milan "Statale"

Parole chiave: agroecosystem resilience, biofertilizers, plant–soil interactions, soil health

Soil cyanobacteria are increasingly recognised as key drivers of soil health and climate-resilient agroecosystems due to their ability to enhance nutrient cycling, stabilise soil structure, and modulate plant–microbe interactions. In this study, we investigated the diversity, functional traits, and biotechnological potential of soil cyanobacterial communities in a Mediterranean olive (*Olea europaea* L.) orchard located in a semi-arid region of southern Italy, managed for over twenty years under contrasting sustainable (S_{mng}) and conventional (C_{mng}) management systems.

Topsoil samples (0–5 cm) were analysed using an integrated approach combining culture-dependent isolation, 16S rRNA gene-based metagenomics, and rhizosphere metabolomic profiling. Sustainable management significantly increased cyanobacterial abundance (0.408×10^2 vs. 0.240×10^2 g⁻¹ soil) and taxonomic diversity, with diazotrophic genera such as *Anabaena* and *Nostoc* dominating the communities. Functional annotation revealed enrichment in biosynthetic pathways associated with secondary metabolism, including alkaloids, phenylpropanoids, phytohormones, polyketides, and terpenes, suggesting an active role in plant signalling and stress adaptation.

Cyanobacterial communities from the S_{mng} soils exhibited plant growth-promoting effects, enhancing the development and physiological status of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L., cv. money-maker) grown under controlled conditions, and improved soil chemical and biological quality. Metagenomic and metabolomic analyses further indicated that these microorganisms contribute to the establishment of beneficial microbial networks and to the accumulation of defense-related and stress-responsive metabolites in the rhizosphere.

Consistently, germination assays revealed a clear link between microbial metabolites and early plant development. Selected S_{mng} -associated strains markedly enhanced germination, increasing it up to 98.5%. These results are linked to the presence of hormone-like compounds promoting radicle growth and seedling establishment.

Isolates from S_{mng} -soils exhibited enhanced biocontrol potential, with methanolic extracts showing selective antimicrobial activity against phytopathogens, including inhibition zones up to 37.5 mm (*Aspergillus niger*) and 27.5 mm (*Penicillium italicum*), and moderate effects (6–19 mm) against *Fusarium solani*. This indicates a strong pathogen-suppressive capacity linked to diverse secondary metabolites, with S_{mng} -derived strains displaying broader and more consistent bioactivity than those from C_{mng} systems.

Overall, sustainably managed soils (S_{mng}) supported cyanobacterial communities with enhanced functional potential for nitrogen fixation, carbon sequestration, and production of bioactive compounds. These findings highlight the central role of soil cyanobacteria as modulators of plant–soil system resilience and support their exploitation as biotechnological tools for sustainable agriculture and ecosystem-based climate adaptation strategies.



LINKING SOIL CHEMISTRY, MICROBIAL FUNCTIONAL GENES, AND FOLIAR SPECTRAL RESPONSES FOR PRECISION VINEYARD MONITORING

Zardinoni G¹, Li S¹, Marcuzzo P², Zeaiter L², Ravi S¹, Ganasula B¹, Giagnoni L¹, Velusamy N¹, Chiodi C¹, Celletti S³, Maucieri C¹, Giordano M¹, Squartini A¹, Concheri G¹, Stevanato P¹

¹Department of Agronomy, Food, Natural Resources, Animals and Environment (DAFNAE), University of Padua

²Council for Agricultural Research and Economics (CREA), Research Centre for Viticulture and Enology, Conegliano (Treviso)

³Department of Agricultural, Forest and Food Sciences (DISAFA), University of Turin

Parole chiave: viticulture; XRF soil analysis; soil genes; VIS-NIR spectrometry; precision agriculture

Climate change and soil degradation, driven by erosion, loss of organic matter, and declining biological diversity, are increasingly compromising the functional resilience of agroecosystems, affecting nutrient cycling, microbial activity, and plant performance. Because these processes directly influence plant functioning and productivity, understanding soil-plant relationships have become particularly important in viticultural systems, where site-specific variability strongly affects vineyard performance and management decisions. Within this framework, integrating scientific knowledge, biological indicators, and digital sensing technologies offers new opportunities to assess and preserve soil health while supporting precision viticulture and aligning with current European sustainability strategies. This study investigated how soil chemical properties and elemental composition are reflected in microbial functional diversity and vine canopy spectral responses across 16 vineyard plots with contrasting pedological and agronomic conditions. Conventional soil analyses and portable X-ray fluorescence (XRF) profiling were combined with VIS-NIR foliar spectral indices and molecular quantification of key microbial processes, including nitrification, nitrogen fixation, denitrification, organic matter decomposition, and secondary metabolite biosynthesis. The results showed that soil pH and elemental composition were strongly associated with microbial functional variability and canopy spectral responses. Soil pH emerged as the strongest driver of denitrification activity, while manganese and iron availability were consistently linked to multiple nitrogen-cycling pathways and cellulolytic potential. Genes involved in nitrification and denitrification covaried tightly, pointing to functionally coupled nitrogen transformation processes across these soils. Among foliar spectral indices, those reflecting leaf nitrogen content and pigment status, particularly Nitrogen Content and Pigment Index (NCPI), showed significant relationships with the abundance of nitrifying microorganisms, suggesting that plant physiological condition may serve as a non-invasive integrator of belowground nitrogen-cycling dynamics. These findings suggest that integrating soil elemental sensing, microbial functional markers, and foliar spectroscopy may provide a practical framework for site-specific vineyard assessment and management. Further studies with larger datasets and seasonal monitoring are needed to validate these relationships and strengthen their application in precision viticulture.

UN APPROCCIO OLISTICO PER LO STUDIO DEL MECCANISMO DI BIOSTIMOLAZIONE DI UN ESTRATTO ALCALINO DA COMPOST SU PIANTE DI POMODORO

Bona D^{1,2}, Pilati S¹, Longa MC¹, Giovannini O¹, Turci S³, Sonogo P¹, Pindo M¹,
Bertoldi D¹, Tommasini MG³, Zaccone C², Silvestri S¹

¹ Fondazione Edmund Mach

² Dipartimento di Biotecnologie, Università di Verona

³ R.I. NOVA Ricerca ed Innovazione, Soc. Coop., Cesena

Parole chiave: rizosfera, metagenomica comunità microbiche, parametri biometrici, trascrittomica

L'impiego di prodotti biostimolanti in agricoltura è considerata una pratica strategica molto promettente per migliorare la sostenibilità in agricoltura attraverso la riduzione degli input e l'aumento della capacità di resilienza delle piante agli stress abiotici, garantendo quindi la produttività delle colture agrarie. Diversi prodotti sono attualmente disponibili in commercio; al tempo stesso, però, per favorire lo sviluppo del settore, sarebbe necessaria e auspicabile sia una standardizzazione nella loro composizione e formulazione, che una maggiore conoscenza dei meccanismi di biostimolazione. I biostimolanti a base di sostanze umiche (HS) sono ottenuti da estrazione alcalina da matrici ricche di carbonio, come la leonardite. Recentemente diversi studi hanno dimostrato la possibilità di valorizzare matrici rinnovabili come, ad esempio, il compost. In questo contesto quindi, gli HS potrebbero rappresentare un'opportunità interessante anche nell'ambito della bioeconomia circolare, anche se il loro effetto su piante, suolo e comunità microbiche della rizosfera è ancora poco compreso. Il presente lavoro ha avuto lo scopo di mettere a punto un approccio analitico per la valutazione dei diversi aspetti coinvolti nell'azione di un estratto umico di compost da digestato (EHS). Sono stati allestiti due esperimenti indipendenti con piante di pomodoro, in condizioni controllate, con adeguato apporto di acqua e fertilizzante durante tutto il ciclo di prova, somministrando 2 dosi di EHS (5 e 50 kgHS/ha, 4 applicazioni durante il ciclo colturale). Dopo 3 e 6 settimane sono stati raccolti campioni di foglia, di suolo bulk e di suolo rizosferico per l'analisi chimica e omica e la quantificazione della biomassa prodotta, mentre i parametri biometrici sono stati acquisiti settimanalmente^[1]. L'approccio "multiomico" (analisi trascrittomica di campioni fogliari e metagenomica, sia batterica che fungina della rizosfera), oltre ai parametri fisiologici (crescita delle piante, nutrienti e clorofilla) e alla caratterizzazione del suolo a due diversi tempi, hanno mostrato come l'impiego di EHS non abbia avuto nessun effetto di biostimolazione. Non sono state riscontrate variazioni significative nel metabolismo secondario, nella trascrittomica fogliare, nella disponibilità di nutrienti e nella composizione/abbondanza di comunità microbiche della rizosfera e non sono state rilevate variazioni a carico dell'architettura della pianta, della biomassa e dei tempi di fioritura. Sono state quindi allestite delle ulteriori prove alle medesime condizioni per valutare l'effetto di EHS su piante in condizioni di crescita di stress nutrizionale (50 e 75% di riduzione) e in condizioni di stress idrico. Anche in questo caso non sono stati rilevati effetti significativi sulla crescita della pianta, sulla fioritura e sulle quantità dei frutti prodotti. L'EHS testato appartiene a una classe di composti che, in precedenti lavori, ha comunque mostrato risultati contrastanti. Considerata l'importanza di una maggiore conoscenza dell'interfaccia suolo-pianta-microorganismo, quale zona d'azione di questa tipologia di prodotti, l'approccio analitico proposto potrà essere utile per acquisire informazioni necessari per standardizzare gli impieghi di estratti umici ed integrarli in maniera efficace nelle pratiche agronomiche.

[1] Bona, D., Longa, C. M. O., Sonogo, P., Giovannini, O., Bertoldi, D., Stefani, E., ... & Silvestri, S. (2026). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-9556034/v1>

QUALITÀ CHIMICO-BIOLOGICA ED EFFICIENZA GESTIONALE DI AMMENDANTI ORGANICI OTTENUTI MEDIANTE DIFFERENTI STRATEGIE DI PRODUZIONE

Cozzolino V^{1,2}, Vinci G^{1,2}, Verrillo M², Cangemi S², Castaldi F², Roberto G¹, Ikoki I³,
Spaccini R^{1,2}

¹ Dipartimento di Agraria, Università di Napoli Federico II

² Centro di Ricerca Interdipartimentale sulla Risonanza Magnetica per l'Ambiente, l'Agro-
Alimentare ed i Nuovi Materiali, Università di Napoli Federico II

³ School of Biological, Earth and Environmental Sciences, University College Cork, Ireland

Parole chiave: Compostaggio, Bioattività, Umificazione, Funzionalità microbica, Agricoltura rigenerativa

La disponibilità di ammendanti organici di elevata qualità rappresenta un elemento strategico per il mantenimento della fertilità biologica dei suoli e per la sostenibilità dei sistemi agricoli. In particolare, nei sistemi agricoli rigenerativi, la produzione aziendale di compost costituisce una pratica chiave per migliorare la salute del suolo e ridurre la dipendenza da input esterni. In tale contesto, l'ottimizzazione delle strategie di compostaggio assume particolare rilevanza in relazione alla loro influenza sui processi di umificazione, sulla funzionalità microbica e sulla qualità biologica degli ammendanti organici, oltre che sull'efficienza gestionale del processo. Il presente studio ha avuto l'obiettivo di valutare l'evoluzione delle caratteristiche chimiche e biologiche di differenti compost prodotti presso l'azienda agricola rigenerativa La Petrosa mediante diverse strategie di gestione. Sono stati confrontati quattro sistemi di compostaggio: i) compost bovino rivoltato in stalla; ii) compost bovino sottoposto a fase aerobica iniziale e successivamente trasferito all'esterno senza ulteriori rivoltamenti e inoculato con lombrichi; iii) compost caprino rivoltato in stalla; iv) compost caprino sottoposto a fase aerobica iniziale e successivamente inoculato con lombrichi. I compost sono stati campionati a 60, 90 e 180 giorni e caratterizzati mediante un approccio multi-analitico comprendente spettroscopia IR, NMR allo stato solido e liquido, analisi termogravimetrica (TGA) e pirolisi GC-MS, oltre all'analisi elementare, al fine di valutare il grado di trasformazione e umificazione della sostanza organica. Parallelamente, da ciascun compost e per ogni tempo di campionamento sono stati estratti tè di compost, successivamente caratterizzati mediante un approccio chimico analogo a quello utilizzato per i materiali di origine, al fine di evidenziare le frazioni organiche maggiormente solubilizzate e potenzialmente biodisponibili. La bioattività dei tè di compost è stata valutata su *Lepidium sativum*, per evidenziare eventuali effetti biostimolanti associati ai differenti sistemi di gestione del compostaggio. I risultati preliminari evidenziano differenze significative tra i trattamenti sia in termini di evoluzione della componente organica sia di bioattività dei compost tea, suggerendo che i sistemi a minore intensità di rivoltamento associati al vermicompostaggio possano mantenere elevati livelli di qualità biologica e funzionalità del materiale organico, riducendo al contempo il carico gestionale per l'azienda agricola. Le analisi microbiologiche attualmente in corso, basate su approcci metagenomici e sulla caratterizzazione della funzionalità genica, consentiranno di approfondire le relazioni tra struttura molecolare della sostanza organica, composizione microbica, bioattività e funzionalità biologica dei compost. Il lavoro evidenzia il potenziale di approcci integrati chimico-biologici per la valutazione della qualità degli ammendanti organici in sistemi agricoli rigenerativi e convenzionali. Lo studio evidenzia il ruolo delle strategie di produzione del compost nel modulare la qualità chimico-biologica degli ammendanti organici, fornendo indicazioni utili per l'ottimizzazione sostenibile dei processi di compostaggio.

La ricerca è stata condotta nell'ambito delle attività del progetto europeo SOILRES – Multi-Faceted Biodiversity Integration for a Healthy Soil and Resilient Crop Management, finanziato dal programma Horizon Europe dell'Unione Europea.

APPLICAZIONE FOGLIARE DI TRATTAMENTI A BASE DI ZOLFO E GLUTATIONE PER POTENZIARE L'EFFICIENZA DEL FITORISANAMENTO MEDIANTE PIANTE DI VETIVER (*CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES* L.)

D'Asaro L¹, Lauria G¹, El Horri H¹, Barbafieri M², Petruzzelli G², Franchi E³, Fusini D³, Ceccanti C¹, Landi M^{1,4}

¹ Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università di Pisa

² Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestre, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Pisa

³ R&D Environmental & Biological Laboratories, Eni S.p.A., San Donato Mil.se

⁴ Centro Interdipartimentale per lo Studio degli Effetti dei Cambiamenti Climatici (CIRSEC), Università di Pisa

Parole chiave: Contaminazione da piombo; Fitorimediazione; Stress abiotici; Stress da metalli pesanti

Questo studio ha valutato il potenziale dell'applicazione fogliare di glutatione (GSH) e dello zolfo elementare (S), precursore nella biosintesi del GSH, nel mitigare lo stress indotto dall'accumulo edafico di piombo (Pb) e nel migliorare l'efficienza del fitorisanamento tramite l'uso di piante di vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L.). Le piante sono state trattate con due applicazioni fogliari di S (10 g L⁻¹) o GSH (1 mM), in condizioni di suolo contaminato da Pb (1,5 g Pb kg⁻¹). L'esposizione al Pb ha influenzato negativamente le performance fotosintetiche, causando una progressiva riduzione dell'efficienza del fotosistema II ($\Phi_{(P_0)}$, $\Phi_{(E_0)}$, P_{abs}), del tasso fotosintetico netto e della conduttanza stomatica. Il trattamento con S ha migliorato significativamente l'attività fotosintetica, mentre l'applicazione di GSH ha contribuito a mantenere l'efficienza del trasporto elettronico, la regolazione stomatica e l'equilibrio redox cellulare, in particolare nelle fasi più avanzate dello stress. Entrambi i trattamenti hanno stimolato l'accumulo radicale di Pb, con aumenti pari a 3,7 volte nelle piante trattate con S e 2,9 volte in quelle trattate con GSH rispetto ai controlli non trattati. Non sono stati osservati effetti significativi sulla produzione di biomassa né sulla traslocazione del Pb verso la porzione aerea della pianta. Questo aspetto sottolinea come *C. zizanioides* sia una specie tollerante al Pb, capace di mantenere la crescita anche in condizioni di stress da metalli pesanti; pertanto, una biomassa stabile associata a un maggiore accumulo radicale di Pb indica una risposta di fitorisanamento efficiente e resiliente. Nel complesso, i risultati suggeriscono che questi trattamenti migliorano la resilienza fotosintetica in condizioni di stress da Pb e favoriscono l'immobilizzazione del metallo a livello radicale, evidenziando il potenziale di *C. zizanioides* nella strategia di fitostabilizzazione.

Gli autori ringraziano sentitamente Vetiver Toscana Società Agricola S.S. (Via dei Loghi 55d, 54100 Massa, Italia) per aver fornito il materiale vegetale utilizzato in questo studio ed Eni S.p.A. (Piazzale Enrico Mattei 1, 00144 Roma, Italia) per il sostegno finanziario alla borsa di dottorato di Lorenzo D'Asaro.



FROM SOIL MONOLITHS TO IMMERSIVE 3D MODELS: PHOTOGRAMMETRY FOR SOIL PROFILE RECONSTRUCTION

Gabriele M¹, Salvucci A², L'abate G², Barbetti R³, De Marinis P⁴, Colombo M⁴,
Chiaffarelli G⁵, Cocco S⁶, Mancini LM¹, Di Simine D⁵, Bocchi S⁴, Corti G⁶, Brumana R¹

¹ Department of Architecture, Built Environment and Construction Engineering, POLIMI, Milano

² Research Centre for Agriculture and Environment, CREA, Florence

³ Research Centre for Forestry and Wood, CREA, Alessandria

⁴ Department of Environmental Science and Policy, UNIMI, Milano

⁵ Legambiente Lombardia, Milano

⁶ Department of Agriculture, Food and Environmental Sciences, UNIVPM, Ancona

Parole chiave: immersive technologies; NEMESIS project; soil horizon; dissemination

The EU Soil Monitoring Law reinforces the role of soil as a strategic and collective resource, emphasizing the need for systematic monitoring of soil health, as well as for effective societal engagement in soil protection, particularly in areas most vulnerable to degradation and desertification processes. In this perspective, soil literacy remains a still underfunded and insufficiently widespread field, despite being a fundamental component of the agroecological transition. Within this context, NEMESIS project aims to establish a Soil Health Living Lab Network to combat desertification in the Mediterranean region, promoting participatory, innovative, and multidisciplinary approaches. The project aims to strengthen dialogue between research, local stakeholders, and citizens, recognizing the dissemination of scientific knowledge as a key element for increasing awareness of the role of soil and supporting sustainable land management practices. In this regard, NEMESIS project can provide a valuable contribution by testing and advancing new approaches to soil communication, engagement, and learning. Within NEMESIS project, the use of digital photogrammetry is being tested for the three-dimensional (3D) reconstruction of soil profiles as an innovative tool to support communication and dissemination activities. Traditionally, soil profile representation has based on two-dimensional images and soil monoliths, which present limitations in conveying soil spatial complexity and the real field experience. Three-dimensional reconstruction through photogrammetry instead enables the generation of high-resolution digital models capable of realistically representing soil structure and horizons, offering immersive interaction with the soil profile. This approach allows users to virtually explore the soil, recreating the perception of being directly in the field, and facilitating the understanding of pedological processes, even for non-specialist audiences. The present study focusses on the application of photogrammetry to 3D soil profile reconstruction and evaluates its outcomes in terms of scientific documentation and analysis potential, as well as in terms of knowledge dissemination, awareness, and participation.

EFFECTIVE AND LOW-COST SOIL REMEDIATION FROM ORGANIC POLLUTANTS USING BIOENERGY BYPRODUCTS AND MYCODEGRADATION

Loffredo E, Denora N

Department of Soil, Plant and Food Sciences, University of Bari Aldo Moro

Parole chiave: biochar, digestate, adsorption, fungal degradation, plant assay

The current trend toward abandoning fossil fuels to contrast climate change has fostered the development of the bioenergy sector. Thermochemical processes such as pyrolysis/gasification and biochemical treatments such as anaerobic digestion, in addition to producing syngas and biogas, respectively, release carbon-rich byproducts that have useful applications in agriculture as soil fertility improvers. An underexplored potential of these materials concerns the mitigation of soil pollution. We investigated an innovative and cost-effective strategy for the in situ remediation of soil contaminated by two pesticides, the fungicide penconazole (PEN) and the herbicide S-metolachlor (S-MET), and by two industrial pollutants with estrogenic activity, bisphenol A (BPA) and nonylphenol (NP), which are widely present in cultivated soil. This approach is particularly suitable for intensively exploited and polluted soils, poor in organic matter, and with contamination levels that preclude direct biological treatments such as bio- and phytoremediation. The first step of a two-phase procedure consisted of adsorbing the pollutants onto a wood biochar (BC) and a mixed digestate (DG) at doses of 1 and 2% (w/w) distributed separately on a layer of tissue-non-tissue (TNT) overlaid a loamy soil artificially contaminated with the four compounds at an individual concentration of 2 mg kg⁻¹. Contaminated soil covered only with the TNT (without the adsorbent) served as a control. The soil/adsorbent system was irrigated periodically. Three series of experiments were conducted in which the adsorbent was kept on the soil for 2, 6 and 12 days. After this period, the system was dismantled, the adsorbent (BC or DG) was removed, and the pollutants were extracted from both the soil and the adsorbent. Quantification of residual compounds was achieved by high performance liquid chromatography (HPLC) equipped with a UV-Vis DAD for pesticide analysis and a fluorescence detector for BPA and NP analysis. After 12 days, the percentages of PEN, S-MET, BPA and NP adsorbed on 2% BC were 84, 63, 94 and 21%, respectively, while they were lower on DG and at the 1% dose. In a second step, contaminated BC was inoculated with the ligninolytic fungi *Pleurotus eryngii*, *P. ostreatus* and *Irpep lacteus*, separately, and incubated under controlled conditions for various periods of time. At the end of the experiments, a significant reduction in pollutant concentration was measured in BC. Finally, to verify the reduced phytotoxicity of the remediated soil, assays were conducted with different plant species. Compared to plants grown in control soil, all treatments increased one or more biometric parameters. The 2% BC treatment increased plant height, root elongation, fresh and dry biomass of tomato plants by 83, 72, 67 and 96%, respectively, and of basil plants by 25, 132, 118 and 94%, respectively. The overall results encourage further investigation and might pave the way for more eco-compatible and cost-effective procedures for the remediation of heavily contaminated soil.

The present work contributed to the project PRIN 2022 PNRR, entitled "Microbially enriched biosorbents from waste recycling and soil-resident fungi as novel and sustainable tools to mitigate soil pollution by chemicals of emerging concern and prevent their entry and accumulation in vegetables", financially supported by the European Union—NextGenerationEU—PNRR—Mission 4, Component 2, Investment 1.1. CUP:H53D23010520001.

The authors are grateful to C&F Energy Società Agricola s.r.l., Altavilla Silentina, Italy, for having provided the digestate sample used in this study.



CALIBRAZIONE LIBS PER LA STIMA DEL CARBONIO ORGANICO IN SUOLI VULCANICI DELLA PROVINCIA DI VITERBO

Penniello G, Pace L, Cristofori V, Priori S

Università degli Studi della Tuscia, Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali (DAFNE)

Parole chiave: SOC; carbon stock, sensore, spettrometria, analisi chimica

La *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS) è una tecnica analitica rapida che consente la determinazione della composizione chimica elementare di campioni solidi. Un laser intermittente ad alta intensità colpisce una piccola parte del campione creando vaporizzazione e liberazione di elettroni dagli atomi che compongono il materiale. Questi elettroni si ricombinano rapidamente con gli atomi creando emissione elettromagnetica nel campo dell'UV, ottico e infrarosso, con uno specifico spettro legato alla composizione chimica del materiale. L'impiego di spettrometri LIBS portatili, come lo SciAps Z-903 operante nell'intervallo spettrale 190–950 nm, consente l'utilizzo della tecnica direttamente in campo e risulta promettente per l'analisi chimica elementare nonché per la stima del carbonio totale, inorganico ed organico del suolo. Tuttavia, l'accuratezza delle misure LIBS può essere influenzata dagli effetti matrice legati alla variabilità delle proprietà pedologiche, rendendo complesso lo sviluppo di modelli trasferibili tra suoli con diversa composizione e origine geologica.

In questo contesto, il presente studio propone una calibrazione sviluppata su suoli di origine vulcanica della provincia di Viterbo (VT), privi di carbonato di calcio e quindi privi di carbonio inorganico.

Il modello è stato costruito su un set di campioni di suolo, il cui il contenuto di carbonio è stato determinato mediante analisi elementare per combustione a secco e, data l'assenza di carbonati, il carbonio totale (TC) è stato assimilato al carbonio organico totale (TOC).

Gli stessi campioni sono stati successivamente essiccati, macinati e pellettati, in accordo con le metodologie riportate in letteratura, al fine di omogeneizzare il campione e renderlo in forma solida, per l'analisi con il LIBS. Per ciascun campione pellettato sono state effettuate tre misure indipendenti mediante LIBS, utilizzando un flusso continuo di argon durante l'acquisizione per migliorare il rapporto segnale/rumore; lo spettro finale è stato calcolato come media delle acquisizioni.

Il modello è stato sviluppato utilizzando il software SciAps ProfileBuilder (v. 2.4) mediante regressione lineare tra il contenuto di carbonio precedentemente determinato in laboratorio tramite analizzatore CN e il rapporto di intensità tra i picchi spettrali tipici del carbonio (193 nm e 247 nm) e quelli degli elementi maggiori della matrice come Si (288 nm) e Al (396 nm). I risultati mostrano una buona correlazione tra i dati ottenuti mediante i due metodi di analisi, con una retta di calibrazione soddisfacente, indicativa di una buona capacità predittiva del modello.

Nel complesso, lo studio evidenzia il potenziale della tecnica LIBS per la stima del carbonio totale nei suoli, assimilabile con quello organico nei suoli privi di carbonati. L'approccio basato su campioni pellettati rappresenta una fase preliminare essenziale per lo sviluppo di modelli calibrativi robusti; tuttavia, l'obiettivo finale è l'estensione della calibrazione per l'utilizzo diretto in campo, riducendo la preparazione del campione e sfruttando appieno le potenzialità operative della tecnica.



FORMULAZIONE DI FERTILIZZANTI FOSFATICI INNOVATIVI A BASE DI MATRICI BIOPOLIMERICHE PER IL RILASCIO GRADUALE DI FOSFORO IN SUOLI AGRARI

Savy D¹, Tregon G¹, De Martino A¹, Scognamiglio F¹, Santagata G², Marino T², Rao MA¹

¹ Dipartimento di Agraria, Università di Napoli Federico II

² Istituto per i Polimeri, Compositi e Biomateriali (IPCB), Consiglio Nazionale delle Ricerche, Pozzuoli

Parole chiave: fosfato bioammonico; cellulosa; alginato; pectina

Il fosforo (P) è uno dei macronutrienti essenziali per la crescita delle piante e la produttività agricola. Tuttavia, il suo assorbimento da parte delle piante è significativamente ostacolato da rapidi processi di immobilizzazione, come l'adsorbimento sugli ossidi di ferro e alluminio, la precipitazione con il calcio e l'incorporazione in forme organiche stabili. Pertanto, l'efficienza agronomica dei fertilizzanti fosfatici convenzionali è relativamente bassa, con gran parte del fosforo applicato che rimane indisponibile per le piante. Questa inefficienza contribuisce non solo all'aumento dei costi agricoli, ma anche a una diminuzione di efficienza d'uso. Per questa ragione, sono state proposte diverse strategie volte a migliorare l'efficienza d'uso del fosforo, come lo sviluppo di fertilizzanti a rilascio lento o controllato. Questi infatti rappresentano alternative promettenti ai fertilizzanti convenzionali, poiché consentono un apporto di nutrienti più graduale e prolungato, in linea quindi con il fabbisogno delle piante.

Il nostro obiettivo è stato quello di sintetizzare e caratterizzare nuovi fertilizzanti a base di fosforo incapsulando diverse quantità di fosfato bioammonico in matrici di cellulosa/alginato o cellulosa/pectina e valutarne gli effetti sulle proprietà chimiche e biochimiche del suolo dopo l'applicazione. Tali materiali sono stati infatti studiati mediante varie tecniche fisico-chimiche, tra cui analisi termogravimetrica (TGA), analisi meccanica dinamica (DMA), test di capacità di rigonfiamento e microscopia elettronica a scansione (SEM). Inoltre, sono stati condotti esperimenti in vaso per valutare l'impatto di questi fertilizzanti polimerici sul rilascio di fosforo nei suoli trattati e sull'attività delle fosfatasi.

I nostri risultati hanno mostrato che sia la matrice polimerica sia il contenuto di fosforo hanno influenzato significativamente la stabilità termica e le proprietà di rigonfiamento dei fertilizzanti ottenuti. Anche il rilascio di fosforo e le attività enzimatiche dipendevano dalla matrice utilizzata, evidenziando così il ruolo rilevante dei polimeri di partenza nel determinare le proprietà fisico-chimiche e di rilascio del materiale sintetizzato.

Il nostro lavoro si propone di contribuire a evidenziare il potenziale dei fertilizzanti a base polimerica come strumenti sostenibili per aumentare la disponibilità di fosforo nei suoli e migliorarne l'efficienza d'uso, aumentando la loro efficienza d'uso rispetto alle pratiche di fertilizzazione convenzionali.



ADATTAMENTO DELL'EFFICIENZA D'USO DEL CARBONIO DA PARTE DEI MICROORGANISMI DEL SUOLO IN FUNZIONE DI VARIAZIONI DELLE CONDIZIONI REDOX

Ehlinger A¹, Canarini A², Richter A³, Said-Pullicino D¹

¹Dip. di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Università degli Studi di Torino

²Dip. di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Università degli Studi di Bologna

³Center for Microbial and Environmental Systems Science, University of Vienna

Parole chiave: acidi grassi fosfolipidici, isotopi stabili, crescita e respirazione microbica, suoli di risaia

La ripartizione del carbonio (C) tra crescita e respirazione, descritta dall'efficienza d'uso del C microbico (CUE), rappresenta una proprietà dei ecosistemi spesso correlata positivamente con il contenuto di C organico del suolo (SOC). Infatti, la CUE regola il bilancio tra le emissioni di C come CO₂ durante la respirazione e la stabilizzazione del C, poiché la necromassa microbica e altri sottoprodotti del metabolismo microbico possono contribuire alla formazione di SOC stabile. Tuttavia, l'effetto delle variazioni delle condizioni redox del suolo sull'CUE e sui componenti di crescita e respirazione microbica, non sono ancora del tutto chiari. Questo studio si propone pertanto di fornire nuove conoscenze su come, nel passaggio da condizioni ossiche ad anossiche, (i) i microrganismi regolino il proprio metabolismo al fine di adattarsi alla riduzione di energia liberata dai processi ossidativi in assenza di ossigeno, (ii) l'aggiunta di accettori o donatori di elettroni prontamente disponibili possa sostenere la respirazione e la crescita microbica, (iii) la risposta a livello di comunità possa essere influenzata dalla crescita di taxa microbici meglio adattati alle condizioni anossiche. Questo è stato fatto mediante l'incubazione di un suolo di risaia per 20 giorni durante il quale è stato indotto un cambiamento delle condizioni redox (da ossico ad anossico) in confronto con un controllo sempre ossico, in combinazione fattoriale con due tesi: con o senza aggiunta di nitrato (accettore di elettroni) e di paglia di riso (donatore di elettroni). A 4 e 17 giorni dal cambio delle condizioni redox, i tassi di respirazione e crescita microbica sono stati quantificati mediante la misura delle emissioni di CO₂ e CH₄, e dell'incorporazione di deuterio negli acidi grassi dei fosfolipidi (PLFA) dopo marcatura con D₂O. I risultati hanno evidenziato che l'instaurarsi di condizioni anossiche ha modificato la fisiologia microbica portando ad un aumento temporaneo nei tassi di respirazione (2,9 e 1,8 volte superiori rispetto alle condizioni ossiche dopo 4 e 17 giorni) per sostenere i tassi di crescita simili a quelli osservati in condizioni ossiche. Tuttavia, questi tassi sono sostenibili solo quando sia gli accettori sia i donatori di elettroni sono disponibili e non rappresentano un fattore limitante per il metabolismo microbico. L'aumento della respirazione, insieme alla CUE relativamente bassa e costante osservata in condizioni anossiche, sembra indicare un disaccoppiamento tra respirazione microbica e CUE come strategia di adattamento microbico all'utilizzo di accettori di elettroni alternativi e ai minori rendimenti energetici. L'adattamento microbico alle variazioni delle condizioni redox del suolo ha comportato tassi di crescita differenziali tra specifici taxa microbici. In particolare, i batteri Gram-negativi e i funghi hanno mostrato una riduzione dei tassi di crescita, mentre i batteri Gram-positivi hanno mantenuto una crescita più stabile. Questi risultati suggeriscono che, contrariamente a quanto comunemente considerato come la principale causa del più lento turnover del SOC, l'assenza di ossigeno possa in realtà stimolare la respirazione microbica, soprattutto in presenza di substrati labili, determinando temporaneamente perdite di C più rapide.

NICKEL AGROMINING POTENTIAL OF ODONTARRHENA CHALCIDICA IN ULTRAMAFIC SOILS OF NORTHWESTERN ITALY: EFFECTS OF SOIL PROPERTIES AND HUMIC AMENDMENTS

Schiavon M, Salinitro M, Ertani A, de O Sandin JM, Canale F, Padoan E

Parole chiave: *Odontarrhena chalcidica*, humic-like materials, mesocosm, nickel hyperaccumulation, NPK fertilization

Nickel (Ni) demand is rapidly increasing due to the expansion of electric vehicle batteries and high-performance alloys, while conventional mining is increasingly constrained by declining ore grades, high energy requirements, and environmental impacts.

Nickel agromining, based on the cultivation of Ni-hyperaccumulator plants on metal-rich soils, represents a promising low-impact strategy for producing “green” Ni while valorizing marginal lands. This study evaluated the potential of ultramafic soils from northwestern Italy for Ni agromining using the Ni hyperaccumulator *Odontarrhena chalcidica* and assessed whether humic-like materials derived from municipal organic wastes could enhance Ni mobilization and plant uptake.

Twenty-three soils were collected in different areas known for their content, in the parent material, of serpentinites and peridotites, and screened for total and DTPA-extractable Ni. Five soils with contrasting Ni availability and physicochemical properties were selected for detailed characterization and mesocosm experiments. Two humic-like materials, HC60 (hydrolyzed compost derived from urban anaerobic digestate and green waste) and HD60 (hydrolyzed anaerobic digestate from urban organic waste) were first tested for their ability to increase soil Ni mobility at different application rates. Because HD60 produced the most consistent increase in Ni availability, it was selected for plant trials, in which *O. chalcidica* was grown under three treatments: untreated control, HD60, and HD60 combined with NPK fertilization. Plant biomass, Ni accumulation, translocation factor, and bioconcentration factor were then evaluated. Total Ni concentrations varied widely among the sampled soils, confirming the strong geochemical heterogeneity of serpentine-derived substrates. However, total Ni was not a reliable predictor of bioavailable Ni, highlighting the major role of soil properties, particularly pH, mineral composition, and metal partitioning, in controlling Ni mobility. Humic-like materials increased DTPA-extractable Ni in a dose- and soil-dependent manner, with the strongest effects observed at 10 mg C L⁻¹. Plant responses were also strongly soil-dependent. HD60 generally improved root and shoot biomass, especially when combined with NPK fertilization, although the response was less evident in the most fertile soil. Leaf Ni concentrations were highest in plants grown on three out of five soils, whereas the lower concentrations were observed in the most fertile soil, likely related to a biomass dilution effect. HD60 generally promoted Ni accumulation and translocation to shoots, but the combined HD60 + NPK treatment produced contrasting responses depending on soil fertility and Ni availability. Bioconcentration factors ranged from 0.66 to 4.36, confirming the strong phytoextraction capacity of *O. chalcidica* and identifying specific soil-amendment combinations as particularly promising for Ni recovery.

Overall, this study shows that ultramafic soils from northwestern Italy may be suitable for Ni agromining, but their effectiveness depends on careful soil selection and optimized amendment-fertilization strategies.

This work was co-supported by Fondazione CRT (Grant n.2025.1738-Fitoestrazione di nichel e cobalto da suoli serpentinitici piemontesi tramite l'impiego di piante iperaccumulatrici) and by Cogne Acciai speciali Spa.



DAL PROFILO DEL SUOLO AL CALICE: GESTIONE IRRIGUA DATA-DRIVEN PER UNA VITICOLTURA SOSTENIBILE

Sofia ^{G1}, Locatelli S¹, Dal Cero S², Zaccone C²

¹ Centro di sperimentazione per l'innovazione irrigua – Ce.Sp.I.I. – Consorzio di Bonifica di Il Grado Lessinio, Euganeo, Berico

² Dipartimento di Biotecnologie, Università degli Studi di Verona

Parole chiave: Suolo, Vigneto, Clima, Irrigazione, Qualità

La crescente variabilità climatica sta modificando profondamente le condizioni di disponibilità idrica nei vigneti, con effetti sulla fisiologia della vite e sulla qualità delle produzioni enologiche. In questo contesto, lo sviluppo di strumenti operativi per la gestione razionale dell'irrigazione rappresenta una priorità sia per le aziende vitivinicole, sia per i soggetti preposti alla pianificazione e alla gestione della risorsa idrica.

Le attività presentate in questo contributo nascono da una sinergia che coinvolge aziende agricole, consorzi di bonifica, università e operatori della filiera enologica, con l'obiettivo di produrre soluzioni basate su dati reali, trasferibili e scalabili, capaci di rafforzare la competitività e la resilienza del comparto vitivinicolo nel lungo termine.

Presso le aziende coinvolte sono state installate stazioni meteorologiche e sonde di umidità del suolo per il monitoraggio in tempo reale delle condizioni climatiche e idriche. Contemporaneamente, sono state svolte campagne di rilievo per la descrizione dei profili di suolo (fino a 1 m di profondità) e condotti campionamenti a diverse profondità coincidenti con la profondità di rilievo della sonda (i.e., ogni 10 cm, fino a 60 cm). I campioni prelevati sono stati successivamente analizzati per determinare densità, tessitura, umidità, contenuto di carbonio organico e azoto totale, pH e conducibilità elettrica. Campioni indisturbati sono stati inoltre prelevati per determinare la curva di ritenzione idrica e i parametri di disponibilità idrica della pianta.

Ciascun vigneto è stato suddiviso in due parcelle sperimentali: una gestita secondo le pratiche irrigue tradizionali e una irrigata automaticamente sulla base di indicazioni derivate da un modello previsionale dei fabbisogni, tarato sui dati analitici ottenuti in laboratorio, che opera in modalità nowcast (sulla base dei sensori di campo e degli ultimi dati meteorologici acquisiti in tempo reale) e in modalità previsionale a 3-10-45 giorni. Al termine della stagione vegetativa, le uve provenienti dalle due parcelle saranno sottoposte a microvinificazione sperimentale, per valutare comparativamente l'effetto delle diverse strategie irrigue sulla qualità del vino ottenuto.

I risultati mirano a dimostrare come una gestione irrigua basata su un'approfondita conoscenza delle relazioni tra suolo e pianta, guidata da rilievi in campo, dati di laboratorio e modelli previsionali, possa consentire un'ottimizzazione dei consumi idrici, garantendo produzioni enologiche di qualità.

Questa ricerca è realizzata nell'ambito del progetto "Grape - Gestione Razionale dell'Acqua e irrigazione di Precisione per l'Eccellenza vitivinicola" affidato al Centro di Sperimentazione per l'Innovazione Irrigua, del Consorzio di Bonifica di Il Grado Lessinio Euganeo Berico, da Cantina Sociale di Soave (CADIS), Cantina Collis (CollisWine), e Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta.



PY-GC/MS AND NECROMASS: AN EMERGING COMBINED ANALYTICAL TOOL FOR SOIL ORGANIC MATTER ASSESSMENT IN CHESTNUT SOIL-PLANT SYSTEM

Stotani F¹, Marabottini R¹, Marinari S¹

¹ *Department for Innovation in Biological, Agri-Food and Forest Systems (DIBAF), University of Tuscia*

Parole chiave: Forest soils; Humification process; Carbon dynamic; Soil monitoring

Gaining deeper insight into the processes governing the formation and stabilization of soil organic matter (SOM) is essential for enhancing both the assessment and the sustainable management of the soil-plant system. In fact, SOM is a central component in controlling nutrient cycling, shaping soil properties, exerting a direct influence on plant and overall ecosystem functioning. Within this framework, advanced analytical approaches focused on the molecular characterization of SOM enable a detailed investigation of soil processes.

Pyrolysis coupled with gas chromatography and mass spectrometry (Py-GC/MS) together with microbial necromass analysis can be used as a robust approach for investigating SOM at the molecular scale, allowing the detection of key compounds associated with SOM stabilization pathways, as well as providing insights into SOM sources and turnover dynamics. In particular, Py-GC/MS enables the identification of molecular compounds related to humification processes and SOM stabilization mechanisms, while microbial necromass carbon (MNC), quantified through amino sugar biomarkers, provides insight into the contribution of microbial-derived carbon to stable SOM pools.

In this work, these combined tools were employed to analyse SOM from chestnut forest soils developed on volcanic parent material across four sites in central Italy, with the aim of determining the main molecular components contributing to organic carbon stabilization and their implications for soil functioning. The molecular results were interpreted in relation to soil physicochemical and biochemical parameters obtained from samples collected at two depths (0–30 cm and 30+ cm). The results highlighted variation in both the quantity and quality of SOM, reflecting differences in the soil-plant system driven by the pedo-environmental conditions of the four study areas.

The findings support the identification of organic molecular proxies that can be used as indicators of soil carbon dynamics and resilience. Such indicators provide a basis for integrated soil management, facilitating better decisions on soil-plant relationships, carbon storage, and forest sustainability.

DAL LABORATORIO AL CAMPO: IMPIEGO DI ANALIZZATORI ELEMENTARI PORTATILI XRF E LIBS PER LA DETERMINAZIONE DI MICRO E MACRO NUTRIENTI IN MATRICI VEGETALI

Marcolongo DMS¹, Porfido C¹, Allegretta I², Senesi GS³, De Pascale O³, Schettini E¹,
Nigro F¹, Spagnuolo M¹, Terzano R¹

¹ *Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti, Università degli Studi di Bari*

² *Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali, Università del Salento*

³ *CNR-Istituto per la Scienza e Tecnologia dei Plasmi (ISTP), Sede di Bari*

Parole chiave: omeostasi, analisi fogliare, stress ambientali, analisi speditive

Gli squilibri nell'omeostasi di micro e macronutrienti nelle foglie delle piante sono spesso dovuti a stress ambientali, sia biotici che abiotici. Inoltre, è stato osservato che, anche prima della comparsa di sintomi visivamente rilevabili, alterazioni nella composizione elementare delle foglie possono essere indicative di infezioni o di condizioni nutrizionali e fisiologiche compromesse. Pertanto, lo studio della ionomica fogliare non ha solo un potenziale diagnostico, ma anche predittivo.

Negli ultimi anni, lo sviluppo di analizzatori elementari portatili sempre più performanti e compatti, tra cui spettrometri di fluorescenza di raggi X (XRF) e di emissione atomica indotta da laser (LIBS), rappresenta un'opportunità per questo campo di ricerca. Infatti, entrambe le tecniche analitiche combinano capacità multi-elementare con una preparazione del campione minima o nulla, analisi rapide e, soprattutto, costi relativamente contenuti di acquisto, gestione e manutenzione. Ciò rende queste tecniche particolarmente interessanti per l'analisi diretta di diverse tipologie di materiali, potenzialmente anche applicabili in situ. Il loro utilizzo nell'analisi quantitativa è però indirizzato soprattutto a campioni di interesse geologico (rocce, minerali, suoli), industriale (leghe, metalli, oli) e nel campo dei beni culturali. Nel caso di matrici vegetali, invece, il loro utilizzo è rimasto principalmente di tipo qualitativo o, nel migliore dei casi, semiquantitativo.

In questo studio sono state valutate le prestazioni di due strumenti portatili, uno spettrometro ED-XRF di nuova generazione e un dispositivo LIBS portatile per l'analisi di micro e macronutrienti in foglie di olivo, con l'obiettivo finale di sviluppare un protocollo in grado di fornire dati quantitativi utili per una rapida individuazione di squilibri nell'omeostasi di alcuni elementi della nutrizione collegati all'infezione da *Xylella fastidiosa*. A tale scopo sia l'ED-XRF che il LIBS sono stati calibrati utilizzando diversi materiali vegetali di riferimento certificati. La preparazione del campione è stata ottimizzata al fine di simulare l'analisi di foglie intere, ovvero preparando pastiche discoidali di materiale vegetale essiccato e polverizzato (spessore 1 mm). Le condizioni di acquisizione sono state ottimizzate in termini di eccitazione (potenza, filtri, durata) per l'XRF e di punti analisi, numero di accumulazioni spettrali e frequenza degli impulsi laser per il LIBS. Il metodo è stato poi testato analizzando diversi campioni di foglie di olivo e i risultati sono stati validati mediante analisi con un metodo di riferimento (ICP-OES). Le due tecniche analitiche dirette sono state confrontate in base ai limiti di rilevabilità (LOD) e alla percentuale di recupero rispetto ai valori certificati (per gli standard) e ai dati ICP-OES (per le foglie d'olivo). L'XRF mostra LOD più elevati rispetto all'ICP-OES e una buona accuratezza per tutti gli elementi analizzati, con una tendenza generale alla sovrastima delle concentrazioni. L'analisi LIBS inoltre consente di ottenere informazioni sul contenuto di elementi "leggeri" come N e B, non rilevabili con la XRF.

Questo studio mette in evidenza quali sono i vantaggi e gli svantaggi dell'analisi elementare speditiva mediante le tecnologie portatili XRF e LIBS rispetto alle metodiche di analisi tradizionali. Inoltre, pone le basi per applicare tali tecnologie all'analisi fogliare, un campo ancora poco esplorato e per cui un'applicazione quantitativa è complicata da complessi effetti matrice.



INTEGRAZIONE DI DATI SPERIMENTALI E GEOSPAZIALI PER VALUTARE LA RESILIENZA DI ALCUNE COLTURE IN SCENARI CLIMATICI FUTURI

Abdelkefi F¹, Sofia G², Galluzzi G¹, Giannetta B³, Zaccone C²

¹ Dipartimento di Biotecnologie, Università degli Studi di Verona

² Centro di sperimentazione per l'innovazione irrigua – Ce.Sp.I.I. – Consorzio di Bonifica di Il Grado
LEB, Verona

³ Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimenti, Risorse Naturali e Ingegneria, Università di Foggia

Parole chiave: riscaldamento globale, modelli, soia, barbabietola, rese

Il cambiamento climatico rappresenta una delle principali sfide per la produttività agricola a livello globale. Questo studio ha valutato gli effetti dell'incremento di temperatura ($\sim +2$ °C; SSP1-2.6 pathway) sulle rese della barbabietola da zucchero e della soia in condizioni di campo. L'esperimento è stato condotto per due stagioni colturali (2023–2024) a Belfiore (Veneto), e il warming è stato simulato mediante *open-top chambers*.

I risultati hanno evidenziato che il riscaldamento sperimentale ha ridotto significativamente la resa produttiva della barbabietola in entrambi gli anni, con riduzioni medie del 70%. Tuttavia, la concentrazione di saccarosio è rimasta relativamente stabile tra i trattamenti, indicando che l'aumento della temperatura ha influenzato principalmente l'accumulo di biomassa. Anche la resa produttiva della soia è risultata fortemente ridotta in condizioni di riscaldamento, accompagnata da una diminuzione della conduttanza stomatica, suggerendo un peggioramento delle prestazioni fisiologiche in presenza di temperature elevate.

Per valutare i potenziali impatti a lungo termine, è stato sviluppato un workflow metodologico integrato che collega 6 distinti dataset. In particolare, l'integrazione dei dati sperimentali con il modello AquaCrop ha dimostrato una solida capacità predittiva, senza differenze significative tra le rese osservate e quelle calibrate per colture e trattamenti. Ciò conferma l'applicabilità del framework modellistico per estendere i risultati sperimentali locali a domini spaziali più ampi. A scala continentale, le simulazioni di scenario hanno evidenziato un marcato e sistematico declino della produttività colturale nelle future condizioni climatiche. Sia la barbabietola sia la soia hanno mostrato un forte spostamento verso sinistra delle distribuzioni di resa, con valori mediani futuri inferiori ai percentili più bassi delle serie storiche. Questo indica una transizione sostanziale da una variabilità produttiva episodica a una riduzione strutturale e persistente della produttività.

In conclusione, le simulazioni modellistiche indicano che l'aumento delle temperature potrebbe determinare entro il 2050 una significativa riduzione della produttività di entrambe le colture sia a scala nazionale sia continentale, con rilevanti perdite economiche. Nel complesso, i risultati evidenziano la vulnerabilità di queste colture all'aumento delle temperature e sottolineano la necessità di strategie di adattamento (e.g., cultivar tolleranti alle maggiori temperature, miglioramento della gestione delle risorse idriche, ottimizzazione dei sistemi colturali, ripristino della sostanza organica del suolo) al fine di aumentarne la resilienza alle future condizioni climatiche.



N. BENTHAMIANA LEAVES AS BIOFACTORIES FOR MUGINEIC ACIDS PRODUCTION – A SUSTAINABLE APPROACH TO CORRECT IRON DEFICIENCY IN CALCAREOUS SOILS

Rodegher G¹, Peli M¹, Maver M¹, Sorio D², Avesani L¹, Varanini Z¹, Zamboni A¹

¹ *Università degli Studi di Verona, Dipartimento di Biotecnologie*

² *Centro Piattaforme Tecnologiche, Policlinico G. B. Rossi*

Parole chiave: phytosiderophores, iron deficiency, sustainable agriculture, biotechnologies

Iron (Fe) deficiency represents a major constraint on crop productivity, particularly in calcareous soils, which account for over 30% of agricultural land worldwide [1]. In these soils, high pH drastically reduces Fe bioavailability, making it largely inaccessible to plants [2]. While synthetic Fe(III)-chelates such as Fe(III)-EDDHA, developed in the 1950s, have proven to be effective in overcoming this limitation, their widespread use raises significant environmental impacts, calling for the development of greener and more sustainable strategies [3].

In search of new, more sustainable methods for addressing Fe deficiency, we propose the production of plant-based extracts enriched with mugineic acids (MAs), a class of molecules with high Fe-chelating capacity that are released by Fe-deficient graminaceous plants. Notably, Fe coordinated to these molecules can also be taken up and used by dicotyledonous and other non-gramineous plants as a source of bioavailable Fe.

To this end, *N. benthamiana* plants were transiently engineered via *A. tumefaciens*-mediated infiltration to express ZmNAAT1 and ZmDMAS1, two maize genes encoding key enzymes in the phytosiderophores pathway. The resulting MAs-enriched extracts were later combined with an inorganic form of Fe and applied to Fe-deficient cucumber seedlings cultivated in a highly alkaline buffered nutrient solution, mimicking the chemical conditions of calcareous soils. Then, different morpho-physiological parameters related to the plants' response mechanisms to Fe availability were measured, monitoring the regreening capacity of the extracts in comparison to synthetic Fe chelates.

Overall, seedlings treated with MAs-enriched extracts exhibited significant regreening and biomass recovery, with outcomes comparable to those obtained with Fe(III)-EDDHA under the same challenging conditions. These results demonstrate the feasibility of exploiting transient plant expression systems as scalable biofactories for phytosiderophore production, offering a promising and environmentally sustainable strategy to cope with Fe chlorosis in agriculture.

[1] Chen, Y. & Barak, P., Iron nutrition of plants in calcareous soils, *Advances in Agronomy*, vol. 35, pp. 217–240, 1982, doi: 10.1016/S0065-2113(08)60326-0.

[2] Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., & Zhao, F., *Function of Nutrients: Micronutrients*, in *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition*, 2011, pp. 191–248. doi: 10.1016/B978-0-12-384905-2.00007-8.

[3] Rombolà, A. D. & Tagliavini, M., Iron Nutrition of Fruit Tree Crops., in *Iron Nutrition in Plants and Rhizospheric Microorganisms*, L. L. Barton e J. Abadia, 2006, pp. 61–83. https://doi.org/10.1007/1-4020-4743-6_3

L'ORGANIZZAZIONE

COMITATO ORGANIZZATORE LOCALE

Claudio Marzadori e Martina Mazzon (coordinatori), Sonia Blasioli, Ilaria Braschi, Enrico Buscaroli, Valeria Caponetti, Luciano Cavani, Claudio Ciavatta, Mauro De Feudis, Marcello Di Bonito, Gloria Falsone, Ornella Francioso, Paola Gioacchini, Marco Grigatti, Federico Mattioli, Livia Vittori Antisari

COMITATO SCIENTIFICO

Gloria Falsone e Ilaria Braschi (coordinatrici), Eleonora Bonifacio, Luciano Cavani, Mauro De Feudis, Luca Espen, Lucia Guidi, Giovanni Mastrolonardo, Simone Priori, Claudio Zaccone

COMITATO ORGANIZZATORE ESCURSIONE SCIENTIFICA

Livia Vittori Antisari (coordinatrice), Alberto Agnelli, Alessandro Buscaroli, Chiara Cassinari, Giuseppe Corti, Stefania Cocco, Mauro De Feudis, Gloria Falsone, Paolo Manfredi, Sara Marinari, Roberto Scozzoli, Veneramaria Urso, William Trenti, Margherita Nardelli, Andrea Salvucci, Federico Totani, Gilmo Vianello

