

**F. ZINNI, M. IANNETTA**

Dipartimento Sostenibilità, Circolarità e Adattamento al  
Cambiamento Climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali  
Divisione Sistemi Agroalimentari Sostenibili  
Centro Ricerche Casaccia

## **Ciclo di seminari interni della Divisione Sistemi Agroalimentari Sostenibili Gennaio – Maggio 2025**

RT/2025/20/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,  
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

F. ZINNI, M. IANNETTA

Dipartimento Sostenibilità, Circolarità e Adattamento al  
Cambiamento Climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali  
Divisione Sistemi Agroalimentari Sostenibili  
Centro Ricerche Casaccia

# Ciclo di seminari interni della Divisione Sistemi Agroalimentari Sostenibili Gennaio – Maggio 2025

RT/2025/20/ENEA

**ENEA**

AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,  
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

I rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina [www.enea.it](http://www.enea.it)

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

## **Ciclo di seminari interni della Divisione Sistemi Agroalimentari Sostenibili Gennaio – Maggio 2025**

F. Zinni, M. Iannetta

### **Riassunto**

Da gennaio a maggio 2025 la Divisione Sistemi Agroalimentari Sostenibili dell'ENEA, diretta dal Dott. Massimo Iannetta, ha realizzato un ciclo di seminari interni, che si sono svolti presso la sala Mimose del Centro Ricerche Casaccia in Roma con la possibilità di collegamento da remoto.

I diciassette seminari, ciascuno della durata di un'ora e mezza, hanno riguardato la sostenibilità dei sistemi agroalimentari e sono stati tenuti da Ricercatori e Ricercatrici della Divisione con la supervisione di Mentor, che hanno introdotto il Relatore o la Relatrice e l'argomento del seminario.

Ogni Ricercatore e Ricercatrice ha illustrato il proprio tema di ricerca con una presentazione, al termine della quale sono seguite domande ed osservazioni da parte del pubblico in sala e dei Colleghi e delle Colleghe degli altri Centri ENEA in collegamento da remoto.

La partecipazione ai seminari ha coinvolto non soltanto il personale della Divisione Sistemi Agroalimentari Sostenibili e dei suoi tre Laboratori (Laboratorio Agricoltura 4.0, Laboratorio Bioeconomia Circolare Rigenerativa e Laboratorio Innovazione delle Filiere Agroalimentari) ma anche Colleghi e Colleghe di altre Divisioni e Laboratori del Dipartimento Sostenibilità, Circolarità e Adattamento al Cambiamento Climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali dell'ENEA.

L'obiettivo, infatti, dell'iniziativa è stato la condivisione di linee ed attività di ricerca, per incrementare le collaborazioni interne ed esterne su temi di interesse comune capitalizzando così le conoscenze e i risultati ottenuti.

Gli abstract in italiano e in inglese dei seminari, scritti dai Relatori, Relatrici e Mentor con l'indicazione dei propri riferimenti, sono stati raccolti in base alla data di realizzazione dei seminari nel presente rapporto tecnico, disponibile anche sul sito web della Divisione Sistemi Agroalimentari Sostenibili al seguente indirizzo: [agrifood.sostenibilita.enea.it](http://agrifood.sostenibilita.enea.it)

**Parole chiave:** Agricoltura, Agroalimentare, Agroindustria, Ambiente, Bioeconomia, Cambiamento climatico, Entomologia, Filiere agroalimentari, Innovazione, Microbiologia, Qualità, tracciabilità e sicurezza alimentare, Salute, Sostenibilità, Sostenibilità agroalimentare, Spazio.

### **Abstract**

*From January to May 2025 ENEA's Sustainable Agri-food Systems Division, directed by Dr. Massimo Iannetta, organized a series of internal seminars, held in the Mimose Room of the Casaccia Research Center in Rome with the option of remote access.*

*The seventeen seminars, each lasting an hour and a half, focused on the sustainability of agri-food systems and were held by Researchers from the Division under the supervision of Mentors, who introduced the Speaker and the topic of the seminar.*

*Each Researcher presented their research topic, followed by questions and comments from the audience and Colleagues from other ENEA's Centers connected remotely.*

*Participation in the seminars involved not only staff from the Sustainable Agri-food Systems Division and its three Laboratories (Agriculture 4.0 Laboratory, Regenerative Circular Bioeconomy Laboratory and Agri-food Supply Chains Innovation Laboratory) but also Colleagues from other Divisions and Laboratories of the ENEA Department for Sustainability, Circularity and Adaptation to Climate Change of Production and Territorial Systems.*

*The initiative's goal, in fact, was to share research lines and activities, to increase internal and external collaboration on topics of common interest, thus capitalizing on the knowledge and results achieved. The abstracts of the seminars in Italian and English, written by the Speakers and Mentors with their contact information, have been collected, according to the date of the seminars, in this technical report, which is also available on the Sustainable Agri-Food Systems Division's website at the following address: [agrifood.sostenibilita.enea.it/en](http://agrifood.sostenibilita.enea.it/en).*

**Keywords:** Agriculture, Agri-food, Agri-food supply chains, Agri-food sustainability, Agri-industry, Bioeconomy, Climate change, Environment, Entomology, Food quality, traceability, and safety, Innovation, Health, Microbiology, Space, Sustainability.

---

## Indice dei seminari e dei contributi / Index of the seminars and contributions

|                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| "Colture cellulari di tè ( <i>Camellia sinensis</i> ): un approccio innovativo e potenzialmente sostenibile alla produzione della seconda bevanda più consumata al mondo" .....                                                     | 7  |
| "Tea cell cultures ( <i>Camellia sinensis</i> ): an innovative and potentially sustainable approach to the production of the world's second most consumed beverage" .....                                                           | 8  |
| "Valorizzazione di sottoprodotti agroindustriali per l'ottenimento di biopolimeri e molecole bioattive utili nel settore alimentare e nutraceutico" .....                                                                           | 9  |
| "Valuation of agro-industrial by-products for the production of biopolymers and bioactive molecules useful in the food and nutraceutical sectors" .....                                                                             | 10 |
| "L'approccio One Health negli agroecosistemi e lo studio di contaminanti emergenti (e quindi non regolamentati) nella filiera agroalimentare con l'obiettivo di individuare possibili linee guida da fornire ai policymakers" ..... | 11 |
| "The One Health approach in agroecosystems and the study of emerging (and therefore unregulated) contaminants in the agri-food supply chain with the aim of identifying possible guidelines to provide to policymakers" .....       | 12 |
| "Dagli scarti all'innovazione per i biomateriali e la bioeconomia circolare" .....                                                                                                                                                  | 13 |
| "From waste to innovation for biomaterials and the circular bioeconomy" .....                                                                                                                                                       | 14 |
| "Il microbioma del suolo e delle piante: caratterizzazione e applicazioni per un'agricoltura sostenibile" .....                                                                                                                     | 15 |
| "The soil and plant microbiome: characterization and applications for sustainable agriculture" .....                                                                                                                                | 16 |
| "Sistema di coltivazione automatizzato per esposizione a radiazioni neutroniche croniche" .....                                                                                                                                     | 17 |
| "Automated cultivation system for chronic neutron radiation exposure" .....                                                                                                                                                         | 18 |
| "Cambiamenti climatici e sistema agro-alimentare: sfide e opportunità per la Ricerca" .....                                                                                                                                         | 19 |
| "Climate change and the agri-food system: challenges and opportunities for Research" .....                                                                                                                                          | 20 |
| "Salute del suolo e benessere umano: il ruolo dei microbiomi" .....                                                                                                                                                                 | 21 |
| "Soil health and human well-being: the role of microbiomes" .....                                                                                                                                                                   | 22 |
| "Sicurezza, qualità e sostenibilità delle filiere agroalimentari" .....                                                                                                                                                             | 23 |
| "Safety, quality and sustainability of agri-food supply chains" .....                                                                                                                                                               | 24 |
| "Applicazioni dell'analisi dell'espressione genica alle attività del laboratorio Agri4.0 per la verifica di potenziali adulterazioni nello zafferano" .....                                                                         | 25 |
| "Applications of gene expression analysis to the Agri4.0 laboratory activities for the verification of potential adulterations in saffron" .....                                                                                    | 26 |
| "Valorizzazione degli scarti agroalimentari mediante microrganismi per la produzione di metaboliti secondari e molecole ad alto valore aggiunto" .....                                                                              | 27 |
| "Valorization of agro-industrial waste through microorganisms for the production of secondary metabolites and high-value molecules" .....                                                                                           | 28 |
| "3D Printing e applicazioni per l'agroalimentare" .....                                                                                                                                                                             | 29 |
| "3D Printing and applications for the agri-food industry" .....                                                                                                                                                                     | 30 |

---

|                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| "Le microalghe come potenziale fonte di prodotti di elevato valore" .....                                                                                             | 31 |
| <i>"Microalgae as a potential source of high-value products"</i> .....                                                                                                | 32 |
| "Soluzioni bio-based per la conservazione degli alimenti, il controllo dei biofilm e la crop protection" .....                                                        | 33 |
| <i>"Bio-based solutions for food preservation, biofilm control and crop protection"</i> .....                                                                         | 34 |
| "Implementazione della sostenibilità e della scalabilità dei metodi basati su <i>Wolbachia</i> per il controllo di parassiti e vettori" .....                         | 35 |
| <i>"Implementing sustainability and scalability of Wolbachia-based methods for pest and vector control"</i> .....                                                     | 36 |
| "La fungicoltura e le potenzialità per massimizzare la circolarità e trend di sviluppo esistenti per la produzione e la commercializzazione" .....                    | 37 |
| <i>"Fungiculture and the potential to maximise existing circularity and development trends for production and marketing"</i> .....                                    | 38 |
| "Implementazione della collezione microbica ENEA: identificazione e caratterizzazione di isolati batterici e screening del potenziale biotecnologico" .....           | 39 |
| <i>"Implementation of the ENEA microbial collection: identification and characterization of bacterial isolates and screening of biotechnological potential"</i> ..... | 40 |
| Affiliazioni Relatori, Relatrici e Mentor - <i>Affiliation of Speakers and Mentors</i> .....                                                                          | 41 |

**“Colture cellulari di tè (*Camellia sinensis*): un approccio innovativo e potenzialmente sostenibile alla produzione della seconda bevanda più consumata al mondo”**

Relatrice: Valentina Mastrobuono, v.mastrobuono96@gmail.com

Mentor: Silvia Massa, silvia.massa@enea.it

**Abstract**

Le crescenti sfide legate ai cambiamenti climatici, alla scarsità di terre coltivabili e all'aumento della domanda alimentare, rendono necessario lo sviluppo di soluzioni alternative per affiancare la produzione alimentare convenzionale.

Le colture cellulari vegetali rappresentano una strategia promettente per ottenere biomassa vegetale controllata, di qualità, standardizzata e indipendente dalle condizioni ambientali e con potenzialità alimentari.

La pianta del tè (*Camellia sinensis*), seconda bevanda più consumata al mondo, è particolarmente sensibile ai cambiamenti climatici. Temperature elevate, stress idrico ed elevati livelli di CO<sub>2</sub> alterano la concentrazione di metaboliti chiave come catechine e teanina, fondamentali per le proprietà organolettiche-sensoriali e benefiche del tè. Attualmente, non esistono studi sull'uso delle colture cellulari di tè per scopi alimentari, motivo per cui proponiamo di esplorare questo nuovo approccio.

Il nostro studio propone l'avvio di colture cellulari (callo e sospensione) da espianti selezionati della varietà Yabukita, da cui si ottiene tradizionalmente il tè verde e nota per il suo elevato contenuto di metaboliti bioattivi. Per modulare la biosintesi dei metaboliti secondari e l'accumulo di biomassa, abbiamo valutato l'aggiunta di precursori metabolici, l'ottimizzazione delle concentrazioni in macro e microelementi e fitormoni nel mezzo di coltura, oltre ad elicitazioni fisiche attraverso la somministrazione di specifiche ricette di luce LED.

La biomassa ottenuta sarà poi sottoposta a procedure che simulano la tradizionale produzione del tè verde per valutare il suo potenziale applicativo nell'industria alimentare. Questa proposta è un primo passo verso un'alternativa sostenibile per la produzione di tè, al fine di tutelare e valorizzare produzioni agronomiche di valore e tradizioni come queste.

**"Tea cell cultures (*Camellia sinensis*): an innovative and potentially sustainable approach to the production of the world's second most consumed beverage"**

Speaker: Valentina Mastrobuono, v.mastrobuono96@gmail.com

Mentor: Silvia Massa, silvia.massa@enea.it

**Abstract**

*Growing challenges related to climate change, scarcity of arable land, and rising food demand necessitate the development of alternative solutions to complement conventional food production.*

*Plant cell cultures represent a promising strategy for obtaining controlled, high-quality, standardized plant biomass independent from environmental conditions, with potential for human consumption.*

*The tea plant (*Camellia sinensis*), the world's second most consumed beverage, is particularly sensitive to climate change. High temperatures, water stress, and elevated CO<sub>2</sub> levels may alter the concentration of key metabolites such as catechins and theanine, which are essential for tea's sensory and health-promoting properties. Currently, there are no studies on the use of tea cell cultures for food purposes, which is why we propose exploring this novel approach.*

*Our study involves establishing cell cultures (callus and suspension) from selected explants of the Yabukita variety, traditionally used to produce green tea and known for its high content of bioactive metabolites. To modulate the biosynthesis of secondary metabolites and biomass accumulation, we evaluated the addition of metabolic precursors, optimization of macro- and micronutrient and phytohormone concentrations in the culture medium, and physical elicitations through the administration of specific LED light recipes.*

*The resulting biomass will then be subjected to procedures that mimic traditional green tea production to evaluate its potential applications in the food industry. This proposal is a first step towards a sustainable alternative for tea production, in order to protect and enhance traditions and valuable productions like this one.*

## **“Valorizzazione di sottoprodotti agroindustriali per l'ottenimento di biopolimeri e molecole bioattive utili nel settore alimentare e nutraceutico”**

Relatrice: Alessandra Verardi, [alessandra.verardi@enea.it](mailto:alessandra.verardi@enea.it)

Mentor: Paola Sangiorgio, [paola.sangiorgio@enea.it](mailto:paola.sangiorgio@enea.it)

### **Abstract**

La crescente attenzione verso la bioeconomia circolare promuove la valorizzazione dei sottoprodotti agroindustriali come risorse strategiche per l'ottenimento di biopolimeri e molecole bioattive. In questo contesto la chitina e il suo derivato principale, il chitosano, rappresentano materiali ad alto valore aggiunto con ampie applicazioni nei settori alimentare, nutraceutico, agricolo, ambientale e farmaceutico.

Il seminario descrive le attività di ricerca condotte presso il Laboratorio Bioeconomia Circolare Rigenerativa dell'ENEA, incentrate sull'estrazione di chitina da crostacei e insetti mediante approcci convenzionali e innovativi, quali l'uso di solventi green (NADES) ed enzimi proteolitici. Particolare attenzione è rivolta alla trasformazione della chitina in chitosano e al suo impiego come sistema di delivery per composti bioattivi, mediante tecniche di spray drying.

Sono illustrati esempi di filiere a cascata che integrano la valorizzazione di scarti di origine animale (granchio blu, insetti) con sottoprodotti vegetali (es. tegumenti e acque di pelatura delle mandorle), promuovendo un modello di simbiosi industriale e sostenibilità.

---

17<sup>th</sup> January 2025

**"Valuation of agro-industrial by-products for the production of biopolymers and bioactive molecules useful in the food and nutraceutical sectors"**

Speaker: Alessandra Verardi, [alessandra.verardi@enea.it](mailto:alessandra.verardi@enea.it)

Mentor: Paola Sangiorgio, [paola.sangiorgio@enea.it](mailto:paola.sangiorgio@enea.it)

**Abstract**

*The growing focus on the circular bioeconomy promotes the valorization of agro-industrial by-products as strategic resources for the production of biopolymers and bioactive molecules. In this context chitin and its main derivative, chitosan, represent high-value materials with broad applications in the food, nutraceutical, agricultural, environmental and pharmaceutical sectors.*

*The seminar describes the research conducted at the ENEA Regenerative Circular Bioeconomy Laboratory, focusing on the extraction of chitin from crustaceans and insects using conventional and innovative approaches, such as the use of green solvents (NADES) and proteolytic enzymes. Particular attention is paid to the conversion of chitin into chitosan and its application as a delivery system for bioactive compounds, using spray drying techniques.*

*Examples of cascading supply chains that integrate the valorization of animal waste (blue crabs and insects) with plant by-products (e.g. almond husks and peeling water) are illustrated, promoting a model of industrial symbiosis and sustainability.*

**“L’approccio One Health negli agroecosistemi e lo studio di contaminanti emergenti (e quindi non regolamentati) nella filiera agroalimentare con l’obiettivo di individuare possibili linee guida da fornire ai policymakers”**

Relatore: Andrea Visca, andrea.visca@enea.it

Mentor: Nicola Colonna, nicola.colonna@enea.it

**Abstract**

Il seminario analizza i contaminanti emergenti (EC) negli agroecosistemi e il loro impatto sulla salute umana, animale e ambientale secondo l’approccio One Health.

Dopo aver definito l’agroecosistema e la sua evoluzione dagli ecosistemi naturali ai sistemi agricoli intensivi, viene evidenziata la perdita di biodiversità e l’aumento dell’impatto antropico. Gli EC comprendono sostanze chimiche e agenti biologici non ancora regolamentati, derivanti da reflui urbani, industriali e agricoli, nonché dall’uso di fertilizzanti, pesticidi, antibiotici e plastiche. La loro criticità risiede nella tossicità a basse concentrazioni, nella pseudo-persistenza ambientale e nella mancanza di standard di monitoraggio. Tre casi studio approfondiscono antibiotici e geni della resistenza (ARG), microplastiche (MP) e PFAS. Gli ARG si diffondono tramite ammendanti organici contenenti residui farmaceutici, favorendo la selezione di batteri resistenti nel suolo. Le MP di origine primaria o secondaria si accumulano nei terreni agricoli e possono entrare nella catena alimentare. I PFAS, noti come “forever chemicals”, sono caratterizzati da elevata stabilità e bioaccumulabilità.

Si evidenziano le lacune normative europee e nazionali e si propone l’approccio One Health come modello per integrare salute ambientale, animale e umana. In ottica di economia circolare il progetto europeo [DeliSoil](#) valorizza sottoprodotti alimentari in ammendanti sostenibili.

Infine si prospetta una ricerca su agrivoltaico e nuovi EC, inclusi nanomateriali e rifiuti elettronici con riflessioni etiche e politiche in linea con le strategie “Farm to Fork” e “Soil Deal for Europe”.

**"The One Health approach in agroecosystems and the study of emerging (and therefore unregulated) contaminants in the agri-food supply chain with the aim of identifying possible guidelines to provide to policymakers"**

Speaker: Andrea Visca, [andrea.visca@enea.it](mailto:andrea.visca@enea.it)

Mentor: Nicola Colonna, [nicola.colonna@enea.it](mailto:nicola.colonna@enea.it)

**Abstract**

The seminar analyzes emerging contaminants (ECs) in agroecosystems and their impact on human, animal, and environmental health according to the One Health approach.

After defining the agroecosystem and its evolution from natural ecosystems to intensive agricultural systems, the seminar highlights the loss of biodiversity and the increased human impact. ECs include chemicals and biological agents that are not yet regulated, deriving from urban, industrial, and agricultural wastewater, as well as from the use of fertilizers, pesticides, antibiotics, and plastics. Their criticality lies in their toxicity at low concentrations, their environmental pseudo-persistence, and the lack of monitoring standards. Three case studies explore antibiotics and resistance genes (ARGs), microplastics (MPs), and PFAS. ARGs spread through organic amendments containing pharmaceutical residues, favoring the selection of resistant bacteria in soil. MPs of primary or secondary origin accumulate in agricultural soils and can enter the food chain. PFAS, known as "forever chemicals," are characterized by high stability and bioaccumulation.

European and national regulatory gaps are highlighted and the One Health approach is proposed as a model for integrating environmental, animal, and human health. From a circular economy perspective the European [DeliSoil project](#) valorizes food by-products into sustainable soil improvers.

Finally research is planned on agrivoltaics and new ECs, including nanomaterials and electronic waste with ethical and political considerations aligned with the "Farm to Fork" and "Soil Deal for Europe" strategies.

## **“Dagli scarti all'innovazione per i biomateriali e la bioeconomia circolare”**

Relatore: Gianluca De Rinaldis, [gianluca.derinaldis@enea.it](mailto:gianluca.derinaldis@enea.it)

Mentor: Valerio Miceli, [valerio.miceli@enea.it](mailto:valerio.miceli@enea.it) - Daniele Pizzichini, [daniele.pizzichini@enea.it](mailto:daniele.pizzichini@enea.it)

### **Abstract**

La piattaforma tecnologica del Laboratorio di Innovazione delle Filiere Agroalimentari del Centro Ricerche ENEA di Brindisi è una facility di eccellenza dell'infrastruttura di ricerca [METROFOOD-IT](#) per soluzioni innovative nel packaging e nei biomateriali con un focus su economia circolare e sostenibilità.

Vengono sviluppati biomateriali, film edibili, biodegradabili e compostabili a partire da scarti di filiere locali e rinnovabili. Questi materiali innovativi migliorano la conservazione degli alimenti (packaging attivo), offrono indicazioni sulla loro condizione (packaging intelligente) e riducono l'impatto ambientale (packaging sostenibile) grazie alla loro biodegradabilità.

Sono create emulsioni e biopolimeri da scarti agroalimentari anche attraverso processi fermentativi: tali biomateriali innovativi trovano applicazioni nel biopackaging, nella stampa 3D di imballaggi e in altri settori e utilizzi ed offrono valide alternative ai polimeri tradizionali riducendo la dipendenza dalla plastica di origine fossile e l'inquinamento.

Inoltre, sono trasformati sottoprodotti e scarti agroalimentari in biomolecole ad alto valore aggiunto come antiossidanti, antimicrobici e biopolimeri promuovendo un'economia circolare virtuosa.

Infine, la facility ospita un Living Lab [METROFOOD-IT](#) dedicato ad iniziative di co-creation e aperto a collaborazioni con aziende, istituzioni, ricercatori e cittadini, offrendo competenze, tecnologie e risorse per supportare la costruzione di un futuro in cui gli scarti diventano risorse e l'innovazione è al servizio di sostenibilità e sicurezza alimentare.

**"From waste to innovation for biomaterials and the circular bioeconomy"**

Speaker: Gianluca De Rinaldis, [gianluca.derinaldis@enea.it](mailto:gianluca.derinaldis@enea.it)

Mentor: Valerio Miceli, [valerio.miceli@enea.it](mailto:valerio.miceli@enea.it) - Daniele Pizzichini, [daniele.pizzichini@enea.it](mailto:daniele.pizzichini@enea.it)

**Abstract**

The technology platform of the Agri-Food Supply Chain Innovation Laboratory at the ENEA Research Center in Brindisi is a facility of excellence within the [METROFOOD-IT](#) research infrastructure for innovative solutions in packaging and biomaterials, focusing on the circular economy and sustainability.

Biomaterials, edible, biodegradable, and compostable films are developed from waste from local and renewable supply chains. These are all innovative materials that improve food preservation (active packaging), provide information on their condition (intelligent packaging), and reduce environmental impact (sustainable packaging) thanks to their biodegradability.

Emulsions and biopolymers are created from agri-food by-products, including through fermentation processes: these innovative biomaterials find applications in biopackaging, 3D packaging printing, and other sectors and uses, offering valid alternatives to traditional polymers, reducing dependence on fossil-based plastics and pollution.

Furthermore agri-food by-products and waste are transformed into high-value biomolecules such as antioxidants, antimicrobials, and biopolymers, promoting a virtuous circular economy.

Finally the facility hosts a [METROFOOD-IT](#) Living Lab, dedicated to co-creation initiatives and open to collaborations with companies, institutions, citizens and researchers, offering expertise, technologies, and resources to support building a future where waste becomes a resource and innovation serves sustainability and food safety.

## **“Il microbioma del suolo e delle piante: caratterizzazione e applicazioni per un’agricoltura sostenibile”**

Relatori: Filippo Sevi, [filippo.sevi@enea.it](mailto:filippo.sevi@enea.it) - Federico Sbarra, [federico.sbarra@unito.it](mailto:federico.sbarra@unito.it)

Mentor: Annamaria Bevivino, [annamaria.bevivino@enea.it](mailto:annamaria.bevivino@enea.it)

### **Abstract**

Il microbioma del suolo e delle piante rappresenta una risorsa strategica per promuovere un’agricoltura sostenibile contribuendo alla fertilità del suolo, alla salute delle colture e alla resilienza degli ecosistemi. Questo contributo analizza approcci innovativi per modulare le interazioni pianta-microbioma, tra cui il genome editing e il microbiome gene breeding con l’obiettivo di ottimizzare il reclutamento di microrganismi benefici. La selezione di specifici microrganismi consente la costituzione di comunità microbiche funzionali, adattate a particolari condizioni ambientali o colturali. Ciò si configura come una strategia chiave e sostenibile per rispondere alle sfide agricole globali, promuovendo sistemi colturali più resilienti, efficienti e rispettosi dell’ambiente, riducendo l’uso di input chimici.

Nel contesto del progetto [SUS-MIRRI.IT](https://www.sus-mirri.it), orientato alla costruzione di un’ampia collezione microbica, sono state messe a punto procedure standardizzate per il campionamento, l’analisi e la conservazione dei microbiomi. Le indagini preliminari hanno evidenziato la presenza di microrganismi di interesse biotecnologico all’interno di comunità microbiche complesse, capaci di influenzare positivamente il metabolismo e la resilienza delle piante. La conservazione mirata di questi microbiomi rappresenta un’opportunità per valorizzare il potenziale di microrganismi benefici, favorendo la formulazione di consorzi microbici naturali (NatComs) in grado di migliorare la crescita delle colture in modo sostenibile.

Infine, in linea con il paradigma One Health, sono state considerate anche le implicazioni normative, etiche e ambientali legate all’ingegnerizzazione microbiologica, promuovendo un approccio integrato e responsabile all’innovazione in agricoltura.

---

7<sup>th</sup> February 2025

**"The soil and plant microbiome: characterization and applications for sustainable agriculture"**

Speaker: Filippo Sevi, [filippo.sevi@enea.it](mailto:filippo.sevi@enea.it) - Federico Sbarra, [federico.sbarra@unito.it](mailto:federico.sbarra@unito.it)

Mentor: Annamaria Bevivino, [annamaria.bevivino@enea.it](mailto:annamaria.bevivino@enea.it)

**Abstract**

*The soil and plant microbiome represents a strategic resource for promoting sustainable agriculture, contributing to soil fertility, crop health, and ecosystem resilience. This paper analyzes innovative approaches to modulate plant-microbiome interactions, including genome editing and microbiome gene breeding, with the aim of optimizing the recruitment of beneficial microorganisms. The selection of specific microorganisms enables the establishment of functional microbial communities, adapted to particular environmental or growing conditions. This represents a key and sustainable strategy for addressing global agricultural challenges, promoting more resilient, efficient, and environmentally friendly cropping systems while reducing the use of chemical inputs.*

*As part of the [SUS-MIRRI.IT](#) project, aimed at building a large microbial collection, standardized procedures for sampling, analyzing and preserving microbiomes have been developed. Preliminary investigations have highlighted the presence of microorganisms of biotechnological interest within complex microbial communities, capable of positively influencing plant metabolism and resilience. The targeted preservation of these microbiomes represents an opportunity to leverage the potential of beneficial microorganisms, encouraging the development of natural microbial consortia (NatComs) capable of sustainably improving crop growth.*

*Finally - in line with the One Health paradigm - the regulatory, ethical, and environmental implications of microbiological engineering were also considered, promoting an integrated and responsible approach to innovation in agriculture.*

## **“Sistema di coltivazione automatizzato per esposizione a radiazioni neutroniche croniche”**

Relatrice: Carla Sandri, carla.sandri1994@gmail.com

Mentor: Silvia Massa, silvia.massa@enea.it – Luca Nardi, luca.nardi@enea.it

### **Abstract**

Il progetto NEUTRON CHROW mira a sviluppare un sistema automatizzato di coltivazione delle piante che operi sotto radiazioni neutroniche croniche in simulazione di condizioni tipiche di ambienti spaziali in modo il più possibile realistico.

Il progetto mira, infatti, a studiare l'impatto della radiazione neutronica cronica simulata on-ground sulla crescita delle piante attraverso la realizzazione di una infrastruttura che ne consenta al tempo stesso la coltivazione e l'acquisizione di informazioni sulla risposta allo stress radiativo, tra cui la valutazione degli effetti sulla crescita e sulla fotosintesi, l'induzione di mutagenesi etc. Studiare questi aspetti è cruciale per le missioni spaziali a lungo termine, durante le quali la produzione alimentare sostenibile di alimenti sarà legata anche alla coltivazione di piante.

Il sistema di coltivazione Neutron Chrow, dotato di vassoi multilivello, è progettato per esporre le piante a dosi controllate di radiazioni croniche mentre automatizza vari processi di crescita come l'irrigazione, la semina e la raccolta. La stampa 3D della struttura, utilizzando PETG riciclato, consentirebbe la sostenibilità del sistema anche nei futuri avamposti spaziali. Il sistema integra bracci robotici per assistere nella cura e manutenzione delle piante e garantisce un monitoraggio preciso e la raccolta di dati.

Il progetto è multidisciplinare e combina studi sull'esposizione alle radiazioni, sulla biologia vegetale, sulla sensoristica e sull'automazione all'avanguardia per ottimizzare la produzione di alimenti di origine vegetale nello spazio.

***“Automated cultivation system for chronic neutron radiation exposure”***

Speaker: Carla Sandri, [carla.sandri1994@gmail.com](mailto:carla.sandri1994@gmail.com)

Mentor: Silvia Massa, [silvia.massa@enea.it](mailto:silvia.massa@enea.it) – Luca Nardi, [luca.nardi@enea.it](mailto:luca.nardi@enea.it)

**Abstract**

*The NEUTRON CHROW project aims to develop an automated plant cultivation system that operates under chronic neutron radiation simulating typical conditions of space environments as realistically as possible.*

*The project aims, in fact, to study the impact of simulated chronic neutron radiation on plant growth, through the creation of an infrastructure that simultaneously allows for cultivation and the acquisition of information on the response to radiative stress, including the assessment of effects on growth and photosynthesis, the induction of mutagenesis, etc. Studying these aspects is crucial for long-term space missions, during which the sustainable production of food will also be linked to the cultivation of plants.*

*The Neutron Chrow cultivation system, equipped with multilevel trays, is designed to expose plants to controlled doses of chronic radiation while automating various growth processes such as irrigation, seeding, and harvesting. The 3D printing of the structure, using recycled PETG, would ensure the sustainability of the system even in future space outposts. The system integrates robotic arms to assist in the care and maintenance of the plants and ensures precise monitoring and data collection.*

*The project is multidisciplinary and combines studies on radiation exposure, plant biology, sensor technology, and cutting-edge automation to optimize the production of plant-based food in space.*

## **“Cambiamenti climatici e sistema agro-alimentare: sfide e opportunità per la Ricerca”**

Relatrice: Valentina Tolaini, valentina.tolaini@enea.it

Mentor: Nicola Colonna, nicola.colonna@enea.it

### **Abstract**

La relazione tra cambiamenti climatici e settore agroalimentare è estremamente articolata, considerando l'influenza reciproca tra i due elementi e la complessità del settore stesso (eterogeneità delle condizioni pedoclimatiche e dei processi di produzione e trasformazione).

Tra i sistemi produttivi, quello agroalimentare è l'unico che riveste un triplice ruolo nei confronti dei cambiamenti climatici: ne subisce in modo diretto gli effetti, con alterazione di cicli produttivi e diminuzione delle rese di piante e di animali, ma è anche parte attiva del processo, immettendo gas-climalteranti in atmosfera (allevamenti zootecnici e uso di combustibili di origine fossile). Allo stesso tempo, però, contribuisce alla mitigazione tramite l'assorbimento del carbonio da parte delle piante e il suo stoccaggio nella biomassa e nei suoli.

Lo sviluppo di soluzioni innovative sostenibili, circolari e rapidamente implementabili per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici rappresenta una sfida, ma anche un'opportunità, per la Ricerca, che può guidare la transizione verso un comparto agroalimentare maggiormente sostenibile e competitivo.

Diversi sono gli ambiti d'azione: approfondire gli effetti dei cambiamenti climatici su produzione primaria/trasformazione/logistica e viceversa; proporre strategie/tecnologie/processi per le varie fasi della filiera; sviluppare strumenti per sostenere i processi decisionali degli operatori del settore; interagire con i vari stakeholders e supportare la PA per la stesura di piani e strategie integrati e condivisi.

Occorre avere una visione sistemica dell'intero sistema agro-alimentare e delle sue interazioni con l'ambiente naturale e valutare costi economici ed ambientali delle innovazioni/soluzioni proposte.

**"Climate change and the agri-food system: challenges and opportunities for Research"**

Speaker: Valentina Tolaini, [valentina.tolaini@enea.it](mailto:valentina.tolaini@enea.it)

Mentor: Nicola Colonna, [nicola.colonna@enea.it](mailto:nicola.colonna@enea.it)

**Abstract**

*The complex relationship between climate change and the agri-food system is related to the mutual influence between the two elements and to the complexity of the sector itself (heterogeneity of soil and climate conditions, different production processes).*

*The agri-food system plays a triple role in relation to climate change: (i) suffers the effects of climate change, with consequent alterations in production cycles and yields, (ii) contributes to climate change, releasing greenhouse gases into the atmosphere (livestock farming, rice cultivation, use of fossil fuels), (iii) contributes to mitigation, through carbon sink by plants and its stock in biomass and soil.*

*The need to develop innovative, sustainable, and rapidly implementable solutions for mitigation and adaptation to climate change represents a challenge, but also an opportunity, for research, which can guide the transition to a more sustainable and competitive agri-food system.*

*Different kinds of activity can be carried out in order to: evaluate the effects of climate change on primary production/processing/logistic, and vice versa; implement strategies/technologies/processes for the various stages of the supply chain; develop support decision system/tools for operators; engage with different stakeholders and support public administrations in drafting integrated and shared plans and strategies.*

*A systemic vision of the whole agri-food system and of its interactions with the natural environment, and the evaluation of economic and environmental costs of proposed innovations/solutions, are essential to lead the agroecological transition.*

## **“Salute del suolo e benessere umano: il ruolo dei microbiomi”**

Relatrice: Manuela Costanzo, manuela.costanzo@enea.it

Mentor: Silvia Tabacchioni, silvia.tabacchioni@enea.it

Annamaria Bevivino, annamaria.bevivino@enea.it

### **Abstract**

Il suolo è una risorsa naturale strategica, caratterizzata da una complessità funzionale che ne determina un ruolo centrale nei processi ecosistemici. Tra le sue principali funzioni si annoverano il supporto alla crescita vegetale, la regolazione del ciclo idrologico, il riciclo dei nutrienti, la modulazione del clima attraverso lo stoccaggio del carbonio e il mantenimento della biodiversità. Inoltre il suolo conserva evidenze archeologiche e riveste un ruolo anche culturale e storico.

La strategia dell'UE per la biodiversità 2030 valorizza la multifunzionalità del suolo e promuove azioni volte alla sua tutela e alla salvaguardia dei servizi ecosistemici ad esso connessi. In questo contesto il suolo è considerato un sistema biologicamente attivo, la cui salute è strettamente legata al concetto di "One Health", un approccio che integra la salute umana, animale e ambientale. I microrganismi del suolo svolgono un ruolo chiave nel mantenimento dell'omeostasi ecosistemica, incidendo sui cicli biogeochimici e contribuendo alla stabilità dei sistemi agroalimentari.

Recenti studi metagenomici hanno evidenziato omologie funzionali tra la rizosfera e il microbiota intestinale umano, confermando il suolo come matrice ecologica primaria nella formazione del microbioma. Queste interazioni tra suolo, pianta e uomo suggeriscono una traslazione di benessere immunologico e metabolico, implicando che la tutela della biodiversità edafica non sia solo una priorità ambientale per la produttività dell'agroecosistema, ma anche una strategia di prevenzione sanitaria su scala globale.

**“Soil health and human well-being: the role of microbiomes”**

Speaker: Manuela Costanzo, manuela.costanzo@enea.it

Mentor: Silvia Tabacchioni, silvia.tabacchioni@enea.it

Annamaria Bevivino, annamaria.bevivino@enea.it

**Abstract**

*Soil is a strategic natural resource characterized by functional complexity, which determines its central role in ecosystem processes. Its main functions include supporting plant growth, regulating the hydrological cycle, recycling nutrients, storing carbon to modulate the climate, and maintaining biodiversity. Furthermore, it preserves archaeological evidence, playing a cultural and historical role too.*

*The EU Biodiversity Strategy 2030 emphasizes the multifunctionality of soil and promotes actions aimed at protecting it and safeguarding related ecosystem services. In this context soil is understood as a biologically active system whose health is directly related to the One Health paradigm, which integrates human, animal and environmental health. Soil microorganisms play a pivotal role in maintaining ecosystem homeostasis, influencing biogeochemical cycles, and ensuring the stability of agri-food systems.*

*Recent metagenomic studies have revealed functional similarities between the rhizosphere and the human gut microbiota, suggesting that soil is the primary ecological matrix in microbiome formation. These soil-plant-human interactions imply a link between immunological and metabolic well-being, suggesting that protecting soil biodiversity is a global health prevention strategy as well as an environmental priority for agro-ecosystem productivity.*

## **“Sicurezza, qualità e sostenibilità delle filiere agroalimentari”**

Relatrici: Emilia Pucci, emilia.pucci@enea.it – Valeria Poscente, valeria.poscente@enea.it

Alessandra Bernardini, alessandra.bernardini@enea.it

Mentor: Claudia Zoani, claudia.zoani@enea.it

### **Abstract**

I sistemi agroalimentari devono oggi garantire qualità, sicurezza e sostenibilità in un contesto globale complesso. Garantire la *food integrity* significa assicurare che gli alimenti siano autentici, sicuri, tracciabili e conformi a quanto dichiarato, tutelando la fiducia dei consumatori, la trasparenza e la sostenibilità dell'intera filiera agroalimentare.

In questo ambito l'infrastruttura di ricerca [METROFOOD-RI](#) riveste un ruolo strategico nella metrologia applicata al settore agroalimentare, promuovendo misurazioni armonizzate, controlli di qualità avanzati e la gestione di big data tracciabili e interoperabili per migliorare sicurezza e sostenibilità dei sistemi agroalimentari.

Particolare attenzione è rivolta alla riduzione dello spreco e alla valorizzazione dei sottoprodotti, attraverso casi innovativi come la produzione di caffè da cellule vegetali e l'impiego di scarti in nuovi alimenti ad alto valore nutrizionale. Tra i risultati principali figurano protocolli analitici per la tracciabilità lungo la filiera e lo sviluppo di prodotti arricchiti con molecole funzionali.

Lo sviluppo di packaging attivi antimicrobici rappresenta, inoltre, una strategia efficace per prolungare la *shelf-life* e garantire sicurezza microbiologica, come dimostrato nel caso delle fragole fresche. L'integrazione tra ricerca, innovazione dei materiali e valorizzazione dei sottoprodotti apre la strada a una filiera più sicura, sostenibile e circolare, fondata sulla collaborazione tra infrastrutture, imprese e consumatori per una transizione concreta verso modelli produttivi responsabili.

## **"Safety, quality and sustainability of agri-food supply chains"**

Speakers: Emilia Pucci, [emilia.pucci@enea.it](mailto:emilia.pucci@enea.it) – Valeria Poscente, [valeria.poscente@enea.it](mailto:valeria.poscente@enea.it)  
Alessandra Bernardini, [alessandra.bernardini@enea.it](mailto:alessandra.bernardini@enea.it)

Mentor: Claudia Zoani, [claudia.zoani@enea.it](mailto:claudia.zoani@enea.it)

### **Abstract**

Agri-food systems today must ensure quality, safety, and sustainability within an increasingly complex global environment. Maintaining food integrity involves ensuring that foods are authentic, safe, traceable, and compliant with their declared characteristics, thereby protecting consumer trust, transparency, and the sustainability of the entire supply chain.

In this context the [METROFOOD Research Infrastructure](#) plays a strategic role in applying metrology to the agri-food sector by promoting harmonized measurements, advanced quality control, and the management of traceable and interoperable big data to enhance the quality, safety, and sustainability of agri-food systems.

Particular emphasis is placed on reducing food waste and valorizing by-products through innovative initiatives, such as producing coffee from plant cells and utilising side-stream in the creation of new foods with high nutritional value. Key achievements include the establishment of advanced analytical protocols for traceability along the supply chain and the development of products enriched with functional molecules.

The development of active antimicrobial packaging also provides an effective strategy to extend shelf-life and ensure microbiological safety, as demonstrated in the case of fresh strawberries. The integration of applied research, material innovation, and by-product valorization paves the way for a safer, more sustainable, and circular agri-food system, underpinned by collaboration among research infrastructures, businesses, and consumers, fostering a tangible transition towards responsible production models.

## **“Applicazioni dell'analisi dell'espressione genica alle attività del laboratorio Agri4.0 per la verifica di potenziali adulterazioni nello zafferano”**

Relatore: Marco Iannaccone, marco.iannaccone@enea.it

Mentor: Luca Nardi, luca.nardi@enea.it- Angiola Desiderio, angiola.desiderio@enea.it

### **Abstract**

Lo zafferano, ottenuto dagli stimmi essiccati del *Crocus sativus* (L.), rappresenta una delle spezie più pregiate al mondo per le sue eccezionali caratteristiche sensoriali e l'elevato valore economico. Per produrre un chilogrammo di zafferano servono circa 150.000 fiori, raccolti e lavorati a mano, fattore che ne giustifica il costo elevato. Accanto alle sue qualità organolettiche, contiene metaboliti bioattivi come crocine, safranale e picrocrocina, dotati di importanti proprietà antiossidanti e neuroprotettive. Studi preclinici e clinici ne hanno dimostrato l'efficacia nel rallentare la progressione della degenerazione maculare legata all'età (Di Marco *et al.*, 2019 - doi: [10.3390/antiox8070224](https://doi.org/10.3390/antiox8070224)).

Il progetto IDROZAFF, coordinato dal nostro laboratorio e finanziato dal programma Horizon 2020 PON I&C 2014-2020, ha sviluppato un innovativo sistema di coltivazione idroponica di *C. sativus* in ambiente controllato. Tale tecnologia ha consentito rese fino a dieci volte superiori rispetto alla coltivazione tradizionale, garantendo un prodotto standardizzato di grado farmaceutico e riducendo la variabilità ambientale (Nardi *et al.*, 2022 - doi: [10.3390/molecules27248972](https://doi.org/10.3390/molecules27248972)). Tuttavia l'elevato valore commerciale dello zafferano lo rende vulnerabile a sofisticazioni, come l'aggiunta di spezie economiche (curcuma, calendula, paprika) o coloranti sintetici (tartrazina), difficili da individuare con i metodi previsti dalla norma ISO 3632-2:2010/2011. Per questo motivo proponiamo l'impiego della PCR quantitativa (qPCR) come approccio molecolare complementare per identificare rapidamente e con elevata sensibilità eventuali adulterazioni, migliorando la tracciabilità, l'autenticità e la sicurezza del prodotto.

**"Applications of gene expression analysis to the Agri4.0 laboratory activities for the verification of potential adulterations in saffron"**

Speaker: Marco Iannaccone, marco.iannaccone@enea.it

Mentor: Luca Nardi, luca.nardi@enea.it– Angiola Desiderio, angiola.desiderio@enea.it

**Abstract**

Saffron, obtained from the dried stigmas of *Crocus sativus* (L.), is one of the most valuable spices worldwide for its unique sensory properties and remarkable economic importance. Producing one kilogram of saffron requires around 150,000 flowers, manually harvested and processed, which explains its high price. Beyond its aroma, taste, and color, saffron contains bioactive compounds such as crocins, safranal, and picrocrocin, exhibiting antioxidant and neuroprotective activities. Several preclinical and clinical studies have demonstrated its efficacy in delaying the progression of age-related macular degeneration (Di Marco et al., 2019 - doi: [10.3390/antiox8070224](https://doi.org/10.3390/antiox8070224)).

The IDROZAFF project, coordinated by our laboratory and funded by the Horizon 2020 PON I&C 2014–2020 program, developed an innovative hydroponic system for *C. sativus* cultivation under fully controlled environmental conditions. This approach achieved yields up to ten times higher than traditional field cultivation, providing a standardized, pharmaceutical-grade product with reduced environmental variability (Nardi et al., 2022 - doi: [10.3390/molecules27248972](https://doi.org/10.3390/molecules27248972)). However the high commercial value of saffron makes it susceptible to adulteration through the addition of cheaper spices (turmeric, marigold, paprika) or synthetic dyes such as tartrazine, often undetectable using only ISO 3632-2:2010/2011 spectrophotometric methods. For this reason, we propose the use of quantitative PCR (qPCR) as a complementary molecular tool enabling rapid and sensitive identification of adulterant species through specific DNA sequences, thereby improving saffron traceability, authenticity, and consumer protection.

## **“Valorizzazione degli scarti agroalimentari mediante microrganismi per la produzione di metaboliti secondari e molecole ad alto valore aggiunto”**

Relatrice: Anna Spagnoletta, [anna.spagnoletta@enea.it](mailto:anna.spagnoletta@enea.it)

Mentor: Alfredo Ambrico, [alfredo.ambrico@enea.it](mailto:alfredo.ambrico@enea.it)

### **Abstract**

La valorizzazione degli scarti agroalimentari tramite microrganismi rappresenta una strategia sostenibile e innovativa per la produzione di metaboliti secondari e di molecole ad alto valore aggiunto. I processi biotecnologici di nuova generazione consentono la bioconversione di matrici residuali in composti bioattivi, quali antibiotici, pigmenti naturali e biopolimeri, con applicazioni nei settori farmaceutico, cosmetico e alimentare. Questo approccio riduce gli sprechi, ottimizza l'uso delle risorse e favorisce l'economia circolare, contribuendo alla transizione verso modelli produttivi più sostenibili.

Presso il Centro di Ricerche Trisaia è stato condotto uno studio sull'isolamento, identificazione e produzione di biomassa del lievito rosso *Rhodotorula sp.*, in grado di bioconvertire substrati agroalimentari di scarto in carotenoidi bioattivi, tra cui la torularodina, una molecola dotata di riconosciute proprietà antiossidanti e antitumorali. La torularodina è stata estratta selettivamente mediante fluido supercritico (SFE-CO<sub>2</sub>), una tecnica che garantisce elevata purezza, integrità strutturale e ridotto impatto ambientale rispetto ai metodi convenzionali a solvente.

La sostenibilità dei processi di caratterizzazione funzionale dei metaboliti secondari deve includere i principi delle 3R (Replacement, Reduction, Refinement), che promuovono l'adozione di modelli in vitro avanzati, migliorando la riproducibilità e l'affidabilità dei dati.

L'integrazione tra biotecnologie microbiche, economia circolare e innovazione metodologica rende la ricerca più etica, efficiente e competitiva, orientandola verso un sistema agroindustriale tecnologicamente avanzato e ambientalmente responsabile.

**"Valorization of agro-industrial waste through microorganisms for the production of secondary metabolites and high-value molecules"**

Speaker: Anna Spagnoletta, [anna.spagnoletta@enea.it](mailto:anna.spagnoletta@enea.it)

Mentor: Alfredo Ambrico, [alfredo.ambrico@enea.it](mailto:alfredo.ambrico@enea.it)

**Abstract**

The valorization of agri-food by-products using microorganisms is a sustainable and innovative strategy for producing secondary metabolites and high-value compounds. Next-generation biotechnological processes enable the bioconversion of residual matrices into bioactive compounds, including antibiotics, natural pigments, and biopolymers, with applications in the pharmaceutical, cosmetic, and food industries. This approach reduces waste, optimizes resource use, and promotes circular-economy principles, thereby contributing to the transition toward more sustainable production models.

At ENEA Trisaia Research Center, a study has been conducted on the isolation, identification, and biomass production of *Rhodotorula sp.*, a red yeast capable of bioconverting agri-food residues into bioactive carotenoids, including torularhodin, a molecule with well-recognized antioxidant and antitumor properties. Torularhodin was selectively extracted using supercritical fluid extraction (SFE-CO<sub>2</sub>), a technique that ensures high purity, structural integrity, and a lower environmental impact than conventional solvent-based methods.

The sustainability of functional characterization processes for secondary metabolites must also encompass the 3Rs principles (Replacement, Reduction, Refinement), which encourage the use of advanced in vitro models to improve data reproducibility and reliability.

The integration of microbial biotechnologies, circular economy strategies, and methodological innovation makes research more ethical, efficient, and competitive, guiding the evolution toward a technologically advanced and environmentally responsible agro-industrial system.

## **“3D Printing e applicazioni per l’agroalimentare”**

Relatrice: Anna Grazia Scalone, [annagrazia.scalone@enea.it](mailto:annagrazia.scalone@enea.it)

Mentor: Silvia Massa, [silvia.massa@enea.it](mailto:silvia.massa@enea.it)

### **Abstract**

L'enorme perdita e spreco alimentare globale richiede un'implementazione tempestiva di tecnologie di riciclaggio/upcycling con elevata capacità di elaborazione. L'enorme opportunità risiede nell'inevitabile frazione di cibo persa dalla linea di produzione e lavorazione nel settore commerciale e industriale. La perdita e lo spreco di cibo sono uno degli ostacoli critici sulla strada verso zero emissioni di carbonio e uno sviluppo sostenibile.

La stampa di alimenti consente agli utenti di progettare e fabbricare alimenti con forme, colori, sapori e bisogni nutrizionali personalizzati creando nuovi prodotti e strutture unici che altri metodi non possono produrre. Sulla base del loro principio di base le tecnologie di stampa utilizzate nella stampa 3D possono essere classificate in quattro gruppi: estrusione di materiale, stampa a getto d'inchiostro, stampa assistita da laser e stampa stereolitografica. I materiali disponibili per la produzione additiva di alimenti sono classificati in tre categorie: materiali stampabili in modo nativo, materiali non stampabili, ingredienti alternativi (come alghe, funghi, insetti, ecc.).

Il successo della tecnologia di stampa alimentare 3D si basa sul raggiungimento delle proprietà strutturali desiderate del prodotto e questa capacità è fortemente dipendente da due fattori: la natura dell'inchiostro e il metodo di stampa adatto. Il progresso della tecnologia di stampa 3D ha reso possibile stampare materiali biocompatibili, tra cui cellule viventi, comunemente definiti bioprinting.

La biostampa 3D di microrganismi è una tecnologia emergente con ampie applicazioni e prospettive promettenti. Sebbene sia ancora in fase esplorativa, il suo potenziale valore ha attirato grande attenzione nei campi del trattamento medico, della biofabbricazione e della protezione ambientale.

## ***“3D Printing and applications for the agri-food industry”***

Speaker: Anna Grazia Scalone, [annagrazia.scalone@enea.it](mailto:annagrazia.scalone@enea.it)

Mentor: Silvia Massa, [silvia.massa@enea.it](mailto:silvia.massa@enea.it)

### **Abstract**

*The enormous global food loss and waste require the timely implementation of high-throughput recycling/upcycling technologies. The enormous opportunity lies in the inevitable fraction of food lost from production and processing lines in the commercial and industrial sectors. Food loss and waste are one of the critical obstacles on the road to zero carbon emissions and sustainable development.*

*Food printing allows users to design and manufacture foods with customized shapes, colors, flavors, and nutritional needs, creating unique new products and structures that other methods cannot produce. Based on their basic principle the printing technologies used in 3D printing can be classified into four groups: material extrusion, inkjet printing, laser-assisted printing, and stereolithography printing. The materials available for additive manufacturing of foods are classified into three categories: Natively printable materials, Non-printable materials, and Alternative ingredients (such as algae, mushrooms, insects, etc.).*

*The success of 3D food printing technology relies on achieving the desired structural properties of the product, and this ability is highly dependent on two factors: the nature of the ink and the appropriate printing method. Advances in 3D printing technology have made it possible to print biocompatible materials, including living cells, a process commonly referred to as bioprinting.*

*3D bioprinting of microorganisms is an emerging technology with broad applications and promising prospects. Although still in the exploratory phase, its potential value has attracted considerable attention in the fields of medical treatment, biofabrication and environmental protection.*

## **“Le microalghe come potenziale fonte di prodotti di elevato valore”**

Relatrice: Patrizia Casella, patrizia.casella@enea.it

Mentor: Antonio Molino, antonio.molino@enea.it

### **Abstract**

Il seminario dal titolo “Le microalghe come potenziale fonte di prodotti di elevato valore” è stato un’occasione di discussione di diversi argomenti sulle microalghe e sulle loro capacità di produrre sostanze di elevato valore come carotenoidi ed oli ricchi di omega, e di attività di ricerca svolte in questi anni nell’ambito delle progettualità della Divisione Sistemi Agroalimentari.

Nella parte iniziale del seminario sono state introdotte le caratteristiche delle microalghe ed i diversi metodi di coltivazione. È stata presentata una descrizione sintetica dello scenario produttivo industriale europeo, con riferimento al numero di aziende produttrici di microalghe suddivise nei vari paesi europei e dei loro sistemi di coltivazione. Sono stati rappresentati e discussi i prodotti di elevato valore che possono essere prodotti dalle microalghe, le loro proprietà ed applicazioni che sono attualmente autorizzate a livello europeo.

Inoltre, sono stati presentati i progetti di ricerca nazionali (KET4STEM - Key Enabling Technologies for organic waSTE and Microalgae valorization, PON - FERS 2014-2020) ed europei (VALUEMAG - Valuable products from algae using new magnetic cultivation and extraction techniques, ID: 745695) passati ed in corso (IMPROVE - Impact of the development of NFs based on alternative sources of proteins, ID: 101182324).

Infine sono stati presentati i dati più rappresentativi e già pubblicati su riviste scientifiche peer-review su alcuni casi studio come la coltivazione delle microalghe *Scenedesmus almeriensis* e *Haematococcus pluvialis* e sull’estrazione di luteina ed astaxantina, ed omega-3 a seguito dell’ottimizzazione dei processi di coltivazione e di estrazione mediante CO<sub>2</sub> in condizioni supercritiche.

## ***"Microalgae as a potential source of high-value products"***

Speaker: Patrizia Casella, patrizia.casella@enea.it

Mentor: Antonio Molino, antonio.molino@enea.it

### **Abstract**

The seminar, entitled "Microalgae as a Potential Source of High-Value Products," offered an opportunity to discuss various topics regarding microalgae and their ability to produce high-value substances such as carotenoids and omega-3 oils, as well as research activities carried out in recent years as part of the Agri-Food Systems Division's projects.

The initial part of the seminar introduced the characteristics of microalgae and the various cultivation methods. A brief description of the European industrial production landscape was presented, with reference to the number of microalgae producing companies in various European countries and their cultivation systems. The high-value products that can be produced from microalgae, their properties, and the applications currently authorized at the European level were presented and discussed.

Furthermore national (KET4STEM - Key Enabling Technologies for organic waSTE and Microalgae valorization, PON - FERS 2014-2020) and European (VALUEMAG - Valuable products from algae using new magnetic cultivation and extraction techniques, ID: 745695) past and ongoing (IMPROVE - Impact of the development of NFs based on alternative sources of proteins, ID: 101182324).

Finally the most representative data, already published in peer-reviewed scientific journals, were presented on some case studies such as the cultivation of the microalgae *Scenedesmus almeriensis* and *Haematococcus pluvialis* and on the extraction of lutein, astaxanthin, and omega-3 following the optimization of the cultivation and extraction processes using CO<sub>2</sub> under supercritical conditions.

## **“Soluzioni bio-based per la conservazione degli alimenti, il controllo dei biofilm e la crop protection”**

Relatrice: Luciana Di Gregorio, luciana.digregorio@enea.it

Mentor: Annamaria Bevivino, annamaria.bevivino@enea.it

Silvia Tabacchioni, silvia.tabacchioni@enea.it

### **Abstract**

In un contesto globale segnato da insicurezza alimentare, perdita di biodiversità, resistenza antimicrobica e cambiamenti climatici, è urgente sviluppare strategie sostenibili, integrate e multifunzionali lungo l'intera filiera agroalimentare.

Il seminario propone l'approccio "bio-based" come chiave per affrontare tre sfide cruciali: conservazione post-raccolta, controllo dei biofilm e protezione delle colture.

Si illustrano soluzioni basate su composti naturali e biomateriali attivi/biodegradabili per il packaging, con tecnologie analitiche avanzate per il monitoraggio non distruttivo. Questi approcci prolungano la shelf-life, migliorano la sicurezza microbiologica e riducono l'uso di conservanti sintetici.

Per i biofilm si discutono strategie bio-based (e.g. oli essenziali, probiotici), affiancate da tecniche innovative come imaging avanzato del *matrixome*, approcci omici e intelligenza artificiale per identificare biomarcatori e accelerare lo screening *in silico*.

In ambito di crop protection vengono presentate strategie bio-based che integrano inoculi microbici antagonisti, biopesticidi naturali e ammendanti organici, supportate da strumenti di metagenomica e culturomica per una comprensione funzionale dei microbiomi del suolo. Tali approcci, coerenti con i principi dell'*Integrated Pest Management* (IPM), puntano a ridurre i pesticidi sintetici preservando produttività e biodiversità. Le esperienze ENEA evidenziano l'importanza di co-creare innovazioni affidabili attraverso un approccio multi-actor.

Il seminario richiama infine la necessità di un cambio di paradigma: lo sviluppo di soluzioni bio-based non è sufficiente, serve valutarne efficacia, sostenibilità e scalabilità lungo tutta la filiera, promuovendo sinergie tra ricerca multidisciplinare, infrastrutture digitali, attori territoriali e policy europee.

**“Bio-based solutions for food preservation, biofilm control and crop protection”**

Speaker: Luciana Di Gregorio, [luciana.digregorio@enea.it](mailto:luciana.digregorio@enea.it)  
Mentor: Annamaria Bevivino, [annamaria.bevivino@enea.it](mailto:annamaria.bevivino@enea.it)  
Silvia Tabacchioni, [silvia.tabacchioni@enea.it](mailto:silvia.tabacchioni@enea.it)

**Abstract**

*In a global scenario marked by food insecurity, biodiversity loss, antimicrobial resistance, and climate change, sustainable and integrated strategies are urgently needed across the entire agri-food chain.*

*This seminar presents the "bio-based" approach as a key to tackling three interconnected challenges: post-harvest food preservation, biofilm control, and crop protection. It explores the use of natural compounds and active/biodegradable biomaterials for packaging, combined with advanced analytical tools for non-destructive monitoring. These solutions extend shelf life, enhance food safety, and reduce reliance on synthetic preservatives.*

*For biofilms—responsible for contamination, inefficiencies, and resistance—bio-based strategies (e.g. essential oils, peptides, probiotics) are discussed, alongside advanced imaging, omics, and AI for identifying biomarkers and fast-tracking in silico screening.*

*In the context of crop protection, the seminar presents bio-based strategies that combine antagonistic microbial inoculants, natural biopesticides, and organic amendments, supported by metagenomic and culturomic tools for a functional understanding of soil microbiomes. These Integrated Pest Management (IPM)-aligned strategies aim to reduce synthetic pesticide use while maintaining productivity and functional biodiversity. ENEA's projects show the importance of multi-actor collaboration in co-developing reliable innovations.*

*The seminar emphasizes the need for a paradigm shift: developing bio-based solutions is not enough, real-world sustainability, effectiveness, and scalability across the value chain must be assessed. Cross-sector synergies involving multidisciplinary research, digital infrastructures, territorial stakeholders, and EU policies are essential for building a resilient, safe, and circular agri-food system.*

## **“Implementazione della sostenibilità e della scalabilità dei metodi basati su *Wolbachia* per il controllo di parassiti e vettori”**

Relatore: Riccardo Moretti, riccardo.moretti@enea.it

Mentor: Maurizio Calvitti, maurizio.calvitti@enea.it – Gianfranco Diretto, gianfranco.diretto@enea.it

### **Abstract**

Il cambiamento climatico e le attività umane stanno favorendo la diffusione nelle zone temperate di specie di zanzara e virus di origine tropicale. I metodi di controllo tradizionali non riescono a far fronte a questa emergenza, oltre ad essere associati a chiari effetti collaterali negativi sulla salute umana, sulle specie non bersaglio e sull'ambiente.

*Wolbachia* è un batterio non patogenetico che, ospitato intracellularmente da molte specie di insetti, esercita un'azione di modulazione di alcune funzioni biologiche quali la riproduzione e la capacità dell'ospite di difendersi dai virus. Entrambe queste azioni favoriscono la sopravvivenza degli individui che ospitano il batterio rispetto a quelli che non ne sono infettati.

L'ENEA ha messo a punto una tecnologia di controllo della zanzara tigre basata sullo sfruttamento di questo batterio per indurre in modo naturale un fenomeno di sterilità che si manifesta quando maschi che sono portatori di un particolare ceppo di *Wolbachia* si accoppiano con le femmine selvatiche della stessa specie. Il risultato è la produzione di uova assolutamente sterili. Questa strategia di soppressione ha già dimostrato efficacia e sicurezza in condizione di campo aperto e risulta essere molto promettente.

La presentazione illustra tutti i passi che hanno caratterizzato lo sviluppo di questa tecnologia, dalla ricerca di base al raggiungimento di un TRL7, e contestualizza questo processo nell'attuale quadro emergenziale europeo, evidenziando le prospettive di sviluppo e la partnership, in via di definizione, che consentirà la progettazione di programmi operativi su larga scala e lo sviluppo commerciale della strategia.

***“Implementing sustainability and scalability of Wolbachia-based methods for pest and vector control”***

Speaker: Riccardo Moretti, [riccardo.moretti@enea.it](mailto:riccardo.moretti@enea.it)

Mentor: Maurizio Calvitti, [maurizio.calvitti@enea.it](mailto:maurizio.calvitti@enea.it) – Gianfranco Diretto, [gianfranco.diretto@enea.it](mailto:gianfranco.diretto@enea.it)

**Abstract**

*Climate change and human activities are favoring the spread of tropical mosquito species and viruses in temperate zones, and traditional control methods are failing to address this emergency, in addition to being associated with clear negative side effects on human health, non-target species, and the environment.*

*Wolbachia is a nonpathogenic bacterium that is hosted intracellularly by many insect species and modulates certain biological functions, such as reproduction and the host's ability to defend itself from viruses. Both actions favor the survival of individuals harboring the bacterium over those not infected.*

*ENEA has developed a technology for controlling the Asian tiger mosquito based on the exploitation of this bacterium to naturally induce sterility. This occurs when males carrying a particular strain of Wolbachia mate with wild females of the same species. The result is the production of completely sterile eggs. This suppression strategy has already demonstrated effectiveness and safety in open-field conditions and is very promising.*

*The presentation illustrates all the steps that have characterized the development of this technology, from basic research to the achievement of a TRL7, and contextualizes this process in the current European emergency framework, highlighting the development prospects and the partnership, currently being defined, which will allow the design of large-scale operational programs and the commercial development of the strategy.*

## **“La fungicoltura e le potenzialità per massimizzare la circolarità e trend di sviluppo esistenti per la produzione e la commercializzazione”**

Relatore: Benedetto Aracri, [benedetto.aracri@enea.it](mailto:benedetto.aracri@enea.it)

Mentor: Maurizio Notarfonso, [maurizio.notarfonso@enea.it](mailto:maurizio.notarfonso@enea.it)

### **Abstract**

La gestione degli scarti agricoli, agroindustriali e forestali rappresenta una delle sfide ambientali ed economiche più pressanti per la filiera agroalimentare odierna. Ogni anno tonnellate di biomassa vegetale lignocellulosica proveniente da potature, residui di colture e sottoprodotti vegetali come trebbie, crusche, gusci, bucce, ecc. generano spesso elevati costi di smaltimento e un impatto ambientale negativo, con il rischio di inquinamento di acqua, aria e suolo. Questa gestione inefficace si traduce in una perdita di risorse preziose e in un onere significativo per gli agricoltori e le industrie del settore.

In tale contesto questo studio vuole dimostrare come sia possibile coltivare funghi commestibili del genere *Pleurotus*, come l'orecchione (*P. ostreatus*) o il cardoncello (*P. eryngii*), aggiungendo alla paglia e al legno (i classici substrati di coltura), dei sottoprodotti vegetali provenienti da altre filiere agroalimentari, massimizzando la circolarità delle risorse e valorizzando, in modo ecologicamente sostenibile e commercialmente remunerativo, ciò che normalmente è considerato uno scarto.

L'impatto atteso per questo approccio andrà oltre la semplice gestione dei rifiuti, mirando a trasformare attivamente uno scarto, ovvero una materia prima seconda, in una risorsa di valore economico e ambientale, generando prodotti di alta qualità e contribuendo alla sostenibilità complessiva della filiera agroalimentare.

L'implementazione e la diffusione di tali pratiche saranno cruciali per un futuro agricolo più resiliente, prospero e intrinsecamente sostenibile.

**“Fungiculture and the potential to maximise existing circularity and development trends for production and marketing”**

Speaker: Benedetto Aracri, [benedetto.aracri@enea.it](mailto:benedetto.aracri@enea.it)

Mentor: Maurizio Notarfonso, [maurizio.notarfonso@enea.it](mailto:maurizio.notarfonso@enea.it)

**Abstract**

*The management of agricultural, agro-industrial and forestry waste represents one of the most pressing environmental and economic challenges for today's agri-food supply chain. Every year tons of lignocellulosic plant biomass from pruning, crop residues and plant by-products such as brewery spent grain, bran, shells, husks, etc. often generate high disposal costs and a negative environmental impact, with the risk of water, air and soil pollution. This ineffective management results in a loss of valuable resources and a significant burden on farmers and industries in the sector.*

*In this context this study wants to demonstrate how it is possible to grow edible mushrooms of the genus *Pleurotus*, such as oyster mushroom (*P. ostreatus*) or king trumpet mushroom (*P. eryngii*), adding to straw and wood (which are the classic growing substrates), plant by-products from other agri-food supply chains, maximizing the circularity of resources and enhancing, in an ecologically sustainable and commercially profitable way, what is normally considered waste.*

*The expected impact for this approach will go beyond simple waste management, aiming to actively transform a waste, i.e. a secondary raw material, into a resource of economic and environmental value, generating high quality products and contributing to the overall sustainability of the agri-food supply chain.*

*The implementation and dissemination of such practices will be crucial for a more resilient, prosperous and intrinsically sustainable agricultural future.*

## **“Implementazione della collezione microbica ENEA: identificazione e caratterizzazione di isolati batterici e screening del potenziale biotecnologico”**

Relatrice: Eleonora Colantoni, [eleonora.colantoni@enea.it](mailto:eleonora.colantoni@enea.it)

Mentor: Silvia Tabacchioni, [silvia.tabacchioni@enea.it](mailto:silvia.tabacchioni@enea.it)

Annamaria Bevivino, [annamaria.bevivino@enea.it](mailto:annamaria.bevivino@enea.it)

### **Abstract**

I cambiamenti climatici, l'inquinamento e lo sfruttamento eccessivo delle risorse stanno causando una generale perdita della biodiversità, compresa quella microbica, che riveste un ruolo chiave per la sostenibilità ambientale grazie alle funzioni ecologiche e applicazioni biotecnologiche che può offrire. Ampliarne la conoscenza, preservarla, ripristinarla e gestirla è fondamentale per affrontare le sfide ambientali e per promuovere innovazioni *microbial-based* in diversi settori: agricoltura, produzione e conservazione degli alimenti, farmaceutica, bioenergie, gestione dei rifiuti, trattamento delle acque reflue e bonifica ambientale. In questo contesto, le collezioni microbiche rappresentano uno strumento strategico per la conservazione della diversità microbica e il suo utilizzo mirato.

La collezione microbica ENEA, EMCC ([collezionemicrobicaenea.it](http://collezionemicrobicaenea.it)) raccoglie oltre 1.500 microrganismi tra cui batteri, funghi, lieviti, un'archea, due microalghe e un virus vegetale, con applicazioni biotecnologiche in vari ambiti.

Dal 2019 ENEA è membro associato della Joint Research Unit-MIRRI.IT e dal 2022 partecipa al progetto PNRR [SUS-MIRRI.IT](#) con l'obiettivo di rafforzare l'infrastruttura di ricerca italiana per la conservazione microbica, superando la frammentazione della disponibilità delle risorse microbiche e dei dati associati e rispondendo alle esigenze del mondo della ricerca, dell'industria e degli stakeholder.

Tra le attività in corso nell'ambito del progetto figura lo studio dei batteri azotofissatori capaci di promuovere la crescita delle piante e dei batteri con attività di degradazione della cellulosa con l'obiettivo di sviluppare consorzi microbici da utilizzare come biofertilizzanti, biopesticidi o per il recupero e valorizzazione degli scarti lignocellulosici.

***“Implementation of the ENEA microbial collection: identification and characterization of bacterial isolates and screening of biotechnological potential”***

Speaker: Eleonora Colantoni, [eleonora.colantoni@enea.it](mailto:eleonora.colantoni@enea.it)

Mentor: Silvia Tabacchioni, [silvia.tabacchioni@enea.it](mailto:silvia.tabacchioni@enea.it)

Annamaria Bevivino, [annamaria.bevivino@enea.it](mailto:annamaria.bevivino@enea.it)

**Abstract**

*Climate change, pollution, and the excessive exploitation of resources are leading to a general loss of biodiversity, including microbial biodiversity, which plays a key role in environmental sustainability due to its ecological functions and biotechnological applications. Expanding our knowledge of microbial diversity, preserving it, restoring it, and managing it are essential steps to address environmental challenges and promote microbial-based innovations in various fields: agriculture, food production and preservation, pharmaceuticals, bioenergy, wastewater treatment, and environmental remediation. In this context, microbial collections represent a strategic tool for preserving microbial diversity and enabling its targeted use.*

*The ENEA microbial collection, EMCC ([www.collezionemicrobicaenea.it](http://www.collezionemicrobicaenea.it)), includes over 1,500 microorganisms such as bacteria, fungi, yeasts, one archaeon, two microalgae, and a plant virus, all with biotechnological applications in various fields.*

*Since 2019 ENEA has been an associate member of Joint Research Unit-MIRRI.IT and since 2022, it has participated in the PNRR [SUS-MIRRI.IT](#) project with the aims to strengthen the Italian research infrastructure for microbial conservation by overcoming the fragmentation of microbial resource availability and associated data, and by addressing the needs of researchers, industry, and stakeholders.*

*Among the ongoing activities within the project are studies on nitrogen-fixing bacteria that promote plant growth and on bacteria capable of degrading cellulose, with the goal of developing microbial consortia to be used as biofertilizers, biopesticides, or for the recovery and valorization of lignocellulosic waste.*

---

## **Affiliazioni Relatori, Relatrici e Mentor - Affiliation of Speakers and Mentors**

### **Divisione Sistemi Agroalimentari Sostenibili (AGROS)**

#### ***Sustainable Agri-Food Systems Division***

*(Responsabile - Head Massimo Iannetta)*

Alessandra Bernardini

Annamaria Bevivino

Maurizio Calvitti

Nicola Colonna

Valeria Poscente

Emilia Pucci

Filippo Sevi

Claudia Zoani

### **Laboratorio Agricoltura 4.0 (AGROS - Agri4.0)**

#### ***Agriculture 4.0 Laboratory***

*(Responsabile - Head Silvia Massa)*

Angiola Desiderio

Marco Iannaccone

Silvia Massa

Valentina Mastrobuono

Riccardo Moretti

Luca Nardi

### **Laboratorio Bioeconomia Circolare Rigenerativa (AGROS - BIOEC)**

#### ***Regenerative Circular Bioeconomy Laboratory***

*(Responsabile - Head Roberto Balducchi)*

Alfredo Ambrico

Patrizia Casella

Antonio Molino

Daniele Pizzichini

Paola Sangiorgio

Anna Spagnoletta

Valentina Tolaini

Alessandra Verardi

---

**Laboratorio Innovazione delle Filiere Agroalimentari (AGROS – IFAL)**

***Agri-food Supply Chain Innovation Laboratory***

*(Responsabile – Head Maurizio Notarfonso)*

Benedetto Aracri  
Eleonora Colantoni  
Manuela Costanzo  
Gianluca De Rinaldis  
Luciana Di Gregorio  
Valerio Miceli  
Maurizio Notarfonso  
Anna Grazia Scalone  
Silvia Tabacchioni  
Andrea Visca

**Divisione Biotecnologie – Laboratorio Biotecnologie GREEN (BIOTEC-GREEN)**

***Division Biotechnologies – GREEN Biotechnology Laboratory***

*(Responsabile – Head Gianfranco Diretto)*

Gianfranco Diretto

**Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, Università di Torino**

***Department of Life Sciences and Systems Biology, University of Turin***

Federico Sbarra

**Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali, Università della Tuscia, XXXVII Ciclo Dottorato in Scienze delle Produzioni Vegetali e Animali**

***Department of Agricultural and Forestry Sciences, University of Tuscia, XXXVII Doctoral Cycle in Plant and Animal Production Sciences***

Valentina Mastrobuono

**Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali, Università della Tuscia, XXXVIII Ciclo Dottorato in Scienze delle Produzioni Vegetali e Animali**

***Department of Agricultural and Forestry Sciences, University of Tuscia, XXXVIII Doctoral Cycle in Plant and Animal Production Sciences***

Carla Sandri

ENEA  
Servizio Promozione e Comunicazione  
[www.enea.it](http://www.enea.it)

Stampa: Laboratorio Tecnografico ENEA - Centro Ricerche Frascati  
dicembre 2025