



Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali

Cantiere della sostenibilità
Position Paper n. 11

Sistemi, prodotti e processi biotecnologici

Iscritti al tavolo

Alfredo Ambrico¹, Massimo Angelone⁸, Francesca Antonelli⁴, Marco Antonini¹, Giuseppe Aprea², Caterina Arcangeli⁶, Silvia Arnone¹, Loretta Bacchetta¹, Ferdinando Baldacchino¹, Roberto Balducchi¹, Cecilia Bartoleschi⁹, Eugenio Benvenuto², Annamaria Bevivino³, Maurizio Calvitti¹⁵, Angelo Camassa³, Cristina Capodicasa², Fiorella Carnevali⁴, Arianna Casciati⁴, Stefania Casu¹¹, Paola Crinò¹, Massimo Cristofaro¹, Luigi D'Aquino¹², Alice Dall'Ara¹³, Antonella Del Fiore³, Angiola Desiderio², Rita Di Bonito¹, Paolo Di Lorenzo¹⁰, Giuseppe Di Natale¹, Giuseppe Di Sanzo¹, Salvatore Dimatteo¹, Gianfranco Diretto², Marcello Donini², Simona Errico¹, Alessia Fiore², Rosella Franconi⁴, Rosanna Gatti³, Debora Giorgi², Raffaele Lamanna¹, Vincenzo Larocca¹, Chiara Lico², Sergio Lucretti², Rosaria Magarelli¹, Mariateresa Mancuso⁴, Susanna Mariani⁹, Maria Martino¹, Carla Marusic², Antonio Molino¹, Stefania Moliterni¹, Pietro Morales⁶, Luca Nardi², Chiara Nobili³, Flavia Novelli⁴, Salvatore Palazzo¹, Domenico Palumbo¹⁰, Emanuela Pasquali⁴, Alessandra Pasquo², Claudio Pioli⁴, Ilario Piscioneri¹, Daniele Pizzichini¹, Ombretta Presenti², Silvia Procacci¹, Luigi Quercia¹⁰, Antonio Rinaldi⁶, Carlo Rosati¹, Anna Grazia Scalone¹⁴, Barbara Tanno⁴, Mario Tavazza², Raffaella Tavazza², Cristiana Testa⁹, Mario Trupo¹, Walter Vastarella⁷, Maria Elena Villani²

Gruppo di redazione

Selene Baschieri², Patrizia De Rossi³, Gian Paolo Leone¹, Silvia Massa², Valerio Miceli³, Paola Sangiorgio¹, S. Andrew van der Esch⁴, Alessandra Verardi⁵

Rapporteur

Paola Sangiorgio

Referente Dipartimento

Massimo Iannetta

Affiliazioni

¹SSPT-BIOAG-PROBIO; ²SSPT-BIOAG-BIOTEC; ³SSPT-BIOAG-SOQUAS; ⁴SSPT-TECS-TEB; ⁵A.R. SSPT-BIOAG-PROBIO; ⁶SSPT-PROMAS-MATPRO; ⁷SSPT-PROTER-BIOGEOC; ⁸SSPT-PROTER; ⁹SSPT-TECS-BIORISC; ¹⁰SSPT-USER-SITEC; ¹¹SSPT-USER-R4R; ¹²SSPT-PROMAS-NANO; ¹³SSPT-PROMAS-TEMAF; ¹⁴SSPT-PROMAS-MATAS; ¹⁵SSPT-BIOAG

Parole chiave

Biofabbriche, Bioprodotto, Scarti agro-industriali, Bioeconomia, Economia circolare.

Sommario

<i>EXECUTIVE SUMMARY</i>	191
1. <i>Introduzione</i>	192
2. <i>Quadro nazionale e internazionale</i>	193
3. <i>Competenze, infrastrutture e risorse ENEA</i>	194
4. <i>Proposta ENEA</i>	197
5. <i>Posizionamento ENEA nei confronti dei competitori nazionali ed internazionali</i>	201
6. <i>Potenziati fonti di finanziamento</i>	202

EXECUTIVE SUMMARY

La strategia europea sulla Bioeconomia, fondata sull'uso intelligente delle **risorse biologiche rinnovabili, così come dei rifiuti**, per ottenere prodotti a valore aggiunto quali alimenti, mangimi, bioprodotto e bioenergie, riconosce le biotecnologie come Tecnologie Abilitanti che giocano un ruolo rilevante nella risoluzione di problematiche sociali, ambientali ed economiche.

L'ENEA è coinvolta attivamente nella promozione delle biotecnologie e della Bioeconomia in Italia, partecipando ai tavoli ministeriali di Strategia Nazionale di Specializzazione Intelligente 2014-2020, agendo all'interno dei principali *cluster* del settore (SPRING, CLAN e ALISEI) e collaborando con Assobiotec ed importanti industrie (p.es. Novamont, Granarolo, Tecnalia).

Il Dip.to SSPT, grazie alle avanzate conoscenze biotecnologiche, alle competenze impiantistiche/ingegneristiche ed alla disponibilità di numerose infrastrutture nei Centri di Ricerca di Casaccia, Trisaia e Brindisi, può mettere in campo azioni ai fini di:

- valorizzare, sviluppare e caratterizzare risorse vegetali, animali e microbiche per ottenere principi ad attività biologica, intermedi chimici e sostanze naturali utili alla realizzazione di prodotti innovativi di interesse agroindustriale, alimentare, ambientale e farmaceutico;
- mettere a punto e validare fino alla scala pilota sistemi, prodotti e processi biotecnologici innovativi sviluppati mediante Tecnologie Abilitanti (KETs) e *Mild Technologies*;
- sviluppare/applicare biotecnologie industriali, finalizzate all'uso di biorisorse, di scarti e di sottoprodotti derivanti dai processi produttivi;
- sviluppare processi e nuove filiere industriali per il biorestauro ed il biorisanamento.

Attraverso l'approccio "**Biofabbriche: sistemi di produzione sostenibile**" il Dip.to SSPT può offrire soluzioni ad elevato potenziale di crescita per il territorio, in sintonia con i *millennium goals* ONU 2030, che riguardano:

Agricoltura, con l'obiettivo di potenziare la produttività agricola nel rispetto degli agro-ecosistemi, delle risorse naturali e della salute, mediante la caratterizzazione delle specie vegetali basata anche sulle scienze 'omiche', sul miglioramento genetico e sulla messa a punto di soluzioni di processo sostenibili e di qualità.

Alimentazione/Salute/Benessere, attraverso l'identificazione e caratterizzazione chimico-fisica e funzionale di sostanze di origine naturale per la messa a punto di alimenti funzionali e nutraceutici, biomolecole, biofarmaci, diagnostici innovativi e nuovi sistemi di produzione.

Industria bio-based, utilizzando le competenze ed infrastrutture incentrate sulla trasformazione delle biorisorse (piante, animali, microrganismi, ma anche scarti e sottoprodotti agro-industriali) in prodotti ad alto valore aggiunto (es. nuovi alimenti, mangimi, materiali), puntando su un basso impatto ambientale, sull'impiego di Tecnologie Abilitanti e *Mild Technologies* e sulla messa a punto e validazione dei processi biotecnologici dalla scala di laboratorio a quella pilota pre-industriale.

Beni Culturali, usando le consolidate competenze microbiologiche SSPT per lo sviluppo di nuove applicazioni biotecnologiche nel campo del biorestauro.

Ambiente, intraprendendo azioni specifiche volte alle innovazioni di processo per lo sfruttamento complessivo delle biorisorse nell'ottica di "scarto zero", chiusura dei cicli, simbiosi industriale, valorizzazione degli scarti con contestuale riduzione del loro impatto ambientale, salvaguardia e risanamento ambientale (oltre alle ricadute indirette sull'ambiente derivanti da tutti i domini applicativi già descritti).

Inoltre, attraverso il trasferimento tecnologico dell'innovazione in questi ambiti, ENEA potrà effettuare il supporto a Paesi in Via di Sviluppo, PMI, *start-up* e *spin-off*.

1. Introduzione

Il previsto aumento/invecchiamento della popolazione e il conseguente depauperamento delle risorse naturali, i cambiamenti climatici, la diffusione di zoonosi e di malattie legate alla globalizzazione e a comportamenti insalubri (anche alimentari) rendono necessario ed urgente intraprendere azioni che favoriscano la **Bioeconomia**, ovvero un sistema economico innovativo che si fonda sull'uso intelligente delle **risorse biologiche rinnovabili, così come dei rifiuti**, per ottenere prodotti a valore aggiunto quali alimenti, mangimi, bioprodotto e bioenergie, **nel rispetto e nella promozione della biodiversità, dell'ambiente e della salute**.

In questo scenario è inoltre importante adottare un approccio che consideri la salute degli esseri umani, degli animali, e dell'ambiente nel suo complesso, il cosiddetto **approccio "OneHealth"**, superando la frammentazione delle conoscenze e stimolandone la **diffusione** e la **condivisione** secondo il **principio della "Responsible Research and Innovation (RRI)"**¹⁷⁵.

L'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE) attribuisce alla Bioeconomia la capacità di imprimere una vera e propria **spinta propulsiva** verso una nuova "rivoluzione industriale", in cui le biotecnologie¹⁷⁶ possono contribuire significativamente alla produzione primaria, alla salute ed all'industria: si prevede che nel 2030 si arriverà ad usare le biotecnologie per il 35% delle produzioni chimiche, l'80% delle produzioni nel settore farmaceutico e per il 50% nell'agricoltura¹⁷⁷.

Nel 2012 l'Europa ha adottato una **strategia sulla Bioeconomia**¹⁷⁸ che promuove l'uso sostenibile e integrato delle biorisorse rinnovabili con un piano d'azione in cui le biotecnologie sono considerate le *Key Enabling Technologies (KETs)*¹⁷⁹.

La Bioeconomia, a livello europeo, vanta già un **fatturato** di circa **2.000 miliardi** di euro nei settori dell'agricoltura, della silvicoltura, della pesca, della produzione alimentare, della produzione di pasta di carta e carta, nonché in comparti dell'industria chimica, biotecnologica ed energetica, impiegando oltre **22 milioni di persone**, ovvero il 9% dell'occupazione complessiva dell'Unione Europea (UE). Si calcola che **per ogni euro investito in ricerca e innovazione in tale campo, la ricaduta in valore aggiunto nei settori del comparto bioeconomico sarà pari a dieci euro entro il 2025**.

Anche in Italia la Bioeconomia gioca un ruolo rilevante, con significative prospettive di sviluppo nei prossimi anni, soprattutto grazie alla presenza di un nucleo di soggetti nella filiera a valle della biochimica (sia nei biocarburanti che nelle produzioni di *chemicals* e materiali). Secondo le stime, nel 2013 la Bioeconomia valeva, in termini di produzione, circa **244 miliardi di euro**, pari al 7,9% del valore totale della

¹⁷⁵ Il concetto di RRI, introdotto dalla Commissione Europea nel 2014, ha lo scopo di promuovere e facilitare la ricerca e l'innovazione in modo inclusivo e orientato alla società coinvolgendo il massimo numero di *stakeholders*.

¹⁷⁶ L'insieme delle tecnologie che usano organismi viventi (batteri, lieviti e cellule vegetali e animali di organismi semplici o complessi) o loro parti, prodotti e modelli, per produrre conoscenza, beni e servizi (definizione OCSE).

¹⁷⁷ OCSE "*The Bioeconomy to 2030: designing a policy agenda*" 2015

¹⁷⁸ Comunicazione della Commissione. *Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe* [COM(2012)60]

¹⁷⁹ Tecnologie Abilitanti in grado di migliorare la competitività industriale europea (COM(2009)512): fotonica, micro/nanoelettronica, nanotecnologia, materiali avanzati, biotecnologia industriale e tecnologie di produzione avanzate.

produzione nazionale. In termini di occupazione **si può stimare un numero di occupati rilevante, pari a quasi 1,5 milioni di persone, in particolare nella filiera agroalimentare.**

L'importanza strategica della **Bioeconomia a livello nazionale** è dimostrata dal fatto che essa, quale sottogruppo dell'area tematica "Salute, alimentazione, qualità della vita", è **parte integrante della costituenda Strategia Nazionale di Specializzazione Intelligente (SNSI)**¹⁸⁰ con cui l'Italia intende promuovere la costituzione nel Paese di una vera e propria filiera dell'innovazione e della competitività.

Inoltre, la Bioeconomia rientra nel "**Piano strategico per l'innovazione e la ricerca nel settore agricolo, alimentare e forestale**" del MIPAAF¹⁸¹, che, seguendo l'indirizzo delineato dalla strategia europea, individua nell'uso sostenibile delle risorse biologiche (inclusi gli scarti agricoli e zootecnici), una delle aree ad elevata esigenza di ricerca ed innovazione.

Le tematiche della Bioeconomia e delle Biotecnologie rientrano anche tra gli obiettivi dei seguenti *cluster* di importanza nazionale:

- [ALISEI](#), che promuove ricerca ed innovazione tecnologica nel settore biomedicale e farmaceutico e raggruppa associazioni imprenditoriali, quali Federchimica-Assobiotec, Assobiomedica e Farindustria, enti di ricerca e enti regionali.
- [CLAN](#), che riunisce le principali imprese agroalimentari italiane e promuove la crescita economica sostenibile, basata sulla ricerca e l'innovazione;
- [SPRING](#), che opera nell'ambito della chimica verde e raggruppa grandi *player* industriali come Novamont, Versalis (gruppo Eni) e Biochemtex (MossiGhisolfi Group), insieme a Federchimica, PMI, università, e tutte le principali organizzazioni di ricerca pubbliche italiane operanti nel settore.

2. Quadro nazionale e internazionale

Nell'ambito della Bioeconomia, la Commissione Europea ha messo in campo numerose azioni che si articolano su tre assi principali:

- **investimenti in ricerca, innovazione e competenze;**
- **sviluppo dei mercati e della competitività**, attraverso un'intensificazione sostenibile della produzione primaria, la **conversione dei flussi di rifiuti in prodotti con valore aggiunto**, nonché meccanismi di **apprendimento reciproco per una migliore efficienza produttiva e delle risorse;**
- un più stretto **coordinamento delle politiche** e un maggior impegno delle parti interessate.

Circa gli investimenti nel campo bioeconomico, sono disponibili **400 miliardi di euro dai Fondi europei e 315 dal Piano Juncker**. Ai fondi strutturali si affianca la *partnership* pubblico-privato **Bio-based Industries Joint Undertaking (BBI-JU)**¹⁸² che, nel periodo 2014-2020, prevede finanziamenti nel settore dei prodotti *bio-based* pari a **3,7 miliardi di euro**.

¹⁸⁰ SNSI – Area Tematica Nazionale: Salute, Alimentazione e Qualità della vita – [Sottogruppo Bioeconomia](#).

¹⁸¹ Piano Strategico per l'innovazione e la ricerca nel settore agricolo, alimentare e forestale, MIPAAF 2015.

¹⁸² Partnership tra UE e il [Bio-based Industries Consortium](#) che riunisce oltre 60 piccole e grandi imprese, cluster e organizzazioni.

In ambito nazionale, sebbene la costituenda SNSI dia rilievo alla tematica inserendola tra i focus di discussione, è necessario **umentare gli investimenti in ricerca, sviluppo e innovazione** nel settore della Bioeconomia e delle biotecnologie. E' fondamentale altresì aggregare tutte le risorse nazionali disponibili nel campo, al fine di creare entità/aggregazioni di dimensioni e competenze tali da poter competere nell'attuale mercato globale. In tal senso sono importanti i già citati cluster ALISEI, CLAN e SPRING, come nuovi strumenti di politica di innovazione.

Tra i documenti e *link* di riferimento per il presente *Position Paper*, oltre a quelli indicati nel testo, ne ricordiamo alcuni:

1. [4th SCAR Foresight Stakeholder Conference](#) "Sustainable Agriculture, Forestry and Fisheries in the Bioeconomy - A Challenge for Europe", Brussels, European Commission, 08/ 10/2015.
2. [Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile](#), adottata nel 2015 dalle Nazioni Unite. [Review of Targets for the Sustainable Development Goals: The Science Perspective](#) che illustra i 17 millennium goals.
3. [Copenhagen Consensus Center](#), comitato di numerosi intellettuali e premi Nobel con lo scopo di assegnare priorità per le quali è necessario trovare delle soluzioni.
4. [Earth Microbiome project](#) (EMP).
5. [FAO-OIE-WHO collaboration](#). *Sharing responsibilities and coordinating global activities to address health risks at the animal-human-ecosystems interfaces*.
6. [Food Wastage Footprint: impacts on natural resources](#), FAO 2013.
7. Intesa San Paolo e Assobiotec "[La bioeconomia in Europa - 2° Rapporto](#)".
8. "[Plants for the future](#)" piattaforma europea che riunisce i rappresentanti dei principali attori delle filiere agroalimentare ed agroindustriale e, in stretto contatto con altre cinque Piattaforme Tecnologiche, si colloca nell'ambito della cosiddetta "knowledge-based bioeconomy" (KBBE) che rappresenta l'asse portante di HORIZON2020.
9. Position Paper "[Agricoltura domani](#)" - Riflessioni sulla ricerca e l'innovazione in agricoltura, Confagricoltura - Roma, 22/11/2012.
10. Position Paper "[Le Biotecnologie industriali e la bioeconomia 2016](#)" - Assobiotec 2015.
11. *Sustainable Process Industry through Resource and Energy* - Pablo Tello, Ron Weerdmeester (with PNO Consultants) [SPIRE ROADMAP](#) (2013).
12. World Bank Report "People, Pathogens And Our Planet", Vol. 2. The Economics of [One Health](#).

3. Competenze, infrastrutture e risorse ENEA

Il Dip.to SSPT dispone di consolidate competenze nei settori della chimica, fisica, biologia (molecolare, cellulare e vegetale), microbiologia, biotecnologia, entomologia ed ingegneria che, utilmente integrate tra loro, permettono il raggiungimento di obiettivi tecnologici prioritari per la produzione di **innovazione di processo e prodotto** destinata a soluzioni applicative **per la Bioeconomia**. Operativamente, le competenze si integrano nel condurre:

- interventi di selezione genotipica e miglioramento genetico, con salvaguardia del patrimonio genetico tradizionale;
- interventi di ingegneria metabolica su varietà vegetali di interesse agronomico;

- processi di fermentazione e bio-reazione;
- la messa a punto di piante biofabbrica di molecole di interesse;
- la messa a punto di biosensori ed applicazioni di nanotecnologie;
- processi di biorisanamento e biorestauro con l'utilizzo di microrganismi;
- procedure analitiche per la caratterizzazione di materie prime e prodotti e per il monitoraggio e controllo della qualità mediante sistemi molecolari e chimico-fisici;
- lo sviluppo ed ottimizzazione di processi tecnologici di estrazione, separazione, concentrazione, purificazione, liofilizzazione e "spray-drying";
- lo *scale up* dei processi biotecnologici;
- l'analisi della sostenibilità ambientale, sociale ed economica del ciclo di vita di un prodotto, attraverso: *Life Cycle Assessment (LCA)*, *Social-LCA* e *Life Cycle Costing (LCC)*;
- tecniche di telerilevamento aerospaziale attive/passive per il monitoraggio ambientale, degli agri-ecosistemi, delle infrastrutture ed a supporto dello sfruttamento delle rinnovabili;
- interventi per lo sviluppo e ottimizzazione di processi e tecniche di compostaggio di comunità/prossimità per la chiusura del ciclo del rifiuto e sua valorizzazione alla fonte.

Le potenzialità del Dip.to in termini di infrastrutture di ricerca e di complessi impiantistici multifunzionali sono riportate in **Figura 19**.

Lo sviluppo complessivo di alcune linee di processo, nonché la valorizzazione adeguata dei risultati ottenuti a livello di applicazioni industriali, non può prescindere dall'integrazione delle competenze del Dip.to con altre presenti in ENEA. In questo senso possono essere incluse sinergie con il Dip.to Tecnologie Energetiche (DTE) ed in particolare con:

- la Divisione per lo Sviluppo Sistemi per l'Informatica e l'ICT (ICT), per il supporto alle attività tecnico-scientifiche, quali la bioinformatica;
- il Laboratorio Biomasse e Biotecnologie per l'Energia (BBC-BBE) per lo sfruttamento di biomassa residua derivante da processi biotecnologici ai fini energetici, per la chiusura finale del ciclo;
- il Laboratorio Intelligenza Distribuita e Robotica per l'Ambiente e la Persona (SEN-IDRA) per l'applicazione di tecnologie di Realtà Aumentata come ausilio tecnologico agli operatori del restauro per limitare in maniera radicale le possibilità di errore.

Un aspetto fondamentale è la capacità di ENEA di promuovere la conoscenza acquisita (know-how e brevetti, vedi Atlante dell'Innovazione Tecnologica ENEA) attraverso il trasferimento tecnologico dell'innovazione, declinata nelle differenti filiere di intervento di importanza nazionale, elaborando anche un meccanismo di supporto concreto e rapido ai Paesi in Via di Sviluppo, alle PMI, alle *start-up* ed agli *spin-off*. Questo punto richiede una forte interazione con il [Servizio Industria ed Associazioni imprenditoriali della Direzione Committenza](#) e con il [Servizio Relazioni Internazionali](#).



Figura 19 - Infrastrutture di ricerca e complessi impiantistici multifunzionali del Dipartimento SSPT

4. Proposta ENEA

Nello scenario nazionale ed internazionale descritto, il Dipt.to SSPT può mettere in campo conoscenze avanzate su geni, processi cellulari e biologici complessi ed efficienti, integrandole mediante approcci biotecnologici ed applicandole a tutte le fasi della filiera produttiva. Per questo motivo, il tema **“Biofabbriche: sistemi di produzione sostenibile”** è stato identificato come ambito unificante su cui coordinare le competenze ENEA, con l’obiettivo di **innovare processi, prodotti e servizi** utili ad incrementare la capacità del **territorio** di programmare una **valorizzazione delle risorse locali**, e di produrre e gestire beni in accordo con i principi della Bioeconomia. A tal fine, le biotecnologie saranno applicate anche sui **prodotti di scarto agro-industriali nell’ottica di una economia circolare** dove non esistono rifiuti, ma materie dalle quali recuperare risorse.

Gli obiettivi dell’approccio “Biofabbriche: sistemi di produzione sostenibile” sono in perfetta sintonia con quelli della Bioeconomia secondo la SNSI, con molti dei **17 goals individuati dalle Nazioni Unite per lo Sviluppo Sostenibile** (in particolare Fame zero, Buona salute e benessere, Acqua pulita e servizi igienico-sanitari, Produzione e consumo responsabili) e con gli **obiettivi dei cluster ALISEI, CLAN e SPRING**.

La proposta si fonda sulla **biorisorsa** declinata in tutte le sue forme: **Microrganismi, Piante, Animali e scarti/rifiuti agro-industriali**. Su tali piattaforme, mediante vari metodi di intervento è possibile operare per ottenere uno spettro di finalità (**Figura 20**):

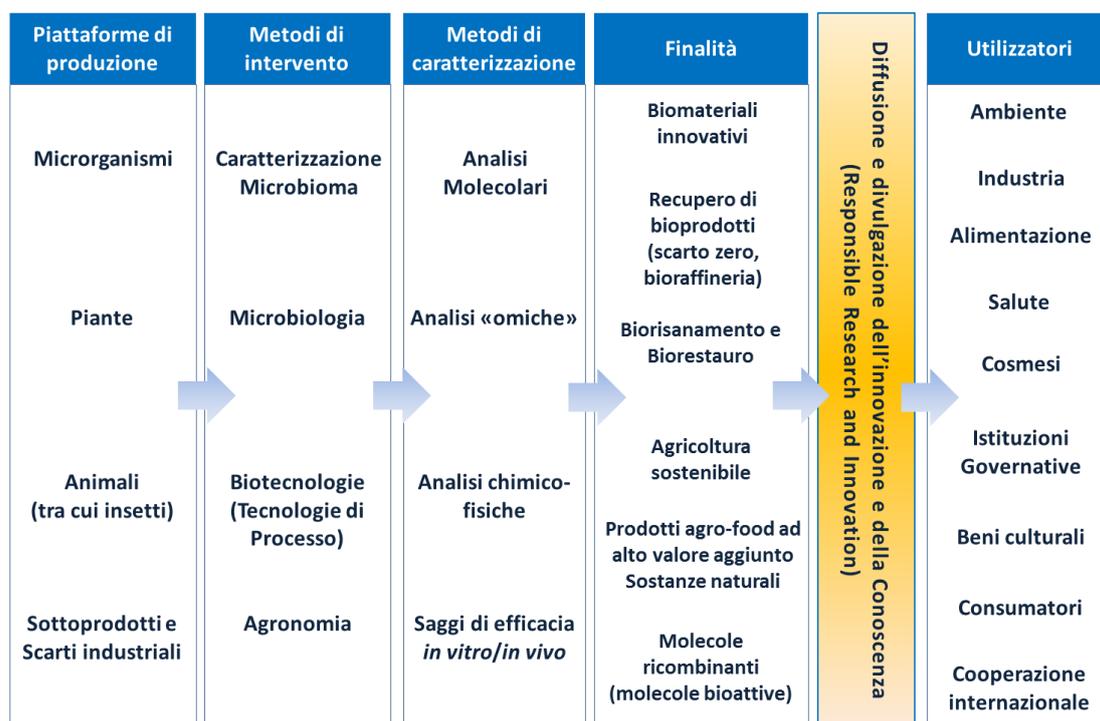


Figura 20 - Mappa concettuale della proposta “Biofabbriche: sistemi di produzione sostenibile”

a) Biomateriali innovativi

Le competenze dell’ENEA, nell’ambito dei nuovi materiali derivati dall’agricoltura sostenibile, consentono la valorizzazione delle filiere delle fibre e dei colori naturali per la produzione di biocompositi biodegradabili ed, in generale, di **biomateriali** di origine naturale, che possono essere impiegati nei settori relativi a: tessuti tecnici, trasporti, *packaging*, biomedicale, bioedilizia.

Altre competenze del Dip.to SSPT riguardano l'uso di "materiali biologici" (DNA, proteine, particelle virali) per l'**auto-assemblaggio bio-inorganico** per ottenere dispositivi elettronici o dispositivi sensoristici per il riconoscimento molecolare.

b) Recupero di bioprodotto nell'ottica di filiere a scarto zero e bioraffinerie

Le piattaforme biologiche, i sottoprodotti, gli scarti e rifiuti agroindustriali possono essere utilizzati - con conseguente riduzione dell'impatto ambientale dovuto al loro smaltimento - al fine di **ottenere**: i) **composti ad alto valore aggiunto** destinati all'industria alimentare, cosmetica e farmaceutica (mangimi, prodotti alimentari, ingredienti, integratori, pigmenti, molecole bioattive); ii) **materia prima** (*building blocks*) per la sintesi di biopolimeri; iii) **energia** per la **chiusura finale del ciclo**.

In ENEA esiste, inoltre, una pluri-decennale esperienza nel valorizzare le **sostanze naturali** da sistemi biologici per individuare tutte le potenzialità di uso nell'ottica di mettere a punto prodotti/processi innovativi (p.es. dall'albero del Neem, *Azadirachta indica*, sono stati sviluppati nuovi prodotti per applicazioni in medicina e agricoltura).

In tale contesto, il Dip.to vanta competenze ed infrastrutture nel campo sia delle bioreazioni e delle biotecnologie fermentative per ottenere colture cellulari e loro metaboliti di interesse, sia delle tecnologie di **downstream process** volti alla separazione, estrazione e conservazione del prodotto finale - ad es. processi separativi a membrana, estrattivi a fluidi supercritici, di evaporazione a film cadente, liofilizzazione e *spray-drying*. Tutte queste tecnologie possono essere realizzate a partire dalla scala di laboratorio fino a quella di produzione (*scale-up* di processo/prodotto), favorendo così una maggiore integrazione con i settori farmaceutico, cosmetico e alimentare.

c) Biorisanamento e Biorestauro.

In questo ambito i **microrganismi** vengono utilizzati **come "fornitori di servizio"**. L'approccio del biorisanamento consente di utilizzare vantaggiosamente il potenziale metabolico dei microrganismi per condurre azioni di ripristino della qualità dei suoli (ecologia microbica, interazioni piante-microrganismi) che sono incluse nelle strategie di recupero ambientale per la mitigazione degli impatti antropici. Attraverso sistemi di biorimediazione e fitorimediazione assistita, è possibile, in tal modo, **ridurre l'impiego di pesticidi agricoli, di fertilizzanti e di acqua**, arricchendo i terreni marginali e riabilitando i suoli degradati. Inoltre, la comprensione dei processi biogeochimici all'interfaccia "bio-geo" e la loro ingegnerizzazione permettono la formazione sostenibile di giacimenti minerali supergenici ed il **recupero di elementi rari**.

Nell'ambito dei processi di Biorestauro, in ENEA sono state sviluppate procedure su misura in cui batteri e funghi sono efficacemente utilizzati per **azioni di bioconsolidamento, biopulitura, diagnosi e controllo del biodeterioramento** di opere d'arte o pitture murali. I vantaggi che ne derivano includono: selettività dell'intervento, sicurezza per l'opera d'arte, non tossicità per i restauratori, basso costo e ridotto impatto ambientale. Le competenze in biotecnologie microbiche, unitamente alla presenza di infrastrutture pre-industriali di bioreazione e fermentazione e relativi processi di *downstream*, offrono la possibilità di creare una nuova filiera di bio-industria, la filiera del "Biorestauro" che propone soluzioni/prodotti/servizi nel campo dei Beni Culturali.

d) Agricoltura sostenibile

Le conoscenze ENEA agronomiche e genomiche di specie vegetali consentono di **identificare/selezionare/ottenere i genotipi** con le migliori capacità in termini di: i) adattamento

all'ambiente (p.es. resistenza alla siccità o a stress biotici e/o abiotici); ii) produzione a basso input esterno (p.es. aumentata resa per ridurre l'impiego di fertilizzanti); iii) produzione di principi attivi endogeni di interesse (p.es. produzione di biopesticidi/biocidi naturali).

Tali conoscenze permettono di identificare nuove varietà, di valorizzare varietà locali e di salvaguardare/selezionare risorse genetiche attraverso la caratterizzazione del germoplasma ricorrendo anche alle cosiddette scienze "omiche" (genomica, trascrittomica, proteomica e metabolomica) che consentono anche di definire "impronte" caratteristiche (*fingerprint*).

Per ottenere nuovi genotipi "migliorati" possono anche essere utilizzate le biotecnologie vegetali "classiche" o le *new plant breeding technologies*. Queste ultime consentono, di abolire/modificare la funzionalità di specifici geni o di inserirne nuovi mediante interventi di mutagenesi sito-specifica sul genoma vegetale.

La **valorizzazione degli scarti agro-industriali** e della **frazione organica dei rifiuti urbani** con contestuale riduzione del relativo impatto ambientale rappresentano un altro punto di forza del Dip.to nell'ottica di migliorare la sostenibilità del sistema agricolo. Le competenze, infatti, consentono, oltre a quanto esposto nel punto b, di promuovere interventi eco-innovativi che, utilizzando piccoli compostatori elettromeccanici, producono *compost* di qualità dai rifiuti organici direttamente nel luogo di produzione: ciò permette la chiusura del ciclo con la produzione e l'utilizzo di *compost* di qualità in loco (**compostaggio di comunità /prossimità**).

e) Prodotti agro-food ad elevato valore aggiunto e sostanze naturali

Le competenze del Dip.to SSPT consentono di affrontare lo studio di piattaforme biologiche con un **approccio sistemico che copre l'intera filiera**, inducendo innovazioni di prodotto/servizio notevoli. In particolare, è possibile:

- **arricchire piattaforme vegetali in componenti funzionali (naturalmente presenti o meno)** che mostrano azione preventiva/terapeutica verso varie patologie (p.es. polifenoli, carotenoidi, tocoferoli, acidi grassi polinsaturi, fibre). Questa finalità può essere perseguita ricorrendo a diversi approcci, tra cui l'induzione del raddoppiamento del corredo cromosomico di una specie (**poliploidizzazione**) o opportuni interventi di **ingegneria genetica e metabolica** su specie vegetali di interesse agronomico. In tal senso, negli ultimi 20 anni sono stati ottenuti in ENEA genotipi di pomodoro e patata arricchiti in carotenoidi (e definiti, per questo *Golden crops*). Tali approcci possono essere realizzati anche in **sistemi di colture in vitro**, come fonte alternativa per l'estrazione a fini industriali di metaboliti secondari bioattivi, soprattutto quando l'approvvigionamento è limitato dalla rarità della fonte naturale, da inquinanti ambientali e dalle variazioni stagionali per la raccolta;
- **migliorare il prodotto alimentare** allungandone la *shelf-life* (p.es. aggiungendo polifenoli o estraendo le componenti più facilmente deteriorabili) o aumentandone il valore nutrizionale (p.es. aggiungendo sieroproteine);
- **sviluppare prebiotici o ceppi microbici** per la produzione di alimenti fermentati innovativi, mediante l'utilizzo di biotecnologie bianche (fermentazione);

- **indagare fonti nutritive alternative**, sia per la produzione di alimenti da destinare alla zootecnia (inclusa l'acquacoltura), sia come possibile fonte diretta per l'alimentazione umana, come batteri, funghi, alghe ed artropodi. Gli scarti, i sottoprodotti ed i rifiuti agroindustriali possono essere vantaggiosamente utilizzati per l'allevamento di tali organismi;
- **studiare** piante ricche in **sostanze naturali** ad azione preventiva/terapeutica, al fine di **sviluppare prodotti innovativi**, quali integratori.

In questo ambito fondamentale è l'utilizzo delle tecnologie di **Downstream Processing** (p.es. filtrazione tangenziale a membrana; estrazione a fluidi supercritici, *spray-drying*) che consentono lo sviluppo di strategie di recupero di molecole funzionali da diverse *value-chains* (vegetali, animali, marine, insetti, ecc.).

f) Biomolecole ricombinanti

Nella crescente domanda di farmaci innovativi che deve contemplare lo sforzo della riduzione dei costi, i farmaci biotecnologici prodotti sfruttando le piante come biofabbrica rappresentano una delle risposte delle biotecnologie avanzate alla sfida della **accessibilità alle cure** per la maggior parte della popolazione mondiale. L'uso delle biofabbriche vegetali come sistemi per l'espressione di **biofarmaci** presenta dei vantaggi tra i quali: i) sintesi di proteine ricombinanti ad elevata autenticità strutturale; ii) sicurezza intrinseca del prodotto ricombinante per la salute degli animali o dell'uomo, poiché le piante non sono vettori di patogeni animali; iii) tempi e costi di produzione inferiori rispetto ai bioreattori classici (batteri, lieviti, cellule animali) insieme ad una facile scalabilità.

Il Dip.to SSPT ha avuto un ruolo leader nazionale ed europeo nella **progettazione/espressione di molecole e particelle complesse in sistemi vegetali usati come biofabbrica** (p.es. partecipazione al Consorzio Europeo "[Pharma Planta](#)") ed ha la possibilità di effettuare cicli di produzione confinati (p.es. in serra a contenimento "*biosafety level 2*", colture *in vitro*). Le potenzialità delle competenze presenti nel Dip.to spaziano dalla produzione di singoli peptidi e proteine (biofarmaci e vaccini) a quella di macromolecole strutturalmente complesse come anticorpi, immunocitochine, VLP (**Virus Like Particles**). Nel campo della vaccinologia, sono state sviluppate competenze finalizzate alla produzione di **subunità antigeniche "potenziate"** nella loro intrinseca capacità di stimolare il sistema immunitario, ad esempio mediante l'impiego di proteine o di virus vegetali, questi ultimi come veicolo o nano contenitori.

A conclusione del processo di innovazione, l'ENEA è in grado di mettere in atto **sistemi di divulgazione e diffusione delle innovazioni e del know-how nella logica della quadrupla elica**, favorendo lo scambio di conoscenze tra i diversi *stakeholders* (Ricerca, Imprese, Istituzioni e consumatori-utenti finali) attraverso:

- la diffusione di materiale informativo/divulgativo in seminari, *workshop*, ecc. a tema, per favorire la partecipazione e l'adesione di PMI, imprese del settore e dei soggetti attivi interessati, fino ad arrivare ai consumatori-utenti finali;
- la pubblicazione di report e articoli scientifici su riviste specializzate;
- l'informazione ed il supporto tecnico/scientifico ai rappresentanti politici sui temi trattati;
- l'adesione ad iniziative istituzionali interne ed esterne a ENEA, come nel caso della partecipazione alla *European Researchers' Night* e alla [European Biotech Week](#).

5. Posizionamento ENEA nei confronti dei competitori nazionali ed internazionali

In ambito internazionale, l'ENEA è in grado di promuovere iniziative propedeutiche alla definizione di **collaborazioni con Organizzazioni internazionali** (p.es. FAO), **Organizzazioni Non Governative** (p.es. ACRA, FOCSIV), **Organizzazioni Intergovernative** (p.es. Istituto Italiano Latino Americano) nell'ottica del trasferimento dei risultati di azioni di ricerca in Paesi in Via di Sviluppo o in Paesi dell'America Latina. Allo stesso tempo, l'ENEA può essere parte di azioni di coordinamento della ricerca a livello internazionale con l'obiettivo centrale di sviluppare una piattaforma trasversale di tecnologie per accelerare le scoperte di base sul microbioma e la loro traduzione in applicazioni (secondo la statunitense *Unified Microbiome Initiative*, UMI e l'*International Microbiome Initiative*, IMI, tra Europa, Stati Uniti e Cina).

Al livello europeo, l'ENEA è **membro associato del Bio-based Industries Consortium**, ed è coinvolto attivamente nella promozione della Bioeconomia in Italia.

In Italia, l'ENEA **agisce all'interno dei Cluster SPRING, CLAN e ALISEI** e può dunque contare su piattaforme caratterizzate da una forte sinergia tra mondo della ricerca (pubblico e privato) e produzione industriale; è presente, inoltre, **nei tavoli ministeriali di SNSI 2014-2020**, legati direttamente o indirettamente alla Bioeconomia, con un ruolo da protagonista nella promozione di una filiera dell'innovazione e della competitività, capace di trasformare i risultati della ricerca e dell'innovazione in un vantaggio competitivo per il sistema produttivo nazionale ed in un effettivo aumento del benessere dei cittadini.

L'ENEA, inoltre, collabora con:

- le Università e/o Enti di ricerca nazionali (p.es. Università Alma Mater Bologna, CNR, CREA, Istituti Zooprofilattici, Istituto Superiore di Sanità, Agenzia Spaziale Italiana, Campus Bio-Medico, Fondazione Edmund Mach) ed internazionali (p.es. Imperial College, Università di Wageningen, MaxPlanck Society, l'Institut National de la Recherche Agronomique-INRA);
- industrie (p.es. Novamont, Granarolo, Tecnalia) e PMI nazionali ed internazionali, Assobiotec.

Il Dip.to SSPT, grazie a questo forte posizionamento sul tema dei processi biotecnologici, può: i) facilitare l'individuazione di percorsi di **simbiosi industriale** (incontro offerta e domanda di risorse, altrimenti destinate a non essere valorizzate) attraverso la partecipazione alla realizzazione di banche dati che descrivono il contesto territoriale di riferimento (informazioni relative agli insediamenti industriali, informazioni sulle materie prime approvvigionate, sui prodotti ed i sottoprodotti/rifiuti in uscita dal ciclo produttivo, sui sistemi di processo utilizzati); ii) offrire piattaforme di analisi ("omiche", citometriche, chimico-fisiche, microbiologiche) utili alla conoscenza della risorsa naturale che rappresenta l'input iniziale del processo sopperendo alla mancanza di informazioni che spesso viene lamentata dalle stesse Istituzioni (es. Piano Nazionale sulle Erbe Officinali); iii) offrire strumenti informativi e di analisi in grado di supportare le imprese nelle scelte tecnologiche, mettendo a punto su scala pilota i processi biotecnologici innovativi più adatti allo sfruttamento complessivo delle risorse naturali.

L'insieme di queste sinergie fornisce di fatto gli elementi significativi per costruire le basi di un confronto bilanciato con i principali competitori europei nell'ambito della Bioeconomia tra cui:

- [*Bio-based Delta*](#), Sud-Ovest dei Paesi Bassi, che mira alla valorizzazione dei residui agricoli e alimentari in termini di conseguimento di innovazione industriale *bio-based*;

- [BioEconomy Cluster](#), Germania Centrale, che si focalizza sull'impiego di biomasse non alimentari ai fini della produzione di energia e nuovi materiali e sullo sviluppo di processi di estrazione attraverso le combinazioni di metodi chimici e biotecnologici;
- [Cluster Industrielle Biotechnologie](#), Renania settentrionale-Vestfalia, che unisce università (Tu Dortmund, Bielefeld e Heinrich Heine di Düsseldorf), industria (Altana, Basf, Henkel, Evonik, Lanxess, Bayer), PMI, centri di ricerca (Fraunhofer), associazioni, banche e *venture capital*;
- [United Bioeconomy Clusters](#) (UBC) che punta a presentare all'estero la Bioeconomia francese, a fronte della partecipazione condivisa di quattro cluster francesi: [Iar Pole](#), specializzato in chimica verde e biotecnologie industriali con circa 200 aderenti, tra cui Michelin, Roquette, Total, L'Oréal, Danone e Lacoste; [Axelera](#) focalizzato sulla chimica verde e sul riciclo dei materiali; [Agrimip](#), Agri Sud-Ovest *Innovation* sull'agricoltura e l'industria alimentare; [Xylofutur](#) per la filiera della carta.

6. Potenziali fonti di finanziamento

Programmi Europei

- **H2020:** Work Programme “Food security, sustainable agriculture and forestry, marine and maritime and inland water research and the bioeconomy”; Work Programme “Health, demographic change and well-being”; Nanotechnologies, Advanced Materials, Advanced Manufacturing and Processing, and Biotechnology (NMBP); Biotechnology (BIOTEC); Future and Emerging Technologies (FET); Marie Skłodowska Curie Actions (MSCA); European Cooperation in science and technology (COST); European Research Council (ERC).
- **Bio-Based Industries** Joint Undertaking (BBI JU).

Programmi Internazionali

Interreg Adrion; Interreg Med; EranetM-era.Net; Accordi Bilaterali di Cooperazione Scientifica e Tecnologica; [World Cancer Research Fund International](#); Progetti di cooperazione con Paesi in Via di Sviluppo; Istituzioni e Fondazioni che si occupano di cooperazione, quali la Banca Mondiale, Agenzie per la Cooperazione, Fondazioni private (p.es. Bill & Melinda Gates).

Programmi Nazionali

PON, Ministeri-Industria, POR, PSR, Fondazioni private (p.es. Fondazione Cariplo).

Contratti di ricerca commissionata

finalizzata alla ricerca e/o al trasferimento tecnologico di soluzioni di processo di valorizzazione delle biorisorse e degli scarti agroindustriali.