

BIOTECNOLOGIE INDUSTRIALI: STRUMENTI DI INNOVAZIONE E SOSTENIBILITÀ

PRODOTTI DI RICERCA DELL'ISTITUTO

2024

INTRODUZIONE - Già nel 2001, l'OCSE, nel promuovere il concetto di "industrializzazione sostenibile" aveva individuato nelle biotecnologie la vera e propria chiave di volta per realizzare uno sviluppo industriale rispettoso dell'ambiente. Attualmente le biotecnologie vengono pienamente riconosciute *key technologies* ad alta trasversalità per lo sviluppo della chimica, per la rigenerazione delle materie prime, per il riutilizzo delle materie seconde, per la produzione di bioprodotto, contribuendo alla sostenibilità delle imprese. Nell'ambito dell'implementazione del Green Deal e degli obiettivi fissati dalle Nazioni Unite per lo sviluppo sostenibile, il biotech contribuisce al raggiungimento di 10 obiettivi su 17. Dalla produzione di risorse biologiche alla loro trasformazione in alimenti, mangimi, prodotti chimici e combustibili fino alla rigenerazione di suolo, biodiversità ed ecosistemi, la bioeconomia europea ha generato nel 2022 un output di circa 1.740 miliardi di euro, occupando oltre 7,6 milioni di persone (1). L'Italia si posiziona al terzo posto per valore della produzione, con un output stimato pari a 415,3 miliardi di euro nel 2022 e al secondo posto per occupazione, con circa 2 milioni di addetti e si stima, inoltre, che le aree di applicazione del biotech nella bioeconomia vedranno una crescita importante triplicando il loro valore dal 2020 al 2028.

L'obiettivo del fact sheet è quello di presentare in estrema sintesi alcune delle attività di ricerca del Lab X "Sicurezza delle tecnologie per lo sviluppo sostenibile" del DIT nel settore della salute, sicurezza e sostenibilità delle biotecnologie industriali, illustrando alcuni casi studio di processi ed impianti in diversi contesti industriali. I risultati sperimentali delle attività di ricerca sono riportati negli articoli citati nei riferimenti bibliografici.

L'obiettivo del fact sheet è quello di presentare in estrema sintesi alcune delle attività di ricerca del Lab X "Sicurezza delle tecnologie per lo sviluppo sostenibile" del DIT nel settore della salute, sicurezza e sostenibilità delle biotecnologie industriali, illustrando alcuni casi studio di processi ed impianti in diversi contesti industriali. I risultati sperimentali delle attività di ricerca sono riportati negli articoli citati nei riferimenti bibliografici.

IMPIANTI DI PRODUZIONE DI BIOGAS E BIOMETANO

Il nuovo Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC) prevede un ambizioso percorso per il settore del biogas e biometano. Infatti, l'Italia dovrà raggiungere una produzione di 6 miliardi di m³ di biometano entro il 2030, ma, in linea con il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), le potenzialità del settore nel nostro Paese potrebbero essere maggiori, poiché si potrebbero produrre fino a 8 miliardi di Sm³ entro il 2030. Poiché gli impianti di produzione di biogas, sono generalmente delle realtà industriali di taglia media-piccola, nelle quali si può riscontrare una minore sensibilità verso gli aspetti di salute e sicurezza, sono stati condotti studi, che hanno consentito la realizzazione di una *check list*, finalizzata a mitigare i

principali rischi (biohazard, incendio ed esplosione), connessi al loro funzionamento, ed a costituire un supporto fruibile anche a coloro, che hanno ridotte conoscenze nella gestione degli impianti industriali (2) (Fig. 1).

Figura 1

Caso studio: Impianto di produzione di biogas e biometano agricolo.



Inoltre, vista la rilevanza che il biometano assumerà nei prossimi anni ai fini dell'attuazione della transizione energetica, è stata avviata un'attività di ricerca sui principali pericoli, connessi con l'esercizio delle unità, dedicate alla sua generazione, tra i quali va annoverata la possibile formazione di atmosfere potenzialmente esplosive (3).

PRODUZIONE DI BIOPLASTICHE DA SCARTI ORGANICI ATTRAVERSO PROCESSI FERMENTATIVI

L'eliminazione su larga scala della plastica fossile dipende in parte da valide alternative come le bioplastiche, ottenute da rifiuti organici o biomassa vegetale. L'Unione Europea ha adottato diverse direttive e regolamenti, che promuovono l'uso di bioplastiche, tra cui i poliidrossialcanoati (PHA), al fine di ridurre l'impatto ambientale dei materiali plastici tradizionali. Secondo un rapporto, frutto di ricerche di mercato, la richiesta dei PHA raggiungerà i 195 milioni di dollari entro il 2028 rispetto ai 93 milioni di dollari raggiunti nel 2023. Un altro aspetto estremamente importante deriva dal fatto che la produzione di PHA da substrati organici, come la Forsu e i fanghi di depurazione, consente di attuare un modello di economia circolare e lo sviluppo di bioraffinerie urbane. Perseguendo tale finalità, il progetto europeo RES URBIS ha inteso favorire la piena integrazione degli impianti di produzione di bio-prodotto, come il PHA, con gli impianti tradizionali per la depurazione delle acque e/o il trattamento dei rifiuti (Fig. 2).

Figura 2

Caso studio: Produzione di PHA attraverso processi fermentativi. Area sperimentale progetto RES URBIS cerchiata in blu (foto sopra); Piattaforma pilota (foto sotto).



A partire dall'analisi delle diverse fasi operative del processo biotecnologico, Inail ha contribuito al progetto RES URBIS valutando i rischi espositivi professionali e definendo le misure di prevenzione e protezione più idonee a contenerli (4). Sono infatti molto pochi gli studi relativi agli aspetti di salute e sicurezza dei bioprocessi (5). A tal fine è stata avviata una specifica attività di ricerca, basata sull'applicazione ai bioprocessi di tecniche di analisi dei rischi (Hazop), focalizzando l'attenzione sul biohazard, sul rischio chimico e sul rischio di esplosione (6,7).

LA SOSTENIBILITÀ NEL SETTORE DELLE BONIFICHE DI SITI CONTAMINATI

Nel settore delle bonifiche dei siti contaminati negli anni è cresciuta la richiesta di una gestione sostenibile, secondo la quale le esigenze di risanamento ambientale e di sicurezza igienico-sanitaria siano coniugate al recupero economico delle aree bonificate con costi accettabili. In questo senso, la bonifica dei siti contaminati diventa un tassello importante di uno sviluppo basato sui principi dell'economia circolare, consentendo il recupero di porzioni di territorio a nuovi usi produttivi, diminuendo al contempo la richiesta ex novo di aree di maggior pregio. In collaborazione con i Dipartimenti di Scienze per gli Alimenti, la Nutrizione e l'Ambiente e Scienze della Terra "Ardito Desio" dell'Università di Milano, è stato studiato un processo di biorisanamen-

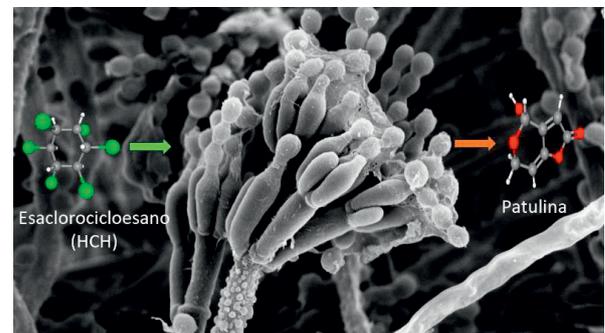
to di acque di falda contaminate, secondo modelli di economia circolare e sostenibilità. Il progetto ha studiato l'effetto di biostimolazione sulla degradazione dei solventi clorurati in condizioni di anaerobiosi e aerobiosi mediante analisi di laboratorio e in campo in un'ottica multidisciplinare. Attraverso il monitoraggio geochimico, idrogeologico, e indagini microbiologiche e di genomica ambientale, il progetto mira a supportare, con rilevazioni sito-specifiche, l'efficacia dell'utilizzo di biobarriere reattive permeabili nella bonifica biologica degli acquiferi contaminati da solventi clorurati. Il progetto ha dimostrato l'efficacia dell'accoppiamento di un trattamento aerobico a valle di quello anaerobico nell'abbattimento completo del cloruro di vinile ed ha valutato la sostenibilità del processo in termini di sicurezza ambientale e occupazionale. La sicurezza sul lavoro è infatti una componente fondamentale della sostenibilità sociale, poiché coinvolge la tutela dei lavoratori e delle comunità da impatti negativi derivanti dall'ambiente lavorativo (8).

INNOVAZIONE TECNOLOGICA E BIOSICUREZZA IN PROCESSI DI MICORIMEDIO DI AMBIENTI INQUINATI

La rimozione di inquinanti dall'ambiente attraverso il micorimedio (mycoremediation) rappresenta un campo di applicazione delle biotecnologie industriali che va assumendo una diffusione sempre maggiore. In tale ambito, in collaborazione con le Università di Torino e Sapienza di Roma e con il CNR di Roma e Torino, le attività di ricerca in materia di salute e sicurezza sul lavoro e di sostenibilità hanno la finalità di comprendere in maniera approfondita il microbioma ambientale e singole specie fungine, compresi patogeni umani opportunisti emergenti con resistenza a farmaci antifungini e microfunghi produttori di micotossine (9) (Fig. 3).

Figura 3

Penicillium sp. biodegradatore di esaclorocicloesano e produttore di patulina.



Inoltre, sono in corso specifiche attività di ricerca mirate al monitoraggio della potenziale esposizione occupazionale a micotossine. Tecnologie omiche di ultima generazione abbinata al recente sviluppo della bioinformatica permettono di effettuare ricerche fondamentali in suoli inquinati ed in altre matrici ambientali da ripristinare, tra cui caratterizzare i microfunghi di interesse nel micorimedio, far luce sulla biotrasformazione di inquinanti recalcitranti, comprendere le basi

molecolari della resistenza ad antifungini ed i meccanismi genetici alla base della produzione di micotossine (10,11,12). Infine, in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Pisa, nanotecnologie avanzate sono incentrate sullo sviluppo di nanobiosensori per il rilevamento e la quantificazione di micotossine negli ambienti di lavoro (13).

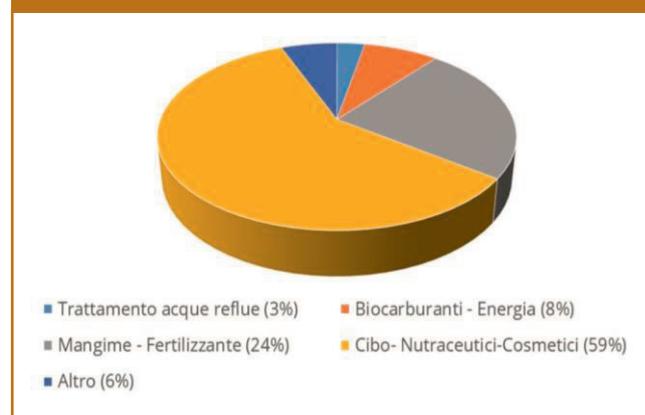
PIATTAFORME BIOTECNOLOGICHE DA MICROALGHE

È crescente l'interesse nell'impiego delle microalghe che contribuiscono, direttamente o indirettamente, a tutti i 17 obiettivi per lo sviluppo sostenibile elencati nell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite. Inoltre, esse rivestono un ruolo significativo nell'economia circolare, come piattaforme biotecnologiche (bioraffinerie di terza generazione) per la produzione di prodotti di alto valore, quali intermedi biochimici, bioplastiche e biocarburanti. In tale contesto si colloca il progetto Inail Bric 2019 - ID 53, svolto in collaborazione con il gruppo RICICLA, del Dipartimento di Scienze Agrarie ed Ambientali dell'Università di Milano, che ha avuto l'obiettivo primario di fornire un quadro delle aree di impatto sull'uomo e sull'ambiente degli impianti per la produzione di biomassa microalgale e delle bioraffinerie ad essi collegate. Partendo da una rassegna degli impianti produttivi al 2022, si è focalizzata l'attenzione sui sistemi maggiormente in uso evidenziandone le relative caratteristiche strutturali e funzionali in base al prodotto finale di in-

teresse (Fig. 4). Attualmente, i sistemi aperti sono i più utilizzati per produrre biomassa a basso costo, mentre i reattori chiusi vengono impiegati esclusivamente per produrre componenti/biomassa di alto valore. Sono stati quindi analizzati gli impatti ambientali ed occupazionali degli impianti, con particolare riguardo al biohazard professionale, quale pericolo maggiormente percepito dai gestori degli stessi. A tale scopo sono stati studiati due sistemi raceway su scala dimostrativa e due impianti su scala reale dedicati, rispettivamente, alla produzione della microalga *Spirulina* per il settore alimentare ed al trattamento di acque reflue (14).

Figura 4

Uso della biomassa algale nelle aziende oggetto di indagine.



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Federchimica. 29° Rapporto Responsible Care di Federchimica. Milano 2023.
- [2] Pietrangeli B, Lauri R (2018). Biogas production plants. A methodological approach for occupational health and safety improvement. INTECH Book "Advances in biofuel and bioenergy". ISBN 978-1-78923-286-8.
- [3] Lauri R (2022). Biomethane production: pressure Influence on classification of Atex zones. Chemical Engineering Transactions 91: 73-78.
- [4] Pietrangeli B et al. (2022). Salute e sicurezza nelle biotecnologie industriali. Il progetto europeo RES URBIS. Inail Ed., Milano 2022. pp.1- 76. ISBN 978-88-7484-753-2.
- [5] Nguemna L, Lauri R, Incocciati E, Pietrangeli B, Majone M, Micolucci F, Gottardo M, Valentino F (2022). Acidogenic fermentation of food waste and sewage sludge mixture: effect of operating parameters on process performance and safety aspects, Process Safety and Environmental Protection 163: 158-166.
- [6] Lauri R, Incocciati E, Pietrangeli B, Nguemna Tayou L, Valentino F, Gottardo M, Majone M (2023). Hazop analysis of a bioprocess for polyhydroxyalkanoate (PHA) production from organic waste: part A". In: Special Issue "Efficient Biorefinery of Waste Biomass into Valuable Resources and Energy". Fermentation 9 (2): 99.
- [7] Lauri R, Incocciati E, Pietrangeli B, Nguemna Tayou L, Valentino F, Gottardo M, Majone M (2023). Hazop analysis of a bioprocess for polyhydroxyalkanoate (PHA) production from organic waste: part B". In: Special Issue "Efficient Biorefinery of Waste Biomass into Valuable Resources and Energy". Fermentation 9 (2): 154.
- [8] Pietrangeli B et al. (2024). Sostenibilità di processi di bonifica di acque di falda mediante utilizzo di composti bio-based. Applicazioni e sicurezza. Inail Ed. In corso di stampa.
- [9] Venice F, Spina F, Davolos D, Ghignone S, Varese GC. (2023) The genomes of *Scedosporium* between environmental challenges and opportunism. IMA Fungus 14 (1):25.
- [10] Davolos D, Russo F, Canfora L, Malusà E, Tartanus M, Furmanczyk EM, Ceci A, Maggi O, Persiani AM (2021). A genomic and transcriptomic study on the DDT-resistant *Trichoderma hamatum* FBL 587: first genetic data into mycoremediation strategies for DDT-polluted sites. Microorganisms Aug 7; 9 (8):1680.
- [11] Venice F, Davolos D, Spina F, Poli A, Prigione VP, Varese GC, Ghignone S (2020). Genome sequence of *Trichoderma lixii* MUT3171, a promising strain for mycoremediation of PAH-contaminated sites. Microorganisms. Aug 20;8(9):1258.
- [12] Davolos D, Ceci A, Ricelli A, Maggi O, Persiani AM (2023). Mycoremediation in agricultural soils heavily contaminated by hexachlorocyclohexane (HCH) isomers: insights from the HCH-degrading *Penicillium griseofulvum* MUT5854. XIX Congress of European Mycologists, Perugia, Italy, September 4-8 2023.
- [13] Corsi M, Maurina E, Davolos D, Ricelli A, Barillaro G (2023). Molecular insights into mycotoxin production and implementation of technological approaches for mycotoxin detection in the workplace. Nanoinnovation 2023 Conference, Rome, Italy, September 18-22 2023.
- [14] Pietrangeli B et al. (2023). Salute e sicurezza nelle biotecnologie industriali: Monitoraggio e valutazione degli impatti di bioraffinerie microalgali. Inail Ed., Milano 2023 pp.1-115. ISBN 978-88-7484-819-5.