

Le infrastrutture ENEA per le applicazioni biotecnologiche

SPECIALE ENERGIA AMBIENTE E INNOVAZIONE

Speciale EAI 2-3/2025

ENEA magazine

eai.enea.it

ISSN 1124-0016



Sommario

**Energia
ambiente
e innovazione**

ENEA magazine

Allegato speciale
al numero 2-3/2025

Le infrastrutture ENEA per le applicazioni biotecnologiche

2	Introduzione
6	Impianto radiogeno per sviluppo di soluzioni biotecnologiche avanzate
7	Stabulario convenzionale per piccoli roditori
8	Impianto diffuso di coltivazione, stress e fenotipizzazione vegetale
10	Piattaforma per la produzione in pianta di biomolecole
12	Piattaforma delle tecnologie omiche
14	Infrastruttura di Citometria, Istologia e Citogenetica (microbica, animale e vegetale)
16	Piattaforma Biotecnologica per la Tossicologia degli Inquinanti Aerodispersi
18	Infrastruttura di biotecnologia computazionale e calcolo avanzato
20	MAIA - Materiali Avanzati in una Infrastruttura Aperta
22	Biotecnologie entomologiche
24	Impianto biotecnologico per la conversione di substrati gassosi in prodotti ad alto valore aggiunto
26	Infrastruttura per il trattamento aerobico di matrici organiche al fine del recupero di materia
27	Impianto sperimentale: Bioreattore a letto mobile
28	Infrastruttura per il trattamento biotecnologico dei reflui e valorizzazione di risorse
29	Infrastruttura di risorse microbiche
31	Hall tecnologiche per processi industriali - Casaccia
34	Hall tecnologiche per processi industriali - Trisaia
37	ICESP - La Piattaforma Italiana degli attori per l'Economia Circolare
39	Piattaforma Integrata per Materiali Bio-Based, Rivestimenti Antimicrobici e Tessili Funzionali

Introduzione

A cura di

"Gruppo di lavoro Biotecnologie" del Dipartimento Sostenibilità, Circolarità e Adattamento al Cambiamento Climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali di ENEA

Coordinamento: Barbara Benassi

Membri: Chiara Alisi, Tiziana Beltrani, Annamaria Bevivino, Vincenzo Cesi, Rosella Franconi, Giulio Gazzola, Silvia Massa, Patrizia Paganin, Marzia Pentimalli, Elisabetta Salvatori, Alessandro Spagni, Mario Tavazza

Le biotecnologie rappresentano una leva strategica per affrontare sfide globali complesse che spaziano dalla salute umana alla sicurezza alimentare, dalla sostenibilità ambientale allo sviluppo di nuovi materiali e processi industriali. In questo contesto, la disponibilità di infrastrutture scientifiche avanzate e integrate costituisce un elemento essenziale per trasformare la ricerca di base in soluzioni applicative ad alto impatto tecnologico e socio-economico. L'ENEA è dotata di una articolata rete di infrastrutture biotecnologiche distribuite nelle diverse sedi sul territorio nazionale*, in grado di supportare attività sperimentali, sviluppo di processi e trasferimento tecnologico lungo l'intera filiera dell'innovazione, dalla generazione della conoscenza fino alla validazione pre-industriale di soluzioni innovative. In questo "Speciale", allegato al numero di Energia Ambiente e Innovazione dedicato alle "Applicazioni biotecnologiche per l'innovazione e la sostenibilità: la ricerca ENEA", sono descritte le principali infrastrutture biotecnologiche ENEA attraverso

delle schede in cui sono evidenziate le caratteristiche tecniche, le potenzialità e i possibili ambiti applicativi.

A ciascuna scheda sono stati associati uno o più codici colore specifici che rimandano al tradizionale ambito biotecnologico in cui ciascuna infrastruttura può essere prevalentemente utilizzata e valorizzata. I codici adottati sono: "red" (applicazioni nel settore biomedico), "green" (agricoltura sostenibile), "yellow" (ambito agroalimentare), "grey" (settore ambientale), "white" (applicazioni industriali), "blue" (biotecnologie marine) e "gold" (applicazioni computazionali).

Il sistema infrastrutturale ENEA comprende impianti sperimentali e piattaforme avanzate capaci di operare su modelli biologici complessi e su diverse matrici ambientali e industriali, favorendo approcci interdisciplinari in vari ambiti applicativi, per lo sviluppo di soluzioni biotecnologiche nei settori sanitario e agroalimentare, del risanamento ambientale e di supporto alla transizione verso processi industriali sostenibili. Tale sistema ci consente di operare lungo l'intera catena del



valore delle biotecnologie, dalla valorizzazione delle risorse biologiche fino allo sviluppo di prodotti e processi innovativi per l'industria, l'ambiente e l'agroalimentare.

Tutte le infrastrutture biotecnologiche ENEA possono trovare ulteriore supporto e valorizzazione in ICESP (Italian Circular Economy Stakeholder Platform), che promuove il dialogo tra ricerca, imprese e istituzioni, favorendo la diffusione di buone pratiche e lo sviluppo di soluzioni orientate alla bioeconomia circolare e sostenibile.

Grazie alla sua funzione di hub nazionale e interfaccia con le iniziative europee, ICESP consente di integrare competenze, tecnologie e modelli operativi, promuovendo sinergie tra ricerca, imprese e istituzioni e contribuendo alla diffusione di soluzioni biotecnologiche orientate alla bioeconomia circolare e sostenibile. Da questo quadro si delinea un ecosistema integrato in grado di supportare attività multidisciplinari e favorire collaborazioni con università, enti di ricerca e imprese.

Codici colore adottati in ambito biotecnologico - *Legenda*



Applicazioni nel settore biomedico



Agricoltura sostenibile



Ambito agroalimentare



Settore ambientale



Applicazioni Industriali



Bioteecnologie marine



Applicazioni computazionali

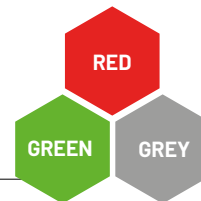
**I centri di ricerca ENEA in Italia sono: Bologna, Brasimone, Brindisi, Casaccia, Faenza, Portici, Trisaia.*



The background is a dark blue gradient with several bright blue bokeh circles of varying sizes. On the left side, there are faint, glowing trails of small blue dots that curve upwards and to the right, resembling particle tracks or data flow.

Le infrastrutture ENEA per le applicazioni biotecnologiche

Impianto radiogeno per sviluppo di soluzioni biotecnologiche avanzate



L'infrastruttura si configura come una piattaforma sperimentale integrata per l'esposizione controllata di modelli biologici a radiazioni sia ionizzanti che non ionizzanti, dedicata alla ricerca, allo sviluppo e alla validazione di applicazioni biotecnologiche in ambito sanitario, ambientale e industriale.

Essa consente lo studio sistematico degli effetti biologici, molecolari e funzionali delle diverse tipologie di radiazione su sistemi *in vitro* (colture cellulari, modelli cellulari avanzati) e *in vivo* (modelli animali), supportando approcci sperimentali interdisciplinari e traslazionali.

Per le radiazioni ionizzanti, l'infrastruttura comprende un impianto radiogeno a raggi X, idoneo all'esposizione di campioni biologici cellulari e di modelli animali (roditori), con un controllo accurato dei parametri di dose e delle condizioni sperimentali. Tale dotazione è impiegata in studi di radiobiologia e radioprotezione, nella valutazione del danno biologico indotto da radiazioni ionizzanti e nello sviluppo di strategie di mitigazione degli effetti avversi, con ricadute dirette nello sviluppo di applicazioni biotecnologiche biomedico-farmaceutiche e ambientali (valutazione dell'impatto ambientale, an-

che in ambienti estremi).

Per le radiazioni non ionizzanti, l'infrastruttura si avvale di un insieme coordinato di strumentazioni che permette esposizioni controllate e riproducibili a diverse tipologie di campi elettromagnetici, impulsi elettrici, campi magnetici a bassa frequenza e onde millimetriche, rappresentativi sia di esposizioni ambientali (incluse quelle associate alle tecnologie 5G a 27,5 GHz) sia di applicazioni tecnologiche e terapeutiche emergenti in ambito neurologico e oncologico.



Strumenti (Casaccia):

- Gilardoni (raggi X CHF 320 HP);
- Camere riverberanti operanti a doppia potenza, dedicate all'esposizione a campi elettromagnetici ad alta frequenza (27,5 GHz), rappresentativi delle tecnologie 5G (band FR2);
- Generatori di impulsi elettrici ultra-brevi a diversa intensità e configurazione (ElettroCELL 1,5 kV; IGEA 3 kV; sistemi UniZaragoza 750 V e 900 V);
- Sistemi di bobine per la generazione di campi magnetici a bassa frequenza (50 Hz);
- Generatore di onde millimetriche (CREO Medical, 4 W, 30,5 GHz).

Stabulario convenzionale per piccoli roditori

RED

Lo stabulario del Centro Ricerche Casaccia dell'ENEA rappresenta una infrastruttura scientifica dedicata alla ricerca biomedica in vivo, operante nel rispetto della normativa nazionale ed europea sulla protezione degli animali utilizzati a fini scientifici (D.Lgs. 26/2014 e Direttiva Europea 2010/63/UE).

La struttura dispone di autorizzazione ministeriale rinnovata (Decreto Ministeriale 1/2024 del 19 febbraio 2024), che ne attesta la conformità ai requisiti tecnici, organizzativi e sanitari.

Si tratta di uno stabulario convenzionale destinato al mantenimento di animali da laboratorio per studi a breve e medio termine, che non richiedono condizioni SPF (*Specific Pathogen Free*), pur garantendo elevati standard igienico-sanitari.

Gli animali sono sottoposti a monitoraggio sanitario periodico per prevenire patogeni zoonotici e assicurare l'affidabilità dei dati sperimentali.

Le sale sono progettate per rispondere alle esigenze etologiche dei roditori, principalmente *Mus musculus* (topi) e, più raramente, *Rattus norvegicus* (ratti). I sistemi di alloggiamento prevedono gabbie conformi agli standard europei con lettiera assorbente e arricchimenti ambientali, come tunnel e materiali per il nido. Il microclima è regolato tramite sistemi automatizzati che controllano temperatura (20–24°C), umidità (45–65%), ciclo luce/buio (12h/12h) e ricambi d'aria filtrata per ridurre ammoniaca e CO₂.

Lo stabulario è dotato di specifiche attrezzature per garantire sicurezza e qualità delle procedure sperimentali, tra cui un sistema per anestesia fisso sotto cappa chimica (Impac5, Vetequip), un sistema per anestesia mobile con filtri (RWD) e armadi di stabulazione IVC (Tecniplast).



Strumenti (Casaccia):

- Sistema per anestesia fisso sotto cappa chimica (Impac5, Vetequip);
- Sistema per anestesia mobile con filtri (RWD);
- Armadi di stabulazione IVC (Tecniplast);
- Lavagabbie (Tecniplast).

L'attività è supervisionata dal Responsabile del benessere animale, dal Medico Veterinario Designato e dall'Organismo Preposto al Benessere Animale (OPBA), assicurando il rispetto delle normative e dei principi delle 3R.

L'infrastruttura costituisce un supporto essenziale per studi preclinici e applicativi nelle biotecnologie biomediche e farmaceutiche, permettendo la validazione *in vivo* di strategie terapeutiche innovative, farmaci e biofarmaci, biomarcatori e approcci di medicina molecolare. Lo stabulario consente studi di efficacia, sicurezza, tossicologia e farmacocinetica, nonché sperimentazioni su modelli animali di patologie umane per lo sviluppo di terapie avanzate. L'infrastruttura svolge inoltre un ruolo strategico nelle ricerche

di radiobiologia, per lo sviluppo di soluzioni in ambito di biotecnologie aerospaziali, inclusa la valutazione di contromisure e l'analisi delle risposte biologiche allo stress radiativo, con applicazioni per la salute umana e le missioni spaziali di lunga durata.

Impianto diffuso di coltivazione, stress e fenotipizzazione vegetale

L'infrastruttura fornisce soluzioni avanzate di coltivazione e produzione di biomassa vegetale a vario scopo industriale.

PIATTAFORMA DI SMART PRECISION FARMING

La piattaforma fornisce soluzioni avanzate di coltivazione senza suolo e agricoltura di precisione assistita da sensori, progettate per migliorare l'efficienza, la sostenibilità e la qualità dei sistemi di produzione agricola. L'infrastruttura integra le soluzioni di coltivazione con sistemi di monitoraggio in tempo reale, controllo automatizzato, per l'ottimizzazione di parametri chiave come crescita, resa, qualità nutrizionale e uso delle risorse.

Le tecnologie disponibili sono applicate allo sviluppo di serre tecnologiche, vertical farm, sistemi indoor per coltivazioni in aree urbane o con risorse limitate, consentendo una significativa riduzione di acqua, suolo e input chimici, nonché una maggiore stabilità e replicabilità della produzione. Le tecnologie disponibili sono applicate per lo sviluppo di sistemi di produzione primaria destinati allo spazio per unità di coltivazione per ideotipi vegetali idonei all'alimentazione degli equipaggi dei futuri vettori spaziali, avamposti lunari e marziani. Tali tecnologie sono anche alla base dello sviluppo di sistemi biorigenerativi di supporto alla vita (BLSS) che riutilizzano scarti di origine vegetale, umani e da allevamento di insetti attraverso processi di biodegradazione.

PIATTAFORMA DI AGRICOLTURA CELLULARE

La piattaforma fornisce soluzioni per la produzione, in scala di laboratorio, di biomassa cellulare vegetale a fini alimentari, cosmetici e ad altro scopo industriale.

PIATTAFORMA DI FENOTIPIZZAZIONE VEGETALE AD ALTA EFFICIENZA

La piattaforma fornisce un sistema di fenotipizzazione vegetale high-throughput per l'ottimizzazione di parametri chiave come crescita, resa, qualità nutrizionale e uso delle risorse.

PIATTAFORMA DI INDUZIONE STRESS SPAZIALI DA GRAVITÀ ALTERATA

La piattaforma consente l'induzione di stress da gravità alterata ai fini di attività di ambito agospaziale e l'analisi degli effetti sui parametri morfometrici e fisiologici della pianta attraverso la fenotipizzazione vegetale ad alta efficienza.

Tutte le tecnologie disponibili sono applicabili ad attività di trasferimento, formazione e capacity building per supportare insegnanti, studenti, aziende e operatori del settore agroalimentare nell'adozione di soluzioni innovative e sostenibili.

RIFERIMENTI AL FOCUS

- **Agricoltura cellulare vegetale e sistemi indoor ad alta tecnologia per produzioni agroalimentari sostenibili e di qualità.**
Silvia Massa, Luca Nardi, Elisabetta Bennici (SSPT - Laboratorio Agricoltura 4.0).
- **Piante per Mondì Lontani: Biotecnologie per l'Agricoltura Extraterrestre.**
Silvia Massa, Luca Nardi, Elisabetta Bennici (SSPT - Divisione Sistemi Agroalimentari Sostenibili, Laboratorio Agricoltura 4.0).

*Automated
HI-TECH, IoT, Clean
Container Farm*



Clean Chambers



Inflatable tent



Single Growth units



"Plant eye" Phenotyping system



Strumenti (Casaccia):

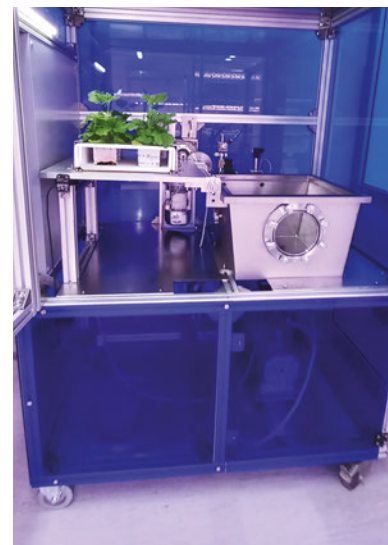
- Impianti di coltivazione fuori suolo: Container farm, sistemi di coltivazione verticale modulabili per ricerca applicata, prototipazione e test su nuove varietà.
- Braccio robotico per coltivazione, irrigazione e raccolta.
- Stampante Delta Wasp 2040 Pro per realizzazione di componenti custom.
- Strumentazione sensoristica e IoT: reti di sensori per monitoraggio in tempo reale di parametri ambientali e culturali (umidità, temperatura, conducibilità, pH, CO₂)
- Piattaforme digitali di raccolta e analisi dati: ambienti cloud per l'elaborazione e visualizzazione di big data agricoli.
- Fluorimetro UV-vis portatile.
- Camera iperspettrale.
- Plant Stress Kit per la valutazione dell'efficienza fotosintetica.
- Thermal camera.
- Luci LED multispettrali regolabili.
- Cappe a flusso laminare per la manipolazione in sterilità di piante in vitro, espianti vegetali, colture cellulari su terreno solido (calli) ed in sospensione.
- Shaker termoregolato.
- Microscopi ottici.
- Phenospex PlantEye F600 multispectral 3D scanner.
- Clinostati 2D e 3D.

Piattaforma per la produzione in pianta di biomolecole (Plant Molecular Farming)

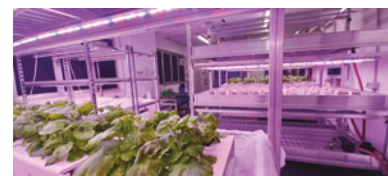
L'infrastruttura di Plant Molecular Farming si configura come una piattaforma tecnologica integrata finalizzata alla produzione e caratterizzazione di biomolecole ricombinanti di interesse biotecnologico, farmaceutico, veterinario, diagnostico e agroalimentare.

La piattaforma consente lo sviluppo, l'ottimizzazione e la validazione di protocolli per la produzione in pianta di biomolecole, supportando attività di ricerca applicata, trasferimento tecnologico e sviluppo preindustriale. L'infrastruttura include un laboratorio termoregolato 'Pahrmagreen' per la coltivazione delle piante in idroponica in configurazioni di vertical farming dotato di illuminazione a LED a spettro fisso ottimizzato per la crescita di diverse specie vegetali consentendo il controllo accurato di molteplici parametri (fotoperiodo, intensità della luce, temperatura, umidità, pH e nutrienti). Tale configurazione permette la coltivazione altamente controllata e riproducibile garantendo condizioni ottimali per l'espressione di proteine ricombinanti. La piattaforma è dotata di un apparato per l'agroinfiltrazione (sistema di espressione di proteine in pianta che sfrutta il batterio del suolo *Agrobacterium tumefaciens*) massiva semi-automatizzata di piante intere che consente il processamento di diversi Kg di foglie. Questa tecnologia consente la produzione rapida ed efficiente di proteine e biocomposti di elevato valore aggiunto, tra cui anticorpi, antigeni, vaccini e nanoparticelle destinati ad applicazioni in ambito umano, veterinario e diagnostico nel settore agroalimentare, inclusi sistemi di rilevazione di contaminanti quali micotossine. A supporto delle procedure di agroinfiltrazione, l'infrastruttura comprende un

biofermentatore per la crescita massiva e controllata dell'agrobatterio. A valle della fase produttiva la piattaforma integra sistemi avanzati di caratterizzazione biomolecolare e biofisica tra cui la risonanza plasmonica di superficie, che consente l'analisi quantitativa e in tempo reale delle interazioni proteina-proteina e proteina-ligando, permettendo la determinazione di parametri cinetici e di affinità fondamentali per la validazione funzionale delle biomolecole prodotte. Per la caratterizzazione delle proprietà fisico-chimiche di particelle e biomolecole in sospensione, l'infrastruttura si avvale dello strumento Zetasizer Pro Red che consente la misura della dimensione idrodinamica, del potenziale zeta, della concentrazione particellare (e.g., virus e nanoparticelle) e indice di polidispersione. Inoltre, l'infrastruttura comprende anche un sistema cromatografico per la separazione, purificazione e caratterizzazione delle biomolecole prodotte avvalendosi dello strumento AKTA FPLC system dotato di diverse colonne cromatografiche. Nel suo complesso, l'infrastruttura rappresenta una piattaforma avanzata e modulare in grado di coprire l'intera filiera sperimentale, dalla produzione vegetale di biomolecole alla loro caratterizzazione funzionale e biofisica, favorendo lo sviluppo di soluzioni biotecnologiche sostenibili, scalabili e ad elevato impatto nei settori biomedicale, veterinario, agroalimentare e diagnostico.



Apparato agroinfiltrazione



Vertical farming



Biofermentatore



DLS



SPR



Strumenti (Casaccia):

- Strutture modulari di vertical farming (ditte Orlandelli Srl e Indoorline) per la coltivazione in idroponica
- Illuminazione Led (ditta C-LED, modello FUTURA; ditta Sylania, modello Gro-Lux full spectrum)
- Sistema semiautomatizzato di agroinfiltrazione (prototipo sviluppato da ENEA in collaborazione con la ditta VS & S Srl.)
- Biofermentatore da 5 L (ditta Sartorius modello BIOSTAT)
- Zetasizer Advances Series-Pro Red (di Malvern Panalytica, Alfatest)
- Nicoya Open SPR
- Sorvall WX100 Ultra, Thermo Fisher Scientific
- Supercentrifuga LYNX 4000, Thermo Fisher Scientific
- AKTA FPLC System (GE Healthcare) corredato di colonne SuperdexTM 75 10/300 GL e SuperdexTM 200 Increase 10/300 GL (Cytiva)

Piattaforma delle Tecnologie Omiche

La piattaforma delle tecnologie omiche rappresenta un'infrastruttura integrata e multidisciplinare dedicata allo studio sistemico degli organismi viventi mediante analisi genomiche, metagenomiche, epigenomiche e metabolomiche.

La piattaforma consente la generazione, l'analisi e l'integrazione di dati molecolari su larga scala, supportando attività di ricerca di base, ricerca applicata, e trasferimento tecnologico nei settori agroalimentare, biotecnologico, nutraceutico, cosmetico e farmaceutico. L'infrastruttura è progettata per coprire l'intero flusso sperimentale necessario alla caratterizzazione molecolare e funzionale di geni e metaboliti garantendo elevata capacità analitica, riproducibilità e scalabilità. L'elemento distintivo della piattaforma risiede nella forte integrazione tra diverse strumentazioni e metodologie omiche, che consentono una visione olistica dei processi biologici e delle loro regolazioni multilivello. La piattaforma dispone di sistemi avanzati per analisi molecolari ad alta processività.

Il sistema Qiaxcel Advanced consente, mediante l'elettroforesi capillare ad alta risoluzione del DNA, l'analisi strutturale e qualitativa degli acidi nucleici, supportando attività di genotipizzazione, controllo qualità e validazione molecolare. I lettori di micropiastre Varioskan Lux e Glomax permettono misurazioni di assorbanza, luminometriche, fluorescenti e multi-modalità gestendo fino a 384 campioni simultaneamente trovando impiego in diversi ambiti quali le quantificazioni su larga scala di attività enzimatiche, acidi nucleici e proteine, risultando particolarmente efficaci per screening di collezioni genetiche e popolazioni segreganti per studi di associazione su caratteri agronomici e nutrizionali, per dirette

applicazioni in ambito biotecnologie per l'agricoltura e la nutrizione. Per lo sviluppo in ambito biomedico, le attività di sequenziamento genomico e metagenomico sono condotte su piattaforma MinION Mk1D, che grazie alla tecnologia long-read permette di studiare la variabilità genetica, le varianti strutturali e identificare nuovi biomarcatori rilevanti per la salute umana. La piattaforma consente inoltre analisi trascrittomiche full-length per lo studio delle modifiche epigenetiche, integrando informazioni genomiche ed epigenomiche sullo stesso campione. Le analisi vengono complementate e integrate da studi epigenomici su piattaforma PyroMark Q48 Autoprep, per la valutazione quantitativa e sito-specifica della metilazione del DNA tramite pirosequenziamento, e dal QuantStudio 5, utilizzato per l'analisi dei profili di metilazione (HRM) e dell'espressione genica, inclusi microRNA e lncRNA.

La componente metabolomica della piattaforma infine si basa su un sistema altamente integrato comprendente piat-

taforme di cromatografia liquida ad alta pressione accoppiata a spettrometria di massa ad alta risoluzione (LC-HRMS) per analisi bulk, desorbimento per ionizzazione elettrospray e spettrometria di massa ad alta risoluzione con mobilità ionica (DESI-IM-MS) per metabolomica spaziale/imaging e HPLC semipreparativa per la purificazione e/o concentrazione di metaboliti di interesse.

Questa dotazione consente analisi metabolomiche polari e non polari, sia targeted che untargeted, per la caratterizzazione di molecole ad alto valore aggiunto o molecole bioattive estratte da specie vegetali di interesse alimentare e medicinale, nonché da scarti agricoli e colture cellulari vegetali, con applicazioni nello sviluppo di prodotti cosmetici e nutraceutici sicuri e sostenibili.



Strumenti (Casaccia):

- Varioskan Lux (Thermo Fisher Scientific);
- Glomax (Promega);
- Qiaxcel Advanced (Qiagen);
- CFX Opus 96 (Biorad);
- QuantStudio 5 (Thermo Fisher Scientific);
- MinION Mk1D (Oxford Nanopore Technologies);
- PyroMark Q48 Autoprep (Qiagen);
- LC-HRMSQ-Exactive (Thermo Fisher Scientific);
- DESI-IM-MS (Waters).



Pirosequenziatore



Quantisjudio



GC-MS
TSQ8000
(Thermofisher Scientific)



LC-HRMS
Ultimate 3000/Qexactive
(Thermofisher Scientific)



LC-HRMS Cyclic DESI-IMS (Waters)



Infrastruttura di Citometria, Istologia e Citogenetica (microbica, animale e vegetale)

L'infrastruttura strumentale dedicata alla citometria, all'istologia e alla citogenetica costituisce una piattaforma integrata di analisi avanzata ad elevata complessità tecnologica, progettata per supportare un ampio spettro di applicazioni biotecnologiche.

Gli approcci di microscopia ottica e di microscopia in fluorescenza rappresentano piattaforme analitiche trasversali ad elevato contenuto informativo, in grado di supportare analisi multiparametriche avanzate su campioni citologici e istologici di origine animale e vegetale. Tali metodiche consentono lo studio morfo-funzionale di cellule, tessuti e strutture sub-cellulari, l'analisi spazialmente risolta dell'espressione di biomar-

catori molecolari e la caratterizzazione qualitativa e quantitativa di assetti cromosomici, riarrangiamenti genomici e specifiche sequenze di DNA mediante tecniche d'ibridazione fluorescente *In Situ* (*FISH: Fluorescence in Situ Hybridization* e *GISH: Genomic In Situ Hybridization*) ad alta risoluzione. L'integrazione di approcci di imaging convenzionale e fluorescente permette inoltre l'applicazione di saggi citogenetici e molecolari, fondamentali per lo studio della stabilità genomica, della variabilità genetica e dei processi di differenziamento cellulare. Le infrastrutture dedicate all'istopatologia e all'immunoistochimica permettono il processamento automatizzato di tessuti, la preparazione di sezioni sottili

e la loro colorazione standardizzata, supportando studi morfologici e molecolari di alta qualità particolarmente rilevanti per la ricerca preclinica, la tossicologia e la caratterizzazione e valutazione di biomarcatori in ambito biomedico.

L'infrastruttura è inoltre corredata di uno strumento di acquisizione e analisi automatizzata ad alta produttività di preparati cellulari per microscopia (*Metafer*), per lo screening di alterazioni cromosomiche e biomarcatori citogenetici di esposizione ed effetto, con ricadute nelle biotecnologie ambientali, della salute e della sicurezza. Le piattaforme di citometria a flusso, infine, permettono analisi multiparametriche su cellule, animali e vegetali, microrganismi e particelle



Strumenti (Casaccia):

Microscopia ottica e in fluorescenza:

- Microscopio ottico Nikon Eclipse E800, telecamera DS-Fi1 acquisizione e analisi immagini mediante software NIS;
- Microscopio ottico Nikon Eclipse E800, telecamera Digital Sight 10;
- Ottiche per analisi spermatozoi Software SCA;
- Microscopio fluorescenza Zeiss Axio Obs, equipaggiato con tecnologia Apotom3server;
- Microscopi a fluorescenza Nikon Eclipse
- TE2000-S, DIALUX 20, LEICA MZFLIII;
- Stereomicroscopio LEICA WILD MACRO M420.

Istopatologia e immunoistochimica:

- Processatore tessuti LEICA ASP 300S;
- Microtomo LEICA RM2255;
- Vibratomo LEICA VT1200S;
- Coloratore LEICA Autostainer XL

Citogenetica:

- Sistema di scansione ed analisi automatizzata per preparati citologici METAHER (Metasystems).

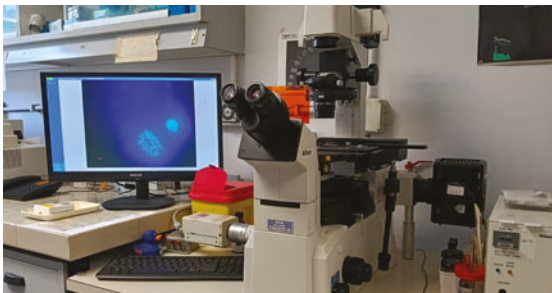
Citometria a flusso:

- Citometro FACS-Calibur (Becton Dickinson);
- CytotflexS a 4 laser (Beckman Coulter).

sub-cellulari, includendo studi su vitalità, ciclo cellulare, immunofenotipo, contenuto di DNA e analisi di ploidia; nonché il monitoraggio microbiologico in ambito ambientale e industriale e la valutazione dell'efficacia antimicrobica e anti-biofilm

di composti bioattivi. L'impiego di protocolli specifici per cellule vegetali, tra cui metodi per l'isolamento di protoplasti, nuclei e cromosomi e di tecniche d'ibridazione fluorescente in sospensione (*FI-SHIS*, *Fluorescence in Situ Hybridization*

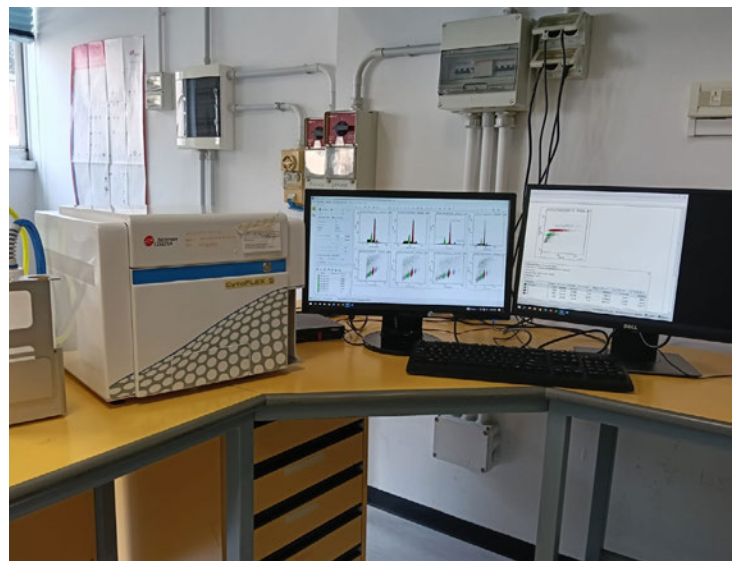
In Suspension), estende ulteriormente le potenzialità della citometria ad ambiti quali il miglioramento genetico vegetale, l'analisi delle risposte delle piante agli stress ambientali, la cariotipizzazione a flusso di linee vegetali e l'epigenetica.



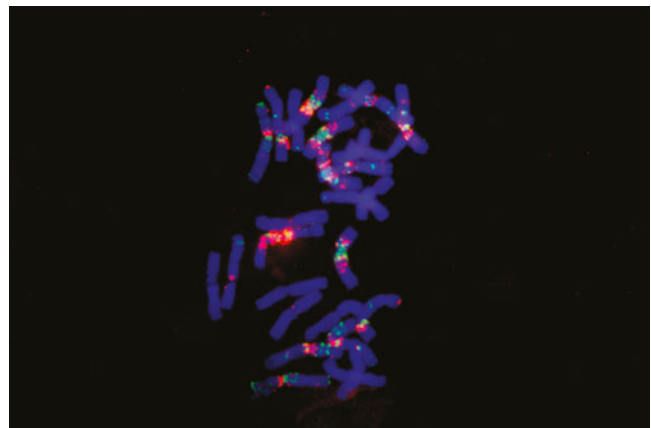
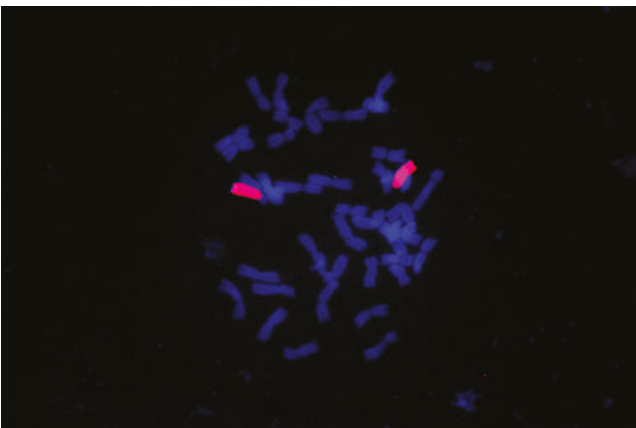
Microscopio



Metafer



Citometro



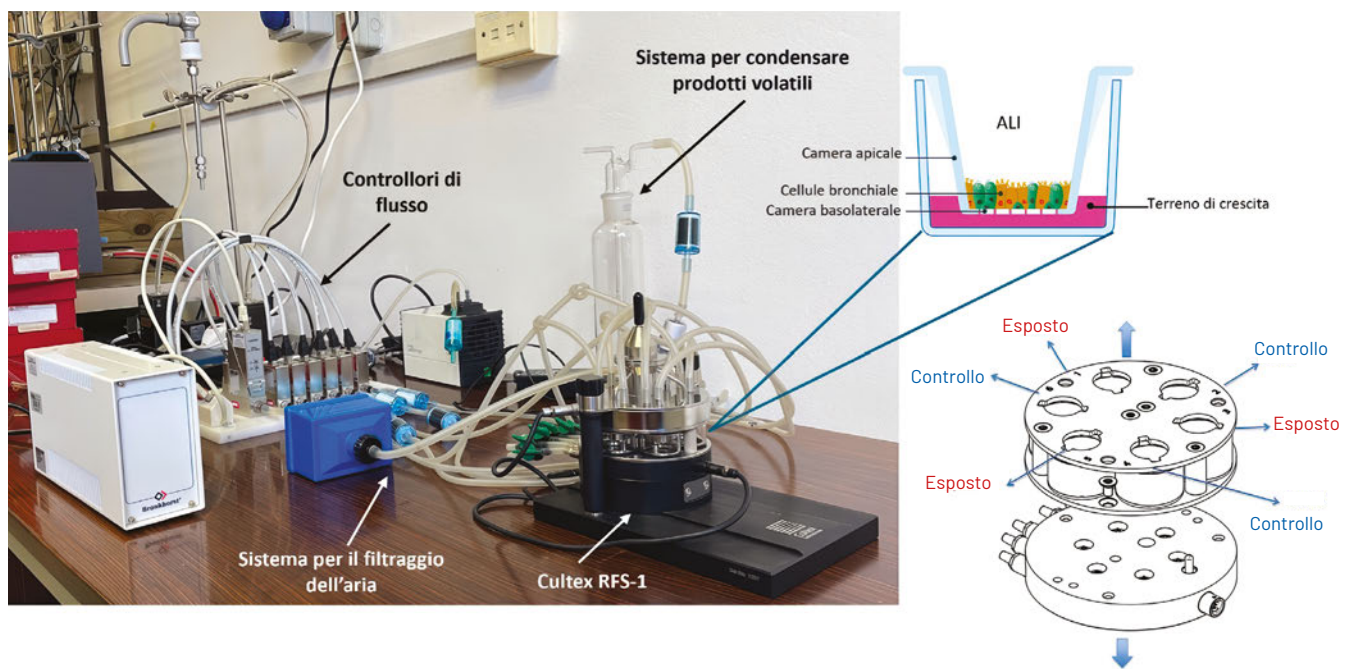
Piattaforma Biotecnologica per la Tossicologia degli Inquinanti Aerodispersi

La piattaforma è destinata alle attività di tossicologia umana in risposta all'esposizione a inquinanti aerodispersi, nonché allo sviluppo di modelli e tecnologie finalizzati alla gestione sostenibile della qualità dell'aria in ambienti sia indoor sia outdoor. Permette la pianificazione e definizione di strategie di mitigazione in termini di qualità dell'aria, volte alla tutela della salute occupazionale e pubblica, favorendo lo sviluppo e l'attuazione

di interventi tempestivi e basati su solide evidenze scientifiche, con l'obiettivo di promuovere condizioni ambientali più salubri. Il sistema è fondato su un modello espositivo (Cultex) per colture cellulari umane abbinato a un sistema integrato di campionamento delle componenti aerodisperse.

Grazie alla sua natura portatile, consente l'esposizione delle cellule umane in tempo reale alle specifiche condizioni chi-

mico-fisiche dell'ambiente (che vengono monitorate e misurate) in cui il sistema è installato. Il sistema espositivo prevede 6 alloggiamenti in quarzo al cui interno è possibile inserire altrettanti campioni di cellule esposte all'interfaccia aria-liquido. Un sistema di controllo integrato di temperatura, permette il mantenimento delle cellule alla temperatura ottimale di 37°C. Il flusso di prelievo del campione d'aria ambiente è pari a 1 L min⁻¹ mentre



ogni campione cellulare è esposto ad un flusso d'aria variabile tra 5 e 10 mL min⁻¹. Il flusso di prelievo e quello di esposizione di ogni singolo espositore sono garantiti da 7 controllori di flusso gestiti da un sistema programmabile tramite PC e da una pompa a vuoto. La caratterizzazione degli aerosol comprende la determinazione gravimetrica della concentrazione in massa del particolato atmosferico (PM) con diametro aerodinamico pari o

inferiore a 2,5 µm (PM_{2.5}), nonché delle concentrazioni in massa di PM₁₀, PM_{2.5} e PM₁, della distribuzione dimensionale numerica delle particelle e del black carbon, associate alla misura di temperatura, pressione e umidità dell'ambiente. Grazie alla combinazione di un modello espositivo innovativo, capace di riprodurre in tempo reale le condizioni di esposizione umana agli inquinanti aerodispersi, e di un sistema comple-

to di caratterizzazione degli aerosol, la piattaforma consente di ottenere dati affidabili e scientificamente robusti sugli effetti biologici della qualità dell'aria. La portabilità e la flessibilità del sistema ne ampliano ulteriormente il potenziale applicativo, rendendolo uno strumento strategico sia per la ricerca che per il supporto alle politiche di prevenzione e mitigazione del rischio.



Strumenti - Sistema modulare portatile (Casaccia, Bologna, Faenza)

- Sistema portatile espositivo di cellule Cultex RFS-1 (Cultex® Laboratories);
- Campionatore FAI Hydra per PM₁₀, PM_{2.5} e PM₁ sia per indoor che per outdoor;
- Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS);
- Contatore di particelle GRIMM;
- Analizzatore di "black carbon" AETHALOMETER AE33;
- Stazione micro-metereologica compatta (Vaisala);
- Sensori di movimento HD4V3TS4.

Infrastruttura di biotecnologia computazionale e calcolo avanzato

L'infrastruttura di biotecnologia computazionale e calcolo avanzato si articola in:

- un sistema integrato composto da una workstation Supermicro SYS-551A-T di classe enterprise ad alte prestazioni, integrata con sistemi di realtà virtuale immersiva, progettata per supportare analisi complesse, multidimensionali e multifisiche in ambito biologico e biotecnologico. La piattaforma integra un processore multi-core di fascia professio-

nale, ampia memoria ECC ad alta velocità e GPU di ultima generazione, dispone di un sistema di storage che combina SSD ad alte prestazioni con sistema NAS per archiviazione e gestione sicura di grandi volumi di dati biologici. La piattaforma è completata da funzionalità di gestione remota, sistemi di raffreddamento avanzati e gruppo di continuità (UPS), assicurando stabilità, sicurezza dei dati e operatività continua in contesti multitente. La workstation supporta più

utenti tramite Windows Server e integra macchine virtuali Linux Ubuntu, permettendo lo sviluppo e l'esecuzione di pipeline bioinformatiche avanzate, software open-source specialistici e ambienti riproducibili per l'elaborazione e l'analisi dei dati biologici.

L'infrastruttura, in particolare, è impiegata per simulazioni di docking e di dinamica molecolare, simulazioni ad elementi finiti (FEM), studi di bioinformatica strutturale e funzionale, sviluppo



Strumenti (Casaccia)

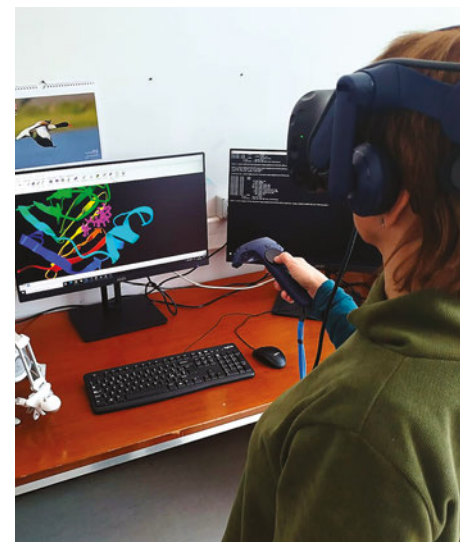
Workstation

- Supermicro SYS-551A-T, CPU Intel Xeon W9-3475X a 36 core per calcoli intensivi, 1 TB di RAM DDR4 ECC, GPU doppia RTX 4090 per rendering e simulazioni GPU-intensive
- Supermicro SYS-740A-T, 2xCPU Intel Xeon Silver 4316 a 20 Core, 1 TB RAM DDR4 ECC, 80 TB di capacità disco grezza.

Sistemi di archiviazione

- NAS QNAP 4-Bay ad alte prestazioni per gestione sicura di grandi dataset biologici
- 2xNAS QNAP 6-Bay di 60 TB di capacità disco grezza.

- Sistemi di realtà virtuale e strumenti aptici: Kit HTC VIVE Pro2, Falcon Haptic Device
- Server multitente: Windows Server e Virtual Machine Linux Ubuntu
- Sistemi di raffreddamento e gruppo di continuità UPS

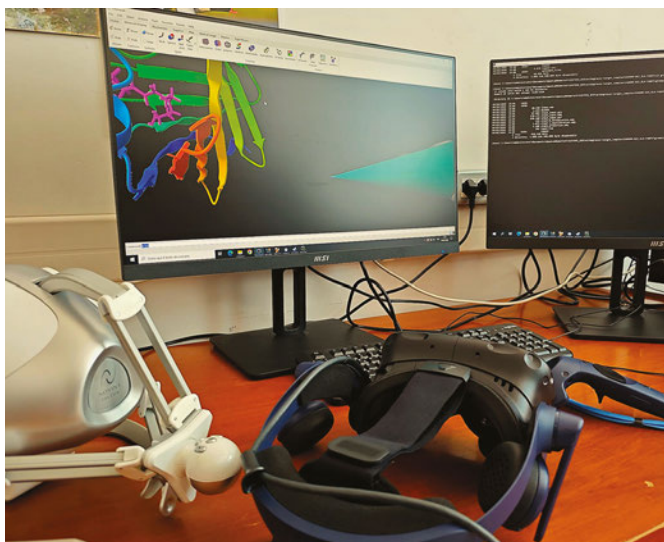


di pipeline computazionali e bioinformatiche avanzate nonché per la gestione e l'analisi di big data biologici, supportando diversi ambiti di applicazione quali lo sviluppo di soluzioni in campo biomedico e farmaceutico, lo screening computazionale di molecole bioattive presenti in matrici di diversa origine, sia vegetale sia marina – incluse risorse di scarto – l'identificazione di nuovi target terapeutici, nonché lo studio computazionale di sistemi biologici complessi e delle inte-

razioni biomolecolari, finalizzati alla promozione del benessere e al miglioramento della qualità della vita.

- Un sistema composto da una workstation ad alte prestazioni Supermicro SYS-740A-T, integrata con un sistema di storage di rete ridondante per la conservazione, gestione e analisi di grandi volumi di dati di sequenziamento di nuova generazione (Next Generation Sequencing, NGS). La piattaforma è dedicata allo studio della variabilità genetica e

dell'espressione genica (trascrittomica), con particolare riferimento all'analisi delle relazioni tra genotipo e tratti fenotipici di interesse agronomico. Le applicazioni includono studi di genomica e genomica quantitativa, analisi di RNA-seq, identificazione di marcatori molecolari e supporto computazionale ai programmi di miglioramento genetico e valorizzazione delle risorse genetiche vegetali.



MAIA Materiali Avanzati in una Infrastruttura Aperta

MAIA è una infrastruttura aperta al territorio, alle imprese e alla ricerca per lo sviluppo di materiali avanzati da applicare in sistemi di produzione additiva integrando apparecchiature di sviluppo stampa 3D, caratterizzazione e trattamenti post processo. MAIA è parte del network ENEA ADDMAN dedicato allo sviluppo di competenze e tecnologie di 3D Manufacturing che coinvolge diversi centri di ricerca e laboratori ENEA su tutto il territorio nazionale.

In particolare, le attività sulle biotecnologie comprendono:

• **Bioprinting, stampa 3D di materiali per applicazioni biotecnologiche.**

Il bioprinting consente di stampare cellule per creare costrutti 3D complessi, anche con molteplici tipi cellulari, fornendo modelli più realistici dei tessuti biologici rispetto ai tradizionali sistemi 2D e permettendo un'analisi più accurata della loro organizzazione e funzione. La stampa di materiali 3D rappresenta un approccio biotecnologico utile per la

produzione di dispositivi medici temporanei, i quali possono stimolare la rigenerazione tissutale e ridurre l'impatto ambientale, migliorando significativamente la salute e il benessere dei pazienti. Utilizzando materiali avanzati che possono essere assorbiti e degradati dal corpo senza effetti nocivi, è possibile progettare soluzioni mediche su misura che si integrano perfettamente con i tessuti del paziente, favorendo una guarigione più rapida e riducendo le complicanze. La stampa 3D di polimeri bioattivi e biodegradabili sta trasformando anche il settore alimentare e nutrizionale, migliorando il bio-packaging e permettendo la creazione di soluzioni personalizzate per la conservazione degli alimenti. Allo stesso modo, l'uso della stampa 3D nei processi industriali ottimizza la produzione di materiali avanzati, ecocompatibili e resistenti, riducendo costi e impatti ambientali. In ambito ambientale, la stampa 3D è fondamentale per creare filtri e dispositivi per il trattamento dei rifiuti e la depurazione dell'acqua, contribuendo

a ridurre l'inquinamento. Queste innovazioni favoriscono lo sviluppo sostenibile, promuovendo salute, benessere e una produzione industriale responsabile.

• **Sviluppo di protesi medicali mediante tecnologia Electron Beam Melting (EBM)** che realizza parti stampate a partire da polveri di metalli o leghe biocompatibili. In campo biomedicale l'EBM già trova applicazione per la realizzazione di protesi per diverse parti del corpo (capo, ginocchio, anca etc.).

La possibilità di realizzare strutture trabecolari mediante l'EBM consente di ottenere protesi che presentano una struttura spugnosa, simile a quella dell'osso, che può essere rapidamente colonizzata dalle cellule di tessuto umano per una migliore compatibilità e con riduzione dei rischi di rigetto. L'EBM consente di stampare diversi tipi di leghe metalliche, in particolare leghe di interesse per la protesica quali le leghe Cobalto-Cromo e le leghe di titanio.



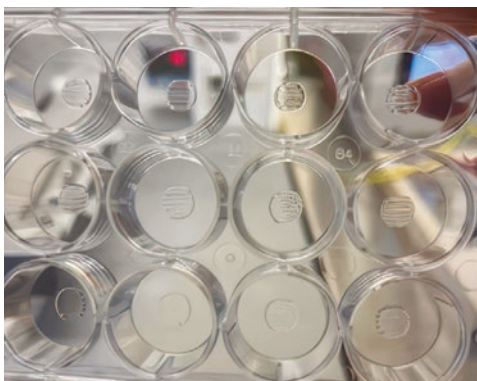
Strumenti (Casaccia)

- Stampante BIOPLOTTER RegenHu
- Stampante EBM ARCAM A2X General Electric
- Caratterizzazione chimico fisica mediante: microscopia ottica e SEM/EDS, diffrazione a raggi X, analisi di area superficiale e porosità mediante adsorbimento di gas, tomografia e prove meccaniche

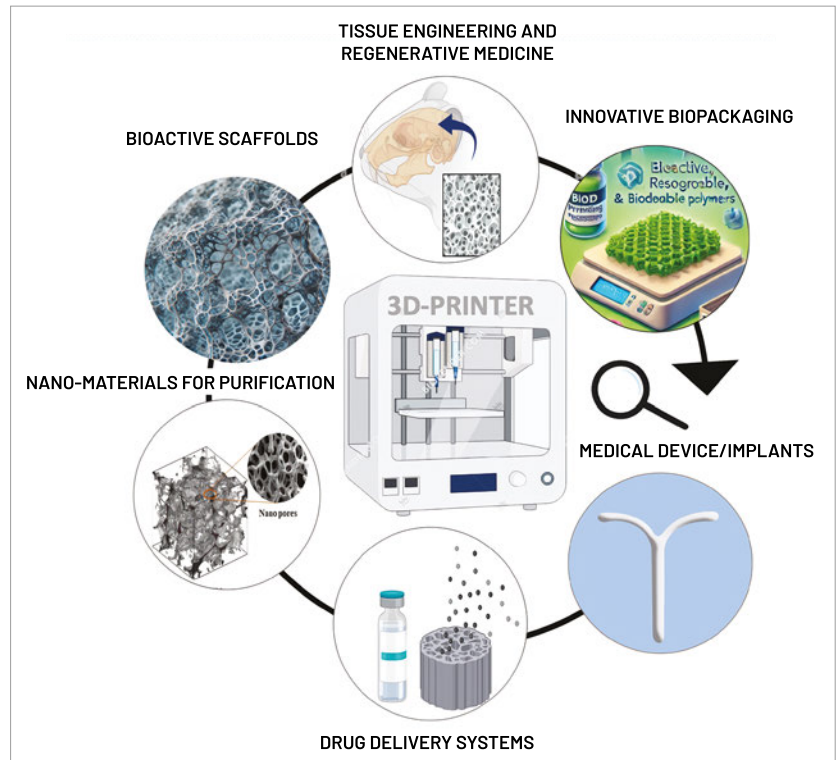




Bioplotter RegenHu



Multiwell con costrutti 3D di cellule DA0Y in hydrogel LamininK411



Applicazioni bioprinting



Stampante 3D Arcam A2X GE



Campioni stampati in 3D in lega di titanio mediante EBM

Biotecnologie Entomologiche ed Entomologia applicata

L'infrastruttura fornisce soluzioni avanzate di colonizzazione, allevamento, diagnosi molecolare, micromanipolazione e microiniezione embrionale di specie di insetti di interesse agrario, sanitario e per l'agros spazio.

PIATTAFORMA DI MICROMANIPOLAZIONE E MICROINIEZIONE EMBRIONALE

Transfezione di ceppi specifici di batteri endosimbionti da specie donatrice a specie ricevente di insetti nocivi per la salute umana o dannosi per la produzione agroalimentare, tramite microiniezione embrionale o di insetti adulti.

La piattaforma consente anche la diagnosi dell'attività biologica in vivo di metaboliti, proteine, altre molecole organiche ed inorganiche.

PIATTAFORMA DI DIAGNOSI MOLECOLARE PER BIOTECNOLOGIE ENTOMOLOGICHE

La piattaforma consente la diagnosi molecolare e la caratterizzazione su base

genetica di specifici ceppi di batteri e la caratterizzazione su base genetica di popolazioni di insetti, nonché l'analisi della risposta di batteri simbiotici alle variazioni di alcuni parametri ambientali.

PIATTAFORMA DI COLONIZZAZIONE ED ALLEVAMENTO DI SPECIE DI INSETTI DI INTERESSE AGRARIO, SANITARIO E PER L'AGROSPAZIO

Allevamento in laboratorio di insetti utili (per es. parassitoidi per il controllo naturale delle popolazioni di insetti nocivi, insetti di interesse per l'agro-spazio), insetti dannosi all'agricoltura o nocivi per la salute (vettori di patogeni come le zanzare) sia su substrati naturali che artificiali, per la loro caratterizzazione biologica e comportamentale finalizzata a: sviluppo di nuove strategie per il loro contenimento (tecnica dell'insetto sterile "SIT" e dell'insetto incompatibile "IIT"); individuazione di varietà tolleranti o resistenti di specie vegetali; individuazione di composti naturali interferenti con la biologia ed etologia di insetti dannosi; validazione di protocolli

di rigenerazione scarti di natura organica per favorire chiusura cicli.

PIATTAFORMA DI ALLEVAMENTO DI INSETTI PER LA VALORIZZAZIONE DI SOTTOPRODOTTI DELLE FILIERE AGROALIMENTARI

La piattaforma consta di sistemi combinati per l'allevamento di insetti coleotteri (es. *Tenebrio molitor* e *Alphitobius diaperinus*, entrambi approvati dalla CE per il consumo umano) e tutto ciò che ad esso attiene: formulazione di diete equilibrate per C/N, che consentano di valorizzare scarti delle filiere agroalimentari; test di scelta degli alimenti; test di accrescimento in funzione delle diete somministrate; rilevamento dei principali parametri di crescita; influenza della dieta su fertilità e mortalità degli insetti; ottenimento di polveri proteiche dalle larve e determinazione del contenuto proteico (che varia in funzione della dieta somministrata); ottenimento di prodotti bio-based; valorizzazione di scarti dell'allevamento (es. frass, esuvie).

Strumenti (Casaccia, Trisaia)

- Microscopio a piano rovesciato;
- Sistema di micromanipolazione microscopica motorizzato;
- Sistema di micromanipolazione microscopica ad olio ad alta precisione;
- Sistema di microiniezione ad azoto a comando digitale, programmabile o manuale;
- Puller laser per la produzione di capillari in quarzo;
- Puller a resistenza per la produzione di capillari in alluminosilicato e borosilicato;
- Beveler per apertura e lavorazione punta capillari
- Macchine per PCR e PCR real-time;
- Cappa a flusso laminare, Cappe chimiche;
- Apparecchiature per elettroforesi di DNA e proteine;
- Stufa ventilata per essiccazione;
- Cutter da laboratorio 500 ml;
- Celle climatizzate equipaggiate con luci LED multispettrali regolabili e varie tipologie di ambienti confinati per allevamento a scopo sperimentale o di tipo massale di insetti di interesse agrario e sanitario;
- Stereoscopi per osservazioni microscopiche, sistema di acquisizione e visualizzazione su schermo di immagini microscopiche;
- Strumenti per la determinazione delle macrofrazioni (Digestore Kjeldahl per proteine, bilancia termica per Umidità %, strumento per determinare l'attività dell'acqua, muffola per ceneri, ecc.)



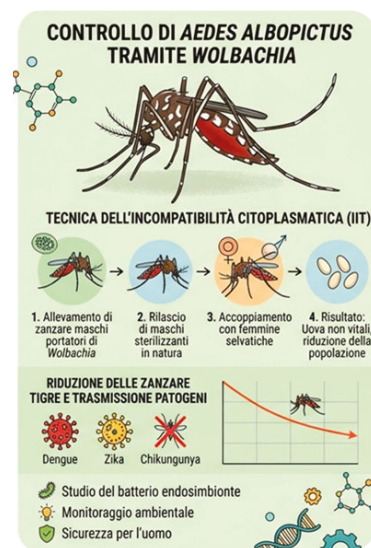
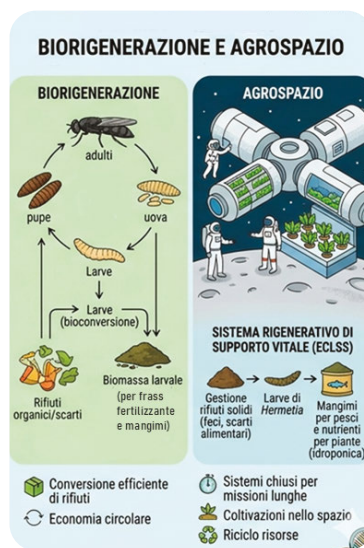
Allevamento insetti per valorizzazione filiere agroalimentari



Controllo biologico



Strumentazione per studio e manipolazione Wolbachia



RIFERIMENTI AL FOCUS

Biotechnologie entomologiche, basate su simbionti batterici, per il controllo di zanzare vettori di patologie emergenti - Riccardo Moretti, Elena Lampazzi, Maurizio Calvitti (SSPT- Divisione Sistemi Agroalimentari Sostenibili, Laboratorio Agricoltura 4.0)



Impianto biotecnologico per la conversione di substrati gassosi in prodotti ad alto valore aggiunto

L'infrastruttura permette lo sviluppo su scala pilota di media e grossa taglia di processi biotecnologici per la conversione di substrati carboniosi di natura gassosa (es. anidride carbonica, monossido di carbonio) e idrogeno in prodotti ad alto valore aggiunto (es. biometano, idrometano, solventi organici etc.) mediante l'impiego di consorzi microbici idrogenofilici.

L'impianto supporta la ricerca industriale e lo sviluppo sperimentale finalizzate all'ottimizzazione impiantistica e all'efficientamento dei processi biotecnologici, la progettazione di base ed avanzata, lo sviluppo di sistemi per l'automazione e controllo e l'analisi tecnico-economiche preliminari.

Il processo biotecnologico che sta alla base della tecnologia, può essere sfruttato per convertire, in presenza di H₂, qualsiasi fonte puntuale di anidride car-

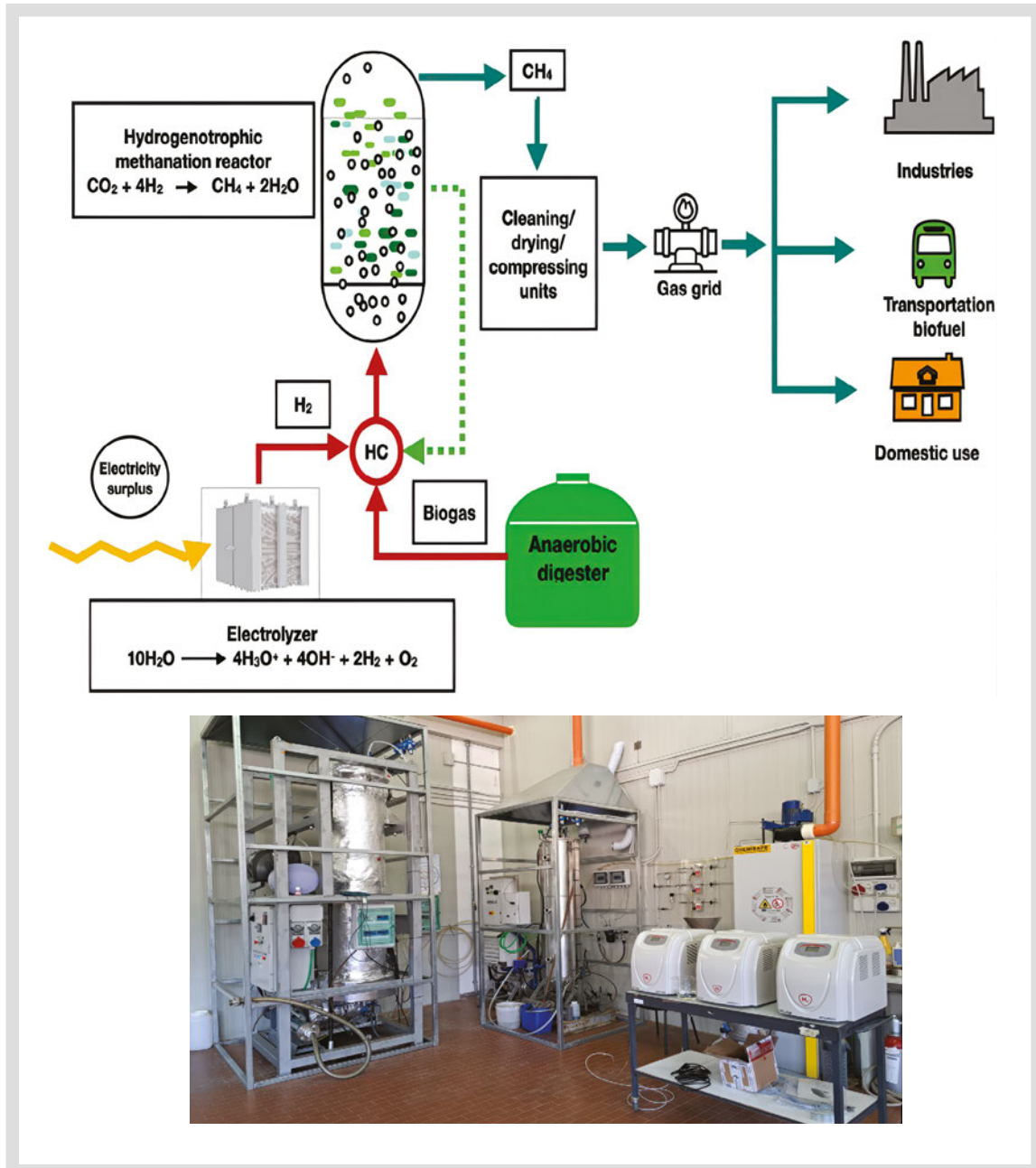
bonica e monossido di carbonio in biometano, contribuendo così a raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione dell'economia nazionale. La possibilità di impiego di flussi di H₂ prodotti dall'acqua mediante elettrolisi alimentata da energia elettrica rinnovabile consente quindi l'integrazione tra diverse infrastrutture di approvvigionamento energetico da fonti rinnovabili (impianti fotovoltaici, eolici e di produzione di biogas) provvedendo al contempo a garantire maggiore flessibilità alla rete nazionale di distribuzione di energia elettrica nelle fasi di sbilanciamento tra produzione e consumo. Nel caso dell'upgrading di biogas e syngas la tecnologia proposta rappresenta un'interessante alternativa ai tradizionali sistemi di upgrading basati su processi chimico-fisici, grazie alla possibilità di incrementare, in linea teorica, i livelli di produzione di biometano fino a garan-

tire la completa conversione della CO₂ immessa. In tale contesto l'integrazione della tecnologia proposta all'interno del ciclo di trattamento di rifiuti organici biodegradabili, tra cui anche i fanghi di depurazione, rappresenta un esempio di economia circolare dato che il biometano prodotto può essere impiegato come sostituto del gas naturale in diverse applicazioni di tipo civile e industriale nonché come carburante per autotrazione. Inoltre, nel caso specifico degli impianti di trattamento di acque reflue, l'incremento degli output energetici derivanti dalla conversione dei substrati carboniosi di natura gassosa contribuirebbe in maniera significativa al raggiungimento degli obiettivi di neutralità energetica imposti dalla comunità europea che tali infrastrutture debbano soddisfare a medio termine.



Strumenti (Brasimone)

- piattaforma sperimentale dotata di bioreattori di pilota di piccola (70L) e grossa (200L) scala dotati di sistemi di gestione e controllo (HMI/SCADA) automatizzati;
- strumentazione analitica per il monitoraggio di parametri fisico-chimici real-time e off-line (es. set di gas cromatografi con sistemi di FID e TCD; generatori di idrogeno da banco; sonde analitiche etc.). Strumentazione acquistata in parte con fondi PNRR.



Infrastruttura per il trattamento aerobico di matrici organiche al fine del recupero di materia

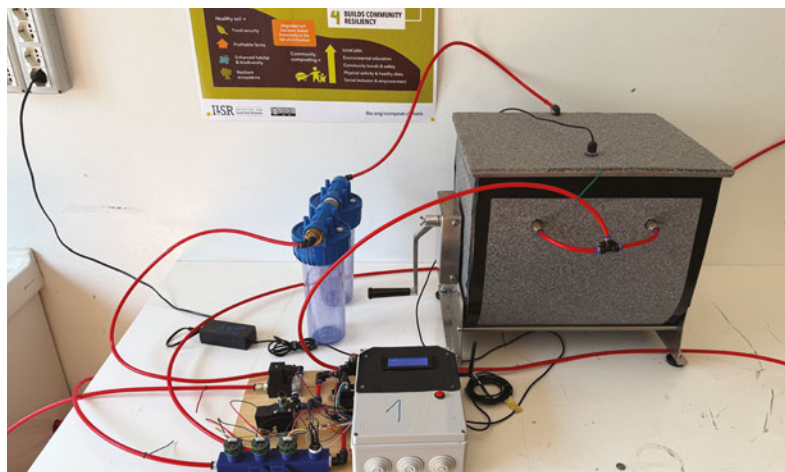
WHITE

GREY

L'infrastruttura consiste in una hall tecnologica capace di sperimentare su diverse matrici organiche processi di trattamento aerobico (compostaggio) anche con l'eventuale aggiunta di additivi e bioattivatori per migliorare il prodotto finale.

Nei reattori da banco, un sistema di controllo e monitoraggio ad hoc sviluppato nei laboratori ENEA consente la raccolta dati di numerosi parametri di processo ed il loro salvataggio in remoto. Questi dati vengono poi usati in un sistema di feedback in quasi tempo reale per apportare modifiche tempestive al sistema in modo da correggere il processo e renderlo più efficiente.

A complemento dell'attività in scala banco nella hall sono disponibili tre compostiere elettromeccaniche utilizzabili per esperimenti a scala pilota per poter definire il processo in modalità più compatibili con le realtà industriali.



Strumenti (Casaccia)

- Reattore da banco ad areazione forzata con sistema di monitoraggio, controllo di processo da remoto e raccolta dati su server in tempo reale.
- Compostiere elettromeccaniche per il trattamento dai 10 ai 30 kg/giorno di scarti alimentari.
- Varie strumentazioni analitiche per la verifica della qualità del prodotto finale:
 - Termobalance,
 - pHmetro da suolo,
 - Analisi elementare,
 - Apparato per il calcolo del OUR (Oxygen Uptake Rate)



Impianto sperimentale: Bioreattore a letto mobile

WHITE

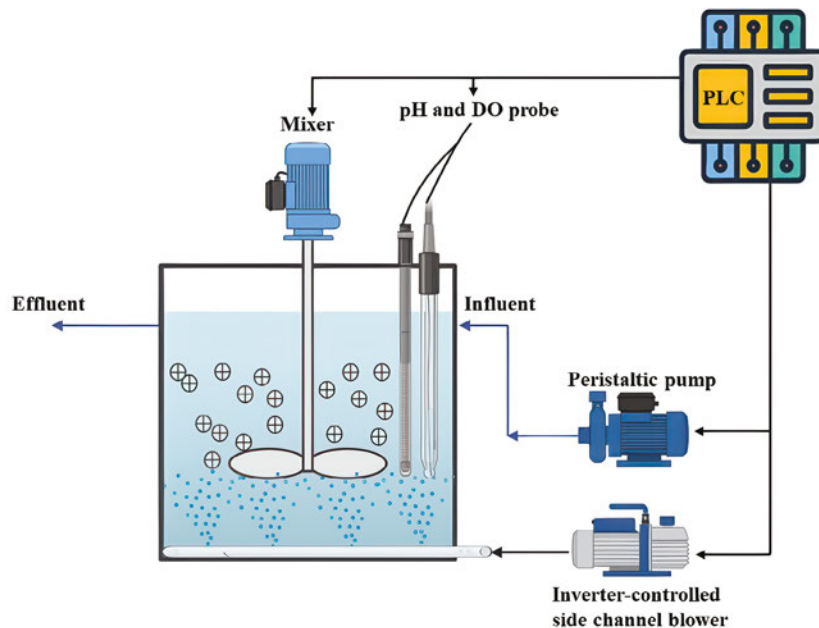
GREY

Impianto in scala pilota di dimensioni significative per il trattamento biologico di acque di rifiuto. L'impianto valuta la possibilità di utilizzo di bioreattori a letto mobile per il trattamento dei reflui.

Il letto mobile, costituito di supporti immersi nel mezzo liquido, permette la crescita di un biofilm capace di rimuovere inquinanti dalle acque di rifiuto.

Strumenti

L'impianto è al momento posizionato all'interno di un impianto di trattamento reflui in provincia di Napoli. L'impianto è dotato di sonde per l'acquisizione dei principali parametri di monitoraggio di processo on-line.



Infrastruttura per il trattamento biotecnologico dei reflui e valorizzazione di risorse

WHITE

GREY

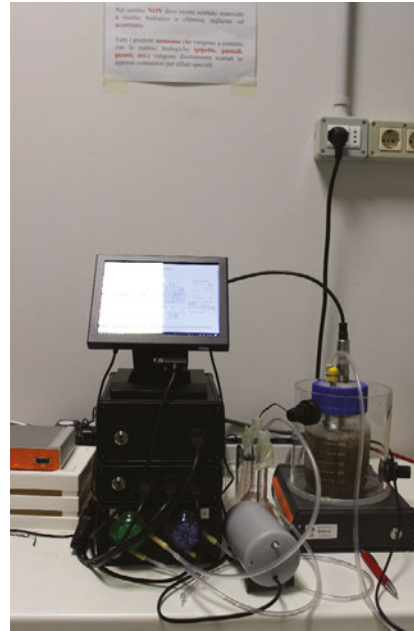
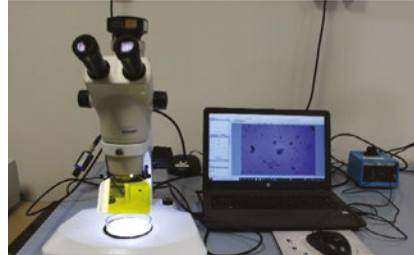
L'infrastruttura permette l'applicazione di processi biotecnologici per il trattamento delle acque di rifiuto per la rimozione degli inquinanti e la valorizzazione delle risorse quali il riuso dell'acqua, il recupero di azoto, fosforo e la produzione di metano ed idrogeno.

La strumentazione a disposizione permette di effettuare attività di ricerca di base ed industriale e sviluppo sperimentale finalizzate all'ottimizzazione impiantistica e all'efficientamento del processo; progettazione di base; valutazione della efficienza del processo; monitoraggio e gestione del processo biotecnologico; sviluppo di sistemi per il monitoraggio, controllo ed automazione di processo; analisi tecnico-economiche preliminari.



Strumenti (Brasimone)

- Microscopio ottico, fluorescenza e contrasto di fase;
- Stereomicroscopio;
- Respirimetri;
- Bact-control
- Tutta a principale strumentazione analitica per il monitoraggio di parametrichimico fisici e microbiologici sia in real-time sia off-line.





L'infrastruttura è dedicata allo studio, conservazione, caratterizzazione e sfruttamento funzionale della biodiversità microbica e vegetale, integrando approcci di microbiologia avanzata, omiche fenotipiche e molecolari, coltivazioni controllate e tecnologie digitali, al fine di sviluppare soluzioni innovative per biotecnologie industriali, agricoltura, biorisanamento, sicurezza e qualità alimentare. Le competenze e le strumentazioni disponibili consentono di operare lungo l'intera filiera che va dalla risorsa biologica all'applicazione finale, includendo:

- **Valorizzazione della biodiversità microbica**

Conservazione, isolamento, coltura e produzione di biomassa microbica (batteri aerobi, anaerobi, lieviti, funghi), con caratterizzazione metabolica, fenotipica, filogenetica, spettrometria di massa, finalizzata a potenziali applicazioni in ambiti quali l'agricoltura, la tutela dell'ambiente, la conservazione dei beni culturali, la bioenergia, la qualità e la sicurezza alimentare e la salute.

- **Identificazione, tracciabilità e qualità biologica**

Sistemi avanzati di identificazione e tipizzazione microbica basati su approcci metabolico-fenotipici, multi-omici, spettrometria di massa, spettroscopia a infrarossi a trasformata di Fourier, applicabili al controllo di qualità, alla tracciabilità, al monitoraggio ambientale, alla sicurezza delle filiere agroalimentari.

- **Analisi e produzione di metaboliti microbici e algali**

Allevamento e caratterizzazione di microalghe finalizzati alla produzione di biomassa e metaboliti ad alto valore aggiunto, sviluppo di metodologie estrattive green e analisi dei metaboliti microbici e algali per applicazioni nutraceutiche, alimentari, ambientali, industriali, nel settore mangimistico, cosmetico e farmaceutico.

- **Agricoltura sostenibile e sistemi confinati**

Coltivazione di piante in ambienti controllati e in condizioni estreme, studio delle interazioni pianta-microrganismo

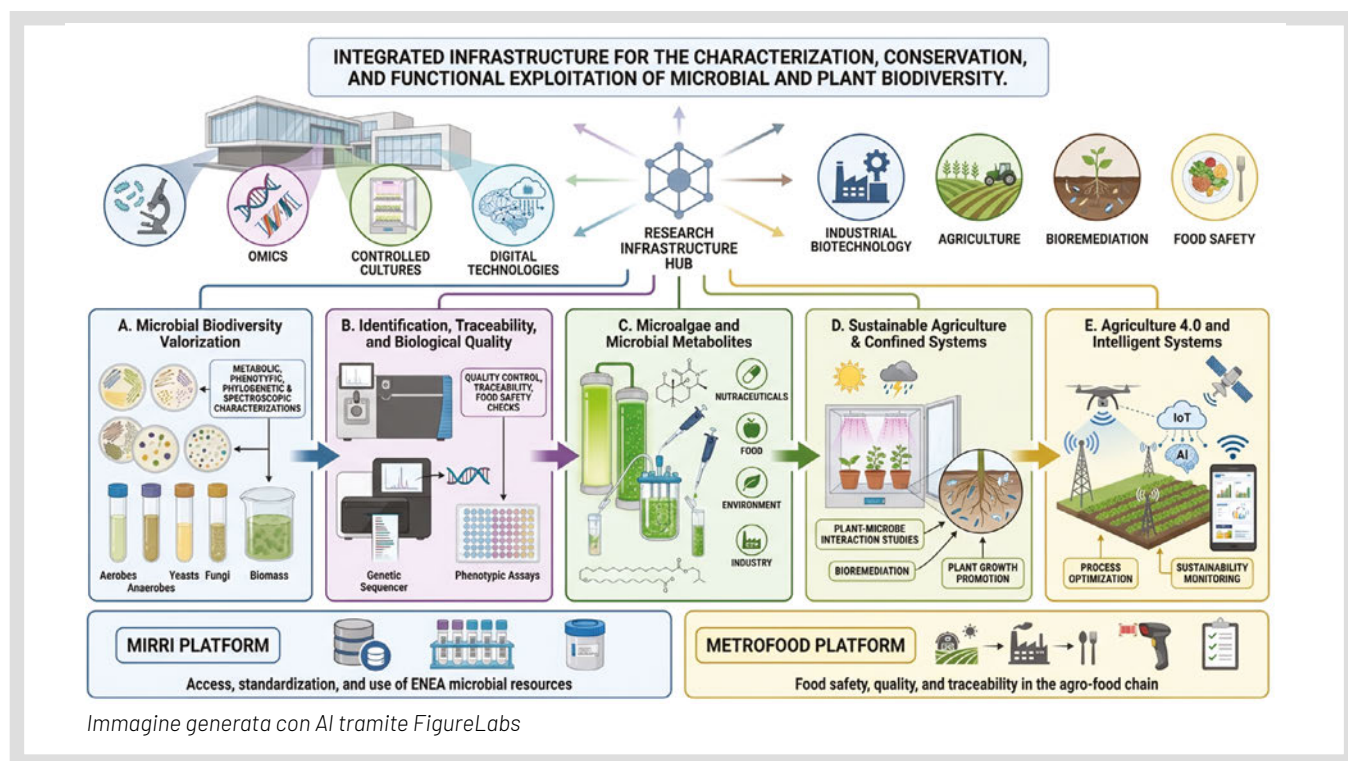
in condizioni di stress biotici e abiotici, sviluppo di biosoluzioni per biorisanamento e supporto alla crescita vegetale, attraverso l'impiego di microrganismi benefici, bioinoculanti, agenti di biocontrollo, biostimolanti e tecnologie a basso impatto ambientale.

- **Agricoltura 4.0 e sistemi intelligenti**

Integrazione di Intelligenza Artificiale e Internet of Things per il monitoraggio, l'ottimizzazione dei processi produttivi e la gestione sostenibile di sistemi agricoli innovativi.

Tutte le attività sono integrate e valorizzate attraverso le piattaforme tecnologiche:

- **MIRRI**, per l'accesso, la standardizzazione e l'uso applicativo delle risorse microbiche della collezione ENEA;
- **METROFOOD**, per la sicurezza alimentare, la qualità e la tracciabilità lungo la filiera agro-alimentare.



Strumenti (Casaccia, Brindisi, Trisaia)

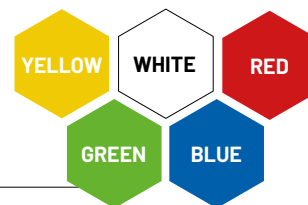
- Ultracongelatore -150°C, -80°C, Liofilizzatore;
- Cappe a flusso laminare Biosafety level II, Cabine per anaerobiosi, Cappe chimica; apparecchiature per elettroforesi di DNA; ultracongelatori; incubatori statici, shaker refrigerati, PCR, real-time PCR, stereomicroscopi, microscopi ottici, spettrofotometri;
- Bioreattore 2-5 L Sartorius Biostat B twin ed MFCS 4 Software;
- Sistemi Biolog MicroStation Biolog Gen III – Rigel;
- MALDI-TOF (Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight) Mass Spectrometer;
- MALDI Biotyper Sirius System;
- Bioreattore/Flat plate system per la crescita delle microalghe. Fotobioreattori a colonna; estrattori pressurizzati per estrazione solido-liquido; u-HPLC-DAD-ELSD e GC-FID per analisi cromatografiche;
- HPLC con detector RID;
- Stazioni a microcosmi in carrello ventilato termoregolabile (ASTM E1197-87. 2004), Simulatori di campo (Microcosmo e carrello ventilato).

Strumenti (Portici)

- Microcosmo per l'allevamento di piante sotto condizionamento biotico ed abiotico. Simulatore di campo hi-tech nato da un brevetto ENEA con la partecipazione del Gruppo FOS. Commercializzato da Piano Green.



Hall tecnologica processi agroindustriali (Centro Ricerche Casaccia)



La Hall Tecnologica Processi Agroindustriali ospita **unità tecnologiche** destinate alla messa a punto e alla validazione di **processi di downstream (DSP)** applicati a flussi (es. sospensioni cellulari, lisati, biomasse/slurry fungine e microalgali, microbiche) di origine **biotecnologica** ed alla conseguente **formulazione di prodotti** (es. metaboliti microbici e algali) o intermedi (es. estratti, frazioni concentrate) di interesse nei settori del food e della mangimistica, della nutraceutica, della cosmetica, dell'agroindustria e della farmaceutica.

L'integrazione di **tecnologie complementari** (metodiche di estrazione tradizionali e supercritiche, tecnologie separative a membrana, evaporazione mediante spray-drying o liofilizzazione) consente lo studio di processi di valorizzazione a cascata, delle matrici ottenute nei processi biotecnologici in un'ottica di scarto zero in linea con l'Obiettivo di Sviluppo Sostenibile n°12.

L'approccio metodologico si orienta allo studio dei processi in termini di messa a punto in **scala laboratorio (TRL 3-4)**, verso il trasferimento alla **scala pilota prima (TRL 5-6)** e, in un secondo momento, alla **prototipazione industriale (TRL 7-8)**. Il modus operandi, legato alle esigenze di committenza, si articola come di seguito:

1. Valutazione preliminare della matrice in ingresso e del target molecolare del processo.
2. Definizione preliminare del layout DSP in termini di operazioni unitarie (OU).
3. Valutazione della efficacia delle OU in termini di rese e qualità del target molecolare.

4. Ottimizzazione dei parametri di processo nelle OU.

5. Modellazione in scala laboratorio e pilota del layout DSP in simulazioni di processo continuo.

6. Analisi dei disallineamenti rispetto ai target di performance.

7. Selezione delle condizioni di processo ottimali.

8. Definizione del percorso di scaling-up e trasferimento tecnologico.

9. Supporto alla fase di prototipazione industriale.

Le soluzioni individuate, se validate dalla scala laboratorio alla scala pilota, forniscono elementi concreti per l'analisi degli scenari tecnico-economici associati al potenziale trasferimento industriale.

Le piattaforme tecnologiche integrate di DSP e le competenze in house contemplano:

- **Processi estrattivi tradizionali e con fluidi supercritici**

Applicazione di metodiche integrate e complementari di estrazione per il recupero di molecole di natura polare (es. enzimi, proteine, metaboliti secondari idrofili) in soluzione acquosa o idroalcolica, o non polare (es. provitamine, pigmenti, molecole antiossidanti, acidi grassi, metaboliti secondari lipofili) mediante anidride carbonica supercritica, intervenendo sulle biomasse e sulle frazioni da esse derivanti in uscita dai processi biotecnologici (es. biomasse algali, fungine, microbiche) a valle delle fasi di pre-trattamento quali disidratazione e/o macinatura.

- **Processi separativi mediante tecnologie di membrana a flusso tangenziale**

Le tecnologie di separazione a mem-

brana in particolare quelle riguardanti le tecniche pressure-driven (es.: microfiltrazione, ultra e nanofiltrazione, osmosi inversa) sono applicate per l'ottenimento di pool di molecole e corpuscoli target (es. esosomi, proteine, peptidi, enzimi, mono e polisaccaridi) a partire dal frazionamento di sospensioni/soluzioni derivanti dai processi biotecnologici (es. soluzioni lisate, estratti, vegetali e fungini), attraverso: a) la chiarificazione mediante microfiltrazione/ultrafiltrazione; b) l'individuazione di layout specifici di separazione/concentrazione con ultrafiltrazione, nanofiltrazione e osmosi inversa in base alla interazione dimensionale e chimica tra molecola e superficie di membrana; c) la diafiltrazione sulle frazioni concentrate per la purificazione delle molecole target. È possibile la riduzione dell'impronta idrica di processo attraverso il recupero dell'acqua dai permeati dell'ultimo stadio e la valorizzazione delle molecole in essi presenti.

- **Stabilizzazione e formulazione di microincapsulati finali**

Gli estratti a fluidi supercritici o le frazioni concentrate mediante membrana vanno incontro alla stabilizzazione mediante tecniche di spray-drying o liofilizzazione. Il micro-incapsulamento mediante agenti di rivestimento come carboidrati (es. maltodestrine) o proteici (idrolizzati proteici) favorisce una maggiore conservazione delle proprietà biologiche o nutrizionali dei prodotti ottenuti e la preservazione della funzionalità in caso di rilascio di composti attivi.



Unità tecnologiche e strumentazione (CASACCIA)

Le unità banco e pilota di DSP ospitate presso la Hall Tecnologica "Processi agroindustriali" includono:

- **Impianto di estrazione con soluzione acquose e idroalcoliche includente:**

Impianto estrattivo sino a 4 kg di matrice trattata e 50 litri di soluzione estrattiva prodotta operante con cicli di pressione/decompressione (8 bar) continuativi e temperature operative sino a 80 °C.

- **Facility di estrazione a fluidi supercritici** così articolata:

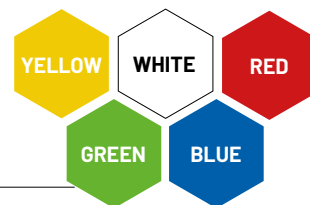
La facility è organizzata al fine di sviluppare processi basati sull'estrazione a fluidi supercritici (CO₂) in scala pilota per la verifica del protocollo separativo in scala di laboratorio e per la verifica estrattiva in termini di rese e qualità su scala pilota.

- Estrattore per banco SPE-ED SFE 2 di Applied Separations (presso C. R. Trisaia) con celle di estrazione da 50 ml e capacità di trattamento sino a 5 g di matrice. Pressione massima di esercizio sino a 680 bar e temperature sino a 250°C. Possibilità di ricorso a cosolvente estrattivo (es. etanolo).
- Impianto pilota di estrazione Luwar per matrici solide fino a 300 g per matrice con celle di estrazione da 700 ml. Pressioni operative sino a 350 bar, temperature sino a 80 °C. Possibilità di ricorso a co-solvente. Sistema di separazione a più vessel estrattivi per il frazionamento degli estratti funzionalmente alla loro maggiore purezza finale.

- **Facility di separazione tangenziale a membrana di microfiltrazione (MF), ultrafiltrazione (UF), nanofiltrazione (NF) e osmosi inversa (OI)** così articolata:

Sezione Sistemi in scala laboratorio: costituita da impianti per la validazione dei layout di processo preliminari in termini di efficienze separative e di concentrazione (reiezioni, fattori volumetrici di concentrazione si compone di:

- 1 Impianto ceramico MF/UF scala banco, dotato di un recipiente a pressione con membrana tubolare da 0,1 m², capacità di trattamento 5 L/giorno, pressione: 3-5 bar
- 1 Impianto MF-UF-NF-RO polimerica scala banco (Sepacell) dotato di membrana piana da 266 cm², capacità di trattamento: 5 L/giorno, pompa centrifuga, pressione: 5-50 bar



Sezione Sistemi in scala pilota: si compone di impianti di taglia differente in termini di capacità giornaliere di trattamento che variano dai 5 ai 300 L/g. Questi impianti sono in grado di simulare i processi in continuo su una scala rappresentativa operando con parametri di processo idonei per lo scaling-up industriale.

- 1 Impianto pilota MF/UF ceramico/polimerico equipaggiato con 1 modulo tubolare ceramico 0,1 m² o polimerico a spirale avvolta da 0,25 m², o polimerica a spirale avvolta 0,1 m², pompa a lobi da 1200 L/h, capacità di trattamento: 10-20 L/g, pressione esercizio: 1-5 bar. Acquisizione parametri di processo in linea.
- 1 Impianto pilota NF/UF ceramico/polimerico equipaggiato con 1 modulo tubolare ceramico 0,1 m² o polimerico a spirale avvolta da 0,25 m², pompa a pistoncini da 600 l/h, capacità di trattamento: 10-20 L/g, pressione esercizio: 7-30 bar. Acquisizione parametri di processo in linea.
- 1 Impianto pilota ceramico MF equipaggiato con due moduli tubolari ceramici da 0,35 m² ciascuno, pompa centrifuga portata max 10.000 L/g, capacità di trattamento: 300 L/g, pressione esercizio: 3-5 bar
- 1 Impianto pilota UF-NF equipaggiato con un modulo a spirale da 7-8 m², capacità di trattamento: 300 L/giorno, pompa centrifuga portata massima 6000 L/h, pressione esercizio: 5-40 bar
- 1 Impianto pilota NF-RO equipaggiato con un modulo a spirale da 7-8 m², capacità di trattamento: 300 L/giorno, pompa triplex, pressione esercizio: 8-50 bar
- Impianto pilota di dissalazione a osmosi inversa (SWRO) equipaggiato con 2 alloggiamenti ad alta pressione, e quattro moduli a spirale avvolta da 7 m², superficie filtrante 28-32 m², pompa triplex, capacità di trattamento: 2000 L/h, pressione esercizio: 20-40 bar .
- Apparecchiature per utilities di processo (chiller refrigeranti) scala banco e pilota.

La Hall Tecnologica Processi Agroindustriali opera in modo complementare con la **Hall Tecnologica Agrobiopolis** (Centro Ricerche Trisaia) in cui vengono condotti:

- il pretrattamento su larga scala di biomasse diversificate (es. macinazione, liofilizzazione),
- campagne sperimentali di estrazione a fluidi supercritici su scala banco,
- l'implementazione su scala pilota di processi di spray-drying e microincapsulamento,

Operazioni queste, che assicurano una integrazione sinergica delle due hall all'interno del Laboratorio BIOEC (Divisione AGROS) e consentono lo studio, lo sviluppo e la validazione dei processi di downstream in ambito biotecnologico, dalla scala pilota fino alla verifica preindustriale.

In tale contesto, acquista valore strategico il supporto della Piattaforma **Metrofood** nell'ambito della caratterizzazione chimico-fisica delle frazioni intermedie del DSP.

Le competenze nel trattamento di matrici primarie e secondarie rendono infine la Hall Tecnologica Processi Agroindustriali in grado di interagire anche con l'infrastruttura **MAIA** (es. manifattura additiva/stampa 3D), per la produzione di prototipi di biomateriali includenti molecole o pool molecolari derivanti da intermedi o frazioni ad elevato valore biologico o funzionale (es. composti antiossidanti, antimicrobici) e con l'infrastruttura **Biotechnologie Entomologiche ed Entomologia applicata** per la valorizzazione delle produzioni entomologiche attraverso il recupero di composti ad uso food/nutraceutico (es. oli ricchi in acidi grassi, idrolizzati proteici) con metodiche estrattive green.

Hall tecnologica Agrobiopolis (Centro Ricerche Trisaia)

La Hall Tecnologica Agrobiopolis del Centro Ricerche ENEA Trisaia costituisce una infrastruttura avanzata dedicata allo sviluppo, all'integrazione e allo scaling-up di processi per i sistemi agroalimentari e la bioeconomia, con particolare attenzione alla valorizzazione di biomasse, sottoprodotti e flussi di processo. La Hall si estende su una superficie complessiva di 980 m² e ospita nove Unità Operative Pilota progettate per operare sia in modo autonomo sia in configurazioni integrate e modulari, secondo schemi di processo specifici. Questa impostazione consente di riprodurre, in ambiente controllato, catene di processo complesse e realistiche, riducendo il divario tra ricerca di laboratorio e applicazione pre-industriale. Elemento distintivo della Hall è la sua funzione di piattaforma integrata per lo sviluppo di processo, resa possibile dall'interazione organica con i laboratori di supporto, dotati della strumentazione necessaria all'ottimizzazione dei parametri di processo a livello di laboratorio, e con la Hall tecnologica "Processi Agroindustriali" del C.R. ENEA Casaccia. Le Unità Operative Pilota sono supportate da impianti centralizzati di servizi tecnologici (vapore, aria compressa, acqua industriale e demineralizzata) e da una Unità di Servizio Mobile per le operazioni di pulizia interna e gestione dei flussi di processo. Questa dotazione garantisce flessibilità operativa e continuità delle attività sperimentali, rendendo la Hall idonea allo sviluppo e alla validazione di processi in ottica di scale up industriale.

AMBITI APPLICATIVI

Le attività della Hall Tecnologica Agrobiopolis coprono un ampio spettro di applicazioni, tra cui:

- sviluppo e sperimentazione su scala pilota di processi di concentrazione ed essiccazione per l'industria agroalimentare;
- valorizzazione di sottoprodotti, scarti e reflui di processo, in ottica di economia circolare;
- sviluppo, ottimizzazione e scaling-up di processi di fermentazione e biotrasformazione finalizzati alla produzione di cellule microbiche, vegetali e biomolecole di interesse industriale;
- stabilizzazione e formulazione di prodotti ad alto valore aggiunto (ingredienti funzionali, composti bioattivi, estratti).

UNITÀ OPERATIVE PILOTA

Fermentazione e bioreazione – scala laboratorio e pilota

Nei laboratori e negli impianti di fermentazione e bioreazione vengono condotte attività a scala di laboratorio e scala pilota, finalizzate allo studio dei processi produttivi di microrganismi (lieviti, batteri e funghi) e di molecole bio based.

In un'ottica di economia circolare, particolare attenzione è rivolta allo sviluppo di substrati di crescita a basso costo, ottenuti dal recupero e dalla valorizzazione degli scarti dei processi agro alimentari e agroindustriali. Inoltre, sono oggetto di studio i processi fermentativi per la produzione di bio-based per applicazioni in settori produttivi vari. Rivestono carattere prioritario anche le attività di ricerca, sviluppo e trasferimento tecnologico in ambito farmaceutico, dedicate allo studio dei processi di crescita di cellule animali (CHO e HEK) per la produzione di anticorpi monoclonali.

Gli impianti di fermentazione e bioreazione, su scala di laboratorio e pilota, comprendono:

- un complesso impiantistico multifun-

zionale per lo scaling up dei processi produttivi, dotato di bioreattori con capacità massima di 50 e 500 litri e di un fermentatore da 15 litri;

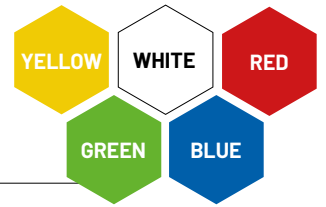
- impianti di downstream processing, tra cui centrifuga a piatti, impianto di liofilizzazione e spray drying;
- un laboratorio in camera bianca, equipaggiato con fermentatori da banco da 2 e 5 litri, utilizzati per il set up e l'ottimizzazione dei bioprocessi;
- un laboratorio di microbiologia, a supporto delle attività di fermentazione e bioreazione.

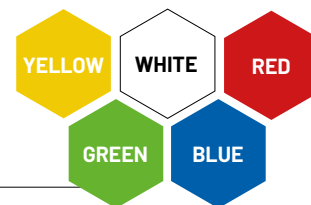
Evaporazione a film cadente – scala pilota

L'impianto pilota di Evaporazione a Film Cadente è finalizzato alla concentrazione in continuo di succhi e soluzioni acquose a bassa viscosità iniziale e con basso contenuto di solidi sospesi.

Il processo, operato in regime continuo, presenta una capacità di trattamento – espressa in termini di acqua evaporata – pari a circa 80 kg/h e consente un controllo accurato dei tempi di residenza e dei profili termici, grazie alla formazione di un film liquido sottile sulle superfici di scambio termico. Le condizioni operative permettono di limitare la temperatura di processo, che non supera i 50 °C, minimizzando lo stress termico e preservando la qualità del prodotto trattato.

L'impianto è idoneo allo sviluppo e alla validazione di processi di concentrazione in condizioni rappresentative di scala pre-industriale, assicurando affidabilità nello scaling-up e un'efficace integrazione con le successive fasi di disidratazione (spray drying, liofilizzazione).





Liofilizzazione – scala banco, pre-pilota e pilota

In quest'ambito, la Hall Tecnologica Agrobiopolis dispone di:

- sistemi di liofilizzazione da laboratorio, adatti a studi preliminari e prove di fattibilità;
- una scala pre pilota ad elevata flessibilità operativa, con capacità fino a 16 litri in bulk, particolarmente idonea allo studio dei parametri di processo e alla loro ottimizzazione fine (profili termici, pressori e tempi di ciclo);
- un impianto di scala pilota (60 litri) di tipo farmaceutico, con la camera di liofilizzazione integrata in ambiente a contaminazione controllata (camera bianca), idoneo alla validazione di processi avanzati e alla produzione in condizioni controllate.

Questa articolazione consente di accompagnare il processo di liofilizzazione lungo un continuum di scale, riducendo i rischi nello scaling up e garantendo elevata qualità, riproducibilità e trasferibilità industriale, in particolare per matrici e prodotti sensibili al calore e ad alto valore aggiunto.

Spray Drying – scala laboratorio e pilota

La Hall Tecnologica Agrobiopolis dispone di sistemi di spray drying per lo sviluppo e lo scaling-up di processi di disidratazione continua di soluzioni, sospensioni ed emulsioni, inclusi prodotti e matrici termolabili.

In particolare, sono disponibili:

- un sistema in scala laboratorio avanzata, con capacità evaporativa fino a circa 2 L/h, idoneo allo studio dei fenomeni di atomizzazione, essiccamento e alla definizione dei parametri di processo;
- una Unità Operativa Pilota con capacità evaporativa fino a 20 L/h, rappresentativa di condizioni pre-industriali, utilizzabile per la validazione di processo e la valutazione della trasferibilità industriale. La tecnologia consente inoltre operazioni di incapsulamento e stabilizzazione di composti bioattivi, attraverso il controllo delle condizioni di processo e l'impiego di opportuni agenti di supporto, risultando efficace nell'ambito della formulazione e valorizzazione di prodotti ad alto valore aggiunto.

La Hall Tecnologica Agrobiopolis opera in modo complementare e sinergico con le infrastrutture del Centro Ricerche ENEA

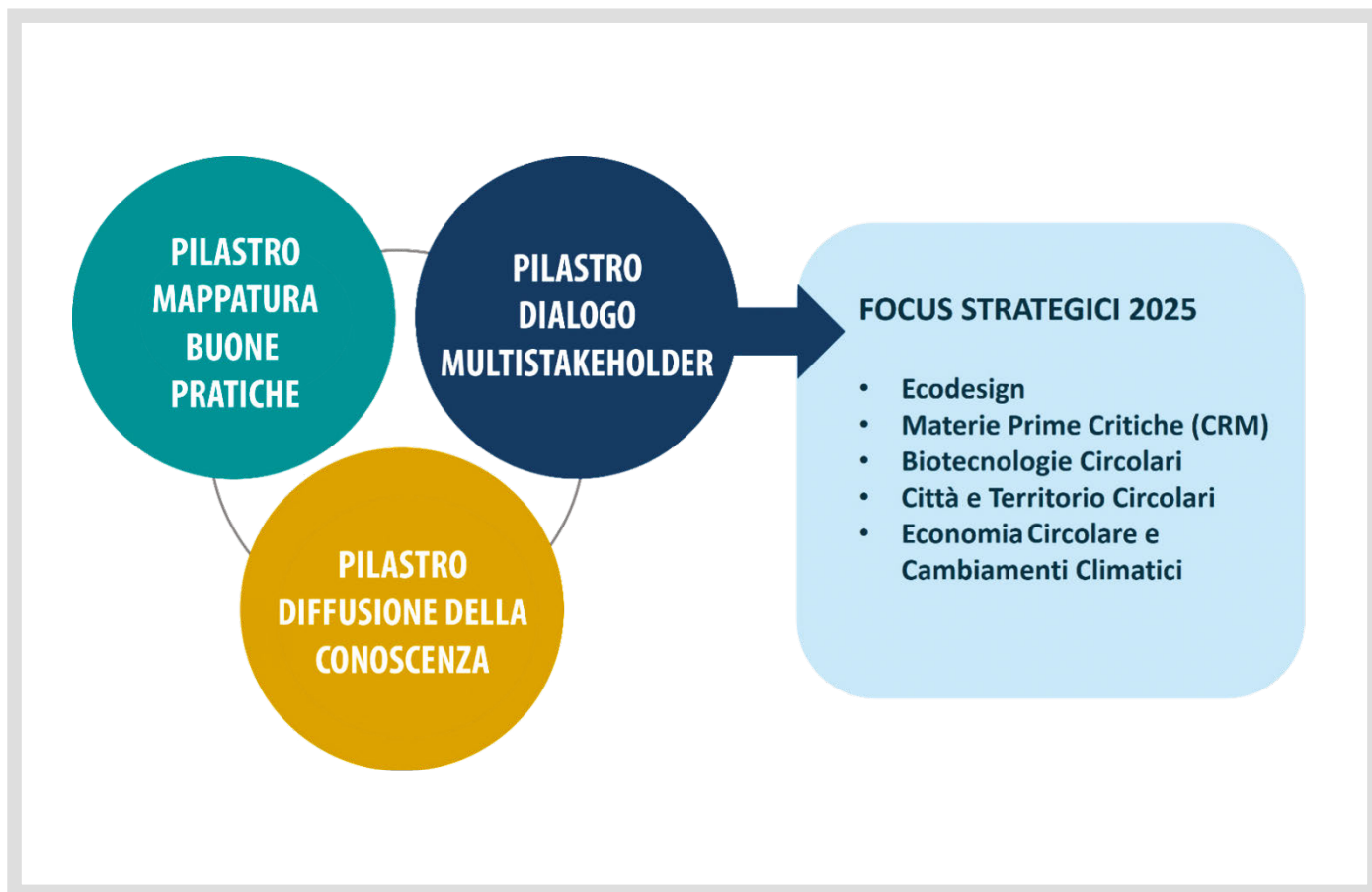
Casaccia in particolare con la hall Tecnologica "Processi Agroindustriali", configurandosi come nodo di una piattaforma ENEA integrata per lo sviluppo di processi agro industriali e biotecnologici lungo l'intera catena del valore.

Tale integrazione consente la realizzazione di filiere di processo distribuite ma perfettamente coordinate, che possono svilupparsi secondo differenti schemi tecnologici, tra cui:

- produzione di biomassa microbica e metaboliti mediante processi di fermentazione e bioreazione sviluppati e scalati in Trisaia, con successiva estrazione selettiva a fluidi supercritici presso il Centro Ricerche Casaccia;
- processi di separazione e frazionamento a membrana sviluppati e validati a Casaccia, seguiti dal trasferimento dei flussi di processo in Trisaia per le fasi di concentrazione, disidratazione, stabilizzazione e formulazione finale.

Il risultato è una piattaforma ENEA unica nel suo genere, capace di supportare in modo integrato lo sviluppo di processi complessi, dalla prova di concetto alla validazione in scala pilota, riducendo i rischi tecnologici e aumentando la trasferibilità industriale.

ICESP - La Piattaforma Italiana degli attori per l'Economia Circolare



ICESP nasce come piattaforma nazionale dedicata a far convergere iniziative, condividere esperienze e mettere in evidenza criticità e prospettive dell'economia circolare in Italia.

L'obiettivo è rappresentare in Europa, con una voce coordinata, le specificità del sistema italiano e promuovere il "modo italiano" di fare economia circolare attraverso azioni dedicate e un confronto continuo tra attori diversi.

La piattaforma è stata promossa nel

2018 da ENEA come interfaccia nazionale della European Circular Economy Stakeholder Platform (ECESP), istituita dalla Commissione Europea nel 2017 per favorire il dialogo tra gli stakeholder europei, integrare le attività settoriali e condividere buone pratiche e approcci strategici. ENEA, selezionata nel primo Coordination Group di ECESP, ha assunto il ruolo di Hub nazionale e ha dato vita a ICESP come piattaforma mirror, inizialmente configurata come un "network di

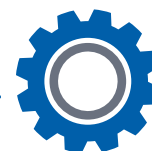
network" e poi aperta progressivamente a tutte le organizzazioni italiane attive nella transizione circolare.

ICESP si fonda su una Carta e un Regolamento che definiscono gli impegni condivisi dai firmatari appartenenti alla quadrupla elica (istituzioni, imprese, mondo della ricerca e terzo settore). I partecipanti sostengono un percorso collaborativo orientato alla diffusione delle conoscenze, alla mappatura delle buone pratiche, alla creazione di sinergie



Strumenti della Piattaforma ICESP

- **Database nazionale delle buone pratiche** per la raccolta, classificazione e diffusione di iniziative circolari;
- **Gruppi di lavoro tematici** dedicati a settori, filiere e ambiti trasversali dell'economia circolare;
- **Metodologie e linee guida** per la valutazione di pratiche, tecnologie e modelli circolari;
- **Strumenti di networking e collaborazione** tra attori pubblici e privati;
- **Comitato di Revisione delle Buone Pratiche** per l'analisi, la validazione delle pratiche mappate.



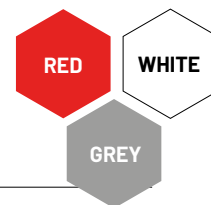
tra iniziative e alla valorizzazione delle eccellenze italiane, radicate nelle tradizioni, nei modelli culturali e nelle specificità produttive del Paese.

Le attività della piattaforma si sviluppano attraverso tre direttrici principali: la mappatura delle buone pratiche, il dialogo multistakeholder e la diffusione della conoscenza. La mappatura consente di individuare e valorizzare esperienze replicabili; il dialogo multistakeholder crea

spazi di confronto su temi strategici tra imprese, istituzioni, ricerca e società civile; la diffusione della conoscenza sostiene comunicazione, formazione e sensibilizzazione sui temi dell'economia circolare. All'interno del dialogo multistakeholder operano i FOCUS ICESP, ambiti strategici che approfondiscono temi chiave per la transizione circolare. Per il biennio 2025 2026 i focus identificati sono: l'ecodesign, le materie prime criti-

che, le biotecnologie circolari, le città e i territori circolari e il rapporto tra economia circolare e cambiamenti climatici. Attraverso questi focus, ICESP porta in evidenza punti di forza e potenzialità dei vari temi, contribuisce a portare in Europa esperienze, risultati e punti di vista italiani, alimentando il confronto con ECESP e rafforzando il ruolo dell'Italia nella definizione delle priorità europee sull'economia circolare.

Piattaforma Integrata per Materiali Bio-Based, Rivestimenti Antimicrobici e Tessili Funzionali



Infrastruttura multidisciplinare per lo sviluppo, produzione prototipale e caratterizzazione di biomateriali, rivestimenti antimicrobici nanostrutturati e filati tessili bio-based.

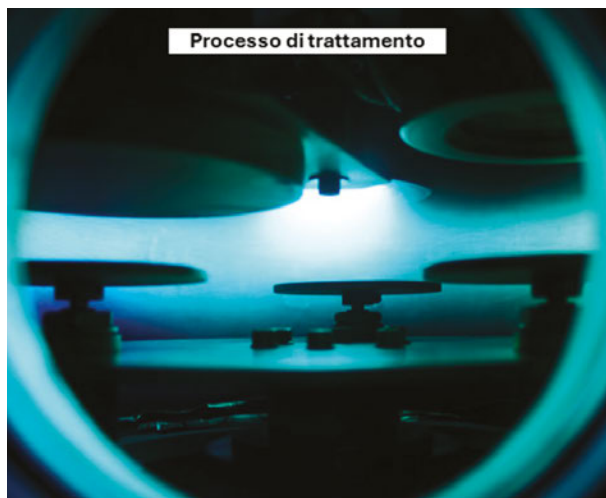
Le attività coprono l'intera filiera: dalla compoundizzazione di materie prime rinnovabili e scarti agroalimentari, alla deposizione di rivestimenti funzionali (PVD, CVD, fase liquida), fino alla realizzazione di tessuti ingegnerizzati.

PRINCIPALI LINEE DI ATTIVITÀ

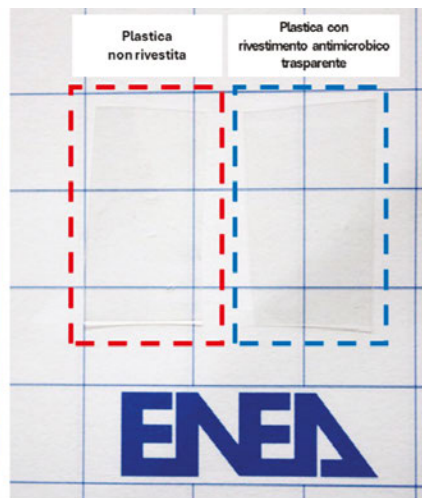
- Rivestimenti antimicrobici ad ampio spettro (batteri, funghi, virus, multiresistenti)
- Biocompositi (PLA/lino, PLA/canapa, PLA/caffè) e biofilm
- Filati tessili bio-based e tessuti tecnici (rinforzi, filtrazione, tessuti attuatori/riscaldanti)
- Funzionalizzazione: idrofobicità, emissività termica, conducibilità, proprietà barriera

APPLICAZIONI

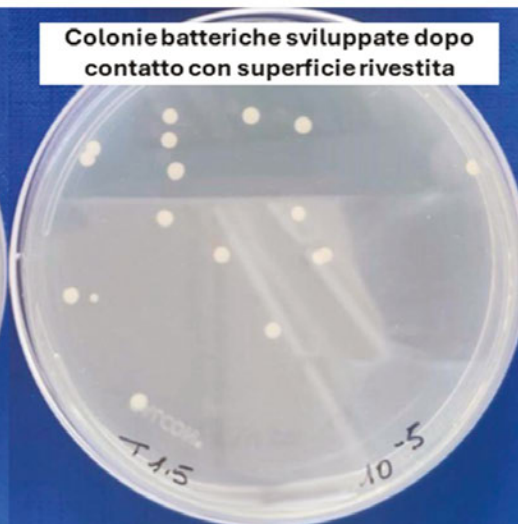
- Biomedicale/sanitario (superfici e tessuti antimicrobici)
- Sicurezza alimentare e packaging attivo
- Tessili tecnici e abbigliamento funzionale
- Trasporti, edilizia, aerospazio
- Filtrazione industriale/ambientale
- Dispositivi funzionali (riscaldamento localizzato, attuazione)



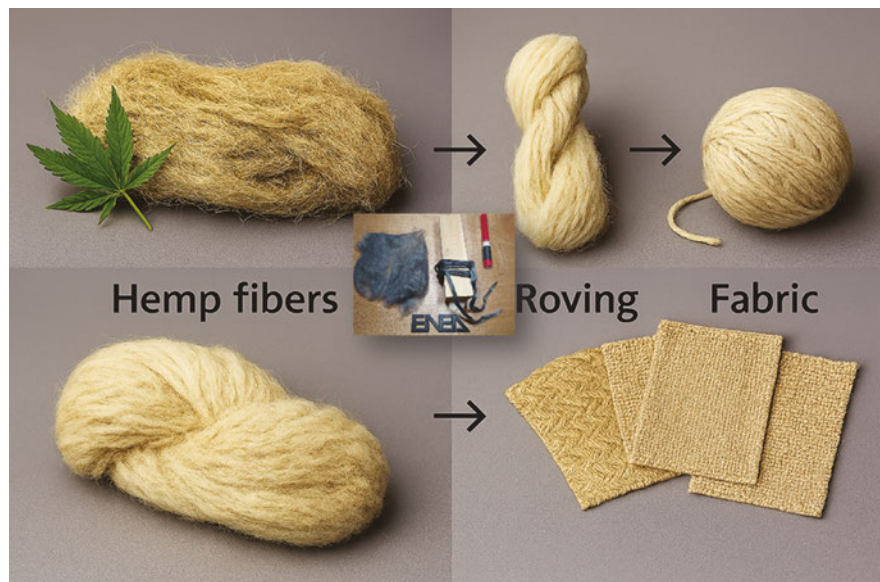
Processo di trattamento



Colonie batteriche sviluppate dopo contatto con superficie non rivestita



Colonie batteriche sviluppate dopo contatto con superficie rivestita



Strumenti (Brindisi)

Impianti PVD (sputtering sequenziale in-situ), estrusore monovite/filmatore, melt spinning, impianto tessile prototipale (filatura, torcitura, tessitura), CVD, fase liquida, termoformatrice, SEM-EDS, XRD, profilometro, ICP, DSC-TGA, FTIR, permeabilmetro, infiammabilmetro, prove meccaniche (trazione, compressione, flessione), dinamometri, UV-Vis/IR, NMR.



Film in Bioplastica (PLA) tal quali e funzionalizzati



Film in Bioplastica (PLA) tal quali e funzionalizzati

Strumenti (Casaccia)

Laboratori di microbiologia e biologia molecolare: cappa a flusso laminare, PCR real time, microscopi a fluorescenza, centrifuga, spettrofotometro, incubatore, autoclave.



Strumenti (Faenza)

Dinamometri per prove meccaniche (trazione, compressione, flessione).

Speciale EAI n.2-3/2025
ENEA - Servizio Promozione e Comunicazione
enea.it

Stampa: Laboratorio tecnografico ENEA
Centro Ricerche Frascati
Luglio 2026

eai.enea.it

