



REMTECH EXPO

H U T T E

L'innovazione ed il pragmatismo ambientale: l'uomo da problema a parte della soluzione

A cura di
Vito Felice Uricchio
Silvia Paparella
Marco Falconi



con le Prefazioni

del Ministro
Gilberto Pichetto Fratin
del Viceministro **Vannia Gava**
del Gen. **Giuseppe Vadalà**



 **edizioni**
Consiglio Nazionale delle Ricerche



**L'innovazione ed il pragmatismo ambientale:
l'uomo da problema a parte della soluzione**

RemTech Expo 2025
Libro degli abstract

Comitato scientifico

Valeria Ancona, Daniele Baldi, Anna Barra Caracciolo, Annamaria Basile, Eleonora Beccaloni, Vincenzo Belgiorno, Alessandro Bratti, Vito Bruno, Vera Corbelli, Marco Falconi, Francesco Petracchini, Cesare Ferone, Antonello Fiore, Massimo Clemente, Massimiliano Lega, Michele Macaluso, Silvia Paparella, Fabio Pascarella, Cinzia Pasquale, Aldo Papotto, Marco Petrangeli Papini, Francesco Pirozzi, Andrea Sconocchia, Gianluca Selicato, Stefano Sorvino, Maria Cristina Tullio, Vito Felice Uricchio, Giuseppe Vadalà, Igor Villani, Gianluca Farinola, Antonio Sarcina

Direttore scientifico

Vito Felice Uricchio

Curatori

Vito Felice Uricchio, Silvia Paparella, Marco Falconi

Direttore editoriale

Sara Di Marcello



Consiglio Nazionale delle Ricerche

© Cnr Edizioni, 2025

Piazzale Aldo Moro, 7 - 00185 Roma

www.edizioni.cnr.it

bookshop@cnr.it

ISBN: 978-88-8080-762-9 ed. stampa

ISBN: 978-88-8080-763-6 ed. digitale

@ Grafica di copertina: [Vito Felice Uricchio]

Finito di stampare nel mese di settembre 2025

*Tutti i diritti sono riservati a norma di legge e a norma delle
convenzioni internazionali*

Prefazioni

Il risanamento del territorio nazionale, quale presupposto per il suo sviluppo, costituisce una sfida di straordinaria importanza. Essa è in un tempo istituzionale, scientifica e civile. Perché richiama tutti, nei rispettivi gradi di responsabilità, a contribuire ad una fase di transizione verso la sostenibilità.

Lo dimostra chiaramente il coinvolgimento promosso dal presente volume, che reca il contributo di accademici, amministrazioni e realtà private, centri di ricerca e mondo associativo: tutti, seppur da diversi osservatori, pronti a contribuire su un obiettivo necessariamente comune.

Per raggiungerlo occorre il massimo grado di concretezza, quella che potrete leggere nelle pagine che seguono: visione sistemica, ma con essa approcci e tecnologie adottate, soluzioni vincenti testate sul territorio, azioni che hanno saputo produrre risultati.

Solo territori pienamente recuperati possono essere pronti per la crescita economica. Soltanto il superamento di storiche e dolorose condizioni di inquinamento può determinare nuove condizioni di sviluppo, stimolando investimenti e opportunità in territori prima compromessi.

Sono ormai acclamate, anche nei consessi internazionali, le componenti della profonda triplice crisi globale che stiamo attraversando: cambiamento climatico, inquinamento e perdita di biodiversità. Di questa condizione sentiamo ogni giorno il peso crescente: nelle difficili politiche di adattamento, come nella “corsa contro il tempo” che ci impone l’azione di bonifica.

Di fronte a questa realtà, tutt’altro che definitiva, la risposta più convincente proviene proprio dall’avanzamento tecnico-scientifico, specie in un Paese come l’Italia dotato di incredibili energie ed esperienze.

Il contributo della scienza alla causa ambientale, quello che in queste pagine viene meritoriamente portato all'attenzione e che è il "cuore" della missione di Remtech Expo, è dunque un indispensabile acceleratore e catalizzatore del processo di transizione.

Si coglie indiscutibilmente, come detto, la portata etica di questa sfida. L'uomo è oggi chiamato a una nuova responsabilità verso l'ecosistema: rimediare, con ogni sforzo possibile, a stagioni nelle quali la sensibilità ambientale e lo sviluppo economico venivano messi spesso in una drammatica contrapposizione.

Ci indica questa "missione" anche il nuovo articolo 41 della nostra Carta Costituzionale, laddove spiega che l'iniziativa economica privata "non può svolgersi in contrasto con l'utilità sociale o in modo da recare danno alla salute, all'ambiente, alla sicurezza, alla libertà, alla dignità umana".

Difendere l'ambiente in cui si vive significa innanzitutto migliorare le dinamiche sociali, restituire speranza e prospettive, affermare concretamente – rimanendo in tema di Costituzione - il rinnovato articolo 9, che pone tra i Principi Fondamentali della Repubblica la tutela dell'ambiente, della biodiversità e degli ecosistemi, "anche nell'interesse delle future generazioni".

È questa, pertanto, l'occasione dell'uomo di diventare, come recita il titolo di questo libro, da problema a soluzione.

Iniziative come RemTech, con la sua componente scientifica sempre in movimento, ci raccontano quanti passi in avanti, tecnici e culturali, si siano fatti nel risanamento proprio grazie al contributo tecnologico innovativo e alla condivisione di buone pratiche.

Accanto a ciò, è necessario il più determinato impegno interistituzionale. Sui Siti d'interesse nazionale, porzioni di territorio nelle quali costruire una nuova storia lontana dalle difficoltà del passato, stiamo intensificando la nostra azione, con nuove semplificazioni che possano accelerare procedimenti per loro natura particolarmente complessi.

Il ricorso ai Commissari Straordinari, come stiamo vedendo in tante realtà, può contribuire molto a mettere a sistema risorse e interventi, senza frammentazioni e sovrapposizioni amministrative.

Muoversi con efficacia e pragmatismo rappresenta, ancor più nella tematica delle bonifiche, la chiave di volta del successo: regole più semplici e responsabilità chiare.

Nei tanti luoghi disseminati dal nord al sud del Paese in cui c'è profondo bisogno di recuperare e rilanciare, non manca né mancherà la presenza fattiva dello Stato, che trova nell'innovazione tecnico-scientifica l'alleato più prezioso.

Buona lettura.

*Ministro dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica
Gilberto Pichetto Fratin*

Il pragmatismo ambientale è il ponte tra la conoscenza scientifica e le reali esigenze della società. È l'approccio che permette di trasformare la ricerca in soluzioni concrete, sostenibili e applicabili. RemTech e questo volume ne sono un esempio concreto.

In un settore complesso come quello ambientale, servono risposte rapide ed efficaci. Per affrontare sfide come l'inquinamento, la crisi climatica, la scarsità d'acqua, le alluvioni o la perdita di biodiversità, non bastano buone idee: servono soluzioni realistiche, economicamente sostenibili e socialmente accettabili.

Il pragmatismo ci guida proprio in questa direzione. Significa mettere in campo tecnologie innovative – dalla bonifica sostenibile alla depurazione, dal monitoraggio ambientale alle rinnovabili – che siano applicabili su larga scala e capaci di produrre benefici tangibili.

Serve però anche un nuovo equilibrio tra pubblico e privato, tra ricerca, impresa e politica. Tutti sono chiamati a fare la propria parte: istituzioni, imprese, pubblica amministrazione, corpi intermedi. Nessuno escluso.

Il compito del pubblico è quello di semplificare le norme, rendere più efficienti i processi, investire nelle infrastrutture, sostenere la ricerca. Quello del privato è innovare, creare valore, generare impatto. Ma entrambi devono lavorare insieme, con obiettivi comuni e una visione condivisa.

Il coinvolgimento degli stakeholder è fondamentale. Costruire soluzioni significa ascoltare, dialogare, trovare un consenso che permetta di agire con decisione. Il pragmatismo non è freddezza tecnica: è concretezza al servizio del bene comune.

Adottare questo approccio significa puntare su un'innovazione responsabile, capace di dare risposte ai problemi più urgenti e di costruire un futuro più sostenibile.

Con questo spirito – lo stesso che anima RemTech da 19 anni – vi auguriamo buon lavoro. Continuate a innovare, a costruire ponti tra mondi diversi, a immaginare soluzioni che guardano avanti.

Viceministro al MASE
On. Vannia Gava

Il presente volume raccoglie i contributi scientifici e tecnico-operativi elaborati dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e da RemTech Expo, nell'ambito di un dialogo consolidato e strategico tra ricerca, istituzioni, imprese e territorio. La pubblicazione nasce in occasione di RemTech 2025, evento di riferimento a livello nazionale e internazionale per la protezione e la rigenerazione ambientale, con l'intento di condividere risultati, prospettive e buone pratiche maturate lungo un percorso pluriennale di cooperazione.

Per lungo tempo, l'uomo è stato al centro delle critiche rivolte ai modelli di sviluppo "insostenibili" che hanno portato al degrado ambientale che oggi conosciamo. L'impronta ecologica delle attività antropiche ha compromesso equilibri naturali delicati, mettendo a rischio la salute degli ecosistemi e, con essa, il benessere delle generazioni presenti e future. In questo scenario, l'umanità è spesso stata rappresentata quale fattore perturbante, quasi come un problema da contenere più che un soggetto in grado di generare un cambiamento positivo.

Tuttavia, questa visione è oggi superata da una prospettiva più dinamica e costruttiva. L'uomo, infatti, è anche portatore di conoscenza, ingegno e capacità trasformativa. L'innovazione tecnologica, sociale e istituzionale, unita ad un approccio pragmatico, può favorire una transizione concreta verso modelli di sviluppo più sostenibili, nei quali la tutela dell'ambiente non si contrappone al progresso, ma anzi lo orienta e lo indirizza.

Il pragmatismo ambientale, quindi, non rinuncia agli obiettivi di lungo termine, ma riconosce l'importanza di soluzioni applicabili, adattabili ai contesti reali e capaci di produrre risultati misurabili. Non si tratta pertanto di scegliere tra l'ideale e il possibile, ma di costruire percorsi che, pur nel compromesso, sappiano indirizzare, con coerenza e responsabilità, l'azione umana.

In questa prospettiva, l'uomo non è più solo parte del problema, ma si riscopre agente del cambiamento in quanto capace di leggere i limiti,

innovare i processi e contribuire attivamente alla rigenerazione ambientale.

Riconoscere e valorizzare questo ruolo è oggi più che mai necessario, se vogliamo affrontare le sfide ecologiche con realismo, ma anche con fiducia e speranza verso il futuro.

Gli studi qui raccolti testimoniano non solo il rigore scientifico e la solidità dei metodi adottati, ma anche la capacità di trasformare la conoscenza in impatto concreto, contribuendo a orientare le politiche pubbliche e i processi decisionali verso modelli sostenibili e circolari.

Questo volume rappresenta, dunque, un tassello importante nella costruzione di un lessico comune tra scienza e società, una piattaforma di confronto che valorizza l'innovazione e la responsabilità condivisa nella gestione delle risorse, nella bonifica dei siti contaminati, nella prevenzione del rischio e nella rigenerazione e rifunzionalizzazione dei territori.

A tutti i lettori - tecnici, decisori, studenti, cittadini – auguro pertanto una lettura stimolante, con l'auspicio che questo lavoro possa ispirare nuove idee, collaborazioni e visioni per un futuro più resiliente, equo e consapevole.

Un sentito grazie agli animatori della pubblicazione, Prof. Vito Felice Uricchio e Dott.ssa Silvia Paparella.

*Giuseppe Vadala**
*Gen. B. CC – Commissario Unico per
la bonifica delle discariche*

** Prefazione redatta in collaborazione con la dott.ssa geol. Marianna Morabito*

Premesse

Nel compiacermi dell'elevato livello scientifico e tecnologico dei lavori che compongono il presente volume, sia pur espressi in modo sintetico, sono convinto che RemTech ed il presente volume costituiscano un luogo privilegiato di scambio esperienziale in cui si forma il pensiero critico, attraverso un positivo e costruttivo confronto tra le diverse competenze nazionali ed internazionali, dove devono potersi aprire in libertà a nuovi orizzonti, costruendo modelli e metodologie che contribuiranno ad incidere positivamente sull'ambiente che abitiamo. Le sei tematiche affrontate nel presente volume si prestano a proficue contaminazioni euristiche, stimolando una poliedrica aspirazione alla conoscenza e al confronto tecnico-scientifico, determinando un dialogo costruttivo, senso del bene comune, etica deontologica, così come ne discende disposizione a innovare ed a costruire un percorso reale di transizione ecologica.

Il volume raccoglie contributi riferiti all'intera filiera scientifica ed applicativa, dalla pura ricerca di base all'implementazione sul campo, beneficiando di un approccio che valorizza l'utilità, l'efficacia e la capacità di generare risultati tangibili. Nel settore ambientale, in particolare, dove il tempo stringe e le sfide sono particolarmente complesse, il pragmatismo non è solo una virtù, ma una necessità strategica: permette di tradurre la conoscenza scientifica in azioni concrete, di superare le barriere tra le discipline, e di costruire soluzioni sostenibili che non rimangano confinate nei laboratori, ma che possano realmente contribuire alla tutela del nostro pianeta e al benessere delle generazioni presenti e future. Adottare il pragmatismo significa abbracciare un modello di innovazione responsabile, orientato all'impatto reale e alla risoluzione effettiva dei problemi più urgenti dell'umanità.

Il volume non si limita a riproporre concetti noti, ma introduce nuove idee, metodologie e prospettive, stimolando il pensiero critico e l'apertura a nuove soluzioni. Nel contesto di una pubblicazione scientifica, questa espressione suggerisce che il libro va oltre la semplice trasmissione di conoscenze consolidate, proponendosi come una fonte di ispirazione e un catalizzatore per il progresso.

Troppo a lungo, la dicotomia tra sviluppo e tutela ambientale è stata vissuta come un conflitto irrisolvibile perché l'uomo nel passato, spesso inconsapevolmente, ha prodotti significativi danni all'ambiente. Oggi, grazie al supporto della ricerca e delle nuove soluzioni tecnologiche la sfida che ci attende è di superare questa visione, abbracciando un approccio che integri l'azione dell'uomo per la crescita economica e per la contestuale tutela dei luoghi che abitiamo.

In aggiunta, sappiamo bene che l'innovazione spesso nasce dall'intersezione di diverse discipline. RemTech ed il presente volume tendono ad infrangere le barriere tra i saperi, integrando prospettive diverse di ambiti tematici quali la geologia, la biologia, l'ingegneria, l'economia, la sociologia, etc. per affrontare problemi complessi in modo olistico.

Questo volume, raccogliendo il lavoro di scienziati, ricercatori, professionisti e imprese dimostra con forza che la scienza, l'innovazione tecnologica e la visione pragmatica possono e devono essere i motori di un'autentica rigenerazione. Bonificare un'area non significa semplicemente rimuovere un inquinante, ma restituire quel luogo alla sua comunità, renderlo nuovamente fertile, sicuro e capace di generare nuove opportunità di sviluppo.

La rigenerazione è un processo sociale e culturale che punta a trasformare le aree dismesse e i siti contaminati in nuovi spazi di lavoro, di sviluppo economico sostenibile, di vita, di incontro, e di creatività.

Ringrazio tutti coloro che hanno contribuito a questa opera. Le loro ricerche e le loro analisi sono una preziosa bussola che orienta le nostre scelte verso un futuro più sostenibile e più equo. Che questo volume possa stimolare un dibattito fecondo e un'azione coraggiosa, affinché l'impiego delle nuove tecnologie ed il risanamento del territorio diventino una priorità condivisa e un simbolo concreto del nostro impegno per le future generazioni.

Con i miei più sentiti auguri di una proficua lettura di un fecondo lavoro a tutti.

Vito Felice Uricchio

CNR-ITC

*Commissario straordinario per gli
interventi urgenti di bonifica,
ambientalizzazione e riqualificazione
dell'area di Taranto*

Il volume scientifico "L'innovazione e il pragmatismo ambientale: l'uomo da problema a parte della soluzione" rappresenta un importante contributo alla discussione sull'innovazione, tecnologica, scientifica, amministrativa e procedurale, e sulle opportunità e soluzioni in campo ambientale, infrastrutturale, energetico e, da quest'anno, spaziale, con un nuovo corso di arricchimento dedicato al monitoraggio della Terra dallo spazio.

In un momento in cui la necessità di un approccio organico, colto e sistemico, ai violenti impatti climatici sui territori e l'urgenza di un'azione di rigenerazione profonda che risponda al degrado dell'ambiente, stanno diventando sempre più evidenti, è fondamentale trovare soluzioni concrete e sostenibili di cui il mercato già in parte dispone per affrontare queste odierne sfide e per tutelare la salute e le vite dei cittadini.

L'innovazione è un elemento chiave per affrontare le criticità ambientali e territoriali. Nuove tecnologie, nuovi materiali e nuove strategie possono aiutare a ridurre l'impatto delle nostre attività ed a promuovere uno sviluppo più sostenibile in territori salubri e sicuri, garantendo al contempo una rinnovata infusione di benessere.

L'innovazione non è tuttavia sufficiente se non è accompagnata da un cambiamento di mentalità e di comportamento. L'uomo può passare da essere un problema ad essere parte della soluzione. Ciò richiede una maggiore consapevolezza e conoscenza dei fenomeni e dei possibili impatti delle nostre azioni ed una concreta ed intima volontà di cambiare i nostri comportamenti, consapevoli che i principi della sostenibilità sottendono a tre pilasti, quello ambientale, sociale ed economico.

Il volume scientifico è espressione di una comunità preziosa, quella di RemTech, un network di esperti, nazionali ed internazionali che opera in forma permanente ed in cui il comparto pubblico ed il settore privato hanno la reale opportunità di confrontarsi attraverso un approccio costruttivo ed efficace sviluppando pensieri e progettualità a supporto del Paese e del Pianeta. E' un'occasione di riflessione importante dello stato attuale ma è anche un punto di visione e di condivisione delle prospettive future, reso possibile attraverso la condivisione piena di una serie di contributi che esplorano le diverse "sfaccettature" dell'innovazione e del pragmatismo ambientale.

Dai contributi teorici alle applicazioni pratiche, questo volume offre una visione completa delle sfide e delle opportunità ma anche della ricchezza che il mercato propone oggi ed immagina per il domani.

Mi auguro che questa opera possa ispirare i lettori sia a riflettere sulla loro relazione con l'ambiente sia a ricercare una nuova modalità di essere parte della soluzione e sia nella ricerca di soluzioni innovative e sempre più sostenibili.

Solo lavorando insieme, e quindi unendo, promuovendo, generando ulteriori processi di arricchimento e di crescita collettiva, possiamo creare il migliore futuro per ciascuno dei cittadini della Terra.

*Silvia Paparella
General Manager RemTech Expo Hub
Tecnologico Ambientale
Cavaliere della Repubblica Italiana
dell'Ordine "Onore al Merito"*

RemTech Europe 2025 once again brings together the global community of scientists, practitioners, policymakers, and innovators dedicated to the remediation of contaminated land and water. Also this edition combines online and in-person participation to maximise knowledge sharing and accessibility. The result is a truly international forum for the exchange of ideas, where cutting-edge research meets real-world application.

The abstracts collected here in this volume, reflect the breadth and depth of today's environmental challenges and solutions. Several key themes emerge across the sessions. Soil pollution—its prevention, monitoring, and remediation—features prominently, with contributions on policy frameworks, prioritisation of emerging contaminants, standardisation needs, and the role of sustainable materials reuse. PFAS remain a critical concern, addressed from multiple angles: introductory and advanced training, site screening and characterisation standards, soil and water treatment technologies, and integrated management strategies.

The programme also highlights innovative remediation technologies, including in situ thermal and adsorption/destruction methods, phytoremediation, microbial solutions, and advanced monitoring techniques such as high-resolution site characterisation and AI-driven analytics. These are complemented by nature-based solutions and circular economy approaches, demonstrating how sustainable practices can be embedded in environmental clean-up.

Special attention is given to water management, from groundwater remediation and wastewater reuse to aquatic ecosystem restoration, underscoring the interconnectedness of soil and water systems. Mining legacies, pesticides, and persistent organic pollutants are addressed through both technical interventions and broader governance discussions. Other sessions explore the role of digital tools, such as artificial intelligence and data integration platforms, in improving remediation planning and execution.

This year's programme is notable for its focus on global diversity in challenges and solutions. Case studies span from Africa's industrially contaminated sites to South American phytoremediation projects, from Asian agricultural soil health research to European urban regeneration initiatives. Such diversity is mirrored in the speaker base, which draws from approximately one hundred countries across all six continents, representing academia, government, regulatory bodies, industry, and civil society.

The result is not merely a collection of technical papers, but a snapshot of how the remediation sector is evolving worldwide—where regulatory frameworks, scientific innovation, and on-the-ground experience converge to tackle contamination in all its forms. In these pages, readers will find the current state of knowledge, pioneering approaches, and practical solutions, as well as a sense of the shared commitment driving this community.

In presenting these abstracts, we invite you to explore the innovative spirit, technical excellence, and collaborative ethos that define RemTech Europe. This volume offers a window into the global activity on contaminated sites—a panorama stretching across six continents, uniting a shared mission: to restore, regenerate, and protect our soils and waters for the generations to come.

Marco Falconi

Remtech Europe Scientific Coordinator

participatory, and sustainable long-term environmental policy, that strengthen environmental governance through more transparent, inclusive, and evidence-based planning.

Sustainable soil remediation: leveraging microbial biosurfactants for hydrocarbon degradation

Marta Puddu¹, Gabriele Beretta¹, Sabrina Saponaro¹ and Elena Sezena¹

¹ *Department of Civil and Environmental Engineering, Politecnico di Milano, Milan, Italy*

Abstract

Hydrocarbon contamination in soil poses a critical and persistent environmental challenge, demanding innovative and sustainable remediation approaches, particularly in the case of weathered pollution. Among the available remediation strategies, microbial bioremediation is widely recognized for its cost-effectiveness and environmental compatibility (Bento et al., 2005). However, the success of microbial degradation is often limited by the low bioavailability of hydrocarbons, which tend to sorb onto soil particles, resulting in limited biodegradation rate and extent. This mass transfer limitation is one of the primary barriers to effective bioremediation, either in natural or engineered systems (Ghorbannezhad et al., 2018). To overcome these challenges, surfactants have been proposed to enhance hydrocarbon solubilization and mobility. Surfactants reduce surface and interfacial tension, promoting emulsification and increasing the accessible surface area of hydrophobic contaminants. Although synthetic surfactants are effective, they often exhibit toxicity and poor biodegradability, leading to secondary pollution (Bezza, 2016).

In contrast, biosurfactants (BSs) and bioemulsifiers (BEs) are surface-active molecules produced by microorganisms that offer several advantages, such as low toxicity, high biodegradability, and functional stability, even under extreme environmental conditions. These

natural compounds, including glycolipids, lipopeptides, phospholipids, fatty acids, and polymeric surfactants (Prasad et al., 2017), have been applied in various industries as emulsifiers, dispersing agents, and additives (Banat et al., 2014). Notable examples include rhamnolipids from *Pseudomonas aeruginosa*, trehalolipids from *Rhodococcus* and *Mycobacterium* spp., and lipopeptides such as surfactin and viscosin produced by *Bacillus* and *Pseudomonas* species.

Despite the recognized potential of biosurfactants, most studies have focused on well-characterized strains and pure cultures, often under controlled laboratory conditions. This approach might not accurately reflect the metabolic potential of microbial consortia present in contaminated environments.

The present study explored the stimulation of autochthonous microbial communities in weathered hydrocarbon-contaminated soils as biosurfactant producers using waste-derived substrates to enhance the mobility and bioavailability of petroleum hydrocarbons for potential application in sustainable and site-specific remediation strategies, such as soil washing, soil flushing, and in situ biostimulation, minimizing the reliance on synthetic additives while promoting waste reuse.

Biosurfactant and bioemulsifier production was assessed under anaerobic conditions using weathered contaminated soil as the inoculum and a microemulsion of waste frying oil and chickpea powder as the carbon source. The role in biosynthesis of various electron acceptors (nitrate and sulfate) and mild oxidative stress was examined, aiming to develop low-toxicity formulations suitable for remediation. The performance of the produced biosurfactants was evaluated through oil displacement and emulsification index tests on a variety of hydrocarbons.

This study lays the foundation for future research by providing key data on biosurfactant production, performance, and environmental compatibility in real soil systems. Its findings have the potential to drive the development of innovative, eco-friendly, and economically viable solutions for remediating hydrocarbon-contaminated soils.

This exploratory study demonstrates the potential of stimulating autochthonous microbial communities in weathered hydrocarbon-contaminated soils to produce effective biosurfactants and/or bioemulsifiers using waste-derived substrates. The successful

production of surface-active compounds under anaerobic conditions highlights a promising approach for sustainable soil remediation. The ability of either crude extracts or microfiltered extracts to achieve significant oil displacement and emulsion thickness towards various oils suggests their broad applicability. Ongoing leaching tests with weathered heating oil-contaminated soil are being conducted using selected biosurfactants to better characterize their action on contaminants. Respirometric assays are employed to assess microbial biodegradation activity following biosurfactant application, while phytotoxicity tests are used to ensure environmental safety of either concentrated biosurfactant mixtures or diluted biosurfactant solutions (5% and 15% on a weight basis), and the soil before and after the treatment.

While further research is needed to fully characterize the compounds produced and optimize the production conditions, these findings lay the groundwork for developing innovative, eco-friendly, and economically viable solutions for remediating hydrocarbon-contaminated sites in line with circular-economy principles.

Future work will focus on identifying the active compounds, elucidating the production kinetics, and assessing the impacts on microbial communities and contaminant bioavailability.

*Contacts: marta.puddu@polimi.it; gabriele.beretta@polimi.it;
sabrina.saponaro@polimi.it; elena.sezenna@polimi.it*