

EDIZIONE A.S. 2026/27

ARTICOLO 1

QUANDO LA RICERCA SALVAGUARDA PERSONE E AMBIENTE.

madforscience.fondazionediasorin.it

Quando la ricerca salvaguarda persone e ambiente.

Parlare di biotecnologie significa spesso pensare subito alla medicina o alla sostenibilità. Ma c'è un altro punto di vista, altrettanto importante: è il ruolo della ricerca che, grazie alle sue costanti innovazioni, rende più affidabili i processi, più sicure le filiere produttive, più efficiente l'impiego delle risorse e più elevati gli standard di qualità a beneficio della collettività.

In questo senso, le biotecnologie rappresentano un insieme di strumenti estremamente concreti. Usano sistemi biologici, microrganismi, cellule, enzimi e processi ispirati alla natura per affrontare problemi reali: depurare acque contaminate, migliorare la qualità di materie prime biologiche, trasformare biomasse in energia, rendere più efficienti i controlli ambientali, ridurre il rischio associato a sostanze tossiche o sottoprodotti industriali. L'ambito dell'**environmental biotechnology**, per esempio, comprende proprio l'uso di processi biologici per risolvere problemi ambientali come l'inquinamento, la produzione di energia da biomassa e il recupero di risorse.¹

Tre risorse, tre campi d'azione.

Il tema delle **risorse energetiche, biologiche e ambientali** permette di osservare da vicino come la **ricerca biotecnologica** opera su piani diversi ma connessi tra loro. Una stessa innovazione, infatti, tocca più ambiti contemporaneamente, ma c'è un elemento che unisce energia, biologia e ambiente: la funzione di **garanzia** esercitata dalla ricerca. La ricerca cura e protegge quando migliora la qualità dell'acqua che utilizziamo, quando riduce l'esposizione a contaminanti, quando valorizza scarti e biomasse in modo intelligente, quando aiuta a monitorare un territorio, quando rende una filiera biologica più robusta o un processo energetico più stabile. La ricerca, dunque, non interviene solo "dopo" un danno, ma sempre più spesso **agisce prima**, prevenendo criticità, controllando qualità e sicurezza, ottimizzando l'uso delle risorse e rendendo più affidabili i processi. È in questa sua capacità di anticipare, correggere e proteggere che si vede uno dei volti più forti della scienza applicata.

Risorse energetiche: estrarre valore, aumentare efficienza, ridurre i rischi.

Quando si parla di risorse energetiche, il contributo delle biotecnologie non si limita alla produzione di "energia verde". Il punto centrale, oggi, è soprattutto la **capacità di trasformare materiali organici in fonti utili di energia e prodotti associati**, con processi controllabili e integrabili nelle filiere esistenti. La bioenergia si basa sulla conversione della **biomassa** - residui agricoli, forestali, alghe, rifiuti organici, colture dedicate - in combustibili, elettricità, calore o altri prodotti di interesse industriale. Tra i metodi più noti ci sono combustione, fermentazione e gassificazione, mentre le tecnologie più avanzate puntano a bioraffinerie integrate capaci di ottenere, dalla stessa materia prima, più prodotti utili.²

Il valore della ricerca consiste proprio nel migliorare l'efficienza di questi passaggi. Un enzima più selettivo può aumentare la resa di conversione di una biomassa lignocellulosica, un consorzio microbico ben progettato può rendere più stabile la digestione anaerobica dei rifiuti organici, un processo biotecnologico ben calibrato può rendere possibile l'uso energetico di materiali che altrimenti sarebbero difficili da trattare o costosi da smaltire.

Qui la ricerca non serve solo a "produrre energia", ma a farlo con maggiore **sicurezza di processo**, minori perdite, più controllo della qualità e migliore integrazione con la gestione di residui e sottoprodotti.

Dai nuovi impianti per la valorizzazione della frazione organica dei rifiuti alle bioraffinerie, dall'impiego di microalghe e batteri fotosintetici fino all'applicazione dell'intelligenza artificiale ai processi di digestione anaerobica, queste innovazioni mostrano come sia possibile aumentare l'efficienza produttiva, recuperare risorse e ridurre gli sprechi. Nella tabella allegata (**tab.1**), vengono riportati alcuni **spunti progettuali** e relativi **esempi di ricerca** che illustrano alcune delle più promettenti direttrici di sviluppo delle biotecnologie industriali.

1 - <https://www.nature.com/subjects/environmental-biotechnology> - una raccolta interessante di studi e spunti di ricerca

2 - <https://www.energy.gov/cmei/fuels/bioenergy-basics>

tab. 1 - Risorse energetiche: spunti progettuali ed esempi di ricerca

Spunti progettuali	Esempi di ricerca
Impianti che trasformano la frazione organica dei rifiuti in biogas o biometano.	Uno studio pubblicato sulla rivista <i>Fuel</i> ³ ha realizzato un impianto pilota che integra la digestione anaerobica dei rifiuti alimentari con un sistema di upgrading biologico del biogas.
Prodotti organici di scarto che diventano delle bioraffinerie , cioè impianti che, analogamente a una raffineria petrolifera, producono contemporaneamente energia, intermedi chimici e materiali da una sola materia prima. È uno degli esempi più avanzati di economia circolare applicata alle biotecnologie industriali.	Uno studio dell'University College London ha dimostrato che bucce d'arancia e paglia di grano possono essere trasformate direttamente in acido succinico mediante fermentazione con il batterio <i>Fibrobacter succinogenes</i> . L'acido succinico è una delle più importanti molecole piattaforma ⁴ della chimica verde perché rappresenta il punto di partenza per la sintesi di bioplastiche, solventi, poliesteri biodegradabili e numerosi prodotti chimici ⁵ .
Studio di microalghe e batteri fotosintetici per produrre composti energetici o per catturare e riutilizzare flussi di carbonio.	Alcuni ricercatori della University of Illinois Urbana-Champaign hanno progettato un sistema in cui la microalga <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> cattura CO ₂ grazie alla fotosintesi, ma, invece di produrre solo biomassa, rilascia glicolato ; il batterio <i>Escherichia coli</i> utilizza questo glicolato per produrre sostanze chimiche industriali senza richiedere zuccheri aggiuntivi. ⁶
Sviluppo di processi di digestione e fermentazione più robusti, adatti a matrici eterogenee e variabili, sistemi integrati con l'applicazione dell' intelligenza artificiale ⁷ (AI) ai digestori anaerobici. Gli algoritmi di machine learning riescono a prevedere eventuali squilibri del processo e a modificare automaticamente le condizioni operative, mantenendo elevata la produzione di metano anche quando cambia la composizione dei rifiuti trattati.	Una ricerca sperimentale del 2025 ha studiato la co-digestione di reflui dei macelli e rifiuti alimentari con l'aggiunta di ossido ferrico, un materiale conduttivo che facilita il trasferimento di elettroni tra i microrganismi. I risultati hanno mostrato un aumento della produzione di metano fino all'81% rispetto al processo tradizionale, oltre a una maggiore stabilità del digestore e a una migliore rimozione della sostanza organica. ⁸

3 - Marín, D. F., et al. (2022). *Anaerobic digestion of food waste coupled with biogas upgrading in an outdoors algal-bacterial photobioreactor at pilot scale*. Fuel, 324, 125134; <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001623612201403X>

4 - Takkellapati, S., Li, T., & Gonzalez, M. A. (2018). *An Overview of Biorefinery Derived Platform Chemicals from a Cellulose and Hemicellulose Biorefinery*. Clean Technologies and Environmental Policy, 20(7), 1615-1630. <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1568-5>. Per saperne di più sulle **molecole piattaforma**.

5 - <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20645087/>

6 - <https://phys.org/news/2025-04-microalgae-bacteria-team-carbon-dioxide.html>

7 - Marycz, M., et al. (2025). *Artificial Intelligence in Anaerobic Digestion: A Review of Sensors, Modeling Approaches and Optimization Strategies*. **Sensors**, 25, 6961.

8 - <https://arxiv.org/abs/2505.04635>

Risorse biologiche: salvaguardare la vita, migliorare le filiere, aumentare la qualità

Le risorse biologiche comprendono tutto ciò che ha origine vivente o biologica e che può essere studiato, protetto, valorizzato o migliorato: microrganismi, cellule, biomasse, colture, matrici naturali, sistemi viventi usati nei processi produttivi.

Qui le biotecnologie operano in almeno due direzioni. La prima è la **protezione**: prevenire malattie, ridurre contaminazioni, monitorare la presenza di agenti patogeni o molecole tossiche, migliorare la sicurezza lungo le filiere. La seconda è il **miglioramento**: selezionare microrganismi più efficienti, sviluppare processi fermentativi più stabili, ottenere prodotti biologici più sicuri, efficaci o standardizzati. In agricoltura e nelle filiere alimentari, per esempio, la ricerca biotecnologica può aiutare a controllare **contaminazioni microbiologiche**, a migliorare la **salute del suolo**, a

sostenere la **resistenza delle piante a stress** e patogeni o a recuperare sottoprodotti biologici per nuovi utilizzi. In parallelo, microbiologia, genomica, bioinformatica e ingegneria genetica stanno ampliando la capacità di progettare sistemi biologici più mirati e affidabili, tema centrale anche nella ricerca più recente del settore. Dall'impiego di microrganismi per il biorisanamento di suoli e acque contaminate ai biosensori per il monitoraggio in tempo reale, dalla fermentazione di precisione per ottenere biomolecole ad alto valore aggiunto fino ai biofertilizzanti e alla valorizzazione del microbioma delle piante, la ricerca sta sviluppando soluzioni innovative che coniugano sostenibilità, efficienza e qualità. Nella tabella [n.2](#) vengono riportate alcune linee di ricerca inerenti all'impiego delle risorse biologiche.



tab. 2 - Risorse biologiche: spunti progettuali ed esempi di ricerca

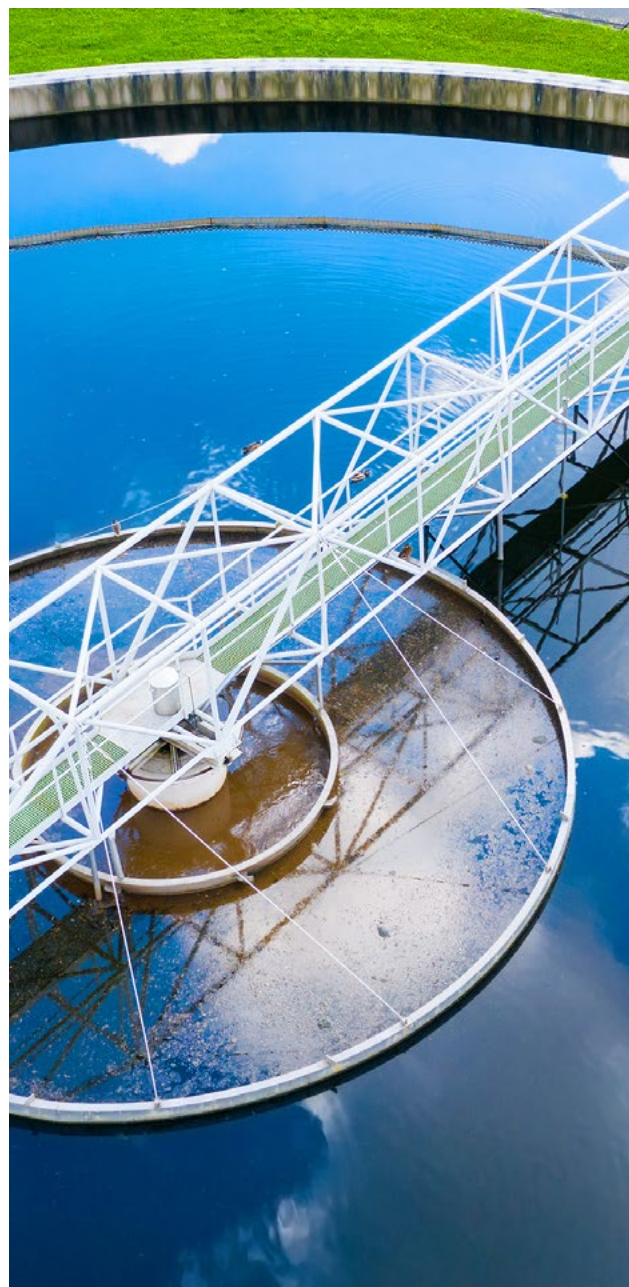
Spunti progettuali	Esempi di ricerca
Impiego di consorzi di batteri e funghi per degradare le microplastiche presenti nei suoli e nelle acque reflue. I funghi avviano la degradazione del polimero grazie ai loro enzimi, mentre i batteri trasformano i prodotti intermedi, rendendo il processo più efficiente.	Un recente studio (2025) ha dimostrato che una co-coltura di funghi e batteri è in grado di degradare il polietilene a bassa densità (LDPE) in modo significativamente più rapido rispetto all'impiego dei singoli microrganismi. I risultati evidenziano il potenziale di questa strategia per il biorisanamento di suoli e acque contaminati da microplastiche. ⁹
I biosensori vengono utilizzati negli impianti di trattamento delle acque per monitorare in tempo reale la presenza di contaminanti. Alcuni dispositivi sfruttano batteri elettroattivi che modificano la produzione di corrente elettrica quando entrano in contatto con sostanze tossiche.	Uno studio ¹⁰ (2024) ha sviluppato un biosensore basato su Microbial Fuel Cell (MFC) utilizzando <i>Shewanella baltica</i> per il monitoraggio del BOD (Biological Oxygen Demand) nelle acque reflue. Il batterio genera un segnale elettrico proporzionale al carico organico, consentendo una stima rapida del BOD senza attendere i cinque giorni richiesti dal test BOD ₅ . I risultati hanno evidenziato una buona sensibilità e un'elevata potenzialità per il monitoraggio continuo e in tempo reale della qualità delle acque reflue.
Una delle innovazioni più promettenti è la fermentazione di precisione , nella quale lieviti o batteri vengono programmati per produrre biomolecole specifiche, come proteine del latte, enzimi alimentari, vitamine o aromi naturali.	È stata sviluppata una nuova cell factory ¹¹ basata sul lievito <i>Komagataella phaffii</i> per la produzione sostenibile di (+)-valencene, un composto aromatico impiegato come ingrediente nell'industria alimentare e delle fragranze. Attraverso tecniche di ingegneria metabolica e l'ottimizzazione delle vie biosintetiche, è stata aumentata la resa produttiva, confermando il potenziale di <i>K. phaffii</i> come piattaforma microbica per la produzione sostenibile di molecole bioattive ad elevata purezza. Sono disponibili altri studi¹² per la sintesi di molecole ad uso farmaceutico.
Sempre più aziende agricole utilizzano biofertilizzanti contenenti batteri come <i>Bacillus subtilis</i> e <i>Azospirillum brasilense</i> oppure funghi del genere <i>Trichoderma</i> . Questi microrganismi colonizzano le radici delle piante, migliorano l'assorbimento dei nutrienti.	Ricerche sul microbioma delle piante mirano alla selezione di comunità microbiche specifiche per ciascuna coltura. Integrando tecniche di sequenziamento genomico e intelligenza artificiale, è possibile identificare i microrganismi più efficaci per migliorare la produttività e la qualità delle produzioni agricole, favorendo un'agricoltura più sostenibile e resiliente ai cambiamenti climatici. ¹³

Risorse ambientali: monitorare, depurare, ripristinare

L'aria, l'acqua, il suolo e gli ecosistemi sono risorse ambientali essenziali. Quando vengono compromessi, il danno non è astratto: incide direttamente sulla salute, sulla produzione agricola, sull'abitabilità dei territori e sulla sicurezza delle comunità. Le biotecnologie ambientali - attraverso processi biologici applicati alla depurazione, alla produzione di biomassa e al recupero energetico - nascono proprio per questo: sfruttare processi biologici per **rimuovere inquinanti, trattare reflui, recuperare materiali, migliorare la qualità degli ambienti contaminati**.

Un interessante lavoro¹⁴ si concentra sulla rimozione dei contaminanti emergenti, come farmaci, metalli pesanti, cosmetici e microplastiche, che i trattamenti convenzionali non riescono ancora a eliminare efficacemente. Lo studio analizza i principali progressi della **biotecnologia applicata al trattamento delle acque reflue**, con particolare attenzione alle innovazioni microbiologiche, alle tecniche di ingegneria genetica e biologia sintetica, ai bioreattori avanzati e ai sistemi ibridi. Si valutano inoltre le **prestazioni di bioreattori a membrana, sistemi bioelettrochimici e processi integrati biologico-fisico-chimici** in termini di efficienza depurativa, recupero energetico e possibilità di applicazione su larga scala, ancora in fase di validazione. Qui il contributo della ricerca è duplice: da una parte **ripara**, dall'altra **misura e controlla**.

Nella tabella **n.3** vengono riportati alcuni spunti progettuali ed esempi di ricerca relativi alle risorse ambientali.



9 - Alidoosti F, Giyahchi M, Moghimi H. Synergistic bioremediation: Fungal-bacterial partnership degrades LDPE microplastics twice as fast. *Curr Res Microb Sci*. 2025 Jul 30;9:100450. doi: 10.1016/j.crmicr.2025.100450. PMID: 40799926; PMCID: PMC12340558.

10 - Dang, N. P., Petrich, C., Pasztor, D., Schneider, G., & Calay, R. K. (2024). *Shewanella baltica* in a Microbial Fuel Cell for Sensing of Biological Oxygen Demand (BOD) of Wastewater. **Analytical Letters**, 57(5), 755-767. <https://doi.org/10.1080/00032719.2024.2341087>

11 - <https://link.springer.com/article/10.1186/s12934-025-02649-5>

12 - <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39653076/>

13 - Kour D, Khan SS, Kour H, Kaur T, Devi R, Rai PK, Judy C, McQuestion C, Bianchi A, Spells S, Mohan R, Rai AK, Yadav AN. Microbe-mediated bioremediation: Current research and future challenges. *J App Biol Biotech*. 2022;10(Suppl 2):6-24. DOI: <https://doi.org/10.7324/JABB.2022.10s202>

14 - Mustapha, L. S., Obayomi, O. V., & Obayomi, K. S. (2026). Recent advances in microbial biotechnology for wastewater treatment. *Total Environment Microbiology*, 2(2), 100078. <https://doi.org/10.1016/j.temicr.2026.100078>

tab. 3 - Risorse ambientali: spunti progettuali ed esempi di ricerca

Spunti progettuali	Esempi di ricerca
Sviluppo di consorzi microbici ingegnerizzati e biofilm avanzati per aumentare la rimozione di COD (Chemical Oxygen Demand), azoto, fosforo e contaminanti emergenti, riducendo il consumo energetico degli impianti di depurazione.	Il progetto INTECH4WATER ¹⁵ (Italia, 2024-2026), è un sistema integrato di tecnologie innovative per la depurazione delle acque reflue urbane e industriali. Combina processi biologici (micro-alghe), filtri avanzati, ossidazione (UV/ozono) e materiali adsorbenti per aumentare la rimozione di nutrienti (azoto e fosforo), contaminanti emergenti, microplastiche e patogeni. Il progetto UniCoN (finanziato dal programma Horizon Europe) mira a rivoluzionare la depurazione delle acque. Sfrutta le comunità di batteri Comammox (<i>Complete Ammonia Oxidizer</i>), organismi capaci di convertire l'ammoniaca in nitrato in un unico passaggio, promuovendone la crescita in biofilm per ottimizzare e rendere più sostenibile l'eliminazione dell'azoto.
Trattamento di emissioni odorigene o inquinanti gassosi con biofiltri.	Sviluppo di biofiltri ad alta efficienza con nuovi materiali di riempimento e comunità microbiche specializzate per l'abbattimento di composti organici volatili (VOC) , ammoniaca (NH₃) e idrogeno solforato (H₂S) . Le ricerche attuali ¹⁶ si concentrano inoltre sull'ottimizzazione dei percorsi di degradazione microbica e sull'impiego di materiali sostenibili per aumentare l'efficienza e ridurre i costi operativi.
Recupero di energia e materie da fanghi, residui e scarti di processo.	Questo studio propone una soluzione di controllo automatico per la gestione degli impianti convenzionali di trattamento delle acque reflue (WWTP), trasformandoli in impianti di recupero di risorse idriche energeticamente autosufficienti . Viene presentato un sistema di controllo predittivo (<i>Output Model Predictive Control – Output MPC</i>), in grado di regolare automaticamente il funzionamento dell'impianto per produrre acqua con la qualità richiesta e, contemporaneamente, massimizzare la produzione di biogas , fino a raggiungere un bilancio energetico nullo o positivo. ¹⁷

15 - <https://www.issmc.cnr.it/ricerca/progetti/progetti-regionali/intech4water/>

16 - <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896972500227X?via%3DiHub>; Tian, L., Yeung, M., & Xi, J. (2025). *Do full-scale gas-phase biofilters reduce or increase bioaerosol emissions?* **Journal of Hazardous Materials**, **494**, 138639. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.138639> - articoli aggiornati sul tema biofiltri sostanze odorigene

17 - <https://arxiv.org/abs/2506.10490>

COME RACCONTARE IL PROGETTO DI RICERCA DA CANDIDARE AL CONCORSO MAD FOR SCIENCE.

Per il bando di concorso Mad for Science, **il concept e la solidità della parte scientifica restano la priorità**: ciò significa che un progetto forte deve prima di tutto avere **una buona idea, basi scientifiche chiare, un taglio coerente e un corretto inquadramento del tema**. Di seguito alcuni punti di attenzione:

- **Dalla risorsa al processo**: non raccontare solo “che cosa” si usa, ma “come” la ricerca la rende più sicura, più efficiente o più controllabile.
- **Valorizzare l'intelligenza dei microrganismi**: batteri, lieviti, alghe e funghi non sono solo strumenti invisibili, ma veri protagonisti di trasformazioni decisive.
- **Impatto della scienza su settori diversi**: un'innovazione nata per depurare può produrre anche energia; una ricerca sulla biomassa può avere effetti sulla sicurezza industriale; uno studio su un microrganismo può migliorare sia un processo produttivo, sia una strategia di risanamento ambientale.
- **Accuratezza prima dell'effetto**: meglio un esempio semplice ma corretto che una formula brillante ma vaga.
- **Concretezza**: spiegare dove si vede l'impatto della scienza, con casi pratici, processi e applicazioni.
- **Lessico chiaro ed equilibrio**: usare termini scientifici quando servono, ma accompagnarli con spiegazioni comprensibili, senza perdere il rigore scientifico.
- **Connessione con la realtà**: mostrare perché quel tema sia rilevante per salute, sicurezza, qualità della vita, gestione dei territori e dei processi.