

L'intervento

Introduzione alle biotecnologie: ruolo e importanza nel contesto attuale



di Claudia Brunori, Direttrice del Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e territoriali - ENEA

Le biotecnologie, definite come «**applicazione della scienza e della tecnologia agli organismi viventi, nonché a parti, prodotti e modelli di essi, per modificare materiali viventi o non viventi al fine di produrre conoscenza, beni e servizi**»^[1], si stanno sempre più affermando come uno strumento chiave per la transizione verso un modello economico più sostenibile e circolare, in linea con gli obiettivi del Green Deal europeo.

Le biotecnologie trovano applicazione in diversi settori produttivi, in particolare, l'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE) le classifica sulla base di quattro macroaree principali:

- **Biotecnologie in ambito agroalimentare** (definite "verdi-gialle"), contribuiscono allo sviluppo di sistemi agricoli e alimentari più sostenibili;
- **Biotecnologie in ambito biomedico e farmaceutico** ("rosse") focalizzate sulla salute umana e animale secondo il principio del One Health, favoriscono processi produttivi più "puliti" e sostenibili.
- **Biotecnologie in ambito industriale e ambientale** (biotecnologie "bianche e grigie"), consentono l'ottenimento di prodotti innovativi e la riprogettazione dei processi produttivi tradizionali per ridurre il consumo di risorse naturali (acqua, fonti fossili) e la generazione di rifiuti;
- **Biotecnologie marine** (definite "blu"), sfruttano le risorse marine per soluzioni ambientali e industriali.

All'interno di ENEA, le attività di ricerca e innovazione nel campo delle biotecnologie si sviluppano secondo un approccio integrato, olistico e multisettoriale, orientato alla progettazione di soluzioni ad elevato valore aggiunto e alla valorizzazione di scarti e sottoprodotti come nuove risorse. In questo quadro, le biotecnologie rappresentano leve strategiche per favorire la chiusura dei cicli produttivi, promuovere modelli di sviluppo circolari e contribuire al rafforzamento della competitività e della resilienza dei sistemi produttivi e della società, in piena coerenza con i principi dell'economia circolare e con la necessità di ripensare i modelli produttivi in chiave sostenibile.

Questo approccio si sviluppa intorno a sette pilastri strategici:

- **Valorizzazione e trasformazione delle biomasse;** ENEA sviluppa soluzioni biotecnologiche per convertire biomasse, scarti agroalimentari, sottoprodotti dell'industria ittica e rifiuti in nuove risorse, applicando le biotecnologie a molteplici ambiti e settori produttivi. Tali attività includono sviluppo e validazione di farmaci e bio-prodotti derivati da scarti, anche attraverso l'impiego di piante come biofabbrica; la produzione, nell'ambito delle strategie di *healthy aging*, di matrici ricche in composti bioattivi ottenute mediante valorizzazione e fermentazione di scarti per applicazioni nutraceutiche; nonché il recupero e la caratterizzazione di scarti agroalimentari per l'agricoltura rigenerativa, mediante tecniche di puri-



ficazione e funzionalizzazione di ammendanti e *soil improvers*; la biodegradazione controllata di sottoprodotti agroalimentari mediante insetti e microrganismi per la produzione di fonti nutrizionali alternative ad elevato contenuto proteico e di bio-prodotti funzionali per la nutrizione personalizzata; la valorizzazione di composti di origine naturale per lo sviluppo di packaging biodegradabili e bioattivi destinati a migliorare la sicurezza e la durabilità degli alimenti.

- **Sostenibilità, resilienza e adattamento al cambiamento climatico delle coltivazioni.** Nel quadro delle crescenti pressioni esercitate dal cambiamento climatico sui sistemi agricoli, la sostenibilità, la resilienza e la capacità di adattamento delle coltivazioni rappresentano una sfida cruciale per la sicurezza alimentare e la tutela delle risorse naturali. ENEA affronta tali sfide attraverso un approccio biotecnologico integrato, orientato alla riduzione dell'impatto ambientale delle produzioni agricole e al rafforzamento della stabilità dei sistemi colturali in condizioni di stress abiotico e biotico. La valorizzazione della biodiversità vegetale e microbica, lo sviluppo di colture più resilienti e l'impiego di microrganismi

benefici per il miglioramento della fertilità dei suoli e dell'efficienza nell'uso delle risorse costituiscono elementi chiave di questa strategia. Parallelamente, le biotecnologie applicate alla filiera alimentare e ambientale contribuiscono a ridurre le perdite, promuovere la circolarità e sostenere il ripristino degli ecosistemi, rafforzando il ruolo dell'innovazione scientifica come leva fondamentale per l'adattamento dei sistemi agroalimentari alla transizione verde e agli obiettivi di sostenibilità di lungo periodo.

- **Benessere e qualità della vita,** sviluppiamo biotecnologie avanzate concepite come elementi strutturali delle politiche di adattamento e di risposta alle grandi sfide socio-sanitarie contemporanee, intese in senso integrato secondo i principi del One Health, che include la salute umana, animale ed ecosistemica. Tali biotecnologie si collocano in un contesto caratterizzato da profonde trasformazioni ambientali e socio-economiche, in particolare indotte dal cambiamento climatico, che amplificano le pressioni sugli ecosistemi e sui sistemi di tutela della salute, e pongono nuove sfide in termini di adattamento e sopravvivenza in ambienti complessi ed estremi.





L'aumento degli stress ambientali, l'emergere di nuovi fattori di rischio, la diffusione di patogeni e vettori in aree precedentemente non interessate e l'esposizione crescente a condizioni fisiche e ambientali avverse rendono necessario un approccio sistemico, in grado di integrare prevenzione, resilienza e innovazione. In questo quadro, le biotecnologie assumono un ruolo chiave non solo nella gestione del rischio sanitario, ma anche nella promozione della qualità della vita e del benessere lungo l'intero arco dell'esistenza, contribuendo allo sviluppo di strategie di prevenzione e terapie innovative, verso la promozione di soluzioni di medicina personalizzata e di *healthy aging*;

- **Gestione sostenibile delle risorse idriche**, focalizziamo le nostre attività sulla valorizzazione delle acque reflue e dei fanghi in linea con le normative UE sul riutilizzo idrico. Il regolamento sui requisiti minimi per il riutilizzo dell'acqua, adottato dall'Unione Europea nel 2020, ha introdotto nuove norme volte a incentivare il riuso delle risorse idriche, con particolare attenzione all'irrigazione agricola. Inoltre, la nuova strategia di adattamento ai cambiamenti climatici della Commissione Europea mira a ridurre il consumo di acqua attraverso un maggiore risparmio idrico nei processi produttivi e un incremento dell'efficienza nella depurazione delle acque reflue.

Tra le tecnologie avanzate adottate figurano processi innovativi per il trattamento biologico degli inquinanti, come la denitrificazione avanzata, la rimozione biologica del fosforo, la produzione di bioenergie attraverso la fermentazione anaerobica (metano e idrogeno) e il riutilizzo delle acque depurate per applicazioni agricole e industriali;

- **Biorisanamento ambientale**, che vede tra i nostri obiettivi strategici la tutela del patrimonio culturale e la rigenerazione ambientale, promuovendo il riuso delle risorse biologiche, la riduzione degli impatti ambientali e la valorizzazione sostenibile dei territori per favorirne recupero funzionale e reinserimento nei cicli produttivi e ambientali. In questo ambito, ENEA applica strategie di *bioaugmentation* in grado di degradare, trasformare o immobilizzare contaminanti organici e pesticidi, nonché di stabilizzare metalli pesanti.
- A tali approcci si affiancano metodologie di biorisanamento microbico e di *phytoremediation*, che sfruttano microrganismi e organismi vegetali capaci di accumulare, degradare o immobilizzare gli inquinanti presenti in suoli, sedimenti e acque, riducendo l'impatto degli interventi chimico-fisici tradizionali e favorendo processi di rigenerazione sostenibile delle matrici ambientali. Le stesse competenze biotecnologiche trovano applicazione nel campo del biore-



stauro e della conservazione dei beni culturali, dove l'impiego controllato di microrganismi selezionati e di prodotti *bio-based* consente interventi mirati, reversibili e a basso impatto.

- **Bioteecnologie marine e conservazione della biodiversità**, promuoviamo strategie che mirano a integrare innovazione tecnologica, tutela degli ecosistemi e sviluppo territoriale, promuovendo un uso efficiente delle risorse e la chiusura dei cicli lungo le filiere produttive della *blue economy*. Appliciamo bioteecnologie integrate per la valorizzazione sia di organismi marini come fonti sostenibili di composti bioattivi che di scarti e sottoprodotti della pesca e dell'acquacoltura, rafforzando il ruolo delle bioteecnologie marine come leva strategica per uno sviluppo resiliente e circolare dei territori, capace di coniugare competitività, tutela ambientale e benessere delle comunità. Questi approcci contribuiscono alla diversificazione delle filiere *bio-based*, riducendo la pressione sugli ecosistemi naturali e favorendo modelli produttivi a basso impatto ambientale, in linea con gli obiettivi della Strategia nazionale italiana per la bioeconomia. Parallelamente, sviluppiamo soluzioni per il monitoraggio, la conservazione e il mantenimento della biodiversità marina, a supporto delle politiche di adattamento ai cambiamenti climatici e di gestione sostenibile degli ambienti costieri.
- **Strategie computazionali**, promuoviamo un utilizzo sempre più esteso e integrato delle biotecnologie computazionali e degli approcci basati sull'Intelligenza Artificiale come elemento abilitante chiave per la convergenza tra biotecnologie, tecnologie digitali e sostenibilità, a supporto dello sviluppo di soluzioni data-driven, resilienti e orientate alle sfide della transizione verde e digitale. Attraverso approcci *in silico* per l'analisi e la valorizzazione di grandi volumi di dati biologici e ambientali, favoriamo l'innovazione, l'efficienza della ricerca e decisioni informate lungo l'intero ciclo di sviluppo delle soluzioni biotecnologiche, supportando la comprensione dei sistemi complessi e la progettazione razionale di

biomolecole, bioprocessi e interventi ambientali. Questi approcci risultano pienamente coerenti con le politiche europee in materia di digitalizzazione, sicurezza tecnologica e bioeconomia, nonché con le strategie nazionali orientate all'innovazione e al rafforzamento delle infrastrutture di ricerca.

Il settore delle biotecnologie si confronta con **ostacoli comuni**, quali la complessità e lunghezza dei processi, la necessità di investimenti importanti in R&D prima di raggiungere il mercato nonché l'adempimento di obblighi normativi connessi con la tutela della proprietà intellettuale.

Un elemento normativo cruciale per l'applicazione diffusa delle biotecnologie è il riconoscimento formale dell'**End of Waste** (Criteri di Fine Rifiuto). Questo è il presupposto indispensabile per la creazione di mercati secondari, poiché le biotecnologie garantiscono processi di trasformazione controllati, sicuri e verificabili, trasformando scarti e rifiuti in nuove risorse.

Per sfruttare al meglio il potenziale delle **biotecnologie per l'economia circolare**, è indispensabile adottare un approccio integrato e olistico. Tale visione strategica richiede la sincronizzazione e l'armonizzazione di investimenti mirati in innovazione, una governance multilivello efficace che coordini gli sforzi tra i diversi attori (pubblici, privati) e a varie scale (locale, nazionale, internazionale), un quadro normativo evoluto che supporti l'implementazione e la diffusione delle innovazioni biotecnologiche circolari.

Solo attraverso **azioni congiunte** tra imprese (che adottano modelli di business innovativi e investono in R&S) e istituzioni (che forniscono incentivi, strumenti di policy e sostegno alla ricerca) sarà possibile costruire catene del valore resilienti, interconnesse e sostenibili dove gli scarti diventano risorse, consolidando il ruolo delle biotecnologie come elemento catalizzatore per un sistema economico rigenerativo capace di coniugare efficienza nell'uso delle risorse, sicurezza ambientale e competitività industriale.

¹ OCSE, *Agenda politica al 2030 per la bioeconomia*, 2009