



REMTECH EXPO

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 acclarate, 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 Vadalà**

*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 prodotto 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

Indice

PREFAZIONI	6
PREMESSE	13
INDICE	20
I. METODOLOGIE E TECNOLOGIE PER LA CARATTERIZZAZIONE, MESSA IN SICUREZZA E BONIFICA DI SITI INQUINATI	33
UTILIZZO DI <i>APIUM NODIFLORUM</i> PER LA STIMA DELLA BIODISPONIBILITÀ DEI CONTAMINANTI RILEVATI NEI SEDIMENTI DEL FIUME TIRINO NEL S.I.N. DI BUSSI SUL TIRINO	34
BONIFICA IN SITU INNOVATIVA DI ACQUIFERI CONTAMINATI DA PFAS IN AREE SORGENTE AD ALTA CONCENTRAZIONE - DUE CASI DI STUDIO	36
APPLICATION OF AN ALL-IN-ONE TECHNOLOGY FOR A COMBINED BIOREMEDIATION AND ISCO TREATMENT OF A COMINGLED SOURCE AREA AT A FORMER PHARMACEUTICAL FACILITY	38
APPLICAZIONI AEROFOTOGRAMMETRICHE MEDIANTE L'UTILIZZO DI DRONI E SOFTWARES OPEN SOURCE A SUPPORTO DELLA DETERMINAZIONE SPEDITIVA DEI VOLUMI DEI RIFIUTI ABBANDONATI O DEPOSITATI IN MODO INCONTROLLATO	40
PROGETTO DI DEPERIMETRAZIONE DEL SIN MAR GRANDE DI TARANTO – PORTO IN RADA	42
UN MODELLO INTEGRATO PER IL CONTRASTO AGLI ILLECITI AMBIENTALI: APPLICAZIONE DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE PER L'ORIENTAMENTO DELLE INDAGINI SUL TERRITORIO PUGLIESE	44
VERSO UNA GESTIONE SOSTENIBILE DELLE DISCARICHE: INNOVAZIONE TECNOLOGICA PER IL CONTENIMENTO DELLE EMISSIONI DI METANO ATTRAVERSO L'USO DI DRONI	46
MICROWAVE IRRADIATED BIOCHAR ENHANCED PHYTOSTABILIZATION OF HEAVY METALS THROUGH CAPSICUM ANNUM L.	48
IMPIANTO MOBILE DI TRATTAMENTO ESTD (EX SITU THERMAL DESORPTION)	50
CASO STUDIO ITALIANO DI UN TRATTAMENTO SIMULTANEO DI SORGENTE E PLUME DI SOLVENTI CLORURATI CON ERD, ISCR E ISSB	53
APPLICAZIONE AD AMPIA SCALA DI UNA TECNOLOGIA RIDUTTIVA PER IL TRATTAMENTO DI UN ACQUIFERO CONTAMINATO DA COMPOSTI ORGANO-CLORURATI IN PROSSIMITÀ DI UN SISTEMA PALUDOSO IN ITALIA	55
COPERTURE MULTISTRATO CON GEOSINTETICI PER LA CHIUSURA DI DISCARICHE E SITI CONTAMINATI	57
L'EFFICIENZA DEL DECANter CENTRIFUGO NEL TRATTAMENTO DEI FANGHI DI DRAGAGGIO, ATTRAVERSO LA SEPARAZIONE E LA RIMOZIONE DELLE PARTICELLE PIÙ FINI E	

CONSEQUENTE RIDUZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE MEDIANTE IL RECUPERO DELL'ACQUA	59
MODELLAZIONE DI FLUSSO PER LA GESTIONE DINAMICA DEGLI ASSET DI UN SITO CONTAMINATO.....	62
UTILIZZO DI REAGENTI GASSOSI PER LA BONIFICA E LA MESSA IN SICUREZZA DI ACQUIFERI CONTAMINATI: ALCUNI CASI APPLICATIVI.....	65
IL S.I.N. DELLA EX MINIERA DI AMIANTO DI BALANGERO E CORIO (TORINO): BONIFICA E PROSPETTIVE DI RIQUALIFICAZIONE	67
INTEGRAZIONE DI METODOLOGIE GEOFISICHE, GEOLOGICHE E GIS PER LA CARATTERIZZAZIONE E VALUTAZIONE MULTI-RISCHIO DI DISCARICHE IN CONTESTI COMPLESSI	70
MICROEMULSIONI WINSOR III PER L'AGGRESSIONE DI SORGENTI DI CONTAMINAZIONE RESIDUALE: PROTOCOLLO SPERIMENTALE DI LABORATORIO	72
MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA 2D MEDIANTE L'UTILIZZO DEL SOFTWARE WHAEM A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE E DELLA GESTIONE DI SITI CONTAMINATI. CASO STUDIO IN CENTRO ITALIA.....	74
L'IMPORTANZA DEI CONTROLLI SULLE DISCARICHE IN FASE COSTRUTTIVA E DI CHIUSURA: L'ESEMPIO DI ARPA LOMBARDIA.....	76
DAGLI ARCHIVI STORICI AI MODELLI DIGITALI 3D PER LA COSTRUZIONE DI UN MODELLO CONCETTUALE DI SITO AVANZATO PER I LAGHI DI MANTOVA	78
TEST DI OSSIDAZIONE ELETTROCHIMICA AVANZATA A SCALA DI LABORATORIO PER IL TRATTAMENTO DEI COMPOSTI PFAS DISCIOLTI NELLE ACQUE DI FALDA	80
OTTIMIZZAZIONE DEL LANDFARMING MEDIANTE AMMENDANTI ORGANICI E OSSIDANTI: RISULTATI DI UN TEST DI TRATTABILITÀ SU SUOLO CONTAMINATO.....	82
RAPPORTO TRA SVILUPPO DELLE RETI INFRASTRUTTURALI E RISANAMENTO DEL TERRITORIO	84
IL MONITORAGGIO DEI GAS INTERSTIZIALI COME STRUMENTO PER LA VERIFICA DELL'ANALISI DI RISCHIO E LA RIVALUTAZIONE DI AREE CRITICHE - ANALISI DEI RISULTATI DELLE CAMPAGNE DI MISURA IN UN SITO INDUSTRIALE DISMESSO DI GRANDI DIMENSIONI	87
PIANO DI INDAGINE PER LA DEFINIZIONE DEI VALORI DI FONDO NATURALE DI UN POLIGONO MILITARE	89
IL PROGETTO POLIGONI: ESIGENZE DI RIMOZIONE DI RESIDUATI DEL MUNIZIONAMENTO DAI FONDALI MARINI PROSPICIENTI LE AREE ESERCITATIVE DI CAPO TEULADA (SU) E TORRE VENERI (LE).....	92
CAPPING SOTTOMARINO, DRAGAGGI E GESTIONE DEI SEDIMENTI MARINO COSTIERI.....	94
CASO DI STUDIO: COMBINAZIONE DI DIVERSE TECNOLOGIE (ISCR, MICRO-DIFFUSIONE DI O ₂ E INIEZIONE DI SURFATTANTI) PER LA BONIFICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE	96
PROPOSTA OPERATIVA PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO AMBIENTALE DA PFAS NEI SITI CONTAMINATI	98

VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA DELLA TECNOLOGIA ISCO CON Fe-ZEOLITI E PEROSSIDO DI IDROGENO, MEDIANTE TEST DI CAMPO, PER IL TRATTAMENTO DI SOLVENTI CLORURATI, IDROCARBURI ED ETERI IN FALDA, PRESSO UN SITO DI INTERESSE NAZIONALE	100
LA TECNOLOGIA UVOST PER LA RICOSTRUZIONE DELLA DISTRIBUZIONE REALE DELLA FASE SEPARATA DA LNAPLS NEL SOTTOSUOLO	103
CASO STUDIO DI BONIFICA TERRENI DI UN IMPIANTO METALLURGICO: SPERIMENTAZIONE DI UN TRATTAMENTO COMBINATO DI SOIL WASHING E TRATTAMENTI MINERALURGICI	105
LA RELAZIONE DI RIFERIMENTO E IL MONITORAGGIO DEL SUOLO E DELLE ACQUE SOTTERRANEE PER LE INSTALLAZIONI SOGGETTE AD AIA: LINEE DI INDIRIZZO E PROPOSTA DI MODULISTICA	107
UTILIZZO DI TECNOLOGIE INNOVATIVE PER L'ESTENSIONE DELLA VITA DELLE DISCARICHE: IL CASO DI GHALLIS A MALTA	110
INSSPIRED SOULS PROJECT: INNOVATIVE AND SUSTAINABLE STABILIZATION PROCESSES INVOLVING RECYCLED SOILS AND USED MATERIALS.....	112
LA RIPARAZIONE DEI DANNI AI CORSI D'ACQUA: GLI INTERVENTI A CARICO DEI RESPONSABILI.....	115
PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA PER L'AGGRESSIONE DI UNA SORGENTE DA CONTAMINAZIONE STORICA: AREA EX-CLOROMETANI, STABILIMENTO BUSSI SUL TIRINO	117
LO STATO DELLE BONIFICHE IN ITALIA	120
ISSF, ISCO, ISCR APPLICAZIONE A SCALA REALE AD UN SITO PRODUTTIVO COMPLESSO	123
DESCRIZIONE DEL SISTEMA INTEGRATO E-GOM PER LA BONIFICA DI SITI INQUINATI....	125
FOAMFLEX: TECNOLOGIA INNOVATIVA PER LA GESTIONE DEGLI OIL SPILL	127
ANALISI DEL CONTESTO ATTUALE DELLA GESTIONE RIFIUTI IN ITALIA.....	129
ACCOPPIAMENTO DI UN MODELLO IDROGEOCHIMICO DIGITALE E DI UNA BARRIERA IDRAULICA VIRTUALE CON GCW: UN'ALTERNATIVA SOSTENIBILE AL P&S/P&T PER LA BONIFICA E IL CONTENIMENTO DI PLUME CONTAMINANTI.....	133
APPROCCIO DI BONIFICA INTEGRATO SU UN PUNTO VENDITA CARBURANTI ATTIVO	135
ANALISI DECISIONALE MULTI-CRITERIO PER LO SCREENING DI TECNOLOGIE DI BONIFICA DELLEM ACQUE SOTTERRANEE	137
BONIFICA FULL SCALE MEDIANTE TECNOLOGIA DI DESORBIMENTO TERMICO IN SITU DI TIPO CONDUTTIVO – BUSSI SUL TIRINO (Pe).....	139
DISPERSIONE DI VAPORI E ODORI DURANTE UN INTERVENTO DI SCAVO E SMALTIMENTO – STUDIO DEL FENOMENO E INDIVIDUAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE	142
INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA DI UN SITO ORFANO A TORINO PER LA SUA RESTITUZIONE ALLA CITTADINANZA COME AREA RICREATIVA.....	144
USE OF MULTI-ISOTOPIC TOOLS TO TRACE LANDFILL CONTAINMENT PERFORMANCE...	146
FRAMEWORK PER UNA VALUTAZIONE INTEGRATA DELLA CIRCOLARITÀ E SOSTENIBILITÀ DEGLI INTERVENTI DI BONIFICA DI SITI CONTAMINATI	148
REALIZZAZIONE DEL CONFINAMENTO LATERALE - MISO DI UN EX SITO INDUSTRIALE ..	150

PROGETTAZIONE PER LA MESSA IN SICUREZZA DELL'AREA CAVEALE DEL PARCO DI TORRE DEL FISCALE A ROMA	152
TECNICHE PER LA RIMOZIONE SELETTIVA DEL BORO: LA SPERIMENTAZIONE NELL'IMPIANTO TRATTAMENTO ACQUE DI PRIOLO	154
IL RECUPERO AMBIENTALE DELLA DISCARICA FOSFOGESSI ISAF DI GELA E LA DISCARICA DI SCOPO PER LA GESTIONE ON SITE DEI RIFIUTI TENORM ORIGINATI DAL PROGETTO DI DECOMMISSIONING ISAF GELA	156
IMPIANTO HOOP® MANTOVA – INTEGRAZIONE TRA BONIFICA E SVILUPPO INDUSTRIALE	158
LA SPETTROSCOPIA DI RIFLETTANZA VIS-NIR PER LO SVILUPPO DI TECNICHE INNOVATIVE PER LA CARATTERIZZAZIONE ED IL MONITORAGGIO AMBIENTALE	164
IL BIOMONITORAGGIO NELLA BONIFICA DI SITI CONTAMINATI: 20 ANNI DI RICERCA E APPLICAZIONE SU LARGA SCALA IN ITALIA	166
LE NUOVE METODOLOGIE OPERATIVE DELLA GUARDIA DI FINANZA QUALE POLIZIA DEL MARE. TECNOLOGIA E PROFESSIONALITÀ A DIFESA DELLE COSTE, DEL MARE E DELLA BLU ECONOMY	168
MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE DELLA COLMATA NELL'AREA DI RILEVANTE INTERESSE NAZIONALE DI BAGNOLI-COROGGIO	170
II. LA GESTIONE EFFICIENTE DELLE RISORSE E LA RIGENERAZIONE DEI TERRITORI	173
IL PROGETTO DI RINATURAZIONE DEL FIUME PO: INGEGNERIA E NATURA PER LA RESILIENZA FLUVIALE.....	174
UN PERCORSO DI DIVERSIFICAZIONE SOSTENIBILE PER IL FUTURO DI TARANTO CHE TUTELI L'AMBIENTE E CHE AVVENGA ATTRAVERSO L'ISTITUZIONE DELLE AMP	176
SELEZIONE VEGETALE PER PARETI VERDI: UN APPROCCIO INTEGRATO TRA ECOLOGIA URBANA, PAESAGGIO E TECNOLOGIE DIGITALI	178
VEGETAZIONE E MITIGAZIONE DELL'ISOLA DI CALORE URBANA: SIMULAZIONI E VALIDAZIONE DEL MODELLO ENVI-MET IN UN CASO STUDIO IN UN'AREA PUBBLICA DI BOLOGNA	180
AGRICOLTURA E INTERESSI AMBIENTALI CONFLIGGENTI: INCOMPATIBILITÀ COSTITUZIONALE DELLA APRIORISTICA DETERMINAZIONE DI UN CRITERIO DI PREVALENZA	182
PROGETTAZIONE DI UN BIPV CON SUPPORTO DI REALTÀ VIRTUALE E DIGITAL TWIN. IL CASO DI STUDIO DEL COMUNE DI PARMA.....	184
RIGENERAZIONE URBANA INTEGRATA E TRANSIZIONE ECOLOGICA: MODELLI COMPARATI E PROSPETTIVE ITALIANE	187
METODOLOGIA DI RANKING MULTILIVELLO PER LA RICONVERSIONE DEI BROWNFIELDS A USO INDUSTRIALE	189
EMAS E IL SETTORE ENERGETICO ITALIANO: ESEMPI DI EFFICIENZA ENERGETICA.....	191
APPROCCIO DEL METABOLISMO URBANO: DALLA GESTIONE EFFICIENTE DELLE RISORSE ALLA RIGENERAZIONE DEI TERRITORI	193

LE OPPORTUNITÀ DELL'ECONOMIA CIRCOLARE ED I NUOVI PARADIGMI DI SVILUPPO. UN CONFRONTO TRA EUROPA E RESTO DEL MONDO	195
COMBINAZIONE DI BIORIMEDIO CON LAVANDULA ANGUSTIFOLIA E BIOAUGMENTATION CON UN CONSORZIO BATTERICO PER IL RECUPERO DI SUOLI MULTI-CONTAMINATI NEL SUD ITALIA.....	197
PORTO-CITTÀ-COMUNITÀ: VERSO UNA GOVERNANCE COLLABORATIVA PER LA TRANSIZIONE SOCIO-ECOLOGICA DELLE CITTÀ-PORTO.....	199
PROGETTO TERRA: NATURE-BASED SOLUTIONS PER LA RIGENERAZIONE AMBIENTALE DEL SIN DI TARANTO	201
RIGENERARE I SUOLI URBANI SIGILLATI PER RIPRISTINARE I SUOI SERVIZI ECOSISTEMICI: IL PROGETTO REUSES	203
PESTICIDI NELLE ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE - DATI DI MONITORAGGIO 2021	205
SISTEMA INFORMATIVO MONITORAGGIO PESTICIDI (SIMP): FLUSSO DEI DATI E GESTIONE DELLE INFORMAZIONI	209
TECNOLOGIE PER IL TRATTAMENTO DEI PFAS NELLE ACQUE - ANALISI DI ESPERIENZE DIRETTE PER LA SELEZIONE DELLE MIGLIORI SOLUZIONI TECNOLOGICHE ECONOMICAMENTE APPLICABILI	213
SISTEMA SRT® DI ELTO: UNA NUOVA FRONTIERA PER LA STABILIZZAZIONE RAPIDA DEI PENDII E LA MITIGAZIONE DELLE FRANE SUPERFICIALI	215
LA MARMETTOLA NEL COMPRESORIO ESTRATTIVO DELLE ALPI APUANE: UNA RILEVANTE CRITICITÀ AMBIENTALE PER I CORPI IDRICI SUPERFICIALI E SOTTERRANEI	217
ON DESIGN AND CONSTRUCTION OF A NEW LNG TERMINAL IN WILHELMSSEN (GERMANY)	220
FROM HARD ENGINEERING TO RESILIENT SEAFRONTS: COASTAL REDESIGN IN ITALY AND FRANCE	222
GOCCIA (GREEN OPPORTUNITIES TO CLEAN-UP CONTAMINANTS THROUGH AN INTERSPECIES ALLIANCE): UN LABORATORIO A CIELO APERTO PER L'APPLICAZIONE DI NATURE-BASED SOLUTIONS (NBS) NELL'AMBITO DELLA RIGENERAZIONE URBANA.....	224
DECARBONIZZAZIONE DEL TRASPORTO MARITTIMO E RIQUALIFICAZIONE PORTUALE: STRATEGIE PER LA SOSTENIBILITÀ E LA COMPETITIVITÀ.....	226
LA MAPPATURA E CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI NEI PROGETTI DI RIGENERAZIONE URBANA	228
RETURN, REMEDIATION GUIDELINES FOR SUSTAINABLE SITE VALORIZATION	230
LE INFORMAZIONI SUL CLIMA E SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI PER I PIANI DI ADATTAMENTO AUTOSTRADALE: DALLA FASE DI PIANIFICAZIONE ALLA FASE DI PROGETTAZIONE	232
IL PROGETTO VeBS: IL BUON USO DEGLI SPAZI VERDI E BLU PER LA PROMOZIONE DELLA SALUTE E DEL BENESSERE	234
NON SOLO CARBONIO: UN APPROCCIO MULTIFUNZIONALE PER SERVIZI ECOSISTEMICI E PRODUZIONE DI ALIMENTI DI QUALITÀ IN SISTEMI AGROFORESTALI DELL'EMILIA-ROMAGNA	238

DALL'AUTOCONSUMO ALLA RETE: L'IMPIANTO EAV DI PIEDIMONTE MATESE COME MODELLO DI TRANSIZIONE ENERGETICA SOSTENIBILE NEL TRASPORTO PUBBLICO FERROVIARIO	241
PRATICHE AGRICOLE E SALUTE DEL SUOLO: IL PROGETTO EUROPEO SOILCRATES.....	243
L'UOMO AL CENTRO DELLA TRANSIZIONE: BONIFICHE AMBIENTALI, RISANAMENTO E CULTURA DEL CAMBIAMENTO NELL'EPOCA DELLA SVOLTA VERDE A TARANTO	245
III. LE OPPORTUNITÀ DELL'ECONOMIA CIRCOLARE ED I NUOVI PARADIGMI DI SVILUPPO	249
QUANTIFICAZIONE DEL POTENZIALE DI SEQUESTRO DEL CARBONIO NELLA MITILCOLTURA SOSTENIBILE A TARANTO (ITALIA MERIDIONALE).....	250
IL SISTEMA EPR: UN APPROCCIO PRAGMATICO PER LA GESTIONE DEI RIFIUTI TESSILI ..	252
LA SFIDA DELLA SOSTENIBILITÀ NELLA CERTIFICAZIONE DI PRODOTTI INNOVATIVI IN AMBITO EOTA.....	254
IL RUOLO STRATEGICO DI ADM-AITEC-ITC SUI CONTROLLI DEL CEMENTO IMPORTATO: LEVA PER LA DECARBONIZZAZIONE E LA COMPETITIVITÀ DEL SETTORE CEMENTIERO ITALIANO	256
L'ESPERIENZA DEL PROCESSO DI SVILUPPO DI UN CEN WORKSHOP AGREEMENT NELL'AMBITO DI PROMISCES PER LA CONDIVISIONE DI BEST PRACTICES INNOVATIVE SUI CONTAMINANTI PERSISTENTI	258
MICROBIAL ELECTROCHEMICAL TECHNOLOGY: A NEW EFFECTIVE OPPORTUNITY FOR CIRCULAR ECONOMY.....	261
IWAYS RACCONTA UNO DEI SUOI CASI STUDIO VERSO LA CHIUSURA DEI CICLI DELL'ACQUA NEI PROCESSI INDUSTRIALI	263
LA VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI EMERGENTI E DA ATTIVITÀ AMBIENTALI	265
VI. ECOTOSSICOLOGIA E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE	267
SOIL-HEART: UN INDICE SEMI-QUANTITATIVO PER VALUTARE GLI EFFETTI DELLE TECNOLOGIE DI BONIFICA SULLA SALUTE DEL SUOLO	268
IL NUOVO PANEL SCIENTIFICO E POLITICO SU SOSTANZE CHIMICHE, RIFIUTI E INQUINAMENTO: UNA SVOLTA STRATEGICA PER INNOVAZIONE INDUSTRIALE, ECONOMIA CIRCOLARE E BONIFICHE	270
APPLICATION OF ECOTOXICOLOGICAL TESTS FOR EVALUATING ENVIRONMENTAL COMPATIBILITY: FROM TERRESTRIAL CONTAMINATED MATRICES TO MOON REGOLITH	272
INDICATORI CHIMICO-BIOLOGICI PER LA DIAGNOSI DELLA SALUTE DEL SUOLO IN CONTESTI AGRICOLI CONTAMINATI DA PESTICIDI.....	274
STRATEGIE SOSTENIBILI PER LA RIDUZIONE DEI PESTICIDI.....	276
CONFLITTI ARMATI E DANNI AMBIENTALI: LA NUOVA PROSPETTIVA COSTITUZIONALE..	278
ANALISI DI RISCHIO ECOLOGICA COME STRUMENTO DI SUPPORTO AL RISANAMENTO AMBIENTALE	280
NEOPLASIE E CONTAMINAZIONE AMBIENTALE: UN LEGAME SILENZIOSO	282

**V. L'OSSERVAZIONE DELLA TERRA PER LA TUTELA DELL'AMBIENTE E LE
NUOVE FRONTIERE DELLO SPAZIO 284**

IL PROGETTO A LEADERSHIP AERONAUTICA MILITARE: "EUMETSAT SATELLITE
APPLICATION FACILITY ON SUPPORT TO OPERATIONAL HYDROLOGY AND WATER
MANAGEMENT (H-SAF)" 285

IL PROGETTO IMPEL "GEOSPATIAL INTELLIGENCE FOR ENVIRONMENTAL COMPLIANCE"
(GIECA).....286

TECNOLOGIE E SISTEMI SATELLITARI AVANZATI PER IL MONITORAGGIO E LA SOSTENIBILITÀ
AMBIENTALE IN AGRICOLTURA 288

RUOLO, ATTIVITÀ E CAPACITÀ DELL'AERONAUTICA MILITARE PER LA METEOROLOGIA
SPAZIALE (SPACE WEATHER) 290

CONFINI D'ITALIA: DA UNA LINEA RAPPRESENTATA A UN DATO NUMERICO 292

VI. INTELLIGENCE E LEGISLAZIONE AMBIENTALE.....293

ANALISI DEI DATI, SISTEMI DI CALCOLO E STRUMENTI NORMATIVI PER LA RIPARAZIONE IN
CONCRETO DEI DANNI AMBIENTALI STUDIO.....294

IL DIALOGO SOCIALE PER UNA "HUMAN CENTERED GREEN TRANSITION" NELLE GLOBAL
VALUE CHAINS (GVCs): L'UOMO DA PROBLEMA A PARTE DELLA SOLUZIONE PER MERCATI
DEL LAVORO DI QUALITÀ E COMPETITIVITÀ DELLE PMI MANIFATTURIERE 296

INNOVAZIONE NEI SERRAMENTI E NORMATIVA: EFFICIENZA, ADATTABILITÀ E
INTEGRAZIONE INTELLIGENTE PER LA TRANSIZIONE ECOLOGICA 300

NUOVO QUADRO EUROPEO DI INDICATORI RELATIVI ALLE SOSTANZE CHIMICHE.....302

STANDARD ESG E SOSTENIBILITÀ D'IMPRESA: UN'ANALISI INTEGRATA 306

CROMO ESALENTE: LEGISLAZIONE, GESTIONE DEL RISCHIO E PROSPETTIVE FUTURE .310

CARATTERIZZAZIONE E BONIFICA DEI SITI CONTAMINATI: ASPETTI NORMATIVI.....314

LA "PROPRIETÀ RESILIENTE" FRA EFFETTIVITÀ DEL DIRITTO E VULNERABILITÀ 316

AMBIENTE E DIRITTO: VERSO UNA TUTELA INTEGRATA E MULTILIVELLO 318

IA CONVERSACIONAL Y SOSTENIBILIDAD: ENTRE LA EFICIENCIA DESEADA Y LOS COSTES
INVISIBLES 321

VULNERABILITÀ, RESILIENZA E ADATTAMENTO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO E AI
DISASTRI AMBIENTALI.....323

RESPONSABILIDAD SOCIAL CORPORATIVA Y DILIGENCIA DEBIDA: UN MARCO
ESTRATÉGICO PARA EL CUMPLIMIENTO EMPRESARIAL SOSTENIBLE 325

LA REVISIONE DELLE ACCISE SUI PRODOTTI ENERGETICI E IL PRINCIPIO DI SOSTENIBILITÀ
.....327

GOLDEN POWER E "SICUREZZA ECOLOGICA", NEL PRISMA DELLA SOSTENIBILITÀ
AGROALIMENTARE 329

INTELIGENCIA ARTIFICIAL, MEMORIA CULTURAL Y SOSTENIBILIDAD: POR UNA ECOLOGÍA DE
LA INFORMACIÓN 332

IL RAVVEDIMENTO OPEROSO NEI DELITTI AMBIENTALI: NATURA, LIMITI E PROFILI CRITICI
.....334

L'IMPRESA "CON PROPOSITO". TRA STANDARD ESG E VALORE CONDIVISO	338
LA TUTELA DELL'AMBIENTE NELLE AZIONI CIVILI E PENALI: DANNO AMBIENTALE ED ECOREATI	342
APPROCCIO BAYESIANO PER LA DETERMINAZIONE DEL RESPONSABILE DELLA CONTAMINAZIONE AI SENSI DEGLI ARTICOLI 244 E 245 DEL D. LVO N.152/2006	344
VII. REMTECH EUROPE	346
SATELLITE APPLICATION FACILITY ON SUPPORT TO OPERATIONAL HYDROLOGY AND WATER MANAGEMENT (H-SAF)"	347
A STEPWISE PRIORITIZATION APPROACH TOWARDS EFFECTIVE REGULATORY MEASURES OF PMT/vPvM SUBSTANCES IN THE REACH REGISTRATION DATABASE	348
VERMITECHNOLOGY: A NATURE-BASED SOLUTION FOR SUSTAINABLE REMEDIATION AND RECYCLING OF COAL MINE WASTE INTO NUTRIENT-RICH ORGANIC AMENDMENTS	351
ADSORPTION OF SHORT TO LONG-CHAIN PFAS/PFCAS USING POLYETHYLENEIMINE MODIFIED BIOCHAR – EFFECTS OF WATER MATRICES AND UNDERSTANDING MECHANISMS	353
LEAD POLLUTION – IT'S WORSE THAN YOU THINK	355
FUNGAL-BASED BIOSORBENT AS A SUSTAINABLE ENVIRONMENTAL APPROACH FOR REMOVAL OF HEAVY METAL POLLUTANTS FROM CONTAMINATED WATER.....	358
ADVANCING MARINE ECOSYSTEM RESTORATION: ORSS DEPLOYMENT IN MALIBU, CALIFORNIA	360
NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) AS AN INDICATOR OF BIO-REMEDICATION EFFICIENCY IN ELEME, OGONI-LAND PHASE-1 CRUDE OIL-IMPACTED SOILS	362
ANALYSIS OF AGRO-ENERGY AND ORGANIC AMENDMENTS SUPPLY CHAINS IN ITALY ...	364
CARBON FARMING AND THE CHALLENGES FOR AGRICULTURE AND FORESTRY. A FOCUS ON THE EU AND NATIONAL FRAMEWORK.....	367
EVALUATION OF GROUNDWATER POLLUTION NEARBY ADDIS ABABA OPEN DUMPING SITE (REPI) ETHIOPIA AND ASSOCIATED HUMAN HEALTH RISKS USING WATER QUALITY AND NITRATE POLLUTION INDICES.....	369
PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF HEMP AND SORGHUM ENHANCED BY PLANT GROWTH-PROMOTING RHIZOBACTERIA FOR HEAVY METAL-CONTAMINATED SOIL	371
BIOCHAR-MODIFIED ELECTRODES: ADVANCING SUSTAINABLE VOLTAMMETRIC SENSING PLATFORMS	373
THE ROLE OF BIOCHAR IN CARBON SEQUESTRATION: CONTRIBUTION TO THE FIGHT WITH CLIMATE CHANGES	375
EVALUATION OF HEAVY METAL UPTAKE EFFICIENCY IN VETIVER GRASS (VETIVERIA ZIZANIOIDES) UNDER SINGLE AND MIXED CONTAMINATION CONDITIONS	377
GREEN INDUSTRIAL AREAS.....	379
SHAPING TOMORROW'S SOIL HEALTH: A FOCUS ON PRIORITIZING CONTAMINANTS OF EMERGING CONCERN (CEC) IN SOIL AND GROUNDWATER INVESTIGATIONS.....	381

APPLICATION OF RESRAD CODES IN NIGERIA’S GOLD MINES LAND RECLAMATION: FROM LEGACY TO ASSET	383
INTERVENTION METHODOLOGIES IN RESPONSE TO INDUSTRIAL EMERGENCIES IN CASE OF SPILLS INTO SURFACE WATERS.....	385
COST AND MATERIAL ESTIMATIONS FOR DECOMMISSIONING AND REPOWERING UTILITY-SCALE PV PLANTS.....	387
COMMON REED-BASED NANOMATERIAL FOR REMEDIATION OF RIVER SEDIMENT	389
THE AGRICULTURAL POTENTIAL OF STRUVITE PRODUCED VIA ELECTROPRECIPITATION FROM WASTEWATER IN COMPARISON TO COMMERCIAL FERTILIZERS.....	391
REGENERATING CITIES, RETHINKING WASTE: CIRCULAR USE OF EXCAVATED SOILS THROUGH ON-SITE EARTH BLOCK PRODUCTION	395
IN-SITU IMMOBILIZATION OF HEAVY METALS IN ESTUARINE PYRITE ASH DEPOSITS THROUGH LOW-PRESSURE ALKALINE INJECTION	397
ADVANCED ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR ON-SITE HYDROCARBON, VOC AND CHLORIDE DETECTION: REAL-TIME MEASUREMENTS WITH HIGH CONFIDENCE	399
IMPACT OF WATER MATRIX ON PERSULFATE ACTIVATION EFFICIENCY FOR THE REMOVAL OF LINDANE AND B-ENDOSULFAN USING CORN COB BIOCHAR	401
LOCAL POLLUTIONS OF PFAS IN SOIL AND GROUNDWATER – FEEDBACK FROM BELGIUM (WALLONIA).....	403
EFFICIENCY OF PGPR-BIOCHAR CATALYST IN OPTIMIZATION OF <i>ZEa MAYS L.</i> CULTIVATION IN MARGINAL SOIL.....	405
NATURE-BASED SOIL REMEDIATION TECHNIQUES: AGROFORESTRY AS A SUSTAINABLE SOLUTION	407
THE FUTURE OF ENVIRONMENTAL REMEDIATION: INNOVATIVE AUTOMATION AND BIOREMEDIATION SOLUTIONS IN REMOTE AREAS.....	408
OPTIMIZATION OF SOIL HEALTH AND AGRONOMIC PERFORMANCE: EFFECTS OF INTEGRATED TILLAGE SYSTEMS AND NUTRIENT MANAGEMENT STRATEGIES ON GROWTH DYNAMICS AND YIELD OF LOWLAND RICE (<i>ORYZA SATIVA</i> VAR. NSIC RC 222).....	410
SWEET CORN (<i>ZEa MAYS L.</i> VAR <i>SACCHARATA</i>) AND PEANUT (<i>ARACHIS HYPOGAEA L.</i>) INTERCROPPING SCHEMES FOR SUSTAINABLE FOOD AND FEED PRODUCTION.....	411
INTEGRATING LABORATORY TESTS AND NUMERICAL SIMULATION TO DESIGN FIELD-SCALE BIOREMEDIATION OF HYDROCARBONS: A CASE STUDY IN PLOUFRAGAN, FRANCE.....	412
OUTCOME OF LARGE-SCALE SOIL REMEDIATION WORKS IN KUWAIT – SOIL WASHING.....	414
EFFECT OF SELECTED HYDROCHARS ADDITION ON ALACHLOR MOBILITY IN A COLUMN PACKED WITH DANUBE GEOSORBENT	415
EXPLORING INITIAL PLUME CONFIGURATIONS TO REPRODUCE ANOMALOUS TRANSPORT BEHAVIOR IN A COMPLEX URBAN SITE. CASE OF STUDY: COLOMBIA	417
TREES AND MICROBES AS SUSTAINABLE NATURE-BASED TREATMENT ON HYDROCARBONS AND MIXED WASTE SITES.....	419
PHYTOREMEDIATION STRATEGY FOR IMPROVEMENT OF SOIL BIOLOGICAL STATE AND MITIGATION OF ORGANIC POLLUTION	421

REMEDICATION OF GROUNDWATER AND SOIL CONTAMINATED BY HEAVY OIL: A SUSTAINABLE APPROACH TO ENVIRONMENTAL REHABILITATION	423
METHODS FOR COMBINING IN SITU CHEMICAL OXIDATION AND BIOREMEDIATION ..	424
A MYCELIUM-COLONIZED GEOTEXTILE TO EFFECTIVELY BIOACCUMULATE AND BIODEGRADE HYDROCARBONS	426
APPLYING ELECTRICAL RESISTANCE HEATING IN HIGHLY OCCUPIED AREAS	428
FUNCTIONAL GENOMICS OF THE GENUS CLADOSPORIUM: INSIGHTS INTO THE MYCO- REMEDIATION OF HALOGENATED ORGANIC COMPOUNDS (HOCs)	430
NATURE-INSPIRED BIODEGRADATION OF POLY(BUTYLENE SUCCINATE-CO-ADIPATE) FROM MARINE ENVIRONMENT: THE POTENTIAL OF COPEPOD-ASSOCIATED FUNGI.....	432
MIBIREM: A SOLUTION FOR EUROPE'S HEXACHLOROCYCLOHEXANE LEGACY	434
DECADES OF CHLORINATED SOLVENT CONTAMINATION IN UK AQUIFERS: A DATA- DRIVEN ASSESSMENT	436
EFFECTS OF THERMAL TREATMENT ON SOIL ORGANIC MATTER AND BIOACCESSABILITY OF RESIDUAL PAHS IN SOILS FROM A COKING FACTORY IN CHINA	438
PROBLEMS AND SOLUTIONS FOR INVESTIGATING AND REMEDIATING OFF-SITE CONTAMINATION FROM MINING AND SMELTING SITES	440
RISK-BASED APPROACHES FOR THE SUSTAINABLE REMEDIATION OF MINING LIABILITIES IN PERU: CHALLENGES AND LESSONS LEARNED	442
A COMPREHENSIVE STUDY ON THE OCCURRENCE, BIOAUGMENTATION-ASSISTED BIOREMEDIATION, AND BIODEGRADATION MECHANISMS FOR POLYCHLORINATEDBIPHENYLS IN CONTAMINATED ENVIRONMENTS.....	444
AI-DRIVEN PREDICTIVE ANALYTICS FOR TARGETED MARKETING IN SUSTAINABLE TECHNOLOGIES	446
BEYOND PREACHING TO THE CHOIR: WHY FARMERS' SOIL KNOWLEDGE IS ESSENTIAL TO THE AGROECOLOGY AND SOIL HEALTH - THE CASE OF TERMITE MOUNDS IN CAMBODIAN PADDY FIELDS	448
MULTISCALES AND MULTIDISCIPLINARY APPROACHES OVER MULTI-CONTAMINATED SITES: A WAY TO INVESTIGATE THE (MULTI)BENEFITS OF NBS IN EUROPE	450
SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND APPLICATION OF TiO ₂ POLYMER-BASED NANOCOMPOSITE FOR REMEDIATION OF PFAS PORTABLE GROUNDWATER WITH ADSORPTION AND KINETIC MODELING	453
EMPOWERING ENVIRONMENTAL INTELLIGENCE: A CASE STUDY IN AI-POWERED KNOWLEDGE MANAGEMENT AND DATA FEDERATION FOR SCALABLE DATA GOVERNANCE WITH EQUIS	455
CLOSURE STRATEGY: DNAPL IMPACTS IN A KARST SETTING.....	457
ENHANCED BIOREMEDIATION OF PETROLEUM CONTAMINATED SOILS IN EXTREME ARCTIC AND DESERT CONDITIONS	459
ENHANCED PFAS DECONTAMINATION OF SOIL, BEDROCK, AQUIFER AND AFFF FIRE SUPPRESSION SYSTEMS, WITHOUT FOAM FRACTIONATION	461

ENHANCED LNAPL RECOVERY FROM LOW PERMEABILITY STRATA BY MEANS OF SAND LAYER INJECTION USING I-SAV© TECHNOLOGY AND NON-IONIC SURFACTANT APPLICATION	464
PARADIGM SHIFT IN REMEDIATION MANAGEMENT:HOW TO GO FROM DECADES TO MONTHS	466
ARDUINO BASED SMART IRRIGATION SYSTEM DESIGN, CHALLENGES AND SOLUTIONS	468
MICROBIAL REMEDIATION OF PFAS-IMPACTED INDUSTRIAL SOIL & WATER.....	470
A STATISTICAL APPROACH TO IDENTIFY CH ₄ HOT SPOTS IN LANDFILLS USING UAV DATA	472
THE LEGACY OF MINING IN THE IBERIAN PYRITE BELT: EFFECTS ON ENVIRONMENTAL QUALITY IN THE CHANÇA RESERVOIR.....	474
NAVIGATING THE PFAS TSUNAMI IN EUROPE: INSIGHTS AND FUTURE DIRECTIONS...	476
STUDY ON CROSS-MEDIUM MIGRATION OF HALOGENATED HYDROCARBONS IN THE AMPHIBIOUS CROSS-CONTAMINATION SITE BASED ON ELECTRICAL METHODS: HYDRODYNAMIC CONSTRAINTS	478
CRITERIA FOR THE IDENTIFICATION AND MANAGEMENT OF BACKFILL MATERIALS AT ITALIAN CONTAMINATED SITES.....	480
ANALYSIS OF BIFENTHRIN INSECTICIDE IN SURFACE AND GROUNDWATER FROM THE NIAYES AGRICULTURAL AREA OF SENEGAL BY CLASSICAL FLUORESCENCE AND AUTOMATIC FLUORESCENCE MONITORING	483
PRELIMINARY RESULTS OF CFD SIMULATION OF IN SITU THERMAL DESORPTION FOR HYDROCARBON-CONTAMINATED SOIL REMEDIATION	485
SOIL REMEDIATION AND WASTE DIVERSION THROUGH WOOD ASH REUSE IN BIOENERGY CROPPING SYSTEMS	487
THERMAL AND MECHANICAL DESIGN AND OPTIMIZATION OF A CRYOGENIC MICRO-GRINDING SYSTEM USING FEM ANALYSIS	489
LEVERAGING MICROBIAL DNA ANALYSIS FOR MINE MANAGEMENT AND REMEDIATION	490
REVITALIZATION OF MILITARY CONFLICT-AFFECTED SOILS THROUGH MISCANTHUS-BASED ADVANCED PHYTOTECHNOLOGY WITH WASTE-DERIVED SOIL AMENDMENTS	492
ODOR WASTE GAS WAS IMPORTANT FOR THE MAINTENANCE OF A DEODORANT MICROBIAL COMMUNITY OF BIOLOGICAL TRICKLING DEODORANT TOWER	495
3D NUMERICAL FLOW MODELING OF GROUNDWATER CIRCULATION WELLS USING STREAMLINES.....	497
DATA SOURCES OF DIFFUSE SOIL CONTAMINATION IN EUROPE	499
PILOT SCALE THERMAL SOIL PFAS REMEDIATION TEST	501
ASSESSING ROBUSTNESS AND RESILIENCE OF COMBINED PROCESS FOR THE REMEDIATION OF TCE-CONTAMINATED AQUIFERS	503
COMBINED ADSORPTION AND BIODEGRADATION PROCESS FOR THE REMEDIATION OF CHLORINATED SOLVENT-CONTAMINATED GROUNDWATER: AN EXAMPLE OF CIRCULARITY	505

FULL SCALE TREATMENT TRIAL FOR PFAS CONTAMINATED WASTE WATER AT FLOWS UP TO 600 M3/H, USING PFAS FLOCCULANT PERFLUORAD	507
BIOPOLYMER BASED REMEDIATION OF PFAS CONTAMINATED SOILS- IN SITU TREATMENT OF AN AFFF CONTAMINATED AIRPORT SITE.....	508
MONITORING PESTICIDE CONTAMINATION IN WASTEWATER: A STRATEGY FOR SAFE WATER REUSE	511
FROM EHS TO ESG: EVOLUTION OF DUE DILIGENCE APPROACHES	513
MULTILEVEL RANKING METHODOLOGY FOR THE INDUSTRIAL REUSE OF BROWNFIELDS	516
MICROBIAL DEFLUORINATION OF TFA, PFOA, AND HFPO-DA BY A NATIVE MICROBIAL CONSORTIUM UNDER ANOXIC CONDITIONS	518
INSSPIRED SOULS PROJECT: INNOVATIVE AND SUSTAINABLE STABILIZATION PROCESSES INVOLVING RECYCLED SOILS AND USED MATERIALS	520
ELECTRO-NANO - BIOREMEDIATION TECHNOLOGY FOR IN-SITU DEGRADATION OF CHC FROM LOW PERMEABLE AQUIFER	523
ELECTROCHEMICAL REDUCTION OF PFAS IN SITU – PRESENTATION OF LABORATORY AND FIELD TEST RESULTS AND MOST LIKELY IDENTIFIED MECHANISMS OF CONTAMINANT REDUCTION.....	525
EVALUATION OF BIOSTIMULANTS AND MYCORRHIZAE TO IMPROVE PHYTOMANAGEMENT POTENTIAL OF LIGNOCELLULOSIC CROPS.....	528
GEOLOGY AND LAND USE AS DRIVERS FOR THE DETERMINATION OF NATURAL BACKGROUND LEVEL IN GROUNDWATER: INSIGHTS FROM ARSENIC, RADON, AND FLUORIDE ANALYSIS IN CENTRAL ITALY	530
KAJAK – STATE FUNDED INVESTIGATION, REMEDIATION AND DEVELOPMENT PROJECTS ON CLOSED AND ABANDONED MINING WASTE FACILITIES IN FINLAND.....	532
INNOVATIVE BIOSORBENT MATERIALS FOR PFAS REMOVAL FROM CONTAMINATED WATER.....	534
SOIL HEALTH DESCRIPTORS IN FOCUS: A CASE STUDY AND A GAMIFIED LEARNING APPROACH	536
THE LAS SALINAS PROJECT (CHILE), AN EXAMPLE OF THE REHABILITATION OF A DEGRADED AREA IN THE ABSENCE OF SPECIFIC APPLICABLE REGULATIONS.....	538
MARBLE DUST “MARMETTOLA” IN THE APUAN ALPS EXTRACTION DISTRICT: A SIGNIFICANT ENVIRONMENTAL CRITICALITY FOR SURFACE AND GROUNDWATER BODIES	540
CURRENT SITUATION AND POSSIBILITIES OF BIOCHAR USE FOR AGRICULTURAL AND LAND REMEDIATION IN UKRAINE: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS.....	542
A TOOL TO EVALUATE AND CLASSIFY THE POTENTIAL RISK OF PFAS CONTAMINATION FROM INDUSTRIAL SITES	544
APPLYING MACHINE LEARNING METHODS TO UNCOVER HIDDEN FORENSIC PATTERNS IN PFAS SIGNATURES	546
DEVELOPING A METHODOLOGICAL APPROACH FOR PRELIMINARY PFAS ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT IN AIRPORTS.....	548

INTEGRATING REGULATORY COMPLIANCE AND SUSTAINABLE REMEDIATION FOR PFAS AND VAPOR INTRUSION AT A LEGACY PETROCHEMICAL FACILITY IN AUSTRALIA	550
PFAS DATA EVALUATION TOOL	552
RECOVER, REMEDIATE, REUSE: THE UNTAPPED POTENTIAL OF PFAS SOIL REMEDIATION	553
MANAGEMENT OF ULTRA-SHORT CHAIN PFAS: FROM CHARACTERIZATION TO TREATMENT	555
A PERMANENT GROUND PORTAL FOR NON-DESTRUCTIVE HRSC UV VISUALIZATION OF LNAPL SOIL CONTAMINATION: FROM LAB TO FIELD STUDIES	557
A SUMMARY OF ONE AND A HALF DECADES OF NAPL CONTAMINANT NATURAL SOURCE ZONE DEPLETION (NSZD)	559
NATURE BASED SOLUTION APPLICAZIONE DI TECNOLOGIE DI FITORIMEDIO IN AREE AGRICOLE – LESSON LEARNED E PROGETTAZIONE PER IL FUTURO	561
INTECH4WATER PROJECT FOR INNOVATIVE WASTEWATER TREATMENT BY INTEGRATED TECHNOLOGIES: NANOSTRUCTURED MATERIALS DESIGN	563
STUDIO STATISTICO E SPERIMENTALE SULLE POSSIBILI ORIGINI DELL'ARSENICO RISCOSTRATO NELLE ACQUE DI FALDA DI UN'AREA INDUSTRIALE	566
STRATEGIC REMEDIATION MANAGEMENT IN PERU: A NEW PARADIGM FOR IMPACTED SITES AND ENVIRONMENTAL LIABILITIES IN THE AMAZON.....	568
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION: LEVERAGING MICROBIAL BIOSURFACTANTS FOR HYDROCARBON DEGRADATION.....	569
FORMER BOWLING TERMINAL REMEDIATION PROJECT	572
REMEDATION BY LANDFILL MINING OF THE SLETTEBAKKEN LANDFILL IN BERGEN, NORWAY	574
ESTIMATING WHEN NATURAL BIODEGRADATION OF PETROLEUM IN SOIL AND GROUNDWATER EXCEEDS RATES ACHIEVED BY ACTIVE REMEDIATION.....	577
THE “POLIGONI PROJECT”: SCIENTIFIC BASIS TO ASSUME DECISIONS IN ORDER TO MANAGE THE RESIDUALS OF MILITARY EXERCISES DISPERSED ON THE COSTAL SEAFLOOR OF TWO MILITARY AREAS, CAPO TEULADA (SARDINIA) AND TORRE VENERI (APULIA).579	
URBAN SUSTAINABILITY AND MOBILITY INDICATORS: A STATISTICAL FRAMEWORK FOR COMPREHENSIVE QUANTITATIVE ASSESSMENT	581
ENVIRONMENTAL CONDITIONS SHAPING DECHLORINATING MICROBIAL COMMUNITIES: A CASE STUDY ON BIOSTIMULATION AND BIOAUGMENTATION IN CHLORINATED SOLVENT-CONTAMINATED GROUNDWATER	583
LONG-READ SEQUENCING TECHNOLOGIES: ADVANTAGES, APPLICATIONS, AND FUNCTIONAL PREDICTION FOR IN SITU BIOREMEDIATION.....	585

I. Metodologie e tecnologie per la
caratterizzazione, messa in sicurezza e
bonifica di siti inquinati

Utilizzo di *Apium nodiflorum* per la stima della biodisponibilità dei contaminanti rilevati nei sedimenti del fiume Tirino nel S.I.N. di Bussi sul Tirino

**Gianluca Marinelli¹, Jacopo Pellegrini¹, Micaela Di Berardino¹,
Mariano Del Trecco¹, Antonio Diligenti¹.**

¹ ARPA Abruzzo Distretto di Chieti - Ufficio Siti Contaminati, Materiali da Scavo e Bonifiche.

Abstract

Il piano di caratterizzazione delle aree pubbliche del SIN di Bussi sul Tirino, predisposto ed attuato da ARPA Abruzzo, ha messo in risalto l'esistenza di un impatto sui sedimenti superficiali e profondi dei principali corsi d'acqua inclusi nella perimetrazione (fiumi Tirino e Pescara) ad opera dei rifiuti e della contaminazione delle matrici ambientali. Dalle analisi chimiche ed ecotossicologiche condotte sui campioni prelevati tramite sondaggi in alveo, infatti, sono emerse criticità per mercurio, piombo e solventi clorurati, oltre a significative risposte in termini di tossicità.

Ciò ha comportato la necessità, per il soggetto individuato a seguito di ordinanze provinciali ex art. 244 del D.Lgs 15/06, di proporre indagini integrative secondo un approccio condiviso, finalizzato ad acquisire ulteriori elementi conoscitivi per inquadrare le corrette modalità di gestione della problematica relativa ai sedimenti fluviali del f. Tirino. Su proposta dell'Agenzia, tra le ulteriori indagini ad ampio spettro sulle varie componenti dell'ecosistema fluviale (ecologiche, biologiche, ecotossicologiche, chimiche, ecc.) sono state previste anche analisi finalizzate a valutare l'eventuale bioaccumulo di contaminanti nelle macrofite acquatiche e conseguentemente la loro potenzialità di assorbimento dei contaminanti tramite l'apparato radicale. Ai fini del contraddittorio sono stati acquisiti i campioni di macrofite T3sx, T5sx oltre ad un bianco, localizzato a monte delle aree impattate.

Ulteriori prelievi sono stati effettuati dai tecnici ARPA nei tratti fluviali interessati da criticità a carico dei sedimenti, note in base agli esiti del piano di caratterizzazione delle aree pubbliche (T2/3 sx, T3/4 dx, T4dx, T7sx, T8sx e T9dx).

Le macrofite campionate sono risultate appartenenti alla specie *Apium nodiflorum* mentre le determinazioni analitiche dell'Agenzia hanno riguardato principalmente mercurio, piombo, e alcuni solventi clorurati (questi ultimi ricercati solo in tre campioni, tra cui il bianco). Nelle macrofite analizzate come bianco, le concentrazioni di tutti i contaminanti sono risultate inferiori al limite di quantificazione della metodica analitica utilizzata. I solventi clorurati sono risultati assenti anche negli altri due campioni e pertanto, in ragione dello stato chimico dei sedimenti in corrispondenza dei punti di prelievo, si ipotizza che tali composti non vengano assorbiti dalle macrofite acquatiche.

Al contrario è stata riscontrata corrispondenza tra le concentrazioni di mercurio e piombo presenti nei sedimenti e quelle rilevate nelle macrofite acquatiche. Concentrazioni misurabili di mercurio sono state rilevate in cinque campioni vegetali ubicati in corrispondenza delle aree interessate dalle principali criticità a carico dei sedimenti. Inoltre, il campione vegetale più impattato da mercurio con 1,22 mg/kg (T3sx) è quello prelevato in corrispondenza del transetto T3sx nel quale è stata registrata la massima concentrazione di mercurio nel sedimento superficiale (7 g/kg). Il piombo nelle macrofite è stato osservato in corrispondenza dei due campioni prelevati nei tratti T8 e T9 (interessati da rifiuti in alveo caratterizzati da presenza di piombo). Le macrofite acquatiche del f. Tirino hanno pertanto il potenziale di estrarre piombo e mercurio dai sedimenti impattati e potrebbero trovare impiego nella gestione delle criticità riscontrate a carico dei sedimenti.

Keywords: (sedimenti, ecotossicologia, macrofite, bonifiche)

Contatti: g.marinelli@artaabruzzo.it, j.pellegrini@artaabruzzo.it,
m.diberardino@artaabruzzo.it, m.deltrecco@artaabruzzo.it,
a.diligenti@artaabruzzo.it,

Bonifica in situ innovativa di acquiferi contaminati da PFAS in aree sorgente ad alta concentrazione - Due casi di studio

Mariangela Donati¹, Marcello Carboni¹, Luca Basler¹

¹ REGENESIS, Via Torquato Tasso 5 – 10122 Torino –

Abstract

Il rilascio superficiale di composti contenenti PFAS può causare livelli significativi di contaminazione in frangia capillare e in falda. La lisciviazione di PFAS dalla frangia e dall'infiltrazione attraverso la zona vadosa può causare ulteriori rilasci nell'acquifero, con la migrazione di questi composti che crea rischi per i recettori a valle. L'immobilizzazione dei PFAS in frangia capillare e nella zona satura utilizzando carbone attivo colloidale (CAC) sta diventando un'importante opzione di bonifica per la mitigazione del rischio attraverso un'attenuazione potenziata, eventualmente in combinazione con la rimozione di suolo dalla sorgente o con il trattamento del plume mediante una barriera in situ.

Vengono discussi due casi di studio che dimostrano diversi approcci applicativi. Nel primo sito, l'uso di PFAS in un impianto tessile in Belgio ha causato la formazione di un plume di PFAS composto da fluorotelomeri e acido perfluorooottanoico (PFOA), in una geologia composta da sabbia e argilla limosa. Piezometri a cluster hanno rilevato concentrazioni di PFAS in fase disciolta superiori a 10.000 ng/L nell'argilla (zona capillare), oltre 20 volte superiori a quelle presenti nello strato di sabbia satura sottostante. Pertanto, era necessaria una soluzione per eliminare a lungo termine il flusso di PFAS dalla zona sorgente e prevenire l'ulteriore sviluppo del plume. Nel secondo sito (un'area di addestramento antincendio in un aeroporto norvegese), era stato programmato lo scavo di terreni contaminati da PFAS. Un plume residuo era presente nella ghiaia immediatamente a valle. Per contrastare questo plume ed evitare di aggravare l'impatto a valle

durante i lavori, si è resa necessaria una barriera per impedire l'ulteriore migrazione di PFAS dall'area sorgente.

Presso il sito belga è stata completata una prova pilota mediante iniezione a bassa pressione di CAC liquido tramite un sistema a coclea rotante per distribuire e ricoprire uniformemente sia la sabbia satura che gli strati di argilla di confinamento. Presso l'aeroporto norvegese, il CAC è stato miscelato con sabbia pulita e applicato in uno scavo perpendicolare alla direzione del plume. Ciò ha creato una barriera permeabile reattiva per adsorbire l'afflusso di contaminanti.

Una volta installate nel sottosuolo, le barriere permeabili reattive in CAC rimuovono i PFAS dalla falda tramite adsorbimento passivo, senza richiedere installazione e manutenzione di impianti fissi, evitando consumi energetici e l'impatto ambientale correlato. Il trattamento evita inoltre che vengano portati in superficie dei rifiuti, come avviene con un sistema di Pump & Treat, evitando così la creazione di ulteriori potenziali percorsi di esposizione.

Nell'applicazione a griglia in Belgio, le concentrazioni totali di PFAS in falda sono diminuite in media dell'89% entro un mese e hanno raggiunto riduzioni superiori al 99% per tutti i PFAS nell'arco di cinque mesi. Nel sito norvegese, le concentrazioni di PFAS a valle si sono ridotte del 94%, mentre PFOS e PFOA si sono ridotti rispettivamente del 96% e del 98%, a dimostrazione dell'efficacia della barriera. Il monitoraggio è in corso in entrambi i siti e il progetto belga si sta ora avviando verso il trattamento full scale. Questi risultati promettenti dimostrano l'efficacia di questo approccio innovativo di bonifica in situ come soluzione per mitigare la lisciviazione dei PFAS e lo sviluppo di plume, con un'ampia applicabilità per ridurre i rischi per l'ambiente e la salute pubblica.

Keywords: PFAS, in situ, sorgente, carbone attivo, falda

Contatti: mdonati@regenesi.com, mcarboni@regenesi.com

Application of an All-In-One Technology for a Combined Bioremediation and ISCO treatment of a Comingled Source Area at a Former Pharmaceutical Facility

Alberto Leombruni¹, Brant Smith², Mike Mueller³

^{1,3} Evonik Operations GmbH (speaker),² Evonik Corporation LLC

Abstract

Background/Objective. A combined In Situ Chemical Oxidation (ISCO) and In Situ Bioremediation (ISB) approach was selected for complicated former Pharmaceutical Facility in Italy. The Site is contaminated with a combination of high concentrations of Monochlorobenzene, BTEX, and Chloroform. The multi-technology remedy was made necessary after evaluating incomplete treatment that was the result of the application of other technologies previously at the Site. Activated Klozur® persulfate creates a multi-radical attack providing greater oxidation power capable of treating common and the most recalcitrant compounds alike. Klozur® persulfates include both sodium (SP) and potassium (KP) products. Both dissolve to provide the persulfate anion, which is typically stable for weeks to months. Each persulfate has unique characteristics, sodium persulfate is highly soluble and available to react at the time of application whereas the low solubility of potassium persulfate has been observed to provide extended release of the persulfate anion over months to years. This allows immediate distribution in the subsurface with the stability providing a greater radius of influence and allowing more time to make contact and degrade a wide variety of contaminants in soil and groundwater, including chlorinated solvents, petroleum hydrocarbons, and PAH's. The combination of persulfate and PermeOx Ultra, a calcium peroxide based slow oxygen release compound, has been applied for decades in the form of Klozur® CR. Due to challenges that had been observed at this site, it was determined that this approach needed to be coupled with Klozur® KP has been selected as the best long-lasting treatment solution for the

contaminants of this site by providing immediate treatment with the Klozur® SP and extended bioremediation with PermeOx® Ultra and extended release of ISCO as a result of Klozur® KP.

Approach/Activities. Klozur technology has been successfully applied at several sites in Italy within the past few years. This presentation will discuss the broader program using specific sites as case studies. One of these specific sites was at a densely populated urban area site in the northern Italy. The site was characterized by historical contamination of various toxic compounds. The site, a dismantled former pharmaceutical facility, was impacted by the storage of Hydrocarbons and Chlorinated Solvents which have resulted in the groundwater contamination, including benzene (~ 1000 µg/L), monochlorobenzene (~ 250000 µg/L), chloroform (~ 54000 µg/L) and light TPHs (~ 16000 µg/L). In 2022, a successful pilot has been implemented injecting on site a total of 5600 kg of Klozur CR along with 1700 kg of Klozur KP in a 25% aqueous solution. In 2023, full scale has been completed applying approximately 29 MT of Klozur CR and 9 MT of Klozur KP in a 25% aqueous solution. These amendments were added together in a single reagent solution application resulting in a combined remedy and a significant cost savings to the client.

Results/Lessons Learned. The combined remedy of bioremediation coupled with ISCO has proven successful in treating petroleum hydrocarbon and chlorinated solvent contamination. With regard to the Northern Italy site, following 24 months after the full-scale application, the concentrations of contaminants had reached and maintained concentrations below the site-specific remediation goals in all monitoring piezometers in the treatment area. In particular, TPHs were reduced by greater than 85 percent, while MCB was reduced by greater than 95 percent. Monitoring data confirmed sustained elevation of oxidation-reduction potential (ORP) and dissolved oxygen (DO) as necessary subsurface conditions to support treatment. The monitoring data at the site was below remedial goals for 12 months meeting regulatory approval for site closure. The site will be redeveloped for residential purposes.

Keywords: ISCO, bioremediation, aquifer, organic contaminants, injection

Contatti: alberto.leombruni@evonik.com

Applicazioni aerofotogrammetriche mediante l'utilizzo di droni e softwares open source a supporto della determinazione speditiva dei volumi dei rifiuti abbandonati o depositati in modo incontrollato

Sandro Muscillo¹, Giovanna Netti¹, Annamaria Basile¹

¹ Regione Puglia - Sezione Ciclo Rifiuti e Bonifiche

Con Deliberazione della Giunta Regionale 12 gennaio 2017, n. 6, la Regione Puglia ha approvato le “Linee guida per la rimozione del deposito incontrollato di rifiuti”.

Queste rappresentano un utile strumento operativo rivolto ai Comuni, sia per una corretta esecuzione delle attività di rimozione su aree pubbliche e private interessate dalla pratica illegale di deposito incontrollato di rifiuti, che per la corretta predisposizione dell'ordinanza di rimozione, allo scopo di evitare che questi permangano.

Le suddette Linee guida forniscono, tra l'altro, gli indirizzi per le procedure di rimozione dei rifiuti depositati in modo incontrollato indicate nell'Allegato 2 “Contenuti minimi del Piano di rimozione dei rifiuti” contenente l'elenco delle informazioni richieste, tra cui: la superficie dell'area interessata, il volume dei rifiuti presenti e le modalità di movimentazione dei rifiuti.

Sebbene le linee guida non forniscano indicazioni specifiche sulle modalità operative per la ricostruzione delle informazioni plano-volumetriche dei cumuli di rifiuti, l'applicazione dell'aerofotogrammetria da drone rappresenta una valida soluzione con costi e tempi di elaborazione relativamente contenuti.

I principali output tipicamente restituiti da un rilievo aerofotogrammetrico da drone in forma georeferenziata, in particolare, ortofoto, modello digitale del terreno (DSM e DTM) a risoluzione centimetrica e nuvola densa di punti (point cloud), possono essere utilizzati come input per successive elaborazioni al fine di ottenere le informazioni fondamentali per la definizione di un piano di rimozione rifiuti.

In particolare, il software open source *CloudCompare* consente di individuare e perimetrare i cumuli di rifiuti depositati in maniera incontrollata sul terreno o su pavimentazione stradale, a partire dalla nuvola densa di punti georeferenziata.

La perimetrazione dei cumuli direttamente sulla nuvola densa di punti, materializzata con shapefile (.shp) poligonali tridimensionali georeferenziati, consente di definire il piano di riferimento posto alla base del calcolo dei volumi sottesi dai singoli cumuli di rifiuti.

Il software *CloudCompare* consente inoltre di estrapolare curve di livello e sezioni topografiche di dettaglio che permettono di rappresentare lo sviluppo altimetrico all'interno dei cumuli, particolarmente utile per le operazioni di movimentazione e per la scelta dei mezzi da impiegare per la rimozione dei rifiuti.

L'elaborazione dei piani di rimozione rifiuti può essere inoltre integrata con le funzionalità del software open source *QGIS* al fine di sviluppare e predisporre gli ulteriori e necessari contenuti richiesti nelle linee guida, in particolare, la sovrapposizione degli shapefiles contenenti le geometrie dei cumuli su ortofoto georeferenziata ad alta restituzione consente di:

- identificare le particelle catastali interessate dall'abbandono dei rifiuti e conseguentemente definire la titolarità delle aree;
- calcolare le superfici interessate dai cumuli di rifiuti;
- eseguire il censimento delle interferenze dei cumuli con i vincoli ambientali e paesaggistici;
- eseguire il censimento delle interferenze dei cumuli con le opere e infrastrutture presenti nell'area oggetto di abbandono, anche al fine della predisposizione del layout di cantiere e del Piano di Sicurezza e Coordinamento ai sensi del D.Lgs. n. 81/2008 e s.m.i.;
- identificare le aree pavimentate e non pavimentate per programmare le modalità di campionamento.

Keywords: (5 keywords)

Piano rimozione rifiuti, drone, aerofotogrammetria, CloudCompare, QGIS.

Contatti: s.muscillo@regione.puglia.it, am.basile@regione.puglia.it, g.netti@regione.puglia.it

Progetto di deperimetrazione del SIN Mar Grande di Taranto – Porto in rada

Gabriella De Santis¹, Gaetano Internò¹, Giovanni Francesco Gugliotti¹, Annamaria Basile², Angelo Tursi³, Vito Felice Uricchio²

¹ *Autorità di Sistema portuale del Mar Ionio - Porto di Taranto,*

² *Commissario Straordinario per gli interventi urgenti di bonifica, ambientalizzazione e riqualificazione dell'area di Taranto*

³ *CoNISMa – Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Scienze del Mare*

La procedura di ripermimetrazione del S.I.N. “Taranto” è stata avviata dal Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica nel marzo 2023, mediante un incontro nell’ambito del quale gli Enti territoriali interessati hanno espresso le proprie osservazioni circa l’eventuale esclusione di aree, anche marine, dal perimetro del Sito di Interesse Nazionale. Il presente abstract descrive in maniera sintetica la progettazione di un sistema di indagini volte ad approfondire la conoscenza dello stato di qualità delle matrici ambientali dell’area marina, la cui prima valutazione risale al periodo 2009-2010, nell’ambito delle indagini che furono condotte dall’ISPRA su entrambi i Lotti del Mar Grande e Mar Piccolo, ai fini della individuazione degli opportuni interventi di messa in sicurezza e bonifica del SIN Taranto. Il progetto, ancora in fase di rivisitazione, è frutto di un accurato lavoro di squadra che ha messo in campo le potenzialità di tre realtà particolarmente attive sul territorio nell’ambito della tematica delle bonifiche: la struttura Commissariale per gli interventi urgenti di bonifica, ambientalizzazione e riqualificazione dell’area di Taranto, il Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Scienze del Mare (CoNISMa) e l’Autorità di Sistema portuale del Mar Ionio – Porto di Taranto (AdSP-MI).

Il programma prevede lo svolgimento di una serie di indagini, strutturate a partire dallo stato di potenziale contaminazione del Mar Grande riscontrato dalla pregressa caratterizzazione dell’ISPRA, in riferimento alle indagini condotte solo negli strati più superficiali (Mar Grand Lotto 1) e dalla maggiore concentrazione di mercurio (Mar

Grande Lotto 2) per effetto di differenze cromatiche associate al superamento di stabiliti limiti di riferimento (CSC Tab.1 All.5, parte IV DLgs 152/06 ss.mm.ii; “Valori di intervento”-PdG sedimenti porto di Taranto 2009). L’ampia estensione dell’intera area marina inserita nel SIN di Taranto induce ad un approccio operativo frazionato nel tempo consistente in una suddivisione dell’intero specchio acqueo, incluso nel SIN, in tre Macro AREE da caratterizzare con tempistiche e modalità differenti ma sequenziali. Il meccanismo d’azione, progettato in sinergia dalle strutture pubbliche coinvolte, riporta ad un sistema di campionamento delle diverse matrici ambientali, del tipo a “maglia ragionata”, i cui punti di indagine risultano inseriti, ai fini dell’immediata associazione dell’ID e del reperimento della posizione geografica di ciascuno di essi, in una griglia dalle dimensioni 450x450 m, per le aree risultate non contaminate e 225x225 m per quelle invece in cui fu riscontrata una potenziale contaminazione nell’ambito della predetta campagna di indagine.

Pertanto, attraverso l’esecuzione di un sistema di indagini sarà possibile rilevare con più precisione aree potenzialmente contaminate, in corrispondenza delle quali effettuare specifici studi integrativi al fine di concentrare efficaci interventi di bonifica volti a riportare l’area a condizioni di sicurezza per la salute umana e l’ambiente, eliminando o riducendo i rischi derivanti dallo stato di potenziale contaminazione riscontrato circa quindici anni fa da ISPRA nel periodo 2007/2009. Il procedimento di deperimetrazione di parte del Mar Grande dal SIN di Taranto rappresenta una scelta strategica e lungimirante che può ridefinire il futuro economico del territorio che consentirà al Porto di Taranto di esprimere appieno le proprie potenzialità, trasformandosi da area con eventuali criticità ambientali ereditate, a motore di sviluppo sostenibile e di prosperità per l’intera comunità tarantina.

Keywords: (SIN, Caratterizzazione, Riperimetrazione, Bonifica, Sviluppo)

Contatti: gabriella.desantis@port.taranto.it, a.basile@governo.it, gaetano.interno@port.taranto.it, angelo.tursi@uniba.it, v.uricchio@governo.it; commissario.gugliotti@port.taranto.it

Un Modello Integrato per il contrasto agli Illeciti ambientali: applicazione dell'Intelligenza Artificiale per l'orientamento delle indagini sul territorio pugliese

Serena Triggiani¹, Paolo Garofoli², Antonietta Riccio², Cosimo Calabrese², Annamaria Basile², Massimo Clemente³, Carmine Massarelli³, Vito Felice Uricchio³

¹Regione Puglia, Assessore Ambiente, Ciclo rifiuti e bonifiche, Vigilanza Ambientale, Parchi, Rischio industriale, Crisi industriali e Politiche di genere

²Regione Puglia, Dipartimento Ambiente, Paesaggio e Qualità Urbana, 70125, Bari,

³Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Tecnologie della Costruzione – UdR “Ambiente e Territorio”, Bari

Abstract

Il fenomeno della criminalità ambientale, che si manifesta attraverso il traffico illecito di rifiuti e la creazione di discariche abusive, rappresenta una minaccia significativa per la salute pubblica, la stabilità degli ecosistemi ed il paesaggio. La complessità di tali illeciti, spesso perpetrati da organizzazioni criminali che agiscono a livello interregionale, richiede un approccio investigativo e di monitoraggio che superi le metodologie tradizionali. Il presente lavoro illustra i fondamenti scientifici ed operativi di un Accordo, rinnovato lo scorso 11 marzo 2025 tra la Regione Puglia e una rete di enti di controllo e ricerca che comprende le Forze dell'Ordine (Guardia di Finanza e Carabinieri), ARPA Puglia e CNR-ITC, finalizzato al potenziamento delle attività di prevenzione e contrasto. L'elemento distintivo di questo accordo risiede nell'adozione di un'architettura tecnologica avanzata, basata sull'Intelligenza Artificiale (IA), per l'analisi integrata dei dati e l'orientamento strategico delle indagini sul campo. L'obiettivo primario è trasformare una mole eterogenea di dati in informazioni predittive e operative, migliorando l'efficacia delle azioni di tutela ambientale e riducendo i tempi di intervento.

L'approccio metodologico si basa sulla sinergia tra la raccolta di dati da fonti multiple e l'elaborazione avanzata avvalendosi anche del

contributo dell'intelligenza artificiale. Il sistema si alimenta da un flusso continuo di informazioni provenienti da rilievi aerei e terrestri acquisiti tramite l'impiego di satelliti, elicotteri e droni in grado di mappare aree sospette e rilevare anomalie, integrate da sopralluoghi ed approfondimenti in campo. Tali dati sono impreziositi da informazioni operative storiche (che narrano della vocazione dei territori anche per fenomeni di smaltimento ed abbandono) e correnti forniti dalle Forze dell'Ordine riguardo a sequestri, segnalazioni e denunce di illeciti. Tutte le citate informazioni sono disponibili sul sistema "PERIMSITI" (gestito dal CNR-ITC) che unisce e consente l'analisi integrata di dati territoriali, geografici negli oltre ultimi 20 anni e storiche sull'evoluzione dei siti contaminati. La Piattaforma "PERIMSITI", sviluppata e personalizzata dal CNR-ITC, funge da hub centrale per l'analisi dei dati ed integra algoritmi di machine learning e deep learning per eseguire due funzioni quali "analisi integrata" in grado di identificare correlazioni nascoste tra dati apparentemente non collegati (ad es. può associare i picchi di contaminazione rilevati dall'ARPA con i transiti di veicoli sospetti registrati dalle Forze dell'Ordine in un determinato periodo, o collegare la natura di un rifiuto abbandonato a una specifica tipologia di attività produttiva del territorio) e la modellistica predittiva per l'orientamento delle indagini, utilizzando modelli di regressione e classificazione, in cui l'IA analizza i dati storici degli illeciti per individuare i "*pattern*" anomali. In questo modo, è possibile prevedere con un alto grado di probabilità le aree geografiche in cui è più probabile che avvenga un illecito. Questo permette di ottimizzare l'impiego delle risorse umane e strumentali (possibilmente con microcamere), orientando in modo mirato e proattivo le attività di pattugliamento e sorveglianza. L'implementazione di questa metodologia basata sull'intelligenza artificiale si propone di generare un impatto significativo, trasformando l'azione di controllo da reattiva a proattiva.

Keywords: Intelligenza Artificiale, data analysis, crime mapping, droni, microcamere.

Contatti: assessore.ambiente.territorio@regione.puglia.it,
p.garofoli@regione.puglia.it, a.riccio@regione.puglia.it,
c.calabrese@regione.puglia.it, carmine.massarelli@cnr.it, vito felice.uricchio@cnr.it.

Verso una gestione sostenibile delle discariche: innovazione tecnologica per il contenimento delle emissioni di metano attraverso l'uso di droni

Giuseppe Tassielli¹, Miriam Spalatro¹

¹ Dipartimento interuniversitario di Fisica, Università degli studi di Bari
"Aldo Moro", Via Orabona 4, Bari, 70124, Italia

Abstract

Nel campo della gestione dei rifiuti solidi urbani, le discariche rappresentano una delle principali fonti di emissioni fugitive di metano (CH₄), un gas serra con un potenziale climalterante molto superiore rispetto alla CO₂. Un controllo efficace di tali emissioni è fondamentale per garantire la sostenibilità ambientale di questi impianti. Ad oggi, la misurazione delle perdite di metano si basa principalmente sull'utilizzo delle cosiddette "land box", camere statiche posizionate in punti selezionati della discarica per il monitoraggio dei flussi gassosi. Sebbene riconosciuto e normativamente accettato, questo metodo presenta limiti importanti in termini di copertura spaziale e prontezza nell'individuazione di eventuali criticità.

Le stime ottenute con le land box suggeriscono spesso un'efficienza di captazione del metano molto alta, anche superiore al 98%. Tuttavia, in molti casi, l'efficienza reale si ferma sotto il 50%, generando una discrepanza tra i dati riportati e la situazione effettiva. Ciò può rallentare l'adozione di misure correttive più efficaci, con il rischio di sottovalutare le emissioni fugitive e le loro conseguenze ambientali. Una tecnologia emergente che può contribuire a superare questi limiti è rappresentata dall'uso di droni equipaggiati con sensori spettrometrici per il rilevamento del metano. Tali sistemi consentono un monitoraggio ad alta risoluzione spaziale e temporale, permettendo di mappare le emissioni su larga scala e di raggiungere aree altrimenti inaccessibili. Il risultato è una maggiore precisione nella localizzazione delle perdite, con un conseguente miglioramento della tempestività degli interventi.

Oltre a migliorare l'efficacia del monitoraggio, l'impiego di queste tecnologie può contribuire ad aumentare la circolarità delle risorse.

Una rilevazione più efficiente consente infatti di recuperare una quota maggiore di biogas, valorizzabile come fonte energetica rinnovabile, e di inserirlo in circuiti produttivi, trasformando le discariche in elementi attivi dell'economia circolare.

L'introduzione dei droni nel settore presenta tuttavia sfide operative, tecniche e normative. È necessario definire protocolli standard per le operazioni di volo, la calibrazione dei sensori e l'analisi dei dati, oltre a colmare i vuoti regolatori esistenti per integrare queste tecnologie nei sistemi ufficiali di controllo ambientale.

Il gruppo di ricerca del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bari ha colto tali sfide nell'ambito del progetto "Integrated environmental monitoring via the use of Unmanned Aerial Systems (drones), environmental management systems and Life Cycle Assessment (LCA): set-up for improving the environmental profile of landfill sites and industrial plants", finanziato nella call PRIN 2022. Il lavoro fin qui svolto ha portato alla definizione di un set-up tecnico del sistema drone-sensore che permette l'individuazione delle perdite di metano e la relativa quantificazione oltre che alla stesura di un dettagliato protocollo di intervento.

In sintesi, l'integrazione dei droni nelle strategie di gestione delle emissioni di metano offre un'opportunità concreta per migliorare l'efficienza, la trasparenza e la sostenibilità delle discariche, contribuendo alla riduzione delle emissioni climalteranti del settore.

Keywords: droni, UAS, metano, discarica, biogas

Contatti: giuseppe.tassielli@uniba.it , miriam.spalatro@uniba.it

Microwave irradiated biochar enhanced phytostabilization of heavy metals through *Capsicum annum* L.

Mujahid Farid^{1*}, Zaki ul Zaman Asam¹, Laiba Tassadaq¹

¹*Department of Environmental Sciences, University of Gujrat, Hafiz Hayat Campus, Gujrat, 50700, Pakistan*

*Corresponding author: mujahid.farid@uog.uog.pk

Abstract

The concentration of heavy metals and contamination like chromium, lead and copper are increasing due to anthropogenic activities like urbanization, mining and industrialization. There raising quantity in the environment are raising health and environmental concerns. We are trying to adopt more eco friendly techniques for removing these contaminants, different amendments like biochar are used to remove metals from soil. This study investigated the effects of microwave heating duration (30, 60, and 90 seconds) on sugarcane bagasse biochar properties and its ability to mitigate wastewater-induced stress in plants. Biochar produced at 60 seconds demonstrated optimal physicochemical characteristics and was selected for further experimentation. The 60-second biochar was applied to soil irrigated with wastewater at different concentrations (25%, 50%, and 100%), alongside a control group with untreated wastewater. Results showed that wastewater irrigation significantly reduced plant growth parameters (height, biomass, root length) and chlorophyll content while increasing oxidative stress markers. However, biochar amendment significantly improved plant health by reducing heavy metal uptake, enhancing nutrient retention, and decreasing oxidative damage. Enzyme activity (SOD, CAT, POD, APX) was also modulated, indicating improved stress tolerance in biochar-treated plants. These findings highlight that microwave-heated biochar (60 seconds) effectively alleviates wastewater toxicity, offering a sustainable solution for safer crop production in contaminated environments. The study underscores the potential of optimized biochar as a low-cost remediation tool for wastewater-impacted agriculture.

Keywords: antioxidant enzymes, microwave radiations, heavy metals, wastewater

Contact: mujahid.farid@uog.edu.pk , zaki.asam@uog.edu.pk ,
23011761-013@uog.edu.pk

Impianto mobile di trattamento ESTD (Ex Situ Thermal Desorption)

Gianfranco Caccamo¹, Alice Catania¹, Enrico Licitra²

¹ Icaro Ecology S.p.A., ² Dipartimento di Ingegneria e Architettura, Università degli Studi di Enna "Kore"

Introduzione e obiettivi di studio

In un'ottica di transizione verso un modello di economia circolare, il trattamento dei terreni contaminati rappresenta una sfida strategica per coniugare sostenibilità ambientale, efficienza operativa e tutela del territorio. L'impianto di trattamento mobile ESTD, Ex Situ Thermal Desorption, di cui Icaro Ecology è in possesso di autorizzazione, da parte della Regione Siciliana, ai sensi dell'art. 208, comma 15 del D.Lgs.152/06, si adatta perfettamente ai principi dell'economia circolare, in quanto consente la bonifica dei suoli contaminati direttamente nelle aree di intervento, evitando pertanto che questi vengano smaltiti come rifiuto e permettendo il loro reimpiego in sito, al termine del loro trattamento. Questo approccio, riduce in maniera significativa la produzione di rifiuti, limita l'uso di discariche e abbate le emissioni di CO₂ associate al trasporto dei materiali contaminati.

Inoltre, il riutilizzo del terreno bonificato elimina la necessità di ricorrere a materiale vergine proveniente da cava, contribuendo alla salvaguardia delle risorse naturali e alla riduzione dei fronti di escavazione e della movimentazione su gomma. Si tratta di una soluzione che integra bonifica e recupero/riutilizzo in un unico processo, riducendo l'impatto ambientale complessivo dell'intervento e promuovendo un uso efficiente e responsabile delle risorse. In particolare, l'impianto di trattamento mobile applicato al processo di desorbimento termico trova principalmente, applicazione come trattamento di bonifica in quei siti, sottoposti alla procedura di cui all'art. 242 del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii., per i quali l'analisi di rischio dimostri che la concentrazione dei contaminanti presenti nel sito sia superiore ai valori di Concentrazione Soglia di Rischio.

Metodologia

Il desorbimento termico è una tecnologia progettata per la rimozione di specifici contaminanti presenti nel suolo, in particolare idrocarburi e altre sostanze organiche volatili e semivolatili. Tra le soluzioni più efficaci in questo ambito, sia in letteratura che nella pratica operativa, si distingue l'applicazione del desorbimento termico tramite punte scaldanti alimentate da bruciatori, noti come Smart Burners, tecnologia brevettata da Haemers Technologies SA.

Il processo (ex situ) prevede la rimozione del terreno contaminato tramite scavo e la sua disposizione in cumuli (pile). All'interno di ciascun cumulo viene installato un sistema di punte scaldanti e tubazioni per l'estrazione dei vapori contaminati, disposti secondo una configurazione geometrica studiata per garantire un riscaldamento omogeneo del suolo e l'estrazione dei contaminanti.

Icaro Ecology, partner italiano di Haemers Technologies, è attualmente l'unica azienda in Italia a disporre di un impianto mobile di desorbimento termico approvato, come attestato dal Decreto dirigenziale n. 0000241 del 21/02/2024 della Regione Lazio. Questo riconoscimento attesta la conformità dell'impianto ai requisiti normativi italiani e rappresenta un unicum nel panorama nazionale, permettendo a Icaro Ecology di operare legalmente ed efficacemente con questa tecnologia su tutto il territorio.

L'impianto mobile è stato dimensionato per uno scenario tipo, corrispondente a un volume di circa 2.000 m³ di terreno contaminato.

Risultati e conclusioni

Nel caso di Strasburgo (FR) il trattamento termico di 10.000 m³ di terreno suddivisi in 7 pile si è concluso con ottimi risultati. L'efficienza operativa dei bruciatori durante l'intero processo ha raggiunto una media del 97% di tempo di funzionamento, confermando l'affidabilità del sistema. Il progetto si è affermato come un riferimento nel settore per il controllo preciso del riscaldamento e l'ottimizzazione dei consumi energetici. Di seguito si riporta la tabella dei risultati ottenuti mediante trattamento con ESTD. La forza di questo metodo non risiede solo nei risultati già ottenuti, ma anche nella sua capacità di rappresentare un punto di svolta per le bonifiche ambientali. È per questo che Icaro Ecology ha scelto di investire attivamente nella Ricerca e Sviluppo, avviando un dottorato industriale in collaborazione

con l'Università Kore di Enna e l'Università di Catania. L'obiettivo mira a migliorare l'efficacia e la sostenibilità del trattamento termico con ESTD, promuovendo l'adozione di fonti energetiche rinnovabili per l'alimentazione dell'impianto stesso e per sostituire il convenzionale uso di combustibili da fonti fossili.

Caso studio italiano di un trattamento simultaneo di sorgente e plume di solventi clorurati con ERD, ISCR E ISSB

Mariangela Donati¹, Paola Gorla¹, Giovanni Filippini², Giovanni Sonzogni²

¹ REGENSIS, ²Est Ambiente s.r.l.

Abstract

Un'area dismessa all'interno di una città nel Nord Italia presentava una estesa contaminazione da solventi clorurati probabilmente riconducibile alle attività storicamente condotte nel sito. In seguito all'acquisizione da parte di una società di sviluppo immobiliare, l'area necessitava un intervento di bonifica della falda per poter procedere alla riconversione ad uso commerciale e in limitata parte ad uso verde in adiacenza a un fiume.

La necessità di un intervento rapido, con minime interferenze e senza fenomeni di rebound ha fatto scartare l'opzione di una bonifica mediante Pump & Treat. Si è pertanto optato per un intervento in situ mediante l'iniezione di reagenti altamente ingegnerizzati.

L'area sorgente è stata gestita mediante una griglia irregolare di punti, a copertura di una superficie di 700 m², in cui sono stati co-applicati ferro zerovalente colloidale solfurato e un elettrodonatore ad ampia distribuzione e rilascio controllato, implementando pertanto simultaneamente due processi riduttivi: riduzione chimica in situ (In Situ Chemical Reduction, ISCR) e dechlorurazione riduttiva potenziata (Enhanced Reductive Dechlorination, ERD).

Ai confini di proprietà del sito, dove si rilevava il superamento delle CSC in più punti di conformità, a conferma della presenza di un plume in uscita dal sito, si è optato per l'installazione di una barriera permeabile reattiva iniettabile di lunghezza complessiva 100 metri, mediante l'applicazione simultanea di tre diverse tecnologie: ai processi distruttivi ISCR e ERD è stato affiancato un processo di adsorbimento in situ (In Situ Sorption and Biodegradation, ISSB) mediante l'applicazione di carbone attivo colloidale.

L'uso di un approccio combinato e simultaneo delle 3 diverse tecnologie in situ può sfruttare i vantaggi rilevanti di ciascun approccio: utilizzate in sinergia, le tecnologie combinate consentono il raggiungimento di obiettivi che altrimenti sarebbero considerati difficili per ciascuna opzione di bonifica se utilizzata da sola.

L'uso combinato delle tre tecnologie fornisce una soluzione unica in grado di procurare una rapida diminuzione della contaminazione in fase disciolta fino a concentrazioni dell'ordine o inferiori al $\mu\text{g/L}$ (tipico dell'ISSB) con una rapida distruzione di massa dei contaminanti adsorbiti (ISCR), mentre allo stesso tempo l'ERD degrada/mineralizza per via biodegradativa qualsiasi composto genitore o sottoprodotto residuo.

L'implementazione dell'intervento in situ ha consentito una rapida riduzione complessiva delle concentrazioni, minimizzando al contempo la formazione di sottoprodotti. Ad oggi sono disponibili dati di monitoraggio su un arco temporale di 2 anni post applicazione; gli ultimi dati disponibili mostrano la conformità nell'area sorgente alle CSR sito-specifiche, e nei POC al confine di proprietà il raggiungimento della CSC per il cloruro di vinile ($0,5 \mu\text{g/L}$). Risultano sporadici e limitati superamenti di altri composti clorurati, prevalentemente riconducibili ad oscillazioni del livello di falda e deviazioni della direzione di deflusso. Il monitoraggio si estenderà ancora per tutto l'anno 2025 e consentirà di effettuare ulteriori valutazioni in merito alla consistenza e alla stabilità dei dati.

La presentazione illustra nel dettaglio l'intervento eseguito e i risultati ottenuti, con particolare attenzione alle attività eseguite in campo di validazione della distribuzione dei reagenti, finalizzate a verificare la continuità della barriera iniettiva installata. Saranno inoltre effettuate considerazioni su come l'effettiva accessibilità delle aree e l'oscillazione periodica della superficie piezometrica possono influire sui risultati.

Contatto: mdonati@regenesi.com

Applicazione ad ampia scala di una tecnologia riduttiva per il trattamento di un acquifero contaminato da composti organo-clorurati in prossimità di un sistema paludoso in Italia

Alberto Leombruni¹, Brant Smith², Mike Muelle³

^{1,3} Evonik Operations GmbH (speaker),² Evonik Corporation LLC

Abstract

The site is in a highly and historical industrialized area of Italy where groundwater is contaminated with a large dilute plume including tetrachloroethylene (PCE; >10 ppb), trichloroethylene (TCE; >10 ppb) and, to a lesser extent, dichloroethylene and vinyl chloride (<1 ppb). The target area is up to 14000 m² with a typical vertical interval of approximately 13 m bgl. The aquifer presented challenges in terms of contaminant distribution and permeability due to the presence of silty-clay layers that made the saturated soil very heterogenous. Little DHC microbial activity has been detected occurring naturally in groundwater. Moreover, low remedial goals along with a rapid treatment timeline made this site a challenge. After a detailed assessment, the ELS™ Microemulsion technology (ELS®) was selected as the preferred remedy. ELS® deploys Enhanced Reductive Dichlorination (ERD) mechanisms for treatment of impacted groundwater and, it is comprised of a controlled-release food-grade carbon in the form of lecithin. ELS® is specially designed for easy on-site handling and addition to the subsurface via existing wells, hydraulic injection networks, or direct push technology. The addition of organic carbon electron donor in a saturated zone is widely known to promote conventional enzymatic reductive dichlorination reactions. As bacteria ferment the ELS Microemulsion component, they release a variety of volatile fatty acids (VFAs) such as lactic, propionic and butyric acids, which diffuse from the site of fermentation into the groundwater plume and serve as electron donors for other bacteria including dehalogenators. Lecithin itself is primarily composed of phospholipids, with both hydrophilic and

hydrophobic properties at different positions of the molecular structure. Further, phospholipids support remediation by providing essential nutrients (carbon, nitrogen, phosphorus) to bacteria.

In 2022, pilot was successfully performed in a small part of the contaminated aquifer showing rapid and full treatment of the chlorinated mass. Afterwards, application of the ELS™ Microemulsion remedial reagent was performed via direct push DPT injection system in approximately 500 injection points distributed in a triangular grid mode in the most impacted areas nearby a salt pond ecosystem.

Treatment interval was in the shallow aquifer between 2 m and 15 m b.g.l. where a grey clay layer represents the bottom.

Less than 12 months after injection of ELS™ Microemulsion into the main contaminated areas, concentrations of PCE and TCE contaminants were rapidly reduced up to 95% in the main monitoring locations compared to pre-treatment levels. Main field parameters in the ERD treatment areas included: i) increase of Mn & Fe(II) in solution as anaerobic cometabolites, ii) decrease of DO (mg/L) and sulphate (mg/L) – competing electron acceptors pH stable in the neutral range, and iii) negative Redox around -150 mV. These conditions along with black precipitates as FeS confirmed also ongoing biogeochemical treatment. Consequently, no substantial accumulation of daughter products such as DCE and VC has been observed. Site-specific remedial target values were reached in most of the main monitoring piezometers of the treatment areas.

Contact: Alberto.leombruni@evonik.com

Coperture multistrato con geosintetici per la chiusura di discariche e siti contaminati

Massimiliano Nart¹, Volker Streffing-Hellhake²

¹ *1Business Unit Director – Tema srl,*

² *Key Account Management & Business Development - Naue GmbH & Co. KG*

Abstract

La chiusura definitiva di discariche e siti contaminati richiede soluzioni tecniche in grado di garantire tenuta idraulica, stabilità nel tempo e compatibilità ambientale. Le coperture multistrato con geosintetici rappresentano un'evoluzione rispetto ai sistemi tradizionali, offrendo maggiore efficienza, durabilità e adattabilità al riuso dei siti.

L'obiettivo dello studio è analizzare criteri progettuali, soluzioni costruttive e casi reali di applicazione di coperture geosintetiche, evidenziando vantaggi tecnici, ambientali ed economici.

Lo studio si basa su un approccio integrato che combina:

- Analisi normativa e progettuale, con riferimento ai requisiti previsti dal D.Lgs. 121, dalle Linee Guida SNPA e dalle norme tecniche UNI/EN/ASTM per i materiali geosintetici e i sistemi di copertura.
- Caratterizzazione tecnica dei materiali, con confronto tra diverse tipologie di geosintetici (HDPE, GCL, geocompositi drenanti, geoteti, teli antierosione) in termini di prestazioni meccaniche e idrauliche.
- Valutazione di soluzioni di cantiere, mediante raccolta e analisi di casi studio reali in ambito italiano ed europeo, con focus su geometrie, stratigrafie, modalità di posa e criticità affrontate.
- Analisi comparativa tecnico-economica, tra coperture tradizionali e sistemi geosintetici, considerando durabilità, costi di installazione, impatti ambientali e potenziale riuso del sito.

L'analisi dei casi studio ha evidenziato che le coperture multistrato con geosintetici offrono:

- Prestazioni superiori in termini di impermeabilità e controllo delle infiltrazioni, grazie all'impiego combinato di membrane HDPE e GCL.
- Maggiore stabilità su pendii ripidi, grazie all'integrazione di georeti e strati drenanti che riducono le pressioni interstiziali e il rischio di scivolamento.
- Riduzione dei volumi di scavo e trasporto rispetto alle coperture tradizionali, con impatti ambientali e costi complessivi inferiori.
- Tempi di posa più rapidi e controllabili, con vantaggi logistici anche in contesti difficili o in presenza di residui di contaminazione.

L'efficienza del decanter centrifugo nel trattamento dei fanghi di dragaggio, attraverso la separazione e la rimozione delle particelle più fini e conseguente riduzione dell'impatto ambientale mediante il recupero dell'acqua

Michele Russo¹

¹ *Getech srl*

Abstract

In un progetto di dragaggio, al fine di diminuire i tempi di esecuzione, i relativi costi e l'impatto ambientale, non si può prescindere dal considerare la gestione dei fanghi. L'utilizzo del fango di dragaggio, costituito da limi, argille, sabbie, ghiaie miste ed acqua, qualsiasi uso se ne farà, contiene acqua, e per poter essere palabile, quindi trasportato sui mezzi, necessita di essere disidratato, in modo che sia trasportato palabile, ad un costo moderato, non liquido ad un costo assai elevato. Le particelle fini ($<100\mu\text{m}$) contenenti particelle limo/argillose del materiale dragato, presentano un'elevata quantità di acqua e granulometria fine, per cui diventa indispensabile ricorrere all'uso della centrifuga.

La centrifuga Gennaretti utilizza un'elevata forza G e l'innovativo dosaggio automatico di prodotti chimici in funzione della densità della sospensione per ottenere la separazione.

Il decanter centrifugo Gennaretti rappresenta una soluzione ideale per trattare il fango di dragaggio in termini di efficienza, efficacia e adattabilità. L'impianto, tecnologicamente avanzato ed innovativo, garantisce un contenimento dei costi di gestione, poiché riduce i tempi di lavorazione e i costi di smaltimento, una riduzione dell'impatto ambientale, poiché produce acqua pulita e permette il riutilizzo della stessa, una soluzione comoda e flessibile poiché l'uso del container, plug and play, rende modesti e fissi i costi di installazione, e l'impianto facilmente trasportabile e trasferibile da un cantiere all'altro.

Di non meno importanza è la possibilità di produrre solido palabile, anche come sottoprodotto se la Committente lo richiede.

A valle di un primo stadio di trattamento (dissabbiatore), a cura del cliente, il fango di dragaggio, diventa una miscela bifase omogenea, composta da acqua e particelle fini $<100\ \mu\text{m}$ in sospensione. L'impianto di separazione Gennaretti, costituito da un decanter centrifugo ed un polipreparatore, è impiegato per la separazione di questa miscela bifase flocculata in una fase liquida e una fase solida mediante l'applicazione di una forza centrifuga e la differenza di peso specifico delle particelle rispetto all'acqua.

Le fasi del processo si suddividono in:

1. Carico del fango: I fanghi di dragaggio vengono inviati alla centrifuga tramite pompa attraverso il tubo di alimentazione che corre fino all'interno del tamburo rotante dove viene applicata la forza centrifuga.

2. Separazione dei solidi e dei liquidi: Una volta che il fango entra nel tamburo, la rotazione ad alta velocità genera una forza centrifuga che separa i solidi più pesanti dai liquidi. I solidi si depositano sulle pareti del tamburo e la coclea, che ruota all'interno, ha la funzione di trasportare all'esterno la sostanza solida depositata sulla parete interna del tamburo. I liquidi, più leggeri, vengono estratti dalla parte centrale e trasportati nella parte opposta fuoriuscendo dai dischi di stramazzo.

3. Raccolta del liquido recuperato: Il liquido separato dalla centrifuga può essere recuperato e riutilizzato o come acqua di cantiere o reimpressa nel bacino dragato.

4. Rimozione dei solidi: I solidi granulari separati vengono raccolti per poter essere smaltiti o, in alcuni casi, riutilizzati.

In particolare, il processo di disidratazione, che avviene mediante l'aggiunta di flocculanti e coagulanti, ha come obiettivo quello di ridurre il volume del fango di dragaggio e separare l'acqua contenuta in esso. Ipotizzando che il materiale dragato contenga particelle con varia granulometria, si ha che, dopo i primi due stadi di trattamento, vagli e cicloni (dissabbiatore), in generale, che la granulometria può oscillare da 0 a $100 \div 200\ \mu\text{m}$, a seconda della tipologia del dissabbiatore, e comprende argilla (da $0 \div 2\ \mu\text{m}$), limo (da $2 \div 63\ \mu\text{m}$), sabbia finissima (da 63 a $100 \div 200\ \mu\text{m}$, a seconda del dissabbiatore). Quando nel fango, la granulometria sotto i $5\ \mu\text{m}$ risulti assente, è necessario solo il flocculante, un prodotto chimico che aggrega le particelle da 5 a circa $30 \div 60\ \mu\text{m}$ e permette la flocculazione efficace

anche in termini di capacità trattata di fango, ovverosia la rimozione dei solidi che usciranno granulari e dell'acqua, la quale uscirà trasparente.

Dal processo di disidratazione, ciò che si ottiene è un solido palabile, con volume notevolmente ridotto, con SS $\approx 55 \div 65\%$ e liquido chiaro, acqua pulita, contenente SS $\approx 40 \div 200$ mg/l.

A seconda delle indicazioni della Committenza, il materiale solido, dopo esser stato caratterizzato, potrà essere utilizzato come sottoprodotto, ad esempio per reinterri o riempimento di cave dismesse, mentre l'acqua recuperata potrà essere reimpressa nel bacino piuttosto che essere riutilizzata nel sito per altri scopi.

La scelta delle tecniche di trattamento dipende dalla composizione dei fanghi, dalla normativa vigente e dalle tecnologie disponibili. L'adozione dell'impianto di separazione Gennaretti e la sua innovazione tecnologica rappresentano la migliore soluzione per la gestione dei fanghi di dragaggio in termini di sostenibilità, economicità ed efficienza. L'impianto Gennaretti risulta essere molto efficace per separare i solidi dai liquidi, ed è in grado di garantire il recupero di una significativa parte di acqua contenuta e ridurre al minimo il volume dei rifiuti solidi. La separazione continua e automatizzata di solidi e di liquidi offre vantaggi significativi in termini di efficienza, risparmio di risorse e minimizzazione dell'impatto ambientale. Il recupero dell'acqua rappresenta un aspetto fondamentale nelle opere di dragaggio, tant'è che, l'acqua derivante dal processo di disidratazione può essere riciclata e riutilizzata nel sito oppure reimpressa nel bacino, contenendo solidi sospesi inferiori a 80 mg/l.

Contatto: michele.russo@gennaretti.com

Modellazione di flusso per la gestione dinamica degli asset di un sito contaminato

Roberta Perico¹, Giorgio Volpi¹, Elena Leale¹, Francesca Motta¹,
Livio Tregattini²

¹ AECOM; ² Tamoil Raffinazione S.p.A

Abstract

Il cambiamento climatico sta profondamente modificando i regimi idrologici, generando una crescente alternanza tra lunghi periodi di siccità e precipitazioni intense e localizzate. Questa crescente instabilità introduce nuove criticità nella gestione sostenibile delle risorse idriche, imponendo un'evoluzione degli strumenti tecnici e delle strategie di controllo ambientale in diversi settori.

In particolare, la gestione dei sistemi di Messa in Sicurezza Operativa (MISO) nei siti contaminati si trova a dover fronteggiare condizioni idrogeologiche sempre più dinamiche, in cui le fluttuazioni del livello piezometrico, spesso legate all'interazione con il reticolo idrico superficiale o a eventi meteorici estremi, influiscono direttamente sull'efficacia dei sistemi di contenimento idraulico.

Tali condizioni evidenziano la necessità di strumenti previsionali avanzati, in grado di simulare la risposta del sistema alle diverse forzanti ambientali e supportare una gestione operativa anche in scenari idrologici in rapido mutamento.

In tale contesto, è stato sviluppato un modello numerico tridimensionale di flusso delle acque sotterranee con l'obiettivo di fornire uno strumento affidabile e flessibile per la gestione dinamica di un sistema di contenimento idraulico attivo in un sito ex industriale. Il modello consente di supportare in modo efficace la pianificazione e l'ottimizzazione delle attività di operation & maintenance, attraverso la riproduzione delle principali forzanti idrogeologiche che influenzano le prestazioni del sistema, incluse le variazioni indotte dai corpi idrici superficiali limitrofi.

L'approccio metodologico adottato ha previsto la costruzione preliminare di un modello concettuale dell'acquifero freatico, basato su dati idrostratigrafici acquisiti sia a scala regionale che di sito, in combinazione con un esteso dataset di informazioni freaticometriche,

idrologiche e meteorologiche raccolte nel corso di periodiche attività di caratterizzazione e di monitoraggio ambientale.

L'implementazione del modello numerico è stata effettuata mediante il codice ad elementi finiti FEFLOW (versione 8.1), riconosciuto per la sua capacità di gestire in modo avanzato la complessità idrogeologica e le variabilità temporale del regime di deflusso in esame. Il dominio modellistico è stato definito tenendo conto dei limiti idrogeologici identificati nel modello concettuale e di una estensione tale da minimizzare l'influenza delle condizioni al contorno esterne, con una estensione verticale che si estende dalla superficie topografica, ricostruita tramite DEM ad alta risoluzione (5x5 m), fino alla base dell'orizzonte ghiaioso-sabbioso, sede della falda freatica.

La calibrazione del modello è stata condotta utilizzando il metodo di autocalibrazione tramite il codice PEST integrato in FEFLOW (interfaccia FePEST), con l'impiego di pilot points per definire la distribuzione spaziale della conducibilità idraulica. Lo scenario di calibrazione selezionato (marzo 2021) è stato individuato come rappresentativo delle condizioni medie dell'acquifero in un intervallo temporale pluriennale. A seguito della calibrazione, è stata avviata la fase di validazione in regime transitorio per valutare la capacità del modello di simulare l'evoluzione del sistema, con particolare riferimento alla dinamica transitoria dell'acquifero freatico, caratterizzato da forti fluttuazioni legate alle variazioni stagionali del reticolo idrografico principale, che rappresentano le principali forzanti del regime di deflusso. Per tale scopo, sono stati calibrati i parametri idraulici relativi alla porosità efficace e coefficiente di immagazzinamento specifico per ciascun elemento del dominio modellato.

La validazione transitoria è stata condotta su un arco temporale esteso (febbraio 2018 – dicembre 2024), per un totale di 2.502 giorni simulati con passo temporale giornaliero. Tale approccio ha permesso di integrare in modo realistico le variazioni quotidiane dei principali termini del bilancio idrogeologico, tra cui: livelli freaticometrici di riferimento, livelli idrici del reticolo idrografico superficiale, portate del sistema di contenimento idraulico e dati pluviometrici locali.

Il modello numerico tridimensionale sviluppato ha dimostrato un'elevata capacità di rappresentare l'andamento piezometrico e la dinamica transitoria dell'acquifero freatico, caratterizzato da forti

fluttuazioni legate alle variazioni stagionali del reticolo idrografico principale. La calibrazione in regime transitorio ha restituito un'ottima corrispondenza tra dati simulati e osservati (r di Pearson medio pari al 97%), con residuali contenuti e un errore medio quadratico normalizzato (nRMS) pari al 2,88%. La validazione ha confermato la solidità del modello anche in condizioni diverse da quelle di calibrazione.

Il modello viene attualmente impiegato come strumento operativo per il supporto alla gestione dinamica della barriera idraulica, attraverso aggiornamenti mensili che estendono progressivamente la simulazione transitoria in funzione dei dati più recenti (livelli piezometrici, portate di emungimento, livelli fluviali e precipitazioni). Il modello si configura come uno strumento strategico a supporto della gestione idraulica, capace di simulare scenari operativi differenziati e di guidare in modo tempestivo le decisioni relative alla regolazione delle portate e alla verifica dell'efficacia del contenimento. La sua flessibilità lo rende inoltre adatto a simulare la pianificazione di possibili interventi futuri e la valutazione dell'impatto sulle prestazioni del sistema di possibili evoluzioni del contesto idrogeologico e idrologico che nel prossimo futuro potrebbero subire rapide intensificazioni a causa dei cambiamenti climatici.

In quest'ottica, l'utilizzo di modelli idrogeologici in regime transitorio si dimostra particolarmente efficace non solo in ambito di bonifica, ma anche per valutare e ottimizzare l'impatto di sistemi di reinfiltrazione delle acque meteoriche, impianti geotermici e altre tecnologie legate alla gestione sostenibile delle acque sotterranee.

*Contatti: roberta.perico@aecom.com, giorgio.volpi@aecom.com,
elena.leale@aecom.com, francesca.motta@aecom.com,
ltregattini@tamoil.com*

Utilizzo di reagenti gassosi per la bonifica e la messa in sicurezza di acquiferi contaminati: alcuni casi applicativi

Andrea Crema¹, Michela Peroni¹, Eleonora Pasinetti¹

¹ SIAD S.p.A

Abstract

Tra le possibili tecnologie di risanamento in-situ degli acquiferi vi sono tecniche che prevedono l'iniezione direttamente in falda di composti reagenti in grado di degradare per via chimica o per via biologica i contaminanti disciolti.

I reagenti più largamente utilizzati sono composti solidi o liquidi opportunamente miscelati e iniettati in pressione in appositi punti di iniezione. Da oltre dieci anni SIAD S.p.A. propone sistemi di remediation basati sull'utilizzo di reagenti in forma gassosa. I reagenti gassosi utilizzati possono essere gas ossidanti, riducenti e/o inerti. Il cuore della tecnologia di microiniezione in falda risiede nella struttura di una specifica membrana microporosa capace di disciogliere il reagente in acqua con elevate rese di trasferimento, sfruttando l'energia potenziale del gas compresso.

Nel presente lavoro vengono illustrati alcuni casi applicativi in cui le tecnologie con reagenti gassosi sono state impiegate in diversi contesti, sia come test pilota sia come interventi di bonifica o di messa in sicurezza della falda.

I reagenti gassosi sono stati e vengono impiegati in svariati contesti, dai PV carburanti attivi o dismessi a realtà più complesse come siti industriali attivi o dismessi, sia come test pilota che come interventi di bonifica o di messa in sicurezza della falda.

Ossigeno ed idrogeno possono essere iniettati in continuo in falda per promuovere specifici processi biologici di rimozione dei contaminanti, sfruttando l'energia potenziale del gas compresso secondo portate dell'ordine dei NI/h in modo da minimizzare l'eventuale volatilizzazione dei composti organici disciolti.

La combinazione in miscele di ossigeno o idrogeno con gas nobili consente, inoltre, di determinare il raggio di influenza della tecnologia e di dimensionare gli interventi di bonifica.

Nel caso dell'ozono, invece, si eseguono cicli periodici di iniezione ad impulso di durata limitata. Nelle fasi intermedie, l'ossigeno trasferito unitamente all'ozono favorisce la ripresa dei processi biologici promuovendo l'attivazione della microflora batterica autoctona nella biodegradazione aerobica della contaminazione organica residua.

Grazie anche alla maggiore diffusività di un gas rispetto a quella di un liquido, l'applicazione di tecnologie in situ con reagenti gassosi nel ripristino della qualità degli acquiferi rappresenta una valida alternativa ai metodi tradizionali per la semplicità di installazione e di gestione (sia in siti operativi che dismessi), per l'assenza di produzione di rifiuti e per i consumi di energia nulli o trascurabili.

Contatto: andrea_crema@siad.eu

Il S.I.N. della ex miniera di amianto di Balangero e Corio (Torino): bonifica e prospettive di riqualificazione

Gian Luigi Soldi¹, Elisa Liliana Pugliaro¹, Giovanni Battista Poma¹

¹ *R.S.A. S.r.l.*

Abstract

La ex miniera di amianto di Balangero e Corio, individuata tra Siti di bonifica di Interesse Nazionale (S.I.N.) con Legge 9.12.1998 n. 426, comprende un vasto territorio montuoso di superficie pari a circa 310 ettari (complessivamente una superficie 420 ettari di proprietà pubblica), situato a 25 km a nord-ovest della città di Torino, all'interno del quale è presente un complesso industriale dismesso con superficie di circa 40.000 m²; nell'area del bacino estrattivo, dopo la cessazione dell'attività mineraria, si è formato un bacino lacustre, con volume di invaso di oltre 2 milioni di m³ di acqua e della profondità di oltre 50 m. L'attività estrattiva del crisotilo, effettuata con la coltivazione a cielo aperto mediante lo scavo in roccia dello spartiacque tra i comuni di Balangero e Corio, aveva comportato la produzione di circa 60 milioni di m³ di pietrisco amiantifero di scarto della lavorazione mineraria, con il rimodellamento dei versanti ed il riempimento di intere valli, nonché la produzione di circa 70.000 m³ di fanghi contenenti amianto, stoccati in bacini di sedimentazione posti lungo i corsi d'acqua. Ne conseguivano un pesantissimo impatto sul paesaggio, nonché evidenti rischi per la salute pubblica, causati dalla dispersione di fibre di amianto in aria e da possibili condizioni d'instabilità delle imponenti discariche dei materiali minerari di scarto. Gli studi effettuati e le attività di caratterizzazione svolte negli anni sul sito hanno portato a conoscere approfonditamente le complesse problematiche indotte sul territorio dalla pregressa attività mineraria ed in particolare hanno permesso di identificare le priorità di intervento, al fine di attuare, in prima fase, gli interventi rivolti a risanare le situazioni più critiche, con particolare riferimento alle problematiche di dispersione di amianto in aria ed alla stabilità ed erosione delle discariche di scarti minerari amiantiferi.

Gli interventi di immediata attivazione sono consistiti in attività specifiche riguardanti la realizzazione di un insieme di opere finalizzate alla sistemazione idraulica ed idrogeologica, applicando tecniche d'ingegneria naturalistica: gli interventi sono stati divisi seguendo i versanti del sito, intercettando le acque superficiali e regimandole, allo scopo di limitare fenomeni di erosione e d'infiltrazione negli ammassi lapidei di materiali di scarto, che ne compromettevano la stabilità.

Con successivi interventi di concimazione periodica e idrosemina i risultati del lavoro svolto evidenziano oggi la crescita diffusa di giovani betulle e salici, insieme a muschi ed erbacee che colonizzano le discariche minerarie e contribuiscono alla messa in sicurezza permanente delle superfici, originariamente esposte, che determinavano la dispersione di fibre di amianto in aria e nelle acque. La possibilità di operare la stesura di ammendanti organici ha facilitato la colonizzazione da parte delle specie vegetali, restituendo superfici con una copertura vegetale fitta. La prima copertura vegetale adottata è di tipo erbaceo integrata con la piantumazione di talee delle specie arboree selezionate, che garantiscono la crescita nel tempo. Qualora l'attecchimento non risulti sufficiente, si procede con progressivi infoltimenti della vegetazione.

Dopo gli interventi di messa in sicurezza permanente, è necessaria una manutenzione costante della viabilità e delle canalizzazioni per la gestione delle acque, per prevenire danni causati dagli agenti atmosferici e continuare a garantire la stabilità delle aree bonificate. Le opere realizzate hanno ridotto l'erosione e la movimentazione dei materiali contaminati da amianto, grazie anche alla sorveglianza continua e al monitoraggio tramite capisaldi GPS e inclinometri. Questi dati, insieme al monitoraggio ambientale, guidano la gestione del sito e la pianificazione dei cantieri successivi.

È stato inoltre realizzato un deposito provvisorio autorizzato (D15) per i rifiuti prodotti dalla bonifica, che saranno in seguito confinati in un volume di discarica per rifiuti pericolosi, autorizzato con AIA nel 2021 ed attualmente in corso di realizzazione, che si aggiunge ad un deposito sotterraneo di rifiuti pericolosi autorizzato con AIA nel 2016, collocato all'interno di gallerie minerarie recuperate allo scopo, attualmente in fase di gestione post- operativa ed ad un impianto di

trattamento delle acque reflue e dei rifiuti liquidi, sempre derivanti dalla gestione della bonifica.

L'esecuzione degli interventi di messa in sicurezza delle discariche minerarie ha consentito di perseguire una progressiva riduzione dell'esposizione ad amianto aerodisperso, sia dei residenti nel territorio limitrofo, sia degli addetti alle operazioni di bonifica. Le attività di monitoraggio ambientale per la determinazione delle fibre aerodisperse, svolte sotto il controllo di ARPA Piemonte per le attività di validazione e contro-analisi, hanno permesso di consolidare la dotazione la base di dati strumentali e confermare i risultati ottenuti. Sebbene risultino ancora da completare alcuni importanti interventi, l'avanzamento della attività di bonifica all'interno del perimetro del S.I.N. permetterà di restituire a breve una superficie significativa dell'area e pertanto consente di impostare interessanti prospettive di sviluppo produttivo, culturale e turistico legato alle tematiche ambientali, con particolare riferimento alla produzione di energia da fonti rinnovabili, alla gestione dei rifiuti contenenti amianto e dei materiali da scavo ed alla realizzazione di progetti di valorizzazione del patrimonio storico e paesaggistico.

Contatto: soldi@rsa-srl.it

Integrazione di metodologie geofisiche, geologiche e GIS per la caratterizzazione e valutazione multi-rischio di discariche in contesti complessi

Paolo Ciampi¹, Giorgio Cassiani², Giulia Felli¹, Nino Tarantino³,
Giovanni Savarese³, Aldo Papotto³, Giuseppe Vadala³, Marco
Petrangeli Papini⁴

¹ Dipartimento di Scienze della Terra, Sapienza Università di Roma,
²Dipartimento di Geoscienze, Università di Padova; ³Struttura del
Commissario Straordinario per la bonifica delle discariche e dei siti
contaminati, ⁴Dipartimento di Chimica, Sapienza Università di Roma.

Abstract

Gli ambienti di discarica rappresentano contesti particolarmente complessi a causa della contaminazione del sottosuolo e, in alcuni casi, dell'instabilità naturale o antropica dei versanti. Gli approcci tradizionali, basati su singole metodologie di indagine, hanno spesso limitato una comprensione olistica delle dinamiche idrogeologiche associate a questi siti. Il presente studio mira a promuovere l'evoluzione delle pratiche di caratterizzazione delle discariche e, potenzialmente, a contribuire alle valutazioni multirischio, attraverso l'integrazione di indagini geofisiche, modellazione geologica digitale 2D/3D e dati GIS open-source.

Il caso studio analizzato è rappresentato da una discarica di modeste dimensioni situata nell'Italia centrale, collocata in una stretta valle, la cui morfologia è stata significativamente alterata dalla presenza stessa del sito di smaltimento. Le attività condotte in sito hanno previsto l'esecuzione di 83 sondaggi a carotaggio continuo (profondità compresa tra 2,0 e 20,5 m), utili alla definizione di un modello geologico tridimensionale ad alta risoluzione e di sezioni geologiche bidimensionali. Sono stati eseguiti quattro profili di tomografia elettrica di resistività (ERT), con profondità d'indagine variabili tra 25 e 35 m, e campagne di prospezione elettromagnetica (EMI) con campionamento areale di 1–1,5 m, finalizzate alla mappatura di anomalie di conducibilità nei primi metri di sottosuolo. I dati geofisici sono stati integrati con archivi cartografici storici e recenti in ambiente

GIS, comprendenti modelli morfologici e idrografici, per un'adeguata contestualizzazione spaziale.

Il modello stratigrafico ha permesso di identificare discontinuità strutturali, geometrie e volumi del corpo discarica, nonché potenziali percorsi preferenziali di migrazione degli inquinanti. I profili ERT hanno evidenziato zone a bassissima resistività ($<10 \Omega \cdot m$), compatibili con saturazione da percolato, oltre a superfici di possibili scivolamenti. Le indagini EMI hanno rilevato anomalie ad alta conducibilità ($>150 \text{ mS/m}$), corrispondenti spazialmente alle aree a bassa resistività individuate tramite ERT, rafforzando l'interpretazione di percorsi di contaminazione nei livelli più superficiali. L'analisi integrata ha messo in relazione le anomalie del sottosuolo con le modifiche storiche dei sistemi di drenaggio e con fenomeni franosi locali, evidenziando una compresenza di problematiche legate sia alla contaminazione sia all'instabilità.

L'approccio geofisico, geologico e GIS-based, combinato in una framework digitale, ha consentito di migliorare significativamente la risoluzione e l'interpretazione del contesto idrogeologico della discarica. La connessione tra immagini dinamiche del sottosuolo e dataset superficiali in continua evoluzione offre un quadro robusto per il monitoraggio sostenibile di siti di discarica e per la mitigazione dei rischi ambientali associati, in particolare in scenari multi-rischio caratterizzati dall'interazione tra contaminazione e instabilità dei versanti.

Contatto: paolo.ciampi@uniroma1.it

Microemulsioni WINSOR III per l'aggressione di sorgenti di contaminazione residuale: protocollo sperimentale di laboratorio

Berardino Barbati¹, Simone Gagliarducci¹, Laura Lorini¹, Marco Petrangeli Papini¹

¹*Dipartimento di Chimica – Sapienza Università di Roma*

Abstract

Una delle principali criticità nei siti contaminati da composti organici idrofobici è la presenza di prodotto libero residuale intrappolato nelle porosità, che rappresenta una sorgente secondaria di contaminazione ad elevata persistenza non aggredibile con i tradizionali approcci di pompaggio (Pump and Treat o Pump and Stock).

L'obiettivo dello studio è quindi lo sviluppo di un approccio tecnologico innovativo per aggredire ed esaurire sorgenti di contaminazione persistenti in tempi e costi sostenibili. A tal proposito è stata investigata la capacità di due tensioattivi anionici di mobilitare quantitativamente la massa contaminante residuale, studiando nel dettaglio il meccanismo dell'emulsione fra tensioattivo e fase organica idrofobica.

In particolare, è stato fatto un focus specifico sulla capacità dei tensioattivi oggetto di studio di formare microemulsioni, ovvero particolari sistemi in cui la fase organica viene dispersa in una fase acquosa in forma di goccioline micrometriche stabilizzate dalla presenza del tensioattivo. Le microemulsioni sono classificate in tre sistemi, denominati Winsor I (WI), Winsor II (WII) e Winsor III (WIII). I sistemi WI e WII sono tipiche soluzioni di micelle normali e micelle inverse, rispettivamente. Le microemulsioni WIII sono definite come sistemi bicontinui in cui tensioattivo, acqua e fase organica coesistono all'equilibrio. Il vantaggio di questi sistemi rispetto le classiche emulsioni sta nella maggior stabilità termodinamica e nella loro abilità di ridurre la tensione interfacciale olio-acqua e olio-suolo a valori vicini allo zero, rendendoli sistemi potenzialmente estremamente performanti anche nel campo della bonifica.

Le evidenze sperimentali hanno mostrato come i due alchilsolfosuccinati investigati siano stati in grado di generare microemulsioni WIII stabili tramite un aggiustamento ottimale delle

condizioni di salinità. In presenza dei NAPLs selezionati, la microemulsione WIII è stata ottenuta con una concentrazione di NaCl sempre inferiore al 3%.

La sperimentazione in configurazione continua ha dimostrato che l'alimentazione di una soluzione tensioattiva formulata in maniera ottimale può stimolare la formazione in-situ di microemulsioni WIII direttamente nel mezzo poroso oggetto del trattamento. In particolare, si è visto come passando da una salinità sotto-ottimale ed una salinità ottimale, il meccanismo di solubilizzazione diventa molto meno intenso e si favorisce il microemulsionamento degli inquinanti. L'elaborazione dei dati ha dimostrato come il microemulsionamento sia un meccanismo nettamente più performante della classica solubilizzazione micellare, in quanto consente di mobilitare quantitativamente il prodotto libero, con efficienze misurate maggiori del 95%, in un volume di alimentazione decisamente più piccolo.

I risultati dello studio hanno evidenziato chiaramente i vantaggi tecnologici ed economici della tecnologia basata sul meccanismo di microemulsificazione, che può essere quindi considerata come un valido ed innovativo approccio sostenibile per l'aggressione di sorgenti secondarie di contaminazione residuali.

*Contatti: berardino.barbati@uniroma1.it,
gagliarducci.1855858@studenti.uniroma1.it,
laura.lorini@uniroma1.it, marco.petrangelipapini@uniroma1.it*

Modellazione idrogeologica 2d mediante l'utilizzo del software WHAEM a supporto della progettazione e della gestione di siti contaminati. caso studio in centro Italia

Mara Dal Santo¹, Lorenzo Cariatì¹, Giulia Casiraghi¹

¹ Stantec

Abstract

Il presente studio propone un esempio applicativo dell'utilizzo di modelli idrogeologici 2D a supporto della definizione di strategie di gestione di siti con acque di falda contaminate che necessitano di messa in sicurezza e bonifica secondo il d.lgs 152/06.

Lo sviluppo di modelli 2D, infatti, costituisce un metodo speditivo in grado di supportare il progettista e il reponsabile del sito a rispondere a diversi quesiti quali: 1. comprendere la direzione e la velocità del flusso; 2. supportare la progettazione di un impianto di emungimento della falda per il contenimento idraulico della contaminazione; 3. verificare l'efficacia dei sistemi di messa in sicurezza o bonifica già presenti; 4 ottimizzare le portate ai fini della sostenibilità; 5. verificare l'area di cattura di un pozzo; 6. effettuare un tracciamento delle particelle contaminanti. È una modalità rapida e poco onerosa in termini di tempo e di costo in grado di fornire un primo orientamento. Nel sito in esame dove si svolgono attività di vendita del carburante, le acque sotterranee sono impattate principalmente da Idrocarburi Totali, Benzene, Etilbenzene, Stirene, Toluene, p-Xilene, MtBE, EtBE a seguito di un evento di contaminazione. Nel sito è in funzione un sistema di pompaggio in modalità Pump&Stock (P&S) mediante l'emungimento da un piezometro collocato al centro del sito. La portata di emungimento utilizzata per il contenimento della contaminazione risulta di circa 2 m3/giorno dal pozzo.

La ricostruzione stratigrafica, elaborata dall'analisi dai sondaggi effettuati in sito, evidenzia la presenza di una falda libera entro un acquifero superficiale costituito da alternanze di conglomerati e limi

sabbiosi fino a 11 m da p.c. e sabbie con frazione di fine in percentuale variabile fino a una profondità massima raggiunta dalle indagini di 19 m da p.c.

La modellazione ha avuto lo scopo di supportare l'implementazione del sistema P&S aggiungendo due punti di pompaggio nel sistema di Messa In Sicurezza Operativa (MISO) già presente in sito, e dunque di aumentarne l'efficacia in termini di contenimento della contaminazione all'interno del sito.

Sulla base dei risultati del modello, validi secondo le assunzioni del modello, le portate ottimali per ottenere il contenimento effettivo di tutta l'area sorgente sono risultate essere di 2 m³/giorno in PM5; 1 m³/giorno in PM12; e 6 m³/giorno in PM13, per un totale di 9 m³/giorno dall'intero sistema.

L'utilizzo di un approccio matematico 2D, attraverso l'uso del software WhAEM, ha consentito, mediante un approccio semplificato, di introdurre all'interno dei processi decisionali criteri di idrogeologia e modellizzazione a volte poco considerati, ma cruciali al fine di effettuare una Messa In Sicurezza Operativa efficiente e garantire il contenimento della contaminazione all'interno del sito. All'interno del procedimento ambientale in corso, la modellazione è stata utilizzata al fine di dimostrare agli enti di controllo, la tenuta della barriera idraulica proposta e il contenimento della contaminazione all'interno del sito attraverso un approccio matematico quantitativo.

L'importanza dei controlli sulle discariche in fase costruttiva e di chiusura: l'esempio di ARPA Lombardia

Stefania Ughini¹, Chiara Marchisio¹, Francesca Zanini¹, Valeria Randazzo¹

¹ARPA Lombardia - Direzione Tecnica Controlli e Prevenzione del Rischio Antropico

Abstract

Nel contesto della transizione ecologica, il ricorso alle discariche come operazione di smaltimento dei rifiuti costituisce, oggi più che mai, un tema delicato, ma – ancorché come “ultima ratio” e come soluzione residuale - ad oggi è impossibile prevedere una corretta gestione dei rifiuti che non includa questo tipo di impianti. Risulta pertanto fondamentale garantire che gli stessi siano costruiti, gestiti e poi chiusi in accordo con quanto previsto dalla normativa vigente, in modo da impedire nel breve e nel lungo periodo rischi per la salute umana, limitare gli eventuali disagi in fase di gestione e, non ultimo, escludere lo sviluppo di passività ambientali a carico di acque, suolo ed aria.

In Lombardia gli accertamenti circa la conformità progettuale e autorizzativa delle discariche in fase di realizzazione e in fase di chiusura vengono svolti dall'ARPA, rientrando nella più ampia competenza dei controlli sugli impianti oggetto di Autorizzazione Integrata Ambientale. Gli esiti positivi di tali accertamenti sono condizione necessaria all'esercizio della discarica o di singoli lotti e al passaggio alla gestione post-operativa a seguito di chiusura definitiva dell'impianto, così come previsto dagli articoli 9 e 12 del d.lgs. 36/2003.

Al fine di garantire uniformità e maggiore efficacia nell'attuazione di questa tipologia di controlli, data la specificità degli stessi, a partire dal 2015 si è passati da un modello di controllo decentrato dipartimentale ad uno accentrato a livello regionale. In fase di gestione operativa e post-operativa, le discariche sono comunque oggetto delle visite ispettive periodiche e straordinarie da parte dei competenti dipartimenti territoriali.

L'applicazione di queste rigorose procedure di controllo sulle discariche soggette ad AIA di tutto il territorio regionale ha permesso all'Agenzia di evidenziare alcune criticità, a volte anche gravi e sfociate in procedure sanzionatorie. Sulla base dell'esperienza maturata e del continuo confronto tra ARPA ed i soggetti operanti nel territorio, si è osservata nel tempo una complessiva maggiore attenzione da parte degli stessi nell'approntamento degli impianti nel rispetto delle previsioni progettuali.

Contatti: s.ughini@arpalombardia.it

Dagli archivi storici ai modelli digitali 3d per la costruzione di un modello concettuale di sito avanzato per i laghi di Mantova

Alessandro Valle¹, Paolo Ciampi¹, Giulia Felli¹, Laura Lorini², Sandra Savazzi³, Giovanna Michielin³, Marco Petrangeli Papini²

¹Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Roma “La Sapienza”,

²Dipartimento di Chimica, Università di Roma “La Sapienza”,

³Settore territorio e ambiente, Servizio Ambiente, Comune di Mantova

Abstract

Metalli pesanti e idrocarburi petroliferi rappresentano alcuni tra i contaminanti più critici per i siti contaminati e gli ecosistemi naturali. La loro caratterizzazione, supportata dallo sviluppo di Modelli Concettuali di Sito (MCS), costituisce un passaggio fondamentale per una gestione efficace e per l'individuazione di strategie di bonifica (Ciampi et al., 2024). Questo lavoro dimostra come il recupero e la sistematizzazione di dati storici, integrati con informazioni recenti e multidisciplinari, all'interno di un framework digitale tridimensionale, possano costituire una metodologia solida per costruire MCS preliminari, pianificare indagini integrative e consolidare un quadro concettuale definitivo. Il processo ha inoltre permesso di sviluppare nuovi approcci per stimare le masse di contaminanti, rafforzando ulteriormente la conoscenza complessiva del sito.

L'approccio è stato applicato al caso studio dei Laghi di Mantova. I dati raccolti nell'arco di oltre vent'anni sono stati recuperati da archivi storici, riorganizzati in un geodatabase georeferenziato e valorizzati tramite una rappresentazione digitale 3D del modello concettuale dell'area lacustre. Il dataset complessivo integra più di 2.000 record relativi a parametri geologici, chimici, microbiologici, idrologici e geomorfologici. La batimetria dei laghi è stata ricostruita a partire da dati ecoscandagli del 2006, consentendo la definizione dell'altezza della colonna d'acqua e la modellazione tridimensionale del fondale. L'interpolazione dei dati geologici ha permesso di ottenere un modello 3D coerente, mentre l'analisi dei dati chimici multitemporali ha offerto indicazioni puntuali sullo stato qualitativo dei sedimenti e delle acque.

Un confronto tra le concentrazioni geochimiche rilevate nelle campagne del 2008 e del 2024, effettuato su coppie di punti campionati in prossimità reciproca, ha permesso di analizzare l'evoluzione temporale dei contaminanti. Il modello digitale è stato inoltre utilizzato per stimare volumi (Sekellick et al., 2013) e masse di contaminanti presenti nei sedimenti e, in via preliminare, nella colonna d'acqua, tramite elaborazioni in ambiente GIS.

I risultati restituiscono un quadro qualitativo particolarmente incoraggiante. L'evoluzione del MCS evidenzia un potenziale significativo per i processi di attenuazione naturale monitorata (MNA), con la presenza di un numero limitato di spot sui quali si valuta la necessità di interventi mirati o di un monitoraggio dedicato. L'integrazione di dati storici e multidisciplinari ha consentito di costruire un MCS solido e aggiornato per i Laghi di Mantova, fornendo una base concreta per le future strategie di gestione, per le eventuali azioni di bonifica e per una comunicazione efficace con tutti gli stakeholder coinvolti.

*Contatti: alessandro.valle@uniroma1.it, paolo.ciampi@uniroma1.it,
giulia.felli@uniroma1.it, laura.lorini@uniroma1.it,
sandra.savazzi@comune.mantova.it,
giovanna.michielin@comune.mantova.it,
marco.petrangelipapini@uniroma1.it*

Test di ossidazione elettrochimica avanzata a scala di laboratorio per il trattamento dei composti PFAS disciolti nelle acque di falda

Ciro Viscotti¹, Giacomo Donini², Luca Schiattareggia³

¹AECOM Italia S.p.A.

Abstract

Il gruppo di ricerca sui PFAS di AECOM composto da ingegneri chimici, meccanici ed esperti di bonifica, specialisti di PFAS e partner esterni, si è concentrato sull'innovazione, al fine di sviluppare una tecnologia in grado di mineralizzare i composti PFAS presenti in fase disciolta.

La tecnologia utilizzata, il cui marchio registrato è DE-FLUORO®, utilizza un processo di ossidazione elettrochimica avanzata (EAOP). La degradazione dei composti PFAS nel processo di EAOP è ottenuta attraverso la combinazione di due principali meccanismi:

- trasferimento diretto di elettroni;
- processo di ossidazione avanzata mediante radicali ossidrilici elettrochimicamente generati.

All'interno del reattore elettrochimico, gli elettroni passano dall'anodo al catodo grazie all'applicazione di una differenza di potenziale che viene generata tramite l'utilizzo di un generatore di tensione esterno. Durante il processo di ossidazione, i composti organici cedono elettroni e si ossidano. Contemporaneamente, si generano grandi quantità di radicali idrossilici che reagiscono con le molecole organiche circostanti, innescando un'ulteriore degradazione con l'obiettivo finale di ottenere una completa mineralizzazione dei contaminanti organici.

Il gruppo di ricerca internazionale di AECOM ha coinvolto tecnici del gruppo Remediation dell'ufficio di Milano al fine di condurre test di trattabilità, a scala di laboratorio, per valutare la potenziale efficacia della tecnologia DE-FLUORO® nel trattamento di rifiuti liquidi e acque contaminate da composti fluorurati. Nello specifico gli obiettivi che hanno accompagnato la sperimentazione sono stati i seguenti:

- Valutare l'efficacia della tecnologia DE-FLUORO®, in relazione all'ambito delle prestazioni complessive del sistema e

specificatamente al bilancio di massa e all'efficienza di abbattimento in relazione ai diversi composti PFAS;

- Raccogliere dati utili per una valutazione preliminare della tecnologia quale possibile integrazione di sistemi di trattamento acqueo delle tecniche di trattamento dei rifiuti liquidi attualmente disponibili, da approfondire in successive fasi, anche in termini di analisi costi benefici.

Il confronto tra i valori dei test n.1÷4 accompagnati dal bilancio di massa sui PFAS, ha mostrato un'efficienza di rimozione diversificata in relazione alle varie classi di contaminanti analizzate.

In linea generale, è stata osservata una maggiore riduzione delle sostanze PFAS a catena lunga rispetto ai composti PFAS a catena corta. I risultati indicano che nel reattore si è verificato un certo grado di degradazione (ossidazione) dei composti organici fluorurati, non sufficiente tuttavia ad ottenere la mineralizzazione completa dei PFAS, mostrando per diversi composti concentrazioni residue alla fine del tempo di trattamento. Il tasso di rimozione specifico k_{sa} (volume trattato/tempo/superficie di trattamento) è risultato in parziale accordo con gli ordini di grandezza generali riportati in letteratura. I dati raccolti sono utilizzati per l'implementazione delle successive fasi di sperimentazione e sviluppo della tecnologia a scala reale.

Contatti: ciro.viscotti@aecom.com

Ottimizzazione del landfarming mediante ammendanti organici e ossidanti: risultati di un test di trattabilità su suolo contaminato

Valentina Rivelli¹, Francesca Formicola¹, Silvia Leoci^{1,2}, Massimiliano Baric¹, Anna Espinoza¹, Tatiana Stella¹

¹ M3R-Monitoring and Management of Microbial Resources Srl, Milano;

² Università di Milano-Bicocca, Milano;

Abstract

La bonifica dei suoli contaminati da idrocarburi è una priorità ambientale e sanitaria nelle aree industriali. L'accumulo di contaminanti idrocarburi, che includono composti alifatici, aromatici monociclici (BTXs) e policiclici (IPA), noti per la loro persistenza nell'ambiente e per la loro tossicità, può comportare rischi a lungo termine per gli ecosistemi e l'uomo. In tale contesto, la bioremediation si pone come un'opzione di bonifica sostenibile ed economicamente vantaggiosa rispetto ai metodi fisico-chimici tradizionali, poiché sfrutta i processi naturali di degradazione operati da comunità microbiche in grado di trasformare tali composti in sostanze meno nocive o inerti.

Tra le tecnologie di biorisanamento, il landfarming si distingue per la capacità di sfruttare le potenzialità metaboliche di sistemi biologici (batteri e funghi) per la degradazione aerobica dei contaminanti, riducendo l'impatto ambientale rispetto ai metodi chimici tradizionali. Tuttavia, la biodegradazione è influenzata da molteplici fattori – tra cui le caratteristiche della popolazione microbica, le condizioni ambientali e le proprietà chimico-fisiche degli inquinanti – che ne limitano spesso l'efficacia in situ. Per ottimizzare questo processo, è stato condotto un test in mesocosmi per valutare l'efficacia di diverse strategie di biorisanamento, impiegando ammendanti specifici che incrementano la biodisponibilità e la degradazione degli idrocarburi.

I risultati ottenuti hanno evidenziato l'efficacia delle diverse strategie nel promuovere la degradazione dei contaminanti idrocarburi nei

suoli trattati. Strategie da applicare successivamente in un eventuale test pilota di landfarming assistito. Tutti i mesocosmi sperimentali hanno mostrato, al termine del test, una marcata riduzione delle concentrazioni di idrocarburi pesanti (fino all'83%), leggeri (completamente rimossi entro 30 giorni) e IPA (fino all'87,5% nel trattamento con ammendante fungino), rispetto al controllo. Le analisi chimiche e composizionali hanno confermato l'avanzata trasformazione della frazione contaminante, con una semplificazione dei profili TIC nei mesocosmi trattati con ossidanti ad alte dosi. Le indagini biomolecolari hanno evidenziato l'arricchimento di comunità microbiche autoctone adattate, con prevalenza di taxa noti per le loro capacità degradative (es. Micrococcales, Rhizobiales, Immundisolibacterales), e un'espressione diffusa dei geni funzionali *alkB*, *todC* e *narA* nei suoli trattati. I test ecotossicologici hanno mostrato un miglioramento generalizzato della qualità del suolo, con un incremento dell'indice di germinazione fino al 94% nei trattamenti più efficaci. Questi dati confermano il potenziale del landfarming assistito da ammendanti come tecnologia sostenibile, scalabile e adattabile per la bonifica di suoli contaminati da idrocarburi, supportando l'integrazione di approcci biologici nei progetti di risanamento ambientale.

Contatti: valentina.rivelli@m3r.it

Rapporto tra sviluppo delle reti infrastrutturali e risanamento del territorio

Andrea Guerini¹, Alice Turina¹, Anna Grava¹

¹ NCE s.r.l

Abstract

A partire dall'inizio degli anni '90 stiamo assistendo ad un notevole sviluppo nel settore delle infrastrutture di trasporto di persone, merci ed energia, anche sulla spinta della politica europea volta all'implementazione delle reti TEN (Trans European Network) e, più di recente, del Piano Nazionale di Ripresa e Resistenza.

Grazie ad investimenti strategici, in Italia sono attualmente in fase di realizzazione numerosi interventi di costruzione di nuove tratte ferroviarie e di viabilità autostradale e secondaria nonché di miglioramento delle esistenti, sempre più progettati secondo criteri di mobilità sostenibile e di resilienza per l'adattamento delle infrastrutture stesse ai cambiamenti climatici.

In alcuni casi i tracciati delle opere si sviluppano, sulla base delle esigenze progettuali e degli spazi disponibili, in aree caratterizzate da passività ambientali potenziali o effettive, note o individuate nel corso delle indagini preliminari effettuate ai fini della predisposizione della documentazione di progetto.

Gli obiettivi di sviluppo sostenibile perseguiti dall'implementazione ed interconnessione delle infrastrutture a rete non possono prescindere dall'applicazione dei concetti di sostenibilità sin dalla fase di progettazione, per dispiegarsi poi in fase esecutiva; è pertanto di grande importanza perseguire fin dalle prime fasi progettuali l'approfondimento delle caratteristiche di eventuali "siti potenzialmente non conformi" che potrebbero essere o saranno necessariamente interferenti con l'opera, al fine di individuare quelle che si configurano, allo stato attuale delle conoscenze, come le migliori modalità di gestione a costi sostenibili prima durante e dopo i lavori di realizzazione dell'infrastruttura.

Analizzando dati provenienti da diversi contesti raccolti nel corso dell'ultimo decennio, sempre riferibili ad opere infrastrutturali lineari,

le tipologie di “siti critici” più comunemente osservati nella nostra esperienza sono prevalentemente dovuti a:

- presenza di rifiuti interrati;
- presenza di orizzonti di riporti non conformi (in particolare ai limiti per il test di cessione), talvolta riscontrati in associazione ad orizzonti costituiti da rifiuti;
- evidenze di potenziale contaminazione della matrice “suolo e sottosuolo” (supero delle CSC previste per la destinazione d’uso del sito dalla Tabella 1 col. A/B, Allegato 5, Titolo V Parte IV del D.Lgs. 152/2006), spesso riscontrati in associazione ad orizzonti costituiti da rifiuti e/o riporti non conformi.

Diventa inoltre sempre più evidente come l’attenzione agli aspetti ambientali e di sostenibilità stia assumendo una maggior rilevanza anche in fase esecutiva, non solo nelle aree potenzialmente o notoriamente critiche, sia per la valutazione di eventuali soluzioni migliorative rispetto a quelle progettualmente individuate (ad esempio per l’avanzamento tecnologico intercorso tra la fase di progettazione e quella di realizzazione) sia per la prevenzione di potenziali impatti negativi derivanti dai cantieri stessi.

La presente memoria intende proporre una disamina delle modalità di individuazione delle aree di potenziale criticità e degli aspetti da tenere in considerazione nell’individuazione delle soluzioni, al fine di massimizzare i benefici ambientali, economici e sociali.

È infatti di primaria importanza sottolineare gli aspetti positivi derivanti dalla realizzazione di opere di tale importanza in aree inutilizzate o caratterizzate da ridotto valore economico a causa delle passività ambientali, ovvero:

- l’occasione di realizzare interventi di risanamento in aree le cui più o meno note passività non vengono, per svariati motivi, gestite, con una diretta eliminazione o contenimento delle sorgenti di potenziale impatto sull’ambiente e sulla salute umana;
- il miglioramento della salubrità di tutta l’area circostante e, conseguentemente, miglioramento della qualità della vita ed il benessere delle comunità locali, specialmente nel caso in cui vengano previste opere mitigative e/o compensative degli eventuali impatti derivanti dall’infrastruttura stessa quali, ad esempio, spazi verdi, alberature e barriere antirumore.

I comuni obiettivi di sostenibilità possono essere massimizzati tramite un approccio multidisciplinare, che incentivi la collaborazione tra tecnici e progettisti provenienti da ambiti diversi quali la pianificazione territoriale, la gestione dei rifiuti e dei siti contaminati, il permitting e l'ingegneria dei trasporti.

Contatti: nce@nce-consulting.com

Il monitoraggio dei gas interstiziali come strumento per la verifica dell'analisi di rischio e la rivalutazione di aree critiche - analisi dei risultati delle campagne di misura in un sito industriale dismesso di grandi dimensioni

Andrea Guerini¹, Elena Leide¹, Sabrina Saponaro², Emanuela Spezzigu, Pinky Misiani, Riccardo Lucchelli³

¹NCE s.r.l. via Privata De Vitalis 2, Brescia - nce@nce-consulting.com

²Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, Milano

³MM S.p.A., Via del Vecchio Politecnico, 8 - 20121 Milano

Abstract

Nell'ambito dei procedimenti di bonifica dei siti contaminati, le Linee guida SNPA 15/2018 "Progettazione del monitoraggio di vapori nei siti contaminati" e 17/2018 "Procedura operativa per la valutazione e utilizzo dei dati derivanti da misure di gas interstiziali nell'Analisi di Rischio dei siti contaminati" definiscono rispettivamente le modalità di esecuzione dei monitoraggi dei vapori provenienti dal suolo e sottosuolo (misure di soil gas e misure di flusso) e le modalità di impiego degli esiti di tali monitoraggi nell'ottica della valutazione sito-specifica del rischio da vapori. Nella valutazione dei dati, le Linee guida SNPA 17/2018 prevedono un approccio a step, con un primo confronto con le cosiddette Concentrazioni Soglia per l'eventuale esclusione del percorso di volatilizzazione (limitatamente ai dati derivanti dalle misure di soil gas) e una successiva valutazione del rischio (VdR) associato alle concentrazioni o ai flussi emissivi rilevati. Pur richiedendo tempi e costi importanti di realizzazione, le attività di monitoraggio hanno fornito elementi utili per circoscrivere le zone in corrispondenza delle quali è necessario eseguire interventi per la contaminazione volatile. Infatti:

- rispetto alle sorgenti emissive complessivamente oggetto di VdR (17 sorgenti), la VdR ha evidenziato criticità in sole 4 sorgenti emissive;
- per molte postazioni di misura con CF, la VdR ha consentito di escludere rischi non accettabili per inalazione vapori. Di conseguenza,

in corrispondenza di tali sorgenti emissive, a meno di eventuali rischi associati a percorsi diretti di ingestione e contatto dermico con suolo superficiale, non sono necessari interventi di bonifica relativi alla contaminazione volatile;

- vi sono rischi non accettabili in alcune sorgenti, ubicate in prossimità di aree critiche per la “storia” industriale o per le quali il progetto di riqualificazione prevede utilizzi più stringenti in termini di rischio accettabile (es.: uso indoor residenziale).

La necessità di gestire una mole importante di dati da SGS e CF ha mostrato l'utilità di calcolare valori limite accettabili, anche per le CF, da utilizzare per un rapido confronto ai fini della valutazione dell'accettabilità o meno del rischio in relazione allo scenario di interesse, senza dover necessariamente utilizzare continuamente il software Rome Plus. Il calcolo dei valori limite accettabili ha inoltre consentito di approfondire le formule alla base dei calcoli stessi, evidenziando ad esempio la differenza dei parametri di esposizione umana proposti dalle Linee Guida SNPA rispetto a quanto considerato nell'AdR applicata a partire da dati in terreni e acque sotterranee con il software Risk-net, nonché il comportamento differente di alcune sostanze, dovuto alla loro classificazione come cancerogene e mutagene.

Contatti: nce@nce-consulting.com

Piano di indagine per la definizione dei valori di fondo naturale di un poligono militare

Ten. Col. Marco dott. Fella¹, Cap. ing. Antonio Centolanza¹

¹ *Stato Maggiore dell'Esercito*

Abstract

Al fine di ottemperare alle disposizioni normative previste dalla vigente normativa ambientale per i poligoni militari, l'Esercito dal 2020 ha adottato un piano di monitoraggio permanente sui poligoni di F.A. Tali attività hanno comportato, in alcuni casi, l'avvio di procedimenti ambientali per la potenziale contaminazione del suolo superficiale da metalli pesanti contenuti nel munizionamento impiegato in esercitazioni a fuoco con armi portatili. Tuttavia, in alcuni contesti ci si è trovati di fronte a contaminazione diffuse di parametri non presenti nel munizionamento impiegato, facendo altresì presupporre la presenza geogenica di tali elementi.

Scopo del presente lavoro è quello di dimostrare che i superamenti delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) per parametri quali arsenico, berillio, tallio e vanadio riscontrati in un poligono occasionale di F.A. in esito al piano di monitoraggio ambientale siano ascrivibili a cause naturali e non indotte dalle attività antropiche, con particolare riferimento alle attività militari, condotte all'interno del sito.

Per far ciò, è stato predisposto un piano di campionamento sistematico per la determinazione dei Valori di Fondo Naturale (VFN) sito specifici, eseguito nei mesi di luglio e agosto 2023 a cura della Ditta appaltatrice del servizio di monitoraggio, nelle aree escluse dalle attività addestrative a fuoco, caratterizzate dalla stessa litologia rilevata nell'area potenzialmente contaminata dai predetti elementi. Le analisi chimiche eseguite sui campioni di terreno prelevati hanno confermato la presenza diffusa di tali elementi. Pertanto, sulla base di tali esiti si è proceduto all'individuazione del dataset per la determinazione dei valori di fondo naturale (VFN) e all'elaborazione di un modello concettuale basato anche sugli approfondimenti geologici sull'area in esame al fine di redigere un Piano dei VFN da proporre

all'approvazione dell'ARPA territorialmente competente. Dai risultati delle analisi chimiche su tutti i campioni prelevati è stata confermata una diffusa contaminazione (valori superiori ai limiti della citata Tab. A) per i parametri oggetto dello studio. Dalla comparazione dei Q-Q plot prodotti è emerso, a carattere generale per tutti parametri sottoposti ad analisi geostatistica, che la distribuzione normale si adatta meglio a descrivere il comportamento statistico del *dataset* individuato, dimostrando che i valori osservati sono riconducibili al contesto naturale sito specifico. Il calcolo dei VFN è stato quindi eseguito sulla base delle Linee guida SNPA che suggeriscono di adottare per il calcolo il 99° percentile quando si dispone di più di 100 dati, condizione ampiamente soddisfatta per il *dataset* scelto.

Sulla base di tali considerazioni, per l'individuazione del VFN di As, Be, Tl e V è stato scelto il 99° percentile utilizzando il seguente algoritmo non parametrico:

$$p(\%) = 100 * (i-1) / (N-1)$$

dove:

- p (%) = percentile scelto;
- N = numero di osservazioni;
- i = i-esima osservazione del *dataset* ordinata per valore crescente,

che fornisce quale valore dell'i-esima osservazione:

$$i = p(\%) * (N-1) / 100 + 1 \Rightarrow i = 99 * (225-1) / 100 + 1 = 223$$

In tale quadro, per ciascun metallo pesante oggetto di studio, è stato individuato quale VFN la 223a (214a per 95° percentile) osservazione del *dataset* ordinato per valori crescenti, come indicato nella seguente Tabella.

Parametro	CSC ¹	Valore di Fondo Naturale	Valore massimo riscontrato
	[mg/kg]		
Arsenico	20	28,8 (26,9)	31,8
Berillio	2	8,6 (7,9)	8,7
Tallio	1	3,6 (2,8)	5,0
Vanadio	90	132 (124)	144

Tabella - VFN per As, Be, Tl e V per il poligono oggetto di studio

Al riguardo si sottolinea che, nel caso specifico dei procedimenti ambientali in cui i VFN individuati sostituiscono le CSC facendo risultare superamenti la percentuale di osservazioni “1-p”, le Linee guida SNPA prevedono espressamente che anche tali osservazioni debbano essere considerate “a prescindere” compatibili con il VF stesso alla cui determinazione hanno contribuito. Pertanto, anche i valori superiori ai VFN sopra indicati per i metalli analizzati nel presente documento, fino ai valori massimi del *dataset* utilizzato per la determinazione dei citati VFN (indicati in Tabella), possono essere considerati connessi al contesto naturale sito-specifico.

*Contatti: marco.fella@esercito.difesa.it;
antonio.centolanza@esercito.difesa.it.*

¹ Colonna A della Tabella 1 in Allegato 5 al Titolo V della Parte Quarta del D.Lgs. 152/06 e s.m.i..

Il progetto poligoni: esigenze di rimozione di residuati del munizionamento dai fondali marini prospicienti le aree esercitative di Capo Teulada (SU) e Torre Veneri (LE)

Paola Renzi¹, Luigi Nicola Alcaro¹, Claudio Numa¹, Ten. Col. Marco dott. Fella²

¹ Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale – Centro Nazionale per le Crisi e le Emergenze ambientali e il danno (CN-CRE)

²Stato Maggiore dell'Esercito - Direzione per il Coordinamento Centrale del Servizio di Vigilanza e Prevenzione e Protezione

Abstract

Il “Progetto Poligoni” nasce per valutare le esigenze di rimozione di residuati del munizionamento dai fondali marini prospicienti le aree esercitative di Capo Teulada (SU) e Torre Veneri (LE), ed è stato concepito e condotto per contribuire alla conoscenza circa la presenza di residuati di munizionamento esplodente o in forma di rottame, presente sui fondali antistanti due aree deputate all’addestramento “a fuoco”, allo scopo di valutarne la giacitura e lo stato di conservazione.

Metodologia

Il Progetto, finanziato dallo Stato Maggiore dell'Esercito (SME) per accertare la possibile nocività di questi residuati del munizionamento, si è avvalso di un approccio multidisciplinare che ha contemplato analisi granulometriche, prospezioni elettroacustiche e visuali, bioassay ecotossicologici e misure di biomarker e radiometriche.

Le attività di campo e di laboratorio sono state condotte da ricercatori e personale tecnico ISPRA e delle Agenzie regionali di Sardegna e Puglia del Sistema Nazionale a rete per la Protezione Ambientale con il supporto logistico e tecnico di unità militari specializzate.

Risultati e conclusioni

I risultati ottenuti hanno contribuito a concludere che quanto disperso nell'aree oggetto di studio, solo in minima parte rappresenta un

rischio per gli habitat bentonici locali; non sono stati evidenziati, infatti, “effetti” fisiologici sensibili sul biota esaminato ascrivibili ai residui dispersi sui fondali. Tuttavia, i rischi ambientali residui possono essere mitigati con la rimozione, attenta agli ambienti interessati dei residui presenti.

Tali attività, ora oggetto di una nuova convenzione attuativa di collaborazione tecnico-scientifica tra ISPRA e SME, hanno come obiettivo la definizione di linee guida sito-specifiche per la rimozione dei residui a mare presenti sui fondali prospicienti i poligoni oggetto di studio per individuare, ove possibile, misure idonee a mitigare l’incidenza ambientale derivante da tali attività.

Keywords: coastal marine environments; UXO and non-UXO; ecotoxicology; bioassays; biomarkers;

*Contatti: paola.renzi@isprambiente.it;
claudio.numa@isprambiente.it, luigi.alcaro@isprambiente.it;
marco.fella@esercito.difesa.it;*

Capping sottomarino, dragaggi e gestione dei sedimenti marino costieri

Marco Raspolli¹, Mattia Mannocci¹, Lorenzo Morra²

¹AmbienteSpA, ²Invitalia SpA

Abstract

Nel programma di risanamento ambientale e rigenerazione urbana di Bagnoli, il tema della bonifica dei sedimenti marini è un nodo centrale ed un obiettivo principale per il litorale di Bagnoli Coroglio. La Stazione Zoologica Anton Dohrn, con la collaborazione di ISPRA, CNR, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e INVITALIA, ha elaborato il Progetto di Ricerca “Restauro Ambientale e Balneabilità del SIN Bagnoli-Coroglio”, denominato ABBaCo. Invitalia, nel periodo maggio 2017 – settembre 2018 ha eseguito indagini di caratterizzazione integrative nell’area marino costiera prospiciente il sito di rilevante interesse nazionale di Napoli Bagnoli-Coroglio. Le conclusioni dello studio indicano un inquinamento generalizzato dei fondali, della colmata, con interesse delle componenti biologiche. Sulla scorta di tali esiti, Invitalia Spa ha successivamente predisposto il documento “Progetto di Fattibilità Tecniche ed Economiche Bonifiche e Risanamento Ambientale del SRIN di Bagnoli-Coroglio” (PFTE), sottoposto a Conferenza di servizi preliminare conclusasi nell’agosto 2020. Sulla base delle ipotesi di intervento del PFTE e dei pareri acquisiti, si è proceduto a definire le modalità operative con cui dovranno essere eseguiti i test pilota su scala reale delle tecnologie potenzialmente applicabili al contesto marino.

Il trattamento dei sedimenti ha mostrato una moderata efficacia nel ridurre la contaminazione riscontrata in partenza nei primi due Lotti per raggiungere le CSC definite dal D.Lgs. 152/06 o Valori di Fondo dell’ARIN di Bagnoli, mentre permette di raggiungere i valori definiti dalla colonna B. L’aggiunta di perossido di Idrogeno (H₂O₂) nei

materiali post-trattamento si è rivelata più efficace nell'abbattere alcuni parametri specifici (Zn, IPA). Sulla base di quanto sopra, cautelativamente, in questa fase di progettazione definitiva, si stima che, a seguito di un trattamento combinato di soil washing e desorbimento termico, possa essere recuperato circa il 50% dei sedimenti escavati e dragati dalle aree di intervento, da riutilizzare per le attività di ripascimento necessarie alla creazione della nuova linea di riva. Per quanto riguarda il test di capping sottomarino, le attività sono attualmente in corso e sono previsti i primi risultati entro la fine di agosto.

Contatti: mraspolti@ambientesc.it, mmannocci@ambientesc.it

Caso di studio: combinazione di diverse tecnologie (ISCR, micro-diffusione di O₂ e iniezione di surfattanti) per la bonifica delle acque sotterranee

Davide Calloni¹, Lorenzo Rabuffetti¹

¹ HPC Italia S.r.l.

Abstract

Nell'ambito del procedimento ambientale in corso per un ex-sito industriale (ad oggi dismesso) situato in Piemonte, HPC Italia ha proposto e progettato un intervento per fasi per la bonifica delle acque sotterranee, che prevede la combinazione di n.3 differenti tecnologie. Tale necessità deriva dalla eterogeneità della contaminazione presente in sito e dalla sua distribuzione spaziale; sono stati infatti individuati n.2 principali nuclei di contaminazione: n.1 sorgente primaria costituita dalla presenza di un prodotto libero (olio idraulico) e n.1 sorgente secondaria costituita da n.2 plume di contaminazione distinti (caratterizzati rispettivamente dalla presenza di Idrocarburi e di composti clorurati).

Gli interventi proposti sono stati suddivisi in due fasi:

- FASE 1, in cui è prevista l'esecuzione delle attività necessarie alla rimozione della sorgente primaria individuata (costituita dal prodotto surnatante) e la realizzazione degli interventi di bonifica finalizzati all'abbattimento del plume di contaminazione costituito da Idrocarburi e composti clorurati;
- FASE 2 (se necessaria), in cui si prevede la realizzazione di transetti di Barriera Permeabile Reattiva in corrispondenza dei piezometri di confine, a valle idrogeologica, per il trattamento dell'eventuale contaminazione residua, garantendo inoltre il confinamento della stessa all'interno del sito.

Attualmente sono in corso le attività di iniezione di surfattanti per la rimozione della sorgente primaria (cicli push-pull) e i test pilota per l'applicazione dell'ISCR e dell'insufflazione di ossigeno in falda. L'obiettivo del presente studio è valutare la compatibilità e l'efficacia delle diverse tecnologie, al fine di implementare un intervento full scale per la gestione della contaminazione a carico delle acque

sotterranee. Attualmente sono stati eseguiti n.6 cicli push-pull dei n.10 previsti: osservando le acque emunte in occasione degli spurghi post-iniezione (ad oggi sono stati emunti circa 125 m³), si evince l'efficacia del prodotto Ivey-sol in termini di rimozione della fase libera presente; una volta completati i cicli rimanenti saranno eseguiti dei rilievi mensili al fine di verificare l'eventuale presenza di residui di prodotto e la necessità di implementare ulteriori cicli di iniezione di surfattanti.

Per quanto riguarda i due test pilota in corso, a seguito del completamento dei sei mesi di monitoraggio previsti, sarà valutata l'efficacia delle due tecnologie testate e saranno implementate le strategie di intervento full scale per la bonifica delle acque sotterranee.

Nel caso in cui, al termine delle attività, si riscontrasse la presenza di una contaminazione residua a carico della matrice acque sotterranee, saranno realizzati gli interventi di Fase 2, nella quale si prevede la realizzazione di transetti di Barriera Permeabile Reattiva in corrispondenza dei piezometri di confine, a valle idrogeologica, per il trattamento della contaminazione residua, garantendo inoltre il confinamento della stessa all'interno del sito.

Contatti: Davide.Calloni@hpc.ag, Lorenzo.Rabuffetti@hpc.ag

Proposta operativa per la Valutazione del Rischio ambientale da PFAS nei siti contaminati

Nicoletta Calace, Pierpaolo Tomai, Federico Araneo, Oriana Capobianco, Maurizio Guerra, Elisa Nardi, Antonio Traversa, Antonella Vecchio

¹ ISPRA

Abstract

I composti per- e polifluoroalchilici (PFAS) rappresentano una classe di contaminanti di crescente rilevanza ambientale e sanitaria, in ragione della loro elevata persistenza e mobilità nelle matrici ambientali e del potenziale tossicologico.

Tali caratteristiche nonché la presenza pressoché ubiquitaria nell'ambiente ha messo in evidenza l'urgenza di sviluppare strumenti normativi e operativi specifici; esigenza che si sta manifestando principalmente nell'ambito della gestione dei siti contaminati, in particolare per quanto riguarda la valutazione del rischio sanitario e ambientale di terreni e acque sotterranee quale strumento propedeutico alla progettazione ed esecuzione degli interventi di bonifica.

L'attuale quadro normativo nazionale appare ancora parziale e frammentato.

Il D.M. 6 luglio 2016, n. 165, che recepisce la Direttiva 2006/118/CE, modificata dalla Direttiva 2014/80/UE, include solo cinque composti PFAS tra le sostanze che devono essere oggetto di monitoraggio per la tutela dei corpi idrici sotterranei.

D'altra parte, la Direttiva 2006/118/CE è attualmente oggetto di una proposta di revisione, contenuta nel documento COM(2022) 540 final [1], che prevede un'estensione significativa del gruppo di sostanze da monitorare, con l'introduzione di un valore soglia per un gruppo di 24 PFAS. In particolare, si riferisce alla sommatoria delle concentrazioni dei 24 PFAS calcolata secondo un approccio di tossicità equivalente, con il PFOA come composto di riferimento (peso = 1).

Contestualmente, il D.Lgs. 23 febbraio 2023, n. 18, che attua la Direttiva (UE) 2020/2184 sulle acque destinate al consumo umano, ha introdotto limiti per il parametro "PFAS totale", senza però

individuare una lista di sostanze specifiche che contribuiscono alla stima di tale parametro, e per la “somma dei PFAS”, definita da un gruppo di 24 PFAS specifici (ma che solo in parte risultano coincidenti con quelli individuati nel documento COM(2022) 540 final).

Infine, è in discussione la proposta di direttiva europea sul monitoraggio del suolo implementato nei territori degli Stati Membri che prevede, tra l’altro, la ricerca di un gruppo di sostanze PFAS [2].

Per quanto concerne la disciplina delle bonifiche di cui alla Parte Quarta, Titolo V del D.Lgs. 152/2006, il quadro risulta ancora più incerto, dal momento che attualmente per i PFAS non sono definite concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) né per le acque sotterranee, né per i suoli.

Inoltre, le incertezze e la continua evoluzione delle conoscenze rispetto alle proprietà chimico-fisiche e tossicologiche dei PFAS pone dubbi sulla efficacia degli strumenti metodologici ordinariamente utilizzati per la valutazione del rischio sanitario e ambientale nei siti contaminati.

In un contesto normativo e tecnico ancora in evoluzione, il presente contributo propone una lista di composti da includere in un criterio di valutazione del rischio ambientale, finalizzato alla gestione dei siti contaminati. Tale criterio, seppur provvisorio e non esaustivo, è concepito per supportare la valutazione del rischio ambientale, con particolare riguardo ai fenomeni di lisciviazione da suoli contaminanti verso le acque sotterranee, fornendo uno strumento operativo per affrontare situazioni ambientali critiche non più differibili.

Contatti: nicoletta.calace@isprambiente.it.

Valutazione dell'efficacia della tecnologia ISCO con Fe-zeoliti e perossido di idrogeno, mediante test di campo, per il trattamento di solventi clorurati, idrocarburi ed eteri in falda, presso un Sito di Interesse Nazionale

**Mara Dal Santo¹, Devis Ferrarato¹, Giacomo Giaimi¹, Sabrina Filia²,
Federica Signoretta², Daniele D'Emilio²**

¹ Stantec; ² Eni Rewind S.p.a

Abstract

Il presente studio illustra i risultati delle attività di sperimentazione della tecnologia In-Situ Chemical Oxidation (ISCO) sviluppate nell'ambito di un articolato progetto di bonifica di una falda contaminata da solventi clorurati, idrocarburi ed eteri in un Sito di Interesse Nazionale (SIN). L'acquifero è costituito prevalentemente da sabbie e ghiaie sabbiose, in alternanza e/o in eteropia a livelli calcarenitici, e a limi argillosi e sabbiosi, talora con ghiaie, aventi potenza variabile in funzione della profondità del tetto del substrato argilloso e dell'eventuale presenza, verso l'alto, di terreni di riporto.

Il presente studio, nello specifico, descrive un test pilota condotto in un'area del SIN. L'obiettivo principale è stato quello di valutare l'efficacia della tecnologia ISCO per la bonifica delle acque sotterranee, utilizzando un prodotto a base di ferro-zeoliti e successiva applicazione di perossido di idrogeno. Dopo una fase preliminare di test in laboratorio, con risultati positivi e soddisfacenti, il prodotto è stato selezionato per un'applicazione pilota sul campo, con l'intento di: a. verificarne le capacità di abbattimento dei vari contaminanti presenti; b. identificare eventuali criticità relative a formazione di sottoprodotti o mobilizzazione dei metalli o dei gas; c. Verificare l'efficacia delle modalità applicative; d. Verificare i dosaggi del prodotto ossidante; e. identificare possibili ottimizzazioni per un eventuale utilizzo su scala più ampia.

Il monitoraggio ha consentito di seguire l'evoluzione dei livelli di falda, verificare l'efficacia di abbattimento dei contaminanti per azione del

prodotto iniettato, l'eventuale formazione di sottoprodotti, l'efficienza della tecnologia e i dosaggi del reagente ossidante, fornendo spunti per ottimizzazioni future su scala estesa.

I reagenti si sono distribuiti efficacemente nei piezometri del campo prova, raggiungendo una distanza massima di circa 6,5 metri nella direzione di deflusso della falda e 5 metri verso monte (direzione ovest). Durante il test la temperatura delle acque di falda è rimasta generalmente stabile in tutti i piezometri mentre la conducibilità elettrica, ha mostrato una riduzione in Fase 1 (adsorbimento) e un aumento in Fase 2 legato alla mobilitazione temporanea di ioni resi disponibili per le reazioni di ossidazione con perossido di idrogeno mediante desorbimento. Il pH si è mantenuto generalmente stabile e vicino alla neutralità, mentre il potenziale di ossidoriduzione, inizialmente negativo, è aumentato in modo significativo durante la Fase 2, a conferma dell'effettiva azione ossidante del perossido di idrogeno e della transizione dalle condizioni riducenti, tipiche dell'acquifero, a condizioni a maggior potenziale ossidativo, soprattutto nei piezometri maggiormente interessati dal "fronte reattivo". Le misure dei livelli di falda, periodicamente eseguite, hanno evidenziato oscillazioni del livello piezometrico di circa 1 metro dall'avvio dell'attività di iniezione fino al termine del test e la presenza di fase separata DNAPL in alcuni piezometri del campo prova. Nonostante ciò, già durante la Fase 1, grazie all'azione adsorbente delle ferro-zeoliti si sono rilevate riduzioni significative delle concentrazioni dei composti di interesse, con abbattimenti maggiori del 90% per diversi composti. Durante la Fase 2 si sono poi registrati ulteriori abbattimenti significativi delle concentrazioni (anche fino al 98%) su alcuni composti (come 1,2-dicloroetano, cloruro di vinile, esaclorobutadiene e DCIPE), conseguenti all'azione ossidativa del perossido di idrogeno. Tuttavia, in alcune aree, si sono osservati alcuni incrementi di concentrazione potenzialmente legati al rilascio secondario da DNAPL o ad effetti di desorbimento. La mobilitazione dei metalli è risultata trascurabile, con incrementi localizzati (soprattutto per Cromo VI, Vanadio e Rame) e reversibili. Analogamente, l'effetto di volatilizzazione delle reazioni Fenton è stato evidente solo per alcuni composti (es. esaclorobutadiene, tetracloroetilene, 1,2-dicloroetilene), limitato nel tempo e confinato alla zona insatura, senza impatti sull'aria ambiente.

Il test pilota ISCO eseguito in sito ha confermato la fattibilità tecnica e l'efficacia del trattamento adsorbente-ossidante per contaminanti clorurati, idrocarburi ed eteri presenti in falda nonostante la presenza di DNAPL. La distribuzione dei reagenti è risultata efficace, con abbattimenti significativi, già nella Fase 1 per molti composti e ulteriori riduzioni nella Fase 2, soprattutto per 1,2-dicloroetano e cloruro di vinile. Si è registrata una minima formazione di vapori interstiziali, confinata all'interno del comparto insaturo e non si sono rilevate significative mobilitazioni di metalli, con incrementi localizzati nel tempo e nello spazio e reversibili.

In presenza di un elevato carico di massa di contaminante e di sorgenti attive di prodotto in fase separata, come nell'area oggetto di studio, un singolo ciclo di iniezioni di perossido di idrogeno risulta efficace solo per una parte sui contaminanti più reattivi e su una parte della massa totale. Di conseguenza, per una rimozione significativa e duratura su un più ampio spettro di composti e una riduzione significativa della massa del contaminante, sarebbero necessari: la preventiva rimozione di tutta la fase separata presente e/o più cicli di trattamento mediante perossido di idrogeno.

La valutazione dell'effettiva richiesta stechiometrica di ossidante da parte dei composti contaminanti presenti da degradare risulta pertanto principio fondamentale per la buona riuscita delle applicazioni ISCO e dovrà essere considerata anche nella progettazione di eventuali interventi su scala estesa.

La tecnologia UVOST per la ricostruzione della distribuzione reale della fase separata da LNAPL nel sottosuolo

Cristina Caricato¹, Stella Lucifora¹, Claudio Carusi¹, Eugen Martac²

¹ Mares S.r.l., ²Fugro Germany Land G.M.B.H.

Abstract

La caratterizzazione efficace e tempestiva dei contaminanti rappresenta ad oggi una sfida cruciale nella gestione del rischio ambientale: tra gli operatori del settore bonifiche è infatti piuttosto diffusa l'idea che la fase separata di prodotto idrocarburico nel sottosuolo sia direttamente correlata alla presenza di surnatante all'interno dei piezometri di monitoraggio installati in fase di caratterizzazione, e che ci sia una proporzione specifica tra lo spessore di prodotto nel piezometro (denominato "spessore apparente") e quello reale nel sottosuolo. Tale visione appare il più delle volte una eccessiva semplificazione della situazione reale, che deriva dalle limitazioni del dispositivo di osservazione a nostra disposizione, ossia il pozzo di monitoraggio.

Le indagini ad alta risoluzione (HRSC) costituiscono a riguardo un significativo passo avanti nel superare i limiti delle tradizionali tecnologie di indagine, in quanto restituiscono una "fotografia" in tempo reale del sottosuolo, indispensabile per una mappatura esaustiva della distribuzione areale e verticale della contaminazione e per un corretto dimensionamento degli interventi di bonifica.

La Mares S.r.l., partner esclusivo italiano dal 2017 di Fugro Germany Land G.M.B.H., ha potuto analizzare con maggiore dettaglio tale fenomeno mediante l'utilizzo della tecnologia UVOST® (Ultra Violet Optical Screening Tool), la quale, sfruttando la fluorescenza degli idrocarburi, ha permesso di determinare il reale spessore del prodotto presente nel sottosuolo oltre a definire la tipologia di LNAPL. Nello studio vengono presentati pertanto diversi casi di applicazione in Italia dell'UVOST®, al fine di mettere in luce l'efficacia delle moderne tecnologie ad alta risoluzione in tema di conoscenza di stato di

contaminazione reale nel sottosuolo, determinante per un corretto dimensionamento degli interventi di bonifica da attuare.

L'indagine con sonda UVOST® è basata sulla tecnica LIF (Laser Induced Fluorescence): una sonda, infissa a velocità costante nel sottosuolo mediante direct push, emette luce ad una lunghezza d'onda caratteristica; i contaminanti, eccitati da quest'onda, emettono per fluorescenza una radiazione a lunghezza d'onda differente, caratteristica della tipologia di contaminante.

La tecnologia UVOST® è in grado di discriminare contaminazioni riconducibili a idrocarburi derivati dal petrolio (come jet fuel, diesel e benzina) grazie alla misura dell'intensità e al decadimento nel tempo di quattro specifiche lunghezze d'onda di emissione (350 nm, 400 nm, 450 nm e 500 nm), che differiscono per ciascuna tipologia di prodotto petrolifero, permettendo quindi di riconoscere la tipologia di olio di origine tramite confronto con il rispettivo standard. È possibile quindi ricostruire in sia arealmente che verticalmente la distribuzione del prodotto idrocarburico in fase separata presente nel sottosuolo.

L'indagine ad alta risoluzione con tecnologia UVOST® ha confermato nei diversi casi di studio la distribuzione areale della contaminazione, emersa durante le tradizionali indagini di caratterizzazione, aggiungendo informazioni essenziali riguardo i volumi di sottosuolo contaminati da prodotto in fase separata e la relativa distribuzione degli spessori reali sia nel terreno saturo che insaturo.

Lo spessore della fase surnatante misurato nei piezometri, infatti, è uno spessore apparente, ovvero non rispecchia la situazione reale del suolo saturo ed insaturo, poiché risente di diversi fattori come, ad esempio, le caratteristiche dell'acquifero. Diversamente dalle tradizionali indagini che restituiscono dati discreti e spesso non rappresentativi della reale distribuzione del contaminante, quella ad alta risoluzione mediante tecnologia UVOST® permette di mappare la contaminazione in tempo reale lungo profili continui, riducendo le incertezze e migliorando la definizione del modello concettuale del sito.

Contatti: cristinacaricato@maresiatalia.it; E.Martac@fugro.com

Caso studio di bonifica terreni di un impianto metallurgico: sperimentazione di un trattamento combinato di soil washing e trattamenti mineralurgici

Alberto Mereu¹, Davide Calloni¹, Pier Paolo Manca¹

¹ *HPC Italia S.r.l.*

Abstract

Lo studio si riferisce alla bonifica dei terreni insaturi sottostanti un impianto metallurgico di Pb e Zn ubicato in Sardegna. Nell'ambito del procedimento ambientale di bonifica del sito è stata avviata una sperimentazione per verificare l'applicabilità di un processo di trattamento dei terreni contaminati differente da scavo/smaltimento e capping, attualmente in corso in corrispondenza di 2 dei 5 stralci di bonifica in cui sono state suddivise le aree contaminate. Il processo proposto, che comporta una combinazione tra il Soil Washing tradizionale e alcune tecniche proprie dei processi di trattamento mineralurgico, ha la finalità di ottenere il parziale riutilizzo e recupero del terreno decontaminato in alternativa al previsto smaltimento diretto in discarica.

Lo studio ha identificato i principali contaminanti del suolo dello stabilimento, tra cui cadmio (Cd), mercurio (Hg), piombo (Pb) e zinco (Zn). Le attività di caratterizzazione del suolo hanno messo in luce le concentrazioni differenti di contaminanti in relazione alle varie classi granulometriche e alla distribuzione spaziale nell'area dello stabilimento.

È stato evidenziato che il trattamento sperimentale con tecniche di separazione dimensionale e magnetica ha una discreta efficacia per la lisciviabilità di analiti, ad eccezione del cadmio, che presenta una resistenza maggiore. Il processo messo a punto nel corso della ricerca è in grado di trattare circa il 70% delle aree dello stabilimento, offrendo una buona prospettiva per l'applicazione su larga scala.

Tuttavia, i risultati ottenuti non sono ancora conclusivi, e ulteriori fasi del processo devono essere sviluppate. Ad esempio, è necessario perfezionare la separazione delle frazioni fine tramite sfangamento iniziale, utilizzare tecniche migliorate per la separazione delle frazioni

non magnetiche e adottare dosaggi regolati per il pH e agenti chelanti più mirati nella lisciviazione. Questi approfondimenti sono necessari per formulare un progetto di trattamento pratico ed efficace, che potrebbe operare anche senza l'uso di processi chimici per raggiungere gli obiettivi di concentrazione sotto i limiti previsti.

*Contatti: Alberto.Mereu@hpc.ag, Davide.Calloni@hpc.ag,
mancapierpaolo4@gmail.com*

La Relazione di Riferimento e il monitoraggio del suolo e delle acque sotterranee per le installazioni soggette ad AIA: linee di indirizzo e proposta di modulistica

Paola Canepa, Nadia Tomasini

¹ ARPA LOMBARDIA Direzione Tecnica Controlli e Prevenzione Rischio Antropico

Abstract

La Direttiva 2010/75/UE (c.d. Direttiva IED) ha introdotto l'obbligo, per le installazioni soggette ad A.I.A., di effettuare un monitoraggio periodico del suolo e delle acque sotterranee in relazione alle sostanze pericolose che possono essere presenti nel sito e di redigere la Relazione di Riferimento, obblighi recepiti in Italia nella Parte Seconda del D.Lgs. 152/06 (testo unico ambientale).

Nell'ordinamento italiano e in particolare nel medesimo D.Lgs. 152/06, viene dedicato il Titolo V della Parte Quarta alla bonifica dei siti contaminati.

Con riferimento alla normativa nazionale vigente, l'obiettivo di questa presentazione è quello di proporre alcuni indirizzi per la predisposizione del piano di monitoraggio e controllo per il suolo e le acque sotterranee ed esporre le procedure attuabili alla cessazione dell'attività da parte dei Gestori AIA fornendo loro una modulistica per la redazione della relazione di riferimento, al momento assente nel panorama legislativo e tecnico italiano. Le indicazioni predisposte soddisfano gli obblighi previsti dalla normativa relativa alle AIA tenendo conto, allo stesso tempo, delle informazioni e dei dati utili a supportare, in caso di criticità, un eventuale procedimento di bonifica ai sensi del Titolo V del DLgs 152/06.

L'obiettivo dello studio e del documento di indirizzo prodotto (di cui si riporta in Tab. 1, a titolo esemplificativo, lo schema decisionale per il monitoraggio delle acque sotterranee) è contribuire a rendere ancora più efficaci i controlli e le verifiche atte a prevenire eventi potenzialmente contaminanti o ad identificare tempestivamente

situazioni di contaminazione, fornendo al contempo informazioni e dati utili a supportare in caso di criticità un eventuale procedimento di bonifica ai sensi del Titolo V del DLgs 152/06.

Tipologia di rischio di contaminazione	Caratteristiche del suolo	Modalità di monitoraggio	Frequenza di monitoraggio
BASSO	contesto ambientali protettivo per le acque sotterranee: - litologia fine - capacità di attenuare il rischio di infiltrazione e di lisciviazione di contaminanti in falda	Le verifiche indirette da svolgere, oltre a quanto descritto al paragrafo suolo, devono essere integrate con le verifiche di tenuta delle strutture interrato.	Monitoraggi indiretti del suolo almeno triennali Verifica delle strutture interrato come indicato in Tabella 4
MODERATO	Contesto ambientale che presenta maggior rischio di contaminazione come le zone di ricarica delle acque sotterranee	Le verifiche da svolgere saranno quelle indicate nel piano di manutenzione preventiva per tutti i presidi indicati alla fase 3 della verifica di sussistenza. In caso di pozzi o piezometri esistenti e appartenenti al medesimo corpo idrico sotterraneo il monitoraggio indiretto può essere integrato con il monitoraggio diretto.	Verifiche dei presidi almeno annuale Verifica delle strutture interrato come indicato in Tabella 4
ALTO	Contesto ambientale che presenta maggior rischio di contaminazione e in presenza di misure	Misure dirette del suolo. Nel caso in cui il valore riscontrato sia	Suolo: almeno quinquennali

Tipologia di rischio di contaminazione	Caratteristiche del suolo	Modalità di monitoraggio	Frequenza di monitoraggio
	di prevenzione non adeguate	>90% del valore di CSC l'AIA può indicare il monitoraggio diretto delle acque sotterranee	

Il documento comprende anche una modulistica per la redazione della Relazione di Riferimento in quanto, al momento, non è disponibile sul territorio nazionale.

Contatti: p.canepa@arpalombardia.it, n.tomasini@arpalombardia.it

Utilizzo di tecnologie innovative per l'estensione della vita delle discariche: il caso di Ghallis a Malta

Giuseppe Salvatore, Simone Di Tommaso, Diana Pia Piacenza

¹ FRISOLI S.R.L.

Abstract

La gestione dei rifiuti solidi urbani (RSU) rappresenta una delle emergenze ambientali più rilevanti in Europa, in particolare nei contesti insulari come quello maltese, dove la disponibilità di suolo è limitata e la pressione antropica elevata. La direttiva europea sull'economia circolare (CEAP, marzo 2020) impone agli Stati membri l'obbligo di ridurre al 10% entro il 2035 la quantità di RSU smaltiti in discarica. Malta si trova in una posizione particolarmente critica: nel 2017 il tasso di conferimento in discarica ammontava all'86%, rispetto a una media UE del 24%, e nel 2019 solo l'1% dei rifiuti plastici risultava correttamente riciclato.

Nel periodo 2011 – 2021, Malta ha inoltre registrato la crescita demografica più rapida tra tutti gli Stati membri UE, passando da circa 420.000 a oltre 520.000 abitanti. A questa dinamica si è accompagnata un'impennata nella produzione pro capite di RSU, che ha raggiunto i 679 kg per abitante nel 2019, a fronte dei 502 kg della media europea. Le principali barriere al miglioramento della gestione integrata dei rifiuti comprendono vincoli tecnico – finanziari, scarsa disponibilità di impianti per il recupero locale delle materie prime seconde, mancanza di competenze specifiche e costi elevati di esportazione dei materiali. In questo contesto, il presente studio si propone di analizzare l'intervento realizzato dalla Frisoli S.r.l. presso la discarica di Ghallis (Malta), dove sono state adottate soluzioni brevettate per estendere la vita utile del sito esistente senza l'acquisizione di nuovi terreni. L'obiettivo è valutare l'efficacia delle tecnologie adottate sotto il profilo della sostenibilità ambientale, dell'efficienza spaziale, dell'impatto socioeconomico e della conformità alle direttive europee.

I benefici riscontrati sono molteplici:

- Risparmio di risorse naturali e riduzione delle emissioni di CO₂;
- Valorizzazione di aree degradate in zone produttive e a basso impatto;
- Sostenibilità economica, grazie alla modularità dei costi di costruzione.

Il caso di Ghallis dimostra come una situazione di crisi ambientale possa essere trasformata in un'opportunità di sviluppo sostenibile. Il progetto Frisoli è replicabile in altri contesti insulari o in regioni ad alta densità abitativa, dove la disponibilità di suolo per nuove discariche è limitata.

L'approccio integrato tra ingegneria, sostenibilità e pianificazione territoriale consente di coniugare esigenze ambientali, economiche e sociali, nel rispetto delle normative comunitarie.

*Contatti: g.salvatore@cirofrisoli.it, s.ditommaso@frisolisrl.it,
d.piacenza@frisolisrl.it*

INSSPIRED SOULS project: INnovative and Sustainable Stabilization Processes Involving REcycled SOils and Used materialS

Marta di Sante¹, Marco Rosone², Renato M. Cosentini³

¹Università Politecnica delle Marche; ²Università degli Studi di Palermo; ³Politecnico di Torino

Abstract

INSSPIRED SOULS is an ongoing project funded by the Italian Ministry of Research and University, aiming to reuse industrial waste and promote a circular economy in geotechnical engineering. The objective is to further enhance the sustainability of soil stabilization by both identifying promising new binders among available by-products and evaluating their effectiveness in improving soils and related materials. This study aims to address issues related to limiting landfilling and CO₂ emissions while producing high-quality materials suitable for civil and environmental engineering applications. Some of the results achieved from the research project are presented here.

Three sustainable binders—eggshell-derived lime (with and without the addition of fly ash), waste marble powder, and aluminosilicate mud sourced from ornamental stone processing—were used to stabilise different types of soils, including low-plasticity clayey silt with medium-high sensitivity, high-plasticity clays, and monomineralic clays (e.g., bentonite). The performance of these binders was assessed by comparing the mechanical and hydraulic behaviour of treated soils with those treated using traditional binders. The results obtained so far are described regarding each type of sustainable binder.

Eggshell lime (EL)

Eggshell lime was produced by drying and grinding collected eggshells and then firing them in furnace at 900°C for 3 hours. The obtained lime showed the presence of calcium oxide, portlandite and a small amount of calcite. It met the requirements for hydrated lime for soil stabilization (ASTM C977-18) Details can be found in [7].

The so obtained binder was used to stabilize a clayey soil of low plasticity (3% sand, 97% fine, 39% clay – LL=40%, PI=20%) by adding 4% of EL in wet condition and compacting the sample (STD Proctor).

Results are compared with those of traditional quicklime (QL). By combining EL (alkaline activator) with fly ash, FA (precursor) also dredged sediments were treated to improve their sedimentation capability (placement in confined disposal facilities) and their mechanical characteristics.

Waste marble powder

Extraction of Perlato di Sicilia marble in the Custonaci area (Sicily, Italy) holds a prominent position in the global market for high-grade ornamental stone. The distinctive characteristics of this carbonate rock have driven substantial demand, with an estimated annual turnover of €100 million and approximately 90% of the extracted marble being exported worldwide. Of the total extracted volume (3×10^6 tons per year), only 20-25% is processed for market sale, while the remainder is classified as waste. A marble cutting sludge, which is primarily composed of calcium carbonate in an aqueous suspension, is generated from the cutting of rock using diamond blades and water jets, producing approximately 2×10^5 tons of waste annually. Disposal of this waste is both costly and environmentally detrimental. Two different potential techniques have been investigated to convert this waste into a sustainable chemical binder for clayey soil stabilization, including calcination and alkaline activation. The former considers a thermal process, i.e. firing in a muffle furnace at 900°C for 3 hours, while the latter consists of mixing raw marble powder, dried in laboratory conditions, with clay soil and sodium hydroxide-water solution. In each case, the soil-binder mixtures at different dosages are dynamically compacted using an appropriately selected energy level.

Aluminosilicate stone powder

An alkaline activation of silica-rich waste material from stone processing was investigated as a substitute for traditional cement in bentonite-based mixtures used to build plastic barriers. Experimental activities were aimed at identifying the optimal mixture and preparation methods to guarantee hydraulic and mechanical characteristics comparable with those of the more classic cement-bentonite mixtures. Oedometric and permeability tests were performed on various mixtures, and the results were compared with those performed on cement-bentonite mixtures. Several samples were prepared using a sodium-calcium bentonite (LL: 616%, PL: 42%,

Gs: 2.95) and a silicate-rich waste powder (<0.075 mm, Gs: 2.75) from stone processing in northern Italy. The alkaline activator comprised sodium hydroxide and sodium silicate ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} = 2.6$), mixed with water. Three mix ratios (P/B1.25, 2.5, 4.0) were tested. Dry powders were homogenised before adding the activator (51% silicate, 15% NaOH, 34% water). Mixing produced a uniform paste poured into moulds for oedometer and permeability. Curing occurred either at 20 °C (7–28 days) or at 35 °C for 72 hours in high-humidity conditions. Oedometer tests were conducted on various mixtures to evaluate their performance based on the effects of curing temperature, curing duration, and the aluminosilicate stone powder (precursor)-bentonite ratio. Oedometer tests on samples with identical precursor-to-bentonite ratios but cured at different temperatures showed that those cured at 35 °C developed an initial structure, exhibiting signs of pre-consolidation around 20 kPa. Conversely, samples cured at 20 °C demonstrated lower deformation under maximum load, especially with longer curing durations. Tests on mixtures with different precursor-bentonite ratios indicated that higher ratios caused greater initial deformation at low stress levels. However, increasing the precursor content generally decreased overall compressibility, leading to reduced deformation under final loading conditions. The most promising bentonite-geopolymer mixtures were compared with cement-bentonite mixtures from [5], which had C/B ratios of 4, 5, and 6 and were cured in water for 28 days. While cement-bentonite mixtures showed low settlements under low loads and increasing pre-consolidation pressures (30 to 160 kPa with higher cement content), the geopolymer-based mixtures exhibited noticeable initial deformation and lacked pre-consolidation behaviour. However, at higher stress levels, cement-bentonite mixtures were more compressible than the geopolymer ones, indicating better high-load resistance in the latter. The permeability tests were performed on three precursor-to-bentonite ratios mixtures and compared with hydraulic conductivity measurements published by [6] on cement-bentonite mixtures.

*Contatti: m.disante@staff.univpm.it; marco.rosone@unipa.it;
renato.cosentini@polito.it*

La riparazione dei danni ai corsi d'acqua: gli interventi a carico dei responsabili

Paola Di Toppa¹, Marina Cerra¹, Daniele Montanaro¹, Angela Sarni¹

¹ISPRA

Abstract

Le azioni contro i danni ambientali (previste dalla normativa di tutela introdotta dalla parte sesta del D.Lgs. 152/2006) impegnano lo Stato in una continua attività istruttoria che vede coinvolte diverse competenze centrali e locali. Tale attività, svolta con il supporto tecnico del Sistema Nazionale di Protezione Ambientale (di seguito SNPA, Sistema) che risponde alle numerose richieste del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (di seguito MASE, Ministero dell'Ambiente, Ministero) con puntuali approfondimenti tecnico-scientifici, ha assunto, negli ultimi anni, le forme di un controllo ambientale del territorio in particolari situazioni diffuse su scala nazionale e ha consentito la riparazione dei casi più gravi, attraverso un processo di internalizzazione dei costi che vede il responsabile dei danni intervenire per la riparazione in concreto.

Le richieste ministeriali di approfondimento tecnico-scientifico a cui il Sistema risponde riguardano azioni che lo Stato sta promuovendo in diverse fasi, sia in ambito amministrativo che giudiziario. Tutte le richieste sono inserite in un database gestito da ISPRA che attraverso la geolocalizzazione dei casi fornisce un quadro della distribuzione territoriale a livello nazionale. È in fase di sviluppo un portale GIS dedicato alle istruttorie di valutazione dei danni ambientali.

L'obiettivo del lavoro è quello di illustrare, attraverso la presentazione di tre casi reali di danni a corpi idrici superficiali, le indagini e gli interventi necessari per la riparazione in concreto dei danni ambientali. I tre casi si riferiscono a diverse fasi dei procedimenti amministrativi: la fase di accertamento dei danni, la fase di individuazione delle idonee misure di riparazione e la fase dei controlli nell'esecuzione degli interventi. Come detto, in tutti i casi le attività di accertamento, progettazione e realizzazione degli interventi, nonché

il controllo degli stessi, sono stati posti a carico del responsabile, secondo quanto previsto dagli articoli 305 e 306 del DLgs 152/2006. La normativa italiana, che recepisce la Direttiva 2004/35/CE, prevede, per l'attivazione delle azioni ministeriali, una fase di accertamento della sussistenza dei danni attestata sui criteri proposti dalle norme di settore che tutelano specifiche risorse naturali. Per ciascuna risorsa, in tal modo, è possibile valutare la significatività e la misurabilità del deterioramento prodotto dall'evento oggetto di accertamento. In particolare, sono valutati gli impatti a habitat e le specie protette, aree protette, acque e terreno. Per la complessa attività dell'accertamento tecnico, in riferimento alle suddette matrici ambientali viene presa a riferimento la Linea Guida SNPA del 2021.

*Contatti: paola.ditoppa@isprambiente.it,
marina.cerra@isprambiente.it, daniele.montanaro@isprambiente.it,
angela.sarni@isprambiente.it*

Progettazione e realizzazione di un impianto pilota per l'aggressione di una sorgente da contaminazione storica: area ex-clorometani, Stabilimento Bussi sul Tirino

Marco Petrangeli Papini¹, Paolo Ciampi¹, Bruna Matturro¹, Andrea Del Frate², Giuseppe Giuva²

¹ *Tireme Srl*, ² *Edison REGEA*

Abstract

Il Sito di Interesse nazionale di Bussi sul Tirino rappresenta uno dei più antichi insediamenti industriali in Italia. Il sito vede l'inizio della sua attività industriale alla fine del 1800. Nel 1902 fu avviato il primo impianto di elettrolisi del cloruro di sodio (il primo in Italia per la produzione di soda caustica, ipoclorito di sodio e acido cloridrico) e a partire dal 1905 e fino al 2007 ai sono succedute diverse produzioni di solventi clorurati (dall'iniziale produzione di tetracloruro di carbonio fino a tricloroetilene, dicloroetano e clorometani). All'interno dello stabilimento è presente la zona cosiddetta ex-clorometani nella quale è storicamente evidenziata la presenza di elevate concentrazioni di sostanze organoclorurate. Sulla base delle informazioni disponibili relative alla presenza di solventi clorurati", derivanti dalle numerose campagne di caratterizzazione e monitoraggio e dalla recente campagna di caratterizzazione integrativa, e in considerazione delle peculiari caratteristiche idrogeologiche, la tecnologia del Groundwater Circulation Well (GCW) è stata selezionata come potenzialmente applicabile per la bonifica dell'area in oggetto. Allo scopo di verificare la applicabilità alla piena scala e in accordo a quanto previsto dal D.Lgs, 108/2021, è stato proposta al MASE la realizzazione di un test pilota da realizzarsi in un'area identificata in base alla distribuzione spaziale della contaminazione in falda ricostruita anche tramite le indagini integrative MIP condotte sul sito e alle caratteristiche idrogeologiche e di accessibilità delle aree Il MASE ha dato parere favorevole e sono attualmente in corso le fasi di realizzazione ed allestimento dell'impianto.

Preliminarmente, è stata sviluppata una modellazione 3D multiscala: inizialmente a scala di sito, mediante l'integrazione di cartografia geologica e sondaggi virtuali, accoppiata al rendering volumetrico dei plume di contaminazione con stima dei volumi coinvolti; successivamente, l'attenzione si è focalizzata sull'area ex-clorometani, con una modellazione ad alta risoluzione.

L'estrazione del modello locale ha permesso l'integrazione dei dati MIP, essenziali per la delimitazione della sorgente secondaria di contaminazione. Sulla base di queste informazioni è stato quindi progettato l'impianto pilota basato sulla tecnologia dei Groundwater Circulation Wells (GCW), mirato alla mobilitazione di contaminanti invecchiati e alla riduzione della massa di solventi clorurati, con un impatto idrico significativamente inferiore rispetto ai sistemi tradizionali pump and treat.

Il modello 3D multisorgente risultante rappresenta non solo l'architettura geologica e lo scenario di contaminazione, ma costituisce anche uno strumento operativo e comunicativo che accompagna l'intero processo di bonifica, dalla caratterizzazione al monitoraggio. Grazie a un'interfaccia user-friendly, il modello concettuale digitale supporta le attività tecniche e facilita la comunicazione verso stakeholder e non esperti, consentendo di valutare le performance e la sostenibilità della strategia adottata. Il modello si configura come una piattaforma evolutiva, utile in tutte le fasi del ciclo di bonifica, promuovendo un dialogo trasparente tra tecnici, decisori e comunità, e favorendo strategie di intervento più efficaci e sostenibili.

Il test pilota, che comunque viene progettato con un modulo del possibile intervento alla piena scala, è costituito da 7 pozzi GCW con una disposizione esagonale e la presenza di un pozzo centrale.

Il test prevede inoltre la realizzazione di 7 pozzi multilivello utili per la valutazione sia della evoluzione delle celle di ricircolazione che per la valutazione della capacità di rimozione della sorgente secondaria attiva. Inoltre, saranno realizzati 4 pozzi per tomografia elettrica tridimensionale in foro (ERT) che consentiranno di approfondire la dinamica della contaminazione.

L'acqua estratta dai vari pozzi viene convogliata in una unità di trattamento costituita da stripper compatti. L'aria per lo stripping viene trattata in colonne a carboni attivi e ricircolata senza necessità

di emissioni in atmosfera. Il sistema di trattamento e re-immissione delle acque è collocato all'interno di un container mentre il sistema di trattamento dei gas è esterno allo stesso.

L'impianto è attualmente in fase di allestimento. In particolare, sono stati già realizzati i sondaggi in corrispondenza del posizionamento dei GCW che consentono la finalizzazione del posizionamento dei tratti fenestrati. Inoltre, l'acquifero è caratterizzato per la concentrazione di solventi organici come baseline prima dell'avvio dell'impianto. Sono state inoltre condotte numerose indagini microbiologiche e test di microcosmo per la valutazione della potenziale attività dechlorante presente nel sito. Nel corso dell'intervento saranno previste numerose indagini di caratterizzazione microbiologica per valutare la dinamica delle popolazioni microbiche e verificare l'eventuale transizione, successiva, ad un intervento di dechlorazione riduttiva biologica.

Contatti: marco.petrangelipapini@trireme.it

Lo stato delle bonifiche in Italia

Eugenia Bartolucci, Federico Araneo, Alessia Arelli, Chiara Fiori,
Luigi Marangio, Irene Rischia, Michela Serafini

¹ ISPRA

Abstract

MOSAICO, il sistema informativo nazionale sui siti contaminati, sviluppato da ISPRA nell'ambito del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) con il supporto di Regioni e Province Autonome, fornisce dati essenziali per monitorare l'avanzamento delle bonifiche in Italia, con particolare riferimento ai procedimenti di competenza regionale.

L'obiettivo di fornire un quadro completo e omogeneo a livello nazionale sull'avanzamento dei procedimenti di bonifica viene perseguito da anni e ciascun aggiornamento rappresenta un miglioramento in termini di qualità, omogeneità ed affidabilità.

Questo lavoro presenta un'analisi basata sui dati più recenti disponibili, aggiornati al 01 gennaio 2024, esaminando indicatori chiave, tra cui il numero di procedimenti avviati e conclusi, lo stato della contaminazione, l'estensione delle aree coinvolte, i progressi compiuti, la durata dei procedimenti e le modalità di chiusura.

Il numero totale dei siti oggetto di procedimento di bonifica di competenza regionale è 38.556 di cui 22.191 (pari al 58%) hanno concluso il procedimento mentre 16.365 (pari al 42%) hanno un procedimento in corso.

Il territorio nazionale consta di 7.899 Comuni (ISTAT, aggiornamento al 01/01/2024); di questi, 5.039 (pari al 64%) sono interessati da almeno un procedimento di bonifica, 3.619 (pari al 46%) da almeno un procedimento di bonifica in corso e 3.681 (pari al 47%) da almeno un procedimento di bonifica concluso.

Il maggior numero di procedimenti di bonifica in corso si trovano in Lombardia, Campania e Toscana nei cui territori si concentrano il 53% dei procedimenti in corso nazionali.

Per quanto riguarda i procedimenti conclusi, in Lombardia e Toscana si trovano il 56% dei procedimenti conclusi nazionali. Nelle altre

Regioni/Province Autonome il numero di procedimenti conclusi è sempre inferiore al 10% del totale nazionale.

Il progresso nella gestione dei procedimenti in corso, per i dati aggiornati al 01/01/2024, mostra una netta prevalenza della fase di attivazione del procedimento (59%) seguita da una distribuzione equi ripartita tra le due fasi successive del procedimento: formulazione del modello concettuale (21%) e intervento (20%).

I procedimenti di bonifica si sono conclusi nel 70% dei casi a seguito di indagini, non avendo necessitato di interventi di bonifica, e nel 30% a seguito di interventi di bonifica.

Lo stato della contaminazione risulta definito per il 97% dei siti con procedimento in corso e per il 98% di quelli con procedimento concluso. Di tali siti (37.597, pari al 97,5% del totale), il 14,3% (5.502) è in attesa di accertamenti, il 16,6% (6.400) è potenzialmente contaminato, il 10,3% (3.974) è contaminato mentre il 56,3% è non contaminato (21.721). Per i procedimenti rimanenti lo stato di contaminazione è non noto o non coerente con lo stato del procedimento.

I siti contaminati rappresentano circa il 25% dei siti con procedimento di bonifica in corso.

La superficie amministrativa interessata da procedimenti di bonifica, intesa come la superficie afferente all'intera area oggetto del procedimento amministrativo, è pari a 45.474 ettari ed è disponibile per il 56% dei procedimenti. La superficie tecnica, corrispondente altresì all'area interessata dalla potenziale contaminazione o dalla contaminazione, è pari a 11.457 ettari ed in questo caso è stata indicata per il 30% dei procedimenti. Per il 62% dei procedimenti è stato fornito almeno un dato di superficie (amministrativa o tecnica). L'analisi sulla durata dei procedimenti è stata eseguita suddividendo il dataset di 14.916 procedimenti in tre classi in funzione della modalità di chiusura del procedimento: procedimenti conclusi con autocertificazione a seguito delle sole indagini preliminari (n=8.457), procedimenti conclusi a seguito di modello concettuale (n=2.484) e procedimenti conclusi a seguito di intervento di bonifica/MISO/MISP (n=3.974).

Il confronto tra le tre distribuzioni è mostrato attraverso grafici box-plot in cui i campioni che eccedono la durata indicata dal baffo superiore non rappresentano outliers.

La mediana dei tempi di conclusione dei procedimenti a seguito di notifica è di 8 mesi, come atteso, sensibilmente più bassa di quella dei procedimenti conclusi a seguito di modello concettuale (39 mesi) e a seguito di intervento (46 mesi).

Le durate dei procedimenti conclusi con l'autocertificazione sono poco rappresentative in quanto risentono, a parere degli scriventi, di un certo ritardo legato alla registrazione della data di conclusione rispetto al termine effettivo.

Per quanto riguarda i procedimenti conclusi a seguito della formulazione del modello concettuale, i tempi relativi ai percentili più bassi, ovvero sia quelli con tempi di chiusura più veloci, risultano essere circa la metà di quelli dei procedimenti conclusi con intervento; con l'aumento dei percentili le durate tendono ad avvicinarsi a quelle dei procedimenti conclusi con intervento, con il 75° percentile che già presenta durate superiori rispetto a quelle dei procedimenti conclusi tramite intervento.

Contatti: eugenia.bartolucci@isprambiente.it

ISSF, ISCO, ISCR Applicazione a scala reale ad un sito produttivo complesso

Guido Piepoli

¹ *ASTC Remediation srl*

Abstract

ASTC Remediation dispone di un'esperienza unica nel settore delle bonifiche in situ, in quanto opera con queste tecnologie da oltre 20 anni. Il progetto di cui il presente documento è stato sviluppato in collaborazione stretta con il cliente, per condividere sia le scelte tecniche sia le motivazioni ad esse associate.

Il sito è uno stabilimento produttivo con lavorazioni meccaniche sia di tornitura, sia galvaniche, dove è richiesta un'intensa manodopera specializzata di alto profilo.

Tutte le attrezzature, gli impianti ed i macchinari utilizzati sono a controllo numerico ed operano a ciclo chiuso, recuperando sia gli scarti delle lavorazioni, sia i fluidi refrigeranti/lubrificanti.

La sequenza delle lavorazioni e, di conseguenza la posizione degli impianti, è mutata negli anni; pertanto, il sito presenta la commistione di tipologie di contaminazione differenti: Cromo esavalente; Solventi clorurati; Idrocarburi pesanti.

Il Cliente ha intrapreso un progetto temerario ed estremamente articolato con processi in situ sinergici (ISCO/ISSF) ed antagonisti (ISCO/ISCR), per raggiungere gli obiettivi di bonifica senza interferire con le attività produttive.

Suddiviso in fasi, il progetto si è articolato in:

- In Situ Soil Flushing con tecnologia di Surfactant Enhanced Oil Recover:

Attraverso la circolazione di una soluzione di tensioattivo, viene ridotta la massa libera di contaminante, inoltre viene favorito il fenomeno didesorbimento dei composti adesi al terreno.

- In Situ Chemical Oxidation ed In Situ Chemical Reduction: La contaminazione residua da sostanza organica viene ossidata, originando la lisciviazione dei metalli, pertanto, nei pozzi barriera di valle al trattamento, vengono dosati composti riducenti per immobilizzare questi composti.

Attualmente la prima fase (ISSF) è operativa su un'area complessiva di circa 9'500 m², mentre è stato eseguito e completato con successo il test di seconda fase su un'area di circa 700 m².

E' stato progettato, realizzato e brevettato un impianto semi-automatico, dove le funzioni potessero essere regolate e monitorate da una postazione di controllo remota. La versatilità del sistema consente l'applicazione di differenti reagenti, in funzione delle specifiche esigenze del sito di bonifica.

Il livello di falda ha un'escursione variabile, da -3.50m fino a circa -4.50m da piano campagna, in funzione della stagionalità e degli eventi meteorici. La contaminazione ha rappresentato una sfida progettuale, in quanto nei pozzi di monitoraggio sono stati riscontrati livelli di contaminanti dell'ordine di 30÷200cm di prodotto libero (DNAPL).

Attualmente il target di bonifica è la completa rimozione del prodotto libero e, successivamente, il progressivo raggiungimento delle CSC ex D. Lgs. 152/06.

L'impianto di trattamento delle acque emunte lavora con un'efficienza media del 99,95%: mediamente l'acqua in ingresso all'impianto ha un tenore di idrocarburi superiore ai 2 g/l, mentre dopo il trattamento si ha una quantità media di 73 µg/l.

Lo spessore di DNAPL si è progressivamente ridotto a pochi millimetri fino a scomparire definitivamente nelle aree dove è stato eseguito il campo prove di ossidazione.

Nell'area del campo prove ISCO, le attività sono state ultimate e sono in corso gli accertamenti analitici.

Durante il campo prove, non si sono verificate alterazioni della concentrazione del cromo esavalente, grazie alla duplice attività di ossidazione della sorgente e a quella della riduzione nel plume.

Contatti: guidopiepoli@astc.it

Descrizione del sistema integrato e-Gom per la bonifica di siti inquinati

Domenico Natoli¹, Stefano Leo², Alessandro Scigliano³

¹ ASEA S.r.l.

Abstract

Alla luce dei nuovi risultati riportati nella letteratura di settore e inerenti le tecniche ideate per aumentare e accelerare significativamente la mobilizzazione e la rimozione della contaminazione presente nel sottosuolo in area sorgente, si propone in questo lavoro l'applicazione integrata fra le più efficienti tecnologie sviluppate negli ultimi decenni.

Si propone, in particolare, l'uso concomitante della Groundwater Circulation Well (GCW) e della In-Well Vapour Stripping (IWVS), associabili ad altre tecnologie; l'efficacia di questi sistemi integrati potrà essere garantita mediante l'adozione di soluzioni impiantistiche di ultima generazione. ASEA ha ideato diversi reattori con lo scopo di ricreare nel pozzo stesso le condizioni ideali di processo.

La GCW è stata concepita per la mobilizzazione dei contaminanti presenti in area sorgente ubicata in falda, poco, o per nulla, recuperabili dai sistemi di pompaggio tradizionali (e.g. P&T). Per tale applicazione è necessario l'impiego di una o più pompe all'interno di un pozzo che, unitamente all'installazione di uno o più packer, consentono il pompaggio, il trattamento e la reimmissione di acqua dell'acquifero in differenti sezioni filtranti del pozzo stesso. Nel dettaglio tale configurazione consente la creazione di gradienti idraulici verticali con la conseguente generazione di celle di ricircolo intorno al pozzo di bonifica; tale fenomeno permette all'acqua, all'interno del ROI del pozzo, di muoversi sia orizzontalmente che verticalmente e, quindi, di attraversare costantemente con più efficienza anche strati a bassa permeabilità

Un sistema integrato tipo E-GOM in area sorgente può apportare elevati tassi di rimozione della contaminazione grazie ai concomitanti effetti di: (i) strippaggio dei composti volatili, (ii) ossidazione di

contaminanti, (iii) stimolazione della flora microbica aerobica mediante ossigenazione diretta delle acque, (iv) aggregazione di particelle idrofobiche, (v) separazione dalla soluzione di sostanze tensioattive, (vi) recupero di surnatanti e/o soluzioni con tensioattivi (e.g. PFAS). Gli effetti dei sistemi E-GOM possono essere assimilati all'impiego combinato di un impianto di bonifica e di chemicals, consentendo però un grado nettamente maggiore di regolazione e controllo del processo di risanamento dei siti inquinati a costi più contenuti.

FOAMFLEX: tecnologia innovativa per la gestione degli oil spill

Alessandro Taini

¹ Test1 S.r.l. SB

Abstract

L'inquinamento da idrocarburi, sebbene spesso associato a grandi incidenti, si manifesta frequentemente anche con sversamenti minori. Tali eventi rappresentano un grave rischio ambientale ed economico per le imprese coinvolte. La gestione efficace degli oil spill è quindi cruciale per garantire sostenibilità, conformità normativa e protezione ambientale. L'obiettivo di questo studio è valutare le prestazioni del materiale FoamFlex, una spugna poliuretanica idrofoba e oleofila riutilizzabile fino a 200 volte, sviluppata da T1 Solutions, come alternativa sostenibile ed efficace agli assorbenti tradizionali a base di polipropilene (PP), confrontandone la resa, il recupero dell'olio, i costi e l'impatto ambientale.

La metodologia adottata prevede un approccio olistico di comparazione tra FoamFlex e benchmark di mercato quali PP e skimmers. Sono stati svolti test di assorbimento statico su diesel e greggio, prove in vasca con onde simulate a diverse frequenze e analisi di laboratorio per valutare la capacità di riutilizzo, la selettività di assorbimento, e il tasso di recupero dell'olio. Le prove si sono basate su protocolli pubblicati su Journal of Environmental and Chemical Engineering e Marine Science and Engineering e su protocolli adottati presso US National Oil Spill Response & Renewable Energy Test Facility. Sono stati utilizzati anche dati LCA, svolto da RINA, per confrontare l'impatto ambientale tra FoamFlex e Polipropilene, focalizzandosi su rifiuti generati e emissioni di CO₂. Le performance di FoamFlex sono state valutate anche in scenari reali, tra cui emergenze ambientali e test operativi su impianti industriali, raffinerie e navi.

I risultati dimostrano che FoamFlex assorbe fino a 25 g/g di olio e mantiene una resa costante anche dopo 200 cicli di utilizzo. Nei test statici su diesel, la saturazione avviene in 6-8 secondi con un recupero del 90% delle proprietà assorbenti dopo la strizzatura. In ambienti

marini simulati (vasche con onde al 10% e 50% di intensità), la capacità media di assorbimento varia tra 15 g/g e 19,8 g/g, con cinetica completa in appena 2 minuti. Il materiale ha inoltre dimostrato di non assorbire detriti né generare emulsioni, facilitando la gestione dei rifiuti e la rigenerazione del materiale recuperato. Il confronto con il PP ha evidenziato un vantaggio economico già dopo 4 cicli di utilizzo, una riduzione del 99,8% delle emissioni di CO₂ e una drastica diminuzione dei rifiuti pericolosi generati. L'efficacia è stata confermata anche in interventi reali, come quello al porto di Gran Tarajal (Tier 3), dove 57 tonnellate di olio sono state recuperate in 3 giorni da 8 operatori non specializzati, contro i 0,5 tonnellate recuperate con skimmer tradizionali. I test OHMSETT condotti con BP hanno evidenziato che il sistema skimmer Falcon1, che integra FoamFlex, recupera fino all'80% di olio con solo il 10% di acqua, superando nettamente i risultati dei tradizionali skimmer (Weir, Brush, Romop), che trattengono fino al 92% di acqua.

Contatti: a.taini001@t1.solutions

Analisi del contesto attuale della gestione rifiuti in Italia

Samuele Scotti¹, Donato Lucadamo¹, Alessandra Russo¹, Lucia Mastacchini¹, Federico Villani², Silvia Frisario², Chiara Michelotti², Carla Gambino², Rosario Pappa²

¹ Stantec S.p.A., ²Eni Rewind S.p.A.

Abstract

Il presente studio si inserisce nell'ambito del progetto "RETURN – Multi-risk science for resilient communities under a changing climate", con particolare riferimento al WP4 – Task 5.4.4 "Towards a circular metabolism for urban and metropolitan settlements" ed è stato svolto in collaborazione con Eni Rewind. L'obiettivo è stato quello di fornire un'analisi integrata della gestione dei rifiuti in Italia e in Europa, con un focus su cinque flussi strategici: rifiuti da costruzione e demolizione (C&D), rifiuti contenenti amianto, terre e rocce da scavo, rifiuti urbani e fanghi da trattamento delle acque reflue civili. In particolare, l'analisi ha permesso di evidenziare criticità, buone pratiche e prospettive di miglioramento in ottica di economia circolare e sostenibilità ambientale.

L'analisi è stata condotta attraverso l'elaborazione di dati ufficiali provenienti da fonti pubbliche nazionali (ISPRA, ARERA) ed europee (Eurostat, OCSE), integrati con riferimenti normativi e tecnici, principalmente relativi al contesto nazionale italiano e comunitario europeo. Per ciascun flusso di rifiuti, compatibilmente con le fonti visionate ed i dati accessibili al momento dello studio, sono stati esaminati: volumi prodotti, modalità di gestione, distribuzione impiantistica, criticità operative e quadro normativo di riferimento. L'approccio è stato comparativo tra contesto italiano ed europeo, con particolare attenzione agli obiettivi di recupero e riduzione del conferimento in discarica.

Rifiuti da costruzione e demolizione (C&D)

EER 170101, 170302, 170405, 170904

In Italia, la produzione di rifiuti da C&D ha raggiunto circa 80 milioni di tonnellate nel 2022, con un tasso di recupero del 79,8%, superiore

all'obiettivo UE del 70%. A livello europeo, il tasso medio di recupero è dell'89%, ma con forti disparità tra Stati membri. Le principali criticità connesse al riciclo e riutilizzo dei materiali C&D è relativa alla mancanza di fiducia sulla qualità dei materiali riciclati, derivanti dalla carenza di indicazioni normative, alla maggiore competitività economica dei materiali vergini e alla mancanza di chiarezza sugli adempimenti REACH connessi alla gestione dei materiali.

Rifiuti contenenti amianto

EER 17 06 01, 17 06 05*, 15 02 02*, 16 01 11*, 15 01 11*, 16 02 12*, 10 13 09*, 06 07 01*, 06 13 04**

La gestione dei rifiuti contenenti amianto rappresenta una questione di grande rilevanza ambientale e sanitaria. Nel 2022, in Italia sono state prodotte 243.000 tonnellate di rifiuti contenenti amianto, gestite prevalentemente tramite smaltimento in discarica (89,8%). Le discariche autorizzate sono solo 17, con una distribuzione geografica disomogenea. Le principali criticità riguardano quindi la carenza di siti di smaltimento e la necessità di individuazione di nuovi siti di destino, la mancanza di dati omogenei a livello nazionale e la necessità di sviluppare nuove tecnologie di inertizzazione dell'amianto, alternative allo smaltimento. A livello europeo i dati sull'amianto sono spesso aggregati ad altre tipologie di rifiuti minerali e non sono state individuate statistiche specifiche.

Terre e rocce da scavo

EER 17 05 03, 17 05 04*

Le terre e rocce da scavo costituiscono una quota significativa dei rifiuti da C&D. In Italia, nel 2022 sono state prodotte oltre 18,5 milioni di tonnellate, con un tasso di recupero superiore all'80%. Tuttavia, per le terre contenenti sostanze pericolose, la gestione è più complessa e spesso si ricorre all'esportazione verso la Germania. A livello UE, solo il 35% viene riciclato, mentre il 25% è ancora smaltito in discarica ed il restante 40% viene impiegato come materiale di riempimento. A livello nazionale sarebbe necessaria l'autorizzazione di nuovi siti per lo smaltimento delle terre pericolose ed in generale sarebbe opportuno sviluppare tecnologie di trattamento per il riutilizzo delle terre pericolose.

L'analisi svolta ha mostrato come le modalità di raccolta dei dati a livello nazionale (essenzialmente tramite MUD) non consenta di fare specifiche valutazioni sulle terre provenienti da siti in bonifica.

Rifiuti urbani

La gestione dei rifiuti urbani rappresenta una sfida cruciale per le città italiane ed europee. Nel 2022, la produzione di rifiuti urbani in Italia ha superato i 29 milioni di tonnellate, con una gestione ancora frammentata e un deficit impiantistico marcato nel Centro-Sud. Il 52% dei rifiuti urbani prodotti viene inviato agli impianti di recupero dei materiali per il trattamento delle raccolte differenziate. Il 18% dei rifiuti urbani prodotti viene incenerito e la medesima percentuale viene destinata allo smaltimento in discarica. I trattamenti intermedi di selezione e biostabilizzazione, il coincenerimento, il compostaggio domestico e l'impiego per la copertura delle discariche riguardano invece in totale il 9% dei rifiuti urbani prodotti in Italia. Infine, l'esportazione di rifiuti urbani è stata pari al 3% della produzione totale nel 2022, con destinazioni principali in Germania, Austria e Paesi Bassi. Alla luce di quanto osservato anche a livello europeo, dove si osservano forti differenze nella gestione dei rifiuti tra i diversi Stati membri, la principale criticità risulta la difficoltà di chiudere il ciclo dei rifiuti a livello territoriale, a causa soprattutto della frammentazione verticale (numerosi operatori a valle ed a monte della catena) ed orizzontale (gli operatori hanno un raggio di azione a livello comunale) degli operatori del settore.

Fanghi da trattamento di acque reflue civili

EER 19 08 05

Nel 2022, in Italia sono stati gestiti circa 3 milioni di tonnellate di fanghi, di cui il 54,2% è stato inviato per operazioni di smaltimento ed il 43,4% invece è stato soggetto ad operazioni di recupero. Il restante 2,4% è rimasto in giacenza a fine anno. Le principali modalità di riutilizzazione dei fanghi risultano essere: lo spandimento in agricoltura, compostaggio, digestione anaerobica e l'incenerimento con recupero di energia. L'ultimo aggiornamento della direttiva UE 91/271/EEC relativa alla gestione di questa tipologia di rifiuti impone entro il 2045 l'adozione di trattamenti avanzati per la rimozione dei microinquinanti e l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili per

alimentare gli impianti con un carico pari o superiore a 10.000 abitanti equivalenti. Si sottolinea come sia in corso lo sviluppo di tecnologie emergenti finalizzate al recupero di nutrienti e alla produzione di materiali innovativi come bioplastiche, mattoni, carbone attivo e materiale vetroso: viene quindi confermato come sia fondamentale continuare a promuovere la ricerca e l'innovazione in questo settore per garantire una gestione sostenibile dei fanghi.

Contatti: samuele.scotti@stantec.com

Accoppiamento di un modello idrogeochimico digitale e di una barriera idraulica virtuale con GCW: un'alternativa sostenibile al p&s/p&t per la bonifica e il contenimento di plume contaminanti

**Marco Petrangeli Papini¹, Damiano Feriand¹, Paolo Stigliano²,
Riccardo Mozz², Paolo Ciampi¹**

¹ Università di Roma "La Sapienza, ²CESI

Abstract

Nel contesto della bonifica di siti contaminati da solventi clorurati, la definizione accurata del Modello Concettuale del Sito (MCS) rappresenta un prerequisito essenziale per selezionare strategie efficaci e sostenibili. I sistemi GCW (Groundwater Circulation Wells), tradizionalmente impiegati per il source control, sono stati in questo caso utilizzati in modo innovativo come barriera idraulica virtuale per intercettare un plume di contaminazione originato da una sorgente esterna al sito. L'obiettivo del presente lavoro è duplice: da un lato valutare l'efficacia e la sostenibilità della tecnologia rispetto a soluzioni tradizionali quali il pump-and-treat (P&T) e il pump-and-stock (P&S); dall'altro evidenziare il ruolo determinante dell'affinamento del MCS, che ha condotto alla transizione procedurale da messa in sicurezza a misure di prevenzione.

Le campagne di monitoraggio, condotte attraverso una rete piezometrica multilivello e piezometri tradizionali, hanno evidenziato una significativa riduzione delle concentrazioni di TCE all'interno e a valle della barriera, con abbattimenti superiori al 99% nei principali punti di controllo localizzati all'interno del raggio di influenza. Tali risultati confermano l'efficacia del sistema nell'intercettare la plume contaminata e nel limitare la migrazione dei contaminanti verso le porzioni più profonde e sensibili dell'acquifero. Rispetto ai tradizionali approcci di Pump & Stock, il sistema GCW si distingue per il consumo pressoché nullo di risorsa idrica. La totalità dell'acqua estratta viene trattata e reimpressa: quindi, a differenza del P&S — dove grandi volumi d'acqua sono destinati allo smaltimento — con i GCW non si

sottrae risorsa idrica alla falda, né si generano acque di scarto, garantendo un'impronta ambientale estremamente contenuta. Questo approccio, unito all'affinamento del MCS, ha permesso di ridefinire completamente il percorso procedurale: da misure di contenimento statico a una strategia dinamica e preventiva, con benefici ambientali, tecnici ed economici. Il caso conferma come l'integrazione tra tecnologia avanzata e caratterizzazione ad alta risoluzione costituisca una leva decisiva per una bonifica efficace, adattiva e sostenibile.

Contatti: marco.petrangelipapini@uniroma1.it

Approccio di bonifica integrato su un punto vendita carburanti attivo

Elena Di Carlo¹, Stella Lucifora¹, Claudio Carusi¹

¹ *Mares S.r.l.*

Abstract

Sul sito è in corso un procedimento ambientale e costituisce un'area, in cui per anni è stata svolta attività di distribuzione carburanti. A seguito di attività di indagine ambientale, è stata evidenziata una contaminazione localizzata nel suolo profondo e nelle acque sotterranee, principalmente a carico di idrocarburi e composti aromatici.

L'obiettivo principale di questo progetto è quello di restituire l'area a condizioni di sicurezza ambientale, pur mantenendo l'attività del punto vendita carburanti, adottando quindi un approccio di bonifica integrato. Lo scopo è duplice:

- abbattere i contaminanti al di sotto dei limiti normativi e dei valori di rischio sanitario calcolati per l'uso commerciale;
- prevenire la migrazione della contaminazione verso aree esterne e recettori sensibili.

Il progetto si sviluppa attraverso un insieme coordinato di tecnologie di bonifica, selezionate sulla base di criteri tecnico-economici e in base alla specifica natura della contaminazione. Nello specifico hanno incluso:

- Pump & Treat (P&T): sistema avviato per estrarre l'acqua contaminata e trattarla prima dello scarico in pubblica fognatura, evitando così che il "plume" dei contaminanti si diffondesse. Il P&T ha inoltre funzione di barriera idraulica, proteggendo quindi la falda a valle.
- Soil Flushing: ha previsto l'iniezione nel sottosuolo di una miscela di tensioattivi biodegradabili capace di solubilizzare i contaminanti adsorbiti nei pori del terreno, rendendoli mobili e disponibili all'estrazione. L'attività è stata realizzata in più punti, sia nel suolo saturo sia nella frangia capillare.
- ISCO (In Situ Chemical Oxidation): tecnica che prevede l'iniezione diretta nel sottosuolo di una miscela composta da persolfato di sodio

e da un attivatore a base di perossido di calcio, che ossidano chimicamente i contaminanti, degradandoli. L'intervento è stato effettuato nella zona serbatoi mediante 18 punti di iniezione.

- Bioremediation: stimolazione dei microrganismi autoctoni sfruttando la loro naturale capacità di degradare gli inquinanti in un processo completamente biologico, producendo sottoprodotti innocui per la salute e l'ambiente.
- Monitoraggio ambientale e gestione rifiuti: per tutta la durata delle attività è stata mantenuta una rete piezometrica di monitoraggio, attraverso cui è stato possibile controllare i livelli di contaminazione e la qualità della falda. Le acque di spurgo e i materiali esausti (come i carboni attivi) sono stati gestiti come rifiuti, secondo la normativa vigente.

L'approccio adottato nel sito rappresenta un modello di bonifica integrata applicata ad un sito attivo, in cui l'intervento ambientale si è sviluppato in parallelo con l'attività di distribuzione carburanti, e ha permesso la gestione efficace della contaminazione presente nel sottosuolo, il mantenimento delle condizioni di sicurezza ambientale e sanitaria anche con il sito in funzione e l'impiego di tecnologie sinergiche, capaci di trattare sia le matrici solide sia le matrici liquide del sottosuolo.

Contatti: elenadicarlo@maresitalia.it

Analisi decisionale multi-criterio per lo screening di tecnologie di bonifica delle acque sotterranee

Francesco Todaro ¹, Daniele Scaringi ¹, Gabriella Nasca ¹, Ilenia Farina ², Francesco Colangelo ², Michele Notarnicola ¹

¹ Politecnico di Bari, ² Università di Napoli Parthenope

Abstract

La bonifica delle acque sotterranee è attualmente una tematica prioritaria, sia a livello europeo che nazionale. Difatti, lo sviluppo industriale e l'agricoltura intensiva sono cause della contaminazione delle acque sotterranee; fenomeno che compromette l'idoneità della risorsa idrica per diversi scopi (ad esempio, per uso idropotabile) e comporta un elevato rischio per la salute umana e la salvaguardia dell'ambiente (Wu et al., 2016).

Generalmente, la selezione della tecnologia di bonifica più adatta ad un determinato sito avviene in funzione delle caratteristiche specifiche del luogo (e.g., parametri idrologici e chimici), delle opinioni degli stakeholders e delle risorse finanziarie. Risulta, inoltre, importante considerare la durata dei processi e la produzione di eventuali residui. In questo contesto l'analisi multi-criteriale (Multi-Criteria Decision Analysis – MCDA) risulta un valido strumento per la sistematizzazione delle informazioni raccolte e la selezione della migliore soluzione progettuale in funzione di diversi parametri. Di fatto, nel campo della bonifica dei siti contaminati, tale metodologia rappresenta uno strumento valido ed efficace in contesti dinamici – dove è cruciale l'interazione tra decisori e stakeholders – per rendere il processo decisionale affidabile (Cinelli et al., 2021; Labianca et al., 2020; Carroll et al., 2024).

Il presente studio presenta l'applicazione di un metodo di analisi multi-criteriale per l'individuazione delle migliori tecnologie di bonifica dell'acquifero contaminato di un Sito di Interesse Nazionale presente in Regione Puglia.

Risolvendo la matrice si ottengono i valori dell'indice C_i^* (Relative Closeness to the ideal solution), che rappresenta la vicinanza alla

soluzione ideale. Per ogni scenario ipotizzato è necessario ordinare in modo decrescente i suddetti valori per poter desumere i ranking finalizzati all'identificazione della migliore tecnologia applicabile. Dall'analisi di scenario emerge che la migliore tecnologia applicabile in situ sia quella delle PRBs; posizioni significative sono ricoperte dai processi di Phytoremediation e dalla tecnologia innovativa dei Groundwater Circulation Wells (IEG Technologie GmbH, 2023). Le tecnologie ex situ presentano, in linea generale, indici di preferenza più elevati in funzione dello scenario. In particolare, le migliori tecnologie applicabili sono: Bioreattori, processi REDOX e il P&T.

In conclusione, l'approccio proposto ha previsto l'impostazione di uno strumento di supporto al processo decisionale (i.e., Decision Support Tool, DST) basato su un'Analisi Multicriteriale di tipo deterministico. Tale approccio si basa sull'utilizzo di un valido strumento che può essere applicato in contesti dinamici e adattato ai nuovi sviluppi tecnologici e normativi, assistendo i decision-makers nella scelta dell'alternativa di bonifica più appropriata.

I risultati dello studio saranno verificati mediante test di trattabilità in scala pilota presso il Centro Ricerca, Innovazione, Trasferimento tecnologico e Sviluppo sostenibile per la Transizione ecologica della Società Smart SEA Srl, sito ad Acerra (NA).

Contatti: francesco.todaro@poliba.it

Bonifica full scale mediante tecnologia di desorbimento termico in situ di tipo conduttivo – Bussi sul Tirino (Pe)

Rodolfo Costa¹, Linda Rossi¹

¹ *Arcadis Italia Srl*

Abstract

Nell'ambito del SIN di Bussi Sul Tirino (PE) ARCADIS Italia Srl si è occupata di predisporre il Progetto Operativo di Bonifica in merito all'applicazione del desorbimento termico in situ. Il documento illustra in dettaglio la strategia di intervento sviluppata per la bonifica e la rigenerazione ambientale di un sito complesso. Tale strategia, mira a conseguire una completa riqualificazione dell'area attraverso interventi progressivi e integrati, garantendo il pieno recupero ambientale delle zone interessate. Il progetto si articola in una serie di attività chiave, che includono l'esecuzione di un test pilota di desorbimento termico, la rimozione di rifiuti nella zona sud del sito, indagini di caratterizzazione integrativa nella zona nord, studi dettagliati per affrontare fenomeni specifici, e la progettazione di interventi su larga scala.

Tra le attività iniziali, il test pilota di desorbimento termico, condotto tra marzo 2022 e luglio 2023, ha rappresentato un passaggio fondamentale per validare la tecnologia di bonifica proposta. I risultati del test hanno dimostrato una riduzione significativa delle concentrazioni di contaminanti, con una media complessiva di abbattimento pari al 97,5%. Nonostante l'efficacia generale, sono state rilevate alcune criticità in specifici orizzonti stratigrafici, dove la presenza di contaminanti persistenti, come Tricloroetilene, Tetracloroetilene, Esaclorobutadiene ed Esaclorobenzene, ha richiesto ulteriori approfondimenti per migliorare l'efficienza del trattamento. Una riduzione particolarmente limitata è stata osservata nel livello 9,5-10,5 metri dal piano campagna, con una percentuale di abbattimento pari a circa il 71%.

Gli interventi di rimozione dei rifiuti nella zona sud del sito, avviati nell'ottobre 2021, sono stati eseguiti conformemente al "Piano di

interventi di rimozione rifiuti” redatto sempre da Arcadis Italia. Parallelamente, le indagini di caratterizzazione integrativa sono state condotte nella zona nord del sito tra novembre 2023 e gennaio 2024, con l’obiettivo di raccogliere i parametri necessari per la progettazione e il dimensionamento dell’impianto di desorbimento termico su scala completa. Queste indagini, supervisionate dalle PP.AA, hanno fornito informazioni importanti per ottimizzare il modello concettuale del sito e pianificare interventi mirati.

Un elemento centrale della strategia di bonifica è stato lo studio di dettaglio di fenomeni specifici emersi durante il test pilota, tra cui la variazione della quota topografica nell’area di campo prova, attribuibile alla riduzione volumetrica del terreno a seguito del riscaldamento, e la ricondensazione dell’Esaclorobenzene negli strati più superficiali. Tali fenomeni hanno richiesto analisi approfondite per valutare le conseguenze e definire misure di gestione e minimizzazione degli effetti negativi.

La progettazione degli interventi su larga scala è stata basata su un quadro ambientale dettagliato, derivante dal modello concettuale del sito descritto nel Piano Operativo di Bonifica (POB) 2018 e dalle indagini di affinamento progettuale condotte nel 2023-2024 che hanno permesso d’implementare il modello concettuale che è stato completamente digitalizzato mediante utilizzo di software specifico quale EVS (Earth Volumetric Studio), ove è stato possibile rappresentare nella sua complessità sia la geologia che la distribuzione della contaminazione nell’orizzonte oggetto d’intervento. Inoltre, le misure di gestione/minimizzazione degli effetti negativi, stabilite sulla base degli studi di dettaglio, sono state integrate nella progettazione per garantire un trattamento efficace e sostenibile.

L’intervento progettato agirà sui terreni dei depositi palustri e sulle acque di impregnazione, accelerando il risanamento delle acque del deposito di travertino sottostante. Dalle indagini eseguite nel tempo è stato valutato che il contatto tra le acque dei depositi palustri e quelle dei depositi di travertino, con il conseguente possibile trasferimento della contaminazione, possa concretizzarsi esclusivamente lateralmente, lungo le pareti della conca, mentre, considerando la permeabilità estremamente bassa dei depositi palustri negli orizzonti più profondi, risulta meno probabile un trasferimento in direzione verticale direttamente dai limi argillosi

torbosi ai travertini sottostanti. Pertanto, l'intervento di desorbimento termico che sarà applicato al deposito palustre agirà anche sulle acque di impregnazione favorendo l'accelerazione del risanamento delle acque del deposito di travertino. Tali acque, attualmente, sono già oggetto di misure di prevenzione (MiPre) tramite un sistema Pump&Treat (P&T) che, nella configurazione attuale, prevede un pompaggio da n. 8 pozzi e il trattamento delle acque emunte in impianto dedicato.

In sintesi, la strategia rappresenta un approccio integrato e innovativo alla bonifica ambientale, combinando tecnologie avanzate, studi specialistici e misure di prevenzione per garantire la sostenibilità e l'efficacia del recupero del sito. L'applicazione su larga scala della tecnologia di desorbimento termico, unita a sistemi di monitoraggio e gestione, consentirà di raggiungere gli obiettivi di risanamento ambientale e di rigenerazione del territorio, contribuendo alla tutela delle risorse naturali e alla sicurezza delle infrastrutture circostanti.

Contatti: rodolfo.costa@arcadis.com

Dispersione di vapori e odori durante un intervento di scavo e smaltimento – studio del fenomeno e individuazione degli interventi di mitigazione

Claudia Costanzo¹, Paolo Berutti¹, Gianpiero Zaccone¹

¹ WSP Italia S.r.l

Abstract

Nell'ambito della progettazione della bonifica del terreno di un'area contaminata, sono emerse potenziali criticità legate all'emissione di sostanze volatili presenti nei terreni oggetto di bonifica ed interessati dalle operazioni di scavo. Per lo sviluppo della progettazione è stato dunque necessario procedere con lo studio del fenomeno e con l'individuazione delle possibili soluzioni per mitigare gli effetti di diffusione in atmosfera dei contaminanti volatili.

La metodologia di studio del fenomeno, per identificare le possibili modalità di gestione delle emissioni ha compreso, a partire dall'analisi del modello concettuale del Sito, i seguenti passi:

- screening per l'individuazione delle possibili soluzioni per la mitigazione della dispersione in atmosfera di sostanze volatili;
- indagini di approfondimento sulle emissioni di vapori;
- elaborazione di un modello matematico per l'analisi della dispersione di contaminanti in atmosfera;
- esecuzione di prove di emissività in sito;
- esecuzione di prove di rimozione dei volatili in laboratorio, per individuare il tasso di rimozione dei volatili in funzione dei parametri di maggiore interesse;
- identificazione dei possibili scenari di intervento.

L'insieme delle attività di indagine, dei test di laboratorio e della modellazione ha consentito di individuare i contaminanti principali, l'effetto dei principali parametri nella quantificazione del fenomeno e ha permesso lo sviluppo di un utile strumento modellistico per la gestione delle diverse sorgenti di vapori. Sono infine state definite con maggior dettaglio le operazioni da eseguire per la minimizzazione dell'emissione dei vapori. In particolare, per l'area di scavo, per

ciascuna delle operazioni più critiche, sono state identificate le principali misure di mitigazione, comprendenti l'uso di mezzi con cabine pressurizzate, fog cannon, cassoni coperti, scavi con sistema di copertura a seguire, uso di agglomeranti e slurry di copertura, ecc. Per consentire la gestione del terreno scavato, il desorbimento termico a bassa temperatura è infine stato individuato come la tecnologia da adottare per il pretrattamento del terreno, a valle del quale i materiali scavati possono essere gestiti secondo filiere di trattamento tradizionali.

Contatti: claudia.costanzo@wsp.com

Intervento di messa in sicurezza di un sito orfano a Torino per la sua restituzione alla cittadinanza come area ricreativa

Marta Bellini¹, Luna Maldi¹, Gianpiero Zaccone¹

¹ WSP Italia S.r.l.

Abstract

Con quasi 7 milioni di euro si potranno effettuare la bonifica e il ripristino ambientale dei primi 16 siti “orfani” del Piemonte, ovvero quelli potenzialmente inquinati per i quali o non è stato possibile individuare i responsabili oppure, se individuati, essi non hanno provveduto ad avviare o concludere gli interventi previsti. La Giunta regionale ha approvato lo schema di accordo con il Ministero per la Transizione ecologica per l’assegnazione dei finanziamenti nell’ambito del programma nazionale di bonifica definito con il decreto del 29 dicembre 2020. Al termine della ricognizione svolta dai settori tecnici regionali e della successiva individuazione di quelli rispondenti ai criteri di cantierabilità con priorità agli indici di rischio più alti, è stato stilato un elenco che comprende 6 siti in provincia di Torino, 3 in provincia di Alessandria, 3 in provincia di Cuneo, 3 in provincia di Novara e 1 a Vercelli. Con il Piano d’azione per la riqualificazione dei siti orfani, adottato con il Decreto del Ministro della Transizione Ecologica del 4 agosto 2022, si ripartiscono tra Regioni e Province autonome tali stanziamenti e si individuano gli specifici siti orfani oggetto di intervento. Per quanto riguarda il territorio di competenza della Città di Torino, sono stati individuati due siti, tra cui il sito denominato “Area Ex Cimi Montubi” c.a. 166 / “Aree comunali 2 e 3” c.a. 1774 (di seguito denominato “Cimi Montubi”) per il quale è previsto un intervento di riqualificazione mediante la realizzazione di un capping. L’area, storicamente interessata per lo più dalla presenza di attività agricole e vecchie cascine, è stata sede, a partire dal secondo dopoguerra, di attività di trasformazione degli inerti, discariche abusive di rifiuti urbani, ex inceneritori, attività produttive metallurgiche e chimiche – in parte dismesse – ed attività terziarie di vario genere, spesso tipiche delle aree marginali (come ad esempio gli autodemolitori). Inoltre, gran parte dei terreni del settore ovest, di cui

il Sito fa parte, sono stati utilizzati fino agli anni '80 come aree di conferimento di rifiuti industriali, costituiti prevalentemente da scorie di fonderia, divenendo delle vere e proprie discariche autorizzate. Per questo motivo l'intera area è caratterizzata da un'importante compromissione delle principali matrici ambientali (suolo e falda) imputabile a più sorgenti di contaminazione. Si segnala che le aree confinanti con il Sito, nella fattispecie l'area ex Rifometal ad ovest e l'area Stureco a nord sono state oggetto di messa in sicurezza permanente (MISP). In particolare, il capping su area Stureco è stato completato, mentre quello in area ex Rifometal è in corso di realizzazione. In merito all'area ex Deltasider il progetto di MISP è stato approvato al livello di PE ed attualmente è in corso di esecuzione. La MISP per il Sito, di conseguenza, è stata progettata in modo da porsi in continuità con gli interventi di messa in sicurezza già conclusi nei siti limitrofi o in fase di prossima realizzazione; nell'elaborazione dei particolari costruttivi, sia il PFTE sia il PE sono stati sviluppati ponendo particolare attenzione al raccordo tra i diversi capping delle MISP esistenti e/o progettati, al fine di garantire la continuità dello strato impermeabile su tutta l'area.

E' stato realizzato un progetto di riqualificazione di un'area finalizzato alla realizzazione del Parco Urbano e Fluviale, come previsto nel Piano Regolatore l'attuazione del Parco Urbano P17.

Inoltre nell'osservanza del principio DNSH, che ha lo scopo di valutare se una misura possa o meno arrecare un danno significativo ai sei obiettivi ambientali individuati nell'accordo di Parigi (Green Deal europeo), l'intervento di bonifica, in questo caso di messa in sicurezza permanente, fornisce un contributo sostanziale alla protezione e al ripristino della biodiversità e degli ecosistemi come definito del Regolamento (EU) 2020/852 e successiva integrazione avvenuta con Regolamento Delegato (EU) 2021/2139.

Contatti: luna.maldi@wsp.com

Use of multi-isotopic tools to trace landfill containment performance

*Sergio Gil-Villalba¹, Erica Oldani², Alice D'Angelo², Luca Alberti²,
Massimo Marchesi³*

¹ Isotope Tracer Technologies Europe S.r.l.; ²Politecnico di Milano, Department of Civil and Environmental Engineering, ³ Sapienza University of Rome, Department of Earth Sciences, Rome, Italy

Abstract

Landfills continue to play an essential role in waste management systems, yet its management can pose environmental challenges if not properly characterized. For this reason, advanced environmental monitoring is crucial to ensure that landfill barriers and systems are working as intended, to protect groundwater quality, and to support sustainable landfill management.

Isotopic fingerprinting investigations represent an advanced, multidisciplinary and high versatile approach in the environmental field, with important applications in environmental forensics. This integrated methodology is gaining increasing relevance, contributing to the strengthening of monitoring programs and the optimization of mitigation and contamination management strategies, especially at complex sites.

In the specific case of landfill sites, isotopic analysis offers an innovative approach that helps identify the origin of groundwater contamination, even in complex situations where multiple sources may be involved.

This presentation will show how different types of isotopes, for example, hydrogen and oxygen from water, carbon, nitrogen, sulfur and boron, can be used to gain useful insights into:

- how groundwater moves and whether it may carry contaminants from the landfill.
- what chemical processes may be affecting water quality.
- Whether the contamination is actually coming from landfill leachate or from other sources

Real case studies will be presented to demonstrate how this type of

analysis can support better decision-making in landfill monitoring and contamination management.

Keywords: Isotopic fingerprinting, Environmental forensics, landfill sustainability

*Contacts: sergiogilv@it2europe.com
erica.oldani@polimi.it, alice.dangelo@it2europe.com,
luca.alberti@polimi.it, massimo.marchesi@uniroma1.it.*

Framework per una valutazione integrata della circolarità e sostenibilità degli interventi di bonifica di siti contaminati

Petra Scanferla¹, Giulia Meneghin¹, Giorgia Di Carlo¹, Antonio Sellitri¹

¹ Fondazione Università Ca' Foscari

Abstract

Nell'ambito del progetto di partenariato esteso RETURN (multi-Risk sciEnce for resilientT commUnities undeR a changiNg climate), avente l'obiettivo di rafforzare, a livello nazionale, le filiere di ricerca sui rischi ambientali, naturali e antropici, è sorta l'esigenza di approfondire gli aspetti legati alla gestione sostenibile dei siti contaminati e alla sempre più urgente necessità di applicare metodologie e tecnologie meno impattanti e attente agli aspetti legati alla circolarità delle risorse impiegate. Tale urgenza deriva anche dalla vulnerabilità del contesto nazionale, che vede attualmente in corso circa 17.000 procedure di bonifica interessando aree potenzialmente affette da rischi per l'ambiente e la popolazione circostante. Il lavoro di ricerca ha portato a definire e testare un Framework utile quale strumento di supporto decisionale che, attraverso l'utilizzo di indicatori specifici, ha lo scopo di indirizzare le scelte progettuali in favore dell'individuazione della migliore soluzione che permetta di massimizzare i benefici dal punto di vista ambientale, sociale ed economico attraverso un processo decisionale condiviso con i portatori di interesse. Tale strumento inoltre individua indicatori legati alla valutazione delle performance dell'economia circolare, che attualmente rappresentano uno dei maggiori contributi alle politiche di sviluppo sostenibile.

È stato individuato un set di indicatori di circolarità composto da 16 indicatori derivati dalla norma UNI/TS 11820:2022[2], di cui 11 per entrambe le fasi ex-ante ed ex-post e 5 solo per la fase ex-post. Gli indicatori derivati dalla norma ISO 59020:2024[3] sono invece 9, di cui 4 per entrambe le fasi e 5 solo per la fase ex-post. Tali indicatori sono stati testati per individuare eventuali criticità attraverso l'applicazione a casi di studio reali. Il criterio fondamentale per valorizzare degli

indicatori e per rendere affidabile l'analisi, è risultato essere la disponibilità dei dati che, direttamente o indirettamente, devono essere accessibili a partire dalla redazione del progetto di bonifica. La specificità e la completezza del dato inoltre risultano fondamentali, essendo la valutazione di circolarità basata su dati di inventario relativi alla gestione del sito e non sugli impatti.

Sulla base della complessità di reperimenti dei dati a livello di progetto preliminare (ovvero quando viene fatta la valutazione per la scelta del miglior intervento da sviluppare a livello definitivo) dopo alcune verifiche di applicabilità e sulla base dei risultati derivanti dall'applicazione a casi di studio, è stata eseguita una ulteriore selezione degli indicatori di sostenibilità e circolarità, al fine di ottenere uno strumento semplificato che potesse essere utile alla definizione di un framework applicabile in un contesto nazionale e un unico quadro decisionale con l'obiettivo di orientare la scelta della strategia di intervento verso soluzioni di bonifica non solo sostenibili ma anche attente all'applicazione dei principi dell'economia circolare.

Contatti: petra.scanferla@unive.it

Realizzazione del confinamento laterale - MISO di un ex sito industriale

Giacomo Donini, Andrea Moroni, Emanuele Candiani

¹ AECOM Italia S.p.A.

Abstract

AECOM, in qualità di General Contractor, ha portato a termine la realizzazione di un barrieramento laterale presso un ex sito industriale. L'opera, parte integrante delle azioni di MISO delle acque sotterranee per il sito, ha l'obiettivo di integrare le molteplici azioni di emungimento localizzato in più settori dello stabilimento, limitando l'ingresso di acqua proveniente da sistemi idrologici ed idrogeologici differenti posti sul lato orientale, minimizzando anche il contatto con le porzioni contaminate del sottosuolo con le acque di falda. Un progetto molto sfidante per la complessa situazione geologica, idrogeologica ed idraulica presente.

Il barrieramento è stato realizzato per mezzo dell'infissione di un palancolato metallico lungo tutta la sponda destra del torrente che lambisce il sito in oggetto con profili lunghi fino a 19,5 m, integrato nelle porzioni di monte e di valle, con una paratia di pali secanti di diametro 880 mm in miscela bentonitica, realizzati fino ad una profondità di 22 m da p.c. In considerazione della eterogeneità dei litotipi presenti, la locale continuità del barrieramento è stata completata anche con iniezioni di miscela cemento-bentonite tramite jet-grouting.

L'intervento di confinamento ha uno sviluppo lineare di circa 600 m con una superficie di più di 7.300 mq; questo attraversa lo strato alluvionale e/o calcarenitico fratturato intestandosi di 2 metri nelle marne di base e/o nella formazione calcarenitica compatta sottostante.

L'opera è stata completata in meno di 2 anni, compresa l'impermeabilizzazione del versante dell'argine del sito per mezzo di un capping in HDPE, direttamente connesso al palancolato metallico

tramite una trave di testa in c.a. Il capping è stato poi protetto da gabbionate e Materassi Reno, che seguono armoniosamente la conformazione della sponda del torrente.

Contatti: emanuele.candiani@aecom.com

Progettazione per la messa in sicurezza dell'area Caveale del Parco di Torre del Fiscale a Roma

Grazia Moliterni¹, Antonio De Angelis¹, Riccardo Crespi¹

¹ *Eni Rewind*

Abstract

L'area caveale del Parco di Torre Fiscale (Comune di Roma) è caratterizzata da un sistema di gallerie realizzato in epoca romana per l'estrazione di materiale da costruzione (pozzolana). L'area sotterranea si estende dal Parco e raggiunge l'area residenziale adiacente. Gli usi recenti documentati sono stati rifugio antiaereo, come deposito e più recentemente come fungaia.

Il sito versa in uno stato di abbandono da anni ed è stato interessato da abbancamento illecito di rifiuti e da uno sversamento di sostanze oleose individuate ad una profondità di circa 17 m da p.c.. Alla luce di tale situazione, il Comando di Polizia Roma Capitale ha disposto il sequestro preventivo dell'area stessa nel 2016.

Lo studio condotto per conto di Roma Capitale ha avuto l'obiettivo di ricostruire la condizione del sito ed individuare le modalità operative di rimozione dei rifiuti considerando la natura dei rifiuti stessi, la logistica dei luoghi e gli aspetti HSE.

Lo studio è stato sviluppato attraverso step di approfondimento progressivi che hanno visto una prima fase di raccolta ed analisi documentale storica per ricostruire la mappatura della rete e della sua evoluzione spaziale rispetto al contesto abitativo ed una seconda fase operativa, di campo, per verifica ed integrazione delle informazioni di base al fine di individuare i driver della progettazione degli interventi di messa in sicurezza e rimozione degli olii.

La fase di analisi documentale ha evidenziato la presenza di una fitta rete sotterranea avente reticolo irregolare che si sviluppa per una lunghezza di circa 2.500 m all'interno della successione dei depositi vulcanici, in particolare tra l'orizzonte delle Pozzolane Nere ed il Tufo Cineritico.

Parte della rete caveale, soprattutto nelle porzioni distali rispetto agli accessi, è caratterizzata dalla presenza di crolli e distacchi delle pareti

e volte; voragini e/o sprofondamenti sono stati altresì amplificati antropicamente al fine di prevedere accesso diretto alla rete sotterranea per garantire ed agevolare l'abbandono illecito di rifiuti, oleosi e non.

Le analisi condotte sulla morfologia di dettaglio della rete sotterranea ricostruita in 3D dall'Associazione "Sotterranei di Roma" e derivanti da campagna di indagini dirette hanno attestato l'assetto stratigrafico dei luoghi, le caratteristiche chimico – fisiche di roccia e rifiuti e le caratteristiche delle matrici ambientali, permettendo l'elaborazione del Modello Concettuale del Sito utilizzato poi come riferimento per identificare le modalità operative d'intervento.

Il quantitativo atteso di morchie oleose da rimuovere è pari a circa 240 m³.

Date le limitazioni operative dettate dalla profondità dei luoghi di lavoro e dalla tipologia di contaminazione, sono stati individuati n.2 scenari di intervento, a diversa complessità tecnologica, che prevedono accesso alla rete caveale da camini che collegano le sale caveali con il piano campagna.

Le modalità operative prevedono:

- Scenario 1: lavorazioni mediante mezzi totalmente remotizzati da piano campagna;
- Scenario 2: lavorazioni remotizzate da piano campagna, con limitato intervento del personale operativo.

Gli scenari di intervento, a parità di risultato, bilanciano la durata degli interventi rispetto alla loro onerosità.

Contatti: grazia.moliterni@enirewind.com

Tecniche per la rimozione selettiva del boro: la sperimentazione nell'impianto trattamento acque di Priolo

Loredana Vitale, Gianluca Ilardo, Elisabetta Manis

¹ *Eni Rewind S.p.A.*

Abstract

Eni Rewind è la società ambientale del gruppo Eni. Considerando le attività afferenti alla linea Water, questo lavoro descrive i risultati di un test pilota svoltosi presso l'impianto di trattamento delle acque di falda situato nel sito di Priolo Gargallo (SR).

Priolo, in Sicilia, ospita uno degli impianti di trattamento acque di falda (TAF) più grandi di Eni Rewind. Come in altri siti localizzati in aree costiere, l'acqua di falda prelevata al limite della linea costiera è caratterizzata dalla presenza di acqua mare che, per sua caratteristica, porta un incremento del contenuto di Boro nelle acque da trattare nel processo con conseguente rischio di superare il limite della sua concentrazione allo scarico. Le attuali tecnologie che possono essere utilizzate per ridurre la concentrazione di Boro sono poco sostenibili e comportano la produzione di elevate quantità di fanghi di risulta.

Per ovviare a questa problematica, è stato effettuato uno scouting su diverse tecnologie innovative per il trattamento di acque borate. Tra le soluzioni analizzate, è stata individuata quella proposta dalla società americana ADS (ADvantageous Systems), testata in campo presso il sito Eni Rewind di Priolo Gargallo.

La tecnologia proprietaria ADS®. consiste in un'estrazione magnetica selettiva: particelle magnetiche vengono attivate con ricettori specifici per i contaminanti di interesse, in questo caso il boro. Un'altra possibilità è quella di incorporare i ricettori all'interno di letti filtranti. Il test è stato effettuato con questa seconda modalità, al fine di verificare l'effettiva interazione dei ricettori con il contaminante target (boro). Il flusso oggetto di sperimentazione è stato il rigetto dell'osmosi inversa (soluzione acquosa concentrata in uscita dal trattamento di affinamento salino delle acque).

La tecnologia si è dimostrata valida per quanto riguarda l'abbattimento del boro, passando da una concentrazione in ingresso compresa tra 900 e 2840 mg/l e una concentrazione in uscita compresa tra 386 e 50 mg/l, limite di rilevabilità dello strumento. Le concentrazioni in uscita sono molto inferiori al limite allo scarico pari a 2000 ppb. Ad oggi sono in corso valutazioni per verificare l'effettiva fattibilità tecnico-economica dell'iniziativa su larga scala, con portate dell'ordine di 30-40 m³/h.

*Contatti: loredana.vitale@enirewind.com;
gianluca.ilardo@enirewind.com;*

Il recupero ambientale della discarica fosfogessi ISAF di Gela e la discarica di Scopo per la gestione on site dei rifiuti Tenorm originati dal progetto di decommissioning ISAF Gela

Manlio Rossini¹, Paolo Faqiani²

¹Eni Rewind, Piazza Boldrini, 1 - 20097 San Donato Milanese (MI)

² Eni Rewind, Via Toniolo, 1 – 61032 Fano (PU)

Abstract

La discarica di fosfogessi ISAF di Gela (CL) insiste su un'area dell'estensione di circa 53ha, facente parte della perimetrazione del Sito di Interesse Nazionale di Gela. La discarica, di tipo "monomateriale" era asservita alle attività produttive dell'impianto di produzione Acido Fosforico della società ISAF (Industria Siciliana Acido Fosforico, 52% Eni e 48% Ente Minerario Siciliano) che ha cessato le attività produttive a giugno 1992 e dal 1993 è stata posta in Liquidazione ed ha avviato gli interventi di risanamento ambientale per la discarica di fosfogessi e per gli impianti industriali ubicati all'interno dell'isola 9 nello Stabilimento Multisocietario di Gela. L'intervento illustra le attività tecniche ed amministrative che hanno consentito sia la riqualificazione ambientale dell'area della discarica di fosfogessi - che dal 2013 fornisce alla rete nazionale energia rinnovabile da un parco fotovoltaico della potenzialità di 5 MW installato sulla copertura delle aree sommitali della discarica - sia la realizzazione ed esercizio di una discarica di scopo dedicata ai materiali contenenti TENORM ed MCA originati dal Decommissioning degli Impianti ISA.

Lo studio descrive gli elementi peculiari delle fasi progettuali ed esecutive e l'articolato iter amministrativo per l'ottenimento delle autorizzazioni per la realizzazione degli interventi di riqualificazione ambientale e per l'esercizio della discarica di scopo. Sono altresì richiamati gli aspetti tecnici della normativa di riferimento applicabile per la realizzazione delle discariche, D.Lgs. 36/2003 e D.Lgs.121/2020, nonché del Testo Unico Ambientale (D.Lgs.152/2006 e smi) e del Testo Unico di Radioprotezione (D.Lgs.101/2020 e smi).

Gli interventi progettati, autorizzati, realizzati ed in esercizio, dimostrano che un approccio sostenibile alla bonifica dei siti contaminati è possibile. Il risultato e cioè la realizzazione ed esercizio di una discarica per rifiuti non pericolosi contenenti TENORM da 140.000 mc secondo progetto approvato è stato conseguito grazie ad una attenta valutazione tecnica e amministrativa del contesto sito specifico oggetto degli interventi da progettare e attraverso un dialogo continuo, sia nelle sedi tecniche preliminari sia nelle sessioni decisorie istituzionali, con gli Enti e con gli organi tecnici chiamati ad istruire, valutare ed autorizzare i progetti presentati.

Keywords: (fosfogessi, TENORM, discarica, Gela, fotovoltaico)

Contatti: manlio.rossini@enirewind.com , paolo.fagiani@enirewind.com,

Impianto Hoop® Mantova – integrazione tra bonifica e sviluppo industriale

XXXXXX¹, XXXXXX¹

Roberta Amendola¹, Antonina Lutriⁿ

¹ *Eni Rewind, Piazza Boldrini, 1 - 20097 San Donato Milanese (MI) (speaker)*

² *Versalis, Via Giuseppe Taliercio, 14 – 46100 Mantova (MN) (speaker)*

Abstract

Il progetto dell'impianto pilota Hoop®, sviluppato da Versalis, si inserisce in un contesto strategico di innovazione industriale e sostenibilità ambientale. L'impianto è dedicato al riciclo chimico delle plastiche non riciclabili meccanicamente, attraverso la tecnologia Hoop®, basata su un processo di pirolisi. Tale processo consente la decomposizione termica dei polimeri plastici in assenza di ossigeno, generando molecole più semplici riutilizzabili nei cicli produttivi dell'industria chimica, in sostituzione delle attuali fonti fossili.

L'impianto è alimentato da scarti plastici già trattati nelle filiere di recupero esistenti.

L'impianto pilota è stato realizzato su un'area dello stabilimento Versalis di Mantova, estesa circa 5.000 mq e ricadente all'interno del Sito di Interesse Nazionale (SIN) "Laghi di Mantova". L'impianto è stato avviato nel giugno 2025.

Presso lo stabilimento di Versalis Mantova, sono in corso interventi di bonifica della falda mediante tecnologia MPE (Multi Phase Extraction), che consente l'estrazione simultanea di fase liquida, vapore e contaminanti volatili. Secondo quanto previsto dal Progetto di bonifica, approvato con decreto del 2014, gli interventi MPE sono suddivisi in fasce identificate in base allo stato della contaminazione.

L'area su cui è stato realizzato l'impianto Hoop® è limitrofa ad una delle quattro fasce di intervento MPE. Allo scopo di consentirne la realizzazione senza ostacolare il progetto di bonifica, di concerto con

gli Enti, nel febbraio del 2022 è stata proposta una variante al Progetto di bonifica.

In sintesi, l'intervento di bonifica prospettato ha previsto la realizzazione di nuovi pozzi di MPE, che sostanzialmente costituiscono una pertinenza dell'impianto Hoop® e i cui raggi di influenza ne ricoprono per intero l'area d'interesse, mantenendo il sottosuolo dell'impianto in depressione, al fine di interrompere il percorso di volatilizzazione outdoor.

La strategia adottata in fase progettuale dell'intervento di MPE ha previsto l'attuazione di un processo iterativo di studio che ha permesso di minimizzare le interferenze fra i due impianti e individuare quindi la posizione ottimale delle principali strutture dell'impianto MPE, verificando al contempo, e, nel caso, apportando variazioni, alle strutture del nuovo impianto Hoop®.

In parallelo sono stati portati avanti l'iter per la procedura di VIA e l'istanza di valutazione delle interferenze dell'iniziativa Hoop® con gli interventi di bonifica (art. 242 ter del D.Lgs. 152/06). Il MASE ha espresso parere favorevole nel giugno 2022, concedendo nulla osta all'uso dell'area, nelle more dell'approvazione della suddetta variante al Progetto di bonifica avvenuta poi nell'agosto 2023.

In conclusione, il progetto Hoop® rappresenta un esempio virtuoso di integrazione tra sviluppo industriale sostenibile e rigenerazione ambientale. L'approccio adottato consente di coniugare innovazione tecnologica, economia circolare e tutela dell'ambiente, contribuendo alla riqualificazione del SIN di Mantova e alla transizione ecologica del settore chimico.

Contatti: roberta.amendola@enirewind.com;
antonina.lutri@versalis.eni.com

Campionamento e analisi sedimenti marini

¹Matteo Pagnucco; ²Lorenzo Lucia; ³Elia Giorgi; ¹Monica Mattevi;
⁴Alberto Rosset

¹ ALS Italia; ² Geomar Sommozzatori; ³Logistica Giuliana; ⁴Astra Snc

Abstract

Il presente progetto illustra le attività di campionamento e analisi di laboratorio dei sedimenti marini finalizzate alla caratterizzazione ambientale di sedimenti marini nell'area SIN e Trieste.

Le operazioni sono state condotte in conformità ai criteri tecnico-normativi stabiliti dal Decreto Ministeriale Ambiente del 7 novembre 2008, che regola la gestione dei sedimenti in ambito marino e portuale.

INNOVAZIONE: l'aumento della richiesta per queste attività richiede tecniche innovative e capacità operativa in siti prima non praticabili dai mezzi usuali.

Il progetto per la costruzione e la gestione del Molo VIII rappresenta un intervento strategico di trasformazione urbana, logistica e ambientale fondamentale per il Porto di Trieste, per la città Trieste e per l'Italia stessa.

Il nuovo terminal multifunzionale vede nel ruolo di proponente il partenariato pubblico-privato (PPP) composto da Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Orientale (AdSPMAO), HHLA PLT Italy Srl, Logistica Giuliana Srl, e ICOP Spa Società Benefit.

Il progetto ha l'obiettivo di ampliare la capacità operativa del porto di Trieste, rafforzare l'intermodalità logistica e generare valore economico, occupazionale e ambientale per il territorio.

Si è reso necessario caratterizzare preliminarmente i sedimenti al fine di una loro corretta ricollocazione durante i lavori di realizzazione del Molo.

L'intervento prevede la prima fase della realizzazione di una nuova infrastruttura portuale di ultima generazione, concepita secondo i più avanzati criteri di sostenibilità ambientale e innovazione tecnologica: Molo VIII.

Il Molo VIII sarà in grado di accogliere navi portacontainer di grandi dimensioni, fino a 15.000 TEU, grazie a fondali naturali profondi e a un layout operativo ottimizzato. Il terminal sarà dotato di una stazione ferroviaria intermodale che trasferirà le merci dalla strada alla ferrovia, contribuendo a migliorare la sicurezza sia nelle aree urbane che sulla rete autostradale, e riducendo significativamente le emissioni di CO₂ per tonnellata di merce trasportata.

Il progetto rappresenta un'applicazione concreta delle procedure previste dalla normativa vigente, dimostrando l'importanza di un approccio integrato tra campionamento, analisi e interpretazione dei dati per una gestione sostenibile delle aree marine e costiere.

I risultati ottenuti hanno consentito una valutazione dello stato di qualità ambientale dei sedimenti, fornendo supporto tecnico alla gestione delle operazioni di dragaggio e movimentazione.

Modellazione numerica 3d con linee di flusso per pozzi a circolazione di acqua di falda

Niloufar Falakbaz¹, Marco Thiele¹, Matteo Di Giovinazzo¹, Eduard Alesi¹, Sahar Zare Farjoudi¹

¹ IEG Technologie GmbH,

Abstract

I progetti di bonifica delle acque sotterranee si trovano spesso ad affrontare condizioni idrogeologiche complesse con significativi flussi tridimensionali (3D), soprattutto in corrispondenza ad opere in sotterraneo, che rendono difficile valutare le interazioni tra i pozzi di estrazione e di iniezione e limitano lo sviluppo di una strategia di bonifica ottimale. I modelli di flusso tradizionali non forniscono indicazioni efficaci sulla relazione tra pozzi di estrazione e pozzi di iniezione, soprattutto quando le necessità operative consigliano di aumentare il numero dei pozzi. In questo lavoro, presentiamo l'applicazione di uno strumento di modellazione del flusso basato su linee di flusso (LF) tridimensionali (3DSL[®]) ad un sito contaminato sottoposto ad un intervento di bonifica mirata.

L'area di studio copre una superficie di circa 19.000 m² e comprende 11 pozzi di estrazione. Nell'ambito di un'iniziativa di bonifica estesa, sono stati aggiunti cinque Pozzi a Circolazione di Acqua di Falda (IEG-GCW[®]) per facilitare la bonifica in situ. La contaminazione è costituita principalmente da idrocarburi clorurati e coinvolge almeno tre acquiferi.

All'interno delle attività di progettazione del nuovo sistema di bonifica il modello 3DSL è stato utilizzato per valutare le prestazioni dei pozzi IEG-GCW[®], una tecnologia che integra estrazione e iniezione in un unico pozzo verticale per favorire il trattamento localizzato delle acque tramite circolazione verticale indotta. L'analisi LF rappresenta uno strumento potente per visualizzare e quantificare le interazioni tra i filtri di iniezione e di estrazione. Nei GCWs, le LF delineano efficacemente le zone di cattura in base alla stratigrafia del sito, alle conducibilità idrauliche orizzontali e verticali, alle porosità e al flusso regionale dell'acquifero. Un aspetto particolarmente rilevante è che le

LF permettono di quantificare la frazione di acqua reiniettata che viene ricatturata dallo stesso pozzo, rispetto alla frazione che viene intercettata da pozzi vicini o dal flusso regionale.

Le LF sono state simulate sia in configurazione standard che in configurazione inversa, al fine di analizzare come variano i percorsi del flusso nelle diverse condizioni operative. Abbiamo inoltre testato più regimi di pompaggio con il fine di analizzare il loro effetto sul comportamento delle LF e sulle zone di cattura, valutando anche come la presenza dei pozzi di estrazione influenzi la distribuzione del flusso all'interno dei GCWs. Questo livello di dettaglio rappresenta un passo importante verso l'ottimizzazione della disposizione e del funzionamento dei GCWs a supporto di strategie più efficaci di contenimento idraulico e bonifica mirata.

I nostri risultati iniziali dimostrano che 3DSL offre un metodo visivamente intuitivo e capace di fornire importanti informazioni quantitative per valutare il flusso sotterraneo. Questo approccio risulta particolarmente utile per adattare tempestivamente le modalità di pompaggio in risposta alla disponibilità di nuovi dati.

Contatti: niloufar.falakbaz@ieg-technology.com

La spettroscopia di riflettanza vis-NIR per lo sviluppo di tecniche innovative per la caratterizzazione ed il monitoraggio ambientale

Valeria Ancona¹, Ilaria Savino¹, Carmine Massarelli¹, Aurora Rutigliano^{1,2}, Anna Barra Caracciolo³, Paola Grenni³, Vito Felice Uricchio^{1,4}

¹Istituto per le Tecnologie della Costruzione – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Unità di ricerca Ambiente e Territorio - Bari, 70124, Italy

²Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti, Università di Bari, Bari, Italy

³Istituto di Ricerca Sulle Acque, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Montelibretti, Rome, 00010, Italy

⁴Commissario straordinario per gli interventi urgenti di bonifica, ambientalizzazione e riqualificazione dell'area di Taranto

Abstract

La spettroscopia di riflettanza nel visibile e vicino infrarosso (Vis-NIR), che copre l'intervallo spettrale compreso tra 400 e 2500 nm, rappresenta una tecnica qualitativa e quantitativa la cui applicazione è in continua espansione, grazie alle sue caratteristiche distintive, tra cui la rapidità di analisi, il basso costo, nonché la capacità di eseguire misurazioni in tempo reale, direttamente sul campo e su ampia scala. Il principio fondamentale su cui si basa, è l'interazione della radiazione elettromagnetica con i legami molecolari dei materiali analizzati, che generano assorbimenti spettrali specifici potenzialmente correlabili a parametri fisico-chimici mediante modelli chemiometrici avanzati. Questa tecnologia consente la caratterizzazione chimica non invasiva di differenti campioni, senza la necessità di ricorrere a pre-trattamenti complessi, talvolta tipici delle tradizionali tecniche analitiche. A tal riguardo, l'efficacia della spettroscopia Vis-NIR si è affermata come strumento chiave all'interno di un approccio multidisciplinare, supportando progetti volti al monitoraggio ambientale (Progetto DIANA - *Dai dati alle decisioni con IA in sistemi ambiente* **TA**li complessi finanziato dal MIMIT), allo sviluppo di tecnologie *green* quali le

Nature-Based Solutions per il recupero dei suoli contaminati ed allo sviluppo di prototipi per lo *space-farming* come sistemi biorigenerativi per il riciclo delle risorse sulle stazioni orbitanti (Progetto BEATRICE - *Bioregenerative Experimentation for Analog Testing and Resource optimization exploiting ISRU, autonomous Cultivation and MFC-based Energy harvesting*, finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana). In particolare, la sua applicazione ha permesso l'analisi del colore e la caratterizzazione dei cromofori fisici (tessitura) e chimici (acqua, sostanza organica, minerali, carbonati) di campioni di suolo, al fine di valutarne lo stato di qualità. Inoltre, combinando i dati spettrali con metodi statistici multivariati, è stato possibile predire il contenuto di inquinanti organici e inorganici in matrici ambientali contaminate, come suolo e sedimenti fluviali, svolgendo una funzione di *pre-screening* cruciale per la progettazione di interventi mirati di recupero ambientale e lo sviluppo ed ottimizzazione di protocolli di indagine innovativi e sostenibili. Recentemente, nell'ambito del progetto BEATRICE, la spettroscopia Vis-NIR, combinata con la spettroscopia IR, ha supportato indagini di caratterizzazione ecotossicologica nella valutazione di matrici di origini spaziali destinate allo sviluppo di celle a combustibile microbiche per il trattamento delle acque reflue degli astronauti e la produzione di energia elettrica, dimostrando così la sua ampia potenzialità e versatilità.

Il biomonitoraggio nella bonifica di siti contaminati: 20 anni di ricerca e applicazione su larga scala in Italia

Bruna Matturro^{1,2*}, Simona Rossetti¹

¹ *Istituto di Ricerca Sulle Acque-Consiglio Nazionale delle Ricerche, IRSA-CNR (*speaker);* ² *National Biodiversity Future Center-NBFC.*

Abstract

Il biorisanamento è una strategia di bonifica che sfrutta le capacità metaboliche di microrganismi specializzati nella degradazione o trasformazione di contaminanti, risultando particolarmente efficace quando le condizioni chimico-fisiche e geologiche del sito lo consentono. In Italia, tuttavia, gli interventi più comuni per la bonifica di suolo e acque sotterranee sono ancora di tipo chimico-fisico, sia in situ che ex situ. L'evoluzione delle tecnologie di biorisanamento ha però ampliato le possibilità applicative, rendendo questo approccio attuabile su scala reale, anche grazie all'integrazione multidisciplinare di informazioni chimico-fisiche, idrogeologiche e microbiologiche, essenziale per definire modelli concettuali affidabili e pianificare interventi efficaci, sostenibili e sito-specifici. In questo contesto, l'identificazione e la quantificazione dei microrganismi coinvolti nei processi di biodegradazione risultano fondamentali per valutare le potenzialità biodegradative del sito, supportare gli studi di fattibilità, sviluppare tecnologie mirate e monitorare con efficacia le fasi di implementazione. Tali attività rientrano nel concetto di biomonitoraggio, inteso come strumento operativo e decisionale per una gestione informata degli interventi di bonifica.

Negli ultimi 20 anni abbiamo contribuito allo sviluppo, ottimizzazione e applicazione di approcci di biomonitoraggio in Italia sia per lo studio dei processi di biodegradazione che per lo sviluppo di tecnologie di risanamento sostenibili. Ciò è stato possibile grazie alla definizione di metodi e protocolli biomolecolari integrabili lungo tutte le fasi della bonifica, dalla ricerca di base alla scala operativa, in un'ottica scientifica solida e multidisciplinare.

In particolare, il biomonitoraggio si basa su metodologie biomolecolari per identificare e quantificare target biologici, quali cellule, geni e

comunità microbiche. Queste tecniche, progressivamente integrate nello studio dei processi di biodegradazione e dei relativi meccanismi, si sono evolute fino a trovare applicazione anche su larga scala. Ottimizzate e validate nel tempo, sono oggi impiegate in modo integrato e adattate alle esigenze operative della bonifica in campo, includendo. Tra le più efficaci, si annoverano:

- Microscopia ad epifluorescenza per la visualizzazione e quantificazione cellulare tramite tecniche FISH-based (FISH, CARD-FISH, geneFISH).
- Quantificazione genica di biomarcatori funzionali mediante tecniche PCR-based (qPCR, ddPCR);
- Sequenziamento genico con tecnologie *short*- e *long*-reads, applicate in:
 - Metagenomica targeted: analisi di marcatori filogenetici (es. geni 16S rRNA) per la caratterizzazione tassonomica delle comunità microbiche;
 - Metagenomica untargeted (shotgun): sequenziamento di interi genomi per la definizione delle potenzialità metaboliche microbiche;

L'esperienza maturata nello sviluppo e nell'applicazione del biomonitoraggio in Italia ha contribuito a consolidarne l'impiego negli interventi di bonifica su scala reale. I protocolli messi a punto sono stati applicati in casi studio relativi a nuovi bioprocessi per la degradazione di contaminanti, allo sviluppo di tecnologie di biorisanamento innovative, inclusi sistemi bioelettrochimici e soluzioni basate su biomateriali derivati da economia circolare, e alla validazione dell'efficacia di interventi in situ. L'approccio adottato, multidisciplinare e integrato, riflette un'evoluzione scientifica orientata a una bonifica sempre più informata, efficace e sostenibile.

Keywords: biorisanamento, biomonitoraggio, biodegradazione, comunità microbiche, tecnologie sostenibili.

Contatti: bruna.matturro@irsa.cnr.it ; simona.rossetti@irsa.cnr.it

Le nuove metodologie operative della Guardia di Finanza quale Polizia del Mare. Tecnologia e professionalità a difesa delle coste, del mare e della Blu economy

Armando Franza¹

¹ Comandante del Reparto Operativo Aeronavale di Bari

Abstract

Il mare è una risorsa strategica: economica, ambientale e geopolitica. L'Italia ha 8.000 km di coste e si trova al centro di rotte commerciali globali.

La Blue Economy vale oltre 2,3 trilioni di dollari all'anno, ma è minacciata da traffici illeciti e sfruttamento non regolamentato.

La Guardia di Finanza quale unica forza di polizia sul mare, garantisce la sicurezza e lo sviluppo sostenibile, grazie alla sua costante azione di deterrenza che ha la duplice funzione di:

- Polizia economico-finanziaria → lotta ai traffici illeciti, controllo doganale, contrasto ai crimini ambientali.
- Sostegno alla Blue Economy → tutela degli ecosistemi marini e difesa della legalità nelle attività economiche marittime.

Per la Guardia di Finanza, le strategie di intervento nel settore marittimo sono orientate a un approccio integrato che unisce sorveglianza, indagine e prevenzione. L'obiettivo è tutelare la sicurezza e l'ambiente marino, prevenendo le attività criminali che sfruttano le vie d'acqua.

La strategia di prevenzione del crimine si basa sulla sorveglianza costante e capillare delle acque territoriali e internazionali. La Guardia di Finanza impiega una flotta diversificata di pattugliatori, vedette veloci ed elicotteri per garantire una copertura estesa. Tale azione ha la finalità di individuare e bloccare il contrabbando di merci (tabacco,

prodotti contraffatti), il traffico di esseri umani e di sostanze stupefacenti che spesso avvengono via mare.

La GdF è impegnata anche nella tutela delle acque, prevenendo l'inquinamento marino, sanzionando le navi che scaricano rifiuti o idrocarburi illegalmente.

In aggiunta contrasta la pesca illegale e la commercializzazione di prodotti non tracciabili.

La strategia si concentra sul tracciamento e l'analisi dei flussi economici che alimentano le attività illecite. La Guardia di Finanza, infatti, ha la possibilità di esaminare i movimenti di denaro legati all'acquisto o al noleggio di imbarcazioni, alle operazioni portuali e ai contratti di spedizione per individuare anomalie o sospetti riciclaggi, approfondendo aspetti riferiti anche alle società di comodo o gli schemi finanziari complessi utilizzati dalle organizzazioni criminali per mascherare la provenienza dei proventi illeciti derivanti da traffici marittimi.

Infine, la GdF svolge anche rilevanti attività nella prevenzione e nell'educazione che includono le campagne di informazione per promuovere la cultura della legalità tra i cittadini e gli operatori del settore, spiegando i rischi e le conseguenze delle attività illecite, con la formazione per le scuole e la collaborazione con enti, istituzioni locali, associazioni di categoria e le organizzazioni ambientaliste per creare un fronte comune contro i crimini ambientali e finanziari in mare.

La presenza della Guardia di Finanza rafforza la sovranità marittima dell'Italia, in considerazione che il controllo del mare è anche una questione di sicurezza nazionale.

Scambio di informazioni con altre forze di polizia europee per la protezione degli ecosistemi marini.

Contatti: Franza.Armando@gdf.it

Messa in sicurezza permanente della colmata nell'area di rilevante interesse nazionale di Bagnoli- Coroglio

Linda Rossi¹, Rodolfo Costa¹, Biancamaria Cazzaniga¹

¹ Arcadis Italia Srl

Abstract

Nell'ambito del cosiddetto Progetto Bagnoli, la più rilevante operazione integrata di risanamento ambientale e di rigenerazione urbana in Italia e tra le più importanti in Europa, ARCADIS ITALIA S.R.L. è parte del Raggruppamento Temporaneo di Imprese (RTI) incaricato dall'Agenzia Nazionale per l'Attrazione degli Investimenti e lo Sviluppo (INVITALIA), in qualità di Soggetto Attuatore e proprietario dell'area, di predisporre la progettazione definitiva degli interventi di risanamento degli Arenili emersi "Nord" e "Sud" e della Colmata ubicati nell'Area di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio (NA).

Un primo progetto definitivo, sviluppato in conformità alle linee generali riportate nel Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica (PFTE) di INVITALIA, è stato completato nell'agosto 2023. Tuttavia, a seguito delle criticità emerse in sede di istruttoria dell'intervento da parte della Commissione VIA Nazionale PNRR e visti i tempi necessari per il completamento delle opere, nel febbraio 2024 il Commissario Straordinario del governo per la bonifica ambientale e rigenerazione urbana dell'ARIN di Bagnoli-Coroglio ha richiesto un approfondimento tecnico. L'obiettivo era definire una nuova soluzione progettuale che potesse determinare un minor impatto ambientale, una riduzione dei tempi di attuazione e il raggiungimento dell'obiettivo di utilizzo del sito a fini balneari, alla luce della modifica normativa introdotta dal D.L. n. 60/2024, convertito nella L. n. 95/24, che ha abrogato la necessità di ripristinare la morfologia naturale della costa in conformità agli strumenti urbanistici del comune di Napoli, eliminando l'obbligo di rimozione della Colmata. Nel maggio 2024, la Struttura Commissariale ha richiesto l'adeguamento del progetto secondo la soluzione denominata "Alternativa 2c", individuata tra le

diverse opzioni valutate nell'ambito di studi specifici condotti tra marzo e aprile 2024. L'adeguamento progettuale, trasmesso nell'aprile 2025, prevede una serie di interventi tra cui: la rimozione parziale dei riporti di colmata nello spigolo sud fronte mare e la messa in sicurezza permanente (MISP) della rimanente parte di Colmata.

La MISP della porzione residua della Colmata a valle della sua riprofilatura comprendono:

- una conterminazione laterale, le cui caratteristiche geometriche sono state definite tramite il supporto di una modellazione 3D di flusso e trasporto di massa simulando le condizioni ante-operam e diversi scenari di barriera fisico ed idraulico (operato dalla barriera INVITALIA esistente a monte idrogeologico della Colmata), e di interazione tra loro, valutando l'evoluzione del cuneo salino e la dispersione di inquinanti dalla Colmata. Lo scenario individuato come maggiormente efficace è stato quello di una barriera fisica con diaframma da realizzarsi su 3 lati (nord, fronte mare e sud), per una lunghezza di circa 1.400 m, e una profondità di 40 m da p.c., unitamente al mantenimento della barriera idraulica INVITALIA esistente.

- un capping sommitale, realizzato mediante la posa di una barriera multistrato che permetta l'isolamento dei riporti di Colmata, la captazione ed allontanamento degli eventuali gas accumulati, la gestione delle acque meteoriche e il rimodellamento topografico per la futura fruizione dell'area. Il pacchetto multistrato previsto è costituito da:

- geocomposito drenante per la captazione di eventuali gas e c.a. 2700 m di tubazioni di drenaggio dei gas verso n.9 punti di sfiato ;

- geocomposito bentonitico e telo in HDPE per l'impermeabilizzazione della colmata;

- geocomposito drenante per la gestione delle acque meteoriche e c.a. 6800 m di tubazioni per il trasporto delle acque a n.2 punti di scarico a mare;

- strato di terreno vegetale di restituzione finale.

A supporto della definizione degli interventi di risanamento complessivi e, in particolare, dell'intervento di capping, è stata sviluppata un'AdR per valutare l'accettabilità del rischio residuo a seguito della realizzazione delle attività progettate. Allo stato attuale

l'effetto barriera dell'impermeabilizzazione operato dal capping può essere modellato nel software di AdR Risk-net versione 3.2 Pro unicamente per il percorso di lisciviazione e trasporto dei contaminanti verso le acque sotterranee, mentre non viene tenuto in conto nei percorsi di volatilizzazione. D'altra parte, non è generalmente condiviso che la posa del capping permetta il "taglio" del percorso di volatilizzazione e, pertanto, è stato necessario definire un approccio metodologico che consenta di valutare che i sistemi di contenimento rappresentino una limitazione, ma non una interruzione di percorso.

Considerando i materiali utilizzati nel pacchetto di capping e le corrette procedure di posa, il rischio residuo può essere legato unicamente a lesioni sfuggite ai controlli di qualità o verificatesi in fase di copertura delle membrane impermeabili con gli altri strati del capping; risulta pertanto direttamente proporzionale alla potenziale incidenza areale di tali lesioni (fori, microfori, strappi).

Per definire il rapporto tra le densità di difetti e l'area occupata da essi (fattore di fessurazione) sono state consultate diverse fonti bibliografiche (Giroud & Bonaparte, 1989 [1], Linee Guida APAT Giugno 2005 [2], Touze-Foltz, 2008 [3]) ed è stato assunto il valore più cautelativo, corrispondente a $1,00E-05$. Cautelativamente, considerando una valutazione a lungo periodo come conseguenza una messa in sicurezza permanente, tale valore è stato moltiplicato per un fattore pari a 10. Il fattore di fessurazione stimato (pari a 0,0001) è stato quindi utilizzato per "correggere" le dimensioni delle sorgenti lungo la direzione del vento in modo tale da tener conto della possibilità che l'emissione dei vapori avvenga solo attraverso le imperfezioni/soluzioni di continuità della geomembrana del capping, anziché lungo l'intera superficie spazzata dal vento.

I calcoli eseguiti hanno mostrato l'accettabilità del rischio per i futuri fruitori del sito a valle degli interventi di risanamento.

Contatti: linda.rossi@arcadis.com

II. La gestione efficiente delle risorse e la rigenerazione dei territori

Il progetto di rinaturazione del fiume Po: ingegneria e natura per la resilienza fluviale

Mara Franchi¹

¹ 3TI Progetti Partner & Project Coordinator of Infrastructure & Energy Division

Abstract

Il progetto di rinaturazione del fiume Po rappresenta uno dei più importanti interventi di ingegneria ambientale in Europa, con un investimento complessivo di 357 milioni di euro finanziati dal PNRR, il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica ha affidato la gestione dell'intervento ad AIPo, l'Agenzia Interregionale per il fiume Po. Ispirato dalla Strategia Europea per la biodiversità al 2030, il progetto è pioniere in Italia per la sua dimensione e per l'approccio sperimentale adottato.

L'iniziativa coinvolge oltre 150 enti pubblici, interessa 56 aree distribuite su quattro regioni e 106 comuni, e si basa su un approccio integrato che coniuga ingegneria idraulica, pianificazione territoriale e scienze naturali. L'intervento punta a contrastare l'eccessiva artificializzazione del fiume, promuovendo la rinaturazione morfologica, la creazione di ambienti umidi temporanei e la riforestazione naturalistica.

Coordinato da 3TI Progetti in JV con In.ge.na., Hydro Nova, Tecnovia, Engeo, Studio Zanzucchi Associati, Land Italia, Ingenieure Umwelttechnik GmbH -società specialistiche del settore- lo stralcio progettato prevede la riattivazione morfologica del fiume in 14 tratti, attraverso l'abbassamento selettivo dei pennelli idraulici di navigazione e lo scavo di canali per la riattivazione delle lanche. È stato sviluppato un modello idraulico di circa 490 km dell'intero corso d'acqua, che integra dati topografici e digitali di ultima generazione, al fine di verificare e garantire il mantenimento e il miglioramento dei livelli di sicurezza idraulica. Per incrementare la biodiversità e gli

habitat naturali delle aree rivierasche, sono stati progettati interventi di contenimento delle specie alloctone invasive, di riforestazione diffusa e di recupero delle aree umide, che interesserà oltre 2.000 ettari.

La Stazione Appaltante AIPO sta conducendo con successo gli appalti lavori per i primi interventi, in linea con gli obiettivi e i target del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, per rendere concreto un progetto così importante per il suo contributo alla valorizzazione del patrimonio fluviale, al miglioramento della qualità ambientale e della resilienza dei territori ai cambiamenti climatici.

Keywords: Fiume Po, Rinaturazione, Ingegneria ambientale, Sostenibilità, Morfologia fluviale

Contatti: m.franchi@3tiprogetti.it

Un percorso di diversificazione sostenibile per il futuro di Taranto che tuteli l'ambiente e che avvenga attraverso l'istituzione delle AMP

Nicolaia Iaffaldano¹, Vito Felice Uricchio², Angelo Tursi³, Paolo Pardolesi³

*Università degli Studi di Bari Aldo Moro (speaker)¹, CNR-ITC,
Università degli Studi di Bari Aldo Moro³*

Nel paper verrà analizzato il caso della città di Taranto, conosciuta in tutto il mondo come città simbolo dell'inquinamento industriale. Ma qui ora si pensa ad una riconversione ambientale ed economica, che passi attraverso l'istituzione di un'area marina protetta. In particolare, la risoluzione per l'Amp delle Isole Cheradi e del Mar Piccolo è stata votata all'unanimità dal Parlamento, ora è al vaglio del Mistero dell'Ambiente che sta facendo gli approfondimenti scientifici, necessari prima di emanare il decreto ministeriale di istituzione.

Tuttavia, ci sono tanti interessi locali da mettere insieme e contemperare che saranno indagati: da quelli delle grandi industrie di base, marina militare a quelli del settore della pesca, artigianato, agroalimentare e a quelli della comunità locale, associazioni di categoria e ambientaliste, scuola e università, amministrazione comunale. Tutto ciò è importante perché Taranto deve affrancarsi dalla sua vocazione industriale. E grazie a questa risoluzione parlamentare che le parole area marina protetta, mitilicoltura e turismo entrano nel vocabolario economico della città con il fine duale di portare avanti un percorso di diversificazione economica sostenibile e tutelare l'ambiente.

È il momento giusto per cambiare il paradigma di Taranto, puntando sul turismo sostenibile, riscoprendo la molluschicoltura, valorizzando la risorse naturali dei suoi mari; nel Mar Piccolo vivono i cavallucci marini, ma anche diverse specie protette, in particolare nel Mar Grande i cetacei.

Nella prevalenza dei casi secondo la letteratura, quindi, la partecipazione della comunità locale e dei diversi stakeholders rappresenta una condizione necessaria per definire modelli di

governance utili per la concreta realizzazione di strategie di sostenibilità. Da ciò, il paper si propone di focalizzare l'attenzione sul ruolo dei diversi stakeholders nei processi di sustainable destination building mediante interviste in profondità e l'adozione di un approccio qualitativo. Il paper parte dall'assunto che nel caso di territori minori il processo di sustainable destination building necessita di un ruolo attivo della comunità locale sul futuro della città.

Nell'ambito dell'approccio manageriale allo sviluppo turistico sostenibile – basato sul rapporto sinergico tra sostenibilità, competitività e management – la finalità del presente paper è, quindi, l'analisi delle dinamiche relazionali tra gli stakeholders al fine di identificare le condizioni di contesto utili a sviluppare lo stakeholders engagement e l'embedded governance. L'approfondimento della letteratura sul destination building e sullo stakeholder engagement ha consentito di articolare la ricerca al fine di analizzare caratteri e problematiche dei diversi stakeholders e indagare il ruolo del capitale sociale per lo sviluppo sostenibile di una destinazione. L'ampiamento alle dimensioni della governance e della comunità locale, mediante processi di stakeholder engagement, non deve però rappresentare un mero adempimento formale ma deve concretamente favorire la convergenza dei processi top-down (interventi e strumenti di regolazione da parte della governance ai diversi livelli nazionali e sovra-nazionali) e bottom-up posti in essere non solo dalle imprese ma anche dalla comunità locale. Ne emerge che la principale determinante della competitività di queste destinazioni è il progresso equilibrato di tutte le sue componenti.

Keywords: Stakeholders engagement, coinvolgimento dei cittadini, processo di riposizionamento della città, immagine di Taranto, destinazione turistica sostenibile

Contatti: nicolaia.iaffaldano@uniba.it; paolo.pardolesi@uniba.it

Selezione vegetale per pareti verdi: un approccio integrato tra ecologia urbana, paesaggio e tecnologie digitali

Valeria Mammone¹, Carmine Massarelli²,

¹ *Architetto Freelance*

² *Istituto per le Tecnologie della Costruzione – Consiglio Nazionale delle Ricerche, sede di Bari, ITC-CNR*

Abstract

Nel contesto della rigenerazione urbana e della crescente pressione esercitata dal cambiamento climatico, l'utilizzo di infrastrutture verdi quali pareti vegetate e tetti verdi rappresenta una soluzione concreta per il miglioramento della qualità dell'ambiente costruito. Si possono infatti quantificare gli effetti positivi del verde urbano in materia di contrasto ai cambiamenti climatici (assorbimento di CO₂), qualità dell'aria (rimozione degli inquinanti atmosferici), conservazione della biodiversità e miglioramento della qualità della vita in ambienti ad alto tasso di antropizzazione.

Per ottenere una maggiore efficacia ecologica e climatica delle infrastrutture verdi urbane – in termini di sequestro di inquinanti e mitigazione degli impatti del cambiamento climatico – e per incrementare la funzionalità dei servizi ecosistemici connessi, è fondamentale selezionare specie vegetali idonee, coerenti con le condizioni micro-climatiche del sito di applicazione. In particolare, per la selezione delle specie da inserire nei sistemi di verde verticale, si propone una scelta funzionale in relazione alla quota d'impianto (fasce bassa, intermedia e alta), basata sull'analisi delle condizioni locali (irraggiamento, ventilazione, temperatura, umidità ecc.) e sulle caratteristiche eco-fisiologiche delle piante. Questo schema consentirebbe di massimizzare la resilienza vegetale, ridurre i consumi irrigui e migliorare le prestazioni ambientali complessive.

La selezione include sia specie autoctone che alloctone non invasive, valutate secondo criteri di resilienza agli stress ambientali, adattabilità alle mutate condizioni climatiche, basso fabbisogno manutentivo e compatibilità con le dinamiche ecologiche urbane.

L'integrazione di specie alloctone risulta oggi sempre più necessaria, alla luce degli impatti del cambiamento climatico che, attraverso l'innalzamento delle temperature, la riduzione della disponibilità idrica e la diffusione di nuovi fitopatogeni, compromette la vitalità di numerose specie autoctone. In questo contesto, si sottolinea la necessità di costruire e aggiornare dataset che includano parametri chiave (resistenza a inquinanti atmosferici, nonché capacità di rimozione degli stessi, tolleranza alla siccità, capacità di evapotraspirazione, comportamento stagionale, suscettibilità a patogeni), da trattare attraverso strumenti di machine learning, al fine di supportare decisioni progettuali scalabili e climaticamente adattive.

Keywords: rigenerazione urbana, nature-based solutions, ecologia urbana, machine learning, intelligenza artificiale

Contatti: vlr.mammone@gmail.com , carmine.massarelli@cnr.it

Vegetazione e mitigazione dell'isola di calore urbana: simulazioni e validazione del modello ENVI-MET in un caso studio in un'area pubblica di Bologna

***Geremia Avellini¹, Francesco Riminucci¹, Maria Teresa Salomoni¹,
Letizia Cremonini², Edoardo Fiorillo², Teodoro Georgiadis²,
Marianna Nardino²***

¹ PROAMBIENTE s.c.r.l (speaker), ² Institute of BioEconomy (IBE), CNR

Abstract

L'isola di calore urbana (UHI) è una delle principali criticità ambientali delle città, aggravando il disagio termico e peggiorando la qualità dell'aria. In risposta, la rigenerazione urbana sostenibile promuove interventi basati sulla natura (NBS), come alberature, tetti e pareti verdi, de-impermeabilizzazione e riqualificazione di spazi pubblici.

Questo studio valuta l'efficacia della vegetazione urbana nella mitigazione delle ondate di calore e di freddo all'interno di un'area pubblica caratterizzata da ampie zone verdi.

In particolare, mira a:

- (1) quantificare le variazioni giornaliere di temperatura tra scenari con e senza copertura vegetale;
- (2) validare il modello ENVI-met confrontandolo con misure puntuali di temperatura;
- (3) proporre un approccio integrato, replicabile in altri contesti, basato sull'uso combinato di dati satellitari, monitoraggio puntuale in situ e modellazione numerica, a supporto della progettazione di spazi pubblici climaticamente resilienti.

Il caso studio è l'Area Territoriale di Ricerca di Bologna, situata in prossimità del canale Navile, sede di istituti CNR, INAF e Tecnopolo CNR. La progettazione integra edifici, cortili alberati e spazi verdi, rendendo il sito adatto a valutare l'effetto della vegetazione urbana sul microclima.

Sono state condotte simulazioni con ENVI-met (v5.7) su due scenari stagionali (estate/inverno), ciascuno in versione con e senza vegetazione arborea. Ogni simulazione ha durata di 36 ore, risoluzione spaziale 2×2×3 m e timestep orario.

La validazione ha riguardato lo scenario estivo con vegetazione (caso reale), tramite una rete di cinque sensori SenseCAP S2101, installati a circa 2 m di altezza, e calibrati rispetto a un sensore di riferimento Vaisala WXT520.

Il confronto con le simulazioni è stato effettuato selezionando i valori di ENVI-met alla stessa altezza, in corrispondenza dei punti di misura. La valutazione ha riguardato sia l'accuratezza dei valori assoluti, sia la capacità del modello di rappresentare la variabilità spaziale.

Il posizionamento dei sensori è stato guidato dall'Urban Heatwave Thermal Index (UHTI), un indice derivato da dati satellitari che quantifica la vulnerabilità termica durante le ondate di calore, con valori compresi tra 0 (bassa) e 1 (alta).

I primi dati raccolti mostrano differenze di temperatura coerenti con la variabilità microclimatica attesa e in linea con l'UHTI, salvo alcune discrepanze puntuali. È stata completata anche la simulazione invernale con vegetazione, utile per esplorare le dinamiche termiche nella stagione fredda.

Nel dibattito attuale sulla sostenibilità ambientale delle città, la modellazione numerica del microclima – e in particolare l'uso di ENVI-met – si sta affermando come strumento operativo sempre più rilevante, soprattutto negli spazi pubblici, dove il comfort termico incide sull'accessibilità e sul benessere percepito. Questo tipo di modellazione permette a progettisti e pianificatori di valutare con maggiore precisione l'efficacia della vegetazione urbana nella mitigazione degli estremi climatici, offrendo un supporto concreto all'integrazione delle Nature-Based Solutions (NBS) negli interventi pubblici. Un utilizzo così esteso richiede però di essere affiancato da una solida validazione empirica, basata su dati microclimatici raccolti sul campo.

Keywords: Urban Heat Island (UHI), Nature-Based Solutions (NBS), ENVI-met, Microclimate modeling, Empirical Validation

Contatti: g.avellini@consorzioproambiente.it

Agricoltura e interessi ambientali confliggenti: incompatibilità costituzionale della aprioristica determinazione di un criterio di prevalenza

Cecilia Pannacciulli¹

¹ *Università degli Studi di Bari Aldo Moro*

Abstract

La Costituzione italiana è l'unica del secondo dopoguerra ad avere un articolo, il 44, espressamente dedicato alla proprietà agricola. La genesi dell'art. 44 Cost. si radica nella prospettiva, trasversalmente condivisa dai costituenti, di consentire la soluzione della c. d. "questione agraria" mediante il perseguimento di due fondamentali obiettivi: *"conseguire il razionale sfruttamento del suolo"* e *"stabilire equi rapporti sociali"*. Finalità superiori, al tempo stesso distinte e interconnesse, al cui raggiungimento tutti gli altri interessi debbono essere logicamente coordinati e che l'art. 44 - come la stessa Corte costituzionale ha più volte ribadito, a partire dalla sentenza n. 61 del 1957 - ha posto come indirizzo generale al legislatore. Alla luce della nuova portata ecologica introdotta dalla revisione costituzionale degli artt. 9 e 41 Cost., possiamo operare una lettura evolutiva delle due finalità fissate dall'art. 44 Cost., rimanendone peraltro immutata la dimensione teleologica che, unitamente all'interesse dei singoli, vuol soddisfare quello della società. Dunque, la transizione ecologica, originariamente incentrata sulla riforma agraria, sulle bonifiche e sull'eliminazione del latifondo, oggi si proietta in un'attualità più complessa in cui si pone problematicamente, e con differenti graduazioni, il tema del bilanciamento tra "interessi ambientali" contrapposti. Si pensi alla elevata conflittualità tra uso del suolo a fini di produzione energetica non fossile e impatto degli impianti cosiddetti FER (ovvero alimentati da 'fonti di energia rinnovabile') sul paesaggio, sull'agricoltura e sulla biodiversità. Poiché, infatti, tali impianti rappresentano il più importante strumento di

decarbonizzazione ai fini di una transizione energetica che, sia in sede sovranazionale sia in quella internazionale, è considerata di interesse ‘prioritario e preminente rispetto ad altri interessi pubblici antagonisti’, la ponderazione degli interessi coinvolti viene spesso affidata alla aprioristica determinazione dei criteri di prevalenza di un valore-interesse sull’altro, trasmutando i tratti fondamentali del bilanciamento. Tale ‘priorità’, da un lato, amplifica il conflitto con altri beni costituzionalmente protetti - innanzitutto l’agricoltura e la biodiversità, ma anche il paesaggio e il diritto di proprietà – la cui tutela diviene quasi sempre recessiva rispetto all’obiettivo della più ampia diffusione degli impianti FER; dall’altro, riduce gli spazi applicativi del principio di sussidiarietà verticale (con particolare mortificazione delle amministrazioni locali), accentrando le scelte di allocazione e bilanciamento al livello di competenza esclusiva statale. La conflittualità non è solo potenziale, ma concretamente alimentata da interventi legislativi che, sull’onda dell’emergenza climatica, hanno accelerato e semplificato le procedure autorizzative degli impianti, considerandone la pianificazione, la costruzione e l’esercizio *di interesse pubblico prevalente*. È per questo che non può rinunciarsi al bilanciamento “classico” tra interessi di rango costituzionale, superando l’ottica di prevalenza preordinata di taluni sugli altri e verificando, caso per caso, che una malintesa priorità della produzione di energia da fonti rinnovabili non intacchi i valori culturali e naturali dei territori, con dannose ricadute sulla produzione agricola, sulla biodiversità, sul paesaggio, sul turismo di qualità e, più in generale, sull’equilibrio ecosistemico dei luoghi.

Keywords: art. 44 Cost.; agricoltura; impianti FER; conflitti tra differenti interessi ambientali; tecnica del bilanciamento

Contatti: cecilia.pannacciulli@uniba.it

Progettazione di un BIPV con supporto di Realtà Virtuale e Digital Twin. Il caso di studio del Comune di Parma

Marina Zonno¹, Valerio Pulcini², Gianfranco Modoni²

¹CNR-ITC, Istituto per le Tecnologie della Costruzione - Consiglio Nazionale delle Ricerche,

² CNR-STIIMA, Istituto di Sistemi e Tecnologie Industriali Intelligenti per il Manifatturiero Avanzato -Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Abstract

Questo lavoro si concentra sui principali risultati ottenuti nell'ambito del progetto di ricerca italiano CANVAS, finanziato dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica e, nello specifico, sulla progettazione di sistemi fotovoltaici integrati negli edifici (BIPV), illustrando lo sviluppo di un innovativo strumento software basato su tecnologie di Realtà Virtuale (VR) e Gemello Digitale (Digital Twin, DT), con l'obiettivo di colmare le lacune riscontrate nelle tecnologie attualmente disponibili per la progettazione fotovoltaica.

Nello stato dell'arte, infatti, gli strumenti di progettazione per sistemi BIPV presentano notevoli limiti, come l'assenza di funzionalità per una visualizzazione interattiva e immersiva integrata in tempo reale con software di simulazione e analisi. Queste mancanze riducono la capacità di prevedere in modo accurato le prestazioni energetiche ed economiche del sistema, ostacolando la diffusione di soluzioni BIPV in ambiti come l'edilizia pubblica e amministrativa.

La soluzione proposta combina VR e DT per permettere ai progettisti e agli stakeholder di esplorare in modo immersivo l'edificio, visualizzare il posizionamento dei moduli fotovoltaici e simulare le prestazioni in scenari realistici. In particolare, l'applicazione è stata sperimentata sul caso studio dell'edificio

amministrativo del Comune di Parma, selezionato per le sue caratteristiche architettoniche e per il potenziale di integrazione di moduli fotovoltaici colorati e semitrasparenti, capaci di coniugare esigenze estetiche e resa energetica.

Per una visualizzazione ed interazione ottimale è stato realizzato, partendo dal rilievo dello stato di fatto, il modello tridimensionale dell'edificio texturizzato, riproponendo i materiali reali dell'edificio, inserito nel contesto del quartiere riprodotto in 3D. La visione realistica è stata completata con la ricostruzione dello spazio verde alberato su cui si affaccia l'edificio e la costruzione della scena con l'inserimento della luce naturale.

Sulle facciate ed in copertura sono stati inseriti i modelli 3D dei pannelli fotovoltaici, come da progetto, simulando interattivamente diverse colorazioni, che hanno permesso le successive valutazioni.

Le simulazioni condotte hanno valutato le prestazioni energetiche ed economiche del sistema BIPV mediante software di simulazione e ottimizzazione, simulando diverse condizioni ambientali e diversi momenti dell'anno.

L'integrazione di strumenti digitali avanzati per la visualizzazione immersiva e la simulazione accurata delle prestazioni può migliorare la progettazione e la valutazione dei sistemi BIPV, favorendo una più ampia diffusione di soluzioni fotovoltaiche integrate negli edifici pubblici e amministrativi; l'integrazione di VR e DT consente di coinvolgere attivamente progettisti e tecnici, facilitando la comprensione degli scenari energetici e promuovendo scelte consapevoli verso edifici più sostenibili.

L'esperienza del caso studio di Parma rappresenta un modello replicabile per altre amministrazioni pubbliche italiane ed europee interessate a investire in soluzioni BIPV, combinando innovazione tecnologica, sostenibilità ambientale e riqualificazione del patrimonio edilizio esistente. Questo approccio offre inoltre un contributo significativo agli obiettivi di neutralità climatica e riduzione delle emissioni di CO₂, in linea

con le direttive europee e le strategie nazionali di transizione energetica.

Keywords: Digital Twin, Virtual Reality, Sistema fotovoltaico, Modellazione 3D.

Contatti: marina.zonno@itc.cnr.it, valerio.pulcini@stiima.cnr.it,

Rigenerazione urbana integrata e transizione ecologica: modelli comparati e prospettive italiane

Paolo Pardolesi¹

¹ *Direttore del Dipartimento Jonico – Università degli Studi di Bari Aldo Moro*

Abstract

Nel contesto della crescente crisi climatica, dell'inquinamento urbano e della pressione demografica sulle città, l'urbanistica contemporanea è chiamata a ridefinire il proprio ruolo: da disciplina tecnica a motore strategico della transizione ecologica e sociale. Il presente contributo intende esplorare come un approccio pragmatico/multidisciplinare alla rigenerazione urbana possa trasformare i centri abitati in laboratori di sostenibilità, salute pubblica e inclusione.

L'ambiente urbano, da luogo del consumo e dell'impatto ambientale, può diventare spazio di innovazione, coesione e resilienza. In questa prospettiva, prendendo le mosse dalle molteplici sfide individuabili nelle pieghe della rigenerazione urbana (cambiamenti climatici, dissesto idrogeologico, isole di calore, degrado edilizio, marginalità socio-economiche), occorre porre l'accento sul 'potenziale di risposta' che si concentra nelle città: capitale umano, conoscenze tecniche, capacità di sperimentazione e partecipazione attiva dei cittadini.

In altre parole, è necessario metter mano ad una riflessione su come le strategie di rigenerazione urbana integrata – basate sulle cd. *Nature-Based Solutions*, infrastrutture verdi e blu, mobilità sostenibile, edilizia a energia quasi zero, digitalizzazione dei servizi e riuso adattivo del patrimonio costruito – possano generare valore ambientale, economico e sociale. L'innovazione, in questo contesto, non è solo tecnologica, ma anche cultura e progettualità: implica il superamento della frammentazione tra discipline e la co-progettazione tra enti pubblici, comunità locali, imprese e mondo della ricerca.

Ecco, allora, che attraverso un approccio di matrice comparativa, volto a scrutinare esperienze virtuose (quali quella tedesca, francese e inglese), appare possibile porre l'accento su come la rigenerazione urbana possa diventare una leva per creare occupazione qualificata, attivare filiere green e promuovere l'equità territoriale: d'altronde, il sistema italiano – proprio per la sua natura 'ponte' tra modelli continentali e anglosassoni (che si caratterizza per l'uso pragmatico dei *Public-Private Partnership* in virtù del Codice dei contratti pubblici, D.Lgs. 36/2023, e delle Società di trasformazione urbana) – rende cruciale una lettura omologativa che, per un verso, permetta di ridefinire il ruolo dell'uomo da fattore di crisi ambientale a protagonista della sostenibilità urbana e, per l'altro, offra strumenti giuridici per costruire città resilienti, inclusive e sostenibili, in cui l'ambiente urbano non sia solo spazio costruito, ma ecosistema tutelato con il sostegno del diritto privato.

Per questa via, il ruolo dell'uomo si riconfigura: da soggetto che ha contribuito alla crisi ecologica a protagonista di una trasformazione positiva del territorio in cui la città non è solo spazio costruito, ma ecosistema complesso da curare e reinventare, luogo in cui l'innovazione ambientale incontra i diritti, i bisogni e le aspirazioni delle comunità.

Keywords: (Integrated urban regeneration, Ecological transition, urban sustainability, Nature-based solutions, Co-design)

Metodologia di Ranking Multilivello per la riconversione dei Brownfields a Uso Industriale

Federico Pinzin¹, Emanuela De Marco², Laura Cutaia², Mentore Vaccari¹

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio, Ambiente e di Matematica, Università di Brescia, Brescia, Lombardia, Italia (speaker), ² ENEA, Dipartimento per la Sostenibilità, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, Centro Ricerche Casaccia, Via Anguillarese 301, Roma, 00123, Italia;

Abstract

Il consumo di suolo costituisce una criticità strutturale per la sostenibilità ambientale e territoriale. L'espansione urbana e produttiva, in assenza di un'efficace pianificazione, ha determinato la riduzione delle superfici naturali e seminaturali, con effetti irreversibili sui servizi ecosistemici. In tale contesto, si è consolidato l'approccio alla rigenerazione urbana e del suolo, inteso come strumento per il recupero funzionale, ecologico ed economico di aree compromesse, prevalentemente in ambiti antropizzati.

Le politiche europee e nazionali, tra cui la Soil Strategy for 2030 e le linee guida italiane sul consumo di suolo, promuovono il riuso del costruito esistente come alternativa all'espansione urbana. In questo ambito, i brownfields ovvero, aree dismesse, sottoutilizzate o abbandonate, generalmente di natura industriale, infrastrutturale o produttiva, potenzialmente contaminate, che presentano criticità ambientali e paesaggistiche, le quali rappresentano un'importante risorsa per interventi di rigenerazione e riconversione funzionale.

In questo scenario si inserisce il lavoro di ricognizione dei brownfields prima a livello nazionale utilizzando banche dati ufficiali quali i siti di interesse nazionale e le schede relative ai Siti Orfani selezionando le aree caratterizzate da un precedente utilizzo prevalente industriale. Questo ha portato ad individuare 268 aree totali, e pertanto si è reso necessario un approfondimento a livello provinciale che ha portato ad individuare 36 siti a potenziale rigenerazione industriale.

Al termine della ricognizione, è stato sviluppato un modello concettuale finalizzato a supportare la classificazione e la definizione

delle priorità d'intervento sui siti brownfield, con particolare attenzione alla riconversione industriale in chiave sostenibile. Questo strumento si propone come supporto operativo sia per i pianificatori territoriali sia per gli stakeholder coinvolti nei processi decisionali, offrendo criteri oggettivi per orientare le politiche di rigenerazione.

Il modello si articola attraverso un sistema di ranking multilivello, che valuta ciascun sito sulla base di una serie di parametri integrati. Tra questi, assumono particolare rilevanza la localizzazione geografica e il grado di accessibilità, inteso come prossimità alle principali infrastrutture di trasporto. Altri elementi chiave riguardano la connessione con poli produttivi esistenti quali zone industriali sia comunali che sovracomunali, ed infine la prossimità ad impianti di trattamento rifiuti o reflui industriali. Queste connessioni sono un'opportunità sia di simbiosi industriale che di sinergie operative e logistiche.

Un ruolo centrale nel processo di valutazione è riservato allo stato della contaminazione ambientale, facilmente individuabile tramite MOSAICO, così come alla compatibilità del sito con la pianificazione urbanistica vigente, condizione necessaria per una riconversione tempestiva ed efficace. Infine, il modello considera anche il potenziale riuso produttivo e lo stato di avanzamento dei procedimenti di caratterizzazione ambientale eventualmente già avviati sull'area.

In quest'ottica, i brownfields non devono essere visti come "vuoti urbani" da cancellare, ma come risorse territoriali da rigenerare rispettando le destinazioni d'uso evitando di applicare delle bonifiche spinte, valorizzando la preesistenza e contenendo gli impatti futuri.

Keywords: Consumo di suolo, rigenerazione urbana, riqualificazione di aree dismesse, contaminazione del suolo.

Contatti: federico.pinzin@unibs.it, mentore.vaccari@unibs.it,
laura.cutaia@enea.it, emanuela.demarco@enea.it

EMAS e il settore energetico italiano: esempi di efficienza energetica

Mara D'Amico¹, Bertrand Capra¹, Annamaria Caputo¹, Barbara D'Alessandro¹, Federico Di Palma¹, Renata Pacifico¹, Valeria Tropea¹, Silvia Ubaldini¹

¹ ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Abstract

Il Regolamento EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) è uno strumento volontario che supporta le organizzazioni nel miglioramento continuo delle proprie prestazioni ambientali. Negli ultimi anni l'attenzione si è concentrata in particolare sull'efficienza energetica nel settore della produzione di energia, elemento chiave sia per la transizione verso un sistema energetico sostenibile sia per il conseguimento degli obiettivi di mitigazione climatica.

Tra i temi centrali del Regolamento, l'efficienza energetica spinge le organizzazioni registrate ad adottare misure strutturate per ottimizzare l'uso delle risorse, individuare le migliori pratiche disponibili e ridurre i rischi ambientali.

Questo studio offre una panoramica sulle organizzazioni registrate EMAS appartenenti al settore della Produzione di Energia e analizza un campione di impianti a ciclo combinato di organizzazioni di grandi dimensioni ubicate sul territorio nazionale. L'esame delle loro Dichiarazioni Ambientali e dei programmi di miglioramento permette di mappare le misure adottate in termini di efficientamento energetico, di evidenziare il miglioramento conseguito e di individuare le best practice più efficaci adottate per il risparmio energetico.

Il Decreto legislativo 14 luglio 2020, n. 73, che recepisce la Direttiva 2018/2002/UE sull'efficienza energetica, estende l'obbligo di diagnosi energetica alle grandi imprese dotate di sistemi di gestione ambientale. Strumenti come EMAS si rivelano quindi fondamentali per conseguire gli obiettivi di risparmio energetico grazie a un approccio sistematico di valutazione, monitoraggio e miglioramento delle prestazioni. Le organizzazioni registrate EMAS soddisfano infatti gran parte dei requisiti di un sistema di gestione dell'energia e risultano già in larga misura conformi alla norma ISO 50001.

Keywords: (5 keywords) Emas, Efficiamento energetico, cambiamento climatico, sistemi di gestione, best practice

*Contatti: renata.pacifico@isprambiente.it,
federico.dipalma@isprambiente.it, bertrand.capra@isprambiente.it*

Approccio del metabolismo urbano: dalla gestione efficiente delle risorse alla rigenerazione dei territori

Laura Di Giovanni¹, Emanuela Fiucci¹; Vincenzo Piscitelli¹

¹ CNR

L'approccio del metabolismo urbano ha assunto negli ultimi anni un ruolo sempre più rilevante nello sviluppo di politiche urbane tese ad una gestione efficiente delle risorse e alla rigenerazione territoriale, diventando una strategia integrata per trasformare le città in sistemi più sostenibili, resilienti e circolari.

Il metabolismo urbano è un concetto che considera le città come un sistema vivente che consuma risorse come energia, acqua, materiali e produce rifiuti, emissione e altri output. Questo approccio si basa sull'analisi dei flussi di materia che entrano, circolano e fuoriescono da un'area urbana.

Analizzando il metabolismo possiamo mappare i flussi di risorse in modo da identificare gli sprechi o le inefficienze quali un consumo energetico eccessivo, rifiuti non riciclati, perdite idriche, promuovere l'economia circolare riutilizzando materiali e sottoprodotti riducendo il fabbisogno di nuove risorse, ottimizzare i sistemi urbani, trasporti edilizia, rifiuti in modo integrato, identificare aree degradate o sottoutilizzate, pianificare interventi mirati di rigenerazione, integrare la pianificazione territoriale con obiettivi di sostenibilità promuovendo usi del suolo, valutare l'impronta ecologica di nuovi progetti per minimizzare impatti negativi sul territorio favorendo pratiche più sostenibili.

Dalla lettura di casi concreti in Italia e all'estero si evidenzia come l'approccio del metabolismo urbano è stato applicato con successo per guidare la gestione efficiente delle risorse e la rigenerazione del territorio in diverse città, per capirne la portata riportiamo alcuni degli esempi significativi:

Gugliano in Campania: in questa città l'analisi del metabolismo urbano ha evidenziato criticità nei rifiuti, nelle infrastrutture, negli ecosistemi.

Utilizzando strumenti GIS è stato possibile mappare le aree degradate ed identificare potenziali per la rigenerazione attraverso il riuso e il riciclo.

Singapore ha utilizzato un approccio di metabolismo urbano per gestire in modo efficiente le risorse idriche ed energetiche. La città ha implementato sistemi separati per le acque piovane e reflue, canalizzando le acque piovane verso fiumi e bacini, mentre le acque reflue vengono trattate e riutilizzate. Questo modello ha migliorato la sicurezza idrica e ridotto l'impatto ambientale.

Rotterdam, Paesi Bassi questa città ha trasformato aree industriali dismesse in poli di innovazione sostenibile. Sono stati mappati dettagliatamente i flussi di materiali nella città (acqua, energia, cibo, materiali da costruzione ecc) con l'obiettivo di identificare le inefficienze e creare cicli chiusi.

Il metabolismo urbano rappresenta una prospettiva innovativa per affrontare le sfide ambientali e sociali delle città contemporanee, non è solo uno strumento analitico ma una base operativa per il cambiamento sistemico. Attraverso questo approccio le città diventano più resilienti, circolari e a basse emissioni ed inoltre la collaborazione multi-attore che vede coinvolti cittadini, pubblica amministrazione e aziende è fondamentale per il raggiungimento dei risultati.

Keywords: (metabolismo urbano, rigenerazione, casi concreti, base operativa, approccio)

Contatti: laura.digiovanni@cnr.it, emanuela.fiucci@cnr.it, vincenzo.piscitelli@cnr.it

Le opportunità dell'economia circolare ed i nuovi paradigmi di sviluppo. Un confronto tra Europa e resto del mondo

Laura Di Giovanni¹, Emanuela Fiucci¹, Vincenzo Piscitelli¹

¹ CNR

L'economia circolare rappresenta un modello trasformativo capace di rispondere alle sfide ambientali, economiche e sociali globali, superando la logica lineare del "produci-consuma-smaltisci". Essa promuove la rigenerazione dei materiali, l'efficienza nell'uso delle risorse e l'innovazione nei modelli produttivi, allineandosi ad un nuovo paradigma di sviluppo sostenibile, inclusivo e resiliente.

Tuttavia, l'adozione e l'implementazione di questo modello varia significativamente a livello geografico.

In particolare:

L'Europa si configura come *leader* globale nella transizione verso l'economia circolare. Con il Green Deal europeo (2019) e il Piano d'Azione per l'Economia Circolare (2020), l'UE ha delineato un quadro normativo e strategico avanzato, mirato a rendere sostenibili i prodotti, ridurre l'impronta ambientale e favorire modelli di business circolari.

Iniziative recenti, come il Regolamento Ecodesign per Prodotti Sostenibili (ESPR, 2022) e la Strategia UE per i Tessili Circolari, rafforzano l'impegno verso una trasformazione sistemica, sostenuta da fondi strutturali, investimenti green e strumenti normativi vincolanti.

Nel resto del Mondo, la situazione è più eterogenea. Alcuni Paesi asiatici, come la Cina e il Giappone, hanno avviato politiche circolari già nei primi anni 2000, seppur con approcci più centralizzati e focalizzati sull'efficienza industriale.

In particolare, la Cina ha integrato l'economia circolare nei suoi piani quinquennali e nel programma "Made in China 2025", puntando su simbiosi industriali e riciclo.

Tuttavia, la dimensione ambientale è spesso subordinata ad obiettivi economici.

In America Latina ed in Africa, l'economia circolare sta emergendo come risposta a sfide socio-economiche, più che ambientali. Qui, i modelli circolari si fondano spesso su pratiche informali di recupero e riutilizzo, con forte coinvolgimento comunitario ma scarsa strutturazione normativa.

L'assenza di sistemi di governance integrati e di investimenti pubblici limita, però, la scalabilità delle iniziative.

Le opportunità globali dell'economia circolare sono enormi: secondo il *Circularity Gap Report 2024*, aumentare il tasso di circolarità globale dall'attuale 7,2% al 17% permetterebbe di ridurre le emissioni globali del 39% e il consumo di risorse del 28% entro il 2032.

Per realizzare questo potenziale, serve una governance multilivello, che concili l'approccio normativo Europeo con modelli adattivi locali, capaci di valorizzare le economie informali, l'innovazione sociale e le conoscenze tradizionali.

In conclusione, l'economia circolare costituisce un'opportunità trasversale per ripensare lo sviluppo, ma la sua applicazione richiede percorsi differenziati e contestualizzati.

L'Europa può fungere da catalizzatore di buone pratiche e trasferimento di *know-how*, ma la transizione globale richiede cooperazione, giustizia climatica e inclusione economica.

Keywords: Economia circolare, Sviluppo sostenibile, Green Deal europeo, Circularity Gap Report, Governance multilivello

Contatti: emanuela.fiucci@cnr.it, laura.digiovanni@cnr.it, vincenzo.piscitelli@cnr.it

Combinazione di biorimediazione con *Lavandula angustifolia* e bioaugmentation con un consorzio batterico per il recupero di suoli multi-contaminati nel sud Italia

Cristina Cavone^{1,2}, Aurora Rutigliano^{3,4}, Ludovica Rolando⁵, Pietro Cotugno⁶, Chiara de Carolis⁵, Alessandra Narciso⁵, Ilaria Savino³, Paola Grenni⁵, Anna Barra Caracciolo⁵, Antonio Bucci¹, Gino Naclerio¹, Fulvio Celico^{7,8}, Vito Felice Uricchio³, Valeria Ancona³

¹Department of Biosciences and Territory, University of Molise, Pesche, 86090, Italy

²National Research Council, Water Research Institute, Bari, 70132, Italy

³National Research Council, Institute for Construction Technologies, Bari, 70124, Italy

⁴Department of Soil, Plant and Food Science, University of Bari, Bari, Italy

⁵National Research Council, Water Research Institute, Montelibretti, Rome, 00010, Italy

⁶Department of Chemistry, University of Bari, Bari, Italy

⁷National Biodiversity Future Center (NBFC), Palermo, Italy

⁸Department of Chemistry, Life Sciences, and Environmental Sustainability, University of Parma, Parma, 43124, Italy

Abstract

La contaminazione da metalli pesanti (HMs) rappresenta una minaccia significativa per la salute del suolo e il funzionamento degli ecosistemi, richiedendo strategie di bonifica sostenibili. Questo studio valuta l'efficacia di un approccio integrato di biorisanamento basato sulla sinergia tra la specie vegetale *Lavandula angustifolia* ed un consorzio batterico, costituito da quattro ceppi batterici idrocarburoclastici e tolleranti i metalli pesanti (*Acinetobacter puyangensis*, *Rhodococcus erythropolis*, *Gordonia amicalis* e *Acinetobacter tibetensis*). L'esperimento, della durata di 90 giorni, ha impiegato un suolo multi-contaminato prelevato da un sito SIN situato in una ex area industriale di Taranto (Puglia, Sud Italia), caratterizzato da concentrazioni elevate di Pb, Sn e Zn. Sono stati valutati quattro diversi trattamenti: suolo di controllo non trattato (HCS), suolo piantato con *L. angustifolia* (PLANT), bioarricchimento (BIOAUG) e combinazione tra specie vegetale e consorzio microbico (PLANT+BIOAUG).

Sono stati monitorati al tempo iniziale (giorno 0) e al tempo finale (giorno 90), parametri chimico-fisici (pH, EC e ICP-MS per i metalli

pesanti) e microbiologici (abbondanza microbica e attività deidrogenasica - DHA). I risultati ottenuti sono stati integrati attraverso un indice di qualità del suolo (SQI).

Il trattamento PLANT+BIOAUG ha ridotto le concentrazioni di Pb e Sn del 44.7% e 66.9% rispettivamente rispetto al controllo. Inoltre, ha determinato l'aumento più significativo del pH e dell'attività deidrogenasica microbica, con un valore di abbondanza microbica di 1.40×10^8 cellule/g. L'integrazione dei dati ha confermato che la qualità del suolo è aumentata con un valore di SQI pari 0.73, più del doppio rispetto a 0.32 del trattamento HCS.

La *Principal Component Analysis* (PCA) condotta sui dati chimici e microbiologici ha evidenziato una netta separazione del trattamento PLANT+BIOAUG lungo PC1 e PC2 (54.7% della varianza), correlata ad un incremento di pH, attività microbica e riduzione dei metalli. Le analisi molecolari, risultanti dal sequenziamento del gene che codifica per il 16S rDNA, hanno evidenziato che la maggior ricchezza in specie (Chao1=674.40) e stabilità nella comunità (Shannon=5.87 ed Eveness=0.90) si verifica nel trattamento combinato PLANT+BIOAUG a 90 giorni rispetto al controllo (HCS T90), indicando una riorganizzazione funzionale del microbioma.

I risultati dimostrano che l'interazione tra pianta e microorganismi promuove potenzialmente il recupero della qualità biologica del suolo, evidenziando l'efficacia di un approccio di biorimedio fito-assistito. Tale strategia risponde ai principi della bioeconomia circolare, integrando il risanamento con la valorizzazione di specie aromatiche a basso rischio di bioaccumulo negli oli essenziali. Questi dati preliminari e sperimentali offrono basi scientifiche per l'applicazione su scala di campo di pratiche di biorisanamento eco-compatibili.

Keywords: biorimedio fito-assistito, bioarricchimento, consorzio batterico, metalli pesanti, contaminazioni

Contatti: valeria.ancona@cnr.it, cristinacavone@cnr.it,
i.savino88@gmail.com, paola.grenni@irsa.cnr.it,
barracaracciolo@irsa.cnr.it, vito felice.uricchio@cnr.it,
ludovica.rolando@irsa.cnr.it, a.rutigliano42@phd.uniba.it,
naclerio@unimol.it, antonio.bucci@unimol.it,
pietro.cotugno@uniba.it

Porto-città-comunità: verso una governance collaborativa per la transizione socio-ecologica delle città-porto

Massimo Clemente¹, Benedetta Ettorre¹, Eleonora Giovane di Girasole¹

¹Istituto per le Tecnologie della Costruzione – Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)

Abstract

Le città-porto fanno da collegamento tra economia locale e globale, ma rappresentano anche il prodotto dell'interazione tra sistemi urbani e portuali, la cui fusione dà origine a realtà complesse e dinamiche. In questi contesti, affrontare le sfide dello sviluppo sostenibile richiede una lettura simultanea e integrata delle dinamiche che si sviluppano all'interno di entrambi i sistemi.

Nel metabolismo urbano contemporaneo, il porto si trova a ricoprire un ruolo profondamente diverso rispetto al passato. Dopo decenni di segregazione spaziale e funzionale incontrollata, dovuta principalmente alla sua funzione di nodo industriale e logistico, il porto diventa nucleo di rilancio di intere aree urbane, attraverso la realizzazione di nuovi dinamismi funzionali e nuovi servizi .

Il processo di riconnessione tra città e porto passa attraverso la ridefinizione delle relazioni materiali e immateriali tra i due ambiti. In questo percorso, il patrimonio culturale e ambientale diventa una risorsa da riscoprire e valorizzare, in un processo collettivo di riconoscimento e recupero da parte della comunità .

In questo contesto le Autorità Portuali assumono il ruolo di attuatori di meccanismi di governance in cui i “non-state stakeholders” siano impegnati direttamente nel processo decisionale e non semplicemente “consultati” dalle Istituzioni, attraverso un processo deliberativo e multilaterale, ovvero collettivo. Ma come fare per attivare un dialogo permanente tra comunità portuale e comunità cittadina capace di rafforzare la funzione sociale dei porti e favorire la loro definitiva integrazione con le città?

In un processo di questo tipo il mezzo potrebbe essere rappresentato dall'implementazione degli strumenti ICT già in uso in ambito portuale, trasformandoli in hub capaci da un lato di raccogliere e analizzare dati ambientali e, dall'altro, di coinvolgere attivamente i cittadini nelle campagne di monitoraggio e nella raccolta di feedback e percezioni soggettive sullo stato dei luoghi. Questo approccio bottom-up favorirebbe un dialogo inclusivo e partecipativo ed il diretto coinvolgimento dei cittadini nella ricerca e nei processi decisionali contribuirebbe alla nascita di un nuovo paradigma: la port-citizen science, un modello innovativo di scienza partecipata pensato specificamente per le città-porto.

I dati generati attraverso la partecipazione civica si integrerebbero con altre fonti "non tradizionali", tra cui:

- dataset geospaziali nazionali;
- sensori ufficiali per il monitoraggio ambientale;
- dati satellitari e da droni;
- dati commerciali e open data locali.

Queste informazioni andrebbero ad alimentare i modelli di città-porto sostenibile [7] e a supportare le decisioni strategiche, contribuendo al tempo stesso al raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) dell'Unione Europea e dei paralleli obiettivi definiti da associazioni come AIVP, ESPO, ecc. Inoltre, aiuterebbero a colmare le lacune nei dati ufficiali e a garantire aggiornamenti più tempestivi e capillari.

Gli strumenti risultanti favorirebbero la collaborazione su temi come il monitoraggio ambientale, la tutela della biodiversità marina e costiera, la gestione dei rischi e la pianificazione condivisa e collaborativa. Un simile approccio non solo accrescerebbe la consapevolezza pubblica sulle dinamiche portuali, ma rafforzerebbe anche il senso di comunità e la partecipazione civica, promuovendo uno sviluppo più inclusivo, sostenibile e pragmatico.

Keywords: Porto-città, Transizione socio-ecologica, Co-pianificazione, Governance collaborativa, ICT

Contatti: clemente@itc.cnr.it, ettorre@itc.cnr.it,
giovenedigirasole@itc.cnr.it

Progetto TERRA: Nature-based Solutions per la rigenerazione ambientale del SIN di Taranto

*Gregorio Sgrigna¹⁻⁴, Laura Passatore¹⁻⁴, Valeria Ancona²⁻⁴,
Carlo Pastore³⁻⁴, Gabriele Guidolotti¹⁻⁴, Michele Mattioni¹⁻⁴,
Angelo Massacci⁴*

¹CNR – Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri (IRET),

²CNR – Istituto per le Tecnologie della Costruzione (ITC),

³CNR – Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA),

⁴Phytotech s.r.l.

Abstract

Il progetto TERRA (Taranto: Ecosistemi Resilienti e Riforestazione per l'Ambiente) propone uno studio di fattibilità per la progettazione e l'implementazione di Nature-based Solutions (NbS) nell'area urbana di Taranto, con particolare attenzione ai contesti marginali e contaminati inclusi nel Sito di Interesse Nazionale (SIN). Il progetto mira a costruire una mappatura multilivello delle aree potenzialmente idonee per la realizzazione di NbS, mediante l'integrazione in ambiente GIS di diversi criteri: grado di contaminazione atmosferica (modello di deposizione CALPUFF), livello di contaminazione dei suoli (campionamento), densità della popolazione vulnerabile, e disponibilità di superfici libere da infrastrutture, preferibilmente di proprietà comunale. Tale mappatura ha l'obiettivo di identificare zone strategiche su cui pianificare interventi di riforestazione urbana in grado di fornire servizi ecosistemici mirati.

L'approccio si basa su una strategia multidisciplinare che include: analisi ambientale (aria e suolo), selezione di specie vegetali autoctone resistenti e valutazione della sostenibilità ambientale attraverso Life Cycle Assessment (LCA). Particolare attenzione è posta alla selezione di specie resilienti in grado di intercettare il particolato atmosferico e contribuire al fitorimedio dei suoli. A supporto della fase progettuale, sono stati coinvolti stakeholder chiave a livello locale, tra cui il Comune di Taranto, ARPA Puglia e il Commissario Straordinario

per la bonifica, in un processo di co-definizione degli obiettivi e validazione degli strumenti sviluppati.

Il progetto si fonda anche su dati sperimentali raccolti in un precedente studio biennale, condotto nella stessa area, su cinque specie arbustive mediterranee (*Ceratonia siliqua*, *Arbutus unedo*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea latifolia*, *Juniperus oxycedrus*).

L'indagine ha valutato le risposte eco-fisiologiche delle piante e la capacità di intercettazione del particolato (PM) in condizioni di stress urbano-industriale. Le analisi SEM/EDX hanno evidenziato elevate densità di particelle (300K PM/mm²), con prevalenza PM fine e metalli (Fe, Bi, Ba, Sb, Sn). Tra le specie, *C. siliqua* e *P. lentiscus* hanno mostrato le migliori performance, combinando resilienza fisiologica e capacità di trattenere PM.

TERRA nasce dalla collaborazione tra realtà imprenditoriali pugliesi: T&A – Tecnologia & Ambiente (spin-off del Politecnico di Bari), PhytoTech s.r.l. (start-up innovativa del CNR) ed ECOPAN (Esperti in LCA). L'integrazione di competenze in analisi ambientale, progettazione GIS, selezione vegetale e valutazione LCA consente di fornire strumenti trasferibili per la rigenerazione urbana in contesti ad alta complessità ambientale. Gli output principali – mappe di priorità d'intervento, linee guida progettuali, catalogo di specie resilienti – contribuiscono alla costruzione di un modello replicabile in altre città italiane, a supporto delle politiche locali di transizione ecologica e adattamento climatico.

Keywords: Nature-based Solutions, rigenerazione urbana, mappatura GIS, forestazione sostenibile, contaminazione ambientale

Contatti: gregorio.sgrigna@cnr.it, laura.passatore@cnr.it,
valeria.ancona@cnr.it, carlo.pastore@cnr.it,
gabriele.guidolotti@cnr.it, michele.mattioni@cnr.it,
angelo.massacci1251@gmail.com

Rigenerare i suoli urbani sigillati per ripristinare i suoi servizi ecosistemici: il progetto REUSES

Sara Di Lonardo^{1,2}, Valeria Cardelli³, Niccolò Pampuro⁴, Luigi Paolo D'Acqui¹, Stefania Cocco³, Ginevra Giacomello⁴, Alessandra Bonetti¹, Andrea Salvucci³

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri (IRET), Sesto Fiorentino; ² National Biodiversity Future Center (NBFC), Palermo; ³ Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali, Università Politecnica delle Marche (UNIVPM), Ancona; ⁴ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze e Tecnologie per l'Energia e la Mobilità Sostenibili (STEMS), Torino

Abstract

Il suolo urbano è tra le matrici ambientali più compromesse nei contesti antropizzati, spesso ridotto a mero supporto per infrastrutture, impermeabilizzato e privato delle sue funzioni ecologiche. La rigenerazione del suolo cittadino rappresenta oggi una sfida strategica nella transizione ecologica. Il progetto REUSES – REstore Urban Sealed soil for alternative Ecosystem Services, finanziato dal bando PRIN PNRR 2022, mira a trasformare i suoli sigillati da criticità ambientale a risorsa multifunzionale, restituendo loro la capacità di fornire servizi ecosistemici fondamentali per la sostenibilità urbana. Il suolo sigillato contribuisce all'aumento delle temperature locali, limita la resilienza climatica e ostacola la gestione sostenibile delle acque. La sua de-sigillatura e rigenerazione permettono di riattivare servizi essenziali come il sequestro di carbonio, la regolazione del microclima, la biodiversità, il benessere sociale e anche la produttività agricola urbana. REUSES adotta un approccio interdisciplinare e multi-attore che integra ricerca scientifica, sperimentazione sul campo e partecipazione attiva della cittadinanza. L'obiettivo è comprendere come riattivare le funzioni ecologiche e produttive di suoli coperti da lungo tempo, attraverso la realizzazione di orti urbani con pratiche agricole sostenibili. Le aree pilota si trovano nel Comune di Ancona, in zona Torrette e Vallemiano,

dove si sperimentano interventi di de-sigillatura con il coinvolgimento di comunità locali, istituzioni e stakeholder. Elemento distintivo del progetto è la costruzione partecipata di un toolkit operativo per il recupero di suoli sigillati, pensato per essere replicabile in altri contesti urbani. Attraverso soluzioni pragmatiche basate su evidenze scientifiche, REUSES propone un modello innovativo per la rigenerazione del suolo urbano, contribuendo concretamente alla transizione ecologica e alla tutela della biodiversità. Il progetto dimostra che anche nei contesti più compromessi è possibile attivare processi virtuosi che riconoscano al suolo un ruolo strategico nel benessere collettivo. Così, REUSES promuove efficienza nell'uso delle risorse, resilienza urbana e cittadinanza attiva, ridefinendo il ruolo dell'uomo da problema ambientale a parte integrante della soluzione. *Keywords:* Ripristino del suolo urbano, De-sigillatura del suolo, Servizi ecosistemici, Soluzioni basate sulla natura (Nature-based solutions), Cittadinanza attiva

Contatti: sara.dilonardo@cnr.it, v.cardelli@univpm.it,
niccolo.pampuro@cnr.it, luigipaolo.dcaqui@cnr.it,
s.cocco@univpm.it, ginevra.giacomello@iret.cnr.it,
alessandra.bonetti@cnr.it, andrea.salvucci@staff.univpm.it

Pesticidi nelle acque superficiali e sotterranee - dati di monitoraggio 2021

Emanuela Pace¹, Gianluca Maschio¹

¹ Sezione Sostanze pericolose, Servizio per l'educazione e formazione ambientale e per il coordinamento tecnico delle attività di Direzione (DG-TEC), Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

Abstract

Un problema importante dovuto all'utilizzo dei pesticidi è il loro ritrovamento nelle acque superficiali e sotterranee. Il monitoraggio dei pesticidi nelle acque consente di valutarne lo stato di contaminazione, sia in termini di diffusione territoriale, sia in termini di evoluzione temporale, e i rischi connessi alla loro presenza nell'ambiente. Consente, per di più, di verificare il conseguimento degli obiettivi delle politiche in materia di acque, che discendono dal Piano di Azione Nazionale (PAN, DM 35/2014), ai sensi della Direttiva sull'uso sostenibile dei pesticidi (Dir. 2009/128/CE), fornendo, allo stesso tempo, supporto agli organismi competenti per l'impostazione di piani e programmi volti alla tutela dell'ambiente e per l'attuazione di misure di gestione.

ISPRA e il Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) sono impegnati da anni nel monitoraggio dei pesticidi, che comporta notevoli complessità, per la natura dispersiva del loro impiego e il considerevole numero di sostanze diverse utilizzate. Il prodotto dell'attività di monitoraggio è raccolto in un Rapporto nazionale sui pesticidi nelle acque aggiornato annualmente sin dai dati 2003. I dati di monitoraggio più aggiornati pubblicati nel Rapporto sono quelli relativi alla campagna di indagine dell'anno 2021.

L'accuratezza nella pianificazione del piano di controllo ne determina la sua efficacia; deve essere effettuata l'individuazione dei punti di prelievo in relazione alle specificità territoriali e alle pressioni antropiche, si deve stabilire la frequenza di campionamento e la selezione delle sostanze da monitorare anche in base alla capacità di determinazione analitica. Nel tempo si è osservato un significativo ampliamento della rete di monitoraggio e della sua densità, dei

campionamenti e dei set analitici, tale che, nel 2021, sono stati monitorati 4.864 siti (1.997 per le acque superficiali e 2.867 per le sotterranee), sono stati eseguiti complessivamente 16.273 campionamenti e cercate 412 sostanze diverse, per un totale di oltre un milione e trecentomila determinazioni analitiche.

Al fine della valutazione dello stato di contaminazione delle acque, le concentrazioni misurate sono confrontate con i limiti ambientali stabiliti a livello europeo e nazionale, sulla base delle disposizioni normative che discendono dalla Direttiva Quadro Acque (Direttiva 2000/60/CE). Per le acque superficiali i limiti sono rappresentati dagli Standard di Qualità Ambientale (SQA). Si tratta di concentrazioni limite stabilite sulla base di valutazioni ecotossicologiche per un gruppo di pesticidi considerati prioritari per via della loro pericolosità. Per tutti gli altri pesticidi (inclusi i loro metaboliti), la norma fissa un SQA pari a 0,1 µg/L per la concentrazione media annua della singola sostanza e 1 µg/L per la somma di tutti i pesticidi. Per le acque sotterranee, la concentrazione media annua dei pesticidi non deve superare 0,5 µg/L come sommatoria totale e 0,1 µg/L come singola sostanza.

I livelli di concentrazione dei pesticidi nei punti di monitoraggio sono rappresentati graficamente con colori diversi. Il rosso indica i punti di monitoraggio in cui si riscontra una contaminazione delle acque, poiché le concentrazioni sono superiori agli SQA. Questa classe di concentrazione rappresenta uno stato di non conformità rispetto ai limiti ambientali, con conseguenze negative per i possibili effetti sull'ambiente. Il blu indica i punti in cui è stata riscontrata la presenza di pesticidi ad una concentrazione che non supera lo SQA, quindi conforme rispetto ai limiti ambientali. Infine, il grigio è attribuito ai punti in cui la concentrazione è inferiore al 30% SQA o al limite di quantificazione (LoQ) della metodica analitica.

Il riscontro di residui di pesticidi nell'ambiente in seguito al loro uso riguarda in misura maggiore le acque superficiali rispetto alle acque sotterranee. Su un totale di 1.197 stazioni di monitoraggio delle acque superficiali, 566 punti, pari al 28,3% dei totali, mostrano valori di superamento dei limiti normativi (> SQA). Nelle acque sotterranee il superamento dei limiti è stato rilevato nel 6,8% dei punti monitorati (194 su un totale di 2.867). La grande maggioranza dei punti controllati è quindi conforme. Il risultato ottenuto raccoglie tutte le tipologie di

acquifero, da quelli superficiali più esposti alle possibili filtrazioni a quelli protetti da stratificazioni impermeabili. Complessivamente, nelle acque superficiali e sotterranee sono state riscontrate 208 sostanze diverse.

La presenza di pesticidi è più diffusa nelle aree della pianura padano-veneta. Tale stato è legato alle caratteristiche idrologiche del territorio in questione e al suo intenso utilizzo agricolo. Rispetto agli anni precedenti, comunque, l'aumentata copertura territoriale e la migliore efficacia del monitoraggio sta portando alla luce una presenza di contaminazione anche al centro-sud.

Gli erbicidi sono la categoria di sostanze più frequentemente rinvenuta con concentrazioni superiori ai limiti ambientali. Tra questi si distinguono, nelle acque superficiali, glifosato e metolaclor, il glifosato è, d'altra parte, tra le sostanze più vendute in Italia e nel mondo; nelle acque sotterranee il bentazone, nonostante le stringenti limitazioni di utilizzo sulle colture risicole. Tra gli insetticidi si segnala la presenza di imidacloprid, il cui uso attualmente è vietato, poiché è altamente tossico per le api; tra i fungicidi azossistrobina. Persistono nelle falde ritrovamenti di metaboliti di sostanze non più utilizzate in agricoltura da lungo tempo, anche da decenni, come per esempio l'atrazina, che è stata tolta dal mercato nei primi anni '90, a conferma del difficile recupero ambientale.

Nel decennio 2012-2021 la frequenza di ritrovamento dei pesticidi è in crescita, sia nelle acque superficiali che sotterranee. Aumenta inoltre la contaminazione, dovuta ai ritrovamenti di pesticidi con concentrazioni superiori ai limiti normativi; nelle acque superficiali si raggiunge un 15% di incremento di punti contaminati. Si segnala, tuttavia, una stretta relazione di questa tendenza al complessivo potenziamento delle attività di monitoraggio e dell'efficacia dei protocolli di analisi.

La presenza di pesticidi nell'ambiente, oltre a rappresentare un rischio per gli ecosistemi, pone problemi anche per l'uomo. L'uomo può assimilare sostanze chimiche pericolose attraverso gli alimenti e l'acqua, le vie respiratorie e la pelle. Il quadro legislativo europeo in materia di pesticidi di fatto è realizzato con lo scopo di garantire un elevato livello di protezione per la salute dell'uomo e dell'ambiente, tuttavia, i dati di monitoraggio dimostrano che le valutazioni preventive e le misure messe in atto non sono sempre adeguate.

Il processo autorizzativo incontra criticità legate, per esempio, alla valutazione dell'esposizione per via di un uso dispersivo e in elevate quantità dei pesticidi, oltre al cospicuo numero di sostanze diverse impiegate. L'inquinamento chimico, infatti, segue vie complesse e difficili da prevedere, inoltre, la persistenza di alcune sostanze determina l'accumulo di inquinanti e un difficile ripristino delle condizioni naturali.

Le strategie europee emanate con il Green Deal indicano gli obiettivi da perseguire al fine di giungere a un uso sostenibile dei pesticidi. Innanzitutto, è determinante la riduzione dell'uso e del rischio dei pesticidi chimici (Strategia "Farm to fork") e l'incremento dell'agricoltura biologica (Strategia sulla biodiversità). È inoltre fondamentale colmare le lacune in materia di conoscenza e valutazione degli effetti combinati delle sostanze chimiche e uniformare la valutazione e identificazione della pericolosità delle sostanze, obiettivo che vale in particolare per gli interferenti endocrini, per le sostanze persistenti, bioaccumulabili e tossiche (PBT) e le persistenti, mobili e tossiche (PMT) (Strategia chimica per la sostenibilità).

Keywords: pesticidi, uso sostenibile, monitoraggio, contaminazione, acque interne.

Contatti: emanuela.pace@isprambiente.it,
gianluca.maschio@isprambiente.it

Sistema informativo monitoraggio pesticidi (SIMP): flusso dei dati e gestione delle informazioni

Stefano De Corso¹, Elio Giulianelli¹, Gianluca Maschio²

¹ Servizio per il sistema informativo nazionale ambientale (DG-SINA), Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

² Sezione Sostanze pericolose, Servizio per l'educazione e formazione ambientale e per il coordinamento tecnico delle attività di Direzione (DG-TEC), Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

Abstract

Al fine di gestire e divulgare la grande quantità di informazioni prodotte dall'attività di monitoraggio pesticidi svolta dalle ARPA/APPA, l'ISPRA ha sviluppato il Sistema Informativo Monitoraggio Pesticidi (SIMP). I dati di monitoraggio vengono trasmessi all'ISPRA attraverso il Sistema Informativo Nazionale per la Tutela delle Acque Italiane (SINTAI), mediante il quale vengono espletate tutte le attività relative alla gestione dell'informazione sulla qualità delle acque interne e marine previste dalle normative nazionali ed europee.

Gli obiettivi che si pone il SIMP sono: ottimizzare la fase di acquisizione e controllo delle informazioni di monitoraggio regionale mediante l'utilizzo di funzioni specifiche per la validazione dei dati di input; sviluppare procedure automatizzate per l'elaborazione e la produzione di grafici, cartografie, tabelle e indicatori per la tutela dell'ambiente acquatico; realizzare una efficace divulgazione dei risultati del monitoraggio.

Nel SINTAI (sezione FITOSANITARI) è presente il *format* della scheda regionale di monitoraggio pesticidi che ogni regione deve popolare e successivamente caricare nell'area "*upload dati*". Nella scheda sono inserite dalle regioni le informazioni relative alle stazioni di monitoraggio e quelle riferite alle misure di campionamento delle sostanze. Attualmente le operazioni di controllo della scheda di monitoraggio sono effettuate mediante l'utilizzo di *tools* disponibili nei *software Excel e Access*. Gli esperti ISPRA stanno sviluppando nuove procedure automatizzate per l'accesso diretto al SINTAI, il

controllo e l'inserimento dati nel DB (*PostgreSQL*). La nuova funzione di controllo e inserimento automatico verificherà la completezza e correttezza delle due tabelle regionali (anagrafica e monitoraggio) contenute nella scheda.

I dati raccolti dalle stazioni di monitoraggio rappresentano la base fondamentale del Sistema Informativo Monitoraggio Pesticidi (SIMP). Questi dati, frutto di campagne di campionamento e analisi, vengono inseriti nel database del SIMP dopo un processo di validazione che ne garantisce l'affidabilità. Una volta validati, i dati sono accessibili agli esperti ISPRA, che possono consultarli, modificarli e aggiornarli per assicurare che siano sempre accurati. La banca dati è progettata per supportare analisi complesse, permettendo di estrarre informazioni preziose per la gestione del monitoraggio e per la tutela delle acque. I dati trasmessi dalle regioni sono organizzati in due tabelle principali:

- *Anagrafiche stazioni*: raccoglie le informazioni relative alle stazioni di monitoraggio, essenziali per collocare correttamente i punti di monitoraggio nel contesto territoriale e per garantire che i dati siano georeferenziati in modo preciso.
- *Monitoraggio*: contiene i risultati dei campionamenti dei pesticidi effettuati nelle acque interne. Include l'identificativo della stazione, la data di campionamento, la profondità, la concentrazione delle sostanze rilevate e il codice CAS (Chemical Abstracts Service) della sostanza analizzata.

L'anagrafica delle stazioni viene sottoposta ad un processo di "*data cleansing*", allo scopo di garantire coerenza e interoperabilità del dato. In particolare: correzione degli errori di proiezione, attribuzione corretta ai comuni, conversione di tutte le coordinate al sistema di riferimento unificato.

La tabella SQA (Standard di Qualità Ambientale) rappresenta uno strumento fondamentale per l'analisi e la gestione dei dati di monitoraggio. Questa tabella è generata attraverso una procedura automatizzata lato DB ed aggrega i dati della tabella Monitoraggio pesticidi (acque interne) in forma statistica, permettendo di estrarre informazioni di sintesi sulle sostanze, i campioni e i livelli di concentrazione nell'ambito delle singole stazioni e delle sostanze da esse monitorate. I livelli di concentrazione sono calcolati attraverso il confronto delle concentrazioni medie delle singole sostanze con i limiti di legge (SQA).

I dati rilevati dalle stazioni di monitoraggio, una volta elaborati e uniformati, vengono esposti in forma statistica e cartografica sul Portale dei Pesticidi. Le funzionalità del portale sono:

- *Area Rapporti*: consultazione delle pubblicazioni ISPRA e tabelle statistiche relative al monitoraggio dei pesticidi.
- *Area Geoportale*: visualizzazione cartografica interattiva dei livelli di concentrazione dei punti di monitoraggio per aree e periodi di interesse; ricerca di specifici pesticidi sul territorio, visualizzando le stazioni di monitoraggio in cui sono stati rilevati. Alcune funzioni peculiari sono: la possibilità di ottenere informazioni dettagliate su ogni singola sostanza rilevata in un punto di prelievo; la possibilità di effettuare un'analisi approfondita di tutte le sostanze tramite grafici interattivi, che evidenziano i livelli di concentrazione; la possibilità di applicare *query* e filtri per annualità, livelli amministrativi (regioni, province, comuni), livelli di concentrazione e singole stazioni.
- *Elaborati statistici*: visualizzazione grafica dell'evoluzione temporale dell'efficacia del monitoraggio; andamento complessivo dei ritrovamenti nelle acque interne; analisi della tendenza di specifiche sostanze.
- *Download dei Dati*: informazioni vettoriali delle stazioni di monitoraggio e le vestizioni cartografiche relative ai livelli di concentrazione. L'area download è strutturata in modo da consentire l'ottenimento dei dati relativi al tipo di stazione, alla regione di appartenenza e all'anno di riferimento.

I dati relativi alle stazioni di monitoraggio e agli SQA (Standard di Qualità Ambientale) sono stati ulteriormente trasformati per essere conformi al modello W3C RDF (Resource Description Framework), al fine della loro ulteriore pubblicazione secondo il paradigma dei Linked Open Data (LOD). Tale modalità di pubblicazione garantisce la massima interoperabilità e la interpretazione automatica della semantica descritta nel dato (*machine readable*). Particolare attenzione è stata effettuata nell'armonizzazione dei dati, tramite la definizione di vocabolari controllati e di ontologie allineate a livello internazionale, con i principali schemi e ontologie di riferimento: *INSPIRE Data Specification on Environmental Monitoring Facilities*, *Ontologia SOSA/SSN* per il monitoraggio di dati ambientali, *Ontologia GeoSPARQL* per descrivere la componente geospaziale del dato.

Per quanto riguarda le classi e le proprietà che modellano i dati di monitoraggio pesticidi, si evidenziano in particolare la stazione di monitoraggio, la serie dei campionamenti che modella i campionamenti effettuati nel corso dell'anno.

I dati pubblicati secondo il modello RDF possono essere interrogati tramite query semantiche tramite il linguaggio SPARQL. Ad esempio, è possibile effettuare interrogazioni del tipo: “Quali sono le stazioni di acque sotterranee in una certa regione ed un certo anno con livello di concentrazione, numero di sostanze cercate e sostanze trovate?”; oppure: “Quali sono le stazioni di acque superficiali in una certa regione ed un certo anno con livello di concentrazione superiore ai limiti?”.

Keywords: geoportale, monitoraggio, pesticidi, campionamenti, procedure.

*Contatti: stefano.decorso@isprambiente.it,
elio.giulianelli@isprambiente.it, gianluca.maschio@isprambiente.it*

Tecnologie per il trattamento dei PFAS nelle acque - analisi di esperienze dirette per la selezione delle migliori soluzioni tecnologiche economicamente applicabili

**Alessandro Raffaldi¹, Marco Zamborlini¹, Paolo Boitani¹, Simone
Alberio¹**

¹ Zueblin Umwelttechnik GmbH

Abstract

La contaminazione delle acque da PFAS (sostanze perfluoroalchiliche e polifluoroalchiliche) rappresenta una delle principali problematiche ambientali e sanitarie dei nostri tempi. Questi composti chimici, noti per la loro persistenza nell'ambiente e nell'organismo umano, sono utilizzati in una vasta gamma di prodotti industriali, tra cui schiumogeni antincendio, tessuti impermeabili e rivestimenti antiaderenti. La loro natura stabile e la resistenza alla degradazione biologica li rendono particolarmente pericolosi, accumulandosi nel suolo, nelle acque superficiali e sotterranee, nonché nel corpo umano, con potenziali effetti dannosi per la salute, tra cui disfunzioni ormonali, problemi al fegato e aumentato rischio di tumori. La crescente preoccupazione per i rischi legati alla contaminazione da PFAS ha portato alla necessità urgente di sviluppare e implementare tecnologie efficaci per la depurazione delle acque, al fine di ridurre l'esposizione e proteggere la salute pubblica e l'ambiente. Il presente studio illustra le migliori tecnologie disponibili per il trattamento e la rimozione dei PFAS dalle acque, valutandone l'efficacia e i costi, sulla base dei dati raccolti durante l'esecuzione di progetti di trattamento acque sia su scala pilota sia full scale completati con successo o ancora in corso da parte della società Zueblin Umwelttechnik GmbH.

Nel corso degli ultimi 15 anni, Zueblin Umwelttechnik GmbH ha progettato, costruito e operato oltre 60 impianti per il trattamento delle acque di falda contaminate da PFAS, sia a scala pilota sia full-scale, con portate da 1 a 360 m³/h; oltre a 2 impianti di soil-washing di terreni contaminati da PFAS (con produzione fino a circa 2.000

t/giorno), con i relativi sistemi per il trattamento delle acque di lavaggio e dei fanghi.

Tali interventi sono stati implementati in diverse tipologie di siti: aree industriali dismesse e attive (settore chimico e petrolchimico) ove la contaminazione derivava dalla produzione o dall'utilizzo diretto di PFAS; aeroporti civili e militari, ove la contaminazione derivava principalmente dall'utilizzo di schiumogeni nelle esercitazioni antincendio; altri siti soggetti a fonti di contaminazione indiretta. Allo stesso modo, si è affrontata una significativa variabilità delle tipologie e valori delle concentrazioni dei PFAS presenti nelle acque (da meno di 1 µg/L a oltre 600 µg/L).

L'analisi dei dati raccolti durante la realizzazione di un significativo numero di progetti di trattamento acque contaminate da PFAS e PFOA ha evidenziato come la scelta di un metodo efficace per il trattamento delle acque contenenti tali composti dipenda in larga misura dai loro livelli di concentrazione. Se le concentrazioni sono basse, nell'ordine di 0,1-10 µg/L, l'adsorbimento su carbone attivo è risultato essere il processo di purificazione più efficace e meno costoso. In caso di siti ove i livelli di concentrazione risultano particolarmente elevati, dell'ordine di 50-500 µg/L o più, il solo adsorbimento su carbone attivo non risulta conveniente a causa dell'elevato consumo del media filtrante. In questi casi, la soluzione più efficiente è risultato essere implementare una combinazione di tecnologie: la foam fractionation come sezione di trattamento principale, seguita da un finissaggio mediante filtrazione su carbone attivo o su resina a scambio ionico, in funzione dei valori limite obiettivo delle concentrazioni residue dei PFAS, più o meno stringenti, imposti dall'Ente competente.

Contatti: umwelttechnik-it@zueblin.de

Sistema SRT® di Elto: una nuova frontiera per la stabilizzazione rapida dei pendii e la mitigazione delle frane superficiali

Simone Fregonese

¹ *Elto Srl*

Abstract

La frequenza crescente di frane superficiali innescate da eventi piovosi intensi e prolungati impone l'adozione di soluzioni ingegneristiche rapide, efficaci e compatibili con le condizioni operative d'emergenza. Tali fenomeni si manifestano frequentemente in pendii con terreni coesivi, spesso argillosi e soggetti a cicli stagionali di essiccamento e fessurazione.

Il sistema SRT® (Slope Reinforcement Technology), sviluppato e distribuito in esclusiva per l'Italia da Elto S.r.l., rappresenta una soluzione innovativa per la stabilizzazione di versanti e scarpate mediante l'infissione rapida di elementi di rinforzo passivo. La tecnologia consente di intervenire anche in condizioni di frana attiva e in presenza di eventi meteorici in corso, rispondendo così alle esigenze operative di enti pubblici, gestori infrastrutturali e imprese di pronto intervento.

Il sistema SRT® si basa sull'impiego di profili metallici modulari, lunghi da 2,5 a 5,5 metri, dotati nella parte superiore di piastre rettangolari in acciaio da 300 x 600 mm. Questi elementi, denominati Plate Piles, vengono infissi trasversalmente al pendio mediante escavatori con martello vibrante oppure, in aree a difficile accesso, con strumenti pneumatici portatili.

Il principio su cui si fonda il funzionamento è l'effetto arco: la spinta esercitata dal terreno instabile viene intercettata dalle piastre, trasferita ai Plate Piles e scaricata verso il terreno stabile, attivando una resistenza passiva che contrasta efficacemente il cinematismo superficiale. Il sistema è indicato per frane con profondità fino a 5 metri, su pendii con pendenza compresa tra 30% e 100% (da 17° a 45°), anche in presenza di rocce tenere, suoli argillosi o depositi grossolani contenenti ciottoli fino a 75 mm.

I Plate Piles vengono installati secondo una griglia sfalsata con interasse tipico di $1,2 \times 1,2$ metri, con produttività superiore a 60 pali al giorno. L'intervento non richiede scavi, movimentazione terra o la rimozione della vegetazione esistente, risultando poco invasivo, silenzioso e facilmente reversibile.

Il sistema è stato applicato con successo in oltre 30.000 installazioni internazionali, e sta trovando crescente diffusione anche in Italia. L'esperienza operativa documenta risultati eccellenti anche in condizioni critiche, come l'arresto di frane in atto con velocità di spostamento di 2 centimetri al giorno durante eventi piovosi.

Un caso studio particolarmente significativo è quello della Gooseberry Road (Utah, USA), dove due frane attive (profondità 2,3 m e 1 m) sono state stabilizzate in soli tre giorni durante una tempesta invernale, senza interruzione dei lavori. I Plate Piles sono stati infissi direttamente nel corpo di frana in movimento, raggiungendo un fattore di sicurezza finale pari a 1,5.

Le analisi di stabilità sono eseguite mediante software agli equilibri limite (LE) come SLIDE (Rocscience), integrati con modelli di risposta dei Plate Piles al carico laterale (LPILE), con obiettivo di raggiungere fattori di sicurezza (FS) $\geq 1,3$. La metodologia progettuale tiene conto anche della presenza di falde superficiali, talvolta gestite con dreni orizzontali o coperture vegetali abbinate.

I principali vantaggi rispetto alle tecniche tradizionali includono:

- riduzione dei costi fino al 50%;
- tempi d'intervento ridotti;
- assenza di opere in calcestruzzo o ancoraggi;
- possibilità di intervento in regime di emergenza e su aree con accessibilità limitata;
- compatibilità con il ripristino paesaggistico e l'integrazione ecologica del pendio.

In un contesto di crescente instabilità idrogeologica, il sistema SRT® si configura come una soluzione scalabile, sostenibile e tecnicamente affidabile, destinata a diventare un riferimento per la gestione preventiva e correttiva delle frane superficiali.

Contatti: simone.fregonese@elto.it

La Marmettola nel comprensorio estrattivo delle Alpi Apuane: una rilevante criticità ambientale per i corpi idrici superficiali e sotterranei

**Claudio Numa¹, Elisa Nardi¹, Francesco Andreotti¹, Enrico Scalchi¹,
Licia Lotti²**

¹ ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - Centro Nazionale per le crisi e le emergenze ambientali e il danno,

² ARPA Toscana – Dipartimento di Massa

Abstract

Negli ultimi anni, il comprensorio estrattivo delle Alpi Apuane è stato più volte oggetto di segnalazioni da parte di associazioni ambientaliste e privati cittadini in merito a problematiche di inquinamento delle acque superficiali e sotterranee, riconducibili al ruscellamento e dispersione della cosiddetta “marmettola” e dei materiali fini residui dell’attività estrattiva.

Il D.lgs. 152/06, comunemente chiamato “Testo Unico dell’Ambiente (TUA)”, ampliando l’azione amministrativa dello Stato alla fase preventiva dei danni ambientali con l’introduzione dell’art. 304 della parte sesta “Norme in materia di tutela risarcitoria contro i danni all’ambiente”, ha dato nuovo vigore alle azioni di prevenzione e controllo ambientale del territorio da parte del Sistema Nazionale di Protezione dell’Ambiente (SNPA). Inoltre, in applicazione del principio di precauzione stabilito dall’art. 301 del medesimo decreto, lo Stato può predisporre interventi operativi sulla base di valutazioni tecnico-scientifiche dell’Istituto Superiore di Protezione e Ricerca Ambientale (ISPRA), in collaborazione con il SNPA, per la prevenzione, in via precauzionale, dei rischi e dei danni ambientali derivanti da situazioni di criticità ambientale o da vere e proprie crisi ed emergenze ambientali.

Il fenomeno della dispersione periodica della marmettola nei corpi idrici superficiali e sotterranei del citato comprensorio estrattivo, rappresenta una criticità ambientale di rilievo che questo contributo intende approfondire in modo specifico.

Obiettivo del presente approfondimento è quello di richiamare l'attenzione sulla tematica, analizzando gli aspetti peculiari dei diversi casi esaminati e, sulla base della bibliografia disponibile, esaminare le fattispecie di maggior rilievo ai fini dell'individuazione di possibili misure di prevenzione e mitigazione utili a garantire una gestione adeguata degli scarti marmiferi, con particolare riferimento alla marmettola.

Alla luce degli esiti delle istruttorie ISPRA, il Ministero ha potuto agire con azioni di impulso con l'obiettivo di favorire l'esecuzione di interventi, di competenza delle Autorità territoriali e di altri Enti di controllo, nelle situazioni di maggiore criticità, promuovendo un efficace coordinamento tra tutte le autorità coinvolte, al fine di individuare e attuare le azioni più efficaci per il superamento di tale rilevante criticità ambientale, diffusa su buona parte del comprensorio estrattivo.

Dal 2022 al 2024, sono pervenute ad ISPRA sette richieste di valutazione tecnico-scientifica da parte del MASE relative a casi di potenziali criticità ambientali e/o danno ambientale ex parte sesta del TUA, connesse allo svolgimento delle attività estrattive e, in particolare, al fenomeno di contaminazione da marmettola delle acque superficiali e sotterranee nel comprensorio estrattivo delle Alpi Apuane. Tali richieste sono state finalizzate anche all'individuazione di misure di prevenzione e/o mitigazione dei rischi ambientali associati a tali attività.

In tale ambito sono stati esaminati alcuni casi studio, con l'obiettivo di rappresentare le principali criticità ambientali individuate in collaborazione con ARPA Toscana, che sono verosimilmente riconducibili a una non efficace separazione, raccolta e depurazione dei materiali di scarto marmiferi, inclusa la marmettola, con la conseguente dispersione di questi materiali nelle acque dilavanti le aree di cava e/o nelle acque derivanti dalle operazioni di taglio (Figura 2). Sono state altresì prese in esame le diverse misure adottate o proposte per la gestione delle criticità ambientali connesse alla contaminazione da marmettola dei corpi idrici superficiali e sotterranei.

Per quanto riguarda le misure di prevenzione e mitigazione degli impatti sui corpi idrici superficiali e sotterranei sono già in vigore degli accorgimenti relativi alla gestione delle acque meteoriche di

dilavamento delle aree di cava, come stabiliti dalla L.R. 20/2006 e dal Regolamento n. 46r/2008, in attuazione dell'art.113 del D.Lgs. 152/2006. Tuttavia, tali indicazioni, così come le prescrizioni autorizzative per la gestione della marmettola, non si dimostrano sufficienti a risolvere le criticità ambientali rilevate. È auspicabile avviare un quadro di confronto tecnico-scientifico più ampio, anche alla presenza dei rappresentanti degli operatori del settore e delle associazioni presenti sul territorio, con l'obiettivo di analizzare in dettaglio l'efficacia delle misure e le indicazioni attualmente in vigore, valutare le migliori tecnologie disponibili e individuare delle possibili soluzioni tecniche/gestionali in grado di superare le criticità ambientali sopra evidenziate.

Contatti: cn-cre@isprambiente.it

On design and construction of a new LNG terminal in Wilhelmsen (Germany)

Enrico Di Lauro¹, Theofano Koutrouveli¹, Pierre Roux¹, Jaap De Groot¹

¹ International Marine and Dredging Consultants (IMDC)

Abstract

The Wilhelmshaven LNG Terminal project is a strategic national initiative undertaken by the German government to reinforce the country's energy resilience in response to a major shift in global gas supply dynamics. Following the geopolitical instability triggered by the conflict in Ukraine, Germany faced the urgent need to diversify and secure its sources of natural gas. With a significant portion of its energy mix historically dependent on Russian pipelines, the government moved swiftly to implement alternative infrastructure capable of meeting national demand. The deployment of Floating Storage and Regasification Units (FSRUs) is central to this effort, enabling a flexible, rapidly deployable, and scalable solution to accommodate liquefied natural gas imports.

Wilhelmshaven, located on the North Sea coast and home to Germany's only deep-water port, was chosen as the site for one of these critical LNG terminals. The selection was based on its strategic location, existing port infrastructure, and suitability for Fast-Track development. The project was led by DET – Deutsche Energy Terminal GmbH, the public entity responsible for LNG infrastructure on behalf of the German government and started the end of 2022. The development involved the construction of a dedicated offshore jetty and a subsea pipeline connecting the FSRU to the national transmission grid.

Among the project key players, IMDC played a pivotal role, both as the design lead for the marine works, responsible for the engineering and development of the offshore infrastructure, and as Owner's Engineer (OE) for marine infrastructure. IMDC ensured the marine components met rigorous technical standards, optimized for fast-track construction, and compliant with performance, regulatory, and

environmental requirements. IMDC role included technical oversight, quality assurance, and continuous support and supervision to the client and contractors during execution works.

IMDC prepared the detailed design of the main elements of the offshore jetty, including the definition of the dredging berth pocket and turning basin, the design of the scour protection around the monopiles, mooring and breasting dolphins, fenders and quick release hooks, pile platform and catwalks connecting the dolphins and a floating pontoon. The large use of prefabricated elements for the jetty significantly reduced construction times allowing to meet the objectives of the Fast-Track project, reducing delays related to multiple installations and curing periods on site.

Shorter duration on site leads to less interfaces with marine traffic and reduces the duration of the environmental impact of the construction activities. Environmental compliance remained a priority, with detailed assessments addressing underwater noise, sediment dispersion, and local marine habitat impacts. Mitigation measures such as acoustic deterrents and bubble curtains were adopted to comply with regulatory thresholds and reduce ecological footprint.

The project also incorporated comprehensive preparatory works, including geophysical surveys, unexploded ordnance (UXO) clearance, and phased dredging to ensure navigational safety and readiness. Coordination across multiple disciplines and contractors was achieved through strong interface management and early procurement strategies. The arrival of the FSRU on May 2025 and the commencement of LNG operations with the “*Start-up and Feed to Pipeline*” enabled the efficient ship-to-ship transfers and direct gas feed into the German grid.

Keywords: Ports, LNG terminal, FSRU, Fast Track project, Wilhelmsen

Contacts: enrico.di.lauro@imdc.be (+32 473 90 04 99), theo.fano.koutrouveli@imdc.be, pierre.roux@imdc.be, jaap.de.groot@imdc.be.

From hard engineering to resilient seafronts: coastal redesign in Italy and France

Andrea Pedroncini¹, Fabrice Gouaud²

¹ DHI S.r.l. – Italy, ²DHI SARL - France

Abstract

Per diversi decenni, la protezione costiera contro l'erosione e le inondazioni marine si è basata prevalentemente sulla realizzazione di opere ingegneristiche rigide, tra cui pennelli, scogliere frangiflutti parallele e rivestimenti in massi. Questi interventi, tipici dell'approccio tradizionale, sono stati realizzati con l'obiettivo di difendere le zone costiere dall'azione distruttiva del mare, ma spesso hanno comportato alterazioni significative degli ecosistemi e del paesaggio naturale.

Solo in tempi più recenti, grazie all'affermazione del concetto di "working with nature" e allo sviluppo delle cosiddette "nature-based solutions", le difese rigide tradizionali stanno progressivamente lasciando spazio a strategie più innovative e sostenibili. Queste nuove soluzioni puntano a promuovere una maggiore resilienza dei litorali, combinando tecnologie avanzate con l'utilizzo intelligente delle dinamiche naturali per ridurre l'impatto ambientale e migliorare l'efficacia delle difese costiere nel lungo periodo.

I casi studio

In questo contesto si inseriscono due casi studio significativi, che illustrano l'applicazione concreta di approcci alternativi alla difesa costiera. Il primo è localizzato lungo la costa ligure in Italia, mentre il secondo si trova nei pressi dell'estuario della Somme, nella regione dell'Hauts-de-France, nel nord della Francia. In entrambi i progetti, DHI ha fornito supporto tecnico-scientifico per lo sviluppo di soluzioni difensive innovative, avvalendosi dell'uso avanzato della modellazione numerica per analizzare scenari, prevedere gli effetti e ottimizzare le strategie di intervento.

Il primo caso studio si concentra sul tratto costiero della città di Chiavari, in Liguria. L'intervento principale prevede la rimozione delle attuali barriere frangiflutti in massi, disposte parallelamente alla riva, e la realizzazione di un'ampia spiaggia dissipativa in ghiaia, ottenuta

tramite un consistente apporto di materiale. Questo ripascimento strutturale mira a ridurre in modo significativo i fenomeni di tracimazione dell'onda (overtopping) lungo la passeggiata a mare, offrendo una protezione più integrata e meno invasiva rispetto ai sistemi rigidi tradizionali. Inoltre, la nuova spiaggia fungerà da elemento paesaggistico e ricreativo, contribuendo anche alla riqualificazione urbana del lungomare.

Il secondo caso studio si svolge nella cittadina di Cayeux-sur-Mer, situata lungo la costa settentrionale francese. A seguito di una revisione aggiornata della valutazione del rischio di inondazione marina, si è deciso di non procedere con il potenziamento massiccio del muro di protezione esistente, che avrebbe comportato impatti paesaggistici ed economici non sostenibili. In alternativa, è stata proposta una soluzione innovativa basata sulla realizzazione di una rete di drenaggio superficiale, progettata per gestire i volumi d'acqua in eccesso nella parte alta della spiaggia durante gli eventi di piena marina. Questa strategia è integrata da un sistema di gestione attiva e adattiva dei volumi di ghiaia e ciottoli presenti nel settore intertidale, con l'obiettivo di attenuare i fenomeni di overtopping e aumentare la capacità di risposta naturale della costa.

Contatti: anp@dhigroup.com

GOCCIA (Green Opportunities to Clean-up Contaminants through an Interspecies Alliance): un laboratorio a cielo aperto per l'applicazione di Nature-based Solutions (NbS) nell'ambito della rigenerazione urbana

Massimiliano Baric¹, Silvia Leoci^{1,2}, Gianluca Rapaccini³, Stefano Zoli³, Laura Passatore⁴, Isabel Nogue⁴, Fabrizio Pietrini⁴, Massimo Zacchini⁴, Tatiana Stella¹

¹M3R-Monitoring and Management of Microbial Resources Srl;

²Università di Milano-Bicocca;³Terrapreta Srl; ⁴Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri, Consiglio Nazionale delle Ricerca (IRET-CNR)

Abstract

Molti ex siti industriali si trovano all'interno o in prossimità di aree urbane, dove la popolazione è cresciuta considerevolmente negli ultimi decenni. I progetti di riqualificazione urbana rappresentano un'opportunità per restituire alla comunità siti sottoutilizzati e spesso abbandonati, offrendo un'alternativa sostenibile all'espansione urbana incontrollata, creando servizi pubblici e spazi verdi e migliorando la qualità della vita in termini sociali, economici e ambientali. A causa delle profonde interconnessioni tra i siti contaminati e le aree circostanti, i progetti di riqualificazione sono spesso complessi e impegnativi, richiedendo una cooperazione attiva tra le autorità pubbliche a diversi livelli e gli stakeholder privati. Negli ultimi anni, la rigenerazione urbana ha compiuto progressi, diventando un'opportunità per promuovere politiche di partecipazione sociale, posti di lavoro verdi e imprenditorialità locale. L'area oggi nota come La Goccia, nel quartiere Bovisa, a nord-ovest di Milano, ha ospitato sin dal 1905 le Grandi Officine Gas. L'impianto produceva gas per il fabbisogno urbano attraverso la distillazione del carbone fossile, trasportato sulla ferrovia che in parte ne delimita ancora oggi il confine. Già a partire dagli anni '70, l'attività industriale fu parzialmente limitata e a metà degli anni '90 gli impianti furono definitivamente chiusi, lasciando nell'area una pesante eredità fatta di edifici industriali abbandonati e pericolanti e di una contaminazione

diffusa, dovuta proprio all'attività industriale. La Valutazione dei Rischi (2013-14) ha evidenziato rischi residui associati al contatto diretto dovuti alla presenza di TPH, BTEX, IPA, metalli pesanti in molte aree del sito. La difficoltà di elaborare una strategia complessiva di risanamento dell'area ha di fatto rallentato il processo di bonifica e riqualificazione. Il lungo periodo di abbandono dell'area ha permesso la crescita di un bosco urbano spontaneo, che si estende su una superficie di circa 24 dei 45 ettari del sito e ospita numerose specie vegetali e animali che compongono l'ecosistema di partenza per costruire un nuovo rapporto tra natura e città. Si stima la presenza di oltre 16.000 alberi e una sorprendente biodiversità in termini di fauna e flora.

L'analisi pedologica ha fornito le basi per la comprensione dei processi fisico-chimici che governano la mobilità dei contaminanti nel terreno e le analisi della biomassa e delle comunità microbiche del suolo hanno permesso una maggiore comprensione dei processi biochimici in atto. È stata valutata la capacità delle diverse specie arboree target (*Robinia pseudoacacia*, *Celtis australis*, *Populus* spp., *Ulmus* spp.) di accumulare i contaminanti nella biomassa legnosa. L'analisi microbiologica ha portato all'individuazione di processi metabolici utili per la degradazione dei contaminanti. Nell'insieme, lo studio sta fornendo gli elementi utili a progettare interventi di bio- e fito-risanamento sito-specifici mirati a potenziare la capacità di recupero naturale dell'ecosistema spontaneo già presente nel sito La Goccia. L'obiettivo finale del progetto, che guida l'intervento pubblico di rigenerazione, è rappresentato dal futuro ritorno ai cittadini di una vasta area verde, che richiede un monitoraggio, una gestione e una cura continui nel tempo.

Contatti: gianluca.rapaccini@terrapreta.it; laura.passatore@cnr.it; massimiliano.baric@m3r.it

Decarbonizzazione del trasporto marittimo e riqualificazione portuale: strategie per la sostenibilità e la competitività

Riccardo Festante¹

¹ *Montana S.p.A.*

Abstract

L'industria marittima, cardine dell'economia globale, si trova attualmente di fronte a una sfida cruciale: la decarbonizzazione.

I porti, quali punti di snodo fondamentali per il commercio marittimo internazionale, sono al centro di questa transizione. Il sistema portuale italiano, con la sua posizione strategica nel Mediterraneo e la sua rilevanza per il commercio internazionale svolge un ruolo chiave nella catena logistica internazionale, fungendo da punti di partenza, passaggio e arrivo delle merci. Tuttavia, le attività portuali, compresi il movimento delle merci, il funzionamento delle gru e l'alimentazione delle navi, contribuiscono in modo significativo alle emissioni di gas serra. Per questo motivo, la riqualificazione dei porti rappresenta un elemento imprescindibile per la decarbonizzazione del settore.

La transizione verso porti sostenibili richiede un approccio olistico, che consideri l'integrazione di diverse strategie e tecnologie, ecco la necessità di esplorare nuove strategie e opportunità per la decarbonizzazione, con un focus particolare sulla adozione di soluzioni innovative e l'integrazione di pratiche sostenibili, come: l'implementazione di infrastrutture per l'alimentazione alternativa delle navi, l'utilizzo di fonti di energia rinnovabile per l'alimentazione delle attività portuali, l'implementazione di sistemi di gestione energetica efficienti e la promozione dell'economia circolare. I porti devono evolvere verso modelli complessi, multimodali e multiservizio, in grado di ottimizzare le operazioni, ridurre gli sprechi e minimizzare l'impatto ambientale. Anche il percorso di digitalizzazione, nonché l'importanza della collaborazione tra attori pubblici e privati sono fattori imprescindibili per affrontare le sfide e cogliere le opportunità che si presentano.

Il contesto globale è definito da ambiziosi obiettivi di sostenibilità, in particolare quelli stabiliti dall'Organizzazione Marittima Internazionale (IMO), che mira a raggiungere zero emissioni nette nel settore marittimo entro il 2050. Questo traguardo richiede un'azione coordinata a livello globale, coinvolgendo tutti gli attori della filiera, dalle compagnie di navigazione ai porti, dai produttori di combustibili alle autorità di regolamentazione.

L'Unione Europea, con iniziative come l'inclusione del trasporto marittimo nel sistema ETS (Emission Trading System), sta svolgendo un ruolo di primo piano nella promozione della decarbonizzazione, introducendo meccanismi di incentivazione e penalizzazione volti a ridurre le emissioni di anidride carbonica.

La decarbonizzazione del trasporto marittimo e la riqualificazione portuale rappresentano sfide complesse, ma anche opportunità significative per il futuro del settore. L'adozione di strategie sostenibili, l'investimento in tecnologie innovative e la collaborazione tra attori pubblici e privati sono elementi chiave per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione e migliorare la competitività del sistema portuale.

I porti devono evolvere verso modelli complessi, multimodali e multiservizio, in grado di ottimizzare le operazioni, ridurre gli sprechi e minimizzare l'impatto ambientale. L'Italia, con la sua posizione strategica e le sue competenze tecnologiche, ha l'opportunità di diventare un leader nella transizione verso un trasporto marittimo sostenibile, contribuendo agli obiettivi globali di sostenibilità e cambiamento climatico.)

Contatto: festante@montanambiente.com

La mappatura e caratterizzazione dei materiali nei progetti di rigenerazione urbana

Marta Benincasa¹, Emanuele Cocchi², Emiliano Colleoni³

¹ HPC Italia S.r.l.

Abstract

La corretta gestione dei materiali di risulta delle attività di strip-out e demolizione costituisce non solo un'opportunità per la valorizzazione delle macerie e per la riduzione del flusso dei rifiuti, ma anche una necessità per il rispetto della normativa ambientale. HPC Italia affronta questa tematica quotidianamente, su tutto il territorio nazionale, eseguendo con competenza e precisione la mappatura dei potenziali materiali soggetti a restrizione e la precaratterizzazione dei materiali da costruzione. Tra i primi, l'Amianto rappresenta uno dei principali rischi legati all'inquinamento da fibre minerali. Ancora oggi, dopo 33 anni dalla sua messa al bando, in Italia risultano presenti circa 40 milioni di tonnellate di Materiali Contenente Amianto (MCA). Di queste, 32 milioni sono di Amianto compatto e 8 milioni sono di Amianto friabile. La recente Direttiva (UE) 2023/2668 introduce nuove norme per la gestione e la prevenzione dell'esposizione all'Amianto, rafforzando le misure di sicurezza rispetto alla precedente legislazione. Nello specifico, tale normativa prevede, all'Articolo 11, "l'obbligo di indagini per la ricerca di Amianto prima di intraprendere lavori di demolizione, di manutenzione o di ristrutturazione in locali costruiti prima della messa al bando dell'Amianto".

Parallelamente, cresce l'attenzione verso le Fibre Artificiali Vetrose (FAV), materiali sintetici con caratteristiche simili alle fibre minerali naturali, spesso impiegati in edilizia, isolamento e altre applicazioni industriali. La mappatura accurata di queste fibre rappresenta un passo fondamentale per la valutazione del rischio, la pianificazione di interventi di bonifica e la tutela della salute pubblica.

Relativamente ai materiali da costruzione veri e propri, HPC Italia segue attentamente i recenti aggiornamenti normativi che pongono nuovi criteri per la cessazione della qualifica come rifiuto (End of Waste). La precaratterizzazione di tali materiali risulta essere, quindi,

una fase cruciale e necessaria per valutare il destino ultimo delle macerie prodotte, che potranno essere oggetto di smaltimento come rifiuto oppure destinate al riciclo per produzione di aggregati, e per supportare il Cliente nella definizione di strategie per ottimizzarne i costi di gestione.

Nel presente articolo verranno analizzate le fasi operative, che HPC Italia adotta, necessarie per la mappatura e la caratterizzazione dei MCA, delle FAV e dei materiali da costruzione, dalla fase di pianificazione e programmazione iniziale, fino alla reportistica finale. Per garantire una riqualificazione sicura e sostenibile degli edifici destinati alla demolizione, HPC Italia svolge un ruolo chiave attraverso indagini approfondite sui materiali soggetti a restrizione e sui materiali da costruzione. L'esperienza di HPC Italia nella mappatura dettagliata di queste sostanze rappresenta uno strumento essenziale per tutelare la salute pubblica, rispettare le normative e implementare politiche di bonifica mirate. Grazie alle metodologie condivise è possibile contribuire a ridurre l'esposizione alle fibre per le popolazioni vulnerabili e promuovere un uso più sicuro dei materiali sintetici in edilizia e industria.

L'impegno nel condurre attività di caratterizzazione preliminare sui materiali da costruzione ha dimostrato l'efficacia delle soluzioni adottate, contribuendo a un settore più responsabile e all'avanguardia nel rispetto delle normative ambientali e di sicurezza.

Contatti: Marta.Benincasa@hpc.ag, Emanuele Cocchi@hpc.ag, Emiliano Colleoni@hpc.ag

Return, remediation guidelines for sustainable site valorization

Simone Gobber¹, Luca Piccapietra¹, Alessandra Russo¹, Paola Ceoloni¹, Chiara Michelotti², Riccardo Puddu²

¹ Stantec S.p.A., ²Eni Rewind S.p.A.

Abstract

Il documento “Remediation Guidelines for Sustainable Site Valorization”, sviluppato in collaborazione con Eni Rewind nell’ambito del Partenariato Esteso (PE) RETURN “Multi-risk science for resilient communities under a changing climate” (<https://www.fondazionereturn.it/>), propone un approccio integrato e multidimensionale alla rigenerazione sostenibile dei siti dismessi, con particolare attenzione ai brownfield industriali. L’obiettivo è fornire uno strumento operativo per supportare decisori pubblici e privati nella definizione di strategie di valorizzazione che siano sostenibili dal punto di vista ambientale, economico e sociale. Il progetto si inserisce nel contesto italiano della rigenerazione sostenibile dei siti industriali dismessi, in linea con gli obiettivi del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).

Le linee guida sviluppate rappresentano un contributo metodologico innovativo per la valorizzazione sostenibile dei siti dismessi. Sebbene non ancora applicato a casi reali, il documento fornisce una struttura operativa solida e replicabile, in grado di guidare i decisori pubblici e privati nella definizione di strategie di intervento coerenti con i principi della sostenibilità ambientale, economica e sociale.

Attraverso l’integrazione di oltre venti variabili chiave, il modello costruisce una matrice di valutazione multidimensionale (Valorization Ranking Matrix) che supporta il confronto tra scenari alternativi di riuso. Questo approccio permette di orientare le scelte progettuali in funzione delle caratteristiche specifiche del sito, delle priorità territoriali e delle aspettative degli stakeholder.

Le strategie di bonifica, pur in fase di definizione teorica, sono concepite per essere adattabili al contesto, con un’attenzione particolare alla fattibilità tecnica, ai costi e agli impatti ambientali. Il

processo metodologico favorisce inoltre la costruzione di visioni di sviluppo condivise, ispirate agli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) e al principio europeo “Do No Significant Harm” (DNSH), promuovendo soluzioni resilienti, circolari e inclusive.

Queste linee guida costituiscono uno strumento strategico per affrontare in modo sistemico e sostenibile le sfide legate alla rigenerazione dei siti contaminati, offrendo un quadro di riferimento utile per future applicazioni operative.

Parte di questo lavoro è stato condotto nell’ambito del partenariato esteso RETURN ed ha ricevuto finanziamenti dall’Unione europea Next-Generation EU (Piano nazionale di ripresa e resilienza – PNRR, Mission 4, Component 2, Investment 1.3 – D.D. 1243 2/8/2022, PE0000005).

Contatti: simone.gobber@stantec.com

Le informazioni sul clima e sui cambiamenti climatici per i piani di adattamento autostradale: dalla fase di pianificazione alla fase di progettazione

Dorina Spoglianti¹, A. C. Bertetti², Giulia Guzzini¹, Andrea Lizzio¹

¹ *ISINA S.p.A*

² *Studio Progetto Ambiente*

Abstract

Nell'affrontare le sfide che i cambiamenti climatici hanno introdotto nella gestione corrente di una infrastruttura stradale di trasporto, la prima domanda che gli addetti ai lavori devono porsi riguarda i dati climatici da utilizzare nel piano di adattamento.

L'approccio iniziale al piano di adattamento non può che essere conoscitivo e destinato ad inquadrare le problematiche clima correlate presenti nel territorio in cui è inserita l'infrastruttura, a definire gli indicatori di controllo, a quantificare le variazioni climatiche previste nel lungo periodo rispetto al clima di riferimento, a inquadrare e classificare i rischi conclamati che emergono da una analisi di esposizione e di vulnerabilità. Se questo approccio viene sviluppato utilizzando gli indicatori e i data base climatici resi disponibili a livello nazionale dal MASE tramite il PNACC, sarà possibile confrontare, in ambiti geografici in cui sono presenti più infrastrutture di trasporto, i risultati che emergono dai piani di adattamento di diversi gestori. Il pensiero va in questo caso alla possibilità che i gestori adottino soluzioni comuni per aumentare, ad esempio, la resilienza dei nodi autostradali e possano far fronte comune nell'organizzare le soluzioni a "prova di clima".

L'attuazione del piano di adattamento delle infrastrutture di trasporto stradali, ossia la messa a terra delle azioni concrete di contrasto agli hazard climatici, richiede viceversa dati e informazioni che non risiedono necessariamente nei data base climatici usati nella fase di pianificazione dell'adattamento e la cui determinazione presuppone una analisi approfondita dei dati climatici rilevati da stazioni meteorologiche locali. Quanto più le stazioni meteorologiche utilizzate sono vicine al tracciato dell'infrastruttura di trasporto, tanto

più affidabili sono i risultati ottenuti, in particolare in ambiti geografici e meteorologici complessi come quelli montani, appenninici o di costa.

Da ciò deriva l'importanza che i Gestori sviluppino reti di sensori meteorologici lungo i tracciati delle infrastrutture e che predispongano sia adeguati sistemi di archiviazione dei dati, sia modalità di analisi, sintesi e interpretazione delle informazioni in grado di consolidare nel tempo un patrimonio informativo che permetterà il governo del piano di adattamento e di dar conto dei reali cambiamenti climatici nel lungo periodo.

Tra i risultati le analisi statistiche sugli estremi delle precipitazioni al fine di individuare le precipitazioni massime giornaliere al variare dei tempi di ritorno considerati

Contatti: dorina.spoglianti@sina.it, ac.bertetti@progambiente.it,
giulia.guzzini@sina.it, andrea.lizzio@sina.it

Il Progetto VeBS: il buon uso degli spazi verdi e blu per la promozione della salute e del benessere

Giacinto Ciappetta¹, Sisto Milito², Annamaria Colacci³, Andrea Ranzi³, Maria Grazia Mascolo³, Paola Michelozzi⁴, Chiara Badaloni⁴, Manuela De Sario⁴, Walter Ricciardi⁵, Leonardo Villani⁵, Gaia Surya Lombardi⁵, Doris Zjalic⁵, Marco Domenicali⁶, Nelson Marmioli⁷, Elena Maestri⁷, Silvia Brini⁸, Anna Chiesura⁸, Massimo Giusti⁹, Donatella Rosoni⁹, Laura Mancini¹⁰, Luca Avellis¹⁰

¹ARPA Calabria, ²Regione Calabria, ³ARPAE Agenzia Regionale Prevenzione, Ambiente e Energia dell'Emilia-Romagna, ⁴Dipartimento Epidemiologia del S.S.R. - ASL Roma1 Regione Lazio, ⁵Università Cattolica del Sacro Cuore, ⁶Università di Bologna, ⁷Consorzio Interuniversitario Nazionale per le Scienze Ambientali, ⁸Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, ⁹ARTA Abruzzo, ¹⁰Istituto Superiore di Sanità

Abstract

Il progetto VeBS è un'iniziativa nazionale finanziata dal PNRR/PNC che mira a migliorare l'uso consapevole e partecipativo delle infrastrutture verdi e blu nelle città italiane, con particolare attenzione alle Nature-Based Solutions (NBS). Le città possono affrontare i cambiamenti climatici attraverso due percorsi: la mitigazione (efficienza energetica, decarbonizzazione, riduzione delle emissioni) e l'adattamento (miglioramento della resilienza). Le soluzioni basate sulla natura (NBS) combinano queste strategie con un significativo coinvolgimento umano. Le NBS migliorano la resilienza, eliminano gli inquinanti atmosferici e creano opportunità economiche, richiedendo analisi e impegno pubblico per essere efficaci. Gli ultimi dati dell'Istituto Nazionale di Statistica mostrano un peggioramento della qualità dell'aria nella maggior parte delle città italiane (8 su 10 città superano l'obiettivo intermedio dell'OMS per il PM10 di 20 µg/m3) parallelamente a trascurabili aumenti dello spazio verde pro capite (+1,5 mq/abitante) negli ultimi 10 anni.

Il progetto mira a migliorare la conoscenza e la gestione delle infrastrutture verdi e blu, che offrono servizi alla cittadinanza, come il contrasto ai cambiamenti climatici e il benessere psico-fisico.

Sottolinea l'importanza di pianificare e gestire queste aree considerando i loro potenziali impatti, positivi e negativi, sulla salute e sul welfare. Il progetto si propone di raggiungere di diversi Obiettivi dello sviluppo sostenibile della Agenda 2030: 3 Salute e benessere; 4 Istruzione di qualità; 10 Ridurre le disuguaglianze; 11 Città e comunità sostenibili; 13 Lotta contro il cambiamento climatico. Per quanto attiene ad accessibilità e fruibilità (come richiamato nel Goal 11 dell'Agenda 2030) si terrà conto, laddove possibile, di tali caratteristiche, soprattutto nelle zone con una maggiore densità di popolazione residente, incrociando l'informazione con la disponibilità del Trasporto Pubblico Locale (TPL) e della presenza di percorsi ciclopedonali.

Il progetto si articola in quattro obiettivi specifici.

- OS1 Mappatura delle aree e delle policy: prevede la mappatura delle aree verdi e blu nelle zone urbane e periurbane, considerando accessibilità, densità di popolazione, trasporto pubblico e percorsi ciclo-pedonali, supportata dai dati ISTAT.

- OS2 Aree verdi e blu e stato di salute: studia l'impatto delle aree verdi e blu sulla salute, coinvolgendo operatori sanitari e analizzando casi specifici, come bambini a Roma e anziani a Ravenna, per valutare effetti protettivi e promuovere attività fisica.

- OS3 Atlante delle specie e forestazione: si concentra sull'atlante delle specie arboree e sulla forestazione urbana, sviluppando linee guida per interventi di rimboschimento sostenibili e rispettosi dell'ambiente, considerando specie invasive e allergeniche.

- OS4 Formazione e comunicazione: promuove formazione e comunicazione, creando materiali didattici, workshop, attività di citizen science e una roadmap con best practice per coinvolgere cittadini, decisori e operatori nella valorizzazione degli spazi verdi e blu, migliorando fruibilità e benessere collettivo.

Le infrastrutture verdi e blu, componenti fondamentali delle NBS, contribuiscono in modo significativo alla salute mentale e fisica, fornendo spazi per l'attività fisica, il relax e l'interazione sociale. La vegetazione può ridurre lo stress, migliorare l'umore e offrire diversi benefici per la salute. Inoltre, questi spazi mitigano gli effetti dell'isola di calore urbana, rimuovono gli inquinanti, migliorano il comfort termico e riducono il rischio di ondate di calore. Nello specifico, la riforestazione multifunzionale è una pratica che considera le foreste

come ecosistemi complessi che forniscono molteplici servizi ecosistemici, come l'aumento della biodiversità, i benefici per la salute, il miglioramento della qualità dell'aria e il controllo e la purificazione dell'acqua. Il progetto VeBS promuove lo sviluppo di politiche per la pianificazione e la gestione degli spazi verdi e blu urbani, migliorando così la comprensione degli effetti delle NBS sulla salute, in particolare per i gruppi vulnerabili come i bambini e gli anziani. I risultati attesi del progetto VeBS includono la mappatura delle politiche, lo studio degli effetti delle NBS sulla salute, in particolare per i gruppi vulnerabili come i bambini e gli anziani.

L'approccio ai servizi ecosistemici si concentra sulla massimizzazione dei benefici diretti e indiretti che gli esseri umani traggono dagli ecosistemi nelle aree urbane, come la produzione di cibo, la purificazione dell'acqua, il controllo delle inondazioni e del microclima, l'opportunità di fare esercizio fisico, le interazioni sociali e le attività ricreative e il benessere mentale. Parallelamente, l'approccio della resilienza si concentra sulla capacità di un sistema socio-ecologico di assorbire le perturbazioni, riorganizzarsi e mantenere le sue funzioni essenziali di fronte a cambiamenti esterni o shock. Questo approccio evidenzia le dinamiche dei sistemi urbani, incoraggiando pratiche di governance partecipativa flessibili.

Per quanto riguarda queste due linee d'azione, alcuni risultati attesi del progetto VeBS sono: la mappatura delle politiche relative allo sviluppo e all'implementazione delle aree verdi-azzurre; lo studio degli effetti della frequentazione degli spazi verdi-blu sulle popolazioni più vulnerabili in specifiche aree italiane, e il supporto alle pratiche di prevenzione della salute e del benessere basate sulla natura; lo sviluppo di un atlante di specie vegetali a supporto della riforestazione multifunzionale; corsi di formazione per professionisti e cittadini e attività di divulgazione con la partecipazione attiva degli stakeholder locali.

In particolare, riteniamo che la redazione e la diffusione di prodotti come l'atlante delle specie vegetali e gli interventi di divulgazione rivolti a diversi stakeholder possano supportare pianificatori, decisori, operatori dell'ambiente e della salute con un insieme di principi e strumenti generali per affrontare, gestire e promuovere correttamente soluzioni basate sulla natura. Questi progetti mirano a migliorare la resilienza urbana concentrandosi sui benefici delle

infrastrutture verdi e blu, compresa la promozione di processi di governance policentrici, partecipativi e adattivi e l'incoraggiamento e la cura della loro gestione.

In sintesi, il progetto VeBS si concentra sull'educazione, sullo studio dei servizi ecosistemici e sull'impegno degli stakeholder mira a promuovere una comprensione e un'applicazione completa del concetto di “ambiente urbano”.

Contatti: g.ciappetta@arpacal.it

Non solo carbonio: un approccio multifunzionale per servizi ecosistemici e produzione di alimenti di qualità in sistemi agroforestali dell'Emilia-Romagna

**Elena Maestri¹, Michele Donati¹, Antonio Mortali¹, Silvia Rita Stazi²,
Enrica Allevato², Maria Teresa Salomoni³, Alessandro Zatta⁴**

¹ Università di Parma, Centro Interdipartimentale SITEIA;
²Terra&Acqua Tech; ³Proambiente S.C.r.l.; ⁴Laboratorio CRPALab del
Centro Ricerche Produzione Animali Soc. Cons.p.A.

Abstract

Il progetto C+AgroForER intende sviluppare strumenti abilitanti a sostegno di imprese di vario tipo – agricole, agroforestali e PMI - nelle decisioni relative alla sostenibilità e alle misure di mitigazione dei cambiamenti climatici, realizzando un modello replicabile per la gestione sostenibile ed eventualmente implementando soluzioni nature based.

La proposta nasce dalle richieste delle aziende di avere uno strumento flessibile e semplice per prendere decisioni in merito agli investimenti nel campo dei crediti di sostenibilità e per contribuire alla transizione ecologica, visto che gli attuali sistemi di calcolo sono limitati nel considerare i servizi ecosistemici come benefici ambientali aggiuntivi delle diverse soluzioni in modo oggettivo e riproducibile.

Le attività di C+AgroForER porteranno a validare un metodo di valutazione e calcolo degli attuali sistemi di cessione di crediti di sostenibilità e a realizzare uno strumento informatico di semplice utilizzo (Decision Support Tool) per le aziende che intendono investire in sostenibilità.

Il progetto vuole quindi realizzare un pannello di soluzioni pratiche, tecnico-analitiche, metodologiche e di calcolo e di restituzione che dimostri alle aziende i benefici ambientali che possono rappresentare uno strumento abilitante per la pianificazione dei propri interventi agricoli e agroforestali, con il riconoscimento che i servizi ecosistemici aggiuntivi offerti da agricoltura rigenerativa e boschi possono essere oggetto di studio e di potenziamento.

Il progetto C+AgroForER si concentra su alcuni esempi di attività economiche in campo agricolo, agroforestale e realtà produttive del territorio Regionale che hanno impatti sull'ambiente e ne utilizzano le risorse. Il nexus tra acqua, clima, alimenti ed energia collega la salute dell'ambiente con il benessere umano e con la qualità delle produzioni alimentari, e pertanto si rende indispensabile valutare le relazioni tra le attività produttive e l'ambiente in cui agiscono. Uno degli obiettivi del progetto C+ consiste appunto nella valorizzazione del suolo agricolo e forestato poiché è accertato che la salute e benessere dell'uomo dipendono dall'integrità delle specie animali e vegetali e dei loro ecosistemi. Le soluzioni del progetto C+AgroForER si rivolgono alle aziende di qualsiasi ambito che abbiano la necessità di quantificare il valore dei servizi ecosistemici prodotti da attività agricole e agroforestali economiche, quali coltivazioni agroecologiche, foreste certificate, boschi in gestione attiva, per trasformarli in crediti di sostenibilità da vendere.

Ciò porterà:

- vantaggi per le aziende agroforestali interessate a valutare tutti i servizi ecosistemici che sono in grado di fornire ai fini di future certificazioni, grazie a progetti di addizionalità per la generazione di crediti di sostenibilità;
- valore aggiunto alle aziende che intendono acquistare crediti di sostenibilità per bilanciare le proprie attività produttive;
- valore aggiunto alle PMI nella redazione dei propri bilanci di sostenibilità ambientale.

Le prime ricerche sono state condotte nelle faggete cedue della Comunalità di Boschetto, situata sul versante settentrionale dell'Appennino tosco-emiliano (Comune di Albareto, Parma). Sono state individuate tre aree, ciascuna caratterizzata da un diverso regime di gestione: (i) un'area sottoposta a taglio annuale per la produzione di legname; (ii) un'area non gestita per 10 anni; (iii) un'area non gestita per 50 anni.

Le indagini hanno riguardato i parametri chiave per la valutazione della qualità del suolo. Si ipotizza che l'assenza di disturbi ricorrenti, come la rimozione della biomassa legnosa, favorisca una maggiore stabilità delle caratteristiche edafiche, determinando un aumento delle riserve di nutrienti e della funzionalità microbica. Si ritiene che le faggete non gestite per 10 e 50 anni presentino una maggiore attività

microbiologica e una maggiore disponibilità di nutrienti rispetto alle aree sottoposte a tagli annuali, dove la ridotta copertura vegetale e la limitata presenza di lettiera possono compromettere la qualità del suolo. I risultati attesi contribuiranno ad approfondire la comprensione delle relazioni tra pratiche gestionali e dinamiche del suolo nei sistemi forestali, offrendo indicazioni utili per l'adozione di strategie gestionali orientate alla conservazione della funzionalità degli ecosistemi e alla sostenibilità delle foreste.

Per valutare gli effetti delle pratiche rigenerative sulla salute del suolo, sono state condotte due prove comparative: (1) uno studio di confronto tra pratiche agricole rigenerative e convenzionali; (2) all'interno del sistema rigenerativo, un confronto tra strip-cropping e sistemi di monocoltura. Il campionamento del suolo è stato effettuato presso il campo sperimentale EROC di Parma (44° 50' 58.2108" N, 10° 16' 46.4376" E). Nel primo esperimento, i campioni sono stati classificati in base al sistema di gestione: CC (Cereali convenzionali), CT (Pomodoro convenzionale), CMS (Sistema misto convenzionale), RC (Cereali rigenerativi), RT (Pomodoro rigenerativo) e RMS (Sistema misto rigenerativo). Nel secondo esperimento, i campioni sono stati classificati come RV1 e RV2 (sistemi di coltivazione a strisce di ortaggi rigenerativi) e da RMON1 a RMON6 (monocolture di ortaggi rigenerativi). I risultati degli esperimenti indicano che l'agricoltura rigenerativa modifica in modo significativo le principali proprietà del suolo. Inoltre, tutti i trattamenti rigenerativi (RC, RT, RMS, RV1, RV2, RMON1-6) hanno mostrato cambiamenti nella sostanza organica del suolo (SOM) e nell'attività microbica, rendendo evidente l'impatto positivo di pratiche come la lavorazione minima del terreno, gli ammendanti organici, le colture di copertura e lo strip-cropping. In particolare, i tassi di respirazione del suolo sono stati costantemente più elevati durante tutti i trattamenti rigenerativi, con i sistemi RMS e strip-cropping (RV1, RV2) che hanno mostrato l'attività microbica più significativa, evidenziando così gli effetti di queste pratiche sulla salute del suolo. Questo studio evidenzia il potenziale dell'agricoltura rigenerativa come alternativa sostenibile alle pratiche convenzionali, offrendo cambiamenti sostanziali nella salute del suolo e sostenendo al contempo sistemi agricoli produttivi e resilienti.

Contatti: elena.maestri@unipr.it

Dall'autoconsumo alla rete: l'impianto EAV di Piedimonte Matese come modello di transizione energetica sostenibile nel trasporto pubblico ferroviario

Michele Amerio¹

¹ 3TI Senior Partner & Director of Infrastructure & Energy Division

Abstract

Il progetto dell'impianto a idrogeno di Piedimonte Matese rappresenta un caso concreto di transizione energetica sostenibile applicata al trasporto pubblico ferroviario. L'Ente Autonomo Volturno (EAV), in linea con le strategie europee REPowerEU e Green Deal, ha intrapreso un percorso innovativo per ridurre la dipendenza dai combustibili fossili e promuovere l'impiego di fonti rinnovabili nel settore ferroviario. L'obiettivo del presente studio è illustrare il modello energetico adottato, che unisce produzione da fonti rinnovabili, sistemi di accumulo, distribuzione e rifornimento di idrogeno verde, e valutarne l'impatto su scala locale e regionale.

Il progetto ha previsto la realizzazione di un impianto di produzione di idrogeno verde alimentato da energia rinnovabile certificata, con una potenza elettrica installata di 5 MW e una capacità produttiva di 81,3 kg/h di idrogeno. Il sistema integra stoccaggio con idruri metallici e serbatoi ad alta pressione (550 bar), garantendo sicurezza e continuità operativa. Sono stati progettati e realizzati interventi strutturali, impiantistici e infrastrutturali su un'area complessiva di 17.000 m², comprendente l'adeguamento sismico dell'officina esistente, l'installazione di linee di rifornimento per 6 treni e 25 autobus e opere di collegamento funzionale tra le diverse componenti del sito.

Il progetto ha permesso di avviare un ecosistema energetico locale integrato, basato su principi di economia circolare e sostenibilità ambientale. L'impianto consente la sostituzione progressiva dei mezzi diesel con treni e bus a idrogeno, garantendo una significativa

riduzione delle emissioni climalteranti e acustiche. Inoltre, l'approccio multi-tecnologico adottato da EAV (fotovoltaico, accumulo, idrogeno) si pone come best practice replicabile in altri contesti ferroviari non elettrificati (attualmente il 28% della rete italiana). L'esperienza di Piedimonte Matese dimostra la fattibilità tecnica ed economica di un'infrastruttura green al servizio del trasporto pubblico locale.

Contatti: m.amerio@3tiprogetti.it

Pratiche agricole e salute del suolo: il progetto europeo SOILCRATES

Aurora Rutigliano^{1,2}, Valeria Ancona¹, Paola Grenni³, Chiara Decarolis³, Alessandra Narciso³, Ludovica Rolando³, Anna Barra Caracciolo³

¹*Istituto per le Tecnologie della Costruzione – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Unità di ricerca Ambiente e Territorio - Bari, 70124, Italy*

²*Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti, Università di Bari, Bari, Italy*

³*Istituto di Ricerca Sulle Acque, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Montelibretti, Rome, 00010, Italy*

Abstract

Una delle matrici ambientali particolarmente minacciata dai fattori di disturbo antropico, ed in particolare dalle pratiche agricole, è il suolo. Per cercare di arrestare l'avanzamento dei processi di *land degradation* legati a uno scorretto utilizzo dei suoli, la Commissione europea ha approvato il "Patto Europeo per i Suoli", ovvero un pacchetto di azioni mirate a migliorare la salute e la sostenibilità dei suoli in tutta Europa entro il 2050. L'iniziativa, che si inserisce nell'ambito del Green Deal europeo, mira a fronteggiare numerose sfide globali per perseguire gli obiettivi di sviluppo sostenibile, nell'ottica di una giusta transizione ecologica.

A tal proposito, il progetto SOILCRATES, finanziato da *HORIZON Research and Innovation* a supporto dell'attuazione della *Mission "A Soil Deal for Europe-(HORIZON-MISS-2023-SOIL-01-08)"*, si propone, entro il 2028, di migliorare la conoscenza del suolo studiando quattro *Living Lab* (LL) che sono stati individuati in Francia, Paesi Bassi, Spagna e Irlanda, all'interno dei quali verranno testate soluzioni sostenibili per una corretta gestione delle pratiche agricole al fine di migliorare la qualità dei suoli e promuoverne il recupero da diverse cause di degrado (es. perdita di sostanza organica, di biodiversità, compattazione, etc.). Il progetto, ispirato dalla filosofia socratica dell'apprendimento collettivo, coinvolge 21 partner europei tra

scienziati, gestori del territorio, cittadini, imprese ed enti locali, che cooperano per attuare le finalità previste dalla *Mission*.

Tra i partner di progetto, il CNR-IRSA, supportato dal gruppo dell'Unità di Ricerca Ambiente e Territorio del CNR-ITC di Bari, è coinvolto attivamente nell'implementazione di due obiettivi realizzativi. Il primo, *"WP4: Soil diagnosis and monitoring"*, consiste in attività di monitoraggio del suolo mediante lo sviluppo di indicatori e modelli predittivi di diagnosi di buona salute. Il secondo, *"WP5: Soil health practice support and development"*, prevede lo sviluppo e il test, su scala di campo, di protocolli pratici e innovativi per migliorare la produttività e la gestione sostenibile del suolo. In particolare, il WP5 ha previsto la collaborazione tra Paesi Bassi, Francia, Irlanda, Spagna e Italia per redigere un catalogo relativo a 35 buone pratiche agricole per la salute del suolo, ritenute rilevanti per l'impatto positivo sui servizi ecosistemici forniti dal suolo, l'economicità e la sostenibilità dei processi. Per elaborare il catalogo, ciascuno dei partner partecipanti ha approfondito lo studio delle normative e delle disposizioni nazionali in materia di suolo per descrivere e adattare al proprio contesto ciascuna delle pratiche agricole individuate. In questo modo, il catalogo rappresenterà uno strumento efficace da fornire ai gestori del territorio per migliorare e monitorare la qualità del suolo.

Pertanto, l'ambizioso progetto SOILCRATES rappresenta un'importante opportunità di progresso scientifico, sociale ed economico che permetterà di conseguire avanzamenti nella progettazione di interventi ambientali, sociali ed economici sostenibili sito-specifici, attraverso un approccio integrato e multidisciplinare, improntato alla collaborazione e cooperazione tra le parti coinvolte.

Keywords: Sostenibilità, living lab, innovazione, degrado del suolo, attività antropiche.

Contatti: barracaracciolo@irsa.cnr.it , valeria.ancona@cnr.it

L'uomo al centro della transizione: bonifiche ambientali, risanamento e cultura del cambiamento nell'epoca della svolta verde a Taranto

Maria Stefania Fornaro¹

¹ Subcommissario - Commissario straordinario per gli interventi urgenti di bonifica, ambientalizzazione e riqualificazione dell'area di Taranto

Abstract

Le azioni di risanamento ambientale e di bonifica dei siti contaminati si collocano oggi all'interno di una più ampia transizione epocale: dal paradigma estrattivo di un'economia lineare e fossile a una visione rigenerativa fondata sulla circolarità, sull'equilibrio ecosistemico e sulla giustizia sociale.

Questo articolo esplora il ruolo strategico delle bonifiche nella transizione verde, sottolineandone il valore non solo tecnico, ma anche sociale, culturale e umano. Le bonifiche diventano così luoghi dove si sperimenta un modello alternativo di civiltà, basato sulla cura, sulla corresponsabilità e sulla rigenerazione.

Siamo dentro una vera e propria transizione antropologica che tocca ogni fibra delle nostre società: ambientale, energetica, economica, sociale e culturale. La fine dell'era del carbone e delle fonti fossili non costituisce solo questione di approvvigionamento energetico, ma apre ad una ridefinizione profonda del rapporto dell'uomo con la terra, con il paesaggio, con le risorse. In tale passaggio l'uomo non è spettatore ma attore, testimone e misura del cambiamento. Le azioni di risanamento ambientale, dalle bonifiche dei siti contaminati ai recuperi ecologici, ai ripristini naturalistici non sono più meri interventi settoriali, ma diventano parte integrante di un complesso processo di metamorfosi *in itinere* e, perciò, ancora in larga parte da scrivere.

Se le bonifiche ambientali, in Italia e in Europa, nascono dall'urgenza di restituire dignità a territori feriti da decenni di sviluppo industriale insostenibile, nell'orizzonte della transizione ecologica esse si rivelano molto più che un risarcimento del passato. Sono infrastrutture del

futuro. Agiscono su suolo, acqua e aria, ma anche sul tessuto economico e sociale delle comunità coinvolte. Bonificare un'area industriale inquinata significa offrire opportunità di lavoro, restituire spazio pubblico, ridare significato all'identità collettiva. Questa visione è supportata da una cornice normativa europea sempre più chiara: il Green Deal europeo, il Piano d'Azione per l'Economia Circolare e la Missione UE per la "Rigenerazione del Suolo", fino alla Strategia *Farm to Fork* pongono obiettivi ambiziosi ma essenziali. Bonificare e riutilizzare aree dismesse è un cardine dell'economia circolare: significa ridurre il consumo di suolo vergine, limitarne l'impermeabilizzazione, prevenire rischi sanitari, creare nuovi ecosistemi economici a basse emissioni.

La transizione ambientale incrocia la transizione culturale: una bonifica che non consideri la dimensione sociale del risanamento rischia di rimanere incompiuta, perché bonificare un territorio significa anche considerare la memoria collettiva e le ferite invisibili che l'inquinamento lascia in chi su quei luoghi vive, lavora, cresce.

Urgono, perciò, nuove narrazioni che non siano solo tecniche e normative, ma umane. Storie di riscatto, di cura, di ascolto. Dove la importanza di processi partecipativi autentici, che coinvolgano le comunità, valorizzino le competenze locali, restituiscano ai territori la loro voce. Risanare vuol dire allora ripensare il rapporto tra cittadini, istituzioni e tecnici.

Nello scenario **RemTech Expo** assume un ruolo centrale, non solo come evento fieristico o luogo di confronto tecnico-specialistico, ma come **vero e proprio laboratorio culturale della transizione**. A RemTech si incrociano esperienze, si condividono pratiche in un linguaggio nuovo che tiene insieme l'ingegneria ambientale, la scienza del dato, l'innovazione normativa e la sensibilità sociale.

RemTech racconta che al centro della transizione c'è la persona: non solo come destinatario degli interventi, ma come soggetto attivo e protagonista. Le comunità che abitano i SIN o le aree ex industriali non sono vittime da assistere, ma partner da coinvolgere. Le imprese che operano nella bonifica non sono solo esecutori, ma attori di sviluppo sostenibile. Questo cambio di paradigma, che RemTech da anni intercetta e sostiene sposta, dunque, il baricentro del sapere tecnico

sull'umanità dell'azione ambientale. I territori bonificati sono scenari di futuro, non zone da archiviare.

Tutti i processi di transizione richiedono capacità di governare la complessità attraverso competenze multidisciplinari, integrazione tra livelli istituzionali, uso strategico della conoscenza. Ma soprattutto chiedono tempo, fiducia e visione condivisa che si definisce anche *in progress*. Gli strumenti normativi ci sono, ma occorre affermare sempre migliori modelli di governance più orizzontali, meno burocratici, più adattivi. L'esperienza dei Commissari Straordinari, delle agenzie ambientali regionali, dei partenariati pubblico-privato mostra che è possibile accelerare allorché si riesce a creare una cornice di collaborazione reale che conduce ad un duplice successo: da un lato si aumenta la capacità tecnica di intervento, dall'altro si coltiva una cultura istituzionale della relazione, in una riconnessione dell'umano ai sistemi naturali e sociali, uscendo da un riduzionismo tecnocratico. Risanare un'area contaminata è un'operazione tecnica, riconnettere le persone tra loro e con l'ambiente in una prospettiva di vero sviluppo è un'operazione politica, culturale, spirituale in un tempo in cui diventa sempre più chiaro il valore dell'umano, risorsa relazionale, culturale e sociale che non si riduce a reddito e competenze. Abitare la transizione significa riconoscere che ogni atto tecnico o amministrativo ha un riflesso sul piano antropologico, in una nuova cultura del limite, della responsabilità condivisa, dell'ascolto profondo, entro relazioni più simmetriche orientate alla collaborazione e meno fondate sulla competizione o sulla logica dell'emergenza.

E quando muta il modello cambia il PATTO tra saperi, generazioni, cittadini e istituzioni. Allora sì che il risanamento ambientale genera anche un vero risanamento sociale.

Le bonifiche costituiscono evidentemente tassello tecnico di un puzzle molto più ampio ma anche "azioni di giustizia", capaci di riconciliare le ferite della terra con le attese dell'umano.

Recuperare un suolo, depurare una falda, restituire un parco urbano sono gesti potenti: non solo perché riparano, ma perché mostrano un modello di civiltà alternativo, fondato sulla rigenerazione, sulla coesione e su una comune responsabilità.

RemTech Expo è racconto ed insieme motore della trasformazione: porta nello stesso spazio istituzioni, imprese, ricerca e cittadinanza per condividere tecnologie ed esperienze, in una avventura di contaminazione di dignità, quella che esprime chi lavora per un mondo migliore con uno sguardo di cura e di ascolto che prenda finalmente il posto del solipsismo del profitto.

Keywords: (5 keywords): bonifiche, transizione verde, transizione antropologica, transizione culturale

Contatti: stefania.fornaro@interno.it, m.fornaro@governo.it

III. Le opportunità dell'economia circolare ed i nuovi paradigmi di sviluppo

Quantificazione del potenziale di sequestro del carbonio nella mitilicoltura sostenibile a Taranto (Italia meridionale)

Roberta Wanda Capogrosso¹, Vito Chieti², Emanuele Barca¹,
Carmin Massarelli¹, Annamaria Basile³, Vito Felice Uricchio^{1,3}

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, Bari

² *Prospettive High Tech, Bari*

³ *Commissario straordinario per gli interventi urgenti di bonifica, ambientalizzazione e riqualificazione dell'area di Taranto*

Abstract

Il presente studio esplora l'integrazione dei crediti di carbonio nel settore della mitilicoltura come leva strategica per migliorarne la sostenibilità ambientale e contribuire alla mitigazione del cambiamento climatico. Le attività sperimentali sono attualmente in corso lungo la fascia costiera di Taranto e nell'area del Mar Piccolo, un ecosistema marino semi-chiuso caratterizzato da elevata produttività e forte pressione antropica.

L'obiettivo principale è quantificare la capacità di mitili (*Mytilus galloprovincialis*) e macroalghe autoctone di assorbire CO₂ atmosferica in diversi scenari di allevamento, inclusi sistemi di acquacoltura multitrofica integrata. Tale approccio affianca la coltivazione di molluschi e macroalghe per massimizzare l'assorbimento biologico del carbonio attraverso la fotosintesi e l'accumulo di biomassa, migliorando al contempo la qualità delle acque. Le prove sperimentali in campo monitorano le condizioni ambientali e la produttività in biomassa sotto vari regimi tecnici.

Il sequestro del carbonio viene valutato considerando lo stoccaggio organico nella biomassa, nonché la produzione di carbonati nelle conchiglie dei mitili. Sensori ambientali ad alta precisione monitorano in continui parametri chiave quali temperatura dell'acqua, pH, salinità, ossigeno disciolto, torbidità, clorofilla-a e ficoeritrina. I dati così raccolti alimentano modelli predittivi sviluppati mediante tecniche statistiche avanzate e algoritmi di machine learning, al fine di correlare

le pratiche di allevamento con il potenziale di assorbimento del carbonio.

L'iniziativa prevede anche la costruzione di un sistema digitale di certificazione dei crediti di carbonio marino, volto a favorire la partecipazione dei produttori locali ai mercati volontari del carbonio anche al fine di generare effetti replicativi a livello settoriale e favorire l'evoluzione verso modelli produttivi più resilienti e a basso impatto ambientale.

Il sistema, ispirato a modelli già operativi, si baserà su monitoraggio continuo e tecnologie avanzate come la blockchain per garantire trasparenza, tracciabilità e riduzione dei costi di transazione. In tale contesto l'iniziativa si inserisce pienamente nella prospettiva della *blue economy* promuovendo un utilizzo sostenibile delle risorse marine e costiere come leva per la transizione ecologica e l'innovazione territoriale.

Dal punto di vista economico, la digitalizzazione del processo di certificazione dei crediti di carbonio marino rappresenta un'opportunità per riconoscere formalmente il valore dei servizi ecosistemici costieri, contribuendo a rafforzare la sostenibilità dei modelli produttivi locali. Questo approccio consente di integrare il capitale naturale nelle logiche di pianificazione e valutazione economico-ambientale, agevolando l'attivazione di meccanismi di compensazione e l'allocazione efficiente delle risorse in progetti ad alto impatto ecologico.

La sinergia con le istituzioni politiche assicurerà il raccordo tra iniziativa locale e programmazione strategica nazionale, con l'obiettivo di rendere il sistema replicabile su ampia scala garantendo al contempo l'integrazione nei futuri strumenti di pianificazione climatica e finanziaria.

Keywords: mitilicoltura, carbon credits, blockchain, performance ecologica, pianificazione economico-ambientale, servizi ecosistemici, blue economy, resilienza produttiva.

Contatti: robertawanda.capogrosso@cnr.it,
vchieti@prospettivehitech.com, emanuele.barca@cnr.it,
vito felice.uricchio@cnr.it, carmine.massarelli@cnr.it,
a.basile@governo.it

Il sistema EPR: un approccio pragmatico per la gestione dei rifiuti tessili

Lorenza Emili¹, Beatrice Tassi¹, Giulia Magnavita¹, Lorianne Annunziata¹

¹Affiliazione: CNR IIA Sede Secondaria di Roma c/o Ministero dell'Ambiente e della sicurezza energetica, Via Cristoforo Colombo n. 44 00144 Roma

Abstract

Il settore tessile, tra i più impattanti a livello globale, è caratterizzato da un uso intensivo di risorse e da una produzione eccessiva di rifiuti, alimentata dal modello della *fast fashion*. La filiera tessile genera impatti ambientali in ogni fase del ciclo di vita del prodotto, spesso difficili da monitorare e quantificare. L'uomo, con le sue scelte imprenditoriali e di consumo, può invertire questa tendenza negativa e passare dall'essere una delle concause del degrado ambientale a parte attiva della soluzione.

In questo scenario, la Responsabilità Estesa del Produttore emerge come strumento innovativo e pragmatico, che attribuisce ai produttori la responsabilità non solo della fase produttiva, ma anche della gestione post-consumo dei beni, promuovendo il riciclo, il riuso e una maggiore tracciabilità dei rifiuti. Si tratta di un modello che supera l'approccio lineare del "produci-consuma-smaltisci" e, attraverso i principi dell'economia circolare, rende possibile una distribuzione più equa dei costi ambientali tra tutti gli attori coinvolti - dai produttori, ai consumatori, fino agli enti pubblici.

Nonostante l'elevato impatto ambientale dei prodotti tessili i sistemi di EPR sono ancora rari in questo settore, tuttavia ne è stata sperimentata l'efficacia su altri settori.

In linea con il Piano d'Azione europeo per l'Economia Circolare, l'Italia ha anticipato al gennaio 2022 l'obbligo per tutti i comuni di raccolta differenziata dei rifiuti tessili, prima ancora della scadenza fissata dall'UE al 2025. Tuttavia, permangono criticità legate a bassi tassi di raccolta, inefficienze nei processi e rischi di pratiche illecite lungo la filiera. Proprio per rispondere a tali sfide, il Ministero dell'Ambiente e

della Sicurezza Energetica sta lavorando ad un sistema EPR specifico per il tessile, capace di rafforzare la governance ambientale e industriale del settore.

Oltre a rappresentare una risposta normativa, l'EPR è anche una leva strategica di innovazione, che stimola l'ecodesign, incoraggia pratiche sostenibili e contribuisce al raggiungimento di numerosi obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite. Definendo requisiti minimi operativi comuni a livello europeo, questo approccio mira anche a colmare le disparità tra gli Stati membri, creando un quadro normativo più efficace ed equo.

La Responsabilità Estesa del Produttore rappresenta sicuramente un passo significativo verso una gestione più sostenibile dei rifiuti tessili a livello globale. Tuttavia, l'implementazione di tale politica presenta diverse sfide per le aziende, tra cui l'incremento della raccolta differenziata dei rifiuti tessili, l'implementazione di nuove infrastrutture, la sensibilizzazione dei consumatori e investimenti in tecnologie avanzate di riciclo.

Un'analisi esplorativa delle potenzialità e dei limiti nell'adozione di un sistema EPR per il settore tessile in Italia sarà quindi uno strumento indispensabile a supporto dei decisori politici per valutarne l'efficacia. È necessario comprendere se tale schema sarà in grado di promuovere pratiche circolari, migliorare la tracciabilità dei rifiuti e supportare la trasformazione sostenibile della filiera tessile italiana, anche nel contesto della nuova governance europea, orientando così la filiera verso un sistema capace di coprire sia la fase produttiva, che quella pre- e post-consumo.

Keywords: rifiuti, tessile, economia circolare, innovazione, sostenibilità

Contatti: lorenzaemili@cnr.it, beatricetassi@cnr.it,
giulia.magnavita@cnr.it, lorianna.annunziata@cnr.it

La sfida della sostenibilità nella certificazione di prodotti innovativi in ambito EOTA

Paola Dessy¹, Laura Nironi¹, Laura Porro¹

¹ ITC-CNR Via Lombardia, 49 – 20098 San Giuliano Milanese (MI) – Italia

L'attenzione ai temi della sostenibilità ambientale e del rispetto del territorio è cresciuta molto negli ultimi anni ma è necessario promuovere interventi strategici su larga scala. Senso di responsabilità comune e innovazione sono due punti centrali in questo cambio di paradigma, nella ricerca di soluzioni accompagnate anche da un supporto normativo attento a far sì che gli imprescindibili aspetti di sicurezza e funzionalità siano affiancati da aspetti di sostenibilità. Questo intervento si focalizza sul ruolo cruciale delle norme tecniche in un'evoluzione del settore edile in direzione di una maggiore attenzione all'ambiente e al territorio. Nello specifico si evidenzia l'attività tecnico-scientifica svolta da alcuni ricercatori ITC-CNR sulla valutazione di prodotti innovativi all'interno di ITAB, l'Organismo Nazionale di Valutazione Tecnica che collabora con il Servizio Tecnico Centrale (STC) del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e la Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica del Ministero dell'Interno. Tale attività si inquadra all'interno dell'EOTA (European Organization for Technical Assessment), organizzazione istituita dalla Commissione Europea per coordinare le attività di certificazione europea in ambito volontario dei prodotti da costruzione innovativi per l'immissione sul mercato attraverso la marcatura CE mediante Valutazioni Tecniche Europee (European Technical Assessment, ETA), in accordo al Regolamento Prodotti da Costruzione (CPR).

La recente revisione del CPR, pubblicata a novembre 2024 (2024/3110) in abrogazione del precedente Regolamento 305/2011, pone un'importante sfida a livello europeo introducendo i requisiti sulle emissioni nell'ambiente esterno e sull'uso sostenibile delle risorse naturali delle opere di costruzione e richiedendo ai produttori di dichiarare alcune caratteristiche essenziali di sostenibilità dei loro prodotti durante l'intero ciclo di vita. Questo include aspetti come le

emissioni di gas serra, l'uso delle risorse naturali e la durata del prodotto.

Il nuovo CPR si allinea anche ad altre iniziative dell'UE in materia di sostenibilità, come la Direttiva sul rendimento energetico degli edifici (EPBD) e il Regolamento sulla progettazione ecocompatibile dei prodotti sostenibili (ESPR), in grado di promuovere uno sviluppo del settore delle costruzioni più sostenibile sulla base di dati e modelli di calcolo che devono soddisfare criteri prestabiliti dalla Commissione.

Da questi cambiamenti si comprende che nel prossimo futuro saranno fondamentali le modalità attuative con cui le istituzioni come l'EOTA, insieme ad altri soggetti europei, affronteranno questo delicato e complesso tema della sostenibilità, sviluppando metodi di valutazione armonizzati per concretizzare operativamente l'introduzione di prestazioni ambientali all'interno dei Documenti per la Valutazione Europea (European Assessment Documents, EAD). Gli EAD costituiscono la base normativa attraverso cui i fabbricanti possono immettere sul mercato europeo prodotti innovativi non coperti da norme armonizzate con la marcatura CE.

A tale attività, di nicchia all'interno del CNR, si presentano dunque interessanti prospettive per contribuire all'obiettivo della valutazione delle caratteristiche di sostenibilità ambientale dei prodotti da costruzione richiesta dall'Europa, che sarà supportata dall'attività di ricerca e di sperimentazione che l'Istituto svolge in via prioritaria.

Keywords: (5 keywords)

Innovazione sostenibile; Prestazioni ambientali; Prodotti da costruzione; Sviluppo normativo; CPR.

Contatti: paola.dessy@itc.cnr.it, laura.nironi@itc.cnr.it, laura.porro@itc.cnr.it

Il ruolo strategico di ADM-AITEC-ITC sui controlli del cemento importato: leva per la decarbonizzazione e la competitività del settore cementiero italiano

Giuseppina De Luca¹, Antonio Bonati¹, Roberto Cucitore², Massimo Paris³, Nicola Zampella⁴

¹ *Istituto per le Tecnologie della Costruzione (ITC-CNR) - Sede di San Giuliano Milanese (speaker)*

² *CPR Acquis cement, non-public stakeholder*

³ *CEMBUREAU, Board Member*

⁴ *Federbeton/AITEC, Direttore Generale*

Il settore del cemento ha un ruolo strategico nella realizzazione delle infrastrutture del Paese, in special modo quelle necessarie a contenere gli effetti negativi dei cambiamenti climatici. Con una produzione nazionale di 18,81 Mt, 40 impianti e 16 aziende [1], il comparto rappresenta il 15% del valore aggiunto manifatturiero.

In termini di emissioni di CO₂, l'industria del cemento è responsabile del 3% del totale nazionale, e del 14% delle attività industriali [2].

Insieme ad acciaio e chimica, anche il cemento deve ridurre le emissioni di CO₂ secondo le regole stabilite dalla direttiva ETS [3] in vigore dal 2005. Il meccanismo è quello del “cap and trade”: viene stabilito un numero massimo di t di CO₂ che possono essere emesse in un determinato anno (cap) e a ciascun impianto viene assegnato un numero di ‘quote’, in modo tale che il ‘cap’ non venga superato. In funzione delle condizioni di mercato e/o di produzione, le quote possono essere vendute o comprate su apposite piattaforme di scambio (trade). La progressiva riduzione del ‘cap’ e quindi delle quote disponibili [4], ha comportato il progressivo aumento del loro prezzo (nel 2023 ha raggiunto i 71 €/t CO₂ [5]) diventando ormai la voce di costo principale.

Se da un lato l'ETS ha favorito soluzioni come CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage), l'uso di combustibili alternativi o la riduzione dell'uso di clinker, portando a significative riduzioni di emissioni per tonnellata, dall'altra si traduce in un forte svantaggio competitivo nei confronti dei prodotti importati da Paesi che non debbono sottostare

a queste regole. A riprova di ciò, le importazioni di cemento in Italia, pur in presenza di un eccesso di capacità produttiva nazionale, nel 2024 hanno superato i 4,5 Mt, +38,4% rispetto al 2023 [6] con quote rilevanti provenienti da Turchia, Algeria, Croazia e Tunisia [7].

L'incremento delle importazioni non è giustificato dalla posizione geografica dell'Italia, considerando che paesi come Grecia e Spagna, pur avendo registrato un aumento delle importazioni, mostrano livelli complessivi più contenuti [6].

Il CBAM, operativo ad inizio 2026, è lo strumento che dovrebbe progressivamente ridurre tale svantaggio, imponendo agli importatori di cemento prodotto in Paesi extra-UE il pagamento di somme commisurate alla loro eventuale maggiore impronta carbonica, determinata in base a idonee evidenze documentali [8].

Inoltre, rimane obbligatoria la marcatura CE secondo il Regolamento Prodotti da Costruzione (2024/3110 [9]).

L'Agenzia delle Dogane e dei Monopoli italiana (ADM), sulla base delle indicazioni e degli accordi con il MASE, sarà l'ente incaricato di effettuare i controlli.

Considerando che circa il 90% del trasporto marittimo avviene con navi di stazza compresa tra le 7.000 e le 13.000 t, è evidente il gran numero di controlli che dovranno essere effettuati e tra questi, in particolare, quello di prevenire false dichiarazioni sulla qualità del cemento importato a scopo di lucro.

Oltre al danno erariale, questa potenziale frode, comporterebbe gravi rischi per la sicurezza strutturale delle opere e la salute degli utenti.

Per limitare tali rischi, ADM [10], AITEC-Federbeton [11] e ITC-CNR [12] stanno interagendo in modo sinergico per sviluppare sistemi di controllo da effettuarsi nei porti, attraverso verifiche documentali e prove sul prodotto. Lo scopo è quello di promuovere una leale competitività, innovazione tecnologica e sviluppo economico sostenibile.

Keywords: cemento, sviluppo economico sostenibile, transizione energetica, import controllato, sicurezza strutturale

Contatti: deluca@itc.cnr.it, bonati@itc.cnr.it,
roberto.cucitore@heidelbergmaterials.com, mparis@buzziunicem.it,
nzampella@federbeton.it

L'esperienza del processo di sviluppo di un CEN Workshop Agreement nell'ambito di PROMISCES per la condivisione di best practices innovative sui contaminanti persistenti

Maria Grazia Asci¹, Paolo Crocetti¹, Alessandro Frugis², Giulia Sagnotti², Marco Lazzazzara², Massimiliano Sgroi³, Ali Hydar³, Elisa Blumenthal³, Anna Laura Eusebi³, Francesco Fatone³

¹ SIMAM S.p.A. – Gruppo Acea, Senigallia (Italia)

² Acea Infrastructure, Gruppo Acea S.p.A., Roma (Italia)

³ Dipartimento di Scienze ed Ingegneria della Materia, dell'Ambiente ed Urbanistica - SIMAU, Università Politecnica delle Marche, Ancona (Italia)

Abstract

I CEN Workshop Agreement (CWA), così come si legge nel sito internet dell'UNI, Ente Italiano di Normazione, *“sono documenti tecnici sperimentali sviluppati in tempi rapidi con il confronto e il contributo di tutte le parti interessate, con gli stessi meccanismi di trasparenza e di consenso propri della normazione volontaria. Sono quindi particolarmente adatti per condividere know-how innovativi e trasferire velocemente al mercato i risultati dei progetti di Ricerca e Innovazione”*, la cui procedura di sviluppo segue quanto previsto dalla CEN-CENELEC Guide 29.

Nell'ambito del progetto europeo PROMISCES (<https://promiscses.eu/>), finanziato da Horizon 2020 per contribuire agli obiettivi del Green Deal europeo e del piano d'azione dell'Economia Circolare in riferimento al problema della contaminazione delle sostanze per-e-polifluoroalchiliche (PFAS) e insieme con i “sister projects” ZeroPM e SCENARIOS, è stato sviluppato il **CWA 18201:2025 “Soil-sediment-water system – Solutions to deal with PMT/vPvM substances”** (pubblicato nell'Aprile 2025 e disponibile al link <https://www.cenelec.eu/get-involved/research-and-innovation/horizon-europe-projects/cwa-download-area/>).

Allo sviluppo del CWA ha contribuito anche il cluster italiano costituito dall'Università Politecnica delle Marche, SIMAM e Acea Infrastructure,

entrambe del Gruppo Acea, mettendo a fattore comune l'esperienza e il know-how sviluppato con le attività svolte in PROMISCES.

Il processo, avviato nel Febbraio 2024, è stato portato avanti su base volontaria da vari stakeholders attivi sul tema che hanno condiviso esperienze e conoscenze. Il CWA è pensato come strumento di supporto per affrontare le sfide legate alle sostanze persistenti, mobili e potenzialmente tossiche (PM(T)) e molto persistenti e mobili (vPvM), tra cui i PFAS, nei sistemi del suolo, dei sedimenti e delle acque. Vari gruppi di lavoro hanno sviluppato le sezioni del CWA e periodicamente sono stati organizzati momenti di verifica e revisione congiunta.

Le soluzioni chiave presentate nel CWA sono state organizzate nelle categorie relative alla prevenzione, sostituzione, monitoraggio, bonifica, co-creazione e valutazione dei pericoli e dell'esposizione e sono offerte in schede informative di facile comprensione. Sono inclusi nuovi metodi per l'analisi dei PFAS, miglioramenti nella valutazione del rischio e soluzioni per la rimozione dei PFAS da diverse matrici come acque reflue, sedimenti e fanghi. Il CWA vuole contribuire all'economia circolare europea, concentrandosi su 5 percorsi specifici:

- cicli idrici semichiusi per l'approvvigionamento idrico potabile;
- riutilizzo delle acque reflue per l'irrigazione agricola;
- recupero di nutrienti ed energia dai fanghi trattati per fertilizzanti;
- recupero di materiale da sedimenti dragati per eco-materiali;
- bonifica delle falde acquifere e del suolo.

Le informazioni contenute nel CWA sono fonte rilevante dell'esperienza e nuove best practices sviluppate nei sister projects, consultabili liberamente da altri attori, tra cui ricercatori, autorità pubbliche, servizi idrici e aziende, coinvolti a vario titolo sul tema delle sostanze persistenti, inclusi i PFAS. Su questi ultimi la stessa Strategia europea sulla resilienza idrica, pubblicata dalla Commissione Europea 04.06.2025, ha posto attenzione specifica e obiettivi dedicati in calendario per il 2026-2027.

Riconoscimenti

Si ringraziano il proponente del CWA Thomas Track (DECHEMA), Madlen Schmudde (DIN - German Institute for Standardization) e gli altri partecipanti coinvolti nel CWA per il lavoro e per la collaborazione che ha portato alla pubblicazione del CWA.

Il progetto PROMISCES è finanziato dal Programma H2020 dell'Unione Europea (H2020/2014-2020) nell'ambito del Grant Agreement n° 101036449.

Keywords: PFAS, economia circolare, Green Deal, sostenibilità, CWA, resilienza idrica

Contatti: m.asci@simamspa.it; alessandro.frugis@aceaspa.it;
f.fatone@staff.univpm.it

Microbial Electrochemical Technology: a new effective opportunity for circular economy

Yannis Ieropoulos², Anna Barra Caracciolo¹, Paola Grenni¹, Valeria Ancona¹, Andrea Pietrelli, Gabriele Gagliardi³, Domenico Borello³

¹Istituto per le Tecnologie della Costruzione, Consiglio nazionale delle Ricerche, Italy, ²Civil, Maritime & Environmental Engineering, University of Southampton, UK, ³Sapienza Università di Roma, Italy

Abstract

Microbial Fuel Cells (MFCs) are bio-electrochemical transducers that convert the energy locked in organic matter directly into electricity. Organic waste can take many forms, such as wastewater, urine or even landfill leachate and this technology can directly utilise any liquid organic waste (that is too wet to burn) for useful electricity generation, wastewater treatment and clean bio-fertiliser synthesis. This is the engine of our bioelectrochemical systems, we call Urine-ricity or Pee Power[®], as a way of generating energy and repairing our damaged natural environment.

As a power generating technology, MFC based systems address the problem of sanitation by cleaning up urine or wastewater without power input, and also produce renewable energy at useful levels as a result of this process. Areas suffering from poor sanitation, commonly also experience limited or no access to grid electricity, a problem faced by >1 billion people worldwide and predominantly in these same geographic regions. From an environmental repair perspective, this is an existential challenge and therefore of global dimension. In electricity constrained or deprived contexts, power generated from cleaning wastewater and urine can be used for (i) lighting, which is implemented for safety at night, particularly for women and children in challenging environments; (ii) charging mobile phones and (iii) other low power DC applications, depending on local requirements. Additionally, by-products from the MFC processing of the urine/wastewater can be employed as disinfectant or a directly usable fertiliser. The latter is synthesised as a nutrient-balanced by-product during bioelectricity generation and therefore of direct benefit to soil

and agriculture. Pee Power® can be considered as the first MFC pre-commercial prototype that has been developed for field use and focuses specifically on direct electricity generation from MFCs fed with human urine.

This contribution represents work done within the COST Innovators' Grant, IG-19123, which is looking to develop for the first time the business plan for Pee Power® as a bioelectricity generator product (Southampton), with advanced energy harvesting, AI and telemetry optimisation (Sapienza and Lyon), new material development (Liberec), microbial formulations (Cyprus and Wroclaw) led by the University of Southampton, for enhanced manufacturing capability at scale and appropriate market sector deployment. Monitoring and evaluation (Turkey and Portugal), geographical fit and social acceptance (Croatia and France) microbial/bioremediation performance (Surrey, CNR) and toxicant removal will also form part of the long-term implementation strategy.

Microbial Electrochemical Technology Commercialisation (MET-C) Cost Action IG19123 (Chair: Prof. Yannis Ieropoulos from University of Southampton).

Keywords: Bioelectrochemical Systems - Microbial Fuel Cells - Bioelectricity - Bio-fertiliser - Biotechnology - Low-power electronics - Environmental Engineering

iWAYS racconta uno dei suoi casi studio verso la chiusura dei cicli dell'acqua nei processi industriali

Maria Grazia Asci¹, Paolo Crocetti¹, Luca Montorsi², Hussam Jouhara³, Dan Turesson⁴, Corinna Barnstedt⁵

¹*SIMAM S.p.A. – Gruppo Acea, Senigallia (Italia)*

²*Università degli studi di Modena e Reggio Emilia, Modena (Italia)*

³*Brunel University London, Londra (Regno Unito)*

⁴*Alufluor AB, Helsingborg (Svezia)*

⁵*European Science Communication Institute, Oldenburg (Germania)*

Abstract

Iways (<https://www.iways.eu/>), progetto europeo finanziato da Horizon 2020 che si concluderà a Novembre 2025, è nato per trovare una soluzione rilevante alle complesse ed attuali sfide ambientali. In tale contesto si inquadra lo sforzo che il partenariato di progetto, costituito da università, technology providers, industrie ed altri soggetti coinvolti, sta portando avanti con un approccio multidisciplinare. iWAYS vuole validare tecnologie integrate tra loro in grado di recuperare energia ed acqua dai fumi emessi da vari processi industriali. Tre casi studio investigati per i quali risulta strategico definire una nuova soluzione per aumentare il livello di circolarità. In Helsingborg, Svezia, si trova il primo caso studio che ha avviato la sperimentazione: Alufluor AB, produttore di fluoruro di alluminio, sta testando il sistema iWAYS per recuperare energia, acqua e materiali, dai flussi di rifiuti generati dal proprio stabilimento.

Il sistema sviluppato si compone di un nuovo scambiatore (Heat Pipe Condensing Economiser – HPCE), capace di catturare il calore dei gas di scarico caldi e procedere al loro recupero. Allo stesso tempo, il sistema condensa i vapori contenuti fluoro ed invia al trattamento questo stream per procedere anche al recupero della risorsa idrica, riducendo così sia gli scarichi idrici che il consumo di acqua dolce.

Nell'ambito di iWAYS, SIMAM S.p.A. ha avuto il ruolo di technology provider avendo in carico la definizione e la realizzazione del dimostratore per il trattamento e il recupero del condensato

proveniente dall'HPCE in due casi studio, tra cui proprio quello svedese.

Il prototipo ideato per Alufluor è stato progettato per rendere fattibile il recupero di ben 10.000 lt/h di acqua, con conseguente diminuzione dello scarico idrico, dal trattamento di un flusso caratterizzato da un'elevata temperatura media (55°C) e con alti carichi di calcio e fluoruri. La soluzione realizzata si compone di un filtrazione a sabbia, specificatamente dimensionato per rimuovere la presenza di fluoruro di calcio e relativi solidi sospesi totali generati, seguito da un sistema di addolcimento per rimuovere la durezza calcica e consentire di riutilizzare l'acqua trattata all'interno dell'esistente scrubber di stabilimento, lavorando a condizioni sfidanti e non convenzionali per le tecnologie selezionate.

I dati raccolti nel primo mese di sperimentazione (Maggio 2025) mostrano che il sistema consente di ottenere uno stream in uscita con una concentrazione di calcio inferiore al valore target necessario per il recupero (valore medio rilevato intorno ai 4 mg/l) e in generale un buon funzionamento del sistema di trattamento delle acque. In termini di quantità di risorsa idrica recuperata si rileva una percentuale del 78% (per il periodo di riferimento dei dati a fronte di una portata in ingresso pari a 3.249 m³ si è ottenuta una portata di acqua in uscita, idonea per il riutilizzo, pari a 2.537 m³). Tali risultati risultano promettenti per il raggiungimento del KPI fissato, la sperimentazione del sistema e la raccolta dati proseguirà fino a conclusione del progetto al fine della verifica e validazione.

Questo caso studio rappresenta come le industrie possono trasformare i rifiuti in risorse da recuperare e, con particolare riferimento alla risorsa idrica, si inquadra come contributo alla strategia europea sulla resilienza idrica pubblicata proprio il 04.06.2025 dalla Commissione Europea.

Keywords: tecnologie innovative, trattamento e riutilizzo delle acque, recupero di energia e risorse, economia circolare, resilienza idrica

Contatti: m.asci@simamspa.it; luca.montorsi@unimore.it

La valorizzazione dei rifiuti emergenti e da attività ambientali

Emanuele Lagrotta¹, Marco Botta², Giorgio Bianchi³

¹Eni Rewind, Piazza Boldrini, 1 - 20097 San Donato Milanese (MI) (speaker)

² Eni Rewind Piazza Boldrini, 1 - 20097 San Donato Milanese (MI)

³ Eni Rewind Piazza Boldrini, 1 - 20097 San Donato Milanese (MI)

Abstract

Eni Rewind è proprietaria di circa 3.700 ettari di aree in tutta Italia. A oggi, circa il 60% di questi terreni sono non contaminati o bonificati e, quindi, disponibili per nuove progettualità. I riutilizzi previsti sono in primis per lo sviluppo di nuovi impianti per la produzione di energie rinnovabili e per il trattamento e il recupero dei rifiuti.

Eni Rewind gestisce circa due milioni di tonnellate di rifiuti all'anno composti da scarti produttivi derivanti da attività di bonifica, tradizionali del business oil & gas, ma anche da tipologie di rifiuti emergenti derivanti dalla trasformazione del business con la crescita della produzione di energie rinnovabili e "bio".

Eni Rewind, negli ultimi anni, ha avviato alcune iniziative industriali per restituire a nuova vita alcuni siti bonificati. Il progetto Ponticelle di Ravenna è un esempio concreto di riqualificazione produttiva di un'area industriale dismessa. Con il completamento nel 2021 delle attività di messa in sicurezza permanente, è stata avviata la conversione del sito in un polo per la bonifica sostenibile, la valorizzazione dei rifiuti e la produzione di energia da fonti rinnovabili. L'area situata a nord-est del centro urbano di Ravenna, tra il polo chimico e la zona industriale delle «Bassette», unisce inclusività e sostenibilità ambientale secondo i principi dell'economia circolare.

Il piano di riqualificazione produttiva prevede la costruzione di un impianto, con capacità pari a 80.000 tonnellate, di trattamento ai fini del recupero dei terreni contaminati da idrocarburi tramite un processo di bio-remediation (biopile), una tecnologia che utilizza microrganismi autoctoni (batteri) per biodegradare contaminanti idrocarburi in condizioni aerobiche, con il fine ultimo di non ricorrere all'utilizzo di suolo vergine.

Inoltre, è prevista la costruzione di un “bio-laboratorio” per controlli analitici preventivi sull’idoneità dei rifiuti in ingresso, dei materiali in uscita e per il monitoraggio periodico dei processi di biorisanamento. Infine, l’esercizio di una piattaforma polifunzionale di pretrattamento rifiuti che gestirà fino a 60.000 tonnellate all’anno di rifiuti speciali derivanti da attività ambientali e produttive per il successivo invio a recupero energetico.

Il piano di riqualificazione prevede inoltre l’installazione, su 11 ettari dell’area limitrofa, di un impianto fotovoltaico da circa 5,6 MWp con sistema di accumulo energetico (impianto già realizzato e avviato).

La piattaforma polifunzionale è in costruzione in JV con Herambiente, altro leader nel trattamento dei rifiuti industriali e sarà avviata a inizio 2026; rappresenterà un punto di riferimento per i rifiuti del mondo Eni e di altre attività produttive con particolare attenzione a quelle del territorio.

Eni Rewind sta anche analizzando con attenzione soluzioni per il trattamento di pannelli fotovoltaici a fine vita da implementare nei propri siti. La produzione di energia solare è uno dei business del gruppo Eni. Quello dei pannelli fotovoltaici è in generale un tema emergente per il mondo dei rifiuti; diversi parchi fotovoltaici si avviano a raggiungere i 20 anni di vita, considerati come limite massimo per la loro efficienza produttiva. Nei prossimi anni è prevista una crescita progressiva della produzione di pannelli fotovoltaici da trattare che potrebbero superare le 200.000 tonnellate annue da recuperare.

Il recupero dei suoli contaminati in sostituzione dei materiali vergini da estrazione, il recupero energetico dei rifiuti tramite il processo di termovalorizzazione e l’estrazione dei minerali critici dal recupero dei pannelli fotovoltaici a fine vita sono quindi parte centrale e sfidante del progetto.

Keywords: (5 keywords)

Contatti: emanuele.lagrotta@enirewind.com;
marco.botta@enirewind.com; giorgio.bianchi@enirewind.com

VI. Ecotossicologia e sostenibilità ambientale

SOIL-HEART: un indice semi-quantitativo per valutare gli effetti delle tecnologie di bonifica sulla salute del suolo

Antonella Vecchio¹, Federico Silvestri¹, Maria Rosaria Boni², Elisa Mariani³, Pietro Lovascio², Francesca Lazzari²

¹ Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), ² Università degli studi di Roma La Sapienza, ³ Università Tor Vergata

Abstract

La gestione dei suoli contaminati è una sfida ambientale, che provoca forti ripercussioni sulla salute umana, sull'ambiente e sulla produttività agricola. Le tecniche di bonifica devono ridurre la contaminazione, ma anche ripristinare la qualità e le funzioni ecologiche del suolo; pertanto, l'adeguata gestione e applicazione di tali tecnologie ha un ruolo chiave per il mantenimento dello stato di salute di tale risorsa. Ad oggi oltre il 60% dei suoli a livello globale ha un cattivo stato di salute e l'obiettivo della Direttiva Europea sul monitoraggio dei suoli è di ripristinare condizioni ecologiche accettabili entro il 2050.

A tal fine si propone un nuovo approccio metodologico per valutare gli effetti delle tecnologie di bonifica sulla qualità del suolo, integrando indicatori ambientali selezionati in un indice semi-quantitativo denominato SOIL-HEART (SOIL Health Effect Assessment of Remediation Technologies). La metodologia si basa su cinque fasi: selezione, sulla base di quanto previsto dalla proposta di Direttiva sul monitoraggio dei suoli, di sei indicatori ambientali rappresentativi (sostanza organica del suolo, pH, azoto, fosforo, tessitura, attività enzimatica), definizione di curve di scoring in funzione dei relativi range ottimali di ciascun indicatore, assegnazione agli indicatori di specifici pesi in relazione all'uso del suolo, calcolo di un indice integrato ponderato (mediana), infine determinazione dell'effetto netto delle tecnologie, confrontando la classe di qualità del suolo pre e post trattamento.

Al fine di validare la metodologia, sono state analizzate cinque tecnologie di bonifica (desorbimento termico, ossidazione chimica,

soil washing, phytoremediation, landfarming) mediante l'utilizzo di valori di input delle proprietà del suolo reperiti da 33 casi di studio internazionali. I risultati hanno evidenziato che le tecnologie biologiche in situ, per esempio la phytoremediation, determinano un miglioramento della qualità biologica del suolo, seppur con tempi di intervento maggiori. Di contro, trattamenti chimico-fisici ex situ mostrano un'elevata efficacia in termini di rimozione della contaminazione, ma provocando impatti negativi sulla tessitura, sulla sostanza organica e sulla biodiversità del suolo. L'approccio dell'indice integrato SOIL-HEART si dimostra efficace nell'offrire uno strumento preliminare di selezione sostenibile e di valutazione semi-quantitativa delle tecnologie di bonifica, tenendo conto sia della destinazione d'uso del suolo che degli obiettivi di risanamento ecologico. Tale metodologia integra valutazioni attualmente utilizzate ma di tipo qualitativo, un esempio rilevante è rappresentato dal SEFA dell'USEPA; inoltre può contribuire all'integrazione degli obiettivi della proposta di Direttiva sul monitoraggio e la resilienza del suolo e della Strategia EU Soil 2030, colmando l'attuale mancanza, a livello nazionale, di indicatori quantitativi specifici per valutare la salute del suolo.

Keywords: Contaminazione, Bonifiche, Valutazione, Suolo, Salute.

Contatti: antonella.vecchio@isprambiente.it,
federico.silvestri@isprambiente.it, mariarosaria.Boni@uniroma1.it,
elisa.mariani0892@gmail.com,
lovascio.1876149@studenti.uniroma1.it
francesca.lazzari@uniroma1.it

Il nuovo Panel scientifico e politico su sostanze chimiche, rifiuti e inquinamento: una svolta strategica per innovazione industriale, economia circolare e bonifiche

Lucilla Baldassarri¹, Diana Corradi², Dario D'Angelo², Simone Marzeddu³, Viola Pavoncello⁴

¹ Centro Nazionale Sostanze Chimiche, Prodotti Cosmetici e Protezione del Consumatore (CNSC), Istituto Superiore di Sanità (ISS), viale Regina Elena 299, 00161 Roma, Italia, ² Dipartimento Sviluppo Sostenibile, Direzione Generale Sostenibilità dei Prodotti e dei Consumi (SPC), Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), via C. Colombo 44, 00147 Roma, Italia, ³ Sezione Sostanze pericolose, Servizio per l'educazione e formazione ambientale e per il coordinamento tecnico delle attività di Direzione (DG-TEC), Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Via Vitaliano Brancati 48, 00144 Roma, Italia, ⁴ Istituto sull'inquinamento atmosferico (IIA), Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Consiglio Nazionale delle Ricerche, Strada Provinciale 35D (n. 9), 00010 Montelibretti (Roma), Italia.

L'istituzione dell'Intergovernmental Science-Policy Panel on Chemicals, Waste and Pollution (ISP-CWP) a Punta del Este, Uruguay, il 20 giugno 2025, segna un passaggio storico per la governance ambientale globale. Dopo quasi tre anni di negoziati, questo nuovo organismo andrà a complementare il lavoro dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) e dell'Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), affrontando i temi della triplice crisi planetaria (cambiamento climatico, perdita di biodiversità e inquinamento). Il percorso, avviato con la Risoluzione 5/8 dell'Assemblea delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEA) nel 2022, ha visto un intenso processo negoziale svolto nelle numerose sessioni dell'Open-ended Working Group (OEWG) e culminato nel corso del recente Intergovernmental Meeting

(IM). Le delegazioni, inclusi gli Stati membri dell'Unione Europea, tra cui l'Italia, hanno contribuito attivamente a questo successo, sostenendo con forza la creazione di un Panel scientificamente indipendente, inclusivo e capace di affrontare ogni forma di inquinamento nei comparti ambientali e i rischi per la salute umana. Le sue funzioni come l'"*horizon scanning*", per l'identificazione precoce di nuove minacce (es. contaminanti emergenti), le valutazioni scientifiche su intere classi di sostanze e il rafforzamento delle capacità (*capacity building*), influenzeranno direttamente le future normative, i modelli di analisi di rischio, i valori soglia di contaminazione e la definizione delle migliori tecniche disponibili (BAT), anche per la bonifica dei siti contaminati. Pertanto, le attività del Panel contribuiranno a promuovere la corretta gestione delle sostanze chimiche e dei rifiuti.

Inoltre, l'ISP-CWP supporterà un'ampia gamma di accordi ambientali multilaterali (tra cui Stoccolma, Rotterdam, Basilea e Minamata) e quelli attualmente in fase di negoziazione, tra cui quello riguardante la plastica. In sintesi, per i settori tecnici e industriali, le implicazioni nel medio e lungo termine potranno configurarsi come dirette e profonde. Sebbene il Panel sia stato formalmente istituito, le sfide future non mancano: la prima sessione plenaria, prevista entro un anno, dovrà risolvere le divergenze attualmente presenti e definire il primo programma di lavoro. Ciò nonostante, l'ISP-CWP inaugura un nuovo paradigma basato su un approccio proattivo e scientificamente fondato, che richiederà a tutti gli operatori del settore ambientale di guidare le normative di domani, rendendo la scienza del Panel uno strumento strategico indispensabile per la competitività e la sostenibilità. Questo contributo presenta il percorso avviato verso la sua istituzione, i documenti adottati e le prossime dinamiche negoziali.

Keywords: inquinamento; sostanze chimiche; rifiuti; legislazione ambientale; sostenibilità ambientale

Contatti: lucilla.baldassarri@iss.it, corradi.diana@mase.gov.it,
dangelo.dario@mase.gov.it, simone.marzeddu@isprambiente.it,
violapavoncello@cnr.it

Application of ecotoxicological tests for evaluating environmental compatibility: from terrestrial contaminated matrices to moon Regolith

Anna Barra Caracciolo¹, Alessandra Narciso¹, Chiara De Carolis¹,
Ludovica Rolando¹, Domenico Borello², Paolo Marzioli², Fabrizio
Piergentili², Valeria Ancona³, Paola Grenni¹

¹*Istituto di Ricerca Sulle Acque, Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRSA-CNR), Montelibretti, Roma, Italia*

²*Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale (DIMA), Sapienza Università di Roma, Roma, Italia*

³*Istituto per le Tecnologie della Costruzione, Consiglio Nazionale delle Ricerche (ITC-CNR), Bari, Italia*

Designing suitable experimental plans and suitable ecotoxicological tests for providing a reliable approach for addressing hot and emerging environmental issues contribute to protect ecosystems and human health. For example, ecotoxicological tests have been applying for facing environmental issues related to the use of foaming agents (FAs) in tunnelling engineering. FAs, primarily composed of anionic surfactants such as sodium lauryl ether sulphate (SLES), can be present in variable concentrations in spoil material, depending on treatment ratios, which in turn are related to soil lithologies and product characteristics. The possible SLES toxicity is crucial for a spoil material prompt use as a by-product. The intrinsic ecotoxicity of FAs and their possible ecotoxicological effects in several excavated soils have been tested in various case studies. For this purpose, spoil material ecotoxicity have been evaluated at different times from soil conditioning, for taking into consideration natural attenuation. Various ecotoxicological tests have been applied on soil (e.g. Seedling Growth tests with *Lepidium sativum*, OECD Guideline No. 208, 2006; acute and subchronic test with *Heterocypris incongruens*, ISO 14371:2012) and water extracts (e.g. Acute toxicity test with *Aliivibrio fischeri*, UNI EN ISO 113483:2019; acute test with *Daphnia magna*, ISO 6341:2012, among others). Then the most sensitive test to SLES residues have been used to design site-specific protocols to be

implemented during real tunnel excavation, for defining spoil material as a by-product. Comparing different results obtained, the newest FAs, and used in the Italian context, have been shown more eco-friendly than old ones, including those with comparable SLES percentages. These findings highlight that it is not only a chemical formula, but also the raw material origin (e.g. surfactants from hydrocarbons or vegetal tissues) which give to FAs a different environmental impact.

Ecotoxicological tests have been also used for evaluating if a remediation strategy has been effective in removing all toxic compounds and more recently for evaluating environmental compatibility of Lunar regoliths. Design of sustainable life support systems for long-term Lunar missions needs the implementation of In-Situ Resource Utilization (ISRU) techniques and the identification of possible substrates, such as Lunar regoliths, for different uses and applications. This can give an added value to research development. However, the environmental and health compatibility of regoliths needs to be investigated. In this context, in the framework of the BEATRICE Project (*Integrated bioregenerative system for astronaut waste processing and autonomous cultivation exploiting ISRU techniques*) three commercially available Lunar regolith simulants (LRS) with different particle size and composition have been tested. The LRS substrates were analysed alone and with the addition of a compost for decreasing their fine component and introducing organic matter. Moreover, LRS were studied as a possible substrate for plant growth. Ecotoxicological tests using water extracts (UNI EN 12457-2:2004) were performed using *A. fischeri*, *L. sativum* and *D. magna*. Preliminary results revealed a low acute toxicity of the LRS solid matrices and water extracts, generally lowered by compost presence. Overall, the ecotoxicological approach can be applied a wide variety of “environmental scenarios”, including extra-terrestrial ones and open new perspectives for evaluating chemicals and new material impact.

Keywords: bioassays; natural and extra-terrestrial environment; environmental impact

Contatti: anna.barracaracciolo@irsa.cnr.it

Indicatori chimico-biologici per la diagnosi della salute del suolo in contesti agricoli contaminati da pesticidi

Annamaria Ragonese¹, Vito Felice Uricchio¹, Carmine Massarelli¹

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Tecnologie della Costruzione – UdR “Ambiente e Territorio”, Bari

Abstract

La salute del suolo rappresenta un indicatore chiave della sostenibilità agroambientale, riflettendo la capacità del suolo di garantire produzione agricola, biodiversità e regolazione dei cicli biogeochimici [1][2]. Tuttavia, l'uso intensivo e prolungato di pesticidi in agricoltura ha suscitato crescenti preoccupazioni per gli impatti negativi sulla qualità del suolo, in particolare sul suo comparto biologico e microbiologico [3].

Studi recenti a livello nazionale e internazionale sottolineano l'urgenza di adottare un approccio integrato alla valutazione della salute del suolo, combinando indicatori chimici e biologici per rilevare alterazioni strutturali e funzionali. Tali strumenti permettono di monitorare più accuratamente gli effetti ecotossicologici dei fitofarmaci, contribuendo a strategie di gestione sostenibile [4].

Tra i principali indicatori chimici figurano pH, conducibilità elettrica, carbonio organico totale (TOC) e residui di pesticidi (via GC-MS/MS e LC-MS/MS). Tuttavia, questi misurano principalmente lo stato abiotico. Gli indicatori biologici – biomassa microbica, attività enzimatica (es. deidrogenasi, fosfatasi), respirazione del suolo, fauna edafica – riflettono invece la funzionalità ecologica e sono più sensibili agli squilibri ambientali [5].

L'integrazione di dati chimici e biologici tramite analisi statistiche (analisi multivariata, regressione, correlazioni) consente diagnosi più robuste e rappresentative. L'elaborazione dei dati svolge un ruolo chiave nel riconoscere pattern tra variabili abiotiche e biotiche e nell'ottimizzare il monitoraggio [5].

L'esposizione cronica ai pesticidi compromette la funzionalità microbiologica del suolo: riduzione dell'attività enzimatica, alterazioni

della comunità batterica, inibizione nei cicli di mineralizzazione e decomposizione della sostanza organica [3][6].

In prospettiva, tecnologie emergenti come biosensori portatili, spettroscopia di prossimità e modelli predittivi basati su intelligenza artificiale potrebbero rendere la diagnosi del suolo più rapida, accessibile e a basso costo [7].

Bibliografia

- [1] Bevivino, A. et al. (2020). *Agricoltura e ambiente, la qualità dei suoli, pesticidi e contaminanti*. ENEA.
- [2] Sarker, A. et al. (2024). *Environmental Fate and Sustainable Management of Pesticides in Soils: A Critical Review*. *Sustainability*, 16(23), 10741.
- [3] Swaine, M. et al. (2025). *Impact of Pesticides on Soil Health: Identification of Key Soil Microbial Indicators*. *FEMS Microbiology Ecology*, 101(6).
- [4] SNPA – Sistema Nazionale per la Protezione dell’Ambiente (2018). *Linee guida per il monitoraggio dei fitofarmaci in acque, sedimenti e biota*, LG 14/2018.
- [5] Raghavendra, M., Sharma, M. P., Ramesh, A., Richa, A., Billore, S. D., & Verma, R. K. (2020). *Soil Health Indicators: Methods and Applications*. In *Soil Analysis: Recent Trends and Applications* (pp. 221–253). Springer.
- [6] Maharana, B. et al. (2025). *Repercussions of prolonged pesticide use on soil microbiome dynamics*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*.
- [7] Zhang, Y. et al. (2022). *AI-driven models for predicting soil degradation under pesticide stress*. *Environmental Research*, 212, 113284.

Keywords: *pesticidi, indicatori chimici e biologici, diagnosi precoci*

Contatti: annamaria.ragonese@itc.cnr.it

Strategie sostenibili per la riduzione dei pesticidi

Annamaria Ragonese¹, Vito Felice Uricchio¹, Carmine Massarelli¹

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Tecnologie della Costruzione – UdR “Ambiente e Territorio”, Bari

Abstract

I pesticidi hanno migliorato la produttività agricola, ma con impatti ambientali e sanitari significativi. La ricerca oggi mira a ridurre l'uso, salvaguardando le rese, attraverso soluzioni sostenibili basate su chimica verde, innovazione tecnologica e pratiche agronomiche avanzate. Tra le soluzioni più efficaci abbiamo:

- 1) biopesticidi di origine microbica o vegetale, rapidamente biodegradabili e a basso impatto sugli ecosistemi [1]
- 2) enzimi degradanti che facilitano la decomposizione selettiva dei residui fitosanitari senza generare sottoprodotti tossici [1]
- 3) solventi green come acqua, bioetanolo e fluidi supercritici, utilizzati nei processi di sintesi e formulazione per ridurre l'impronta ecologica e il rischio di esposizione umana [2]
- 4) agricoltura di precisione basata su sensori e dati digitali, per ottimizzare i trattamenti e ridurre la dispersione ambientale [3]

Uno dei problemi più critici legati all'uso dei pesticidi è la loro mobilità e trasferimento in altri comparti e matrici ambientali con effetti nocivi sugli ecosistemi acquatici e sulla salute umana [4]. La contaminazione avviene attraverso processi chimico-fisici quali il dilavamento, la fotodegradazione e la mobilità nelle falde. Per limitarne l'impatto, si stanno studiando soluzioni avanzate per rimuovere i contaminanti in modo efficiente e sicuro. Tra queste soluzioni vanno citati i:

processi di ossidazione avanzata, come l'ozonizzazione, la fotocatalisi o l'attivazione mediante perossido di idrogeno, che sfruttano la formazione di radicali ossidanti per degradare le molecole di pesticidi, rendendole meno persistenti e meno tossiche; l'utilizzo di: **materiali adsorbenti naturali**, come il biochar, le zeoliti o le argille modificate, che riescono a intrappolare i residui di fitofarmaci grazie alla loro struttura porosa, facilitando così la depurazione delle acque senza produrre sottoprodotti dannosi; e, infine, il ricorso a **nanotecnologie**

ambientali, tra cui nanoparticelle funzionalizzate, ossidi metallici (es. TiO_2 , ZnO) e derivati del grafene, utilizzate per la rimozione selettiva dei pesticidi anche a concentrazioni molto basse, aumentando l'efficienza depurativa dei sistemi. Il ricorso alla chimica verde favorisce, invece una produzione più sostenibile dei pesticidi grazie a:

- sintesi più pulite, che utilizzano solventi rinnovabili come acqua o etanolo da biomassa [2].
- reazioni catalizzate da enzimi o microrganismi, che permettono di ottenere molecole più selettive e biodegradabili, con un impatto minore sugli ecosistemi [2]
- tecnologie di rilascio controllato, come microcapsule biodegradabili o nanocarrier, che veicolano il principio attivo solo quando serve, riducendo gli sprechi e la dispersione ambientale [3]

La riduzione dell'uso dei pesticidi e soprattutto dei loro residui in ambiente è una sfida fondamentale per garantire la sicurezza alimentare e la tutela dell'ambiente in un'ottica one-health. L'adozione di pratiche innovative e tecnologie avanzate può contribuire a un equilibrio tra produttività ed ecocompatibilità, favorendo l'incremento della resilienza negli agro-ecosistemi nel verso di un maggior rispetto dell'ambiente.

Bibliografia

- [1] Bejarano, A., & Puopolo, G. (2020). Bioformulation of microbial biocontrol agents for a sustainable agriculture. In M. Tallapragada & A. S. Ramu (Eds.), *Formulation of Microbial Biopesticides* (pp. 211–239). Springer.
- [2] Panda, S. & Gorantla, S. (2025). Green Analytical Approaches and Eco-Friendly Solvents: Advancing Industrial Applications and Environmental Sustainability. *Oriental Journal of Chemistry* 41(2)
- [3] Fincheira, P., Quiroz, A., Mutis, A., Palma, R., & Quiroz, A. (2023). Eco-efficient systems based on nanocarriers for the controlled release of fertilizers and pesticides: Toward smart agriculture. *Nanomaterials*, 13(13), 1978.
- [4] Kumar, P., Kumar, R., Thakur, K., Mahajan, D., Brar, B., Sharma, D., Kumar, S., & Sharma, A. K. (2023). Impact of Pesticides Application on Aquatic Ecosystem and Biodiversity: A Review. *Biology Bulletin*, 50, 1362–1375.

Keywords: biopesticidi, chimica verde, nanotecnologie ambientali

Contatti: annamaria.ragonese@itc.cnr.it

Conflitti armati e danni ambientali: la nuova prospettiva costituzionale

Cecilia Pannacciulli¹

¹ Università degli Studi di Bari Aldo Moro

Abstract

Il rapporto tra i conflitti armati e i danni ambientali è da tempo oggetto di studio sul piano internazionalistico ma, a seguito della revisione dell' art. 9 Cost., può certamente essere indagato in una prospettiva costituzionalistica dagli esiti particolarmente fecondi. Si consideri, innanzitutto, che – come rilevato recentemente dall'*UNEP (United Nations Environment Programme)* – almeno il 40% dei conflitti degli ultimi 60 anni è legato allo sfruttamento delle risorse naturali. D'altronde, è noto che le conseguenze dirette delle operazioni belliche comportano costi altissimi per l'ambiente, a volte esiziali: danneggiamento di impianti chimici, idrici, alimentari, energetici; eliminazione o avvelenamento di risorse vitali come cibo, acqua, bestiame, coltivazioni; compromissione di flora e fauna e, più in generale, di ecosistemi e biodiversità. Non di minore impatto, ma causalmente collegate ai menzionati danni, sono le conseguenze indirette delle guerre, che impattano in modo tragico su valori e interessi di rango costituzionale: si pensi alla fame, alla povertà, all'interruzione di servizi pubblici, a malattie ed epidemie, alla violazione dei diritti umani, alla instabilità sociale.

Ebbene si ritiene che, dopo la revisione dell'art. 9 Cost., siano stati implicitamente introdotti limiti ulteriori alla gestione dei conflitti bellici da parte dell'Italia, rafforzativi del "ripudio della guerra" di cui all'art. 11 Cost., in un'ottica di neutralità. Infatti, l'art. 9 Cost. inserendo per la prima volta alla stregua di principio fondamentale la tutela dell'ambiente, della biodiversità e degli ecosistemi anche nell'interesse delle future generazioni, oltre che la tutela degli animali, si è "aperto" al diritto internazionale in modo specifico. In particolare, ci si vuole riferire al modello *One Health* che promuove strategie di attuazione di un approccio olistico alla tutela del Pianeta e di tutti gli esseri viventi che lo abitano (umani, animali e vegetali). In

considerazione del fatto che ogni azione bellica danneggia le matrici fondamentali per la vita (aria, acqua, suolo e cibo), le scelte politiche in caso di conflitti armati dovranno ritenersi vincolate anche dalla tutela dell'equilibrio ecologico della biosfera e dei suoi differenti ecosistemi, ponendo il perseguimento di quell'equilibrio tra i fondamentali criteri ordinatori dell'azione dei pubblici poteri. Dunque, nell'ampia dimensione costituzionale definita dagli artt. 2, 3, 32, 41, 42, 44, 117 e 118 Cost., che rende coerente la novella dell'art. 9 Cost. con il paradigma *One Hearth-One Health*, deve allora includersi anche l'art. 11 Cost. La positivizzazione dei valori di cui al novellato art. 9 Cost. come principi fondamentali, stante l'impatto di qualunque conflitto bellico sull'integrità dei molteplici interessi di rango costituzionale da questi implicati, sposta sempre più il "ripudio della guerra" dall'area ibrida della "non belligeranza" (che esclude la diretta partecipazione dell'Italia a qualunque conflitto bellico, ma ne ammette il supporto in forme indirette) a quella della potenziale "neutralità". Più chiaramente ciò significa che il dettato costituzionale impone oggi all'Italia che qualunque azione "non belligerante" - e dunque anche il mero invio di armi o l'utilizzo delle basi militari per operazioni belliche - sia da considerare l'*extrema ratio*, l'eccezione cui fare ricorso per supportare l'agredito, rendendo invece prioritario e cogente il perseguimento della cessazione del conflitto e, dunque, imponendo all'Italia di non poter prescindere da ogni possibile iniziativa - anche in contrasto o nell'inerzia delle organizzazioni sovranazionali e internazionali di cui fa parte - per favorire la pace o, comunque, una soluzione negoziale dei conflitti onde contenere le conseguenze distruttive della guerra e dell'impatto che essa ha, *in primis*, sulla popolazione civile, ma più in generale sull'equilibrio e sull'interrelazione dei sistemi viventi. Ne verrebbe probabilmente recuperata la qualità sia del concetto di "sovranità" - "aperta" sì ma non più "ibrida" - sia della "teoria dei controlimiti".

Keywords: guerra, art. 9 Cost.; paradigma *One Hearth-One Health*; art. 11 Cost.; pace.

Contatti: cecilia.pannacciulli@uniba.it

Analisi di Rischio Ecologica come strumento di supporto al risanamento ambientale

Dott. Geol. Gianluca Pirani PhD

*ISPRA: Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale,
Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia*

L'analisi di rischio ecologico (ERA) è un *“processo sistematico per organizzare ed analizzare dati, informazioni, assunzioni ed incertezze; il tutto finalizzato alla stima ed alla valutazione della probabilità che si manifestino effetti avversi sull'ecosistema analizzato”* (Suter, 1993). Se l'Analisi di Rischio Sanitaria (AdR) definisce gli obiettivi di bonifica di un sito contaminato in cui il recettore è l'essere umano, l'ERA è finalizzata alla valutazione dei rischi per specie animali e vegetali potenzialmente esposte. Per ciò che riguarda le procedure utilizzate per l'elaborazione dell'ERA atte a sviluppare caratterizzazioni di rischio scientificamente valide per determinate sostanze chimiche, vanno acquisite informazioni circa la loro pericolosità sugli *habitat* naturali, in aree diverse e a potenziale danno per specie e popolazioni differenti. Lo sforzo principale è quello di individuare correttamente le popolazioni più rappresentative esposte a specifici prodotti chimici, rilasciati da differenti sorgenti di contaminazione. Ciò rende necessario compiere precisi adattamenti a ciascuna realtà locale, al fine di poter contestualizzare correttamente le informazioni acquisite. L'ERA viene condotta attraverso tre fasi distinte:

1. Formulazione del Problema FP, nella quale si effettua la ricognizione e valutazione dei dati esistenti, la caratterizzazione ecologica del sito, l'identificazione dei Recettori ecologici di rilievo (ROI), delle Sostanze chimiche di rilievo (COI), la scelta delle aree da investigare con la determinazione di un modello concettuale (MCS) e la formulazione del progetto di analisi per la fase successiva.

2. Fase di analisi (FA), che tramite un MCS rappresenta la valutazione dell'esposizione e degli effetti ecologici correlati, consentendo di individuare i livelli di esposizione teorica per recettori ecologici tipici dei diversi livelli trofici nelle aree oggetto di indagine.

3. Fase di caratterizzazione del rischio (CR), in cui si effettua una stima della probabilità che avvengano gli effetti ecologici avversi definiti nella FP, confrontando i profili definiti nella FA.

L'obiettivo finale è quello di individuare il MCS e il quadro conoscitivo dell'area esaminata, con riferimento agli ecosistemi terrestri e acquatico, di misurare/stimare i livelli di esposizione ambientale ai composti di interesse e di effetto ecologico, al fine di definire i livelli soglia di effetto e stimarne il rischio associato.

Pur non avendo acquisito uniformità su scala internazionale, è utilizzata da alcune decine di anni in USA, Canada e in Europa Settentrionale. A riguardo nel nostro paese è presente una lacuna normativa, anche se il decreto sulle bonifiche D.M. 471/99 in assenza d'indicazioni operative, già imponeva delle valutazioni concernenti l'ambiente. Ad oggi l'unico riferimento in Italia è il documento ISPRA del 2002, di conseguenza l'ERA è stata applicata di rado e solo nei siti contaminati, per i suoi aspetti sanitari o per la protezione delle risorse idriche. Poiché è uno strumento in grado di individuare le criticità ambientali di un'area connesse ad attività antropiche, in grado di definire le soglie di rischio dei recettori ambientali meriterebbe una maggiore visibilità. Un possibile campo di applicazione potrebbe riguardare alcuni comparti ambientali (fossi, aree ripariali, aree golenali, sedimenti), di cui spesso si hanno scarse informazioni e incertezza sui corretti valori di soglia da attribuire.

Keywords: studio ecologico, valutazione del rischio, bersagli sensibili, livelli di esposizione.

Contatti : gianluca.pirani@isprambiente.it

Riferimenti e link :

1998, US EPA, "Guidelines for Ecological Risk Assessment".

2002, ANPA (ora ISPRA) "Analisi di Rischio ecologico per il risanamento dei siti contaminati", Manuali e Linee Guida 11/2002.

2003, Linee guida AdR Commissione Europea (Part II - "Technical Guidance Document on Risk Assessment").

2007, Linee guida olandesi "Guidance for the derivation of environmental risk limits within the framework of International and national environmental quality standards for substances in the Netherlands".

Neoplasie e contaminazione ambientale: un legame silenzioso

Michele Sarcina¹

¹ SSO-Med, Policlinico Universitario A. Gemelli Roma

Abstract

Ci si riferisce alle neoplasie che si sviluppano in modo subclinico (in modo continuo ed invisibile, non immediatamente rilevabili, lungo tutto l'arco della vita, attraverso molteplici vie: inalazione, ingestione e assorbimento cutaneo), correlate a fattori ambientali.

Il legame è ben documentato. Secondo i dati più recenti del Global Cancer Observatory (GCO), nel 2022 sono stati diagnosticati oltre 20 milioni di nuovi casi di cancro nel mondo. Le stime dell'OMS prevedono un aumento del 77% dell'incidenza globale entro il 2050, con oltre 35 milioni di casi annui attesi.

Gli agenti contaminanti possono favorire lo sviluppo di neoplasie, sia solide che ematologiche, attraverso meccanismi biologici complessi: inducono stress ossidativo, provocano danni al DNA, interferiscono con i processi di riparazione genetica, alterano la regolazione dei cicli cellulari e promuovono stati di infiammazione cronica. Vengono quindi favoriti processi proliferativi anomali che aumentano il rischio di trasformazione neoplastica.

Tra i principali fattori ambientali, l'inquinamento atmosferico è quello che incide maggiormente sul carico globale di cancro. Le polveri sottili, in particolare il PM2.5, sono classificate come cancerogene per l'uomo e rappresentano una causa rilevante di tumore al polmone. Le fonti principali includono la combustione di carburanti fossili, le emissioni industriali e il traffico veicolare.

Anche l'inquinamento delle acque rappresenta un ambito critico. Le fonti principali includono scarichi industriali, attività agricole con uso massiccio di pesticidi e fertilizzanti, discariche non controllate e infiltrazioni da siti contaminati. Sostanze come l'arsenico, i trialometani e i PFAS (sostanze perfluoroalchiliche) possono raggiungere le acque potabili e superficiali. L'arsenico, anche a concentrazioni molto basse, è associato a tumori della pelle, della vescica, del rene e del polmone. I trialometani, sottoprodotti dei

trattamenti di disinfezione dell'acqua, sono correlati a un aumento del rischio di tumore della vescica. I PFAS, noti come "inquinanti eterni" per la loro persistenza ambientale e capacità di bioaccumulo, entrano nella catena alimentare tramite pesci, colture e prodotti trasformati. La contaminazione del suolo costituisce un rischio ambientale significativo: in Europa sono censiti oltre 340.000 siti contaminati, di cui una quota minoritaria è stata sottoposta a bonifica. Le principali fonti di contaminazione includono processi industriali, discariche, traffico veicolare e lo smaltimento illecito di rifiuti pericolosi. Tra gli inquinanti prevalenti si annoverano metalli pesanti, idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e oli minerali. L'esposizione può avvenire tramite inalazione o ingestione di suolo contaminato, attraverso la migrazione degli inquinanti nelle acque sotterranee e il loro accumulo nella catena alimentare.

In Italia, lo studio SENTIERI ha valutato l'impatto sanitario in 46 Siti di Interesse Nazionale per bonifica (tra cui la Terra dei Fuochi), caratterizzati da una forte pressione ambientale dovuta a industrie, discariche e contaminazione illegale. Nell'arco 2013–2017, è stato registrato un eccesso medio annuo di circa 1.700 decessi rispetto alla media nazionale, pari a un +2,6% di mortalità totale nei territori esaminati. Si stima che i tumori siano responsabili di oltre la metà di questi decessi in eccesso.

Alla luce delle previsioni epidemiologiche globali, identificare e ridurre le esposizioni ambientali tramite interventi normativi, bonifiche e controlli sistematici su acque, suolo e alimenti è una priorità per la prevenzione oncologica e la tutela della salute pubblica. L'adozione urgente di politiche ambientali fondate su solide evidenze scientifiche è essenziale per contrastare una crisi lenta ma profonda. Oggi, l'oncologia ambientale non è più un'opzione ma una priorità.

Keywords: *cancro, inquinamento, ambiente, prevenzione, politiche ambientali*

Contatti: michele.sarcina02@icatt.it

V. L'Osservazione della terra per la tutela dell'ambiente e le nuove frontiere dello spazio

Il progetto a leadership Aeronautica Militare: “EUMETSAT Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management (H-SAF)”

Col. Daniele Biron

*Stato Maggiore Aeronautica - Ufficio Generale Aviazione Militare e
Meteorologia, Roma.*

Abstract

L'H-SAF è il progetto EUMETSAT, uno degli 8 Satellite Application Facility (SAF), a Leadership dell'Aeronautica Militare (Leading Entity), incaricato di generare prodotti con informazioni di alta qualità per le applicazioni idrologiche operative (da cui l'H nell'acronimo H-SAF), a partire dall'acquisizione e dall'elaborazione dei dati da satelliti operativi dedicati alla osservazione della Terra. Il progetto ha iniziato le operazioni il 1° settembre 2005, e da allora ha erogato, senza soluzione di continuità, il servizio verso la comunità dei Paesi Membri di EUMETSAT, e per redistribuzione della stessa Agenzia, verso l'intera comunità internazionale afferente all'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM), grazie a un Consorzio con 23 Istituti europei da 11 Paesi. Attualmente il progetto è nella sua 4° Fase EUMETSAT (Fourth Continuous Development and Operation Phase, CDOP-4), che terminerà il 28 Febbraio 2027, e nel corso del 2025 l'Aeronautica Militare sta predisponendo il documento progettuale per la fase CDOP-5, 2027-2032. Si illustrano la struttura di H-SAF, i dati satellitari utilizzati e il portfolio prodotti attivi ed in sviluppo, con contenuti a valore aggiunto allo stato dell'arte per l'idrologia operativa globale.

Keywords: idrologia, meteorologia, satelliti meteorologici, telerilevamento

Contatti: daniele.biron@aeronautica.difesa.it

Il progetto IMPEL “Geospatial Intelligence For Environmental Compliance” (GIECA)

Laura Calcagni¹, Federico Filipponi², Paolo Rinaldi¹

¹ ISPRA (speaker), ² CNR

Abstract

Nell’ambito delle attività promosse da IMPEL (European Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law), rete informale creata nel 1992 tra le autorità ambientali dei Paesi UE, è stato avviato il progetto Geospatial Intelligence for Environmental Compliance Assurance (GIECA). L’iniziativa mira a promuovere l’uso di tecniche di Geospatial Intelligence (GI), come il telerilevamento satellitare, l’impiego di droni e l’elaborazione geostatistica dei dati, nell’ambito del contrasto ai reati ambientali.

Obiettivo centrale del progetto è definire i requisiti tecnici e giuridici per l’utilizzo di tali strumenti in sede processuale, anche attraverso l’analisi di casi concreti. Vi partecipano rappresentanti di numerosi Paesi europei, tra cui Albania, Belgio, Croazia, Repubblica Ceca, Grecia, Ungheria, Irlanda, Kosovo, Lettonia, Malta, Portogallo, Romania, Paesi Bassi, Turchia, Ucraina, Regno Unito e Italia.

Collaborano anche altre reti europee impegnate in ambito giuridico-ambientale, come ENPE (European Network of Prosecutors for the Environment) ed EUFJE (European Forum of Judges for the Environment), i cui membri partecipano attivamente al progetto. Questa sinergia mira a individuare soluzioni pratiche condivise per l’uso della GI nella prevenzione e repressione dei reati ambientali, potenziando sia le competenze delle autorità ambientali sia la consapevolezza del mondo giudiziario.

Il progetto ha preso formalmente il via nel marzo 2025 e un primo momento di confronto si è tenuto a maggio a Bratislava, durante una Tavola Rotonda con membri del progetto, accademici dell’Università di Bratislava e rappresentanti del JRC. Sono stati presentati casi concreti in cui la GI ha permesso di individuare criticità ambientali legate ad attività illecite, avviando un utile confronto su potenzialità e limiti tecnici e legali.

Dal punto di vista tecnico, l'uso di droni e immagini satellitari si è rivelato efficace, ad esempio, per individuare stoccaggi illeciti di rifiuti, ampliamenti abusivi di cave, o danni a boschi e habitat protetti. È emerso che, pur non sostituendo i controlli in situ, la GI – in particolare quella satellitare – consente valutazioni *ex post* sugli impatti ambientali.

Sul piano giuridico, è stata evidenziata l'importanza di definire approcci standardizzati per rendere i dati geospaziali più facilmente utilizzabili come prova nei procedimenti giudiziari.

In conclusione, GIECA si propone di contribuire alla costruzione di un quadro di riferimento comune per l'uso della GI nella lotta ai reati ambientali, anche attraverso la possibile redazione di linee guida specifiche per la raccolta e l'ammissione dei dati come prove.

Keywords: (5 keywords): geospatial intelligence, reati ambientali, IMPEL, GIECA.

Contatti: laura.calcagni@isprambiente.it, federico.filipponi@cnr.it, paolo.rinaldi@isprambiente.it,

Tecnologie e sistemi satellitari avanzati per il monitoraggio e la sostenibilità ambientale in agricoltura

Luigi Servadei¹

¹ CREA - *Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria(speaker)*

Abstract

L'adozione di soluzioni innovative che sfruttano l'osservazione satellitare e le tecnologie spaziali rappresenta oggi una delle frontiere più promettenti per affrontare le sfide della sostenibilità ambientale in agricoltura. L'utilizzo di tecnologie di satellitari osservazione della Terra e di sistemi avanzati di navigazione e comunicazione, combinata con l'utilizzo di sensori IoT - Internet of Things in campo, l'intelligenza artificiale e i modelli previsionali consente di costruire soluzioni integrate per migliorare l'efficienza produttiva, ridurre l'impatto ambientale delle attività agricole e supportare la pianificazione territoriale nelle aree rurali.

Attraverso l'utilizzo dei dati provenienti da missioni satellitari come, ad esempio, Sentinel-1 e Sentinel-2, del programma Copernicus, è possibile ottenere informazioni dettagliate e continue sullo stato della vegetazione, sulla struttura e sull'umidità del suolo, sulla presenza di colture di copertura o colture miste e sul grado di copertura vegetale. L'elaborazione di questi dati consente il monitoraggio dinamico delle pratiche agricole, come la rotazione colturale, il pascolamento e la gestione dei residui e offre un quadro oggettivo e aggiornato dell'uso del suolo agricolo. E', inoltre, possibile mappare le aree soggette a erosione o a stress idrico e stimare il contenuto di carbonio organico nei suoli. Questi strumenti sono fondamentali anche per migliorare la coerenza e l'efficacia dell'attuazione della Politica Agricola Comune (PAC). In particolare, l'integrazione delle tecnologie satellitari con i sistemi informativi, come il SIAN- Sistema Informativo Agricolo Nazionale, consente il monitoraggio automatizzato degli impegni legati agli ecoschemi, alla condizionalità rafforzata del Piano strategico nazionale della PAC 2023/2027.

Tali strumenti permettono di verificare in tempo reale, e su vasta scala, il rispetto degli obblighi a carico degli agricoltori beneficiari dei contributi della PAC.

L'impiego di tecnologie satellitari agevola anche la gestione sostenibile degli input agronomici. Infatti, la conoscenza dettagliata delle proprietà fisiche e chimiche del suolo consente una somministrazione mirata di fertilizzanti, dei prodotti fitosanitari e dell'acqua riducendo le perdite e gli impatti ambientali. Analogamente, l'analisi temporale dei dati satellitari facilita la pianificazione degli interventi culturali.

L'approccio adottato si rafforza con l'adozione di modelli previsionali capaci di simulare i processi agroecologici che permettono di valutare gli effetti ambientali di scenari alternativi di gestione e offrono un supporto alla programmazione territoriale, alla valutazione delle politiche e alla progettazione di interventi integrati.

La piena valorizzazione di queste tecnologie richiede, tuttavia, investimenti in infrastrutture digitali, l'interoperabilità dei dati, le capacità tecniche sul territorio e un quadro normativo che ne incentivi l'adozione. La collaborazione tra enti di ricerca, amministrazioni pubbliche, imprese e agricoltori è essenziale per trasformare l'innovazione tecnologica in soluzioni operative diffuse ed efficaci.

In prospettiva, le tecnologie satellitari e i sistemi digitali possono consentire di rafforzare la capacità del sistema agricolo di rispondere alle crisi ambientali e costituiscono anche un'opportunità per migliorare la qualità della governance e per promuovere lo sviluppo delle aree rurali.

Keywords: Tecnologie spaziali, Remote sensing, Sostenibilità ambientale, Monitoraggio, Agricoltura di precisione

Contatti: l.servadei@masaf.gov.it

Ruolo, attività e capacità dell'Aeronautica Militare per la meteorologia spaziale (space weather)

Angelo Romito¹

¹ *Aeronautica Militare*

Abstract

La meteorologia spaziale, o Space Weather, descrive le condizioni ambientali dello spazio occupato dal Sole e dai pianeti e studia il flusso di particelle cariche, i campi magnetici e le radiazioni elettromagnetiche presenti in tale regione, prodotti dall'attività solare e da fenomeni di alta energia nella nostra Galassia e in galassie esterne. Più in dettaglio, la meteorologia spaziale, studia gli impatti sulla salute umana e sui sistemi tecnologici dovuti all'attività solare e si basa sul monitoraggio continuo e sulla previsione del "tempo meteorologico spaziale", al fine di adottare misure tempestive di mitigazione degli impatti più significativi sulle comunità umane, sui sistemi ad alta tecnologia, sulle infrastrutture strategiche e sugli assetti del volo aerospaziale nonché per garantire la sicurezza della navigazione aerea internazionale.

Metodologia

Lo sviluppo e il rafforzamento delle capacità nazionali per la meteorologia spaziale sono essenziali per l'organizzazione e l'implementazione di un servizio operativo che assicuri il processamento in tempo reale di informazioni provenienti da diverse fonti al fine di produrre e distribuire agli utenti accurati e affidabili messaggi di allerta, avvisi e previsione a breve scadenza dei fenomeni della meteorologia spaziale. Nell'alveo della collaborazione pluriennale tra Aeronautica Militare, Istituto Nazionale di Astrofisica e Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia per la meteorologia spaziale è in corso di realizzazione presso il Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aerospaziale (CNMCA) di Pratica di Mare un dimostratore di nuove capacità nazionali di tipo duale che grazie all'aggregazione dei dati di fonti diverse e alla disponibilità di dati osservati in tempo reale organizzati per categorie e di modelli scientifici evoluti permetterà la produzione automatica di messaggi di

allerta per il superamento di specifiche soglie per i principali parametri d'interesse (brillamenti solari, espulsioni di massa coronale, tempeste geomagnetiche, flussi di radiazioni ionizzanti, degrado sui sistemi di comunicazioni radio e satellitari, e di sistemi di navigazione satellitare Global Navigation Satellite System (GNSS) nonché di previsioni di impatto sui sistemi tecnologici e sulle infrastrutture strategiche. Tali nuove capacità, insieme ad un consolidato quadro normativo di riferimento internazionale, saranno asservite al consolidamento delle capacità nazionali di fornitura di servizi di meteorologia aerospaziale con valenza duale (militare e civile) non solo per la sicurezza degli assetti di volo e dei sistemi di telecomunicazione e di navigazione satellitari, ma anche delle infrastrutture strategiche quali le reti energetiche e di distribuzione carburante, la rete di trasporti terrestri e marittimi, oltre che per l'assistenza ai voli spaziali suborbitali e dei voli spaziali commerciali con partenza dallo spaziorporto di Grottaglie (TA).

Lo sviluppo di servizi di allerta e di previsione dei fenomeni della meteorologia spaziale che determinano impatto sui sistemi ad alta tecnologia e sugli assetti di volo dell'aviazione militare e civile commerciale, nonché sugli assetti di volo spaziale suborbitale e su quelli dedicati ai voli spaziali commerciali è un obiettivo primario dell'Aeronautica Militare per consolidare la posizione e il primato di fornitore in via esclusiva di servizi di meteorologia aerospaziale sia per la Difesa e le Forze Armate per il consolidamento delle capacità di Space Situation Awareness (SSA) e Space Surveillance and Tracking (SST) asservite all'implementazione del sistema nazionale di Space Traffic Management (STM) che per gli stakeholder nazionali del mondo dell'Aviazione civile (ENAC, ENAV).

Contatto: angelo.romito@aeronautica.difesa.it

Confini d'Italia: da una linea rappresentata a un dato numerico

Simone Bartolini¹

¹ *Istituto Geografico Militare – Direzione Geodetica*

Abstract

L'Istituto Geografico Militare (IGM), su disposizione del Ministero della Guerra, ha assunto dal 1941 il compito di dirigere le attività inerenti ai confini di Stato; pertanto, la manutenzione e la misura dei termini e della linea del confine è un'attività annoverata tra i suoi compiti istituzionali.

Il volume in titolo ripercorre la storia dei confini d'Italia dal 1860 ad oggi e racconta il grande lavoro eseguito per demarcare e misurare il confine di Stato che nel secolo scorso ha subito notevoli modifiche a seguito delle guerre mondiali e non solo.

L'approvazione degli accordi sul "Confine mobile" con Austria e Svizzera, per i quali lo scioglimento dei ghiacciai portava ad una modifica del confine, ha reso necessaria la nuova misura dei tratti interessati.

Lo scioglimento dei ghiacciai della cresta di confine ha consentito il ritrovamento di importanti reperti archeologici, fra i quali la mummia del Similaun, datata 3200 a.C., e la ciaspola tardoneolitica del 3800 a.C., entrambe conservate al museo archeologico di Bolzano e ivi descritte.

Tutto è narrato con dovizia di particolari, aneddoti, cartografia antica, documenti inediti, immagini d'epoca e recenti.

Contatti: simone.bartolini@persociv.difesa.it

VI. Intelligence e legislazione ambientale

Analisi dei dati, sistemi di calcolo e strumenti normativi per la riparazione in concreto dei danni ambientali studio

Marina Cerra¹, Paola Di Toppa², Daniele Montanaro³

¹ ISPRA (*speaker*), ² ISPRA, ³ ISPRA

Abstract

Le azioni contro i danni ambientali (previste dalla normativa di tutela introdotta dalla parte sesta del D.Lgs. 152/2006 che recepisce la Direttiva 2004/35/CE) impegnano lo Stato in una continua attività che vede coinvolte diverse competenze centrali e locali.

A seguito di denunce e/o segnalazioni relative ad eventuali casi di danno ambientale, viene avviata dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (di seguito MASE, Ministero dell'Ambiente, Ministero) un'attività istruttoria finalizzata alla valutazione e alla riparazione del danno ambientale. Tale attività viene svolta con il supporto tecnico del Sistema Nazionale di Protezione Ambientale (di seguito SNPA, Sistema) che risponde alle numerose richieste del Ministero con puntuali approfondimenti tecnico-scientifici.

Le informazioni di tipo procedimentale e gli aspetti tecnici e giuridici di ogni richiesta ministeriale sono inserite in un database gestito da ISPRA che, attraverso la geolocalizzazione dei casi, fornisce un quadro della distribuzione territoriale a livello nazionale dei procedimenti penali e amministrativi in materia di danno ambientale.

Per l'attivazione delle azioni ministeriali, la normativa italiana prevede una fase di accertamento della sussistenza dei danni attestata sui criteri proposti dalle norme di settore che tutelano specifiche risorse naturali. Per ciascuna delle risorse naturali contemplate dalla legislazione nazionale in materia di danno ambientale, cioè habitat e specie protette, aree protette, acque e terreno, è possibile valutare la significatività e la misurabilità del deterioramento prodotto dall'evento indagato.

Metodologie e criteri di riferimento per la complessa attività dell'accertamento tecnico del danno ambientale sono forniti dalla Linea Guida SNPA 33/2021.

Le fasi successive all'accertamento del danno prevedono la progettazione e la realizzazione degli interventi di riparazione, nonché il controllo dell'efficacia di tali interventi nel tempo.

Tali attività, inclusa quella di accertamento, sono poste a carico del responsabile, secondo quanto previsto dagli articoli 305 e 306 del D.Lgs. 152/2006.

Attraverso la presentazione di un caso reale di danno ambientale viene evidenziata l'importanza delle indagini effettuate e dei dati raccolti durante la fase di accertamento che hanno permesso di valutare l'entità del danno provocato dall'evento oggetto di studio.

Il caso è caratterizzato dalla sussistenza di un danno ambientale temporaneo ad un corpo idrico superficiale, dovuto al deterioramento del suo stato ecologico, e di un danno attuale e temporaneo alla fauna ittica protetta a seguito di un evento inatteso durante lo svasso di una diga.

L'applicazione di metodi di calcolo complessi ha consentito inoltre di quantificare la portata degli interventi necessari alla riparazione dei danni.

La realizzazione degli interventi di riparazione ed il successivo controllo nel tempo sono state realizzate dai responsabili secondo il principio cardine della politica ambientale *"chi inquina paga"*.

Keywords: danno ambientale, accertamento, riparazione, stato ecologico, fauna ittica

Contatti: marina.cerra@isprambiente.it, paola.ditoppa@isprambiente.it, daniele.montanaro@isprambiente.it

Il dialogo sociale per una “Human Centered Green Transition” nelle Global Value Chains (GVCs): l'uomo da problema a parte della soluzione per mercati del lavoro di qualità e competitività delle pmi manifatturiere

Michele Chieco¹, Sergio Ventricelli²

¹ *Consiglio regionale della Puglia - Sezione Studio e Supporto alla Legislazione e alle Politiche di Garanzia, Bari*

² *Vice Presidente CONFIMI (Confederazione dell'Industria Manifatturiera Italiana e dell'Impresa Privata), Bari*

Il contesto geopolitico attuale ha reso ancora più necessario rispetto al passato che la transizione verde sia anche giusta, che non lasci nessuno indietro e che garantisca un lavoro dignitoso in tutti i settori, sia quelli ad alta intensità tecnologica ed alto valore aggiunto che in quelli che non hanno tali caratteristiche, ed in modo esteso a tutte le catene globali del valore (GVCs).

È il “modello europeo”, che richiede interventi coraggiosi per restare saldo nonostante le crisi interne ed esterne all’Unione (si vedano ad esempio i Rapporti Draghi² e Letta³ e, per il settore agricolo dopo le

² https://www.eunews.it/wp-content/uploads/2024/10/00_Rapporto-Draghi-parte-A.pdf
https://www.eunews.it/wp-content/uploads/2024/10/00_Rapporto-Draghi-parte-B.pdf

³ <https://www.consilium.europa.eu/media/ny3i24sm/much-more-than-a-market-report-by-enrico-letta.pdf>
<https://oli.consiglio.regione.toscana.it/wp-content/uploads/antonellameucci/7914e14f6df99e430a0ab3548d38fa33.pdf>

proteste dello scorso anno, il recente parere CoR Capone sul ruolo degli agricoltori nella filiera agroalimentare⁴).

La crisi del settore automobilistico, la difficile transizione verso l'elettrico e la forte concorrenza cinese, l'assetto burocratico eterogeneo e spesso complesso in Europa che limita gli investimenti, il cambiamento del ruolo della Cina, da grande acquirente a concorrente: sono elementi che fanno sì che l'Europa, stia faticando a causa, appunto, della concomitanza di sfide energetiche, industriali e strutturali.

Anche la Germania, tradizionalmente motore economico europeo, sta attraversando crisi inedite nel recente passato. L'aumento dei costi dell'energia si riverbera su tutti i settori produttivi e di consumo. La transizione verde è quindi indispensabile per ridurre la dipendenza energetica europea e richiede di essere estesa anche ai vettori energetici, ricorrendo all'idrogeno ad esempio per ridurre la dipendenza dal petrolio.

La **Contrattazione collettiva (Social Bargaining, Collective Bargaining)** è un nodo fondamentale nell'attuazione del **principio Leave no one behind** (LNOB) dell'Agenda 2030. L'ingegno umano e un rinnovato approccio pragmatico all'ambiente stanno emergendo come risorse chiave per affrontare le sfide della transizione ecologica.

In questo ambito il progetto **SOCPL (Social Prerogative and Specific Competencies Lines) ValueFacturing SMEs⁵**, ha evidenziato il ruolo centrale del **dialogo sociale** come strumento strategico per accompagnare le transizioni, ridurre i conflitti e costruire percorsi condivisi verso un'economia più giusta, verde e resiliente, che riconosca le potenzialità delle piccole e medie imprese come luoghi di elezione per sperimentare nuove modalità di interazione tra i diversi attori economici.

⁴ <https://webapi2016.cor.europa.eu/v1/documents/cor-2025-00032-00-00-ac-tra-en.docx/content>

⁵ Il Consiglio Regionale della Puglia, Sezione Studio e Supporto alla Legislazione ed alle Politiche di Garanzia è partner associato del Progetto Europeo Valuefacturing of SMEs (<https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/how-to-participate/org-details/999999999/project/101102391/program/43252517/details>), a valere sul Programma SOCPL (Social Prerogative and Specific Competencies Lines) (<https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/programmes/socpl>).

Il tema “L’uomo da problema a parte della soluzione” racchiude l’essenza di un cambiamento culturale: superare la visione antropocentrica e predatoria del progresso per approdare a un nuovo paradigma dove **l’intelligenza collettiva** – alimentata da cooperazione, formazione continua e innovazione – diventa motore di **soluzioni sostenibili**. L’innovazione, se guidata da valori di sostenibilità e responsabilità sociale, può generare **tecnologie pulite, modelli produttivi circolari, processi ad alta efficienza energetica**, capaci non solo di ridurre l’impatto ambientale, ma anche di creare **nuove opportunità di impresa, occupazione e inclusione**.

È qui che il **dialogo sociale** assume un ruolo cruciale. Coinvolgere attivamente lavoratori, imprese, istituzioni e territori significa co-progettare la transizione, promuovere la formazione di nuove competenze verdi e digitali, ma anche garantire che l’innovazione non generi nuove disuguaglianze. Le azioni condotte nell’ambito del progetto ValueFacturing SMEs lo dimostrano: accompagnare le PMI nel percorso di innovazione ecologica richiede strumenti concreti di **concertazione, partecipazione e formazione**, per trasformare i vincoli ambientali in **leve di competitività e benessere diffuso**.

Le PMI manifatturiere, infatti, grazie alla loro natura produttiva, sono naturalmente predisposte a inserirsi nelle catene globali del valore, sia come fornitori che come acquirenti. Tuttavia, a differenza del passato, oggi devono fare i conti anche con i fattori geopolitici, ad alcuni dei quali si è precedentemente fatto cenno, che impattano direttamente sulle loro decisioni, pur concretizzandosi a migliaia di chilometri di distanza.

Serve dunque alzare l’asticella della competitività, migliorare l’approccio finanziario e investire in settori tecnologicamente avanzati dove, anche una piccola impresa, può ritagliarsi un ruolo chiave nella produzione di componenti ad alto valore aggiunto. Ma, soprattutto, le Pmi hanno il dovere di investire senza soluzione di continuità nella dimensione culturale dell’imprenditore e nella capacità di costruire strumenti aggregativi.

È essenziale promuovere nuove generazioni di imprenditori e manager in grado di leggere il contesto geopolitico economico, cogliere le nuove opportunità e superare le carenze sistemiche.

ValueFacturing SME si propone di fornire strumenti operativi per restituire centralità al dialogo sociale. Tra i più rilevanti deliverables di

progetto previsti, infatti, vi è un innovativo Decalogo multilingue contenente procedure pratiche e linee guida per il dialogo sociale a livello aziendale, settoriale ed europeo, per attuare iniziative di contrattazione collettiva, per sostenere mercati del lavoro di qualità e promuovere la competitività delle PMI manifatturiere all'interno delle Global Value Chains (GVCs).

L'**economia circolare**, ad esempio, è una delle risposte più efficaci al doppio obiettivo della tutela ambientale e dello sviluppo. Riciclo, riuso, simbiosi industriale, eco-design non sono solo scelte etiche, ma anche **driver di crescita**, soprattutto per i sistemi produttivi locali (si veda sul tema il parere CoR Capone sul ruolo degli enti locali e regionali nella transizione verso un'economia circolare⁶) che coinvolgono PMI manifatturiere. Ma perché questi modelli funzionino, serve una **visione sistemica** supportata da politiche attive del lavoro, reti territoriali e **un tessuto sociale capace di apprendere e adattarsi**.

La transizione ecologica non è quindi solo una sfida tecnologica, ma una **sfida sociale e culturale**. L'uomo può essere parte della soluzione solo se riesce a integrare **intelligenza tecnica, responsabilità collettiva e dialogo costruttivo**. È attraverso questi strumenti che si può realizzare un'innovazione autentica: non fine a sé stessa, ma **orientata al bene comune**, capace di **conciliare competitività industriale, salute pubblica e tutela degli ecosistemi**. Ed è proprio in questo equilibrio che si colloca il contributo essenziale dei partenariati progettuali di cooperazione internazionale e, in particolare del progetto SOCPL ValueFacturing SMEs, che mette al centro la persona, il lavoro e l'ambiente come pilastri del futuro sostenibile.

Keywords: “dialogo sociale”, “SMEs”, “GVCs”, “Decalogue”, “Human Centered Transition”

*Contatti: chieco.michele@consiglio.puglia.it,
presidente@confimipuglia.it*

⁶ <https://webapi2016.cor.europa.eu/v1/documents/cor-2024-00709-00-00-ac-tra-it.docx/content>

Innovazione nei serramenti e normativa: efficienza, adattabilità e integrazione intelligente per la transizione ecologica

Paola Lassandro¹, Laura Porro², Giovanni Cavanna²

¹ *(speaker) ITC-CNR Via Lembo, 38/B - 70124 Bari (BA) - Italia*

² *ITC-CNR Via Lombardia, 49 - 20098 San Giuliano Milanese (MI) - Italia*

Abstract

In un contesto in cui sostenibilità ambientale ed efficientamento energetico rappresentano priorità strategiche per l'edilizia del futuro, le finestre smart si configurano come elementi chiave per migliorare comfort e performance degli edifici, ridurre l'impatto ambientale e promuovere un'architettura intelligente e sostenibile. Non più semplici elementi passivi della struttura architettonica, le finestre evolvono in dispositivi attivi e interconnessi, dotati di sensori, attuatori e sistemi di controllo in grado di reagire dinamicamente a condizioni ambientali ed esigenze degli occupanti.

Le finestre rappresentano in media tra il 20% e il 40% delle perdite energetiche complessive negli edifici, con picchi fino al 60% in presenza di facciate continue e coperture in vetro. In questo scenario, le soluzioni smart permettono di bilanciare comfort termico e luminoso sia in regime invernale che estivo, ridurre i fabbisogni energetici e garantire una migliore qualità dell'aria indoor, adattandosi a diversi climi e usi dell'edificio.

Le finestre intelligenti integrano funzionalità come la schermatura solare dinamica, la produzione energetica tramite moduli fotovoltaici integrati, la ventilazione naturale controllata e il recupero di calore mediante micro-scambiatori d'aria. Sensori integrati di temperatura, CO₂ e VOC e algoritmi di AI permettono il monitoraggio e la regolazione in tempo reale delle condizioni indoor, migliorando la salubrità degli spazi abitativi. Vetri elettrocromici, sensori ambientali integrati, oscuramento dinamico e connettività con sistemi BMS sono esempi concreti di una tecnologia applicata in modo efficiente e reattivo. Tali soluzioni si distinguono per la loro adattabilità e il contributo attivo in questo cambio di paradigma culturale, al quale

ITC-CNR contribuisce costantemente attraverso mirate valutazioni sperimentali in laboratorio e supportandone lo sviluppo attraverso attività di ricerca con metodi avanzati di analisi tecnica e scientifica, integrando competenze multidisciplinari per verificare prestazioni, sicurezza e efficacia delle nuove soluzioni.

L'impiego di materiali riciclabili e tecnologie a basso impatto ambientale rafforza inoltre il ruolo delle finestre smart nel supportare la durabilità dei prodotti e la circular economy. Esse diventano così elementi attivi di una strategia edilizia evoluta e coerente con gli obiettivi ambientali europei.

A livello normativo anche il nuovo Regolamento Europeo sui Prodotti da Costruzione (CPR) 2024/3110, in vigore da gennaio 2025 con contenuti pienamente applicabili dal 2026, introduce novità cruciali come: Passaporto Digitale di Prodotto, estensione della Dichiarazione di prestazione e di conformità comprendente la prestazione di sostenibilità del prodotto durante il ciclo di vita, tracciabilità digitale, responsabilità estese a tutta la filiera e istituzione di requisiti minimi obbligatori di sostenibilità ambientali per procedure di appalto pubblico (GPP). Il nuovo CPR mira quindi a contribuire agli obiettivi di una transizione verde e digitale prevenendo e riducendo l'impatto dei prodotti da costruzione su ambiente, salute e sicurezza delle persone. In questo contesto, le finestre smart si configurano pienamente come snodi tecnologici e ambientali del nuovo edificio intelligente, capaci di interagire, produrre energia, autoregolarsi e adattarsi, offrendo una risposta concreta alla crisi climatica e alla gestione dell'ambiente costruito.

Keywords: Smart windows; Transizione ecologica; Adattabilità climatica; Efficienza energetica; Sostenibilità edilizia.

Contatti: paola.lassandro@itc.cnr.it, laura.porro@itc.cnr.it; giovanni.cavanna@itc.cnr.it

Nuovo quadro europeo di indicatori relativi alle Sostanze chimiche

Simone Marzeddu¹, Dania Esposito¹, Alessandra Galosi²,
Mariaconcetta Giunta²

¹ Sezione Sostanze pericolose, Servizio per l'educazione e formazione ambientale e per il coordinamento tecnico delle attività di Direzione (DG-TEC), Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

² Servizio per l'informazione, le statistiche ed il reporting sullo stato dell'ambiente (DG-STAT), Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

Abstract

L'impiego delle sostanze chimiche potenzialmente pericolose per l'uomo e per l'ambiente è diffuso in tutti i settori produttivi poiché esse sono incorporate nella maggior parte degli oggetti di uso comune. Il loro utilizzo è di fondamentale importanza nella vita quotidiana e in ambito produttivo fornisce un contributo essenziale anche al benessere economico. Tuttavia, tali sostanze se non sono correttamente prodotte, usate, recuperate e smaltite, possono causare danni significativi per la salute umana e per l'ambiente. Pertanto, lo scopo della vigente legislazione europea è quello di assicurare un elevato livello di protezione della salute umana e dell'ambiente, mantenendo la competitività e rafforzando lo spirito di innovazione dell'industria chimica europea. La normativa di riferimento è il Reg. 1906/2007 (REACH - Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals), che istituisce un sistema integrato di registrazione, valutazione, autorizzazione e restrizione dell'uso delle sostanze chimiche, e il Reg. 1272/2008 (CLP - Classification, Labelling and Packaging) che ha l'obiettivo di armonizzarne i criteri sulla classificazione, etichettatura e imballaggio. Inoltre, sui prodotti fitosanitari si fa riferimento al Regolamento relativo all'immissione sul mercato e che prescrive un'approfondita valutazione del rischio ambientale; tale Regolamento è stato successivamente completato con la Direttiva 2009/128/CE che istituisce un quadro per realizzare un uso sostenibile dei pesticidi riducendone i rischi e gli impatti sulla salute umana e sull'ambiente.

A ventiquattro anni dal primo approccio strategico in Europa per la gestione delle sostanze chimiche, è stata delineata nel 2020 una nuova visione a lungo termine, ovvero la “*Strategia UE in materia di sostanze chimiche per un ambiente sostenibile e privo di sostanze tossiche*” (Chemicals Strategy for Sustainability - CSS). In linea con il Green Deal europeo, la strategia si prefigge due obiettivi sulla legislazione comunitaria: prevenire danni all’ambiente e alla salute dell’uomo, causati da sostanze chimiche pericolose e dai loro effetti tossici, e sostenere l’industria UE nella produzione di sostanze chimiche sicure e sostenibili, proponendo un progetto finalizzato alla trasformazione dell’industria al fine di attrarre investimenti. Tra le 80 azioni implementate nella CSS, l’Agenzia europea per l’ambiente (EEA), l’Agenzia europea per le sostanze chimiche (ECHA) e la Commissione europea (CE), hanno sviluppato un nuovo quadro di indicatori specifico, descritto nell’ *EU indicator framework for chemicals*. Gli obiettivi specifici di tale quadro sono monitorare i determinanti e i relativi impatti dell’inquinamento chimico, misurare l’efficacia dell’attuale legislazione e identificare le eventuali azioni future da attuare, incluso il risanamento ambientale. La relativa struttura è organizzata in base agli elementi della gerarchia di misure per l’eliminazione delle sostanze tossiche, ovvero: sostanze chimiche sicure e sostenibili, riduzione e gestione del rischio, eliminazione e riduzione dell’inquinamento. Complessivamente, il quadro proposto è costituito da 25 *indicators* e 23 *signals* di nuova concezione; il framework ha una relativa dashboard online ed è accompagnato da opportune relazioni di sintesi per ciascun *indicator/signal*, redatte congiuntamente dall’EEA e dall’ECHA.

Gli *indicators* e i *signals* presenti sulla dashboard europea verranno aggiornati in funzione della disponibilità di nuovi dati e informazioni, al fine di valutare possibili implementazioni e sviluppi.

L’eliminazione e la bonifica dell’inquinamento chimico è l’ultimo elemento della gerarchia delle sostanze tossiche prevista dalla CSS. Questo prevede una serie di obiettivi specifici: ridurre la concentrazione delle sostanze preoccupanti nei rifiuti e nelle materie prime secondarie, migliorare la qualità della salute umana e dell’ambiente, promuovere modalità di riciclaggio sicure e non

inquinanti, comprese le tecnologie chimiche e la gestione sostenibile dei rifiuti, nonché soluzioni di decontaminazione.

Pertanto, l'attenzione verso l'ultimo elemento della CSS richiede anche l'applicazione di tecnologie avanzate di bonifica e/o messa in sicurezza dei siti contaminati, spesso costose e complesse. L'obiettivo a lungo termine è ridurre la necessità di interventi correttivi attraverso la prevenzione dell'inquinamento alla fonte. A tal fine, il nuovo quadro europeo sugli indicatori relativi alle sostanze chimiche rappresenta un valido supporto tecnico-scientifico all'UE e ai suoi Stati membri per l'attuazione della relativa strategia.

Tra le principali missioni dell'ISPRA vi è la produzione e la diffusione dell'informazione ambientale, che il più delle volte si traduce in produzione di dati, statistiche, indicatori, prodotti e strumenti di reporting. L'ISPRA, inoltre, è l'Istituto scientifico di riferimento per gli aspetti ambientali a supporto dell'Autorità Competente e delle amministrazioni nazionali per l'attuazione dei regolamenti REACH e CLP. In particolare, l'ISPRA svolge i compiti tecnico-scientifici relativi alla valutazione e la gestione dei rischi ambientali delle sostanze chimiche immesse in commercio e alla valutazione dell'esposizione dell'uomo attraverso l'ambiente.

Attualmente è in corso, oltre ad una ricognizione degli indicatori disponibili e pubblicati nella *Banca dati degli indicatori Ambientali ISPRA* per rappresentare il framework europeo, anche l'implementazione di un Core-set ISPRA dedicato. Lo scopo di tale lavoro è quello di poter integrare e sviluppare a livello nazionale tali indicatori e strumenti, anche per la valutazione del raggiungimento degli obiettivi di bonifica e/o di messa in sicurezza dei siti contaminati. Nel corso del prossimo RemTech verranno presentati nel dettaglio tali strumenti e il lavoro di ricognizione finora condotto, al fine di rispondere al nuovo quadro europeo proposto dall'EEA e dall'ECHA. La transizione verso un sistema basato su sostanze chimiche sicure e sostenibili, combinata con un'efficace gestione dei rischi e la bonifica dell'inquinamento esistente, è essenziale per garantire un futuro sostenibile per le generazioni attuali e future.

Keywords: sostanze chimiche; indicatori; Regolamento REACH; European Chemicals Agency; European Environment Agency

*Contatti: simone.marzeddu@isprambiente.it,
danial.esposito@isprambiente.it, alessandra.galosi@isprambiente.it,
mariaconchetta.giunta@isprambiente.it*

Standard ESG e sostenibilità d'impresa: un'analisi integrata

Antonio Sarcina¹

¹ URJC - EuriConv

L'integrazione degli standard ESG (Environmental, Social, and Governance) costituiscono ormai criteri imprescindibili nelle strategie aziendali contemporanee. Essi non solo favoriscono il miglioramento delle performance ambientali e sociali, ma contribuiscono altresì alla creazione di valore nel lungo termine. Attualmente, un comportamento socialmente consapevole e responsabile è ritenuto un elemento strategico imprescindibile, a prescindere dal carattere volontario delle relative iniziative (I. Ingravallo, in *L'impresa sostenibile*. Alla prova del dialogo dei saperi, EuriConv, 2020; Id., S. Santovito).

La transizione verso l'adozione di criteri ESG in attività umane a contenuto economico risulta ulteriormente accelerata da dinamiche globali quali i cambiamenti climatici, le trasformazioni demografiche e il contesto economico post-pandemico. Tali fattori hanno profondamente ridefinito le aspettative di mercato, configurando l'ESG non più come un semplice "accessorio" etico, bensì come un imperativo strategico (A.F. Uricchio, in *L'impresa sostenibile*, cit.; Id: F. Denozza; Id: S. Santovito; Id: J. Coutinho De Abreu).

L'evoluzione degli investimenti ESG testimonia una crescente consapevolezza dell'interconnessione tra le performance aziendali e gli esiti ambientali e sociali. Sebbene le origini dell'investimento socialmente responsabile affondino nei movimenti religiosi ed etici del XX secolo, la formalizzazione dei criteri ESG si è consolidata soprattutto a partire dai primi anni Duemila, con l'introduzione dei Principi per l'Investimento Responsabile delle Nazioni Unite (Principles for Responsible Investment, PRI), di applicazione volontaria, e con lo sviluppo di indici di sostenibilità a livello globale.

Per quanto riguarda più specificamente la corporate governance, l'integrazione degli standard ESG presuppone l'adozione di quadri normativi esaustivi, in grado di assicurare conformità, trasparenza e

coerenza strategica con gli obiettivi di sostenibilità in approccio olistico e inter-transdisciplinare di saperi e competenze. Gli investitori, infatti, esigono dati ESG attendibili e comparabili, indispensabili per valutare non soltanto il rendimento finanziario, ma anche l'impatto sociale e ambientale dei propri investimenti (A. Sarcina, *L'impresa sostenibile*, cit.).

Gli standard ESG sono pertanto strumenti fondamentali per orientare le scelte di finanziamento degli investitori. I tre pilastri ESG rappresentano infatti gli indicatori della performance non finanziaria di un'impresa: le aziende con profili ESG solidi tendono a registrare risultati migliori nel lungo periodo, grazie a una minore esposizione ai rischi, a rapporti più solidi con gli stakeholder e a pratiche di governance più efficaci.

Da altro angolo visuale, la correlazione tra gli standard ESG e le pratiche di rendicontazione finanziaria, mettono in luce l'esigenza di garantire trasparenza e confrontabilità nei report aziendali. È decisivo il "ruolo" della narrazione della sostenibilità nella creazione e nel consolidamento del valore del marchio, in coerenza con gli impegni assunti in ambito (D. Caterino, *L'impresa sostenibile*, cit.); Id.: S. Fortunato; Id: P. Sfameni).

La rendicontazione economico-finanziaria in ambito ESG svolge inoltre un ruolo cruciale nella gestione del rischio aziendale. Passività ambientali, rischi regolatori e danni reputazionali devono essere incorporati nei sistemi di gestione del rischio per riflettere in modo più accurato il costo reale delle attività d'impresa. La rendicontazione, pertanto, non si limita più a rilevare esclusivamente le transazioni economiche, ma si configura come uno strumento strategico per la creazione di valore sostenibile.

I dati ESG devono essere pienamente integrati nei sistemi informativi finanziari per garantirne la rilevanza, la confrontabilità e la verificabilità. Le prassi di reporting, pertanto, devono evolvere per includere in modo complementare agli strumenti contabili tradizionali anche gli impatti sociali e ambientali (S. Fortunato, cit.).

Le funzioni di rendicontazione rappresentano il fulcro della raccolta e dell'elaborazione dei dati aziendali e si trovano dunque nella posizione ideale per assicurare che le metriche ESG vengano tradotte in un linguaggio contabile standardizzato. Indicatori quali le emissioni di

carbonio, l'impiego delle risorse idriche o la diversità della forza lavoro devono essere quantificati e comunicati insieme a utili, passività e attivi aziendali (P. Sfameni, cit).

Sebbene l'assenza di uno standard contabile ESG riconosciuto a livello globale rappresenti tuttora un ostacolo alla piena confrontabilità, gli sforzi di organismi internazionali come l'International Sustainability Standards Board (ISSB) stanno aprendo la strada alla definizione di un quadro di rendicontazione armonizzato su scala mondiale.

Un'efficace performance ESG contribuisce alla generazione di capitale reputazionale, che deve essere comunicato in modo chiaro e trasparente agli stakeholder (S. Fortunato, cit; Id: D. Caterino). Le imprese che illustrano in maniera credibile i propri impegni ESG sono in grado di rafforzare la fiducia, la lealtà e, di conseguenza, il valore del marchio. Nell'attuale contesto di crescente trasparenza, una responsabilità esercitata in silenzio non risulta più sufficiente.

Una comunicazione promozionale coerente con le pratiche ESG accresce la legittimità percepita di un brand. La letteratura evidenzia come i consumatori siano maggiormente inclini a sostenere organizzazioni che condividono i loro valori etici, in particolare in relazione a temi quali il contrasto ai cambiamenti climatici, la tutela della diversità e i diritti dei lavoratori (D. Garofalo, in *L'impresa sostenibile*, cit.; Id.: R. Voza; Id.: P. Di Nicola).

Tuttavia, la comunicazione deve fondarsi sull'autenticità. Il fenomeno del greenwashing, vale a dire la promozione di un'immagine ingannevole di responsabilità ambientale, può compromettere gravemente la reputazione aziendale e minare la fiducia degli investitori (D. Caterino, cit.). Di conseguenza, la comunicazione strategica deve poggiare su performance ESG concrete, oltre che supportate da dati oggettivi e verificabili.

Nel contesto dei mercati globalizzati, un branding saldamente orientato ai principi ESG rappresenta oggi un elemento strategico di differenziazione competitiva. Le organizzazioni che integrano la sostenibilità nella propria comunicazione (i.e., "narrazione") di brand in modo credibile e coerente risultano più resilienti, attrattive per investitori e talenti, nonché maggiormente competitive.

La conformità agli standard ESG non rappresenta esclusivamente una questione etica, ma costituisce una imprescindibile necessità strategica per le imprese contemporanee. L'integrazione delle pratiche ESG deve essere accompagnata da una rappresentazione economico-finanziaria (i.e., rendicontazione) accurata e da una comunicazione promozionale efficace, elementi che congiuntamente delineano un quadro coerente in grado di allineare le performance finanziarie agli obiettivi di sostenibilità a lungo termine.

La rendicontazione, in particolare, assicura che gli impegni ESG siano misurabili, comparabili e verificabili, mentre la comunicazione ne garantisce la trasparenza e la credibilità.

In un contesto in cui investitori, consumatori e autorità regolatorie richiedono sempre maggiori evidenze dell'impatto sociale e ambientale delle aziende, gli standard ESG si configurano, in definitiva, come fattori centrali per la definizione della strategia aziendale, la gestione del rischio e la creazione di valore sostenibile.

Contatti: chairman@euriconv.eu

Cromo esavalente: legislazione, gestione del rischio e prospettive future

Granato Giuseppe¹, Barone Fortunata¹, Marzeddu Simone¹,
Panieri Emiliano¹, Esposito Dania¹

¹ Sezione Sostanze pericolose, Servizio per l'educazione e formazione ambientale e per il coordinamento tecnico delle attività di Direzione (DG-TEC), Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

Abstract

Il presente lavoro analizza le problematiche del cromo esavalente (Cr(VI)), un contaminante altamente tossico, riconosciuto nell'uomo come cancerogeno, mutageno e tossico per la riproduzione, con impatti significativi sulla salute umana dovuti all'esposizione diretta ed indiretta attraverso l'ambiente. La presenza di Cr(VI) nei suoli e nelle acque è principalmente correlata ai rilasci derivanti dall'uso industriale nei processi di rivestimento (*coating*) e trattamento superficiale, passivazione, anodizzazione, produzione di acciaio inox e trattamento delle pelli. Per mitigare i relativi rischi associati, l'Unione Europea ha adottato una normativa stringente, attraverso il processo di autorizzazione, ai sensi del Regolamento REACH, volta a consentirne usi specifici e rigorosamente controllati. Nello specifico, l'autorizzazione mira a garantire che le emissioni nei diversi comparti ambientali siano adeguatamente controllate e ridotte, e a promuovere la progressiva sostituzione del Cr(VI) con alternative meno pericolose (sostanze, tecnologie e processi), purché tecnicamente ed economicamente valide. D'altra parte, il processo di autorizzazione verifica l'adeguatezza e l'efficacia delle misure di gestione del rischio (RMMs) e delle condizioni operative (OCs), adottate dalla società/impresa per ridurre l'esposizione umana e le emissioni nei comparti ambientali (acqua, aria, suolo) e nei rifiuti. Pertanto, il presente lavoro esamina le implicazioni della legislazione comunitaria, attuale e in itinere, con un focus sull'evoluzione normativa e sulle sfide legate all'applicazione delle misure di controllo nei diversi settori industriali.

Il Cr(VI) è registrato nel database dell'Agenzia Europea delle Sostanze Chimiche (ECHA), ai sensi del Regolamento REACH; nel contesto economico europeo, la produzione/importazione di cromo è stimata tra 10^6 e 10^7 tonnellate all'anno. Nel 2013 la Commissione europea ha deliberato il Regolamento 348/2013, recante modifica all'Allegato XIV del REACH, al fine di includere il Cr(VI) nell'elenco delle sostanze soggette ad autorizzazione, a causa delle relative proprietà di pericolosità per la salute umana. A causa di tali proprietà e dei riconosciuti effetti senza-soglia, le società/imprese, che utilizzano soluzioni a base di Cr(VI), devono dimostrare che i rischi per la salute dei lavoratori e della popolazione generale, derivanti dall'esposizione ambientale, siano controllati, e ridotti al più basso livello tecnicamente raggiungibile.

Le società/imprese intenzionate ad utilizzare le sostanze contenenti Cr(VI) sono tenute a presentare opportuna richiesta di autorizzazione per l'utilizzo specifico; la domanda di autorizzazione viene inoltrata in prima istanza all'ECHA che, attraverso il relativo Comitato per la valutazione dei rischi (RAC) e quello per l'analisi socioeconomica (SEAC), esprime un proprio parere (*Opinion*). Successivamente, l'ECHA trasmette il parere alla Commissione Europea (CE), agli Stati membri e al richiedente. La CE prepara così un progetto di decisione sull'opportunità di concedere l'autorizzazione, a seguito del quale, si attivano le procedure di votazione in sede di Comitato REACH e la successiva decisione di adozione da parte della CE. Una volta che la CE adotta la decisione di rilascio o rifiuto dell'autorizzazione, l'atto dispositivo viene pubblicato nel portale EurLex e reso accessibile al pubblico tramite il database gestito dall'ECHA.

Da settembre 2016 a febbraio 2025, per le sostanze contenenti Cr(VI), i Comitati dell'ECHA hanno espresso 432 pareri favorevoli, 12 negativi e 13 parziali, sul totale di 526 richieste presentate. Inoltre, si evidenziano complessivamente 51 ritiri delle relative richieste; l'Italia è il terzo Stato membro (sx) per il maggior numero di pareri positivi (i.e., 51) e il secondo paese (dx) per quelli negativi (i.e., 3).

Gli impianti industriali che utilizzano Cr(VI) adottano soluzioni tecnologiche avanzate per la riduzione delle emissioni nei diversi comparti ambientali attraverso l'applicazione e l'implementazione di sistemi di controllo efficaci per minimizzare il relativo rilascio. A titolo

esemplificativo e non esaustivo, sono riportati di seguito alcuni accorgimenti maggiormente adottati.

Una delle soluzioni più diffuse per il trattamento delle acque reflue è la riduzione del cromo esavalente (Cr(VI)) nella forma trivalente (Cr(III)), che è significativamente meno tossica e più stabile. Analogamente, anche per l'aria contenente particelle o vapori di Cr(VI) sono disponibili sistemi di depurazione come *scrubber* a umido o filtri (es. carbone attivi) prima del rilascio in atmosfera. Infine, l'uso di pavimentazioni interne impermeabili e un'adeguata canalizzazione delle *vasche* di processo (batch) consente di prevenire la contaminazione del suolo, dovuta ai rilasci accidentali.

La Direttiva del Parlamento e del Consiglio europeo, relativa anche alle emissioni industriali, individua nelle migliori tecniche disponibili (BAT) lo strumento più efficace per ridurre l'impatto ambientale degli impianti industriali con *vasche* di cromatura, promuovendo l'uso di sistemi chiusi e automatizzati, la separazione delle aree di lavoro come verniciatura e decapaggio dalle zone di carico e scarico, e il monitoraggio annuale delle emissioni di Cr(VI), per garantire il rispetto della normativa e proteggere i lavoratori e la popolazione generale esposta attraverso l'ambiente. L'evoluzione delle tecnologie e delle normative ambientali potrebbe incentivare l'adozione di metodi più efficaci e sostenibili nell'utilizzo industriale del Cr(VI), contribuendo a ridurre l'impatto ambientale e a tutelare la salute umana e l'ecosistema.

A settembre 2023, la CE ha conferito mandato all'ECHA di predisporre un *dossier* conforme all'allegato XV del Regolamento REACH, allo scopo di elaborare una proposta di restrizione all'uso delle sostanze contenenti Cr(VI) nelle seguenti applicazioni: formulazione di miscele; galvanizzazione; utilizzo di sospensioni e altre miscele; altri trattamenti superficiali e additivi funzionali/coadiuvanti di processo.

L'obiettivo principale è prevenire il rilascio di almeno 17 t/y di Cr(VI) e ridurre il rischio per la salute umana, favorendo al contempo una transizione verso alternative meno pericolose e la semplificazione della gestione normativa, attraverso la riduzione dell'attuale numero considerevole delle richieste di autorizzazione finora presentate (i.e., 526). Tale processo risulta complesso e richiede un'analisi dettagliata dei rischi, delle eventuali alternative disponibili e delle misure di

controllo adottate. Inoltre, ogni autorizzazione è limitata nel tempo e dietro nuova richiesta può essere ulteriormente rinnovata.

In conclusione, la restrizione consentirebbe di gestire in maniera più rapida ed efficiente le problematiche legate all'utilizzo di sostanze contenenti Cr(VI), rispetto al rilascio di singole autorizzazioni, evitando ulteriori aggravii amministrativi e garantendo una maggiore protezione della salute umana e dell'ambiente.

Keywords: cromo esavalente; sostanze chimiche; Regolamento CLP; Regolamento REACH; European Chemicals Agency.

*Contatti: giuseppe.granato@isprambiente.it,
fortunata.barone@isprambiente.it,
simone.marzeddu@isprambiente.it,
emiliano.panieri@isprambiente.it, dania.esposito@isprambiente.it*

Caratterizzazione e Bonifica dei Siti Contaminati: Aspetti Normativi

Laura Di Giovanni¹, Emanuela Fiucci¹; Vincenzo Piscitelli¹

¹ CNR

I siti contaminati costituiscono una delle principali emergenze ambientali contemporanee, con impatti rilevanti su suolo, acque sotterranee, ecosistemi e salute umana. La loro bonifica è una procedura complessa, disciplinata dal D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., che richiede analisi tecniche, pianificazione accurata e l'impiego di tecnologie avanzate.

Secondo l'art. 240 del Codice dell'Ambiente, un sito è definito contaminato quando la concentrazione di inquinanti nelle matrici ambientali supera le soglie di rischio, determinando un pericolo attuale o potenziale per l'ambiente o la salute.

Le fasi della bonifica includono:

1. caratterizzazione ambientale per definire natura ed estensione dell'inquinamento;
2. messa in sicurezza e progettazione dell'intervento, con approvazione da parte dell'autorità competente;
3. attuazione delle misure, che possono prevedere rimozione del terreno, tecniche in situ, barriere fisiche o trattamenti biologici e chimici (es. bioremediation, soil washing, air sparging).

La normativa si fonda sul principio "chi inquina paga" (art. 242), come ribadito dalla giurisprudenza. Il Consiglio di Stato n. 6469/2021 ha precisato che è responsabile chi ha contribuito, anche in passato, all'inquinamento, indipendentemente dalla colpa. Tuttavia, per i proprietari incolpevoli, la responsabilità è limitata alla messa in sicurezza (CdS n. 2963/2013), in linea con la giurisprudenza europea (CGUE, C-534/13), che vieta imposizioni sproporzionate a chi non ha causato il danno.

La Corte di Giustizia UE (C-378/08 e C-297/19) impone agli Stati di garantire interventi rapidi ed efficaci, anche sostitutivi, in caso di rischio grave per la salute o l'ambiente.

In mancanza di un responsabile identificabile o solvibile, l'amministrazione pubblica deve intervenire direttamente (TAR Brescia n. 263/2021), anche tramite fondi pubblici.

Sul piano penale, l'omessa bonifica può costituire reato: la Cassazione Penale n. 1990/2017 ha riconosciuto la configurabilità del disastro ambientale colposo (art. 452-quater c.p.), mentre la n. 40143/2021 ha confermato che l'omissione di interventi dopo diffida può integrare il reato di inquinamento ambientale (art. 452-bis c.p.).

È infine essenziale il monitoraggio post-bonifica, per garantire che le concentrazioni di contaminanti restino entro i limiti normativi.

In conclusione, la bonifica dei siti contaminati richiede un equilibrio tra esigenze ambientali, responsabilità giuridiche e tutela della salute, secondo una logica integrata e fondata su legalità, precauzione e sostenibilità.

Keywords: Siti contaminati, Decreto legislativo 152/2006, Corte di Giustizia, bonifica

Contatti: vincenzo.piscitelli@cnr.it, laura.digiovanni@cnr.it, emanuela.fiucci@cnr.it

La “proprietà resiliente” fra effettività del diritto e vulnerabilità

Ivan Allegranti¹

¹ UNIBA (Comenius University di Bratislava) - EuriConv

Abstract

La riflessione proposta in questo abstract muove dall’idea che, oggi, il telaio normativo contemporaneo, composto dalla normativa internazionale, europea e nazionale, non renda effettivi i diritti goduti e riconosciuti ai consociati di un popolo in una situazione non emergenziale. Una catastrofe naturale, infatti, sia essa causata da un terremoto, un’alluvione o altri eventi atmosferici, mette in discussione non solo il binomio “comunità-territorio”, ma anche il rapporto tra il singolo individuo e la propria terra. La dottrina giuridica ha in proposito affermato l’esistenza di un “diritto a restare nella propria terra”, quale elemento imprescindibile non solo per l’attuazione del principio di diritto internazionale di autodeterminazione dei popoli, ma anche come componente costitutiva dello sviluppo umano sostenibile, inteso nella sua dimensione sociale, affettiva e multilivello.

Il presente contributo si interroga quindi sulla reale capacità del diritto di rispondere a emergenze ambientali sistemiche che minacciano il nostro Pianeta. Parlare di “effettività” in questo quadro significa valutare se i diritti formalmente riconosciuti siano concretamente esercitabili in situazioni di vulnerabilità oggettiva e soggettiva, dove le persone coinvolte vedono reciso, d’un tratto, il proprio “micro-cosmo sociale”: dalla perdita della propria abitazione e del lavoro fino allo sradicamento dal legame con la propria terra e la propria comunità.

La riflessione qui proposta si estende quindi al concetto di “proprietà resiliente”, ossia una forma di titolarità che resiste alle crisi ambientali grazie a strumenti di tutela e garanzia orientati, normativamente, all’inclusione.

L’utilizzo di protocolli d’intesa tra pubblico e privato, forme di microcredito e pratiche ispirate alla finanza inclusiva e sostenibile si configurano come strumenti necessari per superare le barriere attualmente presenti nel sistema ordinamentale contemporaneo.

In questo modo, anche in una situazione emergenziale, l'effettività dei diritti universalmente riconosciuti diviene concreta, poiché la persona vulnerabile viene posta al centro delle strategie di prevenzione e ricostruzione post-catastrofe.

Keywords: *Disastro ambientale, Disaster Law, Emergenze, Diritto a restare, Sviluppo umano sostenibile*

Contatti: ivan.allegranti@flaw.uniba.sk

Ambiente e Diritto: verso una tutela integrata e multilivello

¹ Tiziana Cassano

¹ *Specialista amministrativa presso ente regionale F.V.G.*

La tutela giuridica dell'ambiente, e la sua intrinseca dimensione transfrontaliera, costituiscono oggi una delle principali sfide che la comunità internazionale è chiamata ad affrontare.

Il contesto globale caratterizzato da crisi ambientali di vasta portata - quali il cambiamento climatico, la scarsità delle risorse naturali e l'incapacità di far fronte al fabbisogno mondiale, l'erosione della biodiversità – richiedono un approccio interdisciplinare e multilivello, di integrazione di strumenti giuridici, scientifici, economici e politici al fine di garantire una risposta efficace e sostenibile.

L'ordinamento giuridico italiano, recependo le istanze di tutela provenienti da fonti sovranazionali, ha da tempo dotato il sistema di un complesso articolato di strumenti normativi volti alla salvaguardia dell'ambiente, inteso come *valore costituzionale primario, unitario e trasversale*, funzionale alla tutela della salute umana, *che richiede una tutela integrata e globale* (Corte Cost. n. 641/1987).

Tuttavia, la rilevanza costituzionale della materia e la sua autonomia ontologica hanno trovato consacrazione soltanto con la L. Cost. n. 1/2022, la quale, novellando l'art. 9 della Carta costituzionale, ha annoverato tra i principi fondamentali *la tutela dell'ambiente, della biodiversità e degli ecosistemi*, demandando al legislatore ordinario il compito di definire, attuare e potenziare le misure necessarie per garantire la protezione, all'esito di un giudizio di ponderazione tra interessi differenziati che sia in grado di mirare ad uno sviluppo sostenibile nell'ottica di un'azione integrata e coordinata.

Invero, ancor prima dell'avvento in Costituzione del principio di tutela dell'ambiente, la giurisprudenza – in plurimi arresti - ha riconosciuto la pregnanza di tale bene, idonea a far insorgere in capo alla collettività un dovere giuridico di protezione inderogabile.

Tale obbligo è stato in prima istanza assolto dal legislatore, attraverso l'ideazione di un sistema fondato sul c.d. doppio binario, ovverossia sulla commistione e complementarità del diritto amministrativo con il diritto penale. La ratio di tale approccio risiede nella complessità e nel carattere necessariamente poliedrico di tale tutela.

Il primo presidio di protezione è fornito dal diritto amministrativo che – recependo i principi mutuati dal diritto dell'Unione europea di precauzione, azione preventiva, correzione dell'inquinamento alla fonte e del "chi inquina paga" – agisce in prevenzione attraverso strumenti di controllo e vigilanza idonea a consentire un pronto intervento.

Accanto a questi si colloca il diritto penale che, in un'ottica di repressione e deterrenza, dal 2015 ha rafforzato il sistema di tutela attraverso l'introduzione di specifici reati ambientali (artt. 452-ter e ss. c.p.), tra cui il disastro ambientale, l'inquinamento ambientale, il traffico e abbandono di materiali radioattivi e la gestione illecita di rifiuti.

È al centro di questo paradigma composito che si colloca l'individuo, chiamato a partecipare attivamente alla governance ambientale, coadiuvato ed incentivato dalla normazione di istituti di premialità – come il ravvedimento operoso - precipuamente concepiti allo scopo di efficientare le politiche di prevenzione e responsabilizzazione.

In sintesi, l'ordinamento giuridico italiano sta gradualmente consolidando un modello di tutela ambientale fondato su un approccio multilivello e interdisciplinare, in linea con le sfide globali poste dalle crisi ecologiche.

La recente introduzione della tutela dell'ambiente tra i fondamentali della Costituzione, unitamente all'evoluzione

normativa e giurisprudenziale, rappresenta un passaggio significativo verso una governance ambientale più consapevole e sostenibile. Perché tale modello possa rivelarsi realmente efficace, è tuttavia imprescindibile il coinvolgimento attivo dei cittadini, chiamati a esercitare un ruolo responsabile e partecipativo nella salvaguardia del patrimonio ambientale comune.

Keywords: ambiente, approccio multilivello, tutela binaria.

Contatti: tiziana.cassano94@icloud.com

IA conversacional y sostenibilidad: entre la eficiencia deseada y los costes invisibles

Francisco Arteaga¹, Anna Peirats²

¹ Universidad Católica de Valencia

² Universidad Católica de Valencia – IVE MIR-UCV

Abstract

La inteligencia artificial conversacional, bajo la forma de chatbots y asistentes virtuales, se ha integrado de forma generalizada en procesos públicos y privados con la promesa de optimizar recursos, reducir costes y ofrecer una atención continua. En nombre de la sostenibilidad operativa, se automatizan tareas antes humanas sin que se valoren adecuadamente los efectos secundarios de dicha sustitución. Este trabajo propone una lectura crítica de estos sistemas, centrada en sus implicaciones económicas, sociales y ecológicas, y en los términos con que solemos evaluar su impacto.

La eficiencia, entendida como reducción de tiempos o costes, suele ser el argumento central a favor de estas tecnologías. Pero ¿qué sucede si ampliamos la mirada y preguntamos qué otras formas de valor se pierden o se desplazan? Los sistemas de IA conversacional requieren una infraestructura invisible, como por ejemplo cadenas de datos, entrenamiento computacional, consumo energético constante, cuyas externalidades rara vez se integran en los balances institucionales. La sostenibilidad, en este marco, aparece disociada de su componente ecológica real.

En el ámbito económico, se observa una redistribución desigual del beneficio: mientras los proveedores tecnológicos concentran ganancias, muchas organizaciones públicas adoptan soluciones empaquetadas sin control sobre sus parámetros ni sus riesgos. A esto se suma una pérdida de liderazgo digital y una creciente dependencia de arquitecturas cerradas.

En este trabajo se argumenta que las métricas habituales de coste-beneficio no bastan para comprender el alcance de estas transformaciones. Por ello, se propone una lectura ampliada de la

sostenibilidad de la IA conversacional, entendida como un equilibrio entre eficiencia, equidad, trazabilidad, impacto ambiental y calidad relacional. Se sugiere un marco analítico que combine indicadores técnicos (tiempo medio de respuesta, adaptabilidad), económicos (coste evitado frente a coste desplazado), sociales (satisfacción, accesibilidad, abandono de uso), y ecológicos (huella energética por interacción).

La sostenibilidad de un sistema no puede medirse solo por su capacidad de operar sin intervención humana. También debe tener en cuenta qué vínculos debilita, qué formas de cuidado automatiza, y qué desigualdades reproduce.

En conclusión, la IA conversacional redefine el modo en que instituciones y personas se relacionan. Urge integrar enfoques económicos y éticos que contemplen tanto los beneficios aparentes como los costes invisibles. No toda automatización es deseable. No toda eficiencia es justa. Pensar en sostenibilidad implica preguntarse no solo cuánto se ahorra, sino también qué se pierde cuando ya no hay nadie al otro lado que escuche.

Keywords: IA conversacional, sostenibilidad económica, eficiencia justa, valor público, algoritmo

Contatti:

francisco.arteaga@ucv.es

anna.peirats@ucv.es

Vulnerabilità, resilienza e adattamento al cambiamento climatico e ai disastri ambientali

Roberto Garetto¹

¹*IgiTo (Istituto Giuridico Internazionale di Torino) - EuriConv*

Il tema della resilienza e dell'adattamento delle comunità vulnerabili ai cambiamenti climatici e ai disastri ambientali costituisce una delle priorità più rilevanti del dibattito globale contemporaneo. L'intensificazione dei fenomeni climatici estremi, riconducibile in larga misura all'attività antropica responsabile dell'incremento dei gas a effetto serra (CO₂, CH₄, N₂O), produce gravi ripercussioni sul benessere umano, sulla biodiversità e sulla sostenibilità degli ecosistemi. Tali conseguenze risultano particolarmente incisive nei confronti di individui e collettività già esposte a forme strutturali di vulnerabilità, accentuando disparità preesistenti e rendendo necessarie politiche pubbliche orientate alla protezione e all'inclusione.

La vulnerabilità assume una dimensione multidisciplinare e multilivello, comprendendo sia condizioni soggettive – quali povertà, malattia, età avanzata, disabilità o isolamento – sia situazioni collettive che interessano intere comunità, in particolare in aree rurali o a basso reddito. Essa si manifesta sul piano economico, in relazione alla dipendenza da settori sensibili al clima (agricoltura, pesca, silvicoltura), su quello sociale, dove l'accesso ai servizi essenziali risulta limitato, e su quello politico e culturale, quando persistono fattori storici di esclusione e discriminazione.

Il cambiamento climatico aggrava vulnerabilità preesistenti, generando migrazioni forzate, impoverimento progressivo e marginalizzazione. La *governance* multilivello promossa dalle Nazioni Unite, attraverso strumenti come la Convenzione quadro sui cambiamenti climatici e l'Agenda 2030, riconosce la centralità della resilienza e la necessità di azioni cooperative differenziate, con attenzione ai gruppi più esposti.

A livello europeo, pur in presenza di direttive che riconoscono la vulnerabilità in ambiti specifici (es. tratta di esseri umani, protezione

delle vittime, accoglienza dei richiedenti asilo), manca una definizione normativa unitaria riferita alla vulnerabilità climatica. La Corte di giustizia dell'Unione europea adotta un approccio casistico, offrendo tutela in contesti mirati, mentre l'incidenza diretta dei cambiamenti climatici rimane poco esplorata sul piano giurisdizionale.

Il principio di sussidiarietà attribuisce alle autorità locali un ruolo centrale nella protezione delle persone vulnerabili, mediante strumenti quali piani di evacuazione, reti informative, infrastrutture resilienti, sistemi di allerta e iniziative formative volte a promuovere comportamenti adattivi. In tale prospettiva, la cooperazione internazionale risulta fondamentale, specie per il trasferimento di tecnologie, risorse finanziarie e competenze dai Paesi sviluppati a quelli più esposti.

La protezione delle comunità vulnerabili richiede anche misure normative specifiche, come obblighi giuridici di riduzione delle emissioni, finanziamento delle strategie di adattamento, meccanismi di compensazione post-evento e tutela dei diritti di popolazioni indigene e gruppi privi di titoli formali di proprietà.

Solo attraverso interventi integrati e coerenti sarà possibile promuovere una giustizia climatica effettiva e garantire equità e sostenibilità a favore delle popolazioni più esposte, nel rispetto dei principi della dignità umana, della solidarietà e della responsabilità ambientale.

Keywords: *Vulnerabilità climatica, Resilienza collettiva, Adattamento ai cambiamenti climatici, Disastri ambientali, Giustizia climatica*

Contatti: roberto.garetto@igito.it

Responsabilidad Social Corporativa y Diligencia Debida: Un Marco Estratégico para el Cumplimiento Empresarial Sostenible

Juan Enrique JIMÉNEZ FERNÁNDEZ-VILLAMIL¹

¹ URJC Madrid - EuriConv

Abstract

La Responsabilidad Social Corporativa (RSC) ha experimentado una profunda transformación en las últimas décadas, evolucionando de una noción filantrópica a un enfoque estratégico central que integra preocupaciones ambientales, sociales y de gobernanza (ASG) en la toma de decisiones empresariales. Al mismo tiempo, el concepto de diligencia debida ha surgido como una herramienta operativa esencial para identificar, prevenir y mitigar los impactos adversos que las empresas pueden causar, contribuir a causar o con los que pueden estar directamente relacionadas, especialmente en lo que respecta a los derechos humanos y la sostenibilidad ambiental.

Se explora la interconexión entre la RSC y la diligencia debida, proponiendo que esta última actúa como el soporte procedimental de las prácticas modernas de responsabilidad corporativa. Se comienza con una revisión de las teorías fundamentales que han dado forma a la RSC, incluyendo la teoría de los grupos de interés, la sostenibilidad corporativa y los principios de la economía verde. Estos marcos conceptuales justifican el paso de modelos centrados exclusivamente en los accionistas a una implicación más amplia con los grupos de interés, así como la alineación estratégica de los objetivos empresariales con el bienestar social y ambiental a largo plazo.

Posteriormente, el estudio analiza la dimensión operativa de la diligencia debida, centrándose en los principales instrumentos internacionales como los Principios Rectores de las Naciones Unidas sobre Empresas y Derechos Humanos (UNGPs), la Guía de Diligencia Debida de la OCDE para una Conducta Empresarial Responsable y la nueva Directiva de la Unión Europea sobre Diligencia Debida en Materia de Sostenibilidad Empresarial (CSDDD). Estos instrumentos no solo estandarizan las obligaciones corporativas, sino que también

refuerzan la transición legal de una RSC voluntaria hacia una conducta responsable de carácter obligatorio, particularmente en el ámbito de la Unión Europea.

Una discusión detallada del modelo de implementación en seis pasos (recomendado por la OCDE) ilustra cómo las empresas pueden integrar la conducta empresarial responsable en sus estructuras de gobernanza, evaluación de riesgos, medidas preventivas, mecanismos de monitoreo, comunicación transparente y acciones correctivas. Se destacan los principios de proporcionalidad, influencia y evaluación continua como elementos fundamentales para adaptar la diligencia debida a contextos corporativos diversos, incluidas las pymes.

Además, se explora la justificación estratégica de integrar la RSC y la diligencia debida. Más allá del cumplimiento normativo, esta integración permite a las empresas obtener ventajas competitivas, mejorar la confianza de los inversores, fortalecer la resiliencia de sus cadenas de suministro y mejorar su reputación ante consumidores y partes interesadas. También refuerza las capacidades de gestión de riesgos al facilitar la detección temprana de posibles impactos negativos y permitir una respuesta proactiva en lugar de reactiva.

En conclusión, el estudio reflexiona sobre las implicaciones de la transición legal dentro de la UE, en particular en España, donde los requisitos de diligencia debida están pasando a ser obligaciones exigibles bajo la CSDDD y la CSRD. Esta contribución subraya la necesidad de coherencia normativa, medidas de capacitación y mecanismos de apoyo financiero para garantizar un cumplimiento equitativo en todos los sectores. En última instancia, la diligencia debida basada en la RSC no solo es una exigencia legal, sino también una palanca clave para la transformación empresarial sostenible y responsable.

Keywords: *Responsabilidad Social Corporativa, Diligencia Debida, Directiva de la UE, Sostenibilidad, Gestión de Riesgos*

Contatti: juanenrique.jimenez@urjc.es

La revisione delle accise sui prodotti energetici e il principio di sostenibilità

Antonio Felice Uricchio¹, Tommaso Calculli¹

¹ Università di Bari

Abstract

Lo sviluppo economico dei Paesi industrializzati si è storicamente basato su modelli produttivi e stili di vita insostenibili, oggi messi in discussione dalla transizione ecologica. In tale contesto, la transizione energetica rappresenta una delle principali declinazioni della transizione ecologica, mirando al progressivo superamento delle fonti fossili a favore delle energie rinnovabili, in vista della neutralità climatica entro la metà del secolo. La fiscalità “eco-energetica” si propone come strumento chiave in questa direzione, agendo sia in chiave afflittiva che incentivante per orientare i comportamenti di produttori e consumatori, anche in ottica di economia circolare.

Il *Green Deal* europeo ha inciso su alcuni aspetti della fiscalità ambientale, ma non ha ancora prodotto la tanto attesa revisione della Direttiva 2003/96/CE sulla tassazione dei prodotti energetici (*Energy Taxation Directive*), che avrebbe introdotto le cc.dd. accise “verdi”. Tale stallo evidenzia l’incapacità dell’Unione europea di compiere un salto qualitativo verso un sistema fiscale pienamente coerente con i propri obiettivi climatici, ostacolato anche dalle tensioni tra armonizzazione del prelievo, sovranità degli Stati membri e competitività del mercato unico. E in siffatto contesto si dovrebbero innestare le attese indicazioni della Commissione europea nell’ambito del c.d. *Clean Industrial Deal*.

In Italia, le accise sui carburanti restano ancorate ad un impianto tradizionale, non più coerente con i principi costituzionali, in particolare con gli aggiornati artt. 9 e 41 Cost., che impongono una riconcettualizzazione del tributo in chiave ambientale. La revisione “verde” delle accise deve considerare il principio di capacità contributiva e il solidarismo che ne costituisce fondamento, tenendo conto tanto dell’equità intra-generazionale quanto di quella intergenerazionale.

L'assenza di un sistema di accise differenziato secondo criteri ambientali rischia di mantenere i tratti regressivi dell'attuale fiscalità, colpendo in misura maggiore le famiglie energeticamente vulnerabili. Viceversa, una revisione orientata alla sostenibilità potrebbe pregiudicare il gettito fiscale e, quindi, la capacità dello Stato di garantire servizi essenziali. In tal senso, il principio "chi inquina paga" va integrato con misure compensative idonee a ridurre la povertà energetica e favorire un accesso equo alle tecnologie *green*.

In definitiva, per essere davvero sostenibile, la fiscalità energetica deve abbandonare una logica puramente tecnocratica, assumendo una funzione integrata con le dinamiche sociali ed economico-finanziarie. Solo un bilancio pubblico sano e redistributivo può garantire equità nel presente e tra le generazioni. Pertanto, il successo del *Clean Industrial Deal* dipenderà dalla capacità di introdurre misure fiscali armonizzate, eque e compatibili con le specificità sociali ed economiche (anche) di ciascuno Stato membro.

Keywords: Green excise duties; Ongoing reform; Market efficiency; Social sustainability; Fiscal sustainability.

Contatti: antoniofelice.uricchio@uniba.it, tommaso.calculli@uniba.it

Golden power e “sicurezza ecologica”, nel prisma della sostenibilità agroalimentare

Maria Grazia Leone¹

¹Consulente giuridico MASAF – MIC

Il *Golden Power* all'italiana (ex d.l. 15 marzo 2012, n. 21, conv. in l. 11 maggio 2012, n. 56) attribuisce speciali poteri al Governo al fine di tutelare *asset* “strategici nazionali” da operazioni economiche estere potenzialmente pregiudizievoli. L’obiettivo è la salvaguardia dell’interesse pubblico e nella prevenzione di minacce sistemiche alla struttura economica e produttiva del Paese. Progressivamente esteso a vari ambiti di intervento, questo strumento consente l’intervento pubblico nei settori della difesa e sicurezza, energia, comunicazioni, trasporti e, più recentemente, nell’ambito ecologico in chiave agroalimentare, per la crescente attenzione alla sostenibilità ambientale e alla tutela della biodiversità.

L’estensione del GP al comparto ecologico-agroalimentare ha, in particolare, segnato un cambio di paradigma: la sicurezza alimentare, la sovranità agricola e la tutela delle risorse naturali sono oggi riconosciute come pilastri della sicurezza nazionale. Gli investimenti esteri diretti (IED) in siffatto contesto, sebbene rappresentino un’opportunità economica, possono comportare rischi legati alla perdita di controllo su terreni agricoli, sementi autoctone e tecniche agronomiche tradizionali, minacciando la biodiversità e l’equilibrio ecosistemico.

In tale prospettiva, il GP si configura anche come uno strumento di tutela di sicurezza ecologica ed ambientale indiretta: impedire l’acquisizione da parte di soggetti stranieri di aziende che detengono uno speciale *know-how* nell’ambito agroalimentare significa, di fatto, preservare componenti essenziali del patrimonio ambientale e culturale del Paese.

D'altronde il cambiamento climatico, l’erosione della biodiversità e il degrado del suolo non sono fenomeni neutri sul piano geopolitico e della stabilità di un Paese. Essi influenzano l’accesso alle risorse, la stabilità economica e il benessere delle comunità locali. Ne deriva una

ridefinizione degli *asset* strategici, nella quale anche le risorse ambientali (come l'acqua, le foreste, i suoli fertili) diventano beni da difendere. Il concetto di sicurezza nazionale è, dunque, sempre più interconnesso con quello di *sicurezza ecologica*.

Non di meno, l'estensione al comparto ecologico-agroalimentare e della biodiversità agricola è coerente con la Convenzione sulla Diversità Biologica (CBD) e con le politiche dell'Unione Europea in materia di *Farm to Fork* e *Green Deal*, che promuovono una transizione ecologica equa e resiliente. La conservazione di varietà locali e l'agricoltura rigenerativa, sempre più minacciate da acquisizioni industriali standardizzanti, possono essere salvaguardate attraverso un uso mirato del GP.

Emblematico è il veto governativo apposto al tentativo di acquisizione di "Verisem", attiva nella produzione e conservazione di sementi, da parte del colosso cinese "Syngenta"; motivato dalla difficoltà di garantire un efficace *enforcement* delle condizioni di vendita post-acquisizione e dalla necessità di impedire che conoscenze tecniche e risorse genetiche autoctone uscissero dal controllo nazionale.

La Giurisprudenza amministrativa (CdS, n. 289/2023) ha pienamente "legittimato" l'ampiezza della discrezionalità politica esercitata in questo particolare ambito di intervento, sancendo che la "valutazione di strategicità" non è un dato oggettivo, ma il risultato di una scelta ponderata e contestualizzata anche del rischio ecologico implicito in certe operazioni, specie se riguardano imprese che custodiscono varietà vegetali a rischio di estinzione o tecniche agricole sostenibili.

In un contesto globale sempre più segnato da instabilità, concorrenza geopolitica e crisi ambientali, la tutela delle risorse naturali e della biodiversità deve essere considerata parte integrante dell'interesse nazionale. Da strumento di difesa economica, il GP si è quindi progressivamente trasformato in uno strumento di *sicurezza ecologica*.

L'integrazione della tutela ecologica rappresenta una frontiera evolutiva dell'istituto posto a presidio degli interessi pubblici. È pur vero che, l'effettività di tale protezione dipende dalla capacità dello Stato nel ben conciliare l'esercizio del potere discrezionale con il rispetto dei principi del diritto europeo e costituzionale; onde evitare che il GP si traduca in strumento di protezionismo non giustificato, a solo detrimento della libertà di impresa e la certezza del diritto.

Un'efficace *governance* di questi poteri speciali richiede però equilibrio, trasparenza e un approccio sistemico che coniughi sovranità, legalità e sostenibilità.

In tale prospettiva, si auspica: l'introduzione di criteri ambientali tra gli elementi valutativi dell'interesse strategico; un monitoraggio europeo coordinato delle operazioni a rischio per la biodiversità; la previsione di una maggiore trasparenza nei procedimenti decisionali e l'obbligo di motivazione anche in chiave ecologica e agroalimentare.

Keywords: Sicurezza ecologica, Golden Power, Biodiversità, Agroalimentare, Geopolitica

Contatti:

avv.mgleone@gmail.com

mariagrazia.leone@cultura.gov.it

mariagrazia.leone.ext@masaf.gov.it

Intelligenza artificiale, memoria culturale y sostenibilidad: por una ecología de la información

Anna Peirats¹, Francisco Arteaga² Antonio Sarcina³

¹ Universidad Católica de Valencia – IVEMIR-UCV (speaker)

² Universidad Católica de Valencia (speaker)

³ Universidad Rey Juan Carlos URJC (speaker)–

Abstract

In un momento storico in cui i discorsi sulla sostenibilità dominano le agende politiche, economiche e tecnologiche, è urgente ampliarne il significato oltre gli indicatori ambientali o energetici. La sostenibilità non può essere ridotta a ciò che è misurabile. Deve anche abbracciare ciò che è fragile, simbolico, ciò che dà senso: la memoria culturale, le lingue, i racconti, gli archivi, i legami. Da questa prospettiva, il presente lavoro propone una riflessione critica sul ruolo dell'intelligenza artificiale nella "costruzione", e possibile "dissoluzione", di una sostenibilità integrale, che includa l'epistemico, il culturale e l'umano.

I sistemi di IA generativa, in particolare i grandi modelli linguistici, stanno già trasformando i modi in cui si produce, si accede e si distribuisce la conoscenza. Tuttavia, questa trasformazione si basa su un silenzioso processo di selezione algoritmica, in cui i fondamentali che alimentano questi modelli sono composti da dati invisibili, non sempre verificabili, che sostengono e, anzi rafforzano determinate visioni del mondo, ma ne silenziano altre. L'IA automatizza criteri di rilevanza, valore e centralità. In questo nuovo contesto di visibilità, i saperi periferici (non istituzionali), le voci marginali, le lingue minoritarie e gli archivi non normativi (alternativi) rischiano di scomparire senza lasciare traccia.

In questo scenario, la memoria culturale diventa un territorio conteso. Cosa resta fuori dall'addestramento degli algoritmi? Cosa si perde quando le macchine imparano a scrivere, decidere e tradurre senza comprendere il senso profondo dei testi, delle lingue, dei contesti storici? Che tipo di sostenibilità possiamo aspettarci da sistemi che consumano enormi quantità di energia, ma al contempo minimizzano la diversità culturale in nome dell'efficienza?

Il lavoro propone un approccio etico e critico in prospettiva umanistica; in dialogo con quadri teorici come la giustizia epistemica, la sostenibilità culturale e l'ecologia dell'informazione. Vengono analizzati esempi di digitalizzazione del patrimonio, generazione automatizzata di testi, classificazione algoritmica dei contenuti, oltre al loro impatto sulla diversità culturale e sull'accesso aperto e inclusivo alla conoscenza. Si sostiene la necessità di integrare indicatori d'impatto culturale nella valutazione delle tecnologie digitali, e di garantire meccanismi di protezione attiva delle memorie vulnerabili, degli archivi fragili (deperibili) e delle comunità che li custodiscono. Sostenere la vita sul pianeta non è solo una questione di "monitoraggio e controllo" di materiali ed emissioni. Significa anche sostenere i racconti, i nomi, le lingue e i legami che ci permettono di immaginare futuri diversi. Un'ecologia dell'informazione richiede tecnologie progettate con responsabilità etica e consapevolezza critica, che garantiscano trasparenza nei processi decisionali e operino al servizio del bene comune e della pluralità culturale.

Keywords: intelligenza artificiale, sostenibilità, memoria culturale, giustizia epistemica, umanesimo digitale

Contatti:

francisco.arteaga@ucv.es

anna.peirats@ucv.es

antonio.sarcina@urjc.es

Il ravvedimento operoso nei delitti ambientali: natura, limiti e profili critici

Tiziana Cassano¹

¹Specialista amministrativa presso ente regionale F.V.G.

Abstract

La tutela dell'ambiente, riconosciuta ormai come valore costituzionalmente garantito nonché dovere inderogabile della collettività (artt. 9 e 41 Cost., come riformati nel 2022), ha indotto il legislatore ad introdurre nell'ordinamento un sistema normativo composito, dotandolo di strumenti idonei ad agire in prevenzione, in repressione e in pristino. Con L. n. 68/2015 - rubricata "*disposizioni in materia di delitti contro l'ambiente*" - sono state introdotte all'interno del Codice penale diverse fattispecie incriminatrici (artt. 452-bis e ss. c.p.) volte a punire l'autore di reati commessi in danno dell'ambiente. Accanto al rafforzamento dell'apparato repressivo, la riforma ha previsto meccanismi di tipo premiale, finalizzati a incentivare l'eliminazione o la mitigazione delle conseguenze dannose o pericolose derivanti dalle condotte lesive. Tra questi, un ruolo centrale è attribuito all'istituto del ravvedimento operoso, disciplinato dall'art. 452-decies c.p. L'istituto in parola, mutuato da altri settori dell'ordinamento giuridico (tributario, urbanistico), rappresenta un punto di equilibrio tra esigenze punitive e finalità riparative. Esso consente una riduzione di pena per il soggetto che si attivi concretamente per prevenire ulteriori danni, mettere in sicurezza il sito o collaborare con l'autorità giudiziaria, anche dopo la commissione del reato ambientale. A circa un decennio dalla sua previsione in materia, esso è stato di recente attenzionato dalla Corte di Cassazione. Con sentenza n. 12514 del 1° aprile 2025, infatti, il Supremo Consesso ha affrontato, per la prima volta, una disamina organica ed esaustiva dell'istituto premiale di cui trattasi,

offrendo all'interprete puntuali coordinate ermeneutiche funzionali alla sua corretta applicazione. Passando in rassegna le questioni afferenti all'analisi dei presupposti oggettivi e soggettivi della disposizione, alla sua portata preventiva rispetto ad altre attenuanti generiche, nonché ai limiti temporali per l'applicazione della stessa avuto riguardo ai diversi riti processuali, i giudici di legittimità hanno fornito una lettura costituzionalmente orientata dell'istituto, volta a valorizzare l'effettività dell'intervento riparatorio anche a prescindere dalla spontaneità soggettiva o dalla capacità economica del reo. Nel caso sottoposto al vaglio dei giudici di legittimità, gli imputati – accusati del delitto di inquinamento ambientale ex art. 452-bis c.p. – eccepivano il mancato riconoscimento da parte dei giudici di merito dell'attenuante di cui all'art. 452-decies c.p. invocata dai ricorrenti, sostenendo di essersi attivati per evitare il protrarsi delle conseguenze dannose delle condotte contestate, in particolare attraverso la collaborazione alla messa in sicurezza delle aree interessate (rimozione di materiali ferrosi dal sito contaminato). Ebbene la Corte, conformandosi alle statuizioni dei precedenti giudici, ha anch'essa escluso la configurabilità dell'attenuante ritenendo che le attività poste in essere dai correi *post- delictum* fossero invero condotte imposte e necessitate, del tutto prive di quell'autonoma e concreta efficacia riparatoria che la norma richiede. Secondo la Corte, per accedere al beneficio è necessario un comportamento causalmente orientato ad evitare l'aggravamento del danno ambientale, e non meramente funzionale all'esecuzione di obblighi esterni. La corte, pertanto riteneva che la condotta di rimozione dei materiali ferrosi dal sito contaminato posta in essere dai ricorrenti fosse non solo estranea alla bonifica tecnica, ma anche necessitata nell'ambito di un procedimento imposto. Mancava, dunque, ogni iniziativa spontanea idonea a configurare un ravvedimento operoso in senso penalmente rilevante.

La sentenza inoltre ha chiarito, con riferimento al primo comma dell'art. 452-decies, che le condotte premiali devono caratterizzarsi per una effettiva e stabile interruzione delle conseguenze dannose del reato, dovendo il verbo "adoperarsi" interpretarsi non già come mera intenzione o volontà riparatoria – pur necessaria ai fini dell'applicabilità dell'istituto - bensì come strettamente connesso a risultati tangibili e oggettivamente verificabili.

Dal punto di vista temporale, la Corte sottolinea che l'attivazione del ravvedimento deve avvenire prima della dichiarazione di apertura del dibattimento di primo grado, e ciò anche per la prima delle condotte attenuate (quella volta a evitare conseguenze ulteriori), benché la norma non lo specifichi espressamente. La previsione della possibilità di sospendere il procedimento ex comma 2, proprio al fine di consentire il completamento delle attività riparatorie in corso, rafforza questa impostazione sistematica. Nei riti alternativi, occorre identificare momenti processuali equivalenti: nel giudizio abbreviato il limite temporale è segnato dall'ordinanza di ammissione dello stesso; nel patteggiamento, tale momento, è da ancorarsi al deposito della richiesta di applicazione della pena. È stata inoltre ribadita la distinzione tra le tre tipologie di condotte previste dalla norma, ovvero tra la prevenzione di conseguenze ulteriori, la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino, e la collaborazione investigativa – tutte accomunate, secondo la Corte, dal requisito della concretezza ed effettività dell'apporto e dalla medesima riduzione di pena. Tale ultimo aspetto non appare esente da critiche, atteso che la previsione di un unico trattamento di mitigazione al cospetto dei plurimi interventi di messa in pristino mal si concilia con la ratio sottesa all'istituto premiale. La norma non distingue tra interventi modesti e opere complesse di bonifica, così giungendo ad un'equiparazione "disincentivante" potendo, conseguentemente ad un'attività "minima", fruire del medesimo sconto di pena corrispettivo di interventi massivi. La

razionalizzazione del trattamento sanzionatorio richiederebbe una più articolata graduazione degli sconti di pena, in funzione dell'effettivo impatto. Parimenti criticabile appare l'aspetto relativo al profilo socio-economico dell'agente. L'art. 452-decies richiede condotte "effettive e concrete", senza preoccuparsi della sostenibilità economica degli interventi; al contrario, l'art. 452-duodecies consente al giudice di ordinare il ripristino anche se tecnicamente possibile, a prescindere dai costi. Ne deriva un potenziale contrasto con il principio di eguaglianza ex art. 3 Cost.: il beneficio rischia di essere accessibile solo ai soggetti abbienti.

La pronuncia della Cassazione rappresenta un importante chiarimento interpretativo sull'art. 452-decies c.p., ma al contempo evidenzia i limiti strutturali della disciplina attuale. In assenza di una graduazione degli effetti premiali e di una tutela per i soggetti economicamente svantaggiati, l'istituto rischia di mancare i suoi obiettivi di equità e incentivazione. Una riflessione de iure condendo sulla calibratura della norma e sui suoi profili costituzionali appare, oggi più che mai, necessaria.

Keywords: reati ambientali, premialità, ravvedimento operoso.

Contatti: tiziana.cassano94@icloud.com

L'impresa "con proposito". Tra standard ESG e valore condiviso

Antonio Sarcina¹

¹ Full Professor URJC Madrid - EuriConv

Gli *standard* ESG (*Environmental, Social, Governance*) costituiscono oggi criteri imprescindibili nelle strategie aziendali contemporanee. Essi non solo favoriscono il miglioramento delle *performance* ambientali e sociali, ma contribuiscono altresì alla creazione di valore nel lungo termine. L'*agere* socialmente consapevole e responsabile dell'impresa è componente strategico imprescindibile, a di là del carattere volontario delle scelte imprenditoriali (I. Ingravallo, in *L'impresa sostenibile. Alla prova del dialogo dei saperi*, EuriConv, 2020; Id., S. Santovito; A. Sarcina).

La transizione verso l'integrazione dei criteri ESG nelle attività economiche è stata ulteriormente accelerata da dinamiche sistemiche su scala globale, quali i cambiamenti climatici, le trasformazioni demografiche e le implicazioni economiche della fase post-pandemica. Tali fenomeni stanno profondamente modificando le aspettative dei mercati e rendono l'adozione degli standard ESG una scelta sempre più rilevante e strategica per gli operatori economici (A.F. Uricchio; F. Denozza; S. Santovito; J. Coutinho De Abreu, in *L'impresa sostenibile*, cit.).

L'evoluzione degli investimenti ESG riflette una crescente consapevolezza dell'interdipendenza tra le *performance* aziendali e gli impatti ambientali e sociali generati dalle attività economiche. La definizione e la sistematizzazione dei criteri ESG hanno conosciuto un significativo consolidamento a partire dai primi anni Duemila, in particolare con l'introduzione dei Principi per l'Investimento Responsabile (*Principles for Responsible Investment*, PRI) promossi dalle Nazioni Unite, di natura volontaria, e con la progressiva diffusione di indici globali di sostenibilità. Sebbene l'origine degli investimenti socialmente responsabili sia riconducibile ai movimenti religiosi ed etici del XX secolo.

Volgendo lo sguardo alla *corporate governance*, l'integrazione dei criteri ESG richiede l'adozione di quadri normativi completi ed efficaci, in grado di garantire conformità regolamentare, trasparenza

informativa e allineamento strategico con gli obiettivi di sostenibilità. Tale integrazione deve avvenire secondo un approccio olistico e inter- e transdisciplinare, che valorizzi l'interazione tra diversi ambiti di conoscenza e competenza. Gli investitori, infatti, richiedono informazioni ESG affidabili, standardizzate e comparabili, fondamentali non solo per la valutazione del rendimento economico-finanziario, ma anche per l'analisi dell'impatto ambientale e sociale degli investimenti (A. Sarcina, cit.).

Gli standard ESG sono pertanto strumenti fondamentali per orientare le scelte di finanziamento degli investitori. I tre pilastri ESG rappresentano infatti gli indicatori della *performance* non finanziaria di un'impresa: le aziende con profili ESG solidi tendono a registrare risultati migliori nel lungo periodo, grazie a una minore esposizione ai rischi, a rapporti più solidi con gli *stakeholder* e a pratiche di governance più efficaci e trasparenti.

Da una prospettiva complementare, la crescente convergenza tra gli standard ESG e le pratiche di rendicontazione finanziaria sottolinea l'esigenza di assicurare elevati livelli di trasparenza, attendibilità e confrontabilità nelle comunicazioni aziendali. In tale quadro, una narrazione della sostenibilità improntata a criteri di "sana e prudente gestione" assume un ruolo strategico nella generazione e nel consolidamento del valore del *brand*, in coerenza con gli impegni assunti dall'impresa in ambito ambientale, sociale e di *governance* (D. Caterino; S. Fortunato; P. Sfameni, in *L'impresa sostenibile*, cit.).

La rendicontazione economico-finanziaria connessa agli standard ESG assume, in particolare, un ruolo sempre più rilevante nella gestione integrata dei rischi aziendali. Elementi quali passività ambientali, rischi regolatori e potenziali danni reputazionali devono essere adeguatamente incorporati nei sistemi di *risk management*, al fine di rappresentare in modo più realistico e completo il costo effettivo delle attività imprenditoriali (costi di agenzia). In tale prospettiva, la rendicontazione non si limita più alla mera rilevazione delle transazioni economiche tradizionali, ma si configura come uno strumento strategico orientato alla creazione e alla misurazione del "valore sostenibile" nel medio-lungo periodo.

L'integrazione dei dati ESG nei sistemi informativi finanziari è fondamentale per assicurarne la rilevanza, la confrontabilità e la verificabilità. Di conseguenza, le pratiche di reporting devono

evolvere, affiancando agli strumenti contabili tradizionali la rilevazione sistematica degli impatti ambientali e sociali dell'attività d'impresa (S. Fortunato, *cit.*).

Le funzioni preposte alla rendicontazione costituiscono il perno dei processi di raccolta, elaborazione e validazione dei dati aziendali e si configurano come attori chiave nell'armonizzazione delle metriche ESG con il linguaggio contabile standardizzato. Indicatori quali le emissioni di gas serra, l'utilizzo delle risorse idriche o la composizione demografica della forza lavoro devono essere misurati e comunicati congiuntamente alle grandezze economico-finanziarie tradizionali, quali utili, passività e attivi (P. Sfameni, *cit.*)

L'assenza di uno *standard* contabile ESG universalmente riconosciuto rappresenta un ostacolo rilevante alla piena confrontabilità, coerenza e uniformità dei dati di sostenibilità. Tuttavia, sono in corso iniziative significative a livello internazionale volte a colmare tale disallineamento. In particolare, l'attività dell'*International Sustainability Standards Board* (ISSB) si va configurando come strategica nella definizione di un quadro normativo condiviso per la rendicontazione di sostenibilità, con l'obiettivo di promuovere un sistema di *disclosure* armonizzato, comparabile e riconosciuto su scala globale

Una solida *performance* ESG contribuisce significativamente alla creazione di capitale reputazionale, il quale deve essere comunicato agli *stakeholder* con chiarezza, trasparenza e coerenza. Le imprese che esplicitano in modo intellegibile e credibile i propri impegni e risultati in ambito ESG rafforzano la fiducia percepita dagli *stakeholder*, incrementando di conseguenza il valore del marchio. Una comunicazione promozionale allineata alle pratiche ESG contribuisce ad accrescere la legittimità percepita del *brand* da parte degli *stakeholder*. La letteratura evidenzia come i consumatori tendano a sostenere in misura maggiore le organizzazioni che riflettono i loro valori etici, soprattutto in relazione a questioni centrali quali il contrasto ai cambiamenti climatici, la promozione della diversità e l'affermazione dei diritti dei lavoratori (S. Fortunato; D. Caterino; D. Garofalo; R. Voza; P. Di Nicola, in *L'impresa sostenibile*, *cit.*).

Un *branding* saldamente orientato ai principi ESG rappresenta oggi un elemento strategico di differenziazione competitiva. Le organizzazioni che integrano la sostenibilità nella propria comunicazione (*i.e.*,

“narrazione”) di *brand* in modo credibile e coerente risultano più resilienti, attrattive per investitori e talenti, nonché maggiormente competitive. La comunicazione deve fondarsi sull'autenticità. Il fenomeno del *greenwashing*, vale a dire la promozione di un'immagine ingannevole di responsabilità ambientale, può compromettere gravemente la reputazione aziendale e minare la fiducia degli investitori. Di conseguenza, la comunicazione strategica deve poggiare su performance ESG concrete, oltre che supportate da dati oggettivi e verificabili (D. Caterino, cit.).

La conformità agli standard ESG non rappresenta esclusivamente una questione etica, ma costituisce una imprescindibile necessità strategica per le imprese contemporanee. L'integrazione delle pratiche ESG deve essere accompagnata da una rappresentazione economico-finanziaria (i.e., rendicontazione) accurata e da una comunicazione promozionale efficace e trasparente, elementi che congiuntamente delineano un quadro coerente in grado di allineare le *performance* finanziarie agli obiettivi di sostenibilità a lungo termine. La rendicontazione veritiera ed efficace, in particolare, assicura che gli impegni ESG siano misurabili, comparabili e verificabili, mentre la comunicazione ne garantisce la trasparenza e la credibilità.

In un contesto in cui investitori, consumatori e autorità regolatorie richiedono sempre maggiori evidenze dell'impatto sociale e ambientale delle aziende, gli standard ESG si configurano, in definitiva, come fattori centrali per la definizione della strategia aziendale, la gestione del rischio e la creazione di valore sostenibile.

La crescente domanda di trasparenza impone l'*agere cooperante*, di *partecipazione* e di *sostegno* da parte dell'impresa, che non può più esercitarsi in modo silente o implicito, ma deve manifestarsi “con proposito” (o con scopo), in modo evidente, proattivo e strategico, superando il razionalismo utilitaristico in un armonico equilibrio fra sviluppo economico, progresso sociale e tutela ambientale (A. Sarcina, cit.).

Keywords: *ESG, Impresa con proposito, Rendicontazione, Stakeholder, Greenwashing*

Contatti: anicras@gmail.com; chairman@euriconv.eu

La tutela dell'ambiente nelle azioni civili e penali: danno ambientale ed ecoreati

Daniele Montanaro¹, Marina Cerra², Paola Di Toppa³

¹ ISPRA

Abstract

Il danno ambientale, come definito dalla parte sesta del D.Lgs. 152/2006, è il deterioramento significativo e misurabile di specifiche risorse naturali quali specie e habitat protetti, acque e terreno. Gli ecoreati, introdotti dalla Legge 68/2015, come l'inquinamento (art. 452 bis c.p.) e il disastro ambientale (art. 452 quater c.p.), condividono i requisiti di "significatività" e "misurabilità" dell'impatto. Tuttavia, essi si distinguono dal danno ambientale perché considerano anche risorse non strettamente associate alla definizione di danno ambientale (es. atmosfera, flora e fauna non soggette a speciale tutela) e tutti gli aspetti conseguenti alla natura penale del reato (come l'elemento soggettivo).

Tenuto conto di questa differenziazione, la contestazione degli ecoreati di inquinamento e disastro può comunque essere interpretata come uno degli elementi caratterizzanti un procedimento penale capace di innescare l'interesse del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) nell'avvio di un'azione civile per richiedere al responsabile la riparazione del danno ambientale.

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), che in collaborazione con il Sistema Nazionale di Protezione Ambientale (SNPA) è chiamato a elaborare le istruttorie per l'accertamento del danno ambientale, è impegnato a valutare l'esistenza di una correlazione tra contestazione degli ecoreati e la sussistenza di un danno ambientale attraverso l'analisi dei numerosi casi che dal 2017 ad oggi sono stati oggetto di studio.

Lo strumento fondamentale per lo studio dei casi oggetto di istruttoria di danno ambientale è rappresentato dal database detenuto da ISPRA che raccoglie le informazioni di tipo procedimentale e gli aspetti tecnici e giuridici di ogni caso e dal quale sono state estratte tutte le informazioni di tipo statistico utili a caratterizzare le istruttorie

effettuate in ambito giuridico. Le osservazioni derivano dall'analisi di oltre 400 istruttorie elaborate dal 2017 al 2024 su richiesta del MASE e parte dei risultati sono stati ottenuti dalla rielaborazione di dati pubblicati nei report ISPRA o in altre pubblicazioni che trattano temi legati alla gestione e alla tutela dell'ambiente

Dall'analisi dei dati emerge, in primo luogo la prevalenza di reati nell'ambito della gestione dei rifiuti, ossia gestione in assenza o in violazione di autorizzazione, creazione di discariche abusive, traffici illeciti, ecc. Altro dato significativo è la tendenza inversa dei “reati di danno” (ovvero le forme di danno generico previste dal codice penale quali il disastro innominato, avvelenamento di acque, getto di cose pericolose, ecc) e gli “ecoreati” di inquinamento e disastro ambientale. Dalla loro introduzione, la contestazione degli ecoreati sembra aver progressivamente sostituito quella dei generici reati di danno a testimonianza dell'effettiva necessità di introdurre un sistema che punisca in maniera aspra gli illeciti che hanno conseguenze gravi sull'ambiente.

Sul tema del danno ambientale, l'esperienza maturata in questi anni consente di avanzare l'ipotesi secondo cui la sussistenza di un danno ambientale è sempre (o quasi) associata alla contestazione degli ecoreati di inquinamento o disastro. Non è invece vero il contrario: alla contestazione di un ecoreato non si può inequivocabilmente associare la sussistenza di un danno ambientale. Attraverso l'analisi di alcuni casi si cercherà di mettere in evidenza gli elementi critici che necessitano di futuri approfondimenti utili a definire un quadro comune di interpretazione che metta in luce analogie e differenze tra le due tematiche.

*Contatti: daniele.montanaro@isprambiente.it;
marina.cerra@isprambiente.it; paola.ditoppa@isprambiente.it*

Approccio bayesiano per la determinazione del responsabile della contaminazione ai sensi degli articoli 244 e 245 del D. Lvo n.152/2006

Maurizio Guerra¹, Carlo Lambardella², Giovanni Conte², Nicola Sabina², Pasquale Ricciardella²

¹ISPRA, Dipartimento per il Servizio Geologico

² Provincia di Potenza

Abstract

Questo lavoro nasce dalla collaborazione tra ISPRA e la Provincia di Potenza, e propone un metodo innovativo per affrontare l'identificazione del responsabile della contaminazione ambientale nei procedimenti avviati ai sensi degli articoli 244 e 245 del D.Lgs. 152/2006. La novità più rilevante consiste nell'introduzione di una procedura semi-quantitativa, fondata sull'uso della regola di Bayes, per valutare il nesso di causalità tra una o più potenziali sorgenti/eventi contaminanti e uno (o più) accertati superamenti delle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC).

Questo approccio intende formulare numericamente il grado di probabilità (intesa come espressione dell'incertezza epistemica) relativo alla responsabilità di un soggetto, mettendo "in numeri" un processo valutativo che comunque contiene diversi livelli di soggettività. L'obiettivo principale è supportare le amministrazioni territoriali (ed in particolare le province) nella formazione di un giudizio robusto e documentato, attraverso: i) una ricostruzione del processo tecnico-amministrativo volto a delineare e "soppesare" le evidenze (o elementi informativi) correlabili all'evento di (potenziale) contaminazione; ii) l'applicazione della regola di Bayes.

Il lavoro si basa sul concetto generale di narrazione inversa. A differenza di quella diretta, dove si parte dalla condotta omissiva o commissiva di un potenziale soggetto responsabile per arrivare alla contaminazione delle matrici ambientali, la narrazione inversa parte da un evento certo (il superamento della CSC) e, a ritroso, cerca di risalire alla sorgente o condotta omissiva o commissiva che lo ha causato.

Gli aspetti teorici sono testati su casi reali, che comprendono contesti in cui è valutata la compatibilità dei superamenti con il contesto geologico-idrogeologico (una sorgente naturale), e altri in cui sono pesate le probabilità (o il grado di certezza epistemica) di due o più sorgenti/eventi potenzialmente causa del superamento rilevato. Ci sono dei casi in cui il metodo ha manifestato l'impossibilità di una attribuzione certa ma anche in questo caso la procedura ha evidenziato la qualità e la quantità dell'informazione disponibile.

Il metodo proposto rappresenta un salto qualitativo nella gestione delle indagini per responsabilità ambientale. Grazie all'integrazione tra conoscenza tecnica, procedura amministrativa e semplici strumenti statistici, l'approccio consente di affrontare situazioni incerte o complesse con maggiore rigore e trasparenza. In particolare, il ricorso alla regola di Bayes come strumento operativo:

- formalizza il concetto di "più probabile che non" in modo numerico e verificabile;
- consente di integrare conoscenze eterogenee (misure, dati storici, giudizio esperto);
- attribuisce un grado di responsabilità proporzionale all'informazione disponibile;
- favorisce l'adozione di provvedimenti amministrativi più motivati, solidi e difendibili.

Il metodo è orientato a tratteggiare il rapporto causalità del superamento da parte di due o più sorgenti/eventi. In talune circostanze l'identificazione della sorgente/evento conduce automaticamente all'individuazione del responsabile, in altri casi può essere invece richiesto un approfondimento di natura prettamente giuridica (diritto societario, successorio) non affrontato in questo metodo. In linea generale il metodo può essere ulteriormente sviluppato e integrato con strumenti GIS, modellistica numerica statistica descrittiva ed inferenziale. Un obiettivo di più ampio respiro è la creazione, idealmente su scala nazionale, di un database strutturato contenente i dati relativi alle evidenze raccolte e agli esiti delle indagini concluse, così da poter affinare progressivamente — in linea con il principio bayesiano di "autocorrezione", che aggiorna le probabilità alla luce delle nuove informazioni — i pesi da attribuire alle diverse evidenze.

VII. RemTech Europe

Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management (H-SAF)".

Col. Daniele Biron¹

¹ *Stato Maggiore Aeronautica - Ufficio Generale Aviazione Militare e Meteorologia, Roma.*

Abstract

H-SAF is the EUMETSAT project, one of the 8 Satellite Application Facility (SAF), under the Leadership of the Italian Air Force (Aeronautica Militare as Leading Entity), responsible for generating high-quality information products for operational hydrological applications (hence the H in the acronym H-SAF), exploiting the acquisition and processing of data from operational satellites dedicated to Earth observation. The project began operations on 1 September 2005, and since then has provided, without interruption, the service to the community of EUMETSAT Member States, and by redistribution of the Agency itself, to the entire international community belonging to the World Meteorological Organization (WMO), thanks to a Consortium with 23 European Institutes from 11 Countries. The project is currently in its 4th EUMETSAT Phase (Fourth Continuous Development and Operation Phase, CDOP-4), which will end on 28 February 2027, and during 2025 the Italian Air Force is preparing the design document for the CDOP-5 phase, 2027-2032. The structure of H-SAF, the satellite data used and the operation and under development products portfolio are illustrated, with state-of-the-art added-value content for global operational hydrology.

Keywords: hydrology, meteorology, meteorological satellites, remote sensing

Contacts: daniele.biron@aeronautica.difesa.it

A stepwise prioritization approach towards effective regulatory measures of PMT/vPvM substances in the REACH registration database

Michael Neumann¹

¹ *German Environment Agency (UBA)*

The European Green Deal by the European Commission sets an ambitious zero pollution vision for 2050. The overall objective is to reduce pollution to achieve a toxic-free environment. The Chemicals Strategy for Sustainability Towards a Toxic Free Environment contributes towards the achievement of the Zero Pollution Ambition. In addition, the European Union already has one of the most comprehensive and ambitious legislative frameworks on chemicals globally. Under the REACH regulation (EC) No 1907/2006, industry must demonstrate in their registration dossiers the safe use of substances over their entire life cycle.

The Classification, Labelling and Packaging (CLP) Regulation ((EC) No 1272/2008) ensures a high level of protection of health and the environment. A core principle is the 'self-classification' of a substance or mixture by the manufacturer, importer or downstream user. The classification is based on the hazardous properties of a substance or mixture and not on the likelihood of exposure and risk considerations. On 20th April 2023 the new hazard classes PMT and vPvM entered into force.

PMT (Persistent, Mobile, Toxic) and vPvM (Very Persistent, Very Mobile) substances pose significant intrinsic hazards due to their ability to cause long-lasting and diffuse contamination of water resources, which can lead to adverse effects on human health and the environment. These substances are characterized by their persistence in the environment, mobility in aquatic systems, and potential toxicity, making them a concern for regulatory authorities and public health. Prioritization is crucial for regulation as it enables the efficient allocation of resources to address the most significant risks posed by hazardous substances, ensuring that regulatory actions are targeted where they are needed most. It helps identify substances that require

immediate attention, facilitating timely risk management measures to protect public health and the environment. Additionally, prioritization highlights data gaps and areas needing further research, guiding stakeholders in developing effective strategies for monitoring and remediation efforts.

The stepwise prioritization approach towards effective regulatory measures of PMT/vPvM substances in the REACH registration database developed by the German Environment Agency (UBA) consists of three steps.

2.1. Identification and classification of the intrinsic hazard

The first step involves the identification and classification of the intrinsic hazard of PMT/vPvM substances, focusing on their potential to cause harm. 22400 substances were in the REACH registration database as of September 2019 and 13405 unique organic chemical structures were identified. A PMT/vPvM assessment was performed for all [1]. Only 1.9 % (259 of 13405) of the unique chemical structures in the REACH registration database fall in the new CLP hazard classes PMT and vPvM. However, for a total of 64 % no final assessment was achieved, either due to lack of test data (41 %) or due to ambiguous assessment (23 %) [1].

2.2. Prioritization of PMT/vPvM substances for regulation

The second step focuses on the prioritization of PMT/vPvM substances for regulation based on their and exposure levels and potential risk to drinking water sources. External factors considered in this process include the production volume of the substances, which correlates with their likelihood of emission, as higher volumes typically indicate greater risk. Additionally, the framework takes into account existing monitoring data and analytical capabilities to identify gaps in knowledge that may affect risk assessments. Ultimately, this prioritization aims to ensure that regulatory efforts are directed towards the substances that pose the highest potential threat to water resources and public health. This second step is based on a prioritization framework developed by [3].

2.3. Prioritization of regulatory measures based on their effectiveness

The third step involves the prioritization of regulatory measures based on their effectiveness. This step ensures that regulatory actions are

targeted, effective, and proportionate to the risks posed by PMT/vPvM substances. A Regulatory Management Option Analysis (RMOA) is conducted, which assesses various regulatory instruments under REACH and CLP to determine the most suitable measures. Stakeholders, including industry representatives, ECHA, and EU member states, are involved in this process to ensure comprehensive input and collaboration. Ultimately, this step aims to implement regulatory actions that effectively minimize the environmental emissions of hazardous PMT/vPvM substances while promoting safer alternatives.

The implementation of the PMT/vPvM criteria into CLP and into REACH regulation is an essential step to the protection of Europe's drinking water resources. The UBA list of PMT/vPvM substances in the REACH registration database [2] supports registrants and downstream users to immediately act to reduce and minimise emissions throughout the whole life cycle of these substances.

The stepwise prioritization approach towards effective regulatory measures of PMT/vPvM substances in the REACH registration database developed by the German Environment Agency (UBA) emphasizes a tailored regulatory approach based on the diverse hazards, emissions, and risks associated with these substances. The analysis involves assessing hazard properties, exposure scenarios, and potential risks to human health and the environment. It includes diverse regulatory processes, including identification as substances of very high concern (SVHC), harmonized classification, and restrictions, aimed at minimizing environmental emissions. The stepwise prioritization approach is a critical tool for identifying effective regulatory pathways to mitigate emissions of high-priority PMT/vPvM substances, such as 1H-Benzotriazole, 1,4-Dioxane, and Melamine.

Contatti: Michael.Neumann@uba.de

Vermitechnology: A nature-based solution for sustainable remediation and recycling of coal mine waste into nutrient-rich organic amendments

Sumit Kumar^{1,2}, Pradip Bhattacharyya¹, Pankaj Kumar Roy³

¹Agricultural and Ecological Research Unit, Indian Statistical Institute, Giridih, Jharkhand, India -815301,

²School of Environmental Studies, Jadavpur University, Kolkata, West Bengal, India -700032,

³School of Water Resource Engineering, Jadavpur University, Kolkata, West Bengal, India -700032

Abstract

The generation and improper disposal of coal mine waste (CMW) contribute to significant environment problems ranging from heavy metal (HMs) pollution, acid mine drainage, causing soil degradation and ecological imbalance. CMW, despite being rich in carbon and locked essential nutrients, there direct use is restricted due to its HM benignity. Vermicomposting the CMW waste is an ecofriendly solution to transform and remove HMs content. Apart from this vermicomposting also mineralizes the nutrients (C, N, P, K) locked into it making it useful for agricultural applications. Certain earthworm species like *Eisenia fetida* have ability to transform available forms of HMs to non-bioavailable forms. *Eisenia fetida* during HM stress condition activates metallothionein gene producing metallothionein proteins in their gut, responsible for immobilizing HMs. Apart from the metal detoxification the microbes present in the earthworm gut helps in mineralizing locked essential nutrients (NPK) and improves abundance of useful microbial communities. Previous literature already reported the application of *Eisenia fetida* in transformation and remediation of different types of waste like coal fly ash, tannery waste, sewage sludge. This study was conducted to remediate and transform CMW into nutrient-rich agricultural amendment product. The CMW were supplemented with cow dung in different ratios (1:1 and 2:1). The result indicated significant reduction of HMs bioavailability in the end product (vermicompost prepared from

CMW). The maximum efficiency in the setup was observed for the Cr (73.45%) followed by Cu (68.52%), Pb (60.03%), and Ni (47.19%). The essential nutrients were also found to be enhanced N (30%). The observations of this study highlight the effectiveness of *Eisenia fetida* in transforming the CMW by enhancing the physicochemical and microbial properties while reducing the HMs bioavailability. The study concluded that the CMW amended with cow dung in 1:1 ratio yielded the best result. Thus, vermitechnology could be a presents a feasible practice for the remediation and recycling CMW and other mining wastes. This method add unique dimension to the circular economy and sustainable management of mine-waste.

Keywords: Eisenia fetida; Vermicomposting; Coal mine waste; Sustainable waste management; Environmental remediation

*Contacts: sumit29sep@gmail.com (+91 7979746103),
pradipbhattacharyya@gmail.com, pk1roy2014@gmail.com.*

Adsorption of short to long-chain PFAS/PFCAs using Polyethyleneimine Modified Biochar – Effects of Water Matrices and Understanding Mechanisms

Anusha Imran¹, Daniel D. Gang², Xiaobo Leiⁿ, David J. Shoemakerⁿ, William E. Holmesⁿ, Hui Yanⁿ, Mark E. Zappiⁿ,

¹ Anusha Imran (speaker), ² Daniel D. Gang

Abstract

Per and polyfluoroalkyl substances (PFAS) Or Perfluorocarboxylic acid (PFCa) water pollution seriously threatens the environment and human health due to its wide persistence, high stability, and bioaccumulative nature. This study investigates the efficacy of polyethyleneimine-modified biochar (BC-PEI) adsorbent for the adsorptive removal of four PFCAs, including perfluorooctanoic acid (PFOA), perfluorohexanoic acid (PFHxA), hexafluoropropylene-oxide-dimer-acid (GenX), and perfluorobutanoic acid (PFBA) in a mixed solution. The highest adsorption capacity observed with BC-PEI 1:1 ($w_{PEI}/w_{BC} = 1$) for PFOA, PFHxA, GenX, and PFBA was 1.300, 0.849, 0.696, and 0.405 mmol/g respectively and followed the Langmuir isotherm model. The surface area and porous structure are not the only leading factors in PFCAs adsorption, but surface functional groups, electrostatic and hydrophobic interactions play a vital role. The BC-PEI has higher adsorption capacities for long-chain PFCAs due to the higher hydrophobic interaction. The pseudo second-order (PSO) kinetic model best fitted the data for PFOA, PFHxA, GenX & PFBA while GenX & PFHxA suggest there are many active sites on BC-PEI. External adsorption with a small contribution from micropores influenced the adsorption process. Humic acid negatively impacts adsorption capacity because it can compete with PFCAs for the adsorption sites. The adsorption capacity has been reduced by background salts in the

aqueous matrix due to the double-layer compression effect. Overall, the findings highlight the potential of PFAS/PFCAs removal from wastewater systems using BC-PEI in engineering applications.

Keywords: Biochar, Polyethyleneimine, Adsorption, PFAS, Emerging contaminants.

Contacts: anusha.imran1@louisiana.edu (+1 (832) 709 7014),
daniel.gang@louisiana.edu, xiaobo.lei1@louisiana.edu,
david.shoemaker1@louisiana.edu, william.holmes@louisiana.edu,
hui.yan@louisiana.edu, mark.zappi@louisiana.edu

Lead pollution – it's worse than you think

Presenting author: Graeme Miller (Senversa Pty. Ltd and PhD student at Southern Cross University (Faculty of Science and Engineering)

Coauthor: Professor Ed Burton (Southern Cross University, Faculty of Science and Engineering)

¹ *Senversa Pty. Ltd. (speaker)*

Abstract

Objective

The objective of this presentation is to describe why lead, despite all the history and knowledge of the risks which it poses, remains a global health issue.

Background

Lead is bad. Its adverse impacts on human health were suspected in ancient Greece and Rome, during the Renaissance, and reached epidemic proportions during the Industrial Revolution [1]. The clinical effects of lead poisoning have been demonstrated since, and include IQ loss, behavioural issues, cardiovascular damage, poor bone development, fatigue, encephalopathy and in extreme cases, death [2]. Violent behaviour is also suspected [3].

Following the phasing out of lead in common domestic products such as paints and petrol, poisoning is generally considered to be associated with occupational settings (e.g., battery manufacturing, lead mining and smelting, e-waste recycling) or relatively isolated exposure associated with food quality (e.g., use of lead chromate for colouring of turmeric in Bangladesh [4]) and drinking water quality issues (from lead in water service lines and fittings [5]). However, approximately 800 million children worldwide are estimated to have been affected by lead poisoning [6]. Whilst poisoning of some of these children may be associated with direct or indirect occupational exposure and food and water quality issues, many are likely to have been affected by legacy lead sources (e.g., soil lead pollution associated with historical emissions from mining and smelting sites, leaded petrol and lead paint residues).

The often-irreversible effects from lead poisoning on an individual's quality of life, productivity and economic contribution, and the financial burden on the world's health systems, are enormous. It is

estimated that more than 5.5 million adult deaths (associated with lead-related cardiovascular disease) and more than \$USD 6 trillion in economic losses occurred in 2019 alone from lead poisoning [7]. The vast number of children who continue to be affected by lead poisoning indicates that these stark and awful statistics are unlikely to change - making legacy lead pollution and poisoning an ongoing global risk to human health.

Results

The presentation includes discussion and detail on the following key aspects associated with lead exposure - focussing on legacy sources of lead pollution, which are likely to be a major contributor to the poisoning of approximately one-third of the current worldwide childhood population: the nature of legacy lead pollution sources; key pathways for human exposure to legacy lead pollution; chemical and physical characteristics of lead which can impact on its bioavailability and toxicity; typical measures for mitigating exposure to lead pollution; and challenges for effective mitigation of risks to human health posed by legacy lead pollution.

The presentation is based on the outcomes of consulting projects completed by the author and a detailed literature review on the topic (which forms part of doctoral thesis he is currently undertaking).

References

- [1] M.A. Riva, A. Lafranconi, M.I. D’Orso and G. Cesana, Lead Poisoning: Historical Aspects of a Paradigmatic “Occupational and Environmental Disease”. *Saf Work.*, vol 3, no.1, pp. 11-16, 30 March 2012.
- [2] Australian Government National Health and Medical Research Council (April 2016). Managing Individual Exposure to Lead In Australia – A Guide For Health Practitioners.
- [3] A. Higney, N. Hanley and M Moro, The lead-crime hypothesis: A meta analysis. *J. Regional Science and Urban Economics*, Vol. 97. 103826, August 2022.
- [4] Stanford Medicine Magazine (June 2023), The spice sellers’ secret. A hunt for the sources of lead poisoning in Bangladesh. Available: <http://stanmed.stanford.edu/tumeric-lead-risk-detect/>

- [5] US EPA (updated 21 November 2024). Basic Information about Lead in Drinking Water. Available: <http://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/basic-information-about-lead-drinking-water#getinto>.
- [6] UNICEF and Pure Earth (2020). The Toxic Truth: Children's Exposure to Lead Pollution Undermines a Generation of Future Potential. Available: <http://www.unicef.org/media/109361/file/The%20toxic%20truth.pdf>
- [7] B. Larsen and E. Sanchez-Triana, Global health burden and cost of lead exposure in children and adults: a health impact and modelling analysis. *The Lancet Planetary Health*, Vol 7, pp. e831-40.

Keywords: lead, risk, economic loss, soil

Contacts: graeme.miller@senversa.com.au (+61 415 709 868).

Fungal-based biosorbent as a sustainable environmental approach for removal of heavy metal pollutants from contaminated water

Anjali V. Prajapati and Devayani R. Tipre

Department of Microbiology and Biotechnology, School of Sciences, Gujarat University, Ahmedabad 380 009, India

Abstract

Industrialization and anthropogenic activities are major causes of heavy metal (HM) pollution in terrestrial and aquatic systems. The bioavailability of HMs has become a devastating and life-threatening concern to the ecosystem. Conventionally, synthetic adsorbents have been widely used for HMs removal from contaminated water. Now a days, fungal-based adsorbents are gaining widespread attention due to their cost-effectiveness, effective working at low concentrations and eco-friendly nature. The goal of this study was to develop a fungal biosorbent for the removal of HMs from dilute contaminated water where the application of synthetic resins is not feasible. Herein, a metal-resistant *Curvularia lunata* AD6 was isolated from municipal solid waste samples. The dried fungal sorbent was screened for its capacity to remove Cu, Cd, Cr, Ni and Pb in non-competitive and competitive systems. The applicability of process evaluated on the basis of process optimization, adsorption isotherm models, thermodynamic parameters in batch experiments. In the non-competitive system, the fungal sorbent showed the highest 52% Cr and 57% Pb removal. While in competitive sorption, the removal efficiency order was Cr > Pb > Cd > Cu > Ni in 2 h of contact time. The optimized process parameters were found to be 2 h contact time, pH 6.0±0.2, 4 g/L sorbent concentration, an initial metal concentration between 5-25 mg/L, and reaction temperature between 24 to 50±2 °C for the studied metal(s) removal. The point

of zero charge (pH_{PZC}) was 6.2 and the role of various functional groups in metal adsorption was determined through FTIR. The maximum metal removal capacity of the fungal biomass was found 24.7 mg/g under optimum conditions. Furthermore, values of positive ΔH and negative ΔG^0 proved that the biosorption process was endothermic, spontaneous and feasible. The highest R^2 value ≤ 1 was obtained for Langmuir, Freundlich and Temkin isotherm models. The fungal sorbent showed significant removal of Ni, Cu and Pb when applied to samples of electroplating industrial effluent and metallic leachate. These findings indicated that the AD6 biomass of *Curvularia lunata* possesses potential efficiency as an adsorbent for the removal of various HMs from contaminated water which can be used as a sustainable approach in natural aqueous ecosystems for the removal of metallic pollutants.

Keywords: Heavy metal pollutants; *Curvularia* sp.; Sustainable environmental approach

Contacts: Anjali V. Prajapati (anjali423@gmail.com, +91 8487976798) and Devayani R. Tipre (devayanitipre@hotmail.com +91 9879596168)

Advancing Marine Ecosystem Restoration: ORSS Deployment in Malibu, California

Franco Smit¹, Eric Williams¹

¹ ORSS Project

Abstract

The Oceanic Restoration Submersive Systems (ORSS) Project is pioneering marine ecosystem restoration through innovative, data-driven approaches. The inaugural deployment in Malibu, California, serves as a scalable model for coastal resilience by integrating state-of-the-art technology with nature-based solutions. This extended abstract presents a comprehensive overview of the project's methodologies, impact assessment frameworks, and long-term sustainability strategies within the scope of coastal protection and climate adaptation. The ORSS initiative combines AI-driven reef modules, blue carbon sequestration techniques, and real-time oceanographic monitoring to accelerate habitat regeneration and mitigate the impacts of climate change. Additionally, the project emphasizes collaborative research, policy integration, and community engagement, offering a replicable blueprint for global marine restoration.

Coastal ecosystems worldwide are under increasing threat from a multitude of stressors. Climate change, driven by rising global temperatures and sea levels, has led to unprecedented rates of ocean acidification and habitat destruction. Unsustainable human activities—ranging from overfishing to coastal development—further exacerbate these challenges, resulting in the loss of more than 50% of the world's coral reefs over recent decades. These ecosystems are not only biodiversity hotspots but also critical to the livelihood of millions of people, offering services such as coastal protection, fisheries, and tourism.

In response to these challenges, the ORSS Project was conceived as a science-driven initiative designed to restore degraded marine environments. The Malibu pilot project represents the first large-scale application of ORSS technology in the United States. It utilizes a

combination of engineered reef structures, advanced ecological monitoring, and novel restoration techniques to address the twin goals of enhancing marine biodiversity and improving coastal resilience. By focusing on the integration of technology and traditional conservation practices, ORSS seeks to deliver measurable environmental and socioeconomic benefits.

The ORSS Project's deployment in Malibu, California, represents a groundbreaking, scalable solution for marine ecosystem restoration. Through the integration of AI-driven reef modules, blue carbon sequestration techniques, and real-time environmental monitoring, the project has demonstrated significant improvements in local biodiversity, coastal protection, and carbon capture. The collaborative research framework and community engagement strategies further underscore the project's potential to serve as a model for sustainable marine restoration worldwide.

The positive preliminary results from Malibu pave the way for future research focused on optimizing system performance, expanding monitoring networks, and refining restoration methodologies. As climate change continues to challenge coastal regions globally, the ORSS model offers a promising pathway toward resilient, adaptive, and economically viable marine ecosystems.

Future work will involve detailed longitudinal studies to assess long-term impacts, the development of predictive models to guide adaptive management, and the exploration of additional applications such as eco-tourism and fisheries enhancement. Ultimately, the ORSS initiative not only addresses immediate environmental challenges but also contributes to the broader goal of sustainable development and global climate adaptation.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) as an Indicator of Bio-remediation Efficiency in Eleme, Ogoni-land Phase-1 Crude Oil-Impacted Soils

Dr. Komommo Omini Abam¹, Prof. Tubonimi J. K. Ideriah², Akuro Ephraim Gobo³, Dr. Francis Egobueze⁴

¹*National Oil Spill Detection and Response Agency (NOSDRA), Federal Capital Territory, Abuja, Nigeria*

²*Institute of Pollution Studies, Rivers State University, Port Harcourt, Nigeria*

³*Institute of Geosciences and Environmental Management, Rivers State University, Port Harcourt, Nigeria*

⁴*Institute of Geosciences and Environmental Management, Rivers State University, Port Harcourt, Nigeria*

Abstract

Eleme, a sub-set of Ogoni-land has endured decades of environmental degradation, primarily due to extensive crude oil-contamination, resulting in compromised ecosystems and diminished vegetation health. The United Nations Decade on Ecosystem Restoration (2021-2030) challenges us to massively scale-up restoration efforts that breathe new life into our degraded ecosystems, which guarantees us a chance at a healthier future. This study evaluated the efficiency and ecological impacts of bio-stimulation, bio-augmentation, and electro-bio-remediation efforts of four locations of Nkeleoken-Alode LOT 04, Elelenwo Manifold-Akpajo LOT 46, Ajeokpori Well 3-Okuluebu LOT 54, and New Elelenwo Manifold-Akpajo LOT 56 out of the twenty-three LOTs remediated during phase-1 of the UNEP Ogoni-land Restoration Project in Eleme, and using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for historical years of 1994, 2004, 2014, and 2024 to measure the soil health, vegetation vigor and variance, and assess vegetation restoration levels, pre- and post-remediation era. The NDVI trends across the different epochs and time stamps revealed significant fluctuations, indicating varied vegetation recovery linked to contamination levels and bio-remediation interventions, and provided valuable insights into the effectiveness of the bio-remediation

products in the study area, their role in ecosystem restoration, and how vegetation health, vigor and variation has changed over time in response to crude oil-contamination and bio-remediation efforts; providing a quantitative basis for evaluating vegetation health and recovery in the study areas. In regions with notable NDVI increases, improved vegetation vigor and greening were apparent, while LOTs with limited or negative NDVI change underscored ongoing soil quality challenges and continuous degradation of residual hydrocarbons. Negative NDVI values in several locations, between 2004 and 2014 indicated severe environmental degradation as a result of crude oil-contamination, while positive shift in NDVI values in 2024 showed partial ecosystem restoration, following the application of the various bio-remediation products. The gradual increase in NDVI values across the various locations suggest that, the bio-remediation products have positively impacted vegetation recovery and ecosystem resilience, and the findings underscore the role of targeted bio-remediation products in facilitating soil recovery essential for ecosystem restoration. In conclusion, this study provides insights into the environmental restoration status of UNEP Ogoni-land Phase-1 remediated areas, highlighting both the efficacy and limitations of bio-remediation approaches in enhancing soil quality and vegetation cover, and the restoration outcomes indicate positive trends in ecosystem recovery, though regional disparities suggest a need for site-specific interventions to achieve consistent environmental rejuvenation across Ogoni-land. These findings contribute valuable data on post-bioremediation landscapes and underscores the need for; integrated bio-remediation techniques and ecosystem restoration framework, to sustain ecological health and resilience in impacted areas.

Keywords: Restoration, Ecosystems, Bio-stimulation, Bio-augmentation, Electro-bioremediation.

Contatti: ideriah.tubonimi@ust.edu.ng, gobo.akuro@ust.edu.ng,
francis.egobueze@gmail.com

Analysis of agro-energy and organic amendments supply chains in Italy

Ilaria Falconi¹, Irene Criscuoli¹, Maria Valentina Lasorella¹

¹ CREA Research Centre for Agricultural Policies and Bioeconomy, Rome, Italy

Abstract

The article aims at illustrating the results of peer-to-peer dialogue among stakeholders conducted during the EOM4SOIL research project in Italy and, in particular, those related to the production of biogas, biomethane, syngas and the use of manure, biochar and digestate. The project analyses:

- the state of the art of agro-energy supply chains in Italy (anaerobic digestion and pyrolysis) and unravels the difficulties linked to organic amendment spreading in agriculture;
- the socio-economic aspect of plant management and maintenance;
- the lack of reliable information on feedstock produced and used in plants and on current production of digestate and biochar;
- the use biochar, manure and digestate both in agriculture and non-agricultural sectors.

The main conclusions reported in this study were retrieved from a participatory research approach involving all stakeholders of the national value chains.

In Italy, the agricultural sector is characterised by a marked diversification, a very important feature enabling enterprises to respond to market stimuli, to integrate sources of income, to increase the link with the territory and maintain a greater degree of autonomy in the changing economic and technological context. Diversification, in addition to supporting the survival of agricultural activities even in marginal areas, is a driver of territorial development that contributes to attracting services connected to other economic sectors in rural areas such as renewable energy from the agri-food sector.

Italy has an agricultural and forestry heritage capable of generating a renewable and sustainable energy supply thanks to the wide availability of raw materials that can be derived from by-products,

crop residues, manure and dedicated crops. These agricultural energies supply chain (e.g., anaerobic digestion and pyrolysis) allow to stimulate the circular and sustainable bioeconomy, as well as contributing to climate mitigation and decarbonization of various sectors (e.g., transport, energy and residential), to promote the use of organic matter and the production of high added value products, contribute to the achievement of the environmental objectives of the Green New Deal and the European climate law.

As regards to the latter, the energy supply chains produce organic substances (i.e., digestate, biochar and manure) that can be used as soil improvers. Within the EOM4SOIL (Exogenous Organic Matters for climate mitigation and SOIL health) project, funded by the European Joint Programme on Soil (EJP SOIL), Research Centre for Agricultural Policies and Bioeconomy (CREA-PB) estimated the current state of production and use of biochar and digestate in Italy, visited innovative production plants, interviewed farmers and experts during sectorial events and organized focus groups in order to initiate a peer-to-peer dialogue among stakeholders, to identify barriers of the supply chains of organic matters and developed guidelines promoting the sustainable use of EOMs.

Among the lessons learned during the focus groups conducted in Italy about organic matters, a first recommendation is the need to economically value the ecosystem services provided by the agro-energy sectors that produce organic matters (digestate, manure and biochar) and renewable energy. They should not only be considered as a means to improve the characteristics of the soil but also as products that can provide benefits in terms of climate mitigation (carbon farming), decarbonization of other sectors and improvement of air quality. This is necessary because the management costs of organic matter (production, storage, application to the soil, etc.) and energy plants (e.g., anaerobic digestion or pyrolysis) are high. At present, the incentives are linked to the construction of the anaerobic digestion plants and the income is exclusively linked to the production of energy placed on the market.

It is also necessary to outline innovative solutions for the use of EOMs (other than agricultural and energy use). Therefore, applied research should be supported regarding e.g., the recovery of biogenic CO₂ from

the biogas and biomethane production process, the combination of various organic matters (e.g. digestate and compost/algae/biochar), the production of bioplastic starting from manure thanks to the action of the black soldier fly or the use of biochar in composite materials and batteries. Finally, in 2023, the first Italian public call for proposals, for the construction of new biomethane plants or for the conversion of biogas plants into biomethane production unit, was launched. In this respect, it is necessary to ensure a rapid connection to the gas network and greater integration between transmission and distribution networks. Finally, even if not subsidized, it is necessary to safeguard the continuation of production activity both for biogas plants that cannot be converted to biomethane and for small-scale plants. Consortium-level production plants are also seen as a possible way to share the costs and benefits of such complex technologies. Overall, apart from manure, in Italy we observe a general low awareness of the potential benefits deriving from EOMs. A thriving information campaign should be built, especially based on field plants visits.

Carbon farming and the challenges for agriculture and forestry. A focus on the EU and national framework

Ilaria Falconi¹, Irene Criscuoli¹

¹ CREA Research Centre for Agricultural Policies and Bioeconomy, Rome, Italy

Abstract

The European Green Deal aims to make Europe climate neutral by 2050 and, in order to make this objective legally binding, The Commission has adopted the European climate law, which also sets a further and more ambitious target of reducing net greenhouse gas emissions by at least 55% by 2030 compared to 1990 levels.

To achieve this, some existing legislative proposals would need to be corrected, including the Regulation on "joint effort" (c.d. "efforts sharing" or NO-ETS sector), the Land Use Regulation, land use change and forestry (LULUCF sector) and the Renewable Energy Directive.

Under the Land Use Regulation, Land Use Change and Forestry more ambitious targets are proposed to expand natural carbon sequestration in the EU, which is crucial for offsetting emissions and achieving climate neutrality.

The Commission, by issuing Regulation n. 2023/839, has set a net GHG absorption target for the LULUCF sector of 310 Mt of CO₂-eq by 2030 through specific national commitments.

Therefore, increasing soil carbon sequestration is a priority both to mitigate climate change and to promote the sustainability and resilience of agriculture and forestry.

The Commission has presented its Communication on a sustainable carbon cycle, approved the European Regulation establishing a European Union certification framework for carbon removals (Regulation n. 2024/3012) in order to achieve climate-neutral objectives and increase carbon removals under the Regulation concerning the sector LULUCF.

In this scenario, this paper provides a detailed and critical analysis of the carbon credit initiatives, with particular attention to the methodologies for accounting for C deposits in soil compared to the

baselines being defined, and comparing the EU Carbon Removals Regulation with relevant certification frameworks implemented in non-EU countries - EU (Australia, Alberta in Canada and USA) and Italy in order to formulate policy recommendations to further strengthen the certification methodology on European carbon removal, and to assess the potential impacts on Italian agriculture (e.g. technical and bureaucratic feasibility, affordability).

Keywords: carbon farming, agriculture, MRV, policy recommendations

Contacts: ilaria.falconi@crea.gov.it, irene.criscuoli@crea.gov.it

Evaluation of Groundwater Pollution nearby Addis Ababa Open Dumping Site (Repi) Ethiopia and Associated Human Health Risks Using Water Quality and Nitrate Pollution Indices

Demamu Tagele Haliqamo¹, Tamru Tesseme Aragaw¹, Esayas Alemayehu²

¹Faculty of Water Supply and Environmental Engineering, Water Technology Institute, Arba Minch University, Arba Minch, Ethiopia

²Faculty of Civil and Environmental Engineering, Jimma Institute of Technology, Jimma University, Jimma, Ethiopia

Abstract

Open dumping without a suitable bottom liner and leachate collecting system is common in developing countries like Addis Ababa, Ethiopia. As a result, there is a serious risk of groundwater pollution around open dumping sites, with major consequences for human health and the surrounding natural environment. In view of this, the aim of the research was to assess groundwater pollution near the Addis Ababa open dumping site and the related human health risks using water quality and nitrate pollution indices. Water samples were collected from five groundwater wells (coded GW1 to GW5) within a two-kilometer radius of the open dumping site (Repi) and examined using standard methods. The pollution status of groundwater samples was evaluated by comparing with World Health Organization (WHO) and Ethiopian drinking water quality standards (ESA). The Water Quality Index (WQI) and Nitrate Pollution Index (NPI) were used to evaluate the health concerns connected with groundwater. Irrigation water quality indices were used to assess the quality of groundwater for irrigation purpose. Except for total hardness, COD, and magnesium, the majority of parameters related to water quality were determined to be within the acceptable WHO drinking water quality standards. The Piper Tri-linear Diagram revealed that most groundwater samples had both Ca-Mg-HCO₃ and Mg-HCO₃ water types. The Gibbs fields found that all samples had rock-dominated groundwater quality. The

WQI results showed that a groundwater well near the dumping site had poor water quality. The NPI findings showed that two groundwater wells were clean, while the remaining three showed moderate pollution. Except for magnesium hazard, all irrigation water quality indices indicated that all the studied groundwater wells were suitable for irrigation. The study concluded that regular monitoring and groundwater quality testing near the Repi dumping site is necessary to avoid future groundwater pollution and human health problems.

Keywords: Open dumping site, Groundwater pollution, Human health risk, Water Quality indices, Addis Ababa

Correspondence to: demamutagele756@gmail.com

Phytoremediation potential of hemp and sorghum enhanced by plant growth-promoting rhizobacteria for heavy metal-contaminated soil

*Jelena Beljin¹, Nina Đukanović¹, Marijana Kragulj Isakovski¹,
Dragana Tamindžija¹, Stanko Milić², Tijana Zeremski², Snežana
Maletić¹*

¹Faculty of Science, University of Novi Sad, 2100 Novi Sad, Serbia

*²Institute of Field and Vegetable Crops Novi Sad, Maksima Gorkog 30,
21000 Novi Sad, Serbia*

Abstract

The study investigates the heavy metal contamination in soil from Srpski Itebej, Serbia, and evaluates its remediation through pot experiments. Initial soil characterization at Srpski Itebej, a site impacted by canal dredging, revealed elevated heavy metal concentrations: chromium (Cr) at 237 mg/kg, copper (Cu) at 211 mg/kg, zinc (Zn) at 418 mg/kg, nickel (Ni) at 49 mg/kg, arsenic (As) at 156 mg/kg, cadmium (Cd) at 5.2 mg/kg, and lead (Pb) at 153 mg/kg. These levels significantly exceed those in uncontaminated reference soils, highlighting the site's anthropogenic pollution burden, likely from dredged sediment deposition. The soil's slightly alkaline pH (7.74 in H₂O), moderate clay content (21.76%), and humus-rich nature (3.00%) suggest conditions influencing metal mobility and bioavailability.

Pot experiments conducted at Rimski Šančevi assessed phytoremediation efficacy using Itebej soil treated with Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) and planted with forage sorghum (*Sorghum halepense*) and hemp (*Cannabis sativa*). Two commercial PGPR products—PGPR1-GROUNDFIX (bacterial strains) and PGPR2-MYCOFRIEND (mycorrhizal fungi and *Trichoderma harzianum*)—were applied to enhance metal uptake. Post-harvest analysis showed initial Zn concentrations in Itebej soil up to 300 mg/kg in some treatments, dropping to 220 mg/kg, with bacterial PGPR notably reducing Zn levels. Cu decreased from 160 mg/kg to lower levels with hemp and PGPR combinations, outperforming sorghum. Pb showed slight increases post-harvest (up to 20 mg/kg), possibly due to limited plant

uptake or external inputs, with no significant PGPR effect. Cr remained high (up to 250 mg/kg), with hemp exhibiting greater uptake than sorghum, though PGPR impact was minimal. Ni and As reductions were notable with hemp and PGPR, while Cd stayed low, reflecting its initial modest presence.

Leaching tests classified metal leachates as inert waste, indicating low environmental risk under current conditions. Plant biomass data revealed PGPR-enhanced growth in sludge-treated soils but limited effects in heavy metal contexts. These findings underscore hemp's superior phytoremediation potential over sorghum for Cu, Ni, and As in Itebej soil, with PGPR offering selective benefits, particularly for Zn. The study highlights the need for tailored plant-PGPR combinations to optimize heavy metal removal, providing a foundation for scaling up field trials to address Itebej's contamination legacy.

Keywords: Heavy metals, Soil, Remediation, Phytoremediation, Plant

Contacts : jelena.beljin@dh.uns.ac.rs; nina.djukanovic@dh.uns.ac.rs; marijana.kragulj@dh.uns.ac.rs, dragana.tamindzija@dh.uns.ac.rs; stanko.milic@ifvcns.ns.ac.rs; tijana.zeremski@ifvcns.ns.ac.rs; snezana.maletic@dh.uns.ac.rs

Biochar-modified electrodes: advancing sustainable voltammetric sensing platforms

*Nina Đukanović¹, Tamara Apostolović¹, Tijana Marjanović Srebro¹,
Jasmina Anojčić¹, Sanja Mutić¹, Jelena Beljin¹*

¹Faculty of Sciences, University of Novi Sad, 2100 Novi Sad, Serbia

Abstract

Biochar, a carbonaceous material derived from biomass pyrolysis, has recently gained traction as a sustainable, cost-effective alternative in electrochemical sensing. Its unique physicochemical properties — high porosity, large surface area, and rich functional group composition — enable enhanced electron transfer and increased analyte adsorption, key elements in voltammetry-based sensor performance. Unlike conventional carbon nanomaterials (e.g., carbon nanotubes or graphene), biochar offers an eco-friendly, low-cost route to electrode modification, contributing to the development of greener analytical devices.

Recent studies have demonstrated that biochar-modified electrodes achieve comparable or even superior sensitivity and selectivity across a wide range of analytes, including heavy metals, organic pollutants, pharmaceuticals, and biomolecules. This remarkable performance is largely attributed to biochar's customizable structure, influenced by feedstock selection, pyrolysis conditions, and post-treatment activation. By carefully tuning these parameters, researchers can control surface functionality, microporosity, and conductivity, tailoring the biochar to target specific electrochemical applications.

Moreover, the versatility of biochar is further enhanced through decoration with nanoparticles (e.g., metal oxides, noble metals) and functionalization with enzymes or other biocatalysts. These modifications improve catalytic activity, promote selective analyte detection, and expand the range of detectable substances. For instance, biochar decorated with bismuth nanoparticles has shown excellent performance in the detection of trace heavy metals such as lead and cadmium, while enzyme-functionalized biochar has been successfully employed in glucose biosensing applications.

Beyond its electrochemical performance, biochar's production process aligns with the principles of green chemistry and circular economy. Derived from agricultural and industrial biomass waste, biochar transforms otherwise discarded materials into high-value, functional carbon structures. The pyrolysis process yields not only biochar but also bio-oil and syngas, further enhancing resource efficiency and reducing environmental impact.

By reducing reliance on expensive, synthetic carbon nanomaterials, biochar emerges not only as an efficient electrochemical enhancer but also as a key contributor to environmental sustainability and material circularity in sensor technology. As research continues to unveil new functionalization techniques and hybrid materials, biochar-modified electrodes stand poised to revolutionize the field of electrochemical sensing, paving the way for greener, more accessible analytical platforms.

Keywords: Biochar, Voltammetry, Electrochemical Sensors, Sustainable Materials, Electrode Modification, Green Chemistry

Contacts : nina.djukanovic@dh.uns.ac.rs; jelena.beljin@dh.uns.ac.rs; tamara.apostolovic@dh.uns.ac.rs; tijanam@dh.uns.ac.rs, jasmina.anojcic@dh.uns.ac.rs; sanja.mutic@dh.uns.ac.rs

The role Ofbiochar in carbon sequestration: contribution to the fight with climate changes

***Stefan Mijatović¹, Snežana Maletić¹, Marijana Kragulj Isakovski¹
Jelena Beljin¹***

¹Faculty of Science, University of Novi Sad, 2100 Novi Sad, Serbia

Abstract

Biochar, a stable form of carbon produced through the pyrolysis of organic materials, offers significant potential for mitigating climate change and supporting sustainable development. Pyrolysis involves heating biomass in a low-oxygen environment, producing biochar along with byproducts like bio-oil and syngas. This process ensures that carbon dioxide (CO₂) and other greenhouse gases (GHGs) are not released into the atmosphere, thus reducing the carbon footprint. The carbon-rich biochar produced is stable and can remain in the soil for extended periods, making it effective for long-term carbon sequestration.

Beyond carbon sequestration, biochar is valuable for improving soil health, especially in degraded or agricultural soils. It increases nutrient retention, reduces GHG emissions from soil, and enhances plant growth, making it a sustainable alternative to chemical fertilizers. Biochar's porous structure also improves water retention and nutrient cycling in soil, contributing to the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 2 (Zero Hunger) and SDG 15 (Life on Land).

Biochar plays a role in waste management by addressing organic waste disposal challenges. It aids in wastewater purification and contributes to cleaner water systems, supporting SDG 6 (Clean Water and Sanitation). Its applications extend beyond agriculture to industrial and environmental settings, including as a material for water filtration. Furthermore, renewable energy byproducts from biochar synthesis can support SDG 7 (Affordable and Clean Energy), providing an environmentally friendly alternative to fossil fuels.

In agriculture, biochar enhances soil fertility, boosts crop productivity, and helps mitigate climate change, aligning with SDGs 13 (Climate

Action) and 12 (Responsible Consumption and Production). It is also being explored as a sustainable alternative to cement in construction and as an anode material for lithium-ion and sodium-ion batteries, with potential for advancing energy storage technologies.

Despite its benefits, challenges remain in scaling biochar production and ensuring its cost-effectiveness. The feedstock used, pyrolysis conditions, and the quality of biochar produced can influence its effectiveness. Continued research is needed to optimize production methods, improve its applicability across ecosystems, and assess its economic viability in large-scale applications.

In conclusion, biochar offers a versatile approach to combating climate change, enhancing agricultural sustainability, and advancing environmental protection. Its role in carbon sequestration, soil health, waste management, and clean energy make it a crucial tool for achieving global sustainable development goals. Further exploration and optimization of its applications could position biochar as a key element in creating a sustainable, carbon-neutral future.

Keywords: Biochar, carbon sequestration, climate changes, greenhouse gases

Contacts : mijatovic96stefan@gmail.com;
snezana.maletic@dh.uns.ac.rs, marijana.kragulj@dh.uns.ac.rs,
jelena.beljin@dh.uns.ac.rs

Evaluation of Heavy Metal Uptake Efficiency in Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides*) Under Single and Mixed Contamination Conditions

Chuck Chuan NG¹

¹ *China-ASEAN College of Marine Sciences, Xiamen University Malaysia*

Abstract

Most phytoremediation studies have focused on single-contaminant systems without considering the interactions among co-existing heavy metals. This study evaluates the growth, metal accumulation, and uptake efficiency of *Vetiveria zizanioides* (Linn.) Nash in soils spiked with single and mixed heavy metals (Cd, Pb, Cu, and Zn). Metal accumulation in different plant parts (lower root, upper root, lower tiller, and upper tiller) was analyzed, along with the plant's relative growth performance, metal tolerance, and phytoextraction potential. Heavy metal concentrations in plant tissues were determined using flame atomic absorption spectrometry (F-AAS) after acid digestion. Key phytoremediation indices such as the root-to-tiller ratio (R/T), tolerance index (TI), translocation factor (TF), biological concentration factor (BCF), biological accumulation coefficient (BAC), and overall metal uptake efficiency were assessed to evaluate metal accumulation and translocation in Vetiver grass. No significant differences ($p > 0.05$) in plant height were observed across treatments compared to the control. However, metal accumulation in roots and tillers was significantly higher ($p < 0.05$) in metal-spiked soils, particularly in mixed contamination conditions. Vetiver grass grown in soils spiked with Cd + Pb + Cu + Zn accumulated the highest Zn (3322 ± 21.6 mg/kg), followed by Cu (430 ± 11.4 mg/kg), Pb (197 ± 13.5 mg/kg), and Cd (100 ± 0.7 mg/kg). Metal accumulation was greater in mixed-contaminant soils than in single-metal conditions, following the order Zn >> Cu > Pb > Cd. Lower roots and lower tillers exhibited a stronger tendency for metal uptake and accumulation across all treatments. These findings highlight the potential of Vetiver grass for phytoremediation in multi-metal contaminated environments.

Keywords: Mixed heavy metal, Vetiver grass, Contaminated soil, Heavy metal accumulation

Contacts: chuckchuan.ng@gmail.com

Green Industrial Areas

*Sperber, Milena*¹

¹ *Ministry of Economy, Infrastructure, Tourism and Labour
Mecklenburg-Vorpommern*

Abstract

Industrial and commercial areas produce high levels of greenhouse gases (GHG) and other emissions, and consume land, water and other resources. Around 30% of GHG emissions in Europe are caused by industrial production and manufacturing processes and business activities. In view of the EU climate targets, industrial areas should be designed to be resource-efficient and with minimized climate impact in order to contribute to the achievement of these goals and to reduce dependence on fossil fuels.

Companies and industrial areas around the world have introduced eco-label programs. However, there is no common standard defining what characterizes a “green” industrial area. The GreenIndustrialAreas project therefore brought together partners of different backgrounds from seven European countries to elaborate a standardized procedure for the certification of green industrial areas.

Following a test phase involving six industrial areas, the standard for certification of green industrial areas defines five criteria, of which one related to the use of at least 50 per cent renewable energies represents a minimum threshold. The other criteria are (i) Reduction of land consumption, (ii) Sustainable mobility and transport, (iii) Biodiversity and water management, and (iv) Circular economy and industrial cooperation. The resulting project output furthermore describes how other countries or regions could set up and implement a certification system. Additionally, a tool-box provides an overview of good practice approaches from different industrial sectors that demonstrate the added value of investments.

Keywords: energy transition, renewable energies, land use management, industrial areas, certification

Contact: m.sperber@wm.mv-regierung.de (+49 385 588-15506)

Shaping Tomorrow's Soil Health: A Focus on Prioritizing Contaminants of Emerging Concern (CEC) in soil and groundwater Investigations

***Antoine Zanutel, Louis Druon, Laura Lefèvre, Clément Laurent,
Karen Van Geert (Arcadis Belgium), Thomas Lambrechts (Attaché
qualifié Service public de Wallonie)***

Following the PFAS concerns occurring across the globe, The Walloon Minister of the Environment commissioned a study which aims to define recommendations for investigations and analyses of emerging contaminants for authorized soil experts in Wallonia, Belgium. Emerging contaminants are not always considered in soil and groundwater investigation study due to the lack of knowledge among the soil experts. The study focused on the following groups of contaminants of emerging concerns (CEC): PCB, Dioxins/furans, Phthalates and other plasticizers, Flame retardants, Bisphenols, Chlorobenzenes, Chloronaphthalenes (PCN), Short-chain chlorinated paraffins (SCCP), Hexachlorobutadiene (HCBd).

First, a review of all CEC was conducted by the Walloon public service (SPW) to focus on a certain number of families of contaminants. The selection was based on the knowledge already acquired by the Walloon authorities and the need to address the compounds in soil and groundwater investigation studies for local pollutions. Based on the selection of the CEC families, the study was divided in different phases.

Phase 1 involves the identification of all substances from the selected CECs, the pre-selection of relevant substances, literature research on physico-chemical and toxicological parameters, high-risk historical/current activities related to the substances, and analytical methods. A methodology has been formulated to gather all necessary information.

Approximately 1000 substances were initially listed across all substance families. A pre-selection of 220 substances was made based

on toxicological parameters (such as persistence and toxicity) and existing lists of concerning substances (such as the POP list, Norman list, etc.). Literature research was conducted on these 220 substances. Accredited laboratories in Wallonia were approached to provide details on analytical methods, quantification limits, and costs. Information on guidelines from other countries (such as France, the Netherlands, the UK, the USA, etc.) was also gathered.

Phase 2 of the study focused on developing a scoring system to prioritize substances and identify those which might lead to soil and groundwater pollution. A detailed methodology was developed to be able to input a score for each substance. Based on those data, Walloon public service will be able to provide guidance values for each identified substance.

In conclusion, the study highlights the critical importance of identifying and prioritizing emerging contaminants for investigations. By following a robust methodology and utilizing a comprehensive set of criteria, this study aims to enhance the understanding of pollutant risks and facilitate decision-making in investigation. The results of this study will contribute to the development of targeted investigation strategies related to CEC.

The presentation will cover a variety of emerging contaminants included in the study, along with details on the methodology and scoring system used to inventory and prioritize pertinent CECs in soil and groundwater investigations.

Keywords: Emerging contaminants, Soil and Groundwater, Toxicological Parameters, Prioritization/Scoring System

Contacts: antoine.zanutel@arcadis.com (+32 479 96 79 73),
louis.druon@arcadis.com, laura.lefevre@arcadis.com,
clement.laurent@arcadis.com, karen.vangeert@arcadis.com,
thomas.lambrechts@spw.wallonie.be

Application of RESRAD codes in Nigeria's gold mines land reclamation: from legacy to asset

Suleiman Bello^{1*}; John Simon²; Muiyiwa Michael Orosun³ and Margaret Chege⁴.

¹Department of Physics, Umaru Musa Yar'adua University Katsina, Nigeria (Speaker).

²Department of Physics, National Open University of Nigeria, Abuja, Nigeria.

³Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University, Fukushima, Japan.

⁴Physics Department, Kenyatta University—Mombasa Campus, PO Box 16778, Mombasa, Kenya

Abstract

Mining activity in Nigeria is a key driver of deforestation, contributing to the nation's annual loss of approximately 400,000 hectares of forest - which deepens food insecurity. To reclaim the contaminated land, environmental remediation is necessary depending on the nature of the contamination and many other social and economic considerations. Environmental remediation in the context of radiological impact assessment is defined by the international atomic energy agency, as any measure that may be carried out to reduce the radiation exposure due to existing contamination of land areas. This is achieved through either modifying the source of the contamination or the exposure pathways to humans. This work presents the framework of processes that can be applied based on the modelling framework of residual radioactivity code to effect the environmental remediation of a typical contaminated gold mining site in Nigeria. It further demonstrates the impact of changing cover size (cover depth, density of contaminated material and cover erosion rate) on the radiation dose, excess lifetime cancer risks and the soil concentration guides (clean up criteria). The methodology if applied carefully will help, not only in risk reduction but also in value creation through soil reclamation.

Keywords: Environmental Remediation, Radiological Dose, Cancer Risk, RESRAD, Land Reclamation.

Contacts: suleiman.bello@umyu.edu.ng (+2348166791940), sjkahugu@yahoo.com, orosun.mm@unilorin.edu.ng and chege.margaret@ku.ac.ke).

Intervention methodologies in response to industrial emergencies in case of spills into surface waters

Romualdo Marrazzo¹

¹ ISPRA. via V. Brancati, 48 - 00144 Roma, Italia (speaker)

Abstract

Risk assessments related to industrial plants in which hazardous substances are present, including those dangerous for the environment, are regulated by the Seveso III Directive, which provides for the adoption of suitable measures to prevent risks and limit the consequences of accidents to protect human health and the various environmental matrices (water, subsoil, surface and underground components). This work aims to explain part of the activities carried out by ISPRA to frame the problem of the integrated assessment and management of environmental risks of major accidents in critical industrial areas, focusing attention on the characterization of prevention and mitigation interventions for the consequences of releases of hazardous substances in surface waters, to be implemented in the early stages (short and medium term) of the emergency.

The work first involved the analysis of some cases relating to events that occurred internationally, with accidental release of substances dangerous for the environment in surface waters. A reasoned survey was carried out of the main intervention methodologies and techniques used in response to the emergency in the event of spills of substances hazardous to the environment in surface waters.

A dissemination of the techniques and products used to reduce or recover the polluting substance during the emergency management intervention phase was then conducted. Among the techniques, the following are identified: Immediate intervention measures, Initial cleaning operations, and Decontamination and restoration techniques. As regards the products, the following are recalled: Dispersing substances, Gel-forming agents, Surface washing agents, Demulsifying agents, and Biological agents.

Starting from the comparison of the known techniques for the prevention and mitigation of the consequences of accidents with "real" situations of management of events, an attempt was made to outline the possible actions aimed at managing the initial phases of the environmental emergency, following the spill of hazardous substances in surface waters. These general schemes differ based on the chemical-physical behavior of the substances involved once spilled into water, varying the impact depending on nature and hazards. It can therefore be concluded that the reconnaissance and technical analysis of the main interventions for the prevention and mitigation of the consequences of accidents known at the international level and the comparison with "real" situations of management of events has highlighted the possibility of identifying some fundamental principles to be adopted depending on the situation. Starting from the basic knowledge of the reality of the plant and the surrounding area, through the initial analysis and study of the risks, originating within the plant, which propagate to the external environment, those responsible for emergency management should constantly monitor the evolution of the situation concerning the pollutants involved, the conditions of the water and the atmosphere and the "in situ" intervention operations. This involves a re-definition of the intervention priorities, ensuring that the techniques are adequately implemented regarding the available means and the related timescales.

Keywords: Seveso, accidents, spills, surface, water

Contacts: romualdo.marrazzo@isprambiente.it (+393285603629)

Cost and Material Estimations for Decommissioning and Repowering Utility-Scale PV Plants

Alberto Pico, Cara Libby, Robin. Bedilion, Anand Kumar, Nicolas Marx

¹ EPRI EUROPE and EPRI

Abstract

Sustainable PV development requires considering the entire life cycle, including end-of-life (EOL) management. Few utility-scale plants have been fully decommissioned or repowered, and public data on costs and plant composition are limited, creating uncertainty. This study aims to better estimate end-of-life considerations, including net decommissioning and repowering costs, responsible management of PV components (reuse or recycling), and salvage value. It also seeks to quantify materials generated during decommissioning and repowering to promote upcycling and enhanced end markets.

High-level cost and material estimates were developed for decommissioning and repowering four conceptual utility-scale PV and battery energy storage system (BESS) plants. The base case is a modern 200-megawatt (MWAC) design with 575 WDC modules and single-axis tracking. Other cases explore how fixed-tilt racking, plant size, module size, BESS, and other design variables affect costs.

Salvage value is applied for steel, copper, and aluminum.

Subcontracts make up the largest share of direct costs, driven by recycling and disposal of major components like PV modules and batteries. Labor is the second largest component due to the intensive work to dismantle and remove equipment and restore the site. Fixed-tilt systems have lower decommissioning costs due to less labor, materials, and heavy machinery needed to remove the racking structure. Older PV systems with lower-capacity modules result in more modules to remove per unit of capacity, impacting labor and recycling costs. The addition of a BESS significantly affects subcontract costs.

For a 200-MWAC, PV modules represent almost 30% of total material by weight. Balance of plant materials include concrete foundations, crushed stone surfacing, fencing, building debris, racking, transformers, inverters, and wiring.

Conceptual plant design cases include a large utility-scale PV plant base case with modern modules and single-axis tracking (SAT), a PV + battery energy storage system (BESS) case, a variation of the base case with fixed-tilt arrays, and a smaller utility-scale system with lower capacity modules.

Diamonds indicate net costs. Subcontracts, making up 56% to 70% of total direct costs, are driven by recycling and disposal of major components like PV modules and batteries. Labor is the second largest component due to the intensive work to dismantle and remove equipment and restore the site. The fixed-tilt system (Case 3) has lower decommissioning costs per MW than the SAT Base Case due to less labor, materials, and heavy machinery needed to remove the racking structure.

Case 4, an older system design with lower-capacity modules, results in more modules to remove and disposition per unit of installed capacity, impacting labor and recycling costs. The BESS in Case 4 significantly affects subcontract costs, as it includes recycling costs for the batteries.

PV modules represent almost 30% of total material by weight (Figure 2). Balance of plant materials include concrete foundations, crushed stone surfacing, fencing, building debris, racking, transformer, inverters, and wiring.

*Contacts: clibby@epri.com, apico@epri.com, rbedilion@epri.com,
akumar@epri.com, nmarx@epri.com*

Common Reed-Based Nanomaterial for Remediation of River Sediment

Nataša Slijepčević¹, Dragana Tomašević Pilipović¹, Dunja Rađenović Veselić¹, Nataša Duduković¹, Slaven Tenodi¹

¹University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Serbia

Abstract

Phragmites australis, or common reed, is a perennial grass with a broad distribution, capable of thriving in diverse environmental conditions, including acidic, saline, and alkaline habitats. It adapts well to various soil types. However, its rapid vegetative growth and high biomass production can reduce biodiversity and lower the recreational value of riverbanks. Despite this, common reed biomass serves as a valuable resource for synthesizing zero-valent iron nanoparticles (nZVIs), which have proven effective in pollutant remediation. Contaminated river sediments, particularly those containing toxic metals, present a significant environmental challenge. Stabilization techniques incorporating inorganic amendments can aid in immobilizing these metals and minimizing their environmental impact. This study simultaneously tackles two environmental concerns: repurposing common reed biomass, an agro-industrial byproduct, for the biosynthesis of nZVIs and remediating metal-contaminated sediment from the same site. The effectiveness of the applied treatment was evaluated using the ANS 16.1 leaching test. The results demonstrated that the mixtures of sediment and nZVIs were different with some mixtures showing higher leached percentages compared to others, suggesting differences in the effectiveness of the stabilization treatment for different metals. The diffusion coefficients of metals from mixtures range from E-06 to E-11 cm²s⁻¹, so it can be concluded that most metals are moderately mobile to environment. The results of leaching index (LX) indicate a moderate level of metal immobilization, which effectively minimizes the risk of leaching into the environment but does not necessarily meet the higher standard required for controlled use applications, and it is

different for every investigate potentially toxic metal. Based on these findings, the results suggest that although common reed-nZVI plays a role in metal immobilization, its effectiveness may be relatively limited compared to other stabilizing agents.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the financial support of the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (Grants No. 451-03-137/2025-03/ 200125 & 451-03-136/2025-03/ 200125).

Keywords: sediment; remediation; stabilization; nZVI; metals

Contacts : natasa.slijepcevic@dh.uns.ac.rs

dragana.tomasevic@dh.uns.ac.rs; dunja.radjenovic@dh.uns.ac.rs;

natasa.varga@dh.uns.ac.rs; slaven.tenodi@dh.uns.ac.rs;

The agricultural potential of struvite produced via electroprecipitation from wastewater in comparison to commercial fertilizers

***Nataša Duduković¹, Nataša Slijepčević¹, Anita Leovac Maćerak¹,
Branko Kordić¹, Srđan Rakić¹, Đurđa Kerkez¹***

*¹University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Trg Dositeja Obradovića 3,
21000 Novi Sad, Serbia (e-mail: natasa.varga@dh.uns.ac.rs)*

Abstract

Struvite ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) is a fertilizer recognized as an effective solution for the recovery of phosphorus and nitrogen (N) from various matrices, providing a sustainable alternative to conventional fertilizers. Electroprecipitation of struvite eliminates the need for external magnesium addition from chemical sources, allowing for precise pH regulation without the use of additional chemicals. During the electroprecipitation process, magnesium ions (Mg^{2+}) are released from the anode via anodic dissolution under the influence of the applied electric current, as the process relies on a Mg:N:P molar ratio of 1:1:1. In this study, the agronomic potential of struvite obtained by electroprecipitation (EP) from wastewater was evaluated and compared with commercial fertilizers in terms of nutrient composition. Nitrogen, phosphorus, and potassium are three key macronutrients that play a vital role in enhancing agricultural productivity. These nutrients are essential for plant growth and development, as they influence various processes such as photosynthesis, protein synthesis, and the formation of roots, flowers, and fruits. All of these nutrients are commonly applied in agriculture through various types of fertilizers to ensure optimal plant nutrition. Given this importance, the contents of P, N, and K in the obtained struvite were determined. The analysis indicates that the struvite obtained through electroprecipitation treatment of wastewater contains 7.8% P, 9.3% N, and 8.1% K. These high concentrations of beneficial components can be competitive with commercial fertilizers such as DAP (diammonium phosphate), MAP (monoammonium

phosphate), TSP (triple superphosphate), and NPK 10-10-10 fertilizers, even when different molar ratios are present in the obtained materials. These findings highlight the potential of electroprecipitated struvite as an environmentally acceptable alternative to commercial phosphate fertilizers. Its recovery from wastewater not only supports the principles of the circular economy but also reduces dependence on non-renewable phosphate rock, addressing global challenges related to phosphorus sustainability. Further research is needed to optimize application strategies and assess their long-term impact on soil health and crop productivity.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the financial support of the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (Grants No. 451-03-137/2025-03/ 200125 & 451-03-136/2025-03/ 200125).

Keywords: struvite, agronomic potential, electroprecipitation, sustainable alternative, nutrients

Contacts: natasa.varga@dh.uns.ac.rs (+381 69 5046050),
natasa.slijepcevic@dh.uns.ac.rs; anita.leovac@dh.uns.ac.rs;
branko.kordic@dh.uns.ac.rs; rdjan.rakic@dh.uns.ac.rs;
djurdja.kerkez@dh.uns.ac.rs

RISE: Engineering contaminated soils for Re-Use

Tommy Shearer¹

¹ Fellow & Chartered Environmentalist, Chartered Institute of Waste Management, Member - Society of Environmentalists, Member - Institute of Engineers of Ireland –

Abstract

Practical Waste Solutions Ltd (PWS) is based in Northern Ireland with business activities extending throughout United Kingdom and Republic of Ireland. PWS specialises in the investigation, assessment and remediation of contaminated land and has developed RISE, assisting the construction and environmental industries. RISE is an acronym for Road-binders for Immobilisation, Stabilisation and Environment, comprising encapsulation of contaminants in tandem with creating a high strength engineered material to enhance the engineering and remediation capabilities of soils.

RISE incorporates a systematic methodology for characterizing soils, developing a remediation strategy and process engineering using a revolutionary mineral to enable their re-use on site as a viable construction material. RISE transforms the landscape of construction materials by offering a sustainable solution to the encapsulation of contaminants within soils. Our methods create a high- strength, workable, and hydrophobic/oleophobic construction material, addressing environmental concerns associated with contaminated sites while meeting the demands of modern construction projects.

From a waste management/soil classification perspective, contaminated soils previously classified as non-hazardous and hazardous can be demonstrated as inert via laboratory analysis.

The encapsulation process involves mixing contaminated soils with a combination of cement and RISE mineral, depending on the intended use of the engineered soil and temperature fluctuations experienced by the site/project location.

Scenario 1: Surface/sub-surface use of the RISE engineered soil with little exposure to extreme freeze/thaw cycles.

2% cement by weight of soil and 2% RISE mineral by weight of cement

Scenario 2: Surface use of RISE engineered soils with mid to long term exposure to extreme freeze/thaw cycles 4% cement by weight of soil and 4% RISE mineral by weight of cement

Benefits of RISE encapsulation & engineering:

The encapsulation of contaminants using the RISE offers numerous benefits for environmental remediation and construction projects:

1.Environmental Protection: By encapsulating contaminants within a durable matrix, RISE helps prevent leaching and dispersion into soil and water bodies, minimizing environmental risks and safeguarding ecosystem health.

2. Sustainable Remediation: RISE provides a sustainable alternative to traditional soil remediation methods, reducing the need for excavation, transportation, and disposal of contaminated soils. This not only conserves natural resources but also minimizes carbon emissions associated with soil disposal.

3. Enhanced Construction Materials: The creation of RISE engineered soils improves the properties of the material, resulting in stabilized, high-strength, workable, and waterproof/oilproof materials. These materials can be used for various construction applications, including road base, embankments, sub-surface strength, and retention structures.

4.Cost Savings: RISE engineering and encapsulation offers cost savings compared to traditional remediation methods, as it eliminates the need for extensive excavation, transportation, and landfill disposal of contaminated soils. Additionally, the durable nature of encapsulated materials reduces long-term maintenance costs associated with infrastructure assets.

5.Regulatory Compliance: RISE engineering and encapsulation helps meet regulatory requirements for soil remediation and construction projects, ensuring compliance with environmental standards and regulations. Its proven effectiveness in immobilizing contaminants provides assurance of environmental safety and regulatory compliance.

Contacts: tommy@pwsenvironmental.com

Regenerating Cities, Rethinking Waste: Circular Use of Excavated Soils through On-Site Earth Block Production

Ibon Lekue¹, Eduardo Alzola², David Pampliega³, Nerea Duroudier⁴, Paula Garrido⁵, Mari Luz Artíguez⁶, Unai Reyes⁷, José Antonio Capón⁸

Abstract

Purpose of the study

The Zorrotzaurre district in Bilbao, Spain, is currently undergoing a major urban transformation to convert a post-industrial peninsula into a climate-resilient and energy-efficient residential hub. As part of this process, extensive excavation works are being carried out, generating large quantities of estuarine clayey silt—mostly non-contaminated, yet geotechnically weak and unsuitable for landfilling or agricultural use. Traditional remediation strategies focus primarily on contaminated soils, but the volume and characteristics of non-polluted excavated material often go underexplored. In this context, AFESA Medio Ambiente has developed an innovative circular engineering approach that reimagines excavated “waste” as a resource for sustainable construction.

Methodology

Representative samples of the excavated clayey silt were collected and characterized through chemical and geotechnical testing. Non-contaminated samples were selected for stabilization trials using a range of binders, including lime, geopolymers, and low-carbon cements. A formulation based on a low-carbon Portland cement was selected for its optimal performance. A pilot plant was then installed on-site to produce compressed stabilized earth blocks (CSEB), which were tested according to the UNE 41410:2023 standard. The field trials aimed to assess the material’s viability for integration into the construction process within the same redevelopment area.

Findings / Results

The CSEB produced with the stabilized clayey silt fulfilled the structural requirements of UNE 41410:2023, demonstrating average dry compressive strengths exceeding 12 MPa. These results validate

the feasibility of using this material for non-load-bearing structural applications such as internal partition walls, paving elements, and other architectural features.

Conclusions

This project illustrates how circular thinking can reshape urban regeneration strategies by giving value to marginal excavation materials. The successful production of compliant earth blocks from local silt not only reduces the need for virgin aggregates and external transport, but also lowers the carbon footprint of construction activities while fostering local material self-sufficiency.

Significance / Contribution of the study

The study challenges the conventional dichotomy between “contaminated” and “non-contaminated” soils by highlighting the critical role of soil quality and reuse potential in brownfield redevelopment. While remediation often focuses on pollutants, excavated volumes of geotechnically inadequate soil can become an overlooked obstacle—or a hidden opportunity. The proposed approach demonstrates how site-specific circular solutions can unlock the full material value of excavated soils, encouraging the collaboration of environmental engineers, geotechnical experts, and architects to co-design sustainable, low-carbon, and context-sensitive construction materials. In doing so, it contributes to a broader paradigm shift: regenerating cities by rethinking what we discard.

Keywords: circular construction, earth blocks, material reuse, Zorrotzaurre, brownfield remediation

Contacts: *ilekue@afesa.es (+34 674079205), ealzola@afesa.es, dpampliega@afesa.es, nduroudier@afesa.es, pgarrido@afesa.es, mlartiguez@afesa.es, ureyes@afesa.es, jcapon@afesa.es.*

In-situ immobilization of heavy metals in estuarine pyrite ash deposits through low-pressure alkaline injection

Ibon Lekue¹, Eduardo Alzola², Nerea Duroudier³, Bárbara Angulo⁴, Mari Luz Artíguez⁵, Unai Reyes⁶, José Antonio Capón⁷

Abstract

Objectives

Roasted pyrite ash, a by-product of sulfuric acid production, contains elevated levels of heavy metals and is often found in anthropized soils due to its historical use as filling material. Its presence in degraded landscapes, particularly in estuarine zones, poses an environmental risk due to its tendency to release toxic metals into soil and water systems. Traditionally, remediation has relied on excavation and landfilling, but current trends favor less disruptive and more cost-effective alternatives. This study explores the feasibility of an in-situ stabilization approach using low-pressure injection of an alkaline reagent to treat metal-contaminated soils with low permeability in a northern Spanish estuary.

Approach

A preliminary site investigation was conducted to locate areas with the highest mobility of heavy metals. Samples of soil and groundwater from these hotspots were collected and analyzed. In the lab, a selection of alkaline reagents was tested to identify the most effective stabilizer. Column tests were conducted under both saline and freshwater conditions, considering the proximity of the estuarine environment. The selected reagent demonstrated favorable performance in reducing metal mobility.

Following the laboratory phase, a pilot-scale field test was implemented using SPIN® (Injectis N.V.), a low-pressure injection system tailored for low-permeability matrices like roasted pyrite ash fills. The reagent was injected at six locations across the test area. Groundwater quality was tracked before, during, and up to six months post-injection, evaluating reagent distribution, radius of influence, and variations in metal concentrations.

Key results

The laboratory tests confirmed the ability of the chosen alkaline reagent to significantly curb the release of metals such as arsenic, cadmium, nickel, and lead from pyrite ash. Even in the presence of saline conditions, which typically enhance metal solubilization, the treatment effectively reduced metal concentrations in leachates. In the field, injections were performed at an approximate dosage of 2000 liters per linear meter, achieving a treatment radius of 3 meters. Monitoring one month after the intervention indicated a notable decrease in dissolved heavy metals in the groundwater.

Conclusions

The combined use of an alkaline reagent and low-pressure injection technology has proven effective for in-situ stabilization of roasted pyrite ash in low-permeability soils. The method offers a viable alternative to excavation-based strategies, with promising results in terms of efficiency and cost. Further monitoring will be essential to validate the durability of the treatment over time.

Contribution

This work contributes to the advancement of in-situ remediation methods, offering empirical data on the performance of alkaline injection technologies for immobilizing heavy metals in complex, estuarine soil-sediment-water systems.

Keywords: pyrite ash, in-situ treatment, alkaline injection

Contacts: ilekue@afesa.es (+34 674079205), ealzola@afesa.es, nduroudier@afesa.es, bangulo@afesa.es, mlartiguez@afesa.es, ureyes@afesa.es, jcapon@afesa.es.

Advanced Artificial Intelligence for On-Site Hydrocarbon, VOC and Chloride Detection: Real-Time Measurements with High Confidence

Abstract

Petroleum hydrocarbons and chlorides, often resulting from spills and other industrial activities, present significant challenges to both ecological systems and human health. Traditional methods for field evaluation of these contaminants can be fraught with challenges, including human error, environmental variability, and calibration issues. Due to this, making reliable field-level decisions can be an uncertain, complex and costly endeavor.

The advent of Artificial Intelligence (AI) in environmental management heralds a new era in soil testing and characterization. This presentation will introduce AI based systems that provide real-time predictions of contamination levels. These can deliver precise data within 20 minutes and achieve over 95% accuracy in identifying contamination levels that exceed regulatory criteria. This dramatically reduces reliance on traditional laboratory analyses, particularly for urgent field-level decisions, thereby accelerating both environmental assessments and remediation efforts.

This presentation will chart the development trajectory of sensor technology, emphasizing the critical integration of AI. We will explore real-world applications in detecting petroleum hydrocarbons and chloride concentrations, presenting case studies that illustrate how artificial intelligence has and will continue to revolutionize site assessment and remediation strategies and tools.

Authors

Jevins Waddell, P. Tech.(Eng), President of TRIUM Environmental Inc., has over 25 years of experience in environmental assessment, remediation, and risk analysis. He leads North American operations for TRIUM Environmental and ecoAI Innovates, pioneering AI solutions with advanced sensors and measurement systems.

B.J. Min, M.Eng., P.Eng., CEO of TRIUM Environmental Inc., and the President & CEO of its subsidiary, ecoAI Innovates Inc., which focuses on AI-based environmental applications. He has more than 30 years of experience in development and commercialization of various innovative environmental technologies and, in recent years, has driven AI development initiatives aimed at commercializing AI-powered environmental applications.

Impact of water matrix on persulfate activation efficiency for the removal of lindane and β -endosulfan using corn cob biochar

Tijana Marjanović Srebro¹, Nina Đukanović¹, Tajana Simetić¹, Tamara Apostolović¹, Jasmina Anojić¹, Sanja Mutić¹, Jelena Beljin¹

¹Faculty of Sciences, University of Novi Sad, 2100 Novi Sad, Serbia

Abstract

This study investigated the degradation of lindane and β -endosulfan ($C_0=100\text{ }\mu\text{g/L}$) using biochar derived from corn cobs pyrolyzed at 700°C as a heterogeneous catalyst for persulfate activation (3 mM, optimal concentration). The experiments were performed in both real surface water and deionized water (DI), in duplicate, at varying contact times (0.5–4.0 h) to evaluate the effect of the matrix on process efficiency.

The results showed that β -endosulfan removal was more efficient in DI water than in surface water, whereas lindane removal was more efficient in surface water when comparing the two pesticides. This highlights the significant influence of the matrix on process efficiency. The presence of natural organic matter (NOM) in surface water generally reduced efficiency, possibly due to competition for reactive radicals generated during persulfate activation. Furthermore, the presence of nitrogen, phosphorus, and ammonia in surface water may have further decreased radical availability, leading to a reduction in oxidation efficiency.

After 4 hours, lindane removal efficiency was higher in surface water than in DI water, likely due to its increased bioavailability in the presence of organic matter. In contrast, β -endosulfan showed a lower removal rate in the presence of organic matter, likely because it interacts with NOM, reducing its availability for oxidation.

Although the presence of real matrix components generally reduces pesticide removal efficiency compared to DI, the catalytic system employed demonstrates significant potential for treating waters

contaminated with organochlorine pesticides. These findings highlight the importance of further research to elucidate the role of individual matrix components in oxidation processes, ultimately aiding in the optimization of pesticide removal strategies for various water matrices.

Keywords: Pesticides, catalytic degradation, biochar, persulfate activation, real surface water

Contacts: tijanam@dh.uns.ac.rs, nina.djukanovic@dh.uns.ac.rs,
tajana.djurkic@dh.uns.ac.rs, tamara.apostolovic@dh.uns.ac.rs,
jasmina.anojcic@dh.uns.ac.rs, sanja.sekuljica@dh.uns.ac.rs,
jelena.beljin@dh.uns.ac.rs.

Local pollutions of PFAS in soil and groundwater – Feedback from Belgium (Wallonia)

Thomas Lambrechts¹, Océane Liegeois¹, Bénédicte Dusart¹, Marie Jailler², Jean-François Heilier², France Baumans², Marie Heeren², Sophie Crevecoeur³, Emilie Séleck³, Pierre Jacquemin³, Christophe Lambert³, Xavier Veithen³, Damien Gillard³

¹ Service public de Wallonie, ² SPAQuE – Société Publique d’aide à la qualité de l’environnement, ³ ISSeP – Institut Scientifique de Service Public

Abstract

The SPW – Public Service of Wallonia (southern region of Belgium) published updated guidelines for PFAS in March 2025. These guidelines are intended for soil experts conducting studies on local soil and groundwater pollutions, within the legislative framework of the “Soil Decree”.

These guidelines are based on the results of several years of soil studies on PFAS and a comprehensive literature review. They were developed with the technical support of two public scientific institutes, ISSeP and SPAQuE.

These guidelines aim to address PFAS-related risk activities, analytical methods, interpretation of concentrations in relation to threshold values, and risk assessment for human health and the environment. The objective of this presentation is to provide feedback on specific topics.

Regarding PFAS-related risk activities, one of the main challenges is that industrial entities are often unaware they are using PFAS in their processes, due to the complexity of interpreting safety data sheets. Another challenge is the historical and current backfilling of industrial or commercial land, where certain types of materials containing PFAS are used.

The PFAS issue necessitates a thorough review of investigation strategies used for traditional pollutants such as metals, PAHs, hydrocarbons and solvents.

This particularly concerns analytical methods, for which no consensus is currently observed in the literature. We recommend a specific method for 42 substances, defined by VITO in Flanders, to ensure the homogeneity of analyses in Belgium. This method appears sufficient to identify the presence of pollution for most activities and to perform fingerprinting. However, it shows limitations for risk assessment and the sizing of remediation projects and should ideally be supplemented by non-specific analyses.

Another issue concerns soil analyses, which have certain limitations. At several sites, experts relied solely on soil analyses, thus overlooking significant contamination. Groundwater and surface water analyses should be conducted almost systematically, but this message is difficult to convey to soil experts. Moreover, these water analyses sometimes entail significant additional costs, necessitating the definition of customized investigation strategies for each site.

In the absence of European directives, each country sets its own threshold values for soil, unlike for groundwater. We work with specific values for each measured PFAS, rather than a sum or weighted sum. These standards are based on two risk values, one for human health and the other for leaching risks. This system is constantly being evaluated to ensure our values are consolidated. However, we would like to see harmonization of standards at the European level.

Keywords: PFAS, related risk activities, investigation strategy, risk assessment, fingerprinting

Contacts: thomas.lambrechts@spw.wallonie.be (+32 81 33 65 39), oceane.liegeois@spw.wallonie.be, benedicte.dusart@spw.wallonie.be, m.jailler@spaqua.be, jf.heilier@spaqua.be, f.baumans@spaqua.be, m.heeren@spaqua.be, e.seleck@issep.be, s.crevecoeur@issep.be, p.jacquemin@issep.be, ch.lambert@issep.be, x.veithen@issep.be, d.gillard@issep.be

Efficiency of PGPR-biochar catalyst in optimization of *Zea Mays* l. cultivation in marginal soil

***Aigerim Mamirova*^{1*}, *Almagul Baubekova*¹, *Zhuldyz Batykova*¹,
*Tatyana Stefanovska*², *Abdulmannan Rouhani*³, *Hana Burdova*³,
*Valentina Pidlisnyuk*³**

¹ Department of Biotechnology, Faculty of Biology and Biotechnology, Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan; ² Department of Entomology, National University of Life and Environmental Sciences, Ukraine; ³ Faculty of the Environment & Faculty of Science Jan Evangelista Purkyně University, Czech Republic.

Abstract

In last decades, biochar has gained recognition for its ability to ameliorate soil properties, increase crop productivity, and store carbon long-term, thereby contributing to climate change mitigation. However, recent studies have increasingly highlighted the controversial effects of biochar on plant development when used as a soil amendment. The biochar stability presents challenges in terms of nutrient availability to soil microbiota and plants, particularly when applied to nutrient-deficient soils or as a tool to mitigate stress induced by soil contamination. In this context, the current study aimed to test whether immobilising a PGPR strain, *Bacillus thuringiensis* AS31, on the surface of plant-based biochar could enhance the productivity of *Zea mays* L. grown in marginal soil, compared to sole biochar application. For this purpose, soil, biochar, and *Z. mays* parameters were monitored under greenhouse conditions over one vegetation period. The biochar was produced via pyrolysis of pelletised *Miscanthus* waste biomass using a field-scale 100 L open-source reactor at 600 °C, with an energy consumption of 3.0 W kg⁻¹, a biochar yield of 22%, and a retention time of 4 h under limited oxygen conditions. The results showed that the incorporation of biochar alone had the only effect on plant root length, reducing it by 28.3% compared to the unamended control. In contrast, PGPR-biochar catalyst significantly improved plant yield by 34.0%. This improvement is likely attributable to the enhanced priming effect of biochar, which

stimulated carbon mineralisation, increasing its bioavailability for soil microbiota and plants. By the end of the experiment on day 69, total organic carbon (TOC) in soil amended with the PGPR-biochar catalyst in the presence of *Z. mays* was significantly lower (by 30.8%) compared to sole biochar treatment, evidencing carbon utilisation. This finding was further supported by an increase in the *cy/pre* ratio (by 13.3%) of soil microbiota compared to the unamended control, alongside a shift in the dominant bacterial community from Gram⁺ to Gram⁻ bacteria. Notably, microbial biomass (PLFA) and plant chlorophyll content index (CCI) decreased in the presence of the PGPR-biochar catalyst by 29.4% and 22.5%, respectively, suggesting that the soil microbial community may require more time to adapt to the environment established by the introduction of the PGPR-biochar catalyst. Overall, the incorporation of the PGPR-biochar catalyst demonstrated a strong positive correlation with plant yield ($r = 0.84$), confirming the rationale of immobilising PGPRs on biochar.

Keywords: Bacillus thuringiensis, PGPR-biochar complex, Zea mays L., soil carbon, microbial community.

Acknowledgement: This study was supported by project AP23490702, CS MSHE, Kazakhstan, and project NATO SPS MYP "MilClimATech" G6094.

Contacts: Aigerim.mamirova@mail.com (+ 7 702 348 80 09), almaqul.baubekova@kaznu.edu.kz; batygova@gmail.com; tstefanovska@nubip.edu.ua; abdulmannan.rouhani@ujep.cz; hana.burdova@ujep.cz; valentyna.pidlisniuk@ujep.cz

Nature-Based Soil Remediation Techniques: Agroforestry as a Sustainable Solution

Haryatie Sarie¹

¹ *Politeknik Pertanian Negeri Samarinda*

Abstract

Soil pollution is an increasingly pressing environmental problem, threatening ecosystem quality and human health. Soil remediation, especially nature-based approaches, is a major focus in mitigation efforts. Agroforestry, as an integrated land management system between trees and agricultural crops, offers an innovative and sustainable solution. Phytoremediation, rhizoremediation, and mycoremediation mechanisms that occur in agroforestry allow plants to absorb, degrade, and immobilize soil pollutants. The selection of plant species, especially hyperaccumulators and native species, is crucial in determining the success of the remediation process. The implementation of agroforestry involves careful planning, from the land preparation stage to long-term maintenance. Despite facing a number of challenges, such as the selection of the right species and adaptation to diverse environmental conditions, agroforestry has proven effective in restoring the quality of polluted soil. Therefore, further efforts are needed to encourage the wider implementation of agroforestry as part of a sustainable environmental management strategy.

Keywords: soil remediation, agroforestry, phytoremediation, rhizoremediation, mycoremediation, hyperaccumulators, native species, sustainability.

Contacts: : yatie787@gmail.com

The Future of Environmental Remediation: Innovative Automation and Bioremediation Solutions in Remote Areas

*José Eduardo Blanco Querido¹, Carlos Cesar Malta de Oliveira²,
Sandro Souto de Souto³, Elisandra Hernandes da Fonseca⁴ Herbert
Willes Farias de Amorim⁵*

*¹ Finkler sustainable technologies, ^{2,3,4,5} Finkler sustainable
technologies*

Abstract

The remediation of isolated areas contaminated by petroleum-derived hydrocarbons presents significant challenges due to limited access, lack of infrastructure and the complexity of contamination. These challenges are further amplified when the affected areas are remote, increasing the challenges in access and implementation of remediation solutions.

To address these challenges, an innovative and efficient solution has been developed: a fully automated Pump & Treat system designed to operate in remote and isolated areas. This system combines solar energy and power generators, eliminating the need for a connection to the power grid and reducing the environmental impact. Additionally, the system is equipped with 24-hour surveillance cameras and uses satellite technology for communication, allowing remote monitoring and control from any location with internet access. The efficiency and safety of the system are ensured by a series of sensors. Water level and gas sensors continuously monitor the system's conditions preventing accidents and ensuring safe and continuous operation. Flow, vacuum, and volume monitoring provide real-time data on the system's performance, enabling continuous evaluation of the remediation process's effectiveness.

This dynamic control system supports the adjustment of the pumps operating parameters, optimizing contaminant removal and groundwater extraction, maximizing the efficiency of the remediation process.

These automation and monitoring solutions have been complemented by another innovation: the reinjection of the pumped water into the soil after its extraction and with the addition of

innovative biosurfactants and bioremediators. This reinjection is done through the Direct Push technique.

This technique is used to enable precise control of injection pressure and flow rates, optimizing the bioremediation process of soil and groundwater by more efficiently degrading contaminants.

As an additional benefit, the need for effluent transportation and destination is reduced or eliminated, reducing the carbon footprint, operational costs, and increasing the sustainability of the process.

This fully automated and remotely controlled environmental remediation solution represents a significant advancement in the field of environmental remediation. By combining cutting-edge technologies, such as solar energy, satellite communication, and automated control, with advanced effluent treatment and reinjection techniques, this solution provides an efficient, cost-effective, and sustainable response to the challenges of remediating remote hydrocarbon-contaminated areas, turning environmental problems into success opportunities and contributing to environmental preservation.

Keywords: Remediation, system Automation, Bioremediation, Remote Areas, Sustainable Solutions

Contacts:

¹ eduardo@finkler.eng.br (+55 19 98111-7022)

² cesar@finkler.eng.br

³ sandro@finkler.eng.br

⁴ elisandraf@finkler.eng.br

⁵ herbert@finkler.eng.br

Optimization of Soil Health and Agronomic Performance: Effects of Integrated Tillage Systems and Nutrient Management Strategies on Growth Dynamics and Yield of Lowland Rice (*Oryza sativa* var. NSIC RC 222)

Clea Anne V. Corsiga¹, and Marciano D. Tangpos²

^{1,2} Cebu Technological University-Barili, Cagay, Barili, Cebu, Philippines

Abstract

A split-plot study was conducted on lowland rice (*Oryza sativa* var. NSIC RC222) under conventional (M1) and minimum (M2) tillage systems using different fertilizer treatments (T₁-control; T₂ - Organic fertilizer at 2 t ha⁻¹ (combination of rice straw compost, chicken manure dried, and carbonized rice hull at 1:1:1 ratio); T₃ - Organic fertilizer (same as T₂) + inorganic fertilizer at a rate of 60-30-30 kg/ha N-P₂O₅-K₂O; and T₄ - Inorganic fertilizer at the rate of 120-60-60 kg N-P₂O₅-K₂O) to compare the growth and yield performance of rice plant and evaluate the effects of inorganic and organic fertilizers under different tillage systems.

The study's findings have practical implications for rice cultivation. Both Conventional Tillage and Minimum Tillage systems were found to have similar effects on the growth and yield of lowland rice. The use of integrated inorganic and organic fertilizers was shown to be more effective than no fertilizer or organic fertilizer alone. However, the study also found that the use of inorganic fertilizer alone (T₄) produced comparable results. Therefore, the study recommends the use of integrated inorganic and organic fertilizers with Minimum Tillage for rice production to preserve soil health and quality, providing a practical strategy for rice farmers.

Keywords: *Lowland Rice, Conventional Tillage, Minimum Tillage, Organic Fertilizers*

Contacts: cleanne.corsiga@ctu.edu.ph (+63 946 566 6372),
marciano.tangpos@ctu.edu.ph

Sweet Corn (*Zea mays* L. var *saccharata*) and Peanut (*Arachis hypogaea* L.) Intercropping Schemes for Sustainable Food and Feed Production

Marciano D. Tangpos¹, and Clea Anne V. Corsiga²

^{1,2} *Cebu Technological University-Barili, Cagay, Barili, Cebu, Philippines*

Abstract

This study investigated the potential of intercropping sweet corn and peanut to enhance productivity and economic returns. A split-plot Randomized Complete Block Design (RCBD) was employed to evaluate the performance of different intercropping schemes: monoculture corn (I0), one row of peanut between corn rows (I1), two rows of peanut between corn rows (I2), three rows of peanut between corn rows (I3), and monoculture peanut. Two sweet corn varieties were tested: hybrid sweet corn (V1) and open-pollinated sweet corn (V2). Results indicated that the intercropping scheme of monoculture corn spaced at 75cm x 25cm intercropped with one row of peanut, yielded the highest agronomic and yield components. This particular arrangement significantly increased corn yield, reaching 4 tons per hectare. Additionally, an economic analysis focusing on hybrid corn demonstrated the economic variability of this intercropping system. These findings suggest that strategic intercropping of sweet corn and peanut can contribute to sustainable food and feed production by optimizing resource utilization, enhancing crop productivity, and improving economic returns for farmers.

Keywords: intercropping, farming system, corn-peanut farming system, economic analysis

Contacts: marciano.tangpos@ctu.edu.ph (+63 998 386 2801), cleanne.corsiga@ctu.edu.ph

Integrating laboratory tests and numerical simulation to design field-scale bioremediation of hydrocarbons: a case study in Ploufragan, France

Matteo Masi¹, Federica Brogioli^{1*}, Cosimo Masini¹

¹ DND Biotech, via S. Cannizzaro 5, 56121, Italy

Abstract

This study presents an integrated approach to the design and implementation of a pilot-scale in situ bioremediation system using a novel soil and groundwater biological flushing technique. The remediation strategy combines biostimulation and bioaugmentation with surfactant-enhanced flushing and controlled subsurface delivery of metagenomically selected microbial consortia. Laboratory-scale mesocosm and column experiments were conducted to optimize treatment formulations and quantify degradation kinetics under varying biogeochemical conditions. A coupled flow and reactive transport model, integrating MODFLOW and PHREEQC, was developed and calibrated using field data from a highly hydrocarbon-contaminated site in Ploufragan, France. Numerical simulations enabled the evaluation of hydraulic configurations, flow dynamics, and biodegradation efficiency, guiding the design of the pilot installation. Results demonstrated the importance of balancing residence time and microbial activity for effective contaminant removal. The integrated experimental-modeling framework proved effective in optimizing the remediation strategy and enhancing predictability of site-specific outcomes, supporting its applicability to complex contamination scenarios. Bioremediation is a microbiologically driven remediation approach that exploits the metabolic capabilities of indigenous or introduced microbial consortia to degrade, transform, or immobilize organic and inorganic contaminants within impacted environmental matrices. Central to its application are two enhancement strategies: biostimulation, which involves optimizing geochemical parameters (e.g., nutrient ratios, electron acceptors, redox potential) to stimulate native microbial communities, and bioaugmentation, which introduces specialized

microbial strains or consortia adapted for the target contaminants. Bioremediation offers many advantages, including reduced site disturbance, lower energy demand, and minimal secondary waste generation. It is particularly valuable for the treatment of diffuse or low-concentration contamination where conventional physical-chemical methods are less effective or economically unfeasible. Based on the data available from previous sampling campaigns at the site and the additional characterization carried out in October 2024, the hydrogeological model of the site could be implemented in MODFLOW, calibrated and validated.

Based on numerical simulations, we determined the maximum allowable extraction flow rate for the flushing process. The model also enabled us to evaluate the performance of different spatial configurations of the extraction and injection wells. For the design of the pilot test, we analysed two well configurations: (1) a triangular arrangement with one central injection well surrounded by three external extraction wells, and (2) a dipole system consisting of a single injection and a single extraction well. In both cases, the wells were spaced about 12 meters apart. The four-well configuration effectively focused the flow within the targeted area, with an average travel time of 50 days between injection and extraction. In contrast, the dipole system resulted in a shorter travel time of approximately 30 days but led to greater dispersion of the injected solution outside the target zone. Further analysis incorporating biological reactions for different bacterial consortia revealed that the optimal well configuration depends on the interplay between residence time and bacterial degradation kinetics. The choice of configuration must therefore balance containment efficiency with sufficient reaction time for effective biodegradation.

Acknowledgments

This study was funded by the European Union within the MIBIREM Project (Grant Agreement: 101059260). ADEME (Agence de la transition écologique, France) and CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) are greatly acknowledged for providing extensive documentation and data of the site.

Contacts: federica@dndbiotech.it

Outcome of large-scale soil remediation works in Kuwait – Soil Washing

Miikka Tunturi

Abstract

Two soil remediation contracts of JV KAK-LAMOR that commenced in 2021 are in their final year.

At the time of submitting this abstract, nearly 5 million tons have reached the remediation target, including 350,000 tons using soil washing technology. The presentation will focus on lessons learnt and developed mitigation measures to tackle challenges encountered in bioremediation, soil washing and excavation of wet oil lakes.

Whilst bioremediation has worked better than expected, the Soil Washing treatment solution has been more challenging. Despite this we have still managed to remediate vast quantities of contaminated soil, both as stand-alone methods and as treatment train followed by polishing with bioremediation.

The paper will outline the challenges presented and will summarize the corrective measures required to increase productivity.

Keywords: soil remediation, bioremediation, soil washing, wet oil lakes

*Contact: Miikka Tunturi, Lamor Corporation Oyj, Technical Director of NKETR Zone 1 and SKETR Zone 1
miikka.tunturi@lamor.com (+358 50 544 0739)*

Effect of selected hydrochars addition on alachlor mobility in a column packed with Danube geosorbent

***Irina Jevrosimov¹, Marijana Kragulj Isakovski¹, Srđan Rončević¹,
Jelena Beljin¹, Snežana Maletić¹***

¹Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Faculty of Sciences, University of Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, R. Serbia

Abstract

Due to the prolonged use of pesticides in agriculture, groundwater contamination may occur, posing one of the key challenges for its remediation. The processes that influence the fate and transport of a selected pollutant in the environment include sorption and biodegradation. One compound that has attracted particular attention is alachlor. Alachlor belongs to the group of chloroacetanilide herbicides, which are primarily used for treating annual crops. Additionally, alachlor has been detected in groundwater, and its use has been banned in the EU since 2006. The aim of this study was to investigate the impact of adding selected carbon-based materials (hydrochars derived from sugar beet shreds produced at three different temperatures: 180, 200, and 220°C) on the sorption and biodegradation of alachlor during its transport through Danube geosorbent. To assess the impact of selected hydrochars additions on the transport of alachlor through Danube geosorbent, column experiments were conducted. Column experiments were conducted using a stainless steel column (4 cm diameter, 20 cm length) filled with Danube geosorbent, with and without hydrochars. A base solution (0.01 M CaCl_2 and 400 mg/L NaN_3 in distilled water) was passed through the column for 24 hours at 6.4 mL/min to saturate the medium. Thiourea concentration was measured at 235 nm using a UV/VIS spectrophotometer, with an initial thiourea concentration of 4 mg/L. After saturation, a solution of alachlor (200 µg/L) was passed through the column, and eluates were collected for approximately 53 hours. The experiment ended when the alachlor concentration stabilized at C_0 ($C_t/C_0 \sim 1$). The collected samples were extracted with

hexane and analyzed by GC/MS. The transport of alachlor through Danube geosorbent with and without hydrochar addition was experimentally studied, and the obtained data were modeled using the advection-dispersion equation. The retardation factor (R_d) for alachlor in a column packed with only Danube geosorbent was 20. When hydrochars derived from sugar beet shreds (HTC_S 180, 200, 220°C) was added, it was observed that the retardation of the studied compound increased with the temperature of the hydrothermal carbonization process of the produced carbon materials. The R_d values for columns packed with Danube geosorbent and with the addition of the investigated hydrochars ranged from $R_d = 15$ -115. No biodegradation of alachlor was observed in any of the column experiments. The addition of carbon-based materials to the column filled with Danube geosorbent enhances the retention of the selected compound and proves useful for remediation purposes.

Keywords: sorption, hydrochars, transport, alachlor, Danube geosorbent

*Contacts: irinaj@dh.uns.ac.rs (+381643660248),
marijana.kragulj@dh.uns.ac.rs,
srdjan.roncevic@dh.uns.ac.rs,
jelena.beljin@dh.uns.ac.rs,
snezana.maletic@dh.uns.ac.rs*

Exploring Initial Plume Configurations to Reproduce Anomalous Transport Behavior in a Complex Urban Site. Case of Study: Colombia

Oscar D. Álvarez-Villa¹(Speaker), Valentina Ramirez¹, Sarita Garcés¹, Laura Cardenas², Alejandra Romero²(Speaker)

¹*Emergente Sustainable Energy*, ²*Ambientales*

Abstract

We developed, calibrated, and applied a comprehensive modeling framework to simulate the groundwater flow and contaminant transport at a historically impacted urban site in Bogotá, Colombia. This study assesses the medium-term behavior of petroleum hydrocarbons under natural attenuation and passive infrastructure influence. We compiled and integrated detailed geological, hydrological, climatic, and operational datasets to construct a high-resolution conceptual site model. We also characterized a multilayered subsurface system (subsurface architecture) that includes anthropogenic backfill, permeable sedimentary units, and underlying low-permeability strata. The modelling included incorporated engineering structures such as geotechnical drains and the influence of remediation techniques to extract vapors, given that both were operated the last years.

The primary hydrological forcing of the model is the potential recharge due to precipitation. We estimated distributed recharge using the Soil Water Balance model under historical and projected climate change conditions. We developed and calibrated a groundwater flow model in MODFLOW against observed hydraulic heads. This model is coupled with subsurface transport models implemented in MT3DMS to simulate the transport and fate of substance of interest as benzene and TPH aliphatic C10–C12, incorporating advection, dispersion biodegradation, and sorption processes. We reproduced historical plume dynamics and validated the need for a conceptual contaminant source to explain previously undetected anomalies at some monitoring locations. We confirmed this hypothesis through sensitivity testing and history matching.

Prospective simulations were performed assuming natural attenuation and continuous operation of geotechnical drains. Our simulations show a decline in contaminant mass, plume shrinkage, vertical contraction, and clear stabilization trends over a decadal timescale. The drains constitute the primary mass removal pathway, while outer boundaries, such as the interaction of the local aquifer with the regional groundwater masses, were found to contribute to a lesser extent. We tracked mass balances at every timestep and verified numerical consistency and mass conservation. Moreover, we also identified residual contaminant mass in a critical areas not expected, hence, dedicated exploring and targeted long-term monitoring is recommended.

This integrated modeling approach supports evidence-based remediation strategies, improves risk communication, and offers a replicable framework for managing legacy contamination in complex, infrastructure-constrained urban settings.

Keywords: Contaminant transport, MODFLOW-MT3DMS, climate change, subsurface architecture, petroleum hydrocarbons

*Contacts: Oscar.alvarez@emergente.com.co (+57 321 5663342),
aromero@novambientti.com (+57 316 7628771),
Valentina.ramirez@emergente.com.co ,
lcardenasc@novambientti.com, sarita.garces@emergente.com.co*

Trees and Microbes as Sustainable Nature-Based Treatment on Hydrocarbons and Mixed Waste Sites

Renee Murphy¹, Galen O'Toole¹, John Freemann¹

¹ *Intrinsyx Environmental*

Abstract

Background/Objectives. To present advanced microbial technology and design methodology that improves the success rate and expands new opportunities for utilizing enhanced phytoremediation while meeting sustainability goals.

In 2014, Intrinsyx Environmental collaborated with NASA and the EPA to introduce endophytic bacteria from Dr. Sharon Doty (University of Washington) with hybrid poplar trees to address TCE groundwater contamination at the MEW Superfund site (Doty et al., 2017). The success of this first pilot on has expanded to full-scale endophyte-assisted phytoremediation deployments on Superfunds, state-mandated clean-ups, and Fortune 500 redevelopment sites on 45 sites across the US, Austria and South Africa.

Endophyte-enhanced tolerance and appropriate trees, plants, and grasses selection of unique varieties are keys to successful phytoremediation on polluted sites with phytotoxic concentrations of both organic and inorganic contaminants.

Approach/Activities. This presentation covers design methodologies and data from full-scale phytoremediation on several hydrocarbon and mixed waste installations utilizing Endophyte-Assisted Phytoremediation System (EAPS) technology as well as how they have been successful meeting sustainability goals. These synergistic bioremediation tools and innovative techniques have been deployed to address several classes of pollutants, including chlorinated VOCs, petroleum hydrocarbons, and 1,4-dioxane and in mixed waste.

Results/Lessons Learned. Success with Phytoremediation comes from careful site assessment and selection of appropriate tree and microbe varieties. Special consideration of species selection to include both climate and native palette for optimal restoration efforts.

Data and lessons learned will be highlighted from contaminated sites across the U.S. where EAPS is currently installed to treat petroleum hydrocarbons, and 1,4-dioxane compounds in soil and groundwater. Among the lessons learned along the way, are confirmation that endophytes contribute to phytoremediation success and improved plant establishment, in-planta degradation, and enhanced source-zone depletion rates. Data suggests that the selection and application of appropriate endophytes are the key factors in plant establishment on sites with phytotoxic concentrations. Additionally, selecting site-appropriate tree varieties and providing them with consistent care is vital for establishment and long-term success on contaminated sites. EAPS now represents a standalone treatment for mitigating contaminant migration and in-situ degradation of soil and groundwater contaminants.

Keywords: nature-based solutions, sustainable, green remediation, phytoremediation

Contacts: rmurphy@intrinsyx.com

Phytoremediation strategy for improvement of soil biological state and mitigation of organic pollution

***Dragana Tamindžija¹, Kristina Kokotović¹, Dragan Radnović¹,
Marijana Kragulj Isakovski², Irina Jevrosimov², Stanko Milić³, Tijana
Zeremski³, Snežana Maletić²***

¹ University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of biology and ecology, Trg Dositeja Obradovića 2, ²University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of chemistry, biochemistry and environmental protection, ³Institute of field and vegetable crops Novi Sad,

Abstract

Novel strategies for soil health improvement that encompass circular economy approaches are urgently needed to combat global decline of soil quality, which threatens environmental health, food security and human health. Natural-based solutions (NBS) using energy crops, microbes and soil amendments may serve as an environmentally friendly and cost-efficient alternative. In our research we established pot trials to assess the impact of various treatments including PGPRs, organic amendments and phytoremediation on microbial and chemical parameters of soil health and to assess potential environmental benefits of such remediation strategy. Soils with three types of contamination were examined: *i*) soil spiked with diesel, *ii*) soil treated with sewage sludge, *iii*) soil with dredged canal sediment - mixed contaminants (mainly heavy metals). Each soil type was planted with industrial hemp *Cannabis sativa* and giant reed *Arundo donax*. Also, treatments with bacterial and fungal plant growth promoting microorganisms were conducted. Overall trend was increased count of cultivable microorganism count (final count 10^7 - 10^8 MPN/g d.w.), ammonifying (10^6 - 10^7 MPN/g d.w.), nitrifying (10^5 - 10^7 MPN/g d.w.) and nitrogen fixing microorganisms (10^6 - 10^7 CFU/g d.w.), while count of denitrifying bacteria declined (10^5 - 10^7 MPN/g d.w.). Acid phosphatase and catalase activity have been higher at the start than on the end of experiment. Dehydrogenase and alkaline phosphatase activity increased by the end of the experiment. Ecoplates physiological profiling of microbial community did not

reveal grouping of different treatments, plants nor soils. Overall, there was no notable difference among the treatments in microbial parameters. Regarding effect on organic pollutants, such as TPH and PAHs most treatments show a substantial reduction compared to the initial levels, indicating effective remediation. For experiments with low initial TPH concentrations (e.g., sewage sludge treatments), the percentage reduction was up to 33%, in contrast, for soils with moderate contamination levels (below 2000 mg/kg, such as those treated with heavy metals), TPH reductions ranged between 40% and 50%, demonstrating increased phytoremediation efficiency as contamination levels rise. Likewise, in experiments with lower initial PAH concentrations, reductions were less pronounced, with final concentrations occasionally remaining close to initial values. The results highlight the effectiveness of the applied remediation strategies in reducing PAH and TPH contamination, with greater relative reductions observed in soils with higher initial PAH levels. Phytoremediation demonstrated potential for mitigating persistent organic pollutants, with significant variability across treatments. The combined use of microbial inoculants and specific plants like hemp and sorghum maximized remediation efficiency. Overall, there was no notable difference among the treatments. Conclusions drawn from the results (or lack thereof) indicate complexities of effects of remediation efforts onto microbial community parameters, highlighting the need for multidisciplinary approaches and various types of parameters.

Acknowledgement: This research was supported by the Science Fund of the Republic of Serbia, grant no. 6769, "Natural based efficient solution for remediation and revitalization of contaminated locations using energy crops – ReNBES".

Keywords: phytoremediation, enzyme activity, cultivable bacterial counts, microbial community, organic pollutants

Contacts: dragana.cucak@dbe.uns.ac.rs (+381 64 9227623),
kristina.kokotovic@dbe.uns.ac.rs, dragan.radnovic@dbe.uns.ac.rs,
marijana.kragulj@dh.uns.ac.rs, irina.jevrosimov@dh.uns.ac.rs,
stanko.milic@nsseme.com, tijana.zeremski@ifvcns.ns.ac.rs,
snezana.maletic@dh.uns.ac.rs

Remediation of groundwater and soil contaminated by heavy oil: a sustainable approach to environmental rehabilitation

Raul Mucciolella, Ilaria Paiani, Silvia Cattarino, Simone Bruschi, Miriana Cotrer, Antonino Sava

Abstract

This project represents one of the most significant soil and groundwater remediation initiatives currently underway, integrated within a comprehensive area redevelopment program. With an intervention area of 62,000 square meters, it distinguishes itself through scale and advanced technologies, positioning it among the largest and most innovative environmental remediation systems. The plant design aimed to develop a system capable of removing the free phase of heavy oil through an integrated and sustainable process. Initially, the surfactant intended for field application was rigorously tested and selected at laboratory scale. The proposed solution involves injecting this specific surfactant to facilitate separation of the free phase, followed by water pumping and oil phase separation. Subsequently, the water undergoes treatment through dedicated sections, including chemical-physical processes, sedimentation, and filtration. After processing, the purified water is reintroduced into the aquifer, creating a closed-loop system. The implemented technologies represent the state-of-the-art in water treatment and environmental remediation. The system is designed for a maximum flow rate of 24 m³/h, with an indicative consumption of up to 2,400 liters of surfactant daily. The project's estimated lifespan is 8-10 years. The plant is engineered to optimize efficiency in water management and treatment, with particular attention to reducing environmental impact and reusing treated water.

Keywords: Groundwater remediation, Surfactant-enhanced recovery, Heavy oil contamination, Water treatment, Environmental restoration.

Methods for Combining In Situ Chemical Oxidation and Bioremediation

Brant A. Smith¹, Alberto Leombruni², Josephine Molin³, Mike Mueller⁴

Evonik Corporation^{1,3}, Evonik Operations GmbH^{2,4}

Abstract

In situ chemical oxidation (ISCO) and in situ bioremediation (ISB) are two of the most widely used remediation technologies that can be combined with one another. Each technology has key characteristics that have resulted in their favor within the environmental remediation industry. Among these keys is their reaction with a wide range of common contaminants, treatment timeframe, and cost.

This presentation will present the primary methods that these technologies are combined, the fundamental chemistry and the benefits of a combined remedy. The primary methods where these technologies are combined that will be discussed are: 1) Combined reagent applications; 2) Sequential applications; and 3) Bioremediation that can occur naturally following an ISCO application. These three mechanisms will be supported by existing studies and data from field applications.

Field and lab data will be used to highlight the successful combined remedy of sodium persulfate (ISCO) and calcium peroxide (slow-release oxygen to support aerobic bioremediation) and the synergies of combining these two technologies, including the creation of alkaline activated conditions for the persulfate by the calcium peroxide and anaerobic oxidation created by residual sulfate following the decomposition of persulfate. Timeframes and parameters to best evaluate and monitor for bioremediation following an ISCO application will be discussed including conductivity, sulfate, oxygen and dissolved organic carbon concentrations. In addition, results from a sequential application where ISCO and ISB were used in a manner that played to each technologies relative strengths and the point that led to the transition between the technologies will be discussed.

Understanding the possibilities and fundamental mechanisms of combining these technologies will help design engineers and those with contaminated sites better design and monitor for each effect during the future applications.

Contacts: brant.smith@evonik.com

A mycelium-colonized geotextile to effectively bioaccumulate and biodegrade hydrocarbons

Carmen Mirabelli^{1*}, Patrice Cheval², Samuel Perrissoud², Didier Chifflet¹

¹Yphen SAS, 89 Chemin de la Ballastière- 74200 Thonon-les-bains,

²MPGeotex, SAPIENS group, 95 all Nyonsais- 26300 Bourg de péage

Abstract

Soil contamination poses a significant environmental and public health challenge, necessitating innovative and sustainable remediation strategies. Geotextiles—engineered technical textiles—have emerged as a versatile solution within the soil remediation industry, offering capabilities in contaminant filtration, erosion control, and pollutant containment. Initially developed in the 1950s for geotechnical applications, geotextiles have since evolved into multifunctional materials.

Despite their widespread adoption, knowledge gaps persist in optimizing geotextile performance for complex contaminated sites and the absence of standardized performance metrics hinder broader implementation. To bridge these gaps, in partnership with MPGeotex and SAPIENS group, a biological-functionalized geotextile has been developed and tested in controlled environments.

MP Remedia integrates microbial living organisms, and in particular fungal mycelium that multiply the performance of adsorption of the geotextile via bioaccumulation of organic pollutants. At the same time, the addition of living microorganisms allows for the breakdown of organic pollutants in non-toxic by products. This approach adds a functional dimension to the passive technical performance of a geotextile.

In a column experiment with 25 cm of water, we found that MP Remedia decreased the medium speed of water from 18.1 to 15mL/s, thus increasing the filtration capability of a non-colonized geotextile.

Interesting, the flowing water showed a pH increase for in both MP Remedia and non-colonized geotextile, suggesting that these supports could counteract soil acidification. In addition, the study of the redox potential of the flowing water revealed a 25% decrease by day 5 in the non-colonized geotextile condition but it remained stable in the condition with MP Remedia, hinting at an oxidative activity of the fungal strain.

In a column experiment with a flow of 2ml/min of artificially polluted water (TPH 22470ug/L and PAH 28ug/L), the non-colonized geotextile retained all pollution by day 10 while the colonized MP Remedia retained the totality of TPH by day 1. For the PAH the geotextiles performed equally. An experiment of lixiviation of the adsorbed fraction revealed a different composition of TPH for the MP Remedia condition, e.g. increased short chains, as compared with the input artificially polluted water. This suggests an activity of mycelium degradation of long C-chains to shorter ones. The dynamics of degradation for specific application remains to further explore.

In conclusion, these studies robustly showed a bioaccumulation of hydrocarbons in MP Remedia geotextiles, that is more rapid than non-colonized geotextiles. In addition, to complement these findings, studies on the bioaccumulation of heavy metals are also ongoing. Altogether this study paves the way for a more responsible use of technical textiles for environmental prevention but also remediation projects.

Keywords: geotextile, filtration, sequestration, mycelium

*Contacts: carmen.mirabelli@yphen.com (+33 626399902),
didier.chifflet@yphen.com, s.perrissoud@groupe-sapiens.com,
p.cheval@groupe-sapiens.com*

Applying Electrical Resistance Heating in Highly Occupied Areas

Thiago L Gomes¹, Jacob Seeman¹

¹ *Doxor, Sao Paulo, Brazil*

Abstract

Background/Objectives. This presentation will describe applying Electrical Resistance Heating (ERH) in highly occupied areas in Brazil, focusing on the attendant health and safety challenges. The presentation will include four case studies and the safety precautions taken during the design, installation, and operations for each. The first site is an industrial facility in which electrodes had to be installed between active machines. Due to fabrication standards, any dust or debris during drilling had to be completely controlled.

On this same project during the implementation of ERH, a subway line was being drilled nearby. Our team had to guarantee worker safety inside the subway tunnel during thermal operations. The second site will show the application of ERH in the parking garage of a residential complex that includes five buildings and over 300 families living at the site. Installation in the garage was entirely below grade and the garage had to be reopened to residents during operations. The third site shows the application of ERH under a 30 floors apartment building which we had to heat under the elevator. The fourth site is an industrial food facility where contamination is under an active production area.

Approach/Activities. At these different sites we will show how engineering considerations can be addressed early on in the design stage. Moving into the installation and operation phase, we will describe the methods used to ensure site safety during ERH. When buildings are present, structural surveys are performed prior to any construction and repeated during operations to ensure structural integrity. During startup of the system and throughout operations, voltage surveys are performed to ensure the safety of everyone at and around the site. We will also describe how vapor emissions can be

monitored and addressed to minimize the potential risk to facility workers and residents.

Results/Lessons Learned. Upfront engineering and planning along with constant communication with facility personnel were important for the success of these projects. ERH was applied safely and efficiently at each of these different sites, proving that thermal remediation is a remedial technology that should be considered for challenging sites, even those that are highly occupied.

Contacts: thiago@doxor.com.br, jseeman@thermalrs.com

Functional genomics of the genus *Cladosporium*: insights into the myco-remediation of Halogenated Organic Compounds (HOCs)

*Giampiero De Simone¹, Giacomo Bernabei¹, Thibault Le Gratiot²,
Riccardo Di Mambro¹, Simona Di Gregorio¹, David Bernard Levin³,
Laurence Fraissinet-Tachet²*

¹University of Pisa - Department of Biology - Italy, ²University Claude Bernard Lyon 1 - France, ³University of Manitoba - Canada.

Abstract

Halogenated Organic Compounds (HOCs) are xenobiotic compounds that have found multiple industrial applications for decades. They are linked to detrimental effects on human health and ecosystems. Furthermore, these molecules are persistent in the environment and extremely recalcitrant to degradation due to the presence of carbon-halogen bonds. Among the most concerning HOCs, Polychlorobiphenyls (PCBs) and Hexachlorocyclohexane (HCH) gained significant attention, as they pollute environmental matrices worldwide, with a particular relapse on soils. Microbial biodegradation of HOCs could represent a sustainable approach, especially if associated to their complete mineralization. To obtain this, employing fungi might be beneficial, as they are responsible for the bulk of the degradation of environmental xenobiotics in the biosphere. Furthermore, fungi can tolerate restrictive environmental conditions, rely on a diverse metabolic capacity, and produce powerful oxidizing enzymes. The so-called myco-remediation primarily focuses on white rot fungi, as they produce powerful oxidizing enzymes. Nonetheless, they naturally grow on decaying wood, thus, they might not grow efficiently in polluted soils. This poses potential limitations to their application in real-scale approaches for the remediation of polluted soils. On the other hand, non-white rot fungi can easily adapt to polluted soils and rely on a diverse metabolic machinery; thus, they might easily overcome the limitations of real scale approaches. Despite this, little is known about HOCs degradation by non-white rot fungi. This study focused on the characterization of the non-white rot fungal genus *Cladosporium* and

its efficiency in degrading both PCBs and HCH, with emphasis on the genes involved. To do so, a total of 6 *Cladosporium* strains were isolated from two polluted sites: one with PCBs and the other with HCH. Bio-removal efficiency of the two pollutants was tested separately for each strain, maintaining the same cultural conditions. The growth medium contained 5 g/L of glucose and Aroclor 1254 (a mixture of PCBs) or HCH (α , β , γ , δ -HCH 1:1:1:1) at the final concentration of 25 mg/L. Furthermore, the genome of each strain was sequenced via PacBio HiFi circular consensus sequencing and assembled using the dedicated tool HiFiasm. Predicted genes were obtained using the Braker pipeline and subjected to a functional annotation against the FungiDB database. Remarkably, PCBs degradation reached peaks of 75% after 5 days. HCH degradation capacity turned to be less efficient, thus, additional tests have been performed to improve and compare it in different growth conditions. Functional annotation identified on average 12,000 genes per strain. Biphenyl dioxygenase and other genes related to PCBs degradation were detected, alongside different genes encoding for non-specific oxidizing enzymes such as laccases and dioxygenases, all potentially involved in HOCs degradation. Multiple dehalogenases were also annotated. A putative degradation pathway for PCBs was outlined. Finally, multiple genes putatively involved in the response to oxidative stress were identified. The obtained results suggest numerous fungal degradation mechanisms and are pivotal for the development of myco-remediation approaches for the decontamination of HOC-polluted soils.

Keywords: Myco-remediation, *Cladosporium*, Halogenated Organic Compounds, Fungal genomics, Degradation pathways

Contacts: giampiero.desimone@phd.unipi.it (+39 3669406118), giacomo.bernabei@phd.unipi.it, thibault.le-gratiet@univ-lyon1.fr, riccardo.dimambro@unipi.it, simona.digregorio@unipi.it, laurence.fraissinet-tachet@univ-lyon1.fr

Nature-inspired biodegradation of poly(butylene succinate-co-adipate) from marine environment: the potential of copepod-associated fungi

*Giampiero De Simone¹, Luca Niccolini², Giacomo Bernabei¹,
Maurizia Seggiani³, Riccardo Di Mambro¹, Simona Di Gregorio¹,
Isabella Buttino²*

¹University of Pisa – Department of Biology, ²Italian Institute for Environmental Protection and Research (ISPRA), ³University of Pisa – Department of Engineering

Abstract

Plastics pose a threat to both terrestrial and aquatic ecosystems due to their slow degradation and pervasive presence. Bio-degradable plastics, such as Poly(Butylene Succinate-co-Adipate) (PBSA), offer potential solutions, but their impact in marine environments remains uncertain. Furthermore, in sub-optimal conditions like high salinity, cold temperatures, and low microbial populations, bioplastics degrade at rates comparable to petrol-plastics, making their use as impactful as the latter. Effective degradation and management of PBSA wastes, especially in sub-optimal conditions, are pivotal for future large-scale uses of PBSA as an alternative to petrol-plastics. In this context, the characterization of marine microorganisms able to degrade PBSA is of great importance. This study explores the diversity of fungi associated with the carcasses of the marine copepod *Acartia tonsa* and their ability to degrade PBSA. The fungal strains belonging to *Cladosporium*, *Fusarium* and *Stemphylium* were isolated for the first time from the copepod carcasses. Among these, *Cladosporium psychrotolerans* MUT6786 demonstrated significant carboxyl-ester hydrolase activity, enabling the degradation of PBSA in both emulsified and granule form. Plastic granules maintain a high degree of crystallinity; thus, they are more recalcitrant to degradation. Nonetheless, *C. psychrotolerans* efficiently degraded PBSA granules, with a weight reduction >80% in 92 days. Further inspection via infrared spectroscopy (FTIR-ATR) and stereomicroscopy revealed progressive surface erosion, weight loss, and chemical alterations in PBSA granules incubated with *C.*

psychrotolerans. Thermogravimetric (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) analyses indicated selective hydrolysis of the amorphous polymer fraction. Molecular weight analyses further highlighted surface-specific degradation without significant changes to the bulk polymer structure. These results indicate that the fungal strain performed a surface attack which progressively reduced the granule's size, leading to its almost complete degradation. Moreover, the reduction of Carbonyl Index during 60 days of incubation provides additional evidence of the ability of *C. psychrotolerans* to hydrolyze the ester bonds. Obtained findings highlight the importance of zooplankton-associated microbiomes, as they harbor microorganisms of high biotechnological relevance. Zooplankton-associated *C. psychrotolerans* proved its efficiency in biopolymer degradation, offering insights into leveraging marine fungi for environmental restoration of bioplastics in aquatic ecosystems.

Keywords: Bioplastics, Fungal biodegradation, PBSA, Zooplankton, Cladosporium

Contacts: giampiero.desimone@phd.unipi.it (+39 3669406118), luca.niccolini95@gmail.com, giacomo.bernabei@phd.unipi.it, maurizia.seggiani@unipi.it, riccardo.dimambro@unipi.it, simona.digregorio@unipi.it, isabella.buttino@isprambiente.it

MIBIREM: A Solution for Europe's Hexachlorocyclohexane Legacy

Giacomo Bernabei¹, Giampieri De Simone¹, Simona Di Gregorio¹

¹Department of Biology, University of Pisa - Italy

Abstract

One of the key objectives of the MIBIREM project (www.mibirem.eu) is to isolate and characterize microbiomes capable of breaking down the main hexachlorocyclohexane (HCH) isomers found in contaminated environments—namely, α -, δ -, β -, and γ -HCH. To achieve this, 30 distinct HCH-degrading microbiomes were successfully isolated from three locations across Europe: Italy, Spain, and Germany.

These microbiomes were cultivated under two different conditions: using HCH isomers (1:1:1:1) as the sole carbon source and under co-metabolic conditions with glucose (0.1% v/v). Their metabolic potential was then systematically assessed using advanced molecular approaches to unravel the still largely unexplored mechanisms of HCH degradation, particularly in complex microbial communities.

To this end, quantitative 16S rDNA metabarcoding, metagenomic (MG), and metatranscriptomic (MT) analyses were employed to investigate:

- i) how microbial community composition evolved during enrichment and HCH degradation testing, and
- ii) the specific metabolic pathways involved in breaking down HCH.

The results revealed the activation of previously unknown degradation pathways, shedding light on novel microbial strategies for HCH removal. Intriguingly, bacterial species not previously associated with HCH degradation were also identified as potential key players.

These findings are essential for mapping out bacterial metabolic pathways and microbial interactions that can be harnessed for environmental bioremediation. Given that HCH contamination is a legacy of past industrial activity—affecting soil, sediments, ground

water, and surface aquifers—such insights pave the way for innovative, microbiome-driven cleanup strategies.

Acknowledgement: The work has been financed by MIBIREM – Toolbox for Microbiome based Remediation Project number: 101059260, Call: HORIZON-CL6-2021-CIRCBIO-01, Topic: HORIZON-CL6-2021-CIRCBIO-01-07, Type of action: HORIZON Innovation Actions

Contacts: emma.bauer@gmail.com (+49 151 4968021), olivia.mertens@icloud.com, jeroen.dejong@outlook.com (All authors e-mail addresses are needed, phone number of speaker is appreciated for organizational reasons).

Decades of Chlorinated Solvent Contamination in UK Aquifers: A Data-Driven Assessment

Nouha Samlani, Tannaz Pak

School of Computing, Engineering and Digital Technologies, Teesside University, UK

Abstract

Chlorinated solvents became widely used in the UK from the mid-20th century, valued for their cleaning efficiency and low flammability relative to earlier compounds. However, their toxicity, high mobility, and environmental persistence have made them enduring challenges for groundwater protection and remediation [1]. Groundwater accounts for over 30% of the UK's public drinking water supply, with much higher reliance in southern and southeastern regions [2]. Since the 1980s, numerous investigations have reported widespread chlorinated solvent contamination in UK aquifers, particularly in Birmingham [3–5], Coventry [6], Cambridge [7], and the Sherwood Sandstone [8]. Trichloroethylene (TCE), perchloroethylene (PCE), and 1,1,1-trichloroethane (TCA) are the most commonly detected solvents, primarily associated with industrial activity, though TCE has also been linked to sewage infrastructure leaks. Long-term monitoring in Birmingham indicated that observed reductions in TCE concentrations were due to well closures rather than in situ degradation. Across all sites, minimal evidence of natural attenuation has been observed, with parent compounds often persisting for decades. These findings underscore the expectation that, without targeted intervention, chlorinated solvents will continue to impact UK groundwaters for many decades or centuries.

Despite the scale of contamination, the UK lacks a comprehensive, centralised, and publicly accessible national register of contaminated sites and their remediation status. Although the Environmental Protection Act 1990 (Part 2A) provides a legislative basis for identifying and remediating such sites, its implementation has been inconsistent and locally managed, leading to substantial spatial and

temporal data gaps [9]. This regulatory fragmentation severely constrains national-scale assessments of remediation outcomes and pollutant trends.

In response, this study investigates the potential of national groundwater monitoring datasets, curated by the Environment Agency, as a proxy for evaluating chlorinated solvent degradation in the absence of structured contaminated land records. These datasets contain extensive water quality data from across England and Wales, including routine testing for several chlorinated solvents. We focus on three major solvent families: chlorinated ethenes (PCE, TCE, dichloroethylene [DCE]), chlorinated ethanes (TCA), and chlorinated methanes (carbon tetrachloride [CT], and trichloromethane/chloroform [TCM]). Our analysis centres on long-term monitoring sites with a minimum of eight years of data. We evaluate historical versus recent concentrations to estimate compound-specific degradation rates and assess whether observed trends reflect natural attenuation or potential undocumented remediation.

This work offers the most comprehensive update since the 1990s on the persistence of chlorinated solvents in UK aquifers. By providing solvent- and aquifer-specific degradation trends, it informs future contaminant modelling and emphasises the need for a national, standardised contaminated land register to support long-term groundwater protection.

Keywords: Chlorinated Solvents, Groundwater Contamination, degradation rate, UK,

Contacts: n.samlani@tees.ac.uk, t.pak@tees.ac.uk

Effects of thermal treatment on soil organic matter and bioaccessability of residual PAHs in soils from a coking factory in China

Jing Song^{1,2}, Lu Feng^{3,1}, Haibo Yu¹, Wei Tang¹, Jingchun Yan¹, Xin Hong³, Yongming Luo¹

¹Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 211135, China (speaker);

²University of Chinese Academy of Sciences, Nanjing 211135, China;

³School of Resources and Environmental Engineering, Anhui University, Hefei 230601, China;

Abstract

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are persistent organic pollutants (POPs) predominantly generated through incomplete combustion or high-temperature pyrolysis of organic materials. Major anthropogenic sources include coking operations, steel production, petroleum refining and coal chemical industries. Due to multiple ageing mechanisms such as adsorption and sequestration by soil organic matter, PAHs form non-extractable residues (NERs), which are ignored in routine soil analysis. Human health risk assessment and derivation of site-specific remedial target values are normally based on total soil contaminant levels and soil properties determined during site investigations. In-situ or ex-situ thermal desorption is commonly used in China to treat soils moderately contaminated with PAHs. Soil dewatering and high-temperature thermal treatment will not only change the soil moisture content, PAH levels and composition, but also affect soil properties such as pH, organic matter content and composition, etc.

To understand the effects of high-temperature thermal treatment on the content, composition and bioaccessability of residual PAHs in soils, soils historically contaminated with PAHs were collected from a coking factory in Anhui Province, China and different desorption temperatures (150, 200, 250, 300, 400, 500°C) and residence times (30, 60, 90 min) were simulated in an oven. Soil PAHs were extracted five times with dichloromethane-hexane (V:V=1:1) and the

supernatant was combined, concentrated and purified before analysis for extractable PAHs. The soil was then mixed with 2 mol L⁻¹ NaOH and heated to 100°C for 2h. This process was repeated three times. The supernatant was combined, concentrated and purified before analysis for NERs. PAH concentrations were analyzed by HPLC following the method described in the Chinese standard HJ 784-2016. Soil organic matter was further differentiated into humin, fuvic acid and humic acid. The results showed that thermal desorption was effective in removing extractable and NERs PAHs from the contaminated soil, and the removal rates of extractable and NERs PAHs were 99.6% and 99.3%, respectively, at 300°C for 30 min, and the NERs B[a]P was not detected. Moreover, thermal desorption led to a decrease in soil organic matter content. The removal of humin was accompanied by the formation of humic acid above 250°C, and the content of humic acid and fulvic acids decreased significantly above 400°C until they were no longer detectable. The removal of soil PAHs by thermal desorption is likely due to the thermal decomposition of humin in the soil, which destroys the adsorption of PAHs on humin, leading to the desorption of PAHs and their removal at high temperatures.

The bioaccessibility of residual PAHs in thermally treated soil was determined by the physiologically based extraction test (PBET), which uses a two-step in-vitro extraction, representing the stomach and intestinal phases. The result showed that the bioaccessibility of PAHs in the original soil was very low (4.4%). Bioaccessibility increased with increasing temperature. It reached 40.9% in the soil treated at 300°C. The dramatic change of bioaccessibility of residual PAHs in the soil is due to the change in the content and composition of humic substances in the soil after thermal treatment. Therefore, for the safe and sustainable use of thermally treated soil, it is important to consider the effects of thermal treatment on key soil parameters that control the mobility and bioavailability of residual contaminants.

Keywords: PAHs, contaminated soil, thermal treatment, soil organic matter, bioaccessibility

Contacts: jingsong@issas.ac.cn, x21301058@stu.ahu.edu.cn, hbyu@issas.ac.cn, 1525855541@qq.com, jcyan@issas.ac.cn, hongxin@ahu.edu.cn

Problems and solutions for investigating and remediating off-site contamination from mining and smelting sites

Presenting author:

Graeme Miller (Senversa Pty. Ltd and PhD student at Southern Cross University (Faculty of Science and Engineering))

Coauthor: Professor Ed Burton (Southern Cross University, Faculty of Science and Engineering)

Abstract

Base metal mines and smelters represent sources of metal contamination which are problematic to investigate and remediate. Problems arise because the contamination: can be very extensive and affect hundreds of third party (off-site) landholders; is often in soil and roof cavity dust of residential properties that can be difficult to access and remediate; is frequently confounded by non-smelter sources of contamination (including lead-based paints, vehicle emissions, galvanized building materials and filling of land); and can cause anxiety and outrage in the community – particularly for landowners whose properties are found to be contaminated, or those who are not offered investigation and remediation (but consider they should have been).

Successful investigation and remediation requires carefully structured investigation phases and methods integrated with well executed stakeholder engagement programs – both of which are vital to: obtain support for investigation and remediation from regulatory and planning authorities (e.g., EPA, local council) and the general community; allow informed consent from landholders to access their properties for investigation (and if required, remediation); collect requisite data to identify the presence, extent and potential risks from smelter or mine related contamination (as opposed to that from other sources); communicate the investigation and management results in easy-to-understand language for affected landholders, the general community and local action groups; and keep local elected officials

apprised to avoid potential politicization and disruption of the program (which could add delays and significant cost).

This presentation describes the problems, challenges and solutions of investigating and remediating smelter and mine related contamination using a project example - where approximately 500 residential and school properties are potentially contaminated with smelter-related lead contamination in soil and roof dust.

Keywords: mine, smelter, contamination, engagement, investigation, remediation

Contacts: graeme.miller@senversa.com.au (+61 415 709 868).

Risk-Based Approaches for the Sustainable Remediation of Mining Liabilities in Peru: Challenges and Lessons Learned

Tatiana Salazar ¹, Paola Santiago ², Rosaura Watanabe ²

¹ WSP Perú S.A. (speaker), ² WSP Perú S.A.

Abstract

The regulation of contaminated sites in Peru, particularly regarding mining environmental liabilities, allows for the development of human health and ecological risk assessments as a preliminary step before defining remediation measures. Although not always mandated by environmental authorities, these assessments are a critical decision-making tool for designing environmental management strategies aligned with sustainable mining practices, especially in socially complex contexts. Their implementation also fosters a better understanding among regulatory bodies of the value of this methodology in ensuring objective evaluations of mining-related environmental impacts and the sustainable recovery of natural areas.

In Peru, the legal framework—anchored in Law No. 28271 and its amendments—establishes the classification, registration, and potential reuse of mining environmental liabilities. However, the application of risk-based approaches remains limited due to institutional, technical, and cultural barriers. Conducting risk assessments in the mining sector involves significant challenges, including the remote and high-altitude locations of many sites (often above 3,000 meters), the presence of vulnerable human populations with historical grievances, and the ecological sensitivity of high-Andean wetlands, lagoons, and protected species in one of the world's most biodiverse countries.

This paper presents insights from multiple risk assessment projects, covering the full process from problem formulation and contamination characterization—including the identification of background concentrations—to the mapping of human and ecological

receptors and the evaluation of their exposure using available toxicological data, which is often scarce or not locally representative. The assessments consider various contamination scenarios across different mining cycle stages, environmental media, and typical contaminants such as arsenic, lead, cadmium, and mercury.

The results highlight the technical advantages of risk-based prioritization, such as focusing resources on high-risk areas and selecting remediation alternatives that are both cost-effective and environmentally sound. However, institutional gaps persist, including limited stakeholder capacity, lack of standardized protocols, and insufficient integration of risk assessment outcomes into regulatory decision-making. Socially, the participatory dimension of these studies has proven essential for building trust with local communities and aligning remediation efforts with their expectations and traditional land uses.

This experience underscores the need for regulatory strengthening, capacity building, and the development of context-specific guidance to fully leverage risk assessment as a tool for sustainable mining remediation in Peru.

Keywords: Mining Environmental Liabilities, Human Health Risk Assessment, Ecorisk, Contaminated Sites, Remediation

Contacts: tatiana.salazar@wsp.com (+51 990478980),
paola.santiago@wsp.com, rosaura.watanabe@wsp.com

A comprehensive study on the occurrence, bioaugmentation-assisted bioremediation, and biodegradation mechanisms for polychlorinated biphenyls in contaminated environments

**^{1,2}Auwalu Hassan, ¹Azman Azid, ³Innocent Chukwunonso
Ossai**

¹Faculty of Bioresources and Food Industry, Universiti Sultan Zainal Abidin, Besut Campus, 22000 Besut, Terengganu Darul Iman, Malaysia

²Department of Biological Sciences, Faculty of Science, Federal University of Kashere, Gombe State, Nigeria

³Institute of Biological Sciences, Faculty of Science, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia.

Abstract

This paper aimed to take a holistic approach to the sources and occurrence of polychlorinated biphenyls (PCBs) in the environment (soil, sediments, water, wastewater, glaciers, air, and dust particles). The study also intended to give a detailed overview of various bioremediation technologies used for the decontamination of PCB-polluted environments; discuss the bioaugmentation approaches employed to treat PCB-polluted soil, sediment, and wastewater; explore the limitations of bioaugmentation and the strategies to improve its efficiency; give an update on the current state of biodegradation studies on PCB and their mechanisms; explore the future research prospects on bioremediation based on the articles discussed in the current study. The materials used in this review were obtained using search engines like PubMed, Google Scholar, and Web of Science (Core collection). Various relevant keywords were used to search for the information. The searched articles were subsequently analysed and the data was retrieved. Based on the reviewed articles, most PCB that enter the environment originated from different sources. Among the sources, industrial processes were the highest contributors, followed by other sources. Meanwhile, shipping activity,

volatilization, and agricultural activity were the least contributors of PCB to the environment. A detailed analysis of the research articles revealed that soil, sediments, water, wastewater, glaciers, and air contain substantial concentrations of PCB. Many of the studies reported the concentrations of PCB in either total, indicator, or dioxin-like form. Meanwhile, the concentrations of each group were highly variable ranging from below detection level to significant concentrations far above the permissible levels.

Extensive analysis of original works has revealed that the various bioremediation strategies displayed varying efficiencies with most found to be efficient. Coupling of treatment methods has been found effective in the decontamination of polluted sites. The biodegradation of PCB revealed that the concentrations of highly-chlorinated PCB can be substantially reduced under sequential anaerobic and aerobic processes. The study revealed that the concentrations of PCB in contaminated media declined largely due to the degradation of congeners with one or more chlorine atoms. Various enzymes participated in the degradation of PCB and include multicomponent dioxygenase (bphA, E, F, and G), dehydrogenases (bphB), second dioxygenase (bphC), and hydrolase (bphD). The review provides comprehensive information on the current state of PCB in the environment. It also provides novel biological treatment strategies for the management of PCB-contaminated sites. The information provided can be viewed as a significant environmental challenge to individuals, authorities, environmental managers, and protectionists so that effective measures can be taken to reduce substantially the environmental contamination by such contaminants.

Keywords: PCB, Contamination, Sources, Bioaugmentation, Biodegradation.

*Contacts: auwalhssn@gmail.com (+601120769340),
azmanazid@unisza.edu.my, ossainonso@yahoo.com.*

AI-Driven Predictive Analytics for Targeted Marketing in Sustainable Technologies

Artemisa Forbes

Abstract

In the context of environmental remediation and sustainable development, bridging the gap between technology providers and stakeholders is essential for driving innovation and achieving impactful solutions.

Traditional marketing strategies often struggle to connect these diverse groups effectively. This presentation explores how AI-driven predictive analytics can transform marketing efforts, enabling organizations to engage stakeholders more effectively and promote sustainable technologies on a global scale.

By harnessing machine learning algorithms and diverse data sources—such as environmental sensor data, social media interactions, and demographic insights—predictive analytics empowers marketers to anticipate stakeholder needs, tailor communications, and optimize outreach strategies.

For example, AI can analyze behavioral data to identify potential adopters of new remediation technologies, while natural language processing can assess public sentiment around environmental policies, informing targeted campaigns.

Through real-world case studies, this presentation will illustrate how AI-enhanced marketing has led to increased stakeholder engagement, accelerated technology adoption, and more efficient resource allocation.

These outcomes not only support organizational goals but also contribute to broader environmental objectives by fostering collaboration and raising awareness.

As the environmental sector embraces digital innovation, AI-driven marketing emerges as a critical tool for advancing sustainable solutions. This presentation will offer practical insights for technology providers, policymakers, and other stakeholders seeking to leverage predictive analytics for more impactful and sustainable marketing strategies.

Keywords: artificial intelligence, predictive analytics, marketing, sustainable technologies, stakeholder engagement

Contacts: artemisa@oceanfront.agency (+1 778 3187298, +39 329 763 2308)

Beyond Preaching to the Choir: Why Farmers' Soil Knowledge is Essential to the Agroecology and Soil Health - The Case of Termite Mounds in Cambodian Paddy Fields

**Sivmey CHHOEUNG ^{1,2*}, Pascal JOUQUET ^{1,3}, Chanrithy LAO^{1,2,3,6},
Sreypich SINH^{1,2,3}, Ratha MUON ¹, Arun MARTIN ^{1,3}, Nachy LY ^{1,3},
Kimchhin SOK², and Eve Bureau-Point ^{4,5}**

¹ *Research and Innovation Center, Faculty of Hydrology and Water Resources Engineering, Institute of Technology of Cambodia (ITC),
120404 Phnom Penh, Cambodia*

²*Faculty of Agricultural Economics and Rural Development, Royal University of Agriculture, Phnom Penh, Cambodia*

³ *Institute of Research for Development (IRD), Paris, France*

⁴ *Centre Norbert Elias, Marseille, France*

⁵ *National Center for Scientific Research (CNRS), France*

⁶*Institute of Ecology and Environnemental Sciences of Paris (iEES Paris), Sorbonne University, France*

Abstract

The most cost-effective and efficient technology is, above all, the one inspired by nature, which is nature-based solutions. A striking example can be found in the lower Mekong Basin, where the need for soil remediation and restoration of soil health is urgent. Deforestation, excessive use of agrochemicals and mechanization, along with the region's naturally low soil fertility, result in economic losses amounting to several hundred million dollars each year. In this communication, we present a local ecological practice rooted in traditional knowledge: the use of termite mound soil to enhance soil health. We employed a multidisciplinary framework combining ethnography (semi-structured interviews and field observations), soil sampling and laboratory analyses, and biodiversity assessments to explore the ecological effects of termite mound soil application. Our findings suggest that this practice supports several ecosystem

services, including improved soil fertility, biodiversity, and spiritual well-being. However, we observed that farmers have increasingly moved away from this traditional approach. This shift appears to be driven not by a lack of effectiveness, but by the rise of modern agricultural methods since the mid-1980s, which are often seen as more profitable and less labor-intensive in the short term, though they may come with long-term ecological costs. We conclude that valuing and conserving local soil knowledge is essential to inspire future successful soil-health initiatives.

Keywords: Nature-Based Solutions (NbS), Soil Restoration, Termite Mounds (TM), Traditional Ecological Knowledge (TEK), Socioeconomic Factors, Cambodia.

Contact: chhoeungsivmey@gmail.com

Multiscales and Multidisciplinary approaches over multi-contaminated sites: A way to investigate the (multi)benefits of NBS in Europe

Yoann Boisson¹, Solofoniaina Andriamihajason^{1,2}, Hugo Dorbes³,
Kostas Iordanoglou⁴, Andrea Monti⁵, Fabienne Tatin-Froux¹,
Manhattan Lebrun¹, Guillaume Bertrand¹, Efthymia Alexopoulou⁴,
Walter Zegada-Lizarazu⁵, Engracia Madejon⁶, Paula Madejon⁶,
Sophie Fabre³, Peter Welters⁷, Nicolas Pucheux⁸, Aleksandra
Zgorska⁹, Julien Parelle¹, Nicolas Manier⁸, Lisa Ciadamidaro¹,
Michel Chalot¹

¹ Université Marie et Louis Pasteur, CNRS, Chrono-environnement (UMR 6249), F-25200 Montbéliard, France

² Microfluidic Innovation Center, Paris, France

³ Université de Toulouse, ONERA, DOTA, Toulouse, France

⁴ Center for Renewable Energy Sources and Saving, Attika, Greece

⁵ Dept. of Agricultural and Food Sciences, University of Bologna, Bologna, Italy

⁶ Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS), CSIC, Sevilla, Spain

⁷ Phytowelt GreenTechnologies, GmbH, Nettetal, Germany

⁸ Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), 60550, Verneuil-en-Halatte, France

⁹ Central Mining Institute – National Research Institute, Katowice, Poland

Abstract

The EDAPHOS project, part of the “A Soil Deal for Europe” mission, aims to evaluate nature-based solutions (NBS) for the restoration of multicontaminated sites, and assess the environmental and socio-economic effects of soil contamination and its rehabilitation. In this purpose, this project combines innovative technologies for the implementation of the NBS and the monitoring of the rehabilitated sites. This project focuses on seven cases studies (CS) across Europe (France, Spain, Greece, Italy, and Poland), with various contaminants, species, soil physicochemical properties and climate. Specifically, the project has three objectives: (i) mapping the soil contamination and

vegetation health using advance remote sensing; (ii) implementing NBS for soil restoration; and (iii) characterizing the soil state using risk-based methods and ecosystems services analyses, and monitoring the soil along NBS implementation to evaluate their efficiency.

To address the first objective, remote sensing approach included satellite optical imagery, airborne hyperspectral data and drone-multispectral data-based observations to identify the species distribution and health status and provide information on the variation of the soil contaminants. To complete, spectral signatures of soil samples have been measured in laboratory and implemented into a library. In the same way, leaf spectral signatures of specific species have been measured and completed by vegetation traits.

To answer the second objective, poplar hybrids were tested in both laboratory and in field settings, to help selecting two hybrids adapted for each CS. The selected hybrids were planted in randomized plots alongside companion species, including *Brassica juncea* (a known hyperaccumulator) and *Lablab purpureus* (a N₂-fixing leguminous plant). The co-cropping systems are being regularly monitored to assess their adaptation and effectiveness in contaminant extraction and ecosystem restoration.

Finally, to address the third objective, site-specific environmental risk assessment, based on the TRIAD methods, were performed. This latter uses a weight of evidence assessment including the contaminants toxic pressure, pathways, toxic effects and potential for biodiversity and soil functions degradation. A full characterization of the CS soils has been performed which include, the soil contaminants analyses, the bioaccumulation in invertebrates, the soil ecotoxicity, the soil biodiversity, and the capability of soil to decompose organic matter and the impact on the nutrient cycling. In a second period, a reduce set of biological indicators are measured in the soil along the NBS implementation and help to characterize biological modification according to different NBS strategies applied.

The provision of ecosystem services (EES) by the rehabilitated sites are evaluated using the Common International Classification of Ecosystem Services framework. Among the EES evaluated are biomass production, carbon sequestration, nutrient cycling and microbial diversity.

By addressing these three objectives, EDAPHOS aims to demonstrate

the effectiveness of NBS to restore multi-contaminated soils under diverse pedoclimatic conditions across Europe. Ultimately, the project will contribute to the development of decision-making tools and the identification of key soil indicators for the soil quality for effective long-term monitoring and policy guidance.

Keywords: Trace elements; Poplar; Ecotoxicology; Ecosystem services; Remote-sensing

*Contacts: yoann.boisson@univ-fcomte.fr,
solofoniaina.andriamihajason@onera.fr, hugo.dorbes@onera.fr,
k.iordanoglou@cres.gr, a.monti@unibo.it, Fabienne.tatin-froux@univ-fcomte.fr, Manhattan.lebrun@univ-fcomte.fr
(+33.6.44.81.76.85), guillaume.bertrand2@univ-fcomte.fr,
ealex@cres.gr, walter.zegadalarazu@unibo.it,
emadejon@irnase.csic.es, pmadejon@irnase.csic.es,
Sophie.Fabre@onera.fr, p.welters@phytowelt.com,
Nicolas.PUCHEUX@ineris.fr, azgorska@gig.eu, julien.parelle@univ-fcomte.fr,
Nicolas.MANIER@ineris.fr, lisa.ciadamidaro@univ-fcomte.fr,
michel.chalot@univ-fcomte.fr*

Synthesis, characterization, and application of TiO₂ Polymer-based Nanocomposite for remediation of PFAS portable groundwater with adsorption and kinetic modeling

Anshul Tiwari^{*1}, Pranjal Yadav¹, Devendra Kumar Patel¹

¹ *Analytical Science and Accredited Testing Services.*

CSIR-Indian Institute of Toxicology Research, Vishvigyan Bhawan, P. O. Box-80, 31 M.G. Marg, Lucknow, 226001, Uttar Pradesh, India

Abstract

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS), known as "forever chemicals," pose a major environmental and health threat due to their persistence and bioaccumulation in aquatic ecosystems. This study introduces a novel polymer-based nanocomposite adsorbent for the efficient removal of multiclass PFAS from portable Groundwater. Engineered to target both long- and short-chain PFAS, the nanocomposite integrates functionalised nanomaterials into a polymer matrix, enhancing surface chemistry and adsorption performance where traditional adsorbents like activated carbon fall short. Optimised synthesis yields a high surface area, tunable pore structure, and excellent reusability, critical for sustainable water treatment. Laboratory and field testing demonstrated over 98% removal efficiency for key PFAS (PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS, PFBS, and HFPO-DA). Adsorption followed pseudo-second-order kinetics, and isotherm data fit both the Freundlich and Langmuir models. Thermodynamic analysis confirmed the spontaneity and feasibility of the process, with electrostatic interactions identified as a primary adsorption mechanism. The material retained over 80% efficiency after six regeneration cycles, highlighting its durability. A key practical advancement is the nanocomposite's integration into a custom cartridge compatible with commercial Aqua water filters, offering a scalable, low-cost solution for household and community use. This research bridges material innovation and real-world application,

presenting a promising strategy for mitigating one of today's most persistent environmental contaminants.

Contacts: 1. Anshul Tiwari

(anshultiwari.om@gmail.com)(+918756759350)

2. Pranjali Yadav (pranjaliyadav1602@gmail.com)

3. Dr. Devendra Kumar Patel(dkpatel@iitr.res.in)

Empowering Environmental Intelligence: A Case Study in AI-Powered Knowledge Management and Data Federation for Scalable Data Governance with EQuIS

Dan Alexander

EarthSoft, Inc.

Environmental data professionals manage and interpret information across diverse systems, formats, and stakeholder groups, including industry, regulatory agencies, consultants, laboratories, and communities. This case study explores how EarthSoft's EQuIS platform addresses these evolving needs through a hybrid approach that combines centralized data architecture, federated access, and an AI-powered knowledge management portal.

System Architecture and Data Access:

EQuIS integrates a centralized database with federated access to support standardized environmental data from air, water, and soil monitoring programs. This hybrid model enables users to interact with diverse data sources—without duplication or migration—balancing the control of centralized systems with the flexibility of decentralized access.

Visualization and Communication:

The EQuIS PlanEngage tool consolidates data from field apps, GIS, financial systems, 3D models, document and project management systems, and external websites into a single interactive platform. It includes geospatial data, dashboards, and reporting tools to:

- Navigate project data
- Visualize multi-source datasets
- Support planning, reporting, and communication workflows

This tool enhances stakeholder engagement by presenting project information in an interactive, narrative format that improves clarity, transparency, and coordination.

Environmental data often exists outside structured formats, making it difficult to access and analyze. Unstructured sources such as field

notes, PDFs, and images may contain valuable insights but are frequently underused. The EQuIS Helios knowledge management portal uses Microsoft AI services and optical character recognition (OCR) to:

- Summarize and search unstructured documents
- Identify sensitive information, such as personally identifiable information and profanity
- Convert unstructured content into structured formats for integration into EQuIS workflows

These capabilities help organizations extract value from unstructured data, improve accessibility and efficiency, and support more effective site management and decision-making.

EQuIS supports data governance, automation, and sustainability through features that:

- Enforce data quality standards
- Automate workflows to increase efficiency and reduce errors
- Facilitate compliance and audit readiness

The platform enables organizations to build scalable and adaptable data ecosystems. Treating data as a strategic asset promotes transparency, collaboration, and long-term sustainability.

The EQuIS platform demonstrates how a hybrid data management approach can meet the evolving demands of environmental data professionals. By integrating centralized architecture with federated access and AI-powered tools, EQuIS supports efficient data access, improved communication, and informed decision-making. Its capabilities in visualization, unstructured data integration, and automated governance workflows enable organizations to manage complex environmental data ecosystems with greater transparency, adaptability, and sustainability.

Keywords: environmental data management, data governance, federated access, artificial intelligence, stakeholder engagement

Contacts: dalexander@earthsoft.com (+1 440 212 4062)

Closure Strategy: DNAPL Impacts in a Karst Setting

Johan DeFraye¹, Dennis Connair PG², Rachel Bosch PhD³

¹Signify (speaker), ²AECOM (speaker), ³AECOM

Abstract

Signify, the world leader in lighting for professionals, consumers and the Internet of Things, is committed to eliminating ongoing environmental liabilities at both current and legacy facilities worldwide. Signify's strategy focuses on early identification and characterization of potential issues, establishing remedial targets that avoid or eliminate long-term liabilities, and implementing sustainable, long-lasting remedies.

Case study in progress: A facility in central United States that was inherited as part of a larger acquisition but never operated by Signify had known historic releases of an unknown quantity of tetrachloroethene (PCE) from historical degreasing operations. These releases impacted groundwater in the underlying epikarst and shallow fractured carbonate bedrock environment. Prior to Signify's control, characterization was limited to testing of soils and a nearby small epikarst spring. The historical remediation addressed only the near-field epikarst environment/spring, and ongoing action was limited to monitoring of the spring and receiving stream. Signify engaged AECOM to fully evaluate impact to groundwater in 2013. The modern remediation approach has involved multiple campaigns resulting in the installation of 45 bedrock wells. Each well was drilled with fracture/karst characterization in mind, installed and tested for contaminant concentrations, hydraulic connections, and dense non-aqueous phase liquid (DNAPL) presence, while compound-specific isotopic analysis was used to segregate source areas and release mechanisms.

Testing revealed that the contaminant mass was present in three zones, described here from shallowest to deepest:

- Epikarst zone: the impacted soil and epikarstic soil-bedrock interface under the source areas,

- Uppermost bedrock aquifer: dissolved-phase groundwater impacts in interconnected fractures in shallow bedrock, and
- Deep bedrock zone: DNAPL accumulations in deeper non-water-bearing, isolated bedrock fractures.

Two- and three-dimensional conceptual site models representing the contaminant zones were developed to illustrate the discrete nature and separation of these zones and their distinct behavior over the course of remedial efforts. These illustrations are critical to the communication of Signify's risk management strategy to stakeholders within the company, in the community, and in regulatory enforcement.

Sustainable remediation and closure rely on addressing the characteristics of each of the three contaminant zones. In the epikarst zone, shallow impacted soils at the epikarstic soil-bedrock interface are being subjected to injections of emulsified zero valent iron to promote biotic and abiotic degradation of tetrachloroethylene. The deep bedrock zone has been addressed by additional well installation and ongoing extraction of over 440 kg of separate-phase PCE. The uppermost bedrock aquifer, which benefited from both source reductions, was demonstrated to be isolated from migration and exposure potentials in excess of risk targets. Institutional controls (regulatory environmental covenant, property deed restriction on the land, and municipal zoning controls) are, or will be, established to enforce risk assumptions.

Keywords: (Tetrachloroethene, DNAPL, karst, epikarst, conceptual site model)

Contacts: johan.de.fraye@signify.com, dennis.connair@aecom.com (+1-513-607-8005), rachel.bosch@aecom.com.

Enhanced Bioremediation Of Petroleum Contaminated Soils In Extreme Arctic and Desert Conditions

George A. Ivey¹, Miikka Tunturi², Katie Oliver³

¹ Ivey International Inc., ² Lamor Corporation, ³KBL Environmental Limited

Abstract

Normally hydrophobic organic chemicals (HOC), including low (i.e. BTEX and Gasoline), medium (i.e. Diesel and Motor Oil), and higher (i.e. Bunker-C and Crude Oil) molecular weight petroleum compounds, in the C6 to C50+ range, exhibit limited solubility in water. As a result, these contaminants phase partition and sorb (i.e., absorb and/or adsorb) onto soil grain surfaces. Contaminant sorption has been well cited in literature for significantly reducing their bioavailability for microbial mineralization during ex-situ bioremediation. Three decades ago, the US Hazardous Substance Research Center stated in 2005; "During the past decade, much discussion has centered on the unavailability of absorbed compounds to soil microorganisms; it is generally now assumed that desorption and diffusion of bound contaminants to the aqueous phase is required for microbial degradation." Notwithstanding the established limitations of sorption, remediation practitioners have been undertaking soil bioremediation in very extreme environments including the Arctic of northern Canada to the deserts of Kuwait, in the Middle East. These extreme environments present non-optimal temperatures for bioremediation reaching <50oC in the Arctic winter, to >50oC in the desert summer. Extreme temperatures cause environmental stress to bacteria, soil desiccation (moisture loss), and truncation of microbial activity with reduction of active bacterial populations. These factors and more, impede the biological oxidative kinetics of putrefaction bacteria, during ex-situ bioremediation, leading to multi-year bioremediation to achieve the regulatory objectives in both Canadian Arctic and Middle East Desert settings.

This presentation details how the use of surfactant enhanced bioremediation (SEB) processes, presented a viable alternative to enhanced bioremediation in these extreme environments of the Canadian North, associated with remote soil bioremediation treatment facilities, and the remediation of legacy oil contaminated soils in Kuwait, from the Kuwait war (Ca. 1990-1991). Further, the mechanism of how SEB works to overcome contaminant sorption to significantly increase the bio-availability of the petroleum contamination for microbial mineralization is detailed for both environments, including lessons learned. Additional technical details are discussed in how SEB works from improving the heterotrophic bacterial populations, to improving moisture and nutrient transition within the soil matrix, and achieving single season (3 to <4 month) soil bioremediation in the Arctic to similar time frames in the desert, down from >9 to >12 months. The involved time savings, greatly reduced resource allocations, have improved the operational profitability when employing SEB strategies within these extremes working environments. Specific case studies are shown with third-party verified data sets, figures, tables, photographs and related working conditions.

Enhanced PFAS Decontamination Of Soil, Bedrock, Aquifer and AFFF Fire Suppression Systems, Without Foam Fractionation

George A. Ivey¹, Dr. David Holmes², Dr. Cecilia Macleod and Reshmi Prakash³, Scott Poynor⁴

¹ Ivey International Inc, ² Geosyntec Consultants Ltd, UK; ³ University of Greenwich, UK, ⁴ Geologic Science and Technology)

Abstract

Conventional removal of PFAS from aquifers depends on groundwater pump and treat (P&T). Groundwater is recovered and PFAS is removed, most often by filtration and granular activated carbon (GAC), with ion-exchange resins having increasing usage. P&T can take decades to complete as the efficacy of the process is limited by contaminant sorption (i.e. adsorption and absorption) to soils, hydraulic conductivity (K), and the relative low concentrations of PFAS in groundwater, even when the PFAS source zone is relatively close by. In-situ injection of granular sorptive materials to physically sorb the PFAS mass has shown some promise, but injectable products are hindered by the injection mass limitations, relative to the stoichiometric mass of PFAS trying to be fixated.

Specialized surfactant enhanced recovery of PFAS contaminant mass, from source-zone areas has been demonstrated to be more cost-effective than using P&T and/or injectable sorptive products alone. Operational time frames have potential to be significantly lowered, when used for PFAS source zones. This collaborative multi-year university column study work represents the first attempt to understand the potential of specialized surfactants, with additives, to increase the mass removal rates of PFAS, at a scale using reagent concentrations that are environmentally applicable.

Additionally, recent AFFF fire suppression system PFAS surfactant decontamination has been successfully undertaken with a capacity to lower PFAS concentrations by >50,000, compared to conventional solvent flushing, with no risk of rebound, or contamination of the AFFF replacement products.

Large diameter column tests were designed to measure the effectiveness of a specifically developed surfactant formulation to potentially increase the concentration of PFOS and PFAS (linear and branched) compounds in aqueous phase, in simulated enhanced recovery experiments. Solvent and surfactant extraction were compared. Foam-fractionation was omitted from the scope of testing in favor of enhanced desorption for surface system decontamination. The experiments were run at the University of Greenwich, UK, and Dallas TX, USA, in collaboration with Ivey International Inc. and Geologic Science and Technology.

A series of column experiments were carried out using 75 cm high and 14 cm diameter columns. A mineral sand was used in the first instance, followed by the addition of 10% by mass activated carbon to show the impact of organic material. The columns filled with mineral sand and were saturated from the base and spiked with high concentrations of PFOA and PFOS to mimic a source zone. They were then drained and the effluent sampled.

They were filled again, one with solvents at 50% concentration, and the other with novel surfactant formulation at 4% concentration, drained and the effluent sampled. The columns were then deconstructed and a moisture profile was measured, with soil samples taken to measure the retained PFAS. Further samples of the same soil were then mixed with activated carbon and the columns were set up again. The same procedures were followed, with an additional drainage carried out. A moisture profile was again taken during column deconstruction with soil samples taken to measure retained PFAS.

In the AFFF fire suppression system decontamination of pumps, piping and related equipment, the systems was subjected to conventional flushing which could remove no more than 90% of the PFAS, leaving high residuals behind for back diffusion. Then a specialized surfactant proprietary flushing under specific pressure, temperature and energetic recirculation conditions, to achieve a very high degree of PFAS mass removal. This was evidence by baseline swab testing, before, during and post surfactant treatment, which was coupled with time based effluent sampling. All sample analysis was done in accordance with the EPA Method 1633, with carbon 13 labelled standards to improve the analytical sensitivity.

The experiments showed the effect of both solvent-enhanced extraction and surfactant enhanced extraction, as well as the mass of PFOA and PFOS retained following the drainage tests. Furthermore, the moisture profiles at the conclusion of the tests showed the positive effects of surfactant on the unsaturated soils. The addition of surfactant was demonstrated to lower the moisture content of soils, allowing more water to be drained and therefore greater mass removal of any liberated contaminant, including PFAS, in the drained layers.

The surfactants reproducibly increased liberated the PFOA and PFOS by >200% to >600% compared to water flushing alone. These experiments represented a novel approach for in-situ PFAS source zone treatment at an environmentally relevant scale, using around 12 L of specimen and reagent concentrations that are applicable to sustainable field-application.

The AFFF fire suppression system surface decontamination showed a 99.99998% PFAS mass removal, averting the costly system removal, high disposal costs, and elimination of the risk for back diffusion of residual PAF to contaminants the new fire suppression products to be used.

This testing looked PFAS from C4 through C12, given the broad range of PFAS contaminants of concern globally. Results also demonstrated in this approach there was no necessity for using foam fractionation to achieve effective PFAS surface decontamination within the involved systems.

Enhanced LNAPL Recovery From Low Permeability Strata by Means of Sand Layer Injection Using i-SAV® Technology and Non-ionic Surfactant Application

Heckelsmueller, A.¹, Dannwolf, U.¹, and Ivey, G.²

¹ RiskCom GmbH Germany; ² Ivey International Inc.

Abstract

In a pilot test sand layers with a total of 8.5 tons of sand were emplaced in the contaminated subsurface fine-grain soils by means of hydraulic stimulation (i-SAV® technology) at one injection bore. Nine sand layers in a depth section between 16.6 m and 19.6 m were successively constructed at vertical depth intervals between 30 and 50 cm. The subsurface site strata in which the sand layers were emplaced consists low-permeable partially fissured fine sediments such as silts, clays and sands as wells as carbonates, and residual sulphates (gypsum), which were deposited in a shallow deltaic and lagoon environment during mid-Keuper times.

The viscous suspension of drinking water, carrier medium and sand as well as other additives were prepared in a mixing unit and immediately afterwards injected. The injection pressure exceeds the cohesion forces of the silty/clayey rock allowing the suspension to penetrate the rock as a dedicated layer.

The addition of non-ionic surfactants at concentrations below the critical micelle concentration improve the extraction of the gasoline phase (LNAPL) by mobilization while reducing the interfacial tension (IFT) of the water-oil system and changing the wettability (i.e. the wetting angle) of the strongly weathered sedimentary rock. As a consequence, the reduction of the IFT leads to a reduction in entry pressure and capillary number. The capillary number defines the ratio between the frictional forces (viscosity forces) and the capillary forces (interfacial tension). A reduction of the IFT has a particular effect on the continuous mobile LNAPL as it reduces the capillary forces, thereby increasing the capillary number. Therefore, the sand-gel was coated with a surfactant-water mixture immediately after injection to make the gasoline phase available to the sand layers. The pilot test

was aimed at assessing the effect of sand layers in combination with a surfactant addition for extraction of the mobile available gasoline phase from the low-permeable rock.

The removal of the gasoline phase in the area of the pilot test was carried out after the placement of the sand layers by vacuum enhanced skimming (VES) and vacuum enhanced recovery by dual phase extraction (DPE). From the extraction well, directly at the location of the injection borehole, approximately 1,230 L of gasoline phase could be extracted over a period of 3 months, with addition of surfactants, which previously only allow for of 80L of LNAPL recovery in 15 months. The surfactant also increased the concentration of contamination in the extracted groundwater by 10X, and aided the enhanced mass recovery of 1250 kg of VOC by the SVE system.

The sand layers injected have a permeability K of $2\text{E-}4$ m/s to $1\text{E-}3$ m/s and are significantly more permeable compared to the formation ($K=1\text{E-}6$ m/s to $<1\text{E-}7$ m/s). Calculations indicated that the average rock permeability in the injection interval was increased by 90 times and the porosity by 50% by the introduction of nine layers of sand with a cumulative thickness of 10 cm. The permeability of the aquifer with respect to the gasoline phase should therefore also increase by more than two orders of magnitude.

In order to answer the question of whether a detectable increase in permeability of the sedimentary rock for the extraction of the mobile gasoline phase was made possible by the sand injections, existing data from CPT soundings and results from the groundwater potential measurements before and after as well as during the sand injections were evaluated.

We conclude that a significant LNAPL recovery can be achieved from low permeability strata by means of sand layer emplacement using i-SAV© injection technology and non-ionic surfactant application.

Paradigm shift in remediation management:how to go from decades to months

George A. Ivey

¹ *Ivey International Inc.*

Abstract

A gasoline pipeline developed a leak resulting in pooled petroleum at the surface. The leak was repaired and impacted soils excavated down to 12 feet. The petroleum percolated through complex stratigraphy consisting of alternating sand, silt, clay, and sandstone lenses impacting groundwater at 60 feet. The site was placed under an Agreed Court Order. Contamination was delineated, with remedial goals of permanently remove of LNAPL, reduce groundwater Benzene and TPH to ≤ 0.050 mg/L, and ≤ 25.0 mg/L. Remedial design was developed solely using existing data.

Five remedial technologies were applied over 13 years, with significant rebound at the conclusion of each remedial technology, with none of the remediation goals achieved. At a legal hearing in year 13, the Judge informed the Responsible Party that 'effort does not equal progress, and an alternate strategy must be developed'. A TX company was retained to develop a path forward that quantitatively demonstrated progress toward Court Order remedial goals.

A new Conceptual Site Model was developed incorporating High Resolution Site Characterization (HRSC) and 3D modeling. This study revealed laterally discontinuous pooled hydrocarbons occurring at multiple vertical intervals. These hydrocarbons serve as secondary sources to groundwater resulting in chronic post-remedial rebound.

The remediation plan focused on eliminating all secondary sources in the vadose zone, before remediating dissolved phase contaminants. A surfactant was used to selectively desorb, mobilize, and remove LNAPL sequestered in the vadose zone. HRSC allowed targeted injections that resolved secondary source with precision. After secondary source abatement, the dissolved phase contamination was

remediated by ISCO, as remaining TPH was within the stoichiometric limitations of ISCO.

By eliminating secondary sources prior to dissolved phase remediation, the contaminant reduction efficiencies were drastically improved. Within 45-days of surfactant treatment, all measurable LNAPL was eliminated from all wells without rebound. Approximately 45-days after initiating ISCO, Benzene and TPH groundwater concentrations were reduced below regulatory goals. These reductions were sustained in post-remedial monitoring. During the Agreed Court Order hearing, the presiding Judge agreed with Regulator's recommendation issuing a No Further Action Status. During the first 13-years of remediation, effort and money was split between remediation, managing annual cash flow, and avoiding enforcement. This resulted in considerable time, cost, trying 5 different technologies without progress.

The revised CSM enabled employment of a more tactical remediation strategy. Development, permitting, implementation, and validation were achieved in 2 years. Although the annual allocated expenditure increased, overall project costs were substantially lower than the projected budget (on a net present value basis).

This paradigm shift in the remediation strategy was completed in 8.5 weeks, or just 1.25% of the 13 years of unsuccessful costly remediation, resolving the prevailing legal liability mitigated quickly, rather than perpetuated for decades. This success resulted in a paradigm shift for the party responsible regarding future liability management that minimized the time and costs required to achieve No Further Action Status using a precise and tactical remedial strategy.

Arduino based Smart Irrigation System Design, Challenges and Solutions

Enes Furkan Sancak¹, Mert Erol², Burcu Kiran¹

¹ TUBITAK MAM Research Center (speaker), ²Freelance Consultant

Abstract

Irrigated agriculture is essential for sustaining the global food supply. Over-irrigation may result in soil erosion and increase the likelihood of surface and groundwater contamination due to runoff and leaching, often requiring the application of additional fertilizers and chemicals. In contrast, under-irrigation can compromise crop yield and quality. Mounting economic, political, and environmental pressures have intensified the need to reduce or eliminate inefficiencies in water and energy use across both agricultural and landscape irrigation systems. Employing low-cost soil moisture sensors for irrigation scheduling has proven effective in enhancing profitability while simultaneously safeguarding environmental resources.

In this study, we describe the system that we build up in order to record resistive measures of soil matric potential and automate irrigation events. The hardware design comprises of two Watermark 200SS soil moisture sensors, a flow sensor; an Arduino edge control, LCD screen, relay module, a submersible differential pressure liquid level sensor, motorized ball valves, irrigation pumps and laboratory scale pots. The developed irrigation system features two independent irrigation zones, each monitored for soil moisture in centibar units. The water flows through an YF-B2 flowmeter and distributed to the zones using two 9V DC latching solenoid valves. Each irrigation zone has an individually defined soil moisture threshold. Once this threshold is exceeded, the system triggers the respective valve to start irrigation. However, accurate soil moisture measurement requires the water to infiltrate the soil and reach the sensor. To address this, the system implements a periodic open-close valve cycle, such as 10 seconds open followed by 20 seconds wait time, and continues this cycle until the sensor reading drops below the set threshold. The system supports both in manual and automatic operational modes.

We also address two major technical challenges and mitigation strategies that we experienced in order to aid other researchers. The first challenge was the inaccurate sensor readings. As per the manufacturer's guidance, due to their high internal resistance, conventional analog readings using Arduino were unreliable. In order to solve this challenge, we integrated the 200SS-SDI sensor adapter, which is specifically designed for Watermark sensors. Using SDI-12 protocol, the adapter offered highly stable and accurate digital readings. The other major challenge was the EMI/RFI noise. Arduino and similar development boards are inherently vulnerable to electromagnetic interference due to their low-voltage operation and lack of industrial-grade protection circuitry. To resolve this, several mitigation strategies were implemented such as optocoupler modules and Schottky diodes, shielded cables, signal wires and power lines for relays and solenoids, electrical isolation of the power supply for Arduino and sensors from the relays/valves, optimized software routines, constant monitoring of SDI-12 communication and a watchdog timer. Through these measures, system stability and measurement reliability were significantly improved.

Although Arduino is ideal for prototype development, future expansions and field use cases should leverage 12V or 24V programmable logic controllers to ensure long-term reliability and integration with other industrial automation equipment.

Keywords: Arduino, Watermark 200SS, soil moisture, smart irrigation

*Contacts: enes.sancak@tubitak.gov.tr(+905074251292),
hmm.mrt@gmail.com; burcu.uyusur@tubitak.gov.tr*

Microbial remediation of PFAS-Impacted Industrial Soil & Water

Katherine French¹, Jordan Baker¹, Azion White¹, Nate Diplock¹

¹ *BluumBio, Berkeley, CA USA*

Abstract

PFAS is now a major concern within multiple industries, from petroleum and mining to wastewater and aerospace. In the US, EU and Australia, increasing regulation means that a variety of industries are now required to remove these chemicals from their waste streams and any environmental releases from previous industrial activity. To date, a variety of products are on the market for removing PFAS from water, including condensing technologies, membranes that remove PFAS, and supercritical oxidation. However, to date there are no technologies on the market for removing PFAS from soil/solid matrices. The prevailing method of remediation is to excavate the contaminated soil and dump it into a landfill. This is expensive and simply moves the problem from one area to another. In addition, the only systems available on the market for treating groundwater involve continuous pump and treat systems which can be expensive to install and maintain over time.

Four years ago, our research group sought to understand what microbes if any can break down PFAS and the extent to which a microbial-based approach could be used to remediate PFAS-impacted industrial sites. During this period, we developed an in-house culture collection with over 2000 microbes. We sequenced their DNA and developed a proprietary database called the BioDegrDatabase. We used this database to identify microbes with metabolic pathways we believed may be involved in PFAS destruction. Using this approach, we identified 60 microbes with the potential to break down PFAS. We then screened these organisms on a variety of fluorinated compounds in microplate assays, included the 6 PFAS compounds regulated by the US EPA, using LCMS to identify degradation. We identified 12

microbes with the ability to break down a variety of fluorinated chemicals; of these, only two could break down the 6 regulated EPA chemicals. To verify this loss of PFAS was not simply due to bioaccumulation, we performed mass balance experiments. We then used small scale assays to formulate a product containing the right ratio of both microbes and additional nutrients to support microbial growth, resulting in the product “Bluum Delta.” To date, we have developed three formulations for treating soil/biosolids, groundwater and wastewater.

This talk will present the results of treatability studies and small-scale trials with partners in the US, EU and Australia. Although there is some variability based on specific characteristics of a site (e.g. soil type, pH, etc), we have seen rates of up to 95% removal of PFAS in 28 days (with starting levels as high as >6000ppb) in industrial soils and biosolids. In the wastewater space, we have seen >99% removal of PFAS, from ~30ppb to 200ppt in 48h. In groundwater, we have seen >90% removal of PFOS (for example) in 48h at sites with moderate contamination (e.g. 100ppb) after a single application, with several injections of the product needed to achieve clean up goals. We have identified transient byproducts of these processes, including fluorinated propionic acids and fluorinated butanoic acids, and have identified the metabolic pathways and enzymes involved in microbial metabolism of PFAS. This data suggests that microbial bioremediation of PFAS is a simple, quick, and scalable approach to treating a wide variety of large complex industrial sites.

Keywords: bioremediation, PFAS, groundwater, mining, wastewater

Contacts: katherine.french@bluumbio.com (+1 617 435 7236)

A statistical approach to identify CH₄ hot spots in landfills using UAV data

Maurizio De Molfetta¹, Maurizio Guerra², Antonio Diligenti³, Marco Falconi², Vincenzo Fiano², Chiara Fiori², Donatello Fosco¹, Lucina Luchetti⁴, Bruno Notarnicola¹, Pietro Alexander Renzulli¹, Enrico Sacchi⁵, Nino Tarantino⁶, Marcello Tognacci⁷ and Antonella Vecchio²

¹Dipartimento Jonico, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, 70121 Taranto, Italy; ² Department for the Geological Survey of Italy, ISPRA Italy; ³ ARPA Abruzzo, Distretto di Chieti, Italy; ⁴ Regione Abruzzo—PNRR Department, Italy; ⁵L.A.V. Srl., 47924 Rimini, Italy; ⁶ Commissario Unico per la Bonifica delle Discariche e dei Siti Contaminati, Italy; ⁷Whitelab Srl-LAV, Italy;

Abstract

Landfills are significant anthropogenic sources of methane (CH₄), a potent greenhouse gas. Methane emissions pose environmental, safety, and energy recovery challenges. Traditional gas emission monitoring methods, such as soil gas probes and flux chambers, offer direct measurements but can be time-consuming, costly, and limited in spatial coverage. In recent years, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) equipped with sensors have emerged as a promising solution to overcome these limitations, offering significant improvements in acquisition speed and study-area coverage, and enabling data collection in otherwise inaccessible areas [1]. However, UAV-collected data, particularly ambient air measurements taken over an air column, can be noisy and challenging to interpret due to atmospheric variations, wind speed and direction changes, instrumental errors, and varying landfill morphology. This requires advanced data processing techniques to accurately identify methane emission “hot spots”. This study presents a novel statistical methodology for processing UAV-based CH₄ data to identify such “hot spots”.

The core innovation is the systematic grouping of thousands of raw observations to identify spatial structures—clusters of high methane values—that are unlikely to occur by chance. Both linear segmentation and two-dimensional areal aggregation (hexagonal grid) approaches

were employed, with a threshold value defined and clusters evaluated for randomness using combinatorial probability and LISA-derived pseudo-probabilities. Some limitations of the study include: the inherent spatial misalignment between UAV-integrated column readings and surface flux measurements, the difficulty of interpreting CH₄ values in turbulent near-surface air layers (wind, UAV downdraft, etc.), the low detection frequency of the flux chamber method, which limited the number of direct comparison points.

Despite these limitations, the results strongly support the utility of geostatistical analysis for UAV-acquired CH₄ data. Clusters with $p\text{-val} < 0.01$ were consistently co-located with flux-confirmed emissions, validating the proposed method of data handling. The research also points to crucial areas for future optimization:

- **Improvement of UAV Acquisition Strategy:** Emphasizing the importance of well-planned drone routes to ensure uniform areal distribution of observations and the necessity of a buffer zone around the target area to mitigate edge effects³².
- **Refinement of Flux Measurement Detection Limits:** Many CH₄ flux measurements yielded non-detectable results, indicating a need for improved detection capabilities in this method.
- **Future Research under Semi-Controlled Conditions:** Conducting data acquisition with known methane sources will be vital to determine optimal parameters for UAV surveys, such as flight height, sampling frequency, grid resolution, and the influence of wind.
- **Scalability:** Exploring the applicability of this advanced statistical approach to other gases and diverse environmental contexts is also recommended.

Despite some inherent limitations of UAV data acquisition in complex atmospheric conditions, the experimental results from the landfill study are highly encouraging, demonstrating the effectiveness of advanced statistical processing in identifying methane emission hotspots and validating these findings with independent ground-based measurements. This work represents a significant step forward in optimizing landfill gas emission monitoring and management

*Contacts: maurizio.demolfetta@uniba.it;
maurizio.guerra@isprambiente.it;*

The legacy of mining in the Iberian Pyrite Belt: effects on environmental quality in the Chança Reservoir

Ana Barroso¹, Teresa Valente¹, Isabel Margarida H. R. Antunes¹,
Renato Henriques¹, Amélia Paula Marinho Reis^{1,2}

¹ICT – Institute of Earth Sciences, pole of University of Minho, University of Minho, Braga, Portugal;

²GEOBIOTEC, Geosciences Department, University of Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal

Abstract

The Iberian Pyrite Belt (IPB), spanning southern Portugal and Spain, is one of the world's largest metallogenic provinces, historically exploited for polymetallic sulphides such as pyrite, chalcopyrite, sphalerite, and galena [1]. Although mining activities have brought economic benefits, they have also caused significant environmental impacts, particularly through acid mine drainage (AMD) [1,]. AMD results from the oxidation of exposed sulphide minerals, producing highly acidic waters containing elevated concentrations of potential toxic elements (PTEs) [2]. The Chança River sub-basin, in southeastern Portugal near the Spanish border, is part of the transboundary Guadiana River basin. It includes the Chança Reservoir, a strategic water resource for the Baixo Alentejo (Portugal) and Andalusia (Spain), providing water for drinking and agriculture. Constructed in 1985, the reservoir covers about 17 km² and holds up to 386 hm³ of water. The main tributaries of the Chança River are the Trimpancho stream and the Cobica and Malagón rivers on the right bank (Spanish side), and the Mosteirão stream on the left bank (Portuguese side). These watercourses drain the sub-basin, including tributaries that cross abandoned mines of the IPB, such as São Domingos and Trimpancho mines. AMD is particularly severe in the Trimpancho and Mosteirão streams, where low pH and high metal(loid)s concentrations compromise water quality and aquatic life [3,4]. The region's Mediterranean climate, with dry summers and wet winters, causes seasonal variations in river flow. These fluctuations can lead to higher pollutant concentrations during dry periods, while

the initial rains following summer often trigger rapid increases in contamination due to runoff from mining areas. Given the strategic importance of the reservoir and the environmental risks posed by mining effluents, this study aims to conduct a preliminary assessment of the impacts of AMD in the region. This evaluation is essential for protecting public health and informing future mitigation strategies to address contamination from abandoned mines.

The results obtained from analysing surface waters and sediments in the Chança River sub-basin highlight the considerable impact of the abandoned mines on the environment quality. The presence of extremely acidic waters and elevated concentrations of PTEs at points near the São Domingos mine, confirms the severity of contamination caused by AMD. Concentrations of Fe, Al, Cu, Zn, and As, among other metals, far exceeded the legal limits for waters intended for human consumption and agricultural irrigation, thus compromising the use of these water resources. Moreover, granulometric and geochemical analyses of the sediments revealed that they act as important reservoirs of PTE contaminants, particularly at P5 and P8, where geoaccumulation indices indicate high to extreme pollution levels. The observed spatial heterogeneity, with a tendency for dilution and attenuation of impacts in larger water bodies, does not eliminate the environmental and public health risks associated with localized contamination. These findings underscore the need for continuous monitoring and environmental management measures to mitigate the effects of abandoned mining areas. In summary, the study confirms that the Chança River sub-basin remains vulnerable to AMD contamination, necessitating integrated and effective policies for environmental quality restoration and the protection of aquatic ecosystems and local communities.

Acknowledgments:

Ana Barroso acknowledges the support of FCT – Foundation for Science and Technology, I.P., through the research fellowship UI/BD/151330/2021. This work was also co-funded by FCT under the UID/04683 program of the Institute of Earth Sciences (ICT).

Contacts: id9873@uminho.pt

Navigating the PFAS Tsunami in Europe: Insights and Future Directions

***Nuyens Dirk¹, Van linden Jan¹, Mori Piero², Remonti Michele²,
Delhalle Benoist³, Corrège Olivier³, Herch Andrea⁴, Stiebeling
Georg⁴, Girod Pascale⁵ & Andreas Stoll⁵***

¹Environmental Resources Management Belgium & the Netherlands,

²Environmental Resources Management Italy, ³Environmental Resources Management France, ⁴Environmental Resources Management Germany & ⁵Environmental Resources Management Switzerland

Abstract

This presentation highlights ERM's extensive experience at the forefront of managing complex PFAS-related environmental challenges across Europe. With the emergence of new scientific insights into the human, ecotoxicological, and environmental risks of PFAS, and growing evidence of their widespread use and persistence, regulatory responses have intensified at European, national, and local levels. These developments are further amplified by strong societal and media scrutiny.

Many countries are now requiring PFAS manufacturers and users to conduct baseline assessments and inventories. However, the legal landscape remains highly dynamic, shaped by evolving science, cost-benefit analyses, and strategic policy decisions. Environmental baseline investigations are increasingly complex, often involving multi-pathway exposure assessments, testing food products, flora and fauna, and integration of human biomonitoring data.

Interpreting laboratory results can be challenging, especially when advanced testing reveals lesser-known PFAS compounds with limited toxicological, which complicates stakeholder engagement when results need to be placed in the right context. Anthropogenic PFAS background levels are ubiquitous across Europe, with elevated concentrations in industrial clusters and intensively farmed areas. Human exposure is primarily linked to ingestion via food, soil, dust,

and water, with additional exposure from consumer products and household dust.

Determining remedial liabilities is equally complex, often involving multiple stakeholders and requiring advanced PFAS fingerprinting techniques. Soil remediation strategies depend on PFAS concentrations, compound profiles, soil characteristics, and treatment capacity, with feasible technologies including incineration, thermal desorption, in-situ stabilization, phytostabilization, soil washing, landfilling, and engineered containment.

Groundwater treatment may necessitate sophisticated treatment trains, especially for short-chain PFAS, which are less effectively removed by conventional methods like GAC (granulated active carbon). Technologies such as reverse osmosis, ion exchange, SCWO (supercritical water oxidation), and SAFF (surface active foam fractionation) are increasingly being deployed.

Environmental liabilities are becoming business-critical, with companies required to disclose PFAS-related risks under the new European reporting directive and invest in legacy remediation and compliance. Addressing source area mass is becoming a regulatory standard in many jurisdictions.

While the regulatory trajectory remains uncertain, it is evident that PFAS will remain a central issue on both regulatory and societal agendas. A pragmatic and proportionate approach will be essential to navigate and resolve the PFAS conundrum.

Keywords: PFAS, proportionality, environmental liabilities, stakeholder engagement & holistic solutions

Contact: dirk.nuyens@erm.com (+32 475 84 55 61),
jan.vanlinden@erm.com, benoist.delhalle@erm.com,
piero.mori@erm.com, michele.remonti@erm.com,
olivier.correge@erm.com, andrea.herch@erm.com,
georg.stiebeling@erm.com, pascale.girod@erm.com, &
andreas.stoll@erm.com.

Study on Cross-Medium Migration of Halogenated Hydrocarbons in The Amphibious Cross-Contamination Site Based on Electrical Methods: Hydrodynamic Constraints

Yu Wang¹, Guanlin Guo¹, Xiaoyang Liu¹, Juan Wang¹, Tingting Fang¹, Xueting Shao¹

¹Technical Centre for Soil, Agriculture and Rural Ecology and Environment, Ministry of Ecology and Environment, China

Abstract

Halogenated hydrocarbon pollution is widely distributed in China, and its occurrence and behavior in groundwater and site environment are closely related to human health. The complex source zone architecture of the contaminated site in the land-water interaction zone and the changeable dynamic conditions of the groundwater lead to the hidden and complicated characteristic of halogenated hydrocarbon pollution. However, effective methods and high-precision data support for the determination of halogenated hydrocarbon migration and transformation are lacking at present. Therefore, the combined technology of resistivity tomography and induced polarization (DCIP) is adopted to study the halogenated hydrocarbon pollution migration at the site of the water-land interaction zone. By the utilization of sample analysis, in-situ exploration monitoring and a series of physical simulation experiments, the project will establish the electrical determination method for the cross-medium halogenated hydrocarbon pollution, clarify the electrical feedback of site pollutant migration, diffusion, and decay under hydrodynamic constraints, discuss the occurrence state, migration and transformation characteristics of halogenated hydrocarbons, and focus on revealing the pollutant migration rules and control factors in key areas (saturation-unsaturated interface and lithology mutation interface) of contaminated sites under the hydrodynamic constraints. The research results are expected to clarify the environmental behavior and effect of halogenated hydrocarbon

pollutants in the water-land interaction zone, and provide scientific basis and technical support for the prevention and control of polluted sites adjacent to the ocean and river, which has far-reaching theoretical and practical significance.

Keywords: Halogenated hydrocarbon, Hydrodynamic Constraints, Amphibious Cross-Contamination Site

*Contacts: wangyu@tcare-mee.cn, guoguanlin@tcare-mee.cn,
liuxiaoyang@tcare-mee.cn, fangtingting@tcare-mee.cn,
wangjuan@tcare-mee.cn, shaoxueting@tcare-mee.cn.*

Criteria for the identification and management of backfill materials at Italian contaminated sites

Arelli Alessia¹, Capobianco Oriana¹, Falconi Marco¹, Guerra Maurizio¹, Rischia Irene¹, Vecchio Antonella¹

¹ISPRA - The Italian Institute for Environmental Protection and Research, ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) – Via Vitaliano Brancati, 48 - 00144 Roma (I)

Abstract

The Italian scenario of contaminated sites presents several examples of historical contaminations, especially of industrial origin, which consist of extensive and deep layers of material of uncertain nature, repositioned on the site in remote times.

These diffuse cases are relevant especially in the Sites of National Interest (SIN), which are one of the most important focus of SNPA activities (National Environmental Protection System) composed of ISPRA (The Italian Institute for Environmental Protection and Research) and the territorial ARPA (Regional Environmental Prevention Agency).

For these reasons, Italian legislation introduced the definition of a new environmental matrix to identify inhomogeneous mixtures of anthropogenic and natural materials repositioned on site, distinguishing them from waste.

This new matrix, defined as "*backfill materials*" (MdR), is described in art. 3, co. 1 of Legislative Decree n. 2/2012 as follows: "*a heterogeneous mixture of material of anthropic origin, such as residues and waste from production and consumption, and soil, which composes a specific stratigraphic horizon with respect to the natural geological and stratigraphic characteristics of the soil in a given site, and used for the creation of fills, embankments and backfills*".

Furthermore, for a correct management of MdR, the Italian legislation requires an assessment of the potential risk of leaching for the aquifers located at the base of the MdR.

Considering the above, the Italian Ministry of the Environment gave mandate to SNPA to draft useful criteria for the application of the legislation on MdR, to provide concrete elements for their

identification, characterization and management, assignment that led to the publication of the SNPA Guidelines in 2023 (Guidelines 46/2023). The proposed criteria in these Guidelines are specified into three phases: identification of these matrices (MdR), sampling and characterization, and evaluation of the results. Each phase presents interpretative and operational criticalities that require particular attention.

Some criteria have been provided to support the identification of MdR to be filled: a) Historicity (installation prior to Presidential Decree 915/1982 has to be demonstrated with documentary sources or additional geological elements to support the dating); b) Method of dumping and degree of mixing of the anthropogenic materials with the soil (a heterogeneous mixture or an alternation of levels can be observed); c) Purpose of use or functions of use (use for foundations, fillings, embankments and backfills; authorized function of use).

Regarding MdR sampling and characterization, the number and location of the survey points must allow the identification of MdR geometric characteristics, estimating MdR volumes and thicknesses, and be useful for providing sufficiently detailed environmental representation. Based on any characterization data already available, homogeneous areas may be identified, founded on the conceptual model of the site, by type and thickness of backfill materials. Within each homogeneous area, several surveys point sufficient to adequately evaluate MdR extension and quality must be carried out. The solid matrices must be sampled and characterized in accordance with the current legislation for soils (Part Four, Title V of D.Lgs. 152/06). Representative samples of the entire horizon of the MdR must be subjected to *solid matrices transfer test*, as established by D.M. 5/2/1998, to assess the potential danger of the materials on the underlying aquifer.

For results evaluation, in addition to soil characterization results and the leaching test, LG SNPA 46/2023 promotes an integrated approach that uses the so-called "*field evidences*" to correlate the concentrations of contaminants detected in the MdR with the chemical conditions of the groundwater and the underlying soils, thus providing a more complete and accurate risk assessment.

The field evidences consist in the evaluation of: 1) solid matrices transfer test; 2) qualitative state of the groundwater; 3) qualitative

state of the soils underlying the MdR; 5) aquifer subsistence; 6) MdR isolation from the groundwater due to the presence of significant impermeable layers; 7) verification of the presence and evaluation of the construction methods of a covering system; 8) evaluation of the presence or distance from significant water bodies.

Methodological flexibility, which is one of the main features of SNPA Guidelines 46/2023, allows for the adaptation of management criteria to the specific characteristics of each site, allowing for the identification of diversified interventions that include mitigation actions, groundwater remediation, and the application of risk analyses that exclude certain leaching pathways when appropriate to do so.

The identification and management of backfill materials (MdR) remain a significant challenge for the effective management of contaminated sites. The SNPA Guidelines 46/2023 have helped provide a clear methodological framework for the classification and sampling of MdR, ultimately supporting the assessment and distinction between materials that can remain in place and those requiring remediation.

Keywords: backfill materials (MdR), SNPA Guidelines 46/2023, inhomogeneous mixtures of anthropogenic/natural materials, solid matrices characterization, solid matrices transfer test, field evidence

Contacts : alessia.arelli@isprambiente.it (+39 - 06 - 50072128), oriana.capobianco@isprambiente.it; marco.falconi@isprambiente.it; maurizio.queria@isprambiente.it; irene.rischia@isprambiente.it; antonella.vecchio@isprambiente.it

Analysis of bifenthrin insecticide in surface and groundwater from the Niayes agricultural area of Senegal by classical fluorescence and automatic fluorescence monitoring

***Diène Diégane Thiaré¹, Anta Sarr¹, Néhou Diouf¹, Coumba Faye¹,
Astou Ndiaye¹, Atanasse Coly¹, Philippe Giamarchi²***

¹Laboratoire de Photochimie et d'Analyse, Université Cheikh Anta Diop, 5005, Dakar, Sénégal, ²Laboratoire d'Optique et de Magnétisme (OPTIMAG), Université de Bretagne Occidentale (UBO), 6 Av. Victor Le Gorgeu, 29285, Brest Cedex, France

Abstract

The world's population is growing rapidly, particularly in Africa. In response to this increase in demand, farmers are using more pesticides to protect their crops from pest damage. This approach aligns with a production logic that meets market expectations. In this study, we analyze the pyrethroid insecticides widely used in Senegal's Niayes agricultural zone to control insect populations. However, these insecticides are associated with risks to human and animal health due to their toxicity. To address these concerns, it is crucial to develop sensitive, rapid, and reliable analytical methods to detect pesticide residues in natural waters. For this study, we employed a Varian Cary Eclipse 100 fluorescence spectrophotometer and a diode array spectrometer to analyze the insecticide bifenthrin (BIF) in natural water collected in the Niayes area. BIF's FLUO excitation spectra in water demonstrate two distinct bands at 214 and 250 nm. The emission spectra showed a single band at 315 nm. In AUTOFLUO mode, the BIF molecule was excited using a 250 nm diode. The calibration curves were established under optimal conditions. Their linearity was validated by variance analysis. A substantial regression was obtained; the regression variance was greater than the residual variance ($p\text{-value} \leq 5\%$). Additionally, the linear model was validated; the lack of variance is not significantly different from the pure error

variance (p -value $> 5\%$). The Student's t -test showed that the intercept of the calibration curves was not significantly different from zero (p -value $> 5\%$). The reproducibility was satisfactory, as indicated by the low interday precision values below 5%. In FLUO mode, the limit of detection (LOD) was 0.18 ng mL^{-1} , while the limit of quantification (LOQ) was 0.56 ng mL^{-1} . In AUTOFLUO mode, the LOD and LOQ were 0.03 and 0.09 ng mL^{-1} , respectively. These results demonstrate that the AUTOFLUO method is more sensitive, with an LOD that is 6 times lower than that obtained in FLUO mode. Finally, the standard addition procedure was used to analyze insecticide in spiked natural waters. In FLUO, recovery rates ranging from 96.5 to 102.4% were obtained, which is a very positive result. In AUTOFLUO, the recovery rates ranged from 99.3 to 105.2%, confirming the effectiveness of the process. The low daily precision values ($< 5\%$), attest to the repeatability of the measurements. To assess selectivity, we studied the potential influence of other pyrethroid insecticides and salts that may be present in natural waters. In all cases, the tolerance limit for interfering species is less than $\pm 5\%$, confirming the selectivity of the process. In this work, we have established practical, reproducible methods that will contribute to ensuring the safe and effective use of pesticides in agriculture. The results obtained will enable reliable monitoring of the pyrethroid insecticides used in the Niayes area and ensure optimal health conditions for the population.

Keywords: Insecticides; classical fluorescence; automatic fluorescence monitoring; surface and groundwater; analysis.

Contacts: thiaredienediegane@yahoo.fr (+221 77 5705016), sarranta45@yahoo.fr, nekhoul211@gmail.com, fayecoumba96@gmail.com, maguidadou@yahoo.fr, atanasse.coly@ucad.edu.sn, philippe.giamarchi@univ.brest.fr.

Preliminary results of cfd simulation of in situ thermal desorption for hydrocarbon-contaminated soil remediation

Rosario Napoli, Filippo Fazzino, Stefano Mauro, Federico G.A. Vagliasindi, Pietro P. Falciglia

¹ *Department of Civil Engineering and Architecture, University of Catania*

Abstract

Contamination by organic compounds such as petroleum hydrocarbons is a major environmental concern due to its ecological, economic and health impacts, which arises from accidental discharges and leaks during the transport and storage activities. The physico chemical properties of hydrocarbons can hinder the effectiveness of conventional remediation methods or make required treatment times incompatible with remediation goals. It is well known that thermal desorption can overcome such limitations. In particular, Thermal Conductive Heating (TCH) is one of the most efficient and effective technologies for in-situ remediation of hydrocarbons impacted soils. Its application involves the use of heating elements inserted into the contaminated soil. Electrical resistances inside those elements are capable of heating them up to 1000°C through Joule effect. During this process, the generated heat is then transferred uniformly and radially into the soil primarily by conduction and secondarily by convection. When the contaminants reach their vaporization temperatures, desorbing from the soil. The exhaust gas containing the generated volatile organic compounds are finally extracted by wells and treated. Nevertheless, the state of literature on field-scale implementation of in situ TCH is limited due to the complexity of developing and optimizing these technologies at the pilot-scale owing to high energy demands and the difficulty of predicting the results achieved. For these reasons, computational fluid dynamics (CFD) can be a very effective, economical, and fast tool.

In the present study Ansys Fluent software was used in order to evaluate the influence of several operating conditions on the TCH effectiveness for hydrocarbon soil remediation.

Preliminary results show that CFD models can simulate the variation of temperature of the treated soil during the first days of the TCH process, suggesting that they can be an effective support tool for designing thermal desorption plants, improving both energy efficiency and plant configuration. Moreover, this study suggests that CFD use combined with bench scale experiments optimize both cost and design time for full-scale plants.

Keywords: Thermal desorption, soil, remediation, technologies, temperature

*Contacts :rosario.napoli@phd.unict.it (+39 324 5979625),
filippo.fazzino@unict.it, stefano.mauro@unict.it,
federico.vagliasindi@unict.it, pietro.falciglia@unict.it*

Soil Remediation and Waste Diversion through Wood Ash Reuse in Bioenergy Cropping Systems

Abdulmannan Rouhani¹, Valentina Pidlisnyuk¹, Karim Suhail Al Souki¹, Sergej Ust'ak², Vojtěch Váňa², Andrzej Cezary Żołnowski³

¹Faculty of Environment, Jan Evangelista Purkyně University in Ústí nad Labem, Czech Republic, ²Crop Research Institute, Prague, Czech Republic, ³Faculty of Agriculture and Forestry, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland

Abstract

This study evaluated potential of wood ash as a soil amendment for marginal soils to enhance the growth and phytoremediation capacity of *Miscanthus × giganteus* (*M×g*). A controlled pot experiment was conducted with four wood ash application rates (0%, 2.5%, 5%, and 7.5%). Effects were assessed through changes in soil chemistry (elemental composition, pH), soil biological activity (enzyme responses), and plant performance, including growth parameters, stress responses, and elemental accumulation in plant tissues.

Results indicated that soil pH increased initially with ash but declined over time in unplanted soils while planted soils maintained or slightly increased pH. Total organic carbon (TOC) decreased in ash-treated soils, especially planted 2.5% (3.06% to 2.82%). P and Zn concentrations in soil increased with ash, particularly in 7.5% without plant, and remained elevated in planted treatments. K remained stable, while Mg slightly declined in planted soils.

Soil enzyme activities responded differently: glucosidase declined in unplanted ash treatments (up to 45%) but was stabilized or enhanced in planted soils. Protease activity increased in all treatments while phosphatase showed minor increases in planted soils and a decline in 7.5% ash. Arylsulfatase was strongly suppressed by ash in unplanted soils, but was maintained in planted treatments, suggesting that *M×g* mitigated ash-induced microbial inhibition. Plant height and dry biomass were highest in 2.5% ash, whereas higher doses led to reductions in both parameters. Chlorophyll content also declined with increasing ash doses, from 25.60 (2.5%) to 18.63 (7.5%), below the

control (23.33). Nutrient analysis of plant tissues showed that Mg and P concentrations decreased with rising ash doses, while K increased in all tissues. Zn patterns were more complex.

Given the constraints of ash-only applications, future research should focus on field validation and co-application with organic amendments to enhance buffering capacity, microbial activity, and long-term remediation efficacy. These steps are critical for assessing the scalability and environmental safety of this valorization strategy. The findings indicate the potential of repurposing wood ash as a functional input in sustainable soil management and circular bioeconomy systems.

Keywords: Wood ash; Miscanthus × giganteus; Soil amendment; Enzyme activities; Biowaste valorization

*Contacts : abdulmannan.rouhani@ujep.cz (+420 773 179 034),
valentyna.pidlisniuk@ujep.cz, Karim.Souki@ujep.cz, ustak@vurv.cz,
vana@vurv.cz, anzol@uwm.edu.pl*

Acknowledgment: This research was supported by NATO SPS MYP G6094 and the Student Grant Agency of Jan Evangelista Purkyně University in Ústí nad Labem, Czechia, under project No. UJEP-SGS-2025-44-004-2 - Carbon sequestration

Thermal and mechanical design and optimization of a cryogenic micro-grinding system using fem analysis

Ould Brahim Insaf¹

*¹ University of Science and Technology Houari Boumediene
Faculty of Process and Mechanical Engineering*

Abstract

This research involves the optimization of a cryogenic micro-grinding system for soft or rubbery materials that are usually difficult to grind at room temperature due to their elastic properties. The process is based on the controlled thermal conditioning of feed material through the use of liquid nitrogen to achieve a glassy, brittle state conducive to mechanical breakage. Multifactorial analysis was conducted in order to assess the influence of key parameters like grinding temperature, cryogen flow rate, initial particle size, and milling system geometry. Besides, finite element modeling (FEM) using ANSYS was conducted for simulating the thermal and mechanical interactions within the grinding chamber. The numerical results supported experimental findings in providing optimum operating conditions for achieving maximum particle size reduction, minimum equipment wear, and optimum energy efficiency. This study provides the technical foundation for the design of small-scale and versatile cryogenic grinding systems suitable for recycling, polymer processing, and industrial residue recovery.

Keywords: Cryogenic grinding, materials, Liquid nitrogen, ANSYS simulation

Contacts: ouldbrahimpubli@gmail.com

Leveraging Microbial DNA Analysis for Mine Management and Remediation

Dora Taggart¹, Sam Rosolina¹, Claudio Sandrone²

¹ *Microbial Insights, Inc. (speaker),* ² *BAW S.r.l.*

Abstract

Molecular Biological Tools (MBTs) are increasingly being adopted by the mining industry to gain actionable insights into the microbial communities that drive key geochemical transformations. These tools, particularly quantitative Polymerase Chain Reaction (qPCR) and field-deployable DNA extraction technologies, enable the detection and quantification of microbial functional groups that influence processes like acid generation, metal mobilization, and contaminant attenuation. This abstract presents several recent case studies demonstrating the successful application of MBTs to address environmental and operational challenges at mine sites.

In the first case study, sediment samples were collected from a plastic tarp-lined surge pond at an active mine site. qPCR assays targeting genes involved in biogeochemical cycling revealed the presence and relative abundance of microbial populations associated with sulfur, iron, and nitrogen cycling. These data helped to characterize microbial activity in a zone of fluctuating redox conditions, informing site managers about potential risks and opportunities for natural attenuation or engineered bioremediation.

The second project showcased the use of Microbial Insights' Bio-Extract kits to address logistical and safety challenges related to radioactive samples. Instead of shipping whole sediment samples under strict radiation control protocols, DNA was extracted in the field. Post-extraction testing revealed radiation levels below shipping thresholds, enabling safe and compliant transport of DNA for downstream molecular analysis without the need for special radiation licenses or packaging.

In a third investigation, MBTs were used to monitor microcosms developed from mine tailings with the goal of remediating heavy metals through microbial processes. qPCR

analysis demonstrated high abundances of sulfate-reducing bacteria (SRB), sulfur-oxidizing bacteria (SOB), iron reducers, fermenters, and denitrifiers—key groups known to immobilize or transform metals under anaerobic conditions. These results supported the development of biologically mediated strategies for tailings stabilization.

The final case study involved biofilm analysis at the discharge point of a treatment plant removing heavy metals from mine-impacted waters. Biofilm samples from the interior of an outflow pipe were examined using qPCR for genes linked to microbiologically influenced corrosion (MIC) and biofouling. The biofilm contained extremely high microbial biomass (1E+10 cells/g) and included diverse functional groups such as methanogens, SRB, iron oxidizers, manganese oxidizers, and nitrogen cycle participants. Notably, *Deinococcus spp.*, a group of resilient, biofilm-forming bacteria, was detected at levels higher than typically observed in industrial samples.

Together, these case studies illustrate the power and versatility of MBTs for understanding and managing complex microbial processes in mining environments, ultimately aiding in risk assessment, remediation planning, and operational optimization.

Keywords: Mining, Molecular Biological Tools, qPCR

*Contacts: dtaggart@microbe.com (+1 865.573.8188),
srosolina@microbe.com, claudiosandrone@baw-env.it*

Revitalization of Military Conflict-Affected Soils through Miscanthus-Based Advanced Phytotechnology with Waste-Derived Soil Amendments

***Valentina Pidlisnyuk¹, Sergiy Ust'ak², Tatyana Stefanovska³, Robert
Ato Newton¹, Aigerim Mamirova⁴ Vojtěch Váňa²***

*¹Faculty of Environment, Jan Evangelista Purkyně University in Ústí nad
Labem, Czech Republic, ²Czech Agrifood Research Centre, Ruzyně,
Czech Republic, ³Faculty of Plant Protection, Biotechnology and
Ecology, National University of Life and Environmental Sciences of
Ukraine, Kyiv, Ukraine, ⁴Faculty of Biology and Biotechnology, Al-
Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

Abstract:

Currently the military conflicts are spreading across the world with a strong negative impact on the environment, human health, and economy of the countries in the conflict's zone. In Europe, Ukraine is facing Russian invasion since 2014 with a full war since 2022, causing a tremendous devastation of the environment and economy. As for 2024, the Russian-Ukrainian war caused more than \$56.4 billion in damage to the Ukrainian environment (Hryhorchuk et al., 2024) with tremendous wide spreading of contaminations to the air, water, and soil; about 40% of Ukraine has been contaminated with landmines and unexploded ordnance. Landscape destruction, shelling, wildfires, deforestation, and pollution adversely affected about half of country's protected areas. The revitalization of military conflicts devastated area is extremely important to post-war recovery of the countries in the conflict's zones.

NATO SPS MYP G6094 "The mitigation of climate change through the Advanced Miscanthus Phytotechnology applied to the military lands" focused on revitalization of the degraded military-polluted land, and mitigation of the climate change. A

promising advanced approach involves cultivating of the perennial bioenergy crop *Miscanthus* × *giganteus* on contaminated or degraded low-fertility military soils. This species offers multiple benefits: carbon sequestration, restoration of soil biological activity, and production of economically valuable hemicellulose biomass to be processed to renewable energy or bioproducts such as insulation and building material, pulp, and chemicals. Importantly, the combination of *Mxg* phytotechnology with waste-based soil amendments represents a closed-loop solution with the strong potential for scalable remediation practices.

The multiyear field research is going on in Chomutov, Czech Republic at the post-military marginal land with integration of organic amendments: biochar (in doses 5% - BD1 and 10% - BD2), sewage sludge (SS), and digestate (D). The growth indicators plant height, stem quantity, and biomass yield of *Mxg* was assessed. The harvest was conducted in autumn (green harvest, GH) and spring (brown harvest, BH). The four years results showed that *Mxg* bioparameters increased during vegetation. Considering GH yield, a clear positive impact of BD1 was determined in 3rd year of vegetation (by 18.9% and 49.7% compared to control). In case of BH yield, a significant improvement was tracked starting from 2nd year for SS, BD2, and D by 19.4%, 24.9%, and 28.6%, respectively. Whereas by 4th year, the positive impact was observed only for BD1 and BD2 - by 21.6 and 24.8%, respectively, evidencing biochar contribution to increased *Mxg* biomass. The multi-year studies confirmed that the integration of targeted organic amendments leads to marked improvements in soil ecosystem health. Specifically, monitoring of soil microbial and nematodes communities illustrated an increase in beneficial nitrogen-fixing bacterial populations, stimulation of enzymatic soil activity, and a structural shift in soil nematode communities, including a rise in omnivorous and predatory taxa that enhance food web stability, and a decrease in plant-parasitic nematodes.

Since 2023 the *Mxg* advanced phytotechnology has tested at the military conflict affected area in Vorzel, Kyiv region, Ukraine. The soil at the site is low-fertility sandy land containing limited concentrations of potentially toxic elements. Initially, during establishment of the plantation, biochar produced from *Mxg* waste, was incorporated to the soil in doses 5% and 10% along with biostimulants. The preliminary two years monitoring data showed that biochar and biostimulants supported plant health, and slightly improved the biomass productivity. Nematode-based ecological indices confirmed the positive structural shifts in soil biota, indicating recovery of ecosystem functioning. The findings suggest that coupling bioenergy crop *Mxg* with biologically active, waste-derived amendments offers a viable phytoremediation strategy for restoring the long-term ecological resilience of military conflict effected lands with simultaneous production of hemicellulose *Mxg* biomass, which can be processed to valuable bioproducts: building materials, pulp and biochar. The further research will be focused on the long-term behavior and mobility of toxic trace elements in amended military soils at *Mxg* plantations with a focus on interaction in between contaminants, plant and soil biota. These efforts will support the refinement of amendment combinations and their application across diverse environmentally damaged military conflicts zones. The findings contribute to sustainable land recovery through the integration of phytoremediation, biomass production, waste valorization, and ecological restoration.

Keywords: Military conflict-affected lands; *Miscanthus × giganteus*; Advanced Phytotechnology; Waste-derived soil amendments; Nematode-based indices.

Contacts : valentyina.pidlisniuk@ujep.cz (+420 776 051 475), sergej.ustak@carc.cz; tstefanovska@nubip.edu.ua; sirbobbynewton@gmail.com; a.mamirova.95@gmail.com; vana@vurv.cz

Acknowledgement: This research was supported by NATO SPS MYP G6094

Odor waste gas was important for the maintenance of a deodorant microbial community of Biological trickling deodorant tower

QiuLi Wang(Hyacinth wong)^{1,2,3,}

¹*Aquatic Technology Center , Bureau of Farming and Live Stock Management of Shi Zui Shan, Ning Xia, China.,*

²*Zhengzhou nonferrous metal research institute, ZhengZhou, China.*

³*ShangHai Bioscience biotechnology co., LTD., Shanghai City, China3*

Abstract

Under process without odor waste gas, the microbial community composition of biological trickling filter deodorant tower changed dramatically, which suggested that high concentration of odor waste gas was important for the maintenance of a deodorant microbial community.

Biological trickling filter deodorant technology has much Advantages such as cost effective , free from secondary pollution, good deodorization effect, low operation cost etc. Factors that may affect the biological trickling fiber deodorizing efficiency include : composition and concentration of inlet odorous gas, pH and temperature of biological trickling filter tower, nutrients for microbial, the microbial community as well as packing material. The availability of nutrients had important effect on the growth and metabolism of microorganisms on the Biological trickling deodorant tower.

In this study, Bio-trickling filter was used for removal of odorant gas which contain hydrogen sulfide of B3 pump station of Shanghai Songjiang Municipal Domestic Sewage Treatment Plant. To investigate the difference of microbial community composition of Biological trickling deodorant tower under condition of deodorant process with odor waste gas supply and no-deodorant process without odor waste gas, a metagenome approach was adopted.

After one years of operation without nutrient supply to the deodorant tower, the efficiency of deodorant treatment remain steady, the biological trickling towers of B3 pumping stations operated well. B3

pumping station meets the emission standard of Shanghai Emission Standard DB31/1025-2016, and B3 pumping station discharge outlet meets the factory board level 1 standard of GB14554-93 "Emission Standard of Odor Pollutants". This indicates that , due to the high concentration of odoriferous gas pollutants emitted by wastewater such as hydrogen sulfide (H_2S) and ammonia (NH_3) with . B3 pumping station can perform well without nutrient supply for one year. The bacteria used for the odor treatment system of Shanghai Songjiang B3 Pumping station include chemergic inorganic autotrophic sulfur bacteria, such as thiobacillus ferrooxidans, thiobacillus thiooxide, , and facultative autotrophic sulfur oxidizing bacteria. While, under process without odor waste gas, the microbial community composition of biological trickling filter deodorant tower changed dramatically, which suggested that high concentration of odor waste gas was important for the maintenance of a deodorant microbial community.

Contacts: susannawql@hotmail.com

3D Numerical Flow Modeling of Groundwater Circulation Wells Using Streamlines

Abstract

Groundwater remediation projects often face complex, three-dimensional hydrogeological conditions that make it challenging to assess the interactions between extraction and injection wells and limit the development of an optimal remediation strategy. Traditional flow models are valuable for detailed simulation, but fail to provide insights into the relationship between extraction and injection wells, particularly when the number of wells increases. In this work, we present the application of a three-dimensional streamline-based flow modeling tool (3DSL) to a contaminated site undergoing targeted remediation.

The site under investigation covers approximately 19,000 square meters and initially included 11 extraction wells. The contamination consists primarily of chlorinated hydrocarbons and impacts at least three aquifers. Five Groundwater Circulation Wells (IEG-GCWs) were installed as part of an extended remediation initiative to facilitate in situ groundwater remediation.

3DSL was employed to assess the performance of an existing network of Groundwater Circulation Wells (IEG-GCWs), a technology that integrates both extraction and injection within a single vertical well to enable localized groundwater treatment via induced vertical circulation. Streamline analysis offers a powerful means to visualize and quantify the interactions between injection and extraction screens. For GCWs, streamlines effectively delineate capture zones based on the site's stratigraphic layering, horizontal and vertical hydraulic conductivities, porosities and the regional groundwater flow. Importantly, streamlines enable the quantification of the portion of re-injected water that is recaptured by the same well versus the fraction that is diverted by neighboring wells or the regional flow regime. Streamlines were simulated under both standard and reverse flow configurations to understand how flow paths changed under different operating conditions. We also tested multiple pumping rates to examine their effect on streamline behavior and capture zone and

assessed how the presence of extraction wells influenced flow allocation within the GCWs. This level of insight represents a significant step toward applying 3DSL for the optimization of GCW placement and operation in the groundwater remediation sector, supporting more effective hydraulic containment and targeted remediation strategies.

Our initial results demonstrate that 3DSL provides a visually intuitive and quantifiable method for evaluating subsurface flow, enabling more agile and cost-effective decision-making. This approach is especially valuable at complex remediation sites, where timely adjustments are critical as new data emerges.

Data sources of diffuse soil contamination in Europe

Timo Tarvainen¹, Kristiina Nuottimäki¹, Emilia Kosonen¹, Henna Jylhä²

¹ Geological Survey of Finland (speaker), ² Finnish Environment Institute

Abstract

Diffuse contamination refers to input of a substance emitted from moving sources, from sources with a large area or from many sources, which usually leads to sites that are relatively uniformly contaminated. Two types of main diffuse source input can be considered: one in rural areas (e.g. atmospheric deposits, spreading); and one in urban areas (e.g. traffic, industries) (ISO19258:2018 definition for diffuse contamination extended). ISLANDR project (<https://islandr-project.eu/>) defined diffuse soil contamination as a type of soil contamination, that covers large areas, is not necessarily caused by a single contaminant, can be spread via several media to the environment and is typically not originating from a single source or limited to certain industry.

The ISLANDR project has gathered information on diffuse and local soil contamination data sources in Europe by using literature review, web search, contacts to the European networks dealing with soil contamination (COMMON FORUM, EIONET Thematic Group Soil), making detailed study of datasets held by ISLANDR partner organisations and by sending questionnaires to EU Member States. Altogether 7 respondents identified their country having a diffuse soil contamination database. Data on data sources and on major data gaps have been gathered into the report “Data Summary – Overview of Soil Pollution in Europe” and into the Metadata catalogue (<https://geonetwork.greendecision.eu>).

Diffuse soil contamination caused by metals and metalloids in Europe has been recorded in many regional, national and some European-wide data sources. Many of the discovered databases can be related to concentrations of potentially harmful elements in soil rather than showing diffuse soil contaminated areas directly. The geochemical

baselines should be considered when assessing diffuse soil contamination caused by heavy metals.

Persistent Organic Pollutants, pesticides and contaminants of emerging concern such as PFAS, microplastics and pharmaceuticals are other groups of contaminants that have caused diffuse soil contamination in Europe.

Diffuse soil contamination data is made available nationally or regionally in several different databases each encompassing a different list of contaminants, different land uses and covering various geographical areas. According to the questionnaire survey, web search and literature review altogether 27 national and/or regional geochemical atlases or mapping databases were found. There are still many knowledge and data gaps that can be divided into four categories: processes, monitoring of pollutants in soil, combined effects of pollutants and the contaminants of emerging concern (CECs).

The ISLANDR project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovations actions programme under Grant Agreement No. 101112889. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or European Research Executive Agency (REA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

Keywords: Soil contamination, soil pollution, metadata, database, Europe

Contacts: timo.tarvainen@gtk.fi (+358405747468), kristiina.nuottimaki@gtk.fi, emilia.kosonen@gtk.fi, henna.jylha@syke.fi

Pilot Scale Thermal Soil PFAS Remediation Test

Søren Eriksen¹

¹ Krüger (speaker)

Abstract

Background: Lab scale studies on thermal soil PFAS remediation have demonstrated good results by reducing targeted PFAS to below 1µg/kg at 350-400°C when maintaining the target temperature for 1 to 2 weeks as reported by a number of investigators. The fate of the fluorinated compounds during thermal treatment is debated and not fully understood.

In house lab scale testing have demonstrated high degrees of PFAS mineralization

The purpose of this pilot scale study is to

- Verify the thermal methods efficiency in pilot scale
- Optimize PFAS mineralization by carefully selecting the thermal treatment parameters
- Refine the analytical approach by taking advantage of the much larger amount of sample material available compared to lab scale
- Test real time analysis by high resolution mass spectrometry (HRMS) to allow real time adjustment of parameters for further optimization

Methodology: A 20 m³ heated box is set up to treat 36 t of soil at up to 500°C. Test parameters are chosen to optimize the in soil mineralization during the thermal treatment. The heated box is fitted with a catalytic defluorination reactor based on the lab test results to mineralize volatile PFAS. The off gas is scrubbed, cooled to condense water vapor and polished using a GAC filter.

Soil and condensate (soil initial water content extracted during heating), are analyzed using techniques available: Target compound analysis, TOP assay, non target analysis and total fluorine. Vapors are

analysed using OTM45 and OTM50 as well as real time high resolution mass spectrometry.

Results: The planned heat treatment has been completed with soil temperatures ranging from 250 to 500°C. The treatment temperature has been maintained for 4 weeks.

36 soil samples have been analysed. None of the 22 target PFAS are detected in the soil samples treated at above 350°C. 3 samples treated at 250°C have sum of 22 PFAS ranging from 0.1 to 2.1µg/kg. Pre treatment sum of 22 PFAS concentrations ranged from 65 to 390µg/kg with an average of 190µg/kg.

4 condensate samples have been analysed during the soil drying out phase. The sum of 22 PFAS ranged from 25 to 100 ng/L. In total 0.004% of the 22 PFAS mass was found in the condensate.

Vapor analysis OTM 45 and OTM 50 has identified PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHxS and 6:2 FTS as well as highly fluorinated alkanes in the outgassing from the soil. Real time HRMS has identified and tracked the outgassing of PFCAs, organic acids and hydrocarbons.

At the time of Remtech 2025 further analysis results will be available.

Conclusion: The pilot test has confirmed the 350°C treatment temperature being sufficient for 22 PFAS thermal soil remediation.

The chosen thermal treatment strategy has resulted in limited volatilization of PFAS thus optimizing the vapor residence time in contact with the hot soil allowing time for degradation and mineralization.

Keywords: (Thermal PFAS soil remediation, PFAS analysis experience)

Contact: soren.eriksen@veolia.com (+45 6037 0738)

Assessing robustness and resilience of combined process for the remediation of TCE-contaminated aquifers

***Micaela Abruzzese¹, Laura Lorini¹, Bruna Matturro², Naima Blal¹,
Marco Petrangeli Papini¹***

¹ Sapienza, University of Rome, ²IRSA-CNR (National research centre)

Abstract

Contaminated sites remediation requires interventions as sustainable as possible, with a view of valorizing waste from other supply chains. Trichloroethylene-contaminated aquifers represent an area in which to investigate the optimization of combined abatement systems. The state-of-the-art shows that hydraulic barrier and treatment of emitted water (Pump & Treat) is still a popular choice in remediation of chlorinated solvent contaminated plumes. *In situ* approaches with enhancement of biological processes have inherent limitations due to limited residence time of contaminants in the aquifer and the lack of nutrients and/or electron donors (ED) for such biological processes. To overcome these problems, the study is focused on the combination of Biological Reductive Dechlorination (BRD), carried out by the genus *Dehalococcoides*, coupled with adsorption onto Biochar (BC), a by-product of the gasification of pine wood waste for power generation, that has high carbon content and surface area. We decided to supply ED for this sequential hydrogenolysis process through the fermentation of polyhydroxyalkanoates (PHAs) enriched biomass. This was produced by Mixed Microbial Cultures fed with fermented Organic Fraction of Municipal Solid Waste in a three stages process at pilot scale. The study has been carried out on a vertical cylindrical reactor, 144 cm in height and 10 cm in diameter, filled with sand and BC (4% w/w), all along the reactor, and PHA enriched biomass (4% w/w) in the first section. This allowed monitoring Chlorinated Aliphatic Hydrocarbons (CAHs), along the reactor profile, for more than 934 days, corresponding to 5731 L of treated water (1433 pore volume), testing the robustness and resilience of the process itself by applying different operative conditions. In the first part of the experiment, the

operating conditions allowed sufficient HRT (about 39 h) for the complete removal of TCE and intermediates, due to the synergistic effect of BRD and adsorption. Increasing the flow rate (to have HRT equal to 10 h), concomitant with the disappearance of ED fermentation products, i.e., VFAs, resulted in a decrease in microbial kinetics, as well as in an increase in the CAHs peaks forward velocity, and TCE front. This, at first, still allowed the complete removal of contaminants, and later when the limitations became excessive, the sequential breakthrough of the various intermediates, and then of the TCE on day 460, occurred. At this point, we needed to investigate whether the limitations were purely kinetic or related to lack of ED. Hence, firstly the flow rate was decreased until the initial value, but no effects were observed.

Once the effective lack of ED was assessed, we started fed lactate as readily degradable ED. In this case, we obtained interesting results about the resilience of this combined approach: in fact, without any lag phase, TCE degradation started, assessed by the presence and increase of intermediates concentrations. It's important to stress that the activation of microbial biomass led to the production of more c-DCE (moles) than the fed TCE. It was probably due to the conversion of both pre-existing TCE concentration, adsorbed onto BC, and that one supplied with fresh feeding.

The promising results show the efficiency and robustness of this process, which is expected to be further scaled up, with a view to application at real sites as a reactive permeable barrier, or as a fixed-bed reactor in a treatment plant for emitted water, possibly further complemented by recirculating wells for contaminant mobilization in less permeable areas of the aquifer.

Keywords: BRD, Biochar, Polyhydroxyalkanoates, combined technologies

Contacts: micaela.abruzzese@uniroma1.it (+39 320 612 4163),
laura.lorini@uniroma1.it, bruna.matturro@cnr.it,
naima.blal@uniroma1.it, marco.petrangelipapini@uniroma1.it

Combined Adsorption and Biodegradation Process for the Remediation of Chlorinated Solvent-Contaminated Groundwater: An Example of Circularity

Naima Blal¹, Marco Petrangeli Papini¹

¹ *Sapienza University of Rome*

Abstract

Chlorinated solvents such as PCE, TCE, and their derivatives represent one of the key environmental challenges at a global level. These compounds are characterized by high persistence, mobility in the subsurface, and toxicity. Today, finding sustainable and effective solutions for the remediation of contaminated sites is a priority.

The present work represents the initial phase for the development of a pilot plant for the remediation of a polluted site, following a circular economy approach.

The proposed intervention is based on the combination of two different technologies:

- The first is the biostimulation of the biological reductive dechlorination process through the addition of an electron donor — a dried biomass rich in polyhydroxyalkanoates (PHA), a biodegradable and bio-based material derived from waste valorization processes.
- The second is adsorption using biochar, a low-impact material that is more sustainable compared to conventional sorbents.

The objective of this phase is the selection of the most suitable materials and parameters for the specific case.

To this end, we studied different biochars through chemical-physical characterization techniques (SEM, FTIR, BET) and performed adsorption tests.

In parallel, we investigated the performance of different PHA-to-biomass ratios through fermentation and dechlorination experiments, in order to evaluate their effectiveness as electron donors. Results show that the production temperature of biochars significantly

influences the surface properties and specific surface area of the sorbent material, resulting in different affinities with contaminants. In particular, biochar produced at 1040 °C exhibited a high specific surface area, an almost complete absence of functional groups other than aromatic carbons and a higher affinity for non-polar compounds such as PCE.

Fermentation studies showed that a lower percentage of PHA and a higher biomass content lead to a faster and greater production of volatile fatty acids (VFAs), reaching a steady state between production and consumption after a few weeks.

Microcosm studies confirmed that a lower polymer content (i.e., higher biomass fraction) is the most effective condition for the dechlorination process.

These findings suggest that it is possible to avoid costly purification and extraction steps during PHA production, thus improving the overall economic sustainability of the process.

The next phases will involve the optimization of the system in continuous-flow reactors and the design of the in situ pilot plant.

Keywords: Biological Reductive Dechlorination, PHA, Biochar, Waste Valorization

*Contacts: naima.blal@uniroma1.it (+39 3928246957),
marco.petrangelipapini@uniroma1.it.*

Full scale treatment trial for PFAS contaminated waste water at flows up to 600 m³/h, using PFAS flocculant PerfluorAd

Helena Hinrichsen, Matthew Ingram², Dave Cliftonⁿ

¹ Cornelsen Sweden AB, ² Cornelsen Ltd

Abstract

Cornelsen Group are performing treatment of PFAS contaminated industrial waste water for a large private client in Belgium. The trial is performed full scale in the on site available waste water treatment plant, where the PFAS flocculation additive PerfluorAd is added straight to the full scale process. The treatment is performed at average 300 m³/h, but flows vary between 260-660 m³/h.

Keywords: wastewater PerfluorAd Flocculation PFAS

Contacts: hinrichsen@cornelsen.group (+46 708172299),

matthew.ingram@cornelsen.co.uk

Dave.clifton@cornelsen.co.uk

Biopolymer based remediation of PFAS contaminated soils- In Situ Treatment of an AFFF Contaminated Airport Site

Anja Wilken¹, Dr. Stephan Hüttmann¹, Sophie Mittelstätt¹, Miriam Kunz¹

¹ Sensatec GmbH, Friedrichsorter Straße 32, D-24159 Kiel, Germany

Abstract

PFAS contamination from firefighting foams at airport sites has emerged as a significant environmental challenge in recent years. Unlike other contaminants, PFAS are particularly difficult to remediate due to their high mobility, persistence, toxicological uncertainties, and the technical limitations of current remediation technologies. The complexity of developing effective remediation strategies is further increased by site-specific factors such as the composition of PFAS compounds, soil properties and land use. Across the globe, numerous airport sites have been identified as PFAS hotspots, where decades of aqueous film-forming foam (AFFF) use have led to extensive soil and groundwater contamination.

To address this challenge, Sensatec has conducted an in situ remediation at one of these airport sites in late 2024 to January 2025. To maximize the success of the remediation, a feasibility study has been carried out beforehand in the soil and groundwater laboratory at the Kiel branch office. This preliminary investigation allowed us to assess the site-specific conditions, evaluate the effectiveness of different biopolymer treatments and optimize the remediation strategy accordingly.

The remediation process utilizes specially developed surface-active biopolymer compounds to effectively separate PFAS from the soil. The biopolymer solution infiltrated onto the soil creates a more attractive water-soluble binding mechanism, enhancing the mobilization of PFAS from contaminated soil particles. As a result, the elution process facilitates the desorption of PFAS from soil particles, allowing their transfer into the pore water and subsequent transport toward a centrally located extraction well. With this hydraulic control measures, the PFAS-biopolymer complex is pumped toward the on

site water treatment system while preventing uncontrolled migration. The cleaned water can then be recycled.

The in situ remediation has been conducted on an area of approximately 200 m². Within the treatment zone, a centrally located monitoring well and four additional monitoring wells have been installed to track PFAS mobilization and groundwater flow. To further assess the effect of the remediation process, two additional monitoring wells have been placed—one upstream of the treatment zone to observe inflowing groundwater conditions and one downstream to evaluate potential PFAS load. The biopolymer solution is applied to the treatment area using irrigation hoses, ensuring even distribution across the surface. The remediation takes place in a period of three months. To monitor the success of the remediation during the treatment, soil samples as well as groundwater samples were collected from all monitoring wells at regular intervals, approximately every two weeks. Soil samples were taken once mid elution and after extraction of PFAS were completed to assess the progress of the remediation and to quantify the reduction of PFAS concentration in the treated soil. These sampling efforts provide key data for assessing the effectiveness of the applied biopolymer solution and allow for a comparative evaluation of field and lab scale.

To determine PFAS concentration in both soil and groundwater, not only target analysis has been used. In the groundwater samples, a total of 27 individual PFAS parameters have been analyzed, with a detection limit of 0.05 µg/L. For the soil samples, a 2:1 eluate as well as the soil itself is analyzed for the same 27 individual substances. Additionally, to assess the potential release of precursor substances and their transformation into more mobile PFAS compounds, a TOP-assay is performed on the soil samples. This allows for a more comprehensive evaluation of the PFAS contamination dynamics and potential risks from precursor compounds.

In the laboratory study, a PFAS removal rate of 95% in the soil has been achieved, demonstrating the high potential of the biopolymer solution for effectively mobilizing and removing PFAS from contaminated soil. Under full scale operation, a substantial PFAS mass, preferably short chain PFAS, were removed in the first elution cycles with tap water, reflecting approximately 15 years of mass transport of PFAS in only 6 weeks elution time.

Another 60 to 80% of the long-chain PFAS was furthermore extracted after adding specific biopolymers to the elution water resulting in large scale removal of PFAS from the top 2 to 2,5 m of the soil matrix by in-situ treatment.

The project proved a successful application of in-situ PFAS removal at an airport site in large scale.

Monitoring Pesticide Contamination in Wastewater: A Strategy for Safe Water Reuse

R.S. Carvalho¹, J. Brinco¹, E.P. Mateus¹, P. Guedes², P. Tyrologou³, N. Koukoulzas³, A.B. Ribeiro¹, N. Couto¹

¹CENSE – Center for Environmental and Sustainability Research & CHANGE - Global Change and Sustainability Institute, NOVA School of Science and Technology, NOVA University Lisbon, PORTUGAL, ²Department of Environmental Science, Aarhus University, Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde, Denmark, ³Chemical Process & Energy Resources Institute, Centre for Research & Technology Hellas (CERTH), Maroussi, 15125 Athens, Greece

Abstract

With 500 million people already experiencing severe shortages of water throughout the year, water scarcity is a growing global concern. As populations grow and pollution intensifies, pressure on freshwater resources increases, making the integration of non-conventional water sources important. The TARGET (Territorial Strategy for Water Scarcity) project aims to address this issue by incorporating treated wastewater into local water management strategies. Wastewater reuse, particularly for agricultural irrigation, presents a viable solution for reducing dependence on freshwater supplies. However, despite advances in treatment technologies, certain contaminants, including pesticides, persist in treated effluent, posing risks to environmental and human health.

For wastewater to be safely reused, pesticide contamination must be effectively monitored. This study focuses on the development, optimization, and application of an analytical method to detect pesticides and their degradation products in wastewater. The main objectives are to assess contamination trends over time and determine the efficiency of wastewater treatment plants in removing these compounds.

The analytical methodology uses Solid Phase Extraction (SPE) for analyte enrichment and Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry (GC-MS/MS) in Multiple Reaction Monitoring (MRM)

mode for pesticide qualitative and quantitative analysis. The method was designed to maximize the number of pesticides detected simultaneously, allowing for the detection of 176 pesticides.

The method was applied to wastewater samples collected from three different areas of the Lisbon metropolitan area in Portugal. Several pesticides, including diclobenil, 2-phenylphenol, boscalid, anthraquinone, diazinon, diphenylamine, pyrimethanil, and tebuconazole, were repeatedly detected in both raw influent and treated effluent samples.

The presence of these compounds, even after conventional treatment processes, emphasizes the limitations of current wastewater treatment technologies in fully removing pesticide residues. If not properly managed, irrigation with pesticide contaminated water can contribute to the long-term accumulation of contaminants, leading to potential threats to environmental and human health.

Future research will focus on developing additional remediation steps, based on electrochemical processes to enhance pesticide removal efficiency. Ensuring the quality of treated wastewater is essential not only for mitigating water scarcity but also ensure that we do not return water filled with contaminants to the environment, preserving its health and consequently ours.

Keywords: Wastewater, Wastewater reuse, Contamination, Pesticides, Remediation.

Contacts: rsi.carvalho@campus.fct.unl.pt, j.brinco@fct.unl.pt, epm@fct.unl.pt, paula.quedes@envs.au.dk, tyrologou@certh.gr, koukouzas@certh.gr, abr@fct.unl.pt, md.couto@fct.unl.pt

Acknowledgments

This work has received funding from the ISLANDR – Information-based Strategies for LAND Remediation project (GA 101112889); and from the TARGET - Territorial strategy for water scarcity project (S1/2.5/F0041); and Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., Portugal, UIDB/04085/2020 (Research unit CENSE “Center for Environmental and Sustainability Research”); Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

From EHS to ESG: Evolution of Due Diligence Approaches

Mattia Colombo¹, Alessandro Intile¹

¹ HPC Italia S.r.l., Via Francesco Ferrucci 17/A, Milano, 20145

Abstract

Sustainability, understood as the combination of practices aimed at ensuring a balance between economic, environmental, and social dimensions, has gradually emerged as a key strategic lever in corporate decision-making processes. Particularly in the context of Merger & Acquisition (M&A) operations, ESG (Environmental, Social, Governance) factors have gained increasing importance, as they offer a comprehensive view of companies' ability to ensure regulatory compliance, safeguard their reputation, actively contribute to medium- and long-term value creation, and effectively manage business risks. This growing focus on ESG in M&A operations is driven by an ever-expanding body of concrete data and industry analyses, which illustrate how the careful and responsible management of ESG factors helps organizations better anticipate risks, mitigate impacts, and reduce operational costs, thereby reducing the uncertainty faced by investors. As a result, regulatory authorities, investors, customers, and other stakeholders are placing increasing pressure on companies to adopt sustainability approaches that go beyond mere regulatory compliance and aim for exemplary performance.

Achieving this requires robust organizational and production models designed to integrate environmental and social considerations with economic objectives.

In this evolving landscape, HPC Italia has decided to evolve its longstanding Environmental and Health & Safety (EHS) Due Diligence process, active for over ten years, into an integrated ESG Due Diligence (ESGDD) framework. The traditional approach, which primarily involved environmental and health & safety specialists, has been expanded to include a social sciences and sustainability expert. This interdisciplinary collaboration enables more in-depth studies capable of capturing and analyzing increasingly complex business issues. Through this integration, HPC Italia has been able to reorganize

analysis outputs, providing more comprehensive assessments of a company's maturity level in sustainability management. These evaluations cover crucial aspects such as regulatory compliance, organizational culture, governance dynamics, and stakeholder engagement practices and dynamics.

The objective of the ESGDD is not only to ensure compliance with current regulations but also to identify and capitalize on opportunities through a systemic analysis of risks and intangible assets. This holistic approach aims to enhance clients' competitive positioning and facilitate more informed and sustainable acquisition decisions. By applying the ESGDD framework, HPC Italia seeks to guide its clients in navigating the complexities of modern corporate sustainability, ensuring long-term value creation while addressing the growing demand for responsible corporate behaviour.

The application of the ESGDD framework at the industrial site has generated significant outcomes, both in terms of trialing a new evaluative approach and in creating tangible value for the client. The materiality matrix, an essential tool in the process, enabled the targeted selection of key topics for analysis, ensuring that the study effectively addressed the most relevant aspects in line with the client's sustainability objectives.

The integration of evidence from diverse sources—ranging from documentary reviews and visual inspections to interviews—facilitated an accurate and holistic assessment of the site's compliance with HSE regulatory requirements and best practices in industry sustainability. This multifaceted approach enabled the team to capture a detailed snapshot of the operational realities and uncover the more complex dimensions of the site's sustainability performance, which could otherwise be overlooked in traditional evaluations.

A particularly valuable aspect of the process was the deployment of a multidisciplinary team directly on-site. This allowed for deeper, on-the-ground insights that went beyond theoretical assessments, effectively synthesizing the complexities of the corporate reality and operational context under scrutiny. The combination of environmental, safety, and social sciences expertise ensured that all ESG dimensions were comprehensively addressed, providing a complete picture of the site's maturity in sustainability practices.

Additionally, the use of synthetic indicators, developed through a bespoke ESG maturity framework, provided a clear and immediate representation of the site's performance. This methodological innovation added significant value for the client, who was able to leverage the results to refine the economic assessment of the activity during acquisition, identify potential critical issues and areas for improvement, strengthen their overall ESG strategy, and enhance communication with investors.

In conclusion, the ESG Due Diligence model developed by HPC Italia represents a substantial evolution compared to traditional HSE activities. By proposing a systemic and forward-looking approach, it creates a more comprehensive and actionable basis for decision-making. The integration of advanced analytical tools, multidisciplinary expertise, and direct stakeholder engagement empowers clients to make strategic decisions that are both economically sound and aligned with growing sustainability expectations. This innovative methodology, which is transparent, replicable, and adaptable to various industrial contexts, offers a tangible contribution to M&A operations, fostering more robust and sustainable strategic decisions that are increasingly essential in the evolving global market.

The process also fostered internal alignment and knowledge transfer across departments, enhancing HPC's capacity to manage evolving client requests. By embedding ESG considerations into due diligence workflows, the approach not only supports regulatory compliance but also positions the client to anticipate future sustainability trends. The structured methodology ensures transparency and accountability, while visual tools promote immediate understanding—enabling clients to navigate findings confidently and with ease. Furthermore, the framework's replicability ensures its applicability across future transactions, making it a strategic asset. This reinforces HPC Italia's role as a forward-thinking partner in sustainable industrial transformation and responsible investment decision-making.

Contacts: Mattia.Colombo@hpc.ag, Alessandro.Intile@hpc.ag

Multilevel Ranking Methodology for the Industrial Reuse of Brownfields

Federico Pinzin¹, Emanuela De Marco², Laura Cutaia², Mentore Vaccari¹

¹ *Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics, University of Brescia, Brescia, Lombardy, Italy (speaker)*

² *ENEA, Sustainability Department, Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, Casaccia Research Center, Via Anguillarese 301, Rome, 00123, Italy*

Abstract

Soil consumption is a structural issue affecting environmental and territorial sustainability. Urban and industrial expansion, in the absence of effective planning, has led to the reduction of natural and semi-natural areas, causing irreversible impacts on ecosystem services. In this context, the approach to urban and land regeneration has been strengthened as a tool for the functional, ecological, and economic recovery of degraded areas, mainly in anthropized environments. European and national policies such as the Soil Strategy for 2030 and Italian guidelines on land consumption promote the reuse of existing built environments as an alternative to urban sprawl. In this framework, brownfields that is, abandoned, underused or disused areas, generally of industrial, infrastructural or productive nature, potentially contaminated and environmentally or aesthetically degraded represent an important resource for regeneration and functional conversion efforts. This study begins with a nationwide reconnaissance of brownfields using official databases, such as national interest sites and the records of "Orphan Sites", selecting areas previously used mainly for industrial purposes. This led to the identification of 268 total sites. A subsequent in-depth analysis at the provincial level narrowed the focus to 36 sites with potential for industrial regeneration. At the end of this reconnaissance, a conceptual model was developed to support the classification and prioritization of intervention on brownfield sites, with a particular focus on sustainable industrial reconversion. This tool is designed as

an operational support for both territorial planners and stakeholders involved in decision-making processes, offering objective criteria to guide regeneration policies. The model is structured as a multilevel ranking system that assesses each site based on a set of integrated parameters. Among these, geographic location and accessibility, intended as proximity to major transport infrastructures, are particularly significant. Other key elements include connectivity to existing productive hubs, such as local or inter-municipal industrial zones, and proximity to waste or industrial effluent treatment plants. These connections provide opportunities for both industrial symbiosis and operational/logistical synergies, while also reducing the environmental impact of industrial activities. A central role in the evaluation process is assigned to the state of environmental contamination, easily identifiable through the MOSAICO platform, as well as the site's compatibility with current urban planning tools, a necessary condition for timely and effective reconversion. The model also considers the productive reuse potential (industrial, artisanal, or logistical) and the status of any environmental characterization procedures already underway at the site. In this perspective, brownfields should not be seen as urban voids to be erased, but as territorial resources to be regenerated in alignment with existing land-use designations, avoiding aggressive remediation, valuing existing structures, and minimizing future impacts.

Keywords: Land consumption, urban regeneration, brownfield redevelopment, soil contamination, sustainable land management

Contacts: federico.pinzin@unibs.it, mentore.vaccari@unibs.it, laura.cutaia@enea.it, emanuela.demarco@enea.it

Microbial Defluorination of TFA, PFOA, and HFPO-DA By a Native Microbial Consortium under Anoxic Conditions

Xin Song¹, Zhiwen Tang¹

¹ *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, China
(speaker)*

Abstract

The purpose of this study was to explore the biodegradation and defluorination potential of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs), represented by trifluoroacetate (TFA), perfluorooctanoic acid (PFOA) and hexafluoropropylene oxide dimer acid (HFPO-DA), by a native microbial community. We evaluated the presence effects of PFASs and CAHs in groundwater samples collected from a fluorochemical plant (FCP), and carried out Illumina MiSeq sequencing to understand the impact on the indigenous microbial community due to long-term exposure to PFASs and CAHs. A series of microcosm incubation studies using the native microbial consortium were carried out for a period of 10 months to assess the biodegradability of TFA, POFA and HFPO-DA.

The sum concentrations of 20 PFASs in groundwater samples collected in the FCP ranged from 2.05-317.40 µg/L, and the highest PFOA concentration was observed in the deep aquifer (60m below ground surface), co-contaminated with CAHs in the form of dense non-aqueous-phase liquids (DNAPLs). The existence of PFASs and CAHs co-contaminant in groundwater resulted in a considerable decrease in the diversity of microbial communities, while the abundance of metabolisms associated with contaminants biodegradation has increased significantly. Furthermore, *Acinetobacter*, *Pseudomonas* and *Arthrobacter* were the dominant genera in PFASs and CAHs co-contaminated groundwater. And geochemical parameters, such as ORP, sulfate and nitrate were the key factors shaping up the structure of the microbial community. In the microcosm studies, it was found that the defluorination ratios for TFA, PFOA, and HFPO-DA were 3.32 %, 3.46 %, and 2.15 %, respectively, calculated based on the

theoretical maximum fluorine content. The corresponding removal efficiency of TFA, PFOA, and HFPO-DA by the consortium were 8.03 (± 3.03) %, 13.52 (± 4.96) %, and 2.38 (± 0.49) %, respectively. The co-occurrence network analysis based on the Pacbio full-length amplicon sequencing showed that the functional modules of the microbial consortium mainly composed of *Bacteroidetes*, *Nitrospirae*, *Acidobacteria* and *Chloroflexi*, which might be responsible for the defluorination and biodegradation of representative PFASs.

These findings shed lights on our knowledge in understanding the intrinsic relationship between microbial communities and relevant environmental factors, and contribute significantly to the development of bioremediation strategies for the mixed contaminants of PFASs and CAHs in soil and groundwater.

Keywords: PFASs, CAHs, native microbial consortium, microcosm, biodefluorination

*Contacts: xsong@issas.ac.cn (+86 18120130800),
zwtang@issas.ac.cn (All authors e-mail addresses are needed, phone
number of speaker is appreciated for organizational reasons).*

INSSPIRED SOULS project: INnovative and Sustainable Stabilization Processes Involving REcycled SOils and Used materialS

Marta di Sante¹, Marco Rosone², Renato M. Cosentini³

¹Università Politecnica delle Marche; ²Università degli Studi di Palermo; ³Politecnico di Torino

Abstract

INSSPIRED SOULS is an ongoing project funded by the Italian Ministry of Research and University, aiming to reuse industrial waste and promote a circular economy in geotechnical engineering. The objective is to further enhance the sustainability of soil stabilization by both identifying promising new binders among available by-products and evaluating their effectiveness in improving soils and related materials. This study aims to address issues related to limiting landfilling and CO₂ emissions while producing high-quality materials suitable for civil and environmental engineering applications. Some of the results achieved from the research project are presented here.

An alkaline activation of silica-rich waste material from stone processing was investigated as a substitute for traditional cement in bentonite-based mixtures used to build plastic barriers. Experimental activities were aimed at identifying the optimal mixture and preparation methods to guarantee hydraulic and mechanical characteristics comparable with those of the more classic cement-bentonite mixtures. Oedometric and permeability tests were performed on various mixtures, and the results were compared with those performed on cement-bentonite mixtures. Several samples were prepared using a sodium-calcium bentonite (LL: 616%, PL: 42%, Gs: 2.95) and a silicate-rich waste powder (<0.075 mm, Gs: 2.75) from stone processing in northern Italy. The alkaline activator comprised sodium hydroxide and sodium silicate (SiO₂/Na₂O = 2.6), mixed with water. Three mix ratios (P/B1.25, 2.5, 4.0) were tested. Dry powders were homogenised before adding the activator (51% silicate, 15% NaOH, 34% water). Mixing produced a uniform paste poured into moulds for oedometer and permeability. Curing occurred either at 20

°C (7–28 days) or at 35 °C for 72 hours in high-humidity conditions. Oedometer tests were conducted on various mixtures to evaluate their performance based on the effects of curing temperature, curing duration, and the aluminosilicate stone powder (precursor)-bentonite ratio. Oedometer tests on samples with identical precursor-to-bentonite ratios but cured at different temperatures showed that those cured at 35 °C developed an initial structure, exhibiting signs of pre-consolidation around 20 kPa. Conversely, samples cured at 20 °C demonstrated lower deformation under maximum load, especially with longer curing durations. Tests on mixtures with different precursor-bentonite ratios indicated that higher ratios caused greater initial deformation at low stress levels. However, increasing the precursor content generally decreased overall compressibility, leading to reduced deformation under final loading conditions. The most promising bentonite-geopolymer mixtures were compared with cement-bentonite mixtures from [5], which had C/B ratios of 4, 5, and 6 and were cured in water for 28 days. While cement-bentonite mixtures showed low settlements under low loads and increasing pre-consolidation pressures (30 to 160 kPa with higher cement content), the geopolymer-based mixtures exhibited noticeable initial deformation and lacked pre-consolidation behaviour. However, at higher stress levels, cement-bentonite mixtures were more compressible than the geopolymer ones, indicating better high-load resistance in the latter. The permeability tests were performed on three precursor-to-bentonite ratios mixtures and compared with hydraulic conductivity measurements published by [6] on cement-bentonite mixtures. Cement-bentonite mixtures showed values ranging from about 10^{-7} to 2.5×10^{-11} m/s, with conductivity decreasing as the cement content increased. On the other hand, precursor-bentonite mixtures exhibited conductivity values between 5.0×10^{-9} and 1.7×10^{-10} m/s, which tended to rise with higher amounts of precursor material.

Acknowledgements

Funder: Project funded under the National Recovery and Resilience Plan (NRRP), Mission 4 Component C2 Investment 1.1 - Call for tender No. 104 of Feb 2nd 2022 of Italian Ministry of University and Research funded by the European Union – NextGenerationEU Award Number:

Project code: 2022EFPE52, Concession Decree No. 961 of Jun 30 th 2023 adopted by the Italian Ministry of University and Research, CUP: I53D23001710006, Project title: INnovative and Sustainable Stabilization Processes Involving REcycleD SOils and Used materialS – INSSPIRED SOULS.

*Contacts: m.disante@staff.univpm.it; marco.rosone@unipa.it;
renato.cosentini@polito.it*

Electro-nano - bioremediation Technology for In-situ Degradation of CHC from Low Permeable Aquifer

Vaclav Sredl¹, Petr Kvapil, Vojtech Antos¹, Jaroslav Nosek², Tomas Pluhar², Pierre Matz³, Salvador Asensio Gimenez³, Jose-Javier Garrido³, Andreas Thiem⁴, Steffen Hertle⁴

¹ Photon Water Technology s. r. o.; ² Technical University of Liberec; ³ SOLVAY s.a.; ⁴ TZW

Abstract

Electro-Nano-Bioremediation (ENB) is an integrative in-situ technology for in-situ application combining nanoremediation and bioremediation, while using electrical current. Nanoremediation involves the application of nano zero-valent iron for the remediation of contaminated soils. Electrokinetic system enhances the process of chemical reduction of target contaminants, extends lifetime of nanoiron and at the same time allows to effectively control pH to maintain favorable conditions for bioremediation.

Bioremediation refers to stimulation of microbial communities (such as organohalide-respiring bacteria), to degrade contaminants. The combination of both with electrokinetic treatment, which is the application of low-voltage direct current across a section of contaminated aquifer material, further improves their efficiency. The application of an electric field affects the environment and mainly alters the pH value in the groundwater. This can be used as advantageous for the reactivity of nZVI and for the microbial environment. Hence, a thorough selection of monitoring parameters plays a vital role for the successful application of ENB.

Pilot site is situated in Spain. It is industrial area with a complex geological conditions. The site is contaminated with chlorinated hydrocarbons, the dominant pollutant being perchloroethylene - PCE. At this site was done 12 wells in the application zone and a total of 20 wells in whole area of interest. A DC System Control and Groundwater Real-time Monitoring System was installed at this site.

The first phase of the ENB technology has been implemented, the aim was to reduce the concentrations of pollutants and thus to reduce the

toxicity of the rock environment. The dominant pollutant at this pilot site is chlorinated hydrocarbons - mainly PCE. Real-time monitoring of physico-chemical parameters (GW-RTMS) and DC System Control was operated at the pilot site.

There was 200 kg of ZVI injected into the application zone and thanks to electrokinetic system was the iron maintained reactive for the period of time over 12 months. Physico-chemical monitoring allows to observe and document the expected changes around the anodes and cathodes. Near the anodes, the pH dropped from initial pH10 to values around pH6 and near the cathodes it increased to values over pH11. The redox potential values decreased to values between - 500 to - 200 mV in the vicinity of the cathodes. Regular monitoring for CHC and end products of the degradation was carried out at the site and shows an average relative decrease of 80% in the concentrations of chlorinated hydrocarbons in the surroundings of the cathodes and 47% in the surroundings of the anodes when comparing the baseline and post-injection conditions. A large increase of the end products concentrations (methane, ethane, ethene) of 216% around anodes and 426% around cathodes was observed. As a part of the implementation of the second phase of the ENB, a carbon substrate was injected to stimulate microbial activity. Thanks to electrokinetic control of the conditions for biodegradation, hydrochemical conditions suitable for the development of microbial activity were modified and controlled for a long time in an inexpensive way without the use of additional chemicals. The initiated development of microbial activity in previously completely sterile environments leads to the degradation of chlorinated ethylenes and chlorinated methanes to terminal permanent gases and an overall decrease in the concentrations of the target pollutants.

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement N°965945 (project EICLAR).

Keywords: chlorinated hydrocarbons remediation, Electro-Nano-Bioremediation, in-situ degradation technology, zero-valent iron

*Contacts: petr.kvapil@photonwater.com (+420 704 296 693),
vaclav.sredl@photonwater.com (+420 724 142 418)*

Electrochemical reduction of PFAS in situ – presentation of laboratory and field test results and most likely identified mechanisms of contaminant reduction.

Namuun Gambat¹, Petr Kvapil¹, Emily Brown¹, Ian Phillipps¹, Jaroslav Nosek², Alena Pavelková², Tomáš Cajthaml³, Jaroslav Semerád³, Jan Filip⁴

¹ Photon Water; ²Technical University of Liberec; ³ MBU AVCR; ⁴ UPOL

Abstract

Nanoremediation relies on the use of zero-valent iron nanoparticles (nZVI) in reducing water contaminants. An additional electric field enhances the transport of nanoparticles in an aquifer environment and improves the remediation performance of nZVI. The applied electric field both reduces the adhesion force between nZVI particles and the surfaces of sedimentary rocks and enhances their reactivity and longevity in contaminated groundwater environments. The combination of iron reduction and DC current substantially reduces PFAS concentrations in the aquifer. Laboratory and large-scale demonstrations at contaminated site have confirmed the performance of Electro-nanoremediation technology for PFAS contaminated groundwater.

A series of a total of 15 reactor laboratory tests were conducted to confirm the effectiveness of the proposed concept on both spiked and real PFAS-contaminated waters. The kinetics of contamination loss in water was analyzed along with the measurement of physicochemical parameters. Results of contaminant loss from groundwater reaching levels greater than 90% in 20 days under laboratory conditions. At the end of the reactor tests, a complete analysis of all phases, including electrodes and reactor materials was performed, including monitoring of organically and inorganically bound fluorine on the solid phase. Results shows very strong bonding of residual PFAS molecules on iron

oxides/hydroxides. The stability of organically and inorganically bound fluorine was tested and confirmed by standardized leach tests.

The Trial Location was in Australia at Airport site contaminated by AFFF. Our objective was to confirm the applicability of in-situ electrochemical nanoremediation to reduce the PFAS concentration in groundwater and prevent subsequent migration of PFAS contaminants to the surrounding area. The presentation delineates a successful application of one such emerging in-situ solution within a contaminated aquifer hotspot. The global first field application of electrochemical nanoremediation of PFAS was delivered with the objective to empirically demonstrate the technology's efficiency in achieving mass reduction in concentration and flux of PFAS contaminated groundwater. The successful operation of this pilot project has provided a platform for further investigation and research in soil documented below, in addition to constitute scaled-up opportunities in groundwater remediation.

All findings (trial and reactor tests) of mass reduction was consistent with conclusions from post-trial reactor tests and experimental results.

While analysis and correlation factors can be found well by well and as a trial site, the positive correlation for all PFAS species, confirms that reduction in long chain species does not result in short chain PFAS and that precursors or intermediates are not created. Where wells performed well/influenced we saw reduction of PFAS concentrations over 90% with no further rebound observed.

The combination of iron reduction and DC current substantially reduces PFAS concentrations in the aquifer. In-situ Electrochemical Nanoremediation in this trial demonstrated the ability to reduce the mass and flux of PFAS in groundwater, at a very low environmental impact compared to traditional treatment methods.

- It was made a compliance with NEMP 2.0 drinking and recreational water standards.
- No related by-products and intermediates were detected.
- The immediate effect of concentration reduction of PFAS delivered a sustainable value to the environment and a local community
- The underlying mechanisms leading to the loss of PFAS from groundwater were identified. Most likely, in an electrochemical

environment, all of these mechanisms operate simultaneously to varying degrees depending on the actual physicochemical conditions.

Keywords: Nanoremediation, Electro-nanoremediation, PFAS, in-situ degradation technology, zero-valent iron

*Contacts: petr.kvapil@photonwater.com (+420 704 296 693),
vaclav.sredl@photonwater.com (+420 724 142 418)*

Evaluation of biostimulants and mycorrhizae to improve phytomanagement potential of lignocellulosic crops

Pietro Peroni¹, Walter Zegada-Lizarazu¹, Erika Facciolla¹, Giovanni Alessandro Cappelli², Andrea Monti¹

¹ *Department of Agricultural and Food Sciences (DISTAL), University of Bologna, 40127, Bologna, Italy,*

² *Council for Agricultural Research and Economics, Research Centre for Agriculture and Environment CREA-AA), , Via di Corticella 133, 40128 Bologna, Italy*

Abstract

This paper presents the research activities undertaken by the University of Bologna (UNIBO) team within the framework of the European H2020 GOLD project. The primary aim of this study was to investigate the use of lignocellulosic crops combined with biostimulant treatments as a strategy for the phytomanagement of soils contaminated by metal(loid)s. In particular, the research focused on evaluating the efficacy of these approaches under real-world, field-scale conditions rather than in controlled environments.

The investigation centered on three lignocellulosic crop species: Hemp (*Cannabis sativa* L.), Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), and Miscanthus (*Miscanthus × giganteus* Greef et Deuter). These species were selected for their well-documented potential in biomass production and their ability to tolerate and interact with contaminated soils. The experimental design involved five different biostimulant treatments: B1, consisting of protein hydrolysates; B2, based on humic substances; M, employing arbuscular mycorrhizal fungi; and two combined treatments, MB1 (M plus B1) and MB2 (M plus B2). The field trials were carried out at the Chiarini site, a former illegal landfill located on the outskirts of Bologna, Italy. This site is particularly relevant for phytomanagement studies due to its legacy of contamination with heavy metals such as nickel (Ni), lead (Pb), copper (Cu), and zinc (Zn), as well as adverse soil characteristics, including a sandy-loam texture and significant stoniness. The

experimental framework also accounted for the regulatory thresholds for heavy metal concentrations applicable to green and industrial land uses, providing a practical context for assessing the phytoremediation potential of the tested strategies.

The research demonstrated that the combined application of biostimulants, particularly humic substances with mycorrhizal fungi (MB2), significantly enhances the phytomanagement potential of lignocellulosic crops grown on contaminated, marginal soils. Among the studied crops, *Miscanthus* paired with MB2 emerged as the most effective strategy. This combination not only improved root system development and biomass production but also contributed to the stabilization and gradual decontamination of the soil, particularly with respect to copper. Furthermore, the successful adaptation of the ARUNGRO model to reflect the influence of biostimulants marks an important advancement. This tool can now support the spatially explicit prediction of biomass yields and metal uptake, offering valuable insights for scaling up phytomanagement interventions across broader landscapes affected by contamination.

Contact: walter.zegadalizarazu@unibo.it

Geology and land use as drivers for the determination of natural background level in groundwater: insights from arsenic, radon, and fluoride analysis in central Italy

Giulia Felli^{1,2}, Paolo Ciampi^{1,2}, Leonardo Maria Giannini^{1,2}, Ebrahim Ghaderpour^{1,2}, Carlo Esposito^{1,2}, Marco Petrangeli Papini^{2,3}

¹ Department of Earth Sciences, Sapienza University of Rome, Piazzale Aldo Moro 5, 00185, Rome, Italy,

² CERI Research Center, Sapienza University of Rome, Piazzale Aldo Moro 5, 00185, Rome, Italy

³ Department of Chemistry, Sapienza University of Rome, Piazzale Aldo Moro 5, 00185, Rome, Italy,

Abstract

The presence of arsenic (As), radon (Rn), and fluoride (F⁻) in groundwater poses significant risks to human health, making it a growing concern worldwide. These compounds may originate from both natural sources and anthropogenic activities. Understanding the factors that control their concentration is essential for ensuring the safety of drinking water.

This study explores the origin and spatial distribution of As, Rn, and F⁻ in groundwater across the Viterbo area (Central Italy), a region with complex geology and intense human impact. By integrating geological, geochemical, and land use data within a GIS-based framework, and applying geostatistical methods and multivariate statistical techniques, such as Principal Component Analysis (PCA), the study aim to identify and quantify the natural background levels (NBLs) of these contaminants.

A dataset of 659 groundwater samples was analyzed. Through statistical filtering of anthropogenic influences, NBLs were determined using the 95th percentile of the residual distribution: 57 µg/L for As, 2.80 mg/L for F⁻, and 187.10 Bq/L for Rn. The results reveal distinct spatial patterns, with Rn concentrations predominantly

controlled by lithological factors, while the distribution of As and F⁻ reflects a combination of geological and human-related drivers.

This study underscores the importance of integrating geological knowledge and land use analysis in defining NBLs and interpreting the natural variability of contaminants in groundwater. These findings emphasize the innovative value of an integrated methodological approach that combines geological interpretation, land use analysis, and statistical techniques. This framework enables a clear distinction between geogenic and anthropogenic contributions to groundwater contamination and supports the robust definition NBLs. This approach enhances the accuracy of groundwater quality assessments and supports the design of effective remediation strategies.

Keywords: (Groundwater contamination, geochemistry, geogenic and anthropogenic factors, water resource management, natural background levels)

*Contacts: giulia.felli@uniroma1.it (+39 3275322235),
paolo.ciampi@uniroma1.it, leonardomaria.giannini@uniroma1.it,
ebrahim.ghaderpour@uniroma1.it,
marco.petrangelipapini@uniroma1.it.*

KAJAK – State funded investigation, remediation and development projects on closed and abandoned mining waste facilities in Finland

Nina Lehtosalo, Antti Knuuti

Abstract

Mines have previously been abandoned and closed using methods that do not meet today's environmental and safety requirements. There are 31 closed or abandoned mining sites with 42 waste facilities in Finland that cause serious environmental pollution or a potential risk to the environment as referred to the Extractive Waste Directive (2006/21/EC). 19 of these are orphan and the State responsible for managing their environmental and health risks.

The sites have been formed as a result of metal ore mining activities. The oldest area is over 100 years old and mining activities in the latest area ended in 2009. In metal ore mining waste facilities, environmental risks are caused by waste rock piles and tailings waste facilities. The most significant risk is posed by acid leachate and runoff waters that spread from waste areas and contain harmful substances and cause loading to surface waters and groundwater. Potential weaknesses in dams and foundation structures, dust and possible radiation in some sites also pose a risk. Environmental load can continue from decades to centuries. In addition to ecosystems, adverse impacts may affect human health as well as livelihoods, recreational use of nature and the landscape.

The national risk management strategy for contaminated sites requires that the risks to health and the environment in the sites have been managed in a sustainable manner by 2040. On the extractive waste facilities, the work progresses in order of urgency through monitoring and through investigations and remediations in close cooperation with the Geological Survey of Finland, the Finnish Safety and Chemicals Agency, the radiation and Nuclear Safety Authority, municipalities, landowners and the mining industry. The aim of the work is to bring the risks to an acceptable level, but also to improve the chemical status of water bodies, increase biodiversity and promote the development of expertise and risk management

methods related to extractive waste facilities. As a result of the EU Critical Raw Materials Act, the work also includes an assessment of the raw material potential of the sites. Key objectives also include promoting the circular economy, taking climate impacts into account and applying different new technologies in the investigation and remediation of the sites. The following development projects were carried out in 2020-2024:

- Assessment of the raw material potential of extractive waste facilities
- Deep Scan Tech technology in exploring the different structures of extractive waste facilities
- Means to reduce the climate impacts of soil treatment methods
- Possibilities of using drones in studies of extractive waste facilities
- Study on the availability of materials for the remediation of extractive waste facilities
- Study on EU funding opportunities for extractive waste facilities
- The ability of reactive filtration technology to neutralize acid runoff waters and to retain heavy metals contained in runoff waters.

CASE STUDY: Deep Scan Tech technology in exploring the different structures of extractive waste facilities

Deep Scan Tech uses an innovative technology to create an unprecedented 3D view of the underground, easily from the surface. With Deep Scan Tech's solution you can scan a new area planned for development or even see under existing buildings. Securing the foundations of any project in the built environment has never been so quick and easy. As a start-up company, Deep Scan Tech is interested in developing new solutions and products with their unique capabilities.

Keywords: Mining waste, serious risk, sustainability, new technologies

Contacts (two speakers):

nina.lehtosalo@gov.fi (+358 50 467 9450), The Ministry of the Environment

antti.knuuti@deepscantech.com, Deep Scan Tech

Innovative Biosorbent materials for PFAS removal from contaminated water

Marta Senofonte¹, Laura Lorini¹, Giulia Simonetti¹, Carmela Riccardi², Marco Petrangeli Papini¹

¹ Department of Chemistry, University of Rome “La Sapienza”, Rome, Italy

² Department of technological innovations and safety of plants, products and anthropic settlements, National Institute for Insurance against Accidents at Work (INAIL), Rome, Italy

Abstract

PFAS are a variety of ecologically persistent compounds of anthropogenic origin, loosely included in many industrial products, in which the carbon chain can be fully (perfluoroalkyl substances) or partially (polyfluoroalkyl substances) fluorinated. Because of their increasing ubiquitous presence in many environmental compartments over the years, and highly long-lasting nature, the scientific community had to deal with the possible adverse effects of PFAS on ecosystem and human health. Among the wide range of technologies, adsorption is the most cost-effective and environmentally sustainable method for the removal of PFAS in aqueous media. In this study, an eco-friendly adsorbent (Pinewood biochar, PW) was tested in comparison to the well-known activated carbon (AC), and a functionalization procedure with surfactants was also developed in order to enhance its adsorption capacity [2]. These biosorbents were tested for the removal, from contaminated water, of several PFAS, both long and short chain length (e.g. GenX, PFHxA, PFHxS, PFTeDA). More in details, adsorption tests were carried out using a continuous flow reactor configuration, in order to obtain a satisfying robustness of the experimental data. First adsorption tests showed promising results but limited, especially for short-chain PFAS. A functionalization procedure using ionic surfactants (CTAB) was then developed and tested. Laboratory set-up consisted of packed columns with the

adsorbent of choice (pinewood 850° biochar; pinewood biochar sieved $\leq 200\ \mu\text{m}$; functionalized pinewood biochar; pinewood 1000° biochar; activated carbon) and inert material (glass beads), through which contaminated water by PFAS is continuously passed in a closed system. Sorption tests were carried out in 24h (concentration at equilibrium). In a final step, the resulting most promising materials (i.e., functionalized PW-CTAB and 1000° PW) were tested on PFAS mixtures to study potential competition mechanism. Adsorption isotherms (Freundlich and Langmuir) were also attempted to assess the removal capacity of the adsorbents. All the samples of liquid phase collected were analysed by high-performance liquid chromatography (HPLC) coupled with mass spectrometry (MS-MS). Results evidenced a higher removal capacity of the activated carbon for all tested PFAS, compared to the pinewood 850° biochar; while both sieved, functionalized pinewood biochar showed both similar and greater adsorption capacities. However, among the adsorbents investigated, pinewood 1000° biochar showed the best performances for all the PFAS. Such premises may lead to a promising path for the replacement of well-known manufactured adsorbents as AC with biosorbents materials for PFAS removal in the remediation field.

Keywords: PFAS, water treatments, biosorption technology, biochar functionalization

Contacts: laura.lorini@uniroma1.it, (+39 3478405006), marta.senofonte@uniroma1.it, giulia.simonetti@uniroma1.it, ca.riccardi@inail.it, marco.petrangelipapini@uniroma1.it.

Soil Health Descriptors in Focus: A Case Study and a Gamified Learning Approach

Vanessa G. Correia¹, Raquel Carvalho¹, Paula Guedes², João Brinco¹,
Eduardo P. Mateus¹, Alexandra B. Ribeiro¹, Nazaré Couto^{1*}

¹ CENSE – Center for Environmental and Sustainability Research & CHANGE - Global Change and Sustainability Institute, NOVA School of Science and Technology, NOVA University Lisbon

² Department of Environmental Science, Aarhus University, Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde, Denmark

Abstract

Healthy soil, the foundation of ecosystems and human well-being, is increasingly at risk, especially from pesticide pollution.

A recent analysis of over 5,000 soil samples collected across Europe between 2015 and 2022 paints a concerning picture: traces of both currently approved and long-banned pesticides are still widely found in our soils. Surprisingly, chemicals like p,p'-DDT and atrazine—banned for years—were detected in 31% and 17% of samples. Even more common were residues of still-approved pesticides, such as boscalid (36%) and epoxiconazole (32%), as well as persistent breakdown products like aminomethylphosphonic acid (44%). Some countries, like Greece and Poland, showed stronger links to banned substances. These findings spotlight the long-lasting footprint of pesticide use, its potential to spread across borders, and the urgent need to evaluate how well our current regulations are really protecting soil health [1].

A gaming approach developed by ISLANDR project [2] was used to promote brainstorming, discussion and encourage different perspectives on how different stakeholders (consultants, contractors, site managers, industry experts, regulators, environmental practitioners and researchers) would address soil health in distinct scenarios, what aspects of soil health would be meaningful, and how they might be monitored (e.g. which descriptors to assess). Participants were presented with hypothetical scenarios related to

different land use types and degradation aspects, such as urban (public spaces & recreational areas, residential & gardening, residential & shared public spaces) and industrial (brownfields and active industrial & commercial sites). The workshop's main conclusions indicate that participants reveal a variance in soil quality indicators between urban and industrial land uses.

Undoubtedly, the chemical, physical and biological indicators outlined in the Soil Monitoring Law are crucial to define and monitor a particular soil health. We are currently assessing how pesticide pollution and electrochemical remediation (EKR) technique impact soil chemical properties and biological microbiota (bacteria and fungi).

Keywords: soil health, pesticide pollution, descriptors, chemical, biological

ACKNOWLEDGEMENTS

Research received funding from the European Union under the Horizon Europe project Information-Based Strategies for Land Remediation, ISLANDR (Grant Agreement No.101112889), and from Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., Portugal, UIDB/04085/2020 (Research unit CENSE “Center for Environmental and Sustainability Research”); Fundação para a Ciência e a Tecnologia is also acknowledged for N. Couto (CEECIND/08147/2023) contract established under Individual Call to Scientific Employment Stimulus. This research is anchored at RESOLUTION LAB, an infrastructure at NOVA School of Science and Technology.

The Las Salinas project (Chile), an example of the rehabilitation of a degraded area in the absence of specific applicable regulations

Germán Monge Ganuzas¹, Juan F. Mujica Alarcón¹, Ricardo Labarca², Stephanie Rotella²

2

¹ 1 IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A.U. - Environment

² Las Salinas – COPEC Group

Abstract

Las Salinas is a 16-hectare former industrial site located in Viña del Mar (Chile). This site is being rehabilitated after more than 80 years of industrial activity. It is one of Chile's most ambitious environmental remediation projects, setting a new standard for the reintegration of contaminated land into the country's urban fabric.

This remediation project presents some technical complexities due to its location in a densely populated urban area, which is why Las Salinas has brought together international experts from IDOM, WSP and Séché for the design, control and application of remediation techniques, with the aim of becoming a benchmark for future remediation efforts in Chile.

However, the project has faced considerable challenges, highlighting the complexity of managing this type of initiative in a country that lacks a specific legal framework for soil remediation. This is one of the reasons why the transformation of these former industrialised spaces into valuable urban areas requires overcoming both regulatory gaps and social resistance. In early 2004, a first phase of partial and superficial remediation of the site was carried out, but its clean-up still needs to be completed in order to achieve quality standards that ensure the compatibility of future uses with the acceptable risk values for the soil and associated groundwater.

Between 2018 and 2020, the project underwent an environmental assessment, having to overcome multiple issues arising from the lack of specific regulations in Chile related to contaminated soil management. As a result, Las Salinas, as the project owner, needed to

generate technical documentation to support the proposed remediation solution. Specifically, the focus had to be placed on selecting the reference regulations, in the absence of specific regulations in Chile, choosing a methodology based on a decision-making process grounded in the analysis and management of risks to human health, and proposing and validating the remediation technology to be applied in accordance with the best available techniques. After an exhaustive review of reference regulations, Las Salinas opted to adopt the Italian standard, which was subsequently validated by the competent environmental authority during the environmental assessment of the project.

Throughout this process, Las Salinas decided to involve local scientists, community members and renowned international experts to jointly create a remediation strategy that would build trust and secure the essential environmental authorisations. One of the most innovative results of this collaboration was the selection of bioremediation, based on a detailed study of available remediation technologies, their advantages and disadvantages, and their suitability for the specific problems at the site. The emphasis on natural processes highlighted Chile's potential to introduce sustainable, low-impact and effective remediation techniques. As the remediation plan progresses, the project has also developed a comprehensive 'urban vision' based on nearly two decades of engagement with various sectors of the city. This vision embodies a people-centred approach to urban development, with the aim of identifying the needs of the city's inhabitants. The goal is to create a vibrant and sustainable urban project that not only benefits the site itself, but contributes to the revitalisation of the entire city. This project has set a new precedent for how Chile can approach the remediation of more than 600 contaminated sites in urban areas, demonstrating the integration of circular economy principles and community participation. The Las Salinas project highlights the importance of placing people at the centre of environmental regeneration, emphasising trust-building and active community participation as essential components for successful rehabilitation. In conclusion, Las Salinas is a pioneering case in Chile of interdisciplinary collaboration and the application of nature-based technologies to address the complex challenges of industrial site revitalisation.

Marble dust “Marmettola” in the Apuan Alps extraction district: a significant environmental criticality for surface and groundwater bodies

Claudio Numa¹, Elisa Nardi¹, Francesco Andreotti¹, Enrico Scalchi¹,
Licia Lotti²

¹ ISPRA - Italian Institute for Environmental Protection and Research
- National Centre for Environmental Crises and Emergencies and
Damage, ²ARPA Tuscany – Department of Massa

Abstract

In recent years, the extraction district of the Apuan Alps has frequently been the subject of reports by environmental associations and private citizens regarding pollution issues affecting surface and groundwater bodies. These issues are linked to runoff and dispersion of the so-called “marmettola” (marble dust) and fine residues from quarrying activities. Legislative Decree 152/06, commonly known as the “Environmental Code”, strengthened the State’s preventive action against environmental damage through the introduction of Article 304 of Part Six, “Rules on compensatory protection against environmental damage”. This reform gave new impetus to the environmental prevention and control activities of the National Environmental Protection System (SNPA).

Additionally, pursuant to the precautionary principle established in Article 301 of the same decree, the State may carry out operational interventions based on the technical-scientific evaluations of ISPRA, in collaboration with SNPA, to prevent, as a precaution, environmental risks and damage arising from critical situations or actual environmental crises and emergencies. The recurring phenomenon of the marmettola dispersion in surface and groundwater bodies within the extraction district represents a significant environmental issue, which this paper aims to explore in depth. The objective of this analysis is to draw attention to the topic by examining the specific aspects of various reported cases. Based on the available literature, the study identifies the most relevant scenarios to propose preventive and mitigation measures that ensure the proper management of marble dust, with particular focus on the marmettola. From 2022 to 2024, ISPRA received seven technical-scientific evaluation requests

from MASE regarding potential environmental criticalities and/or damage (pursuant to Part Six of the Environmental Code), linked to quarrying activities and, in particular, to the contamination of surface and groundwater bodies by the marmettola in the Apuan Alps district. These requests also aimed at identifying preventive and/or mitigation measures for the environmental risks associated with such activities. Several case studies were examined to highlight the main environmental concerns identified in collaboration with the Regional Environmental Protection Agency of Tuscany (ARPAT). These issues are likely due to the ineffective separation, collection, and treatment of marble dust, including the marmettola, resulting in their dispersion into runoff water from quarry areas and/or water used in cutting operations .

The various measures already implemented or proposed to manage the environmental issues linked to the marmettola contamination of surface and groundwater bodies were also considered. With regard to preventive and mitigation measures, certain provisions are already in force concerning the management of stormwater runoff from quarry areas, as established by Regional Law 20/2006 and Regulation No. 46r/2008, in implementation of Article 113 of Legislative Decree 152/2006.

However, both these guidelines and the authorization requirements for managing the marmettola have proven insufficient to resolve the detected environmental issues.

It is therefore desirable to initiate a broader technical-scientific dialogue, including representatives from the quarrying sector and local associations, to assess the effectiveness of current measures and guidance, examine best available techniques, and identify potential technical/management solutions capable of addressing the critical environmental issues outlined above.

Contact: cn-cre@isprambiente.it

Current situation and possibilities of biochar use for agricultural and land remediation in Ukraine: A bibliometric analysis

Olha Shomko¹, Iryna Davydova², Marco Bartoli¹, Elena Maestri¹

¹Department of Chemistry, Life Sciences and Environmental Sustainability, University of Parma, Italy; ²Department of Ecology and Environmental Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University

Abstract

Ukraine has significant agricultural potential, but soil degradation due to unsustainable land use, industrial pollution, and military operations poses a critical threat to environmental stability and food security. The full-scale war has caused serious destruction of landscapes, soil contamination with heavy metals and toxic substances, and disruption of agroecosystems. The A significant part of Ukraine's territory, including agricultural land, is still under occupation by the Russian Federation, which poses challenges for its safe and effective use in the future. As of 26 June 2025 [1], this figure stands at 18.81%, which is 113.57 thousand km². In this regard, there is a growing need to find effective methods of land remediation, particularly through innovative approaches. One of the promising areas is the use of biochar.

Biochar is primarily a stable, resistant organic compound of carbon (C) formed by heating biomass (feedstock), usually between 300°C to 1000°C, at low or zero concentrations of oxygen, seen as a promising tool in remediation [2, 3]. In soil, biochar interacts with all organic and biotic components. These interactions change the soil environment and improve the physical and chemical properties of disturbed soils [4, 5]. However, it is important to conduct a comprehensive risk and safety assessment before implementation this type of remediation.

The results obtained can serve as a basis for future research and development of strategies for government support of biochar production as a tool for ecological restoration and sustainable land use. This study is an initial stage in the development of scientific research on biochar in Ukraine and serves as a starting point for further research on its properties, impact on soils, and commercial

use, which will contribute to the achievement of Agenda 2030 SDGs 6, 12, 13, and 15. An important aspect is also to raise awareness among the scientific community, agricultural businesses, and government agencies about the potential of biochar as an environmentally friendly and cost-effective solution for post-war restoration and sustainable development.

Contact: olha.shomko@unipr.it, elena.maestri@unipr.it

A tool to evaluate and classify the potential risk of PFAS contamination from industrial sites

Anna De Fina¹, Lorenzo Ferraresi¹, Elena Mangherini¹, Maite Tejerina Nunez¹, Silvia Ziliani¹

¹ WSP Italia Srl

Abstract

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are a large family of thousands of synthetic chemicals that have been widely used in numerous industrial applications and household products since the 1940s, without much regulatory scrutiny. These compounds are characterized by their strong carbon-fluorine bonds, which make them highly resistant to degradation and give them unique properties such as water and oil repellence, heat resistance, and chemical stability. However, the properties of their industrial success generated a global scale contamination problem, because PFAS are ubiquitous, do not break down quickly or easily in the environment, and are bio accumulative, and remain stable for long periods of time (hence the nickname “forever chemicals”).

The growing concern about PFAS accumulation in the environment and the associated health issues is resulting in increasing and stricter regulations addressing their use, production, disposal and remediation worldwide. Due to public and mediatic attention and increasing regulatory mandates, manufacturers, distributors and retailers are under pressure to eliminate or minimize intentional and unintentional uses of PFAS in their products. This imposes challenges to existing supply chains to thousands of industrial processes, because they are used in almost all industry branches and many consumer products.

Considering this, a preliminary PFAS risk assessment was performed for a portfolio of 38 chemical plants located worldwide and owned by a global company producing chemical intermediate for which WSP is conducting Environmental Due Diligence.

The objective of the current PFAS risk assessment is to evaluate PFAS vulnerability and classify the portfolio sites, based on the risk of a possible PFAS contamination in the subsoil, due to the presence and

use of PFAS substances, such as AFFF for firefighting, or other supposed PFAS-containing products, raw materials or additives used in the production processes or that might be present in waste. The portfolio includes sites in Americas, Europe, United Kingdom and Asia.

This tool to evaluate PFAS risk of a Portfolio Sites can be used to identify sites and areas that require in-depth knowledge and/or to estimate a provision to tackle PFAS risk, even in the absence of direct analytical data on the potentially contaminated environmental matrices.

Contact: anna.defina@wsp.com

Applying Machine Learning Methods to Uncover Hidden Forensic Patterns in PFAS Signatures

Zachary Neigh¹, Julie McCurdy-Lamb¹, and William Leys¹

¹ AECOM

Abstract

To identify and characterize potential sources, the complex nature of per- and polyfluoroalkyl substance (PFAS) contamination requires a data-rich forensic fingerprinting approach, combining data science applications for pattern recognition with analytical chemistry techniques. We have developed and applied an exploratory, adaptive forensic investigation approach that maximizes the information extracted from PFAS analytical data using various statistical programming techniques from the fields of chemometrics, unsupervised pattern recognition, and machine learning. These powerful tools use the data at hand to reveal emergent patterns that are otherwise hidden by the limitations of our own perception.

This study will present a collection of PFAS investigative case studies, including an analysis of data collected across Europe in the “Forever Pollution Project” (<https://foreverpollution.eu/>). The conceptual framework of the approach and specific statistical considerations will be demonstrated to differentiate PFAS sources and analyze contaminant distribution in the environment. Pattern recognition is first performed on the PFAS analytical results to identify patterns in the data and statistically define the relationships that differentiate key aspects of the PFAS samples. The exploratory results are then used to further classify and group samples by their chemical signature, so that the entire dataset can be leveraged into powerful forensic lines of evidence supported by additional geospatial and statistical analyses.

This data-driven approach allows the investigation to be more dynamic by refining the focus based on the impartial findings of the data analysis. For example, fingerprints identified in the targeted-PFAS analysis can then inform the sampling design for more specialized

analyses, narrowing the focus to areas or types of PFAS mixtures of relevant forensic interest. This increases the value of the analytical data while optimizing the number of samples undergoing advanced laboratory analyses resulting in a cost reduction. The representative chemical compositions that form the signatures can be quantitatively compared against established source signatures that are defined in the literature and run through AECOM's PFAS occurrence database for use in predictive machine learning algorithms.

Keywords: PFAS, Forensics, Machine Learning, Statistics, Source Identification

*Contacts: zachary.neigh@aecom.com (+1 484 544 1462),
Julie.McCurdy@aecom.com, William.Leys@aecom.com*

Developing a Methodological Approach for Preliminary PFAS Environmental Risk Assessment in Airports

Iraklis Panagiotakis¹, Eleni Strompoula¹, Dimitris Dermatas², Theodoros Toskos¹

¹ENYDRON – Environmental Protection Services, Athens, Greece

²National Technical University of Athens, Athens, Greece

Abstract

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) constitute a large class of persistent, bioaccumulative, and potentially hazardous chemicals, extensively used in aqueous film-forming foams (AFFFs) for firefighting purposes and numerous other industrial and commercial applications. As a result, airports are recognized as potential hotspots of PFAS contamination worldwide. Given that many airports have operated at the same location for decades, legacy PFAS contamination is a widespread and growing environmental concern. This study proposes a universally applicable methodological approach to support the preliminary assessment of PFAS-related risks in airports.

This study recommends the combined use of two well-established tools: a) Environmental Risk Assessment methodology and b) the Conceptual Site Model (CSM) framework. The Environmental Risk Assessment approach incorporates two fundamental parameters: the likelihood of risk occurrence and the significance of potential impacts. The CSM is based on the Source–Pathway–Receptor model, enabling a structured understanding of site-specific conditions. The proposed methodology consists of the following key steps: desktop study, site visit, development of a preliminary CSM, identification of potential active Source–Pathway–Receptor linkages, and determination of necessary follow-up actions. Following this scheme, all potential PFAS sources, particularly those related to the use of AFFFs, should first be identified and assessed. These sources can be categorized into primary sources, where PFAS-containing products are directly used, and secondary sources, which may be impacted through pathways such as runoff, leaching, or equipment cross-contamination. Based on current experience, the primary sources are typically prioritized as

follows: firefighting training sites, equipment maintenance areas, and emergency response locations, including equipment and supply storage. Nowadays, as the environmental impacts of PFAS are better understood and AFFF-based training activities have been significantly reduced, equipment maintenance activities may represent an even more critical source of contamination. Significant secondary sources may include wastewater treatment plant effluent, sites where contaminated soil has been reused, waste management sites, and potential PFAS users in the immediate vicinity of the airport, that can impact environmental media. The main PFAS receptors at airports typically include humans, soil, surface water, groundwater, and the ecosystem (surface water and biota). Human exposure varies based on proximity, contamination levels, and exposure duration. Human receptors can be further categorized as follows: firefighters (highest risk due to direct foam handling), construction workers (exposed to potentially PFAS-contaminated materials), airport staff (lower but still present risk via indirect exposure), residents (chronic low-level exposure via air and water), and visitors (short-term exposure, elevated if drinking water is affected). Regarding the natural environment, contaminated soil may contribute to PFAS migration via erosion (water or dust), especially in unpaved areas, surface water may be impacted through direct contamination, runoff, or leaching, while groundwater risk is controlled by soil permeability, composition and depth to the water table. Depth to saturated bedrock is also critical in assessing the potential for impacting regional aquifers. Finally, ecosystems are mainly impacted by PFAS in runoff, in reused wastewater and soil, affecting plants and biota. Based on the above methodology, further actions can be identified and prioritized based on the potential impact severity on the various receptors. Such actions include administrative measures, site investigation, monitoring and remedial actions.

Keywords: PFAS, fire-fighting foam, airport, environmental risk assessment, Conceptual Site Model (CSM)

*Contacts: panagiotakis@enydron.com (+30 6936902382),
strompoula@enydron.com, dermatas@gmail.com,
theodoros.toskos@gmail.com*

Integrating Regulatory Compliance and Sustainable Remediation for PFAS and Vapor Intrusion at a Legacy Petrochemical Facility in Australia

Ross Edwards, JBS&G Australia

Abstract

The closure of a large integrated petrochemical facility in Australia marked a critical opportunity to implement a progressive, regulatory-aligned remediation strategy that responds to legacy contamination while enabling sustainable redevelopment. This abstract outlines the approach adopted in clean up of the site, addressing per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS), chlorinated hydrocarbons (CHCs), petroleum hydrocarbons, and associated vapour intrusion risks across a large industrial site slated for commercial reuse.

The remedial strategy was developed to meet key legislation and guidance integrating a site-specific hydrogeological understanding with risk-based remediation objectives to achieve remedial outcomes that address practicable remedial outcomes consistent with the new environmental duty framework.

PFAS, arising from AFFF use in fire training and emergency response, represent a significant and persistent challenge across multiple areas of the site. Groundwater beneath the site is impacted within fractured aquifers, with upward and downward gradients varying by location. The remediation establishes a multi-faceted strategy that incorporates:

- Source delineation and prioritisation based on contaminant mass flux, exposure pathways, and receptor sensitivity;
- Retention and in-situ management of treated soils beneath low-permeability hardstand and slab-on-grade warehouse structures, using built-form to reduce infiltration and mobilisation;
- Mass flux assessment and natural attenuation characterisation to evaluate assimilative capacity of groundwater in the context of clean up so far as practical principles;
- Vapour intrusion assessment through soil vapour and sub-slab sampling, with risk-based screening linked to land use and receptor proximity.

- The remedial evaluation and selection framework was underpinned by a multi-criteria analysis of feasible treatment and management options, incorporating sustainability indicators such as waste generation, greenhouse gas emissions, reuse potential, and worker safety. Trials of soil stabilisation, biopiling, and thermal desorption were evaluated for their technical viability and regulatory acceptability. Where remediation was not practicable, containment and long-term management and monitoring measures.
- Ultimately a range of remedial solutions are required to address the different individual or contaminants. Solutions include source reduction with on-site treatment – biopiles and immobilisation, on-site reuse/containment, source treatment with colloidal carbon and LNAPL recovery – combined with monitored natural attenuation and aquifer assimilative capacity.

Key to these remedial strategies innovation is its embedding of sustainable remediation within a mandatory compliance framework. The strategy does not rely solely on “engineering out” the risk but aligns with the General Environmental Duty by adopting tailored, performance-based controls. Vapour intrusion mitigation was incorporated into redevelopment design through engineered venting and barriers, eliminating the need for ongoing mitigation systems where unnecessary.

This work demonstrates that sustainable remediation, when supported by clear legislative frameworks and a robust conceptual site model, can reconcile long-term environmental protection with economically viable land use outcomes - even in complex, fractured rock settings with persistent contaminants like PFAS. The remedial strategy provides a replicable blueprint for managing site closure and redevelopment in high-profile industrial locations where community expectations, regulatory compliance, and environmental risk converge.

Keywords: PFAS, Sustainable Remediation, Vapour Intrusion, DNAPL LNAPL Remediation

Contacts: Ross Edwards, Senior Principal JBS&G. +61 419743356 E : redwards@jbsg.com.au

PFAS Data Evaluation Tool

Nicoletta Cavaleri¹

¹ *Jacobs, Via A. Volta n. 16, Cologno Monzese (Mi), Italy,*

Abstract

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are a large class of thousands of synthetic chemicals used in a wide range of applications and processes. PFAS are highly resistant and mobile and are detected in biota, snow, ice cores and other environmental media in Arctic and Antarctic, well-removed from any potential nearby sources.

Due to their widespread distribution and to the transportation mechanisms, when characterising a site for PFAS it is very difficult to identify the source of contamination, both off site and on site.

The objective of this presentation is to present a data evaluation tool that has been developed by Jacobs to help identifying and differentiate the sources of PFAS in both water and wastewater, provide multiple lines of evidence for insight into potential migration and attenuation processes and simplify communication with technical and non-technical stakeholders.

The tool allows for flexible and comprehensive exploratory data analysis. Tool allows multiple plotting options as 2D and 3D matrix, box plot, pie plots, etc., effective plotting of composition fingerprinting for source identification, plotting of sample composition in structured grid according to PFAS Class and Carbon number, quickly assessing visual patterns in large sample populations.

Recover, Remediate, Reuse: The Untapped Potential of PFAS Soil Remediation

Eunan Kelly, Head of Business Development Europe

Michael Nesbitt, Market Researcher

Clemence Badier, Marketing Manager Europe

Abstract

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are among the most persistent and challenging environmental contaminants of our time. Their widespread use and resistance to degradation have led to significant soil and groundwater contamination across industrial, military, and urban sites. As regulatory pressure intensifies and awareness of PFAS-related health risks grows, the need for effective, scalable, and sustainable PFAS remediation solutions has never been greater.

Soil washing has emerged as the most effective and widely available treatment for PFAS-contaminated soils. This physical separation process removes PFAS particles from the soil, reducing contamination levels below regulatory thresholds while enabling 70–80% material recovery. Unlike other disposal methods such as excavation and landfill, soil washing offers a circular approach - transforming contaminated soils into reusable resources.

At the heart of this approach is the integration of advanced water treatment systems that work in tandem with soil washing to manage the complexity of PFAS-contaminated sites. These systems are engineered to handle a wide range of co-contaminants, including hydrocarbons, heavy metals, and other persistent pollutants. This adaptability ensures compliance with evolving environmental regulations while maintaining high throughput and operational efficiency.

CDE's wet processing technology is already being deployed globally to treat millions of tonnes of contaminated soil annually. The proven solutions are tailored to each site's unique conditions, ensuring optimal performance and maximum material recovery. In addition to removing PFAS, those systems produce high-quality washed sands and aggregates that can be reused in construction, infrastructure, and

landscaping applications - reducing the demand for virgin materials and supporting circular economy goals.

The potential impact is twofold:

- **Land reclamation:** soil washing enables the safe reuse of previously contaminated land, unlocking opportunities for urban regeneration, infrastructure development, and ecological restoration.
- **Value creation:** the recovered materials can be reintroduced into the supply chain, supporting sustainable construction and reducing the environmental footprint of new developments.

The presentation will explore the possibilities behind PFAS soil washing, sharing real-world project outcomes and demonstrating how this technology is turning environmental liabilities into valuable resources. It will also address the regulatory landscape, economic considerations and the role of innovation in scaling these solutions to meet global demand.

As the world moves toward more sustainable and circular development models, PFAS soil washing stands out as a future-ready solution - one that not only remediates but regenerates.

Keywords: *PFAS soil washing, PFAS removal, PFAS treatment, PFAS remediation, PFAS-contaminated soils*

Contacts:

Clemence Badier +44 28 8621 4474 cbadier@cdegroupp.com

Eunan Kelly ekelly@cdegroupp.com

Michael Nesbitt mnesbitt@cdegroupp.com

Management of Ultra-Short Chain PFAS: From Characterization to Treatment

Christophe Barnier^{*1}, Isabelle Delsarte^{*1}, & Frederic Marias²

¹ WSP, 14 rue des balançoires, 69007 Lyon

² RECORD, Campus Lyon Tech La Doua, 66 bd. Niels Bohr, Bât. CEI 1 - CS 51132, 69603 Villeurbanne cedex

Abstract

For this presentation, the various stages of the life cycle of TFA, the most publicized ultra-short chain compound, will be detailed, from its production to its destruction.

TFA stands out due to its specific physicochemical properties, which result in unique environmental behavior compared to other PFAS compounds. Its origin, including both primary sources (industrial production) and secondary sources (transformation of PFAS compounds), as well as its physicochemical characteristics, will be explained.

Based on WSP's experience, the fate and behavior of TFA in different environmental compartments will be presented to provide tools for developing an appropriate diagnostic approach, along with associated analytical methods. Indeed, a study on TFA mobility, which is, to our knowledge, scarcely documented, was conducted through laboratory tests, particularly leaching experiments. These tests aimed to determine the concentrations in rainwater percolating through unsaturated soil before reaching groundwater (primary target) and then surface water (secondary target).

Finally, the fate of TFA in various commercial and emerging PFAS treatment technologies across different matrices will be examined. It is well known that traditional treatment technologies often prove ineffective against PFAS due to their stability, resistance to destructive processes, and the low concentrations that must be achieved. To provide a comprehensive overview of available technologies,

including emerging ones, with a focus on ultra-short chains, the PFAS treatment technology benchmark conducted by RECORD and its members, in collaboration with WSP, will be presented. The recommendations will be supported by results from various treatments carried out at laboratory and/or pilot scale.

Keywords: TFA, Ultra-short chain PFAS, environmental behaviour, treatment

*Contacts: christophe.barnier@wsp.com (+33 6 34 07 03 83),
isabelle.delsarte@wsp.com, (+ 33 6 38 75 94 58),
frederic.marias@outlook.com*

A Permanent Ground Portal for Non-Destructive HRSC UV Visualization of LNAPL Soil Contamination: From Lab to Field Studies

Julio Zimbron

¹ *E-Flux, Fort Collins, CO, USA.*

Abstract

Background/Objectives. High Resolution Site Characterization (HRSC) tools provide detailed vertical mapping of contaminant distributions in the ground. Additionally, some HRSC tools also provide lithology data. These HRSC vertical profiles of contaminant concentrations and soil properties enable a more complete LNAPL conceptual site model (CSM). Due to high mobilization costs related to heavy equipment associated with the HRSC probes, HRSC surveys are typically generated once. However, the parameters surveyed change in time due to complex interactions between contaminant, water soil saturations, groundwater levels, and lithology. This presentation will describe a novel tool that can repeat vertical surveys, adding a time-dependent dimension to HRSC data at a temporal density prohibitive to current methods.

Approach/Activities. E-Flux has developed a technique to install a monitoring port into a soil boring that can be repeatedly surveyed using HRSC UV-based imaging techniques, enabling the measurement of changes in soil LNAPL distributions and collection of lithology data. The port consists of a dry, solid well casing including transparent sections. A device is deployed in this clear dry well casing that shines UV and visible light into the formation, revealing detailed pore-scale distributions of LNAPL and soil granulometry data. The data is processed to create continuous vertical digital images and LNAPL saturation profiles that reflect current soil water and contaminant distributions.

Result/Lessons Learned. This presentation will include lessons learned from laboratory experiments about conditions that can lead to LNAPL redistributions in the soil, under different lithology settings and groundwater level changes. In addition to laboratory data, two field studies will be described. Survey results will be contrasted with traditional data from LNAPL thickness in monitoring wells.

Contacts: jzimbron@soilgasflux.com

A Summary of One and A Half Decades of NAPL Contaminant Natural Source Zone Depletion (NSZD)

Julio Zimbron, Ph.D.

¹ E-Flux, Fort Collins CO 80521, USA

Abstract

After approximately 1.5 decades after the acronym was developed, Natural Source-Zone Depletion (NSZD) has become key for the conceptual site model (CSM) of petroleum and light non-aqueous phase liquid (LNAPL)-contaminated sites. NSZD concepts apply to the entire life cycle of a petroleum contaminated site, including source delineation, baseline remedy performance and remedy transition. The magnitude of NSZD rate measurements can exceed the performance of active remedies.

A fundamental concept of NSZD is that degradation of petroleum contaminants (mostly due to microbial activity) results in the production of biogas, a mixture of carbon dioxide (CO₂) and methane. These gases are more easily monitored in the unsaturated zone than in groundwater. While CO₂ is stable, methane is not — it is readily transformed by aerobic microbes into CO₂ once it migrates to shallow depths and encounters ambient O₂. Multiple methods are available to measure the rate of these processes. These methods assume a reaction and rely on measuring the production rate of the reaction products (for example, CO₂ or heat, measured using a mass or a heat balance, respectively), which is then converted to contaminant losses on a per footprint area and time basis (for example, gallons of contaminant per acre per year).

This presentation will provide an overview of the geochemistry of NSZD processes, the conceptual basis of multiple available methods to measure the rate of NSZD, compilations of measured NSZD rate values, best practices for minimizing measurement error, and examples of data use. By attending this presentation, practitioners will

develop a basic understanding of the state of the practice of NSZD, and learn multiple ways of applying NSZD concepts to their sites.

Keywords: MNA, NAPL, NSZD, Measurement Methods,

Contacts: jzimbron@soilgasflux.com (+1 970 335 8901),

Nature based solution applicazione di tecnologie di fitorimedio in aree agricole – lesson learned e progettazione per il futuro

Allegrini F.¹, Pianu M.¹, Ercolani V.¹, Raffaele V.¹, Cerutti G.²,
Francioli A.², Donati D.²

¹ ENI –Energy Evolution Green / Traditional Refining & Marketing;

² HPC Italia s.r.l, via Ferrucci 17/a 20145, Milano;

Abstract

Hydrocarbon spill events caused by unauthorized extractions and which occurred since 2015, which caused environmental damage to neighboring agricultural areas, led us to propose and apply biological remediation technologies (phytoremediation).

The need to design natural remediation solutions arises mainly from 3 needs:

- remediate sites that throughout their history have always been suited to agriculture and must be brought back to it at the end of the remediation activities;
- enhance the “soil” resource in order to make the site immediately usable for agricultural purposes, which traditional remediation methodologies do not allow or limit
- reduce land consumption and ensure sustainability and circularity of the approaches also applied to remediation (SDGs).

The focus of the presentation is therefore to report, not individual case studies, already presented several times in the sessions of previous years, but the results of the years of study, pilot tests and application of remediation, focusing on the opportunity to use these technologies in the complete circularity of the interventions.

The intent is to bring to the attention of the community (public administrations and stakeholders) that this technology still today collects, even in the same region, different responses and doubts, in particular on the application times and the reuse of biomass.

The low maturity of the technology within the community that deals with remediation (EEPP, Customers, Stakeholders) prevents it from being exploited as a whole, aiming for complete circularity.

Although greater openness has been shown towards the authorization of projects based on the application of phytoremediation technology, many doubts and mistrusts still remain, mainly based on the incomplete "consolidation" of the technology in the remediation of land contaminated by hydrocarbons and on the long implementation times.

In fact, the complete circularity of the technology, which would be achieved with the reuse of the biomass produced, is often rejected or postponed to future evaluations

Our goal is to show the opportunities that phytoremediation technology, where applicable, can have as a whole, especially if exploited in all its parts, including the management of biomass outside the waste chain.

INTECH4WATER project for innovative wastewater treatment by integrated technologies: nanostructured materials design

M. Blosi¹, S. Amadori^{1,7}, C. Artusi¹, A. Costa¹, M. Vespignani^{1,7}, C. Baldisserotto^{2,6}, M. Melis², A. Senatore², P. Giacò², T. Chenet^{2,6}, L. Ferroni^{2,6}, B. Esposito³, L. Sciubba⁴, R. Guzzinati⁴, E. Carfagna⁵, S. Pancaldi^{1,2,6*}.

¹Institute of Science, Technology and Sustainability for Development of Ceramic Materials, National Research Council, Via Granarolo, 64, 48018, Faenza (RA), Italy, ²Department of Environmental and Prevention Sciences, University of Ferrara, C.so Ercole I d'Este, 32, 44121 Ferrara, Italy ³Proambiente S.C.r.l. Via P. Gobetti 101, 40129 Bologna, Italy, ⁴ENEA—LEA Laboratory for the Environment, Via Martiri di Monte Sole 4, 40129 Bologna, Italy, ⁵Department of Statistical Sciences, University of Bologna, Via Belle Arti 41, 40126 Bologna, Italy, ⁶Terra&Acqua Tech Laboratory, Technopole of Ferrara University, Via Saragat, 13, 44122 Ferrara, Italy, ⁷Department of Chemical Science, Life and Environmental Sustainability, Parma University, Parma, Italy

*Corresponding author: simonetta.pancaldi@unife.it, C.so Ercole I d'Este, 32, 44121 Ferrara (Italy) +39.0532.293786

Abstract

The uncontrolled release of pollutants due to urbanization and industrialization is a pressing global concern, particularly given the limitations of conventional wastewater treatment technologies in addressing emerging contaminants. In response, research is increasingly focused on the development of advanced, sustainable, and safe technologies for effective water remediation.

INTECH4WATER is a research project designed to advance municipal and industrial wastewater treatment through a highly integrated, sustainable, and versatile approach, inspired by the Circular Economy principles. The project addresses growing concerns around water pollution by targeting not only conventional pollutants, such as nitrogen and phosphorus, but also pathogenic bacteria, microplastics, and a wide range of emerging contaminants.

The project rationale envisions a sequential integration of multiple technologies: advanced oxidation processes (A.O.P.) through ozonation and UV degradation, multifunctional filters using adsorptive and antimicrobial nanomaterials, and microalgae-based bioremediation.

The project foresees a laboratory stage to identify the optimal experimental conditions maximizing the efficiency of the developed technologies also supported by machine learning tools, and a prototype phase, aimed at scaling and validating the process in real-world conditions.

Within the project, we developed a set of advanced nanostructured materials for sorbent and antimicrobial purposes to be integrated into the final prototype.

Hybrid granules based on $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ /microalgae were prepared by combining inorganic nanoparticles (TiO_2 and SiO_2) with microalgae biomass (*Neochloris oleoabundans* and *Phaeodactylum tricornutum*) to improve pollutant removal by integrating biosorption and photocatalysis. These materials were synthesized via a colloidal process and cold granulation, producing reactive granules that were extensively characterized. The results revealed a synergistic effect in the hybrid samples, particularly enhancing heavy metal biosorption when the microalgae biomass was supported on the inorganic nanophase paving the way for new solutions for the water treatment field. To increase the potential of the sorbent stage and enhance efficiency against a wider range of contaminants we also exploited calcium ferrite nanophases prepared by sol gel method, which showed optimal performances in the removal of phosphates.

The antimicrobial functionality was covered by silver nanoparticles, AgCurcumin (AgCur), developed in alignment with the safe and sustainable by design principles. AgCur was synthesized using curcumin as both a reducing and capping agent. It exhibited strong antimicrobial activity against bacteria and viruses, with reduced cytotoxicity—likely due to the antioxidant potential of curcumin. To promote the application in the pilot plant scenario, AgCur was supported on recycled wool spheres, serving as durable, easy-to-handle filter cartridge and showing lower silver release and superior performance compared to commercial silver ion-based alternatives.

Lab-scale tests with simulated and real wastewater showed good overall performances for the advanced nanostructured materials. Each class of material highlighted a selectivity profile against the target pollutants. The system's versatility will allow us to design filter

device composition in alignment with the wastewater chemical features.

Keywords: *advanced wastewater treatment, nanostructured materials, microalgae bioremediation, circular economy*

Acknowledgements: INTECH4WATER—ID 37894 PG/2023/310511—CUP F37G22000200003— Emilia-Romagna PR-Fesr 2021–2027, Priority 1—Action 1.1.2

Contacts : magda.blosi@issmc.cnr.it (+393483184421),
sara.amadori@issmc.cnr.it, chiara.artusi@issmc.cnr.it,
maurizo.vespignani@issmc.cnr.it, anna.costa@issmc.cnr.it,
bst@unife.it, michele.melis@unife.it, antonia.senatore@unife.it,
pierluigi.giacco@unife.it, tatiana.chenet@unife.it, frrlnz@unife.it,
b.esposito@consorzioproambiente.it, luigi.sciubba@enea.it,
roberta.guzzinati@enea.it, elisabetta.carfagna@unibo.it,
simonetta.pancaldi@unife.it

Studio statistico e sperimentale sulle possibili origini dell'arsenico riscontrato nelle acque di falda di un'area industriale

Luca Piccapietra¹, Carlo Monti², Francesco Picardi³, Marcello Mancini³, Marcello Pianu³, Viviana Ercolani³, Valentina Raffaele³

¹ Stantec S.p.A., ²ET&EC SAGL, ³Eni S.p.A.

Abstract

Come noto in letteratura, l'elevata variabilità delle concentrazioni di Arsenico nelle acque di falda rappresenta una tematica rilevante in aree industrializzate, nelle quali la complessa interazione indiretta tra fonti antropogeniche e naturali può influenzarne significativamente la distribuzione.

Nell'ambito del presente studio sono state quindi preliminarmente applicate tecniche statistiche di tipo univariato e multivariato di analisi dei dati idrochimici selezionati per un periodo di sette anni.

Successivamente è stata quindi sviluppata una specifica attività sperimentale ed analitica, che ha previsto la misura in continuo di parametri chimico fisici, l'esecuzione di analisi chimiche settimanali e specifiche analisi isotopiche. Dall'analisi statistica dei dati analitici disponibili, l'ipotesi più verosimile emersa relativamente all'origine dell'Arsenico, in alcuni piezometri, è che l'incremento di concentrazione del suddetto analita sia connesso al processo di desorbimento da idrossidi di Fe e Mn che avviene in condizioni anossiche o in condizioni riducenti. In termini generali, inoltre, si nota un'ulteriore possibile correlazione tra l'influenza delle acque marine, caratterizzate da elevate concentrazioni di B, SO₄—e Cl⁻, e gli aumenti di concentrazione dell'Arsenico in alcuni piezometri.

In particolare, il biplot PCA riportato in figura 1 rappresenta sia i piezometri che i vettori delle variabili principali. Le frecce indicano la direzione e l'importanza di ciascun parametro nella definizione delle componenti principali:

- PX è fortemente influenzato da variabili come arsenico, cloruri, conducibilità, Fe, Mn e isotopi del ferro negativi → tipico di un ambiente riducente e salino.

- PY è spinto nella direzione opposta da redox positivo, pH più alto e bassi metalli, indicativo di un ambiente ossidante.
- PZ è in posizione intermedia, influenzato da entrambi i set di variabili.

Gli isotopi stabili dell'acqua (d18O e d2H) indicano una chiara differenza nell'origine delle acque: PX presenta valori arricchiti (d18O = +1,19‰; d2H = +8,9‰), possibili indicatori di intrusione marina, coerenti con la salinità molto elevata (Cl: 13100 mg/l); PY e PZ mostrano invece valori isotopici più negativi, quindi più impoveriti, compatibili con ricarica da precipitazioni. PZ, infine, rappresenta un sistema ossidante (redox: +277,8 mV), con arsenico quasi assente (0,35 µg/l), concentrazioni trascurabili di Fe e Mn, e valori più deboli per d13C-DIC (-15,7‰), d11B (35,8‰), e valori prossimi a 0 o appena positivi per gli isotopi del ferro, a conferma dell'assenza di processi riduttivi e della probabile immobilizzazione dell'As tramite adsorbimento su ossidi stabili.

I risultati dello studio sperimentale e statistico confermano quindi che le alte concentrazioni riscontrate nei due piezometri selezionati sono legate ragionevolmente sia all'interazione tra acque di mare, argille e con strati di suolo con presenza di Fe, Mn ed As che alle condizioni anossiche che determinano il maggior desorbimento di As dagli ossidi ed idrossidi di Fe ed Mn.

Contacts: luca.piccapietra@stantec.com

Strategic Remediation Management in Peru: A New Paradigm for Impacted Sites and Environmental Liabilities in the Amazon

Oscar Gómez¹

¹ TEMA LITOCLEAN SAC

Abstract

Peru faces a complex environmental problem characterized by the existence of over 3,000 environmental liabilities and 1,000 impacted sites, as a product of upstream oil activity, predominantly concentrated in the sensitive Amazon region.

This paper focuses on the challenges within the Peruvian jungle, where logistics, ecology, the presence of indigenous communities, and contaminant complexity demand a superior approach. In response to critical gaps in technical and operational information, a strategic planning framework is proposed, adapting the principles of Strategic Environmental Assessment (SEA) to improve decision-making and prioritize remediation actions. This methodological framework integrates institutional strengthening, an ecosystem-based approach to define evaluation units, and the application of specific methodologies such as the Triad Approach for ecological risk assessment and the Net Environmental Benefit Analysis (NEBA), adapted to the Amazonian context. The strategy underscores the need for effective social participation, comparative evaluation of remediation technologies, improvement of the regulatory framework, and decisive political will.

The adaptation of SEA, traditionally used for policies and plans, offers a preventive approach and a comprehensive vision that facilitates the evaluation of alternatives and strengthens environmental governance through participatory processes. The contributions of this proposal are significant: it optimizes decisions in high-uncertainty contexts, prioritizes remediation actions based on technical, social, and ecological criteria, and generates a replicable methodological framework. In conclusion, this strategic planning constitutes a powerful tool to transform the management of liabilities and impacted sites in Peru, laying the groundwork for a more coherent,

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 Sezenna¹

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*

Former bowling terminal remediation project

Hendrik Nollet¹, Siegfried D'Haene²

¹Project Manager DEME Environmental N.V., ²Area Manager DEME Environmental N.V.

Abstract

The former Bowling Terminal occupies approximately 41 hectares in West Dunbartonshire, situated on the north bank of the River Clyde, northwest of Glasgow. The site operated as a bulk fuel terminal from the late 1920s until its closure in the mid-1990s. Following decommissioning, multiple phases of intrusive environmental investigations were conducted by various consultants. These assessments revealed significant contamination of both soil and groundwater by a broad spectrum of hydrocarbons. Additionally, asbestos fibres were identified within demolition rubble present in near-surface materials.

The client, in collaboration with a consultant, developed a remediation options appraisal and conducted a detailed risk assessment to secure regulatory approval for an appropriate remediation strategy. A comprehensive scope of work was also prepared for the remediation contractor. However, setting aside the traditional purely executive client-supplier relationship, DEME, together with the client and the consultant, opted for a closer collaborative partnership, under an Early Contractor Involvement (ECI) agreement. This arrangement enabled DEME to join the project team early, aligning with the client's objectives and gaining a thorough understanding of the remediation strategy requirements.

The project

As part of its evidence-based approach DEME recommended additional investigations to address data gaps. Objective testing methods were introduced to replace subjective criteria such as visual assessments. These methods were validated through site trials, demonstrating both reliability and repeatability. This evidence-finding allowed us to be adaptive, and propose a change in the treatment technique, which enabled the client to reuse approximately 92% of

the excavated materials on site, illustrating DEME's commitment to circularity. This early phase of close collaboration also facilitated full transparency towards, and early engagement with regulators ahead of the remediation works.

During project execution, approximately 550,000 tonnes of soil were excavated, of which 285,000 tonnes were treated through either soil washing or stabilization. In addition, 360,000 m³ of water was treated. The project involved the collection of 12,700 samples, the performance of 20,000 full-suit tests, and the generation of 12,000 reports, all of which were logged through 30,000 entries into the data management system.

Custom dashboards were developed specifically for the project, providing the client with real-time updates on work progress and scheduling. Monthly regulatory meetings ensured that regulators remained informed about project developments, site challenges, and any proposed modifications to the remediation strategy. Here too, full transparency paid off in the successful sign-off of the project by the regulators.

The close partnership with the client, under the Early Contractor Involvement (ECI) process was instrumental to the project's success. It enabled the contractor: to propose and agree on value engineering opportunities; to conduct site-based trials to validate proposed on-site testing methods; to recommend and align on strategic and scope modifications.

Keywords: Early Contractor Involvement, On-site treatment, Evidence driven, dashboards

Contacts: dhaene.siegfried@deme-group.com

Remediation by landfill mining of the Slettebakken Landfill in Bergen, Norway

Siegfried D'Haene¹

¹ *1Area Manager DEME Environmental N.V.*

Abstract

The Slettebakken district is a residential area in the suburbs of the city of Bergen in Norway. Between 1941 and 1960 a small valley in this district was used as municipal landfill. After this period the landfill area, covering around 5 hectare, was levelled and covered with half a meter of gravel and sand, and then hosted several sport pitches and parking spaces that were used until a few years ago.

At the time no liner was installed to protect the subsoil from pollution and the percolate water drained in an uncontrolled way to the nearby lake Tveitevannet. Various site investigations showed that the digested waste material contains heavy metals, PCBs, and PAHs, and the draining water shows elevated concentrations of zinc and some PAHs. The waste matrix itself is a complex mixture of soil, coal slag, glass, ceramics, textile, bones, plastic, leather, and scrap metal.

The city of Bergen decided to remediate the landfill and preferred a sustainable method with maximal reuse of materials. They issued a tender to select a contractor to develop the project in a phased approach. In tender stage the bidders received 300 tonnes of waste to enable them to develop a technical solution aimed at maximum recycling of the waste. In the bidding phase the bidders needed to price a scenario from the client. The tender allowed the client to make a technical and economical evaluation of the bidders and select the best technical and economical solution.

The project

In 2020 a joint venture of the Norwegian civil contractor Veidekke and the Belgian remediation specialist DEME Environmental was appointed partner in the partnering contract to further develop the remedial solution. The contract entails 2 stages: a first detailed design and permitting stage in collaboration with the client and the consultant COWI and a subsequent execution phase. Based on

previous site investigation studies an additional sampling campaign was set up in the summer of 2021 in order to gain better insight on the quality and variations of the landfill material and the groundwater and to collect large volume samples for lab scale and pilot testing. The objective was to confirm or adapt the treatment process developed in tender and provide confidence in predicting the final outcome in full scale.

Samples were sent to the research lab of DEME in Belgium where the physical and chemical composition of the samples was analysed and the separation process was designed in further detail. In addition to dry separation techniques such as screening, wind shifting and handpicking, a washing process was elaborated based on a mobile soil washing plant to clean and recover a gravelly and sandy fraction consisting of natural and man-made minerals, glass and ceramics. It was concluded that 65 % of the landfill volume could be processed into a recoverable mineral fraction, 5% recyclable ferrous and non-ferrous metals, and 30% into high and low calorific waste for external treatment or disposal. For the groundwater the necessary treatment steps and the dimensions of the water treatment plant were defined based on lab scale tests.

The first phase was realized in close collaboration and full transparency with the consultant and the client. Remaining data gaps from tender stage were closed based on an evidence-based approach. After intense negotiations with the local and national regulators and local stakeholders it resulted in the permit for the remediation. The first phase allowed us to price the full-scale remediation with high precision and identify and qualify any remaining risks.

The last quarter 2022, once the permits were obtained, both the landfill waste processing plant and the groundwater treatment plant were mobilized to the site. Excavation works began in December 2022 and water treatment and waste processing started in January 2023.

In execution, every day about 500 tons of the excavated landfill waste is processed resulting in about 300 tons of reusable gravel plus sand mixture illustrating DEME's commitment to circularity. After verification of the chemical quality the material was backfilled at the site and compacted to meet the appropriate bearing capacity requirements. The project came to an end in summer of 2025 and some 180.000 tons of waste have been processed.

The groundwater and site water was collected in a large buffer lagoon and subsequently treated first in a coagulation-flocculation-sand filtration step for removal of the dissolved metals, and secondly granular activated carbon removed any dissolved hydrocarbons. The clean effluent was discharged in the Tveitevannet lake.

Keywords: Early Contractor Involvement, On-site treatment, Evidence driven, dashboards

Contacts: dhaene.siegfried@deme-group.com

Estimating when natural biodegradation of petroleum in soil and groundwater exceeds rates achieved by active remediation

Kaveh Sookhak Lari¹, John L. Rayner¹, Andrew King², Greg B. Davis¹

¹ CSIRO Environment, 7 Conlon Street, Waterford, Western Australia 6152, Australia

² BP Australia, Pty Ltd

Abstract

Petroleum is a common contaminant of soil and groundwater, with large releases still occurring despite additional management processes. It can persist in subsurface environments, and small amounts of petroleum can potentially contaminate large volumes of groundwater. Active remediation via product recovery or other means can be prolonged, costly and may be unsustainable in the long term. When resident in the subsurface, components of petroleum dissolve into groundwater, creating groundwater plumes. They can also volatilise into overlying soils, creating inhalation risks in buildings. Over the last 30 years, it has become better quantified and more acceptable that petroleum components naturally biodegrade. In groundwater, this is termed monitored natural attenuation. Petroleum vapours also biodegrade and attenuate. More recently, the holistic biodegradation of the petroleum itself (as a light non-aqueous phase liquid or LNAPL) has been quantified and promoted as a long-term site management approach for petroleum hydrocarbons. It is termed LNAPL Natural Source Zone Depletion (NSZD) and typically considered only after active remediation has been exhausted. However, one of the least understood aspects of NSZD is the *crossover point*: when, and under what site conditions, do NSZD rates exceed what can be achieved by active recovery methods?

In our recent *Nature Water* paper, we identified this as a critical knowledge gap that hinders broader acceptance of NSZD as a viable management strategy, especially for fresh petroleum releases. Coincidentally, a diesel release offered the opportunity to test this concept in the field. Active skimming of petroleum LNAPL was

undertaken, and in parallel, NSZD rate parameters were monitored at multiple locations using surface gas flux techniques and depth profiling of soil gas oxygen concentrations over the first two years following the release. These techniques allowed estimation of petroleum LNAPL NSZD rates to compare with active recovery via skimming.

Additionally, we developed and applied a high-resolution, multiphase, multicomponent numerical model capable of simulating LNAPL recovery, hydrocarbon partitioning, transport, microbial biodegradation (aerobic and anaerobic), and energy balances. The model integrates key processes such as compositional changes in the residual LNAPL, interphase mass transfer, oxygen limitations, and microbial lag times—each of which interacts nonlinearly across space and time. Simulations were performed on high-performance computing infrastructure, making it possible to resolve site behaviour over both short-term response (months to years) and longer-term fate (decades).

In our presentation, we will outline these efforts and compare outcomes from the model and field. In particular, we estimate the timeframe from field data and from the modelling where NSZD rates exceeded active LNAPL recovery rates. In this case this occurred within 1–2 years of the release. The role of residual LNAPL within the vadose zone in influencing NSZD rates is also explored. The modeling also captured evolution of gas profiles, and compositional shifts in the hydrocarbon pool—offering insights not readily accessible via measurement alone. The outcomes provide a basis for management decisions to be explored, where regulators, practitioners, and site managers face the likelihood of future release incidents.

Keywords: NSZD; Active recovery; Crossover point; multiphase simulation

Contacts: kaveh.sookhklari@csiro.au (+61406192311),
john.rayner@csiro.au, andrew.king2@se1.bp.com,
greg.davis@csiro.au

The “poligoni project”: scientific basis to assume decisions in order to manage the residuals of military exercises dispersed on the costal seafloor of two military areas, Capo Teulada (Sardinia) and Torre Veneri (Apulia)

Paola Renzi¹, Luigi Nicola Alcaro¹, Claudio Numa¹, Ten. Col. Marco dott. Fella²

¹ *Italian Institute for Environmental Protection and Research (ISPRA)*

² *Italian Army General Staff - DICOPREVA*

Abstract

The “Poligoni (military firing range) Project” was created to evaluate the needs for removing the residuals of military exercises dispersed on the costal seafloor of two proving grounds and to assume decisions in order to manage them.

The two exercise areas are: Capo Teulada (Sardinia) and Torre Veneri (Apulia).

The results of the study provide to the Italian Army General Staff the guidelines, on scientific basis, to manage the removal of these residuals, UXO (Unexploded Ordnance) and EO (Exploded Ordnance), evaluating their location and state of conservation in specific habitat, with the intent of removing them in the best possible way.

Methodology

The Project, financed by the Italian Army General Staff, had the purpose of establish the potential risk of these residuals, pursuing a multidisciplinary approach, including SCUBA, ROV and AUVs surveys, sedimentology, ecotoxicological bioassays and biomarkers and radiological measures. Field campaigns and laboratory analysis were carried out by researchers and technicians belonging to ISPRA and the Regional Environmental Agencies of Sardinia and Apulia (national SNPA network) with the logistical and technical support of military specialized units.

Findings and conclusion

The results of the research lead to conclude that the residuals dispersed in the two areas of study represent only a minimal risk to local benthic habitats; in fact, no significant physiological "effects" on the examined biota, attributable to residues dispersed on the seabed, were observed. However, removing the residuals adopting site-specific precautions could mitigate residual environmental risks.

These activities, now, are the subject of a new agreement for technical-scientific collaboration between ISPRA and Italian Army General Staff (SME), with the aim of defining site-specific guidelines for the removal of marine debris presents on the seabed of the two studied military areas, in order to identify, wherever possible, suitable measures to mitigate the environmental impact of these activities.

Keywords: coastal marine environments; UXO and non-UXO; ecotoxicology; bioassays; biomarkers;

*Contacts: paola.renzi@isprambiente.it;
claudio.numa@isprambiente.it, luigi.alcaro@isprambiente.it;
marco.fella@esercito.difesa.it;*

Urban sustainability and mobility indicators: a statistical framework for comprehensive quantitative assessment

Franco Giovanardi¹, Marina Amori²

¹ Italian Institute for Environmental Protection and Research - ISPRA

Abstract

This paper addresses urban sustainability, highlighting both the challenges and opportunities faced by cities. According to the European Environment Agency (EEA, 2024), urban areas are confronting serious environmental issues—such as pollution, noise, flash floods, and biodiversity loss—which impact public health and exacerbate social inequality.

In 2022, 96% of EU city residents were exposed to hazardous levels of PM_{2.5} pollution (UN-Habitat, 2024). Vehicular traffic is one of the main threats to sustainability. Efforts to promote sustainable mobility include the expansion of public transportation, the development of bike lanes, bike and car sharing services, and the adoption of less polluting vehicles.

In Italy, Legislative Decree No. 34 (G.U., 2020) moves in this direction. It mandates that individual organizational units with more than 100 employees, located in cities with over 50,000 inhabitants, must prepare Home-Work Travel Plans (PSCLs), and makes the appointment of a Mobility Manager compulsory.

At present, many Italian municipalities are adopting PUMS (Sustainable Urban Mobility Plans) (M.I.T., 2024), in alignment with Goal 11.2 of the UN 2030 Agenda, which promotes safe, accessible, and sustainable transport systems for all (<<https://unric.org/it/agenda-2030/>>) These plans require effective tools to assess their impact and simulate future scenarios. This study introduces a synthetic index based on urban mobility indicators to quantify sustainability levels across cities. The index enables the classification of cities from least to most "virtuous." The paper also discusses the application of multivariate statistical methods - specifically Cluster Analysis (CA) and Principal Component Analysis (PCA) - to validate the index and reveal hidden patterns in the data. The proposed methodology can also be extended to other dimensions

of urban sustainability, such as green spaces, noise pollution, air quality, and more.

It is now possible to offer some brief reflections on the overall significance of the work presented here. The formulation of a synthetic index for sustainable mobility should not be seen as an alternative to multivariate procedures, which serve entirely different purposes. The multivariate statistical methods applied and discussed above primarily function as strategic tools for analysing sustainable mobility at a national scale. These methods, particularly Principal Component Analysis (PCA), uncover deeper insights hidden within raw data. They help characterize mobility challenges while highlighting specific urban contexts. PCA also evaluates whether the selected indicators adequately represent the mobility system or if other critical descriptors may be missing. Today, sustainable mobility is increasingly understood as “urban accessibility,” which involves rethinking public spaces to promote social inclusion, safety, and well-being - not merely optimizing transportation or parking (OECD, 2019). Therefore, the indicators used as components in the Smart_Mob Index are not final and may evolve over time, as the reliability of any index must be validated through practical application in diverse contexts. Ultimately, as has been emphasized repeatedly, a useful index should correlate with other system attributes that are not already included among its components. This ensures it provides a genuine synthetic measure of the mobility category rather than a self-referential outcome.

Contacts: marina.amori@isprambiente.it

Environmental conditions shaping dechlorinating microbial communities: a case study on biostimulation and bioaugmentation in chlorinated solvent-contaminated groundwater

**Bruna Matturro^{1,2}, Simona Rossetti¹, Marco Zeppilli³, Laura Lorini³,
Marco Petrangeli Papini³**

¹IRSA-CNR, Rome, Italy; ²NBFC, Palermo, Italy; ³University Sapienza of Rome, Italy

Abstract

Chlorinated solvents (CS) are widespread contaminants in groundwater posing significant environmental and health risks. Anaerobic reductive dechlorination (RD), where bacteria use these compounds as electron acceptors, is a key bioremediation strategy. Approaches such as bioaugmentation and biostimulation are commonly employed to enhance RD. Organohalide-respiring bacteria, especially *Dehalococcoides mccartyi*, play a central role in degrading these contaminants when optimal conditions are provided. However, environmental factors such as nutrient availability, electron donor presence, and competitive metabolisms significantly influence microbial activity and microbial community composition, impacting the success of the bioremediation efforts.

This study investigates the effects of bioaugmentation and biostimulation on microbial community dynamics and RD efficacy in groundwater contaminated with tetrachloroethane (TeCA), trichloroethylene (TCE), and sulfate.

Nine microcosm treatments were incubated for 60 days to assess the biodegradation potential and microbial responses under varying conditions in contaminated groundwater. Treatments included bioaugmented microcosms with a *D. mccartyi* enriched dechlorinating consortium combined with contaminated groundwater, optimized mineral medium, lactate as electron donor, and contaminants (TCE and TeCA). Non-bioaugmented controls were used to evaluate the natural biodegradation capacity within the contaminated groundwater. A suite of kinetic and biomolecular analyses, including

16S rRNA gene sequencing, assessed dechlorination efficiency and microbial community dynamics across treatments, to evaluate how various conditions influence microbial composition and RD biomarker abundance.

Optimized conditions using mineral medium and lactate facilitated the dechlorination of TCE to ethene, increasing *D. mccartyi* abundance to 67% and achieving RD rates of up to 7.0 $\mu\text{eq/Ld}$. In contrast, real groundwater with co-contaminants such as TCE, TeCA and sulfate significantly inhibited RD efficiency (0.39 $\mu\text{eq/Ld}$) and reduced *D. mccartyi* abundance (<3%), likely due to competitive and inhibitory effects inherent to the contaminated groundwater. These conditions hindered effective RD and favoured non-dechlorinating taxa involved in other redox-driven bioprocesses that compete for electron donors, such as sulphate or nitrate reduction. Principal Component Analysis revealed distinct microbial community compositions under different treatments.

This study demonstrated that groundwater composition influences RD rates. Biomonitoring both non-dechlorinating community members and dechlorinating biomarkers is essential to assess RD potential and identify effective remediation strategies. The findings underscore the critical interplay between environmental conditions and microbial dynamics, offering insights for the design of more effective in situ bioremediation approaches for CS-contaminated groundwater. RD performance is strongly affected by electron donor availability and groundwater chemistry, which shape microbial community structures that may either enhance or inhibit the remediation process. Overall, the study emphasizes the need for site-specific optimization of treatment strategies, with a strong focus on microbial community behaviour, to ensure effective and sustainable bioremediation.

Keywords: (*Biostimulation; Bioaugmentation; Biomonitoring; Chlorinated solvents; Microbiome*)

Contatti: bruna.matturro@irsa.cnr.it

Long-Read Sequencing Technologies: Advantages, Applications, and Functional Prediction for In Situ Bioremediation

Bruna Matturro^{1,2}, Luca Niccolini¹, Simona Rossetti¹, Andrea Firrincieli³, Maurizio Petruccioli³, Martina Cappelletti⁴

¹IRSA-CNR, Rome, Italy; ²NBFC, Palermo, Italy; ³DIBAF, Viterbo, Italy; ⁴UNIBO-MEMLab, Italy

Abstract

Biomonitoring plays a pivotal role in the biodegradation and/or biotransformation of pollutants, as extensively documented over the past two decades. Currently, biomolecular tools such as biomarker quantification (functional genes and/or taxonomic markers) and microbial community composition analysis in contaminated environments are used to assess bioremediation potential, monitor intervention efficacy, and evaluate natural attenuation processes. Despite the reliability of PCR-based techniques (e.g., qPCR, ddPCR) for quantifying specific microorganisms or functional genes, understanding interactions within microbial communities remains crucial. Traditional short-read sequencing (SRS) approaches (e.g., V4 region of the 16S rRNA gene) enable only higher-level taxonomic classification (order, family, genus). This limitation is significant for microorganisms with metabolic versatility or co-metabolic roles, where higher resolution is essential to determine their potential contribution to biodegradation. Moreover, functional predictions based on single hypervariable regions often yield speculative results not directly linked to specific functions. Recent advancements in long-read sequencing (LRS) allow the analysis of full-length phylogenetic marker sequences (e.g., full-length 16S rRNA gene, ~1550 bp), overcoming these constraints. Complete marker sequences provide higher taxonomic resolution down to the species level and enable deeper characterization of microbial communities. Applied to biomonitoring in bioremediation, this approach supports more reliable correlations between identified microorganisms and genomes representative of biodegradation or biotransformation processes,

improving our understanding of complex microbial communities and their functional capabilities in contaminated environments. Notably, the increased complexity and volume of data generated by LRS highlight the need for dedicated bioinformatic pipelines. The development and optimization of such pipelines are essential to fully exploit the potential of LRS, ensuring robust, reproducible, and high-resolution results in bioremediation studies. Samples from various bioremediation studies, including hydrocarbon-degrading enrichments, engineered systems, microcosms, and multi-contaminated matrices, were analyzed using LRS and dedicated bioinformatic pipelines specifically designed for the processing of long-read data were applied. Results highlight the practical advantages of LRS in:

- Microbial community profiling: Accurate species-level identification strengthens evidence of microbial roles in biodegradation, especially in co-metabolic pathways.
- Detection of uncommon species: Greater sensitivity enables identification of rare or low-abundance taxa with unique capabilities.
- Linking structure to function: Full-length 16S rRNA sequencing improves the accuracy of functional predictions compared to short-read data.

These case studies demonstrate that LRS offers more effective and reliable insights into microbial community structure and function, providing a viable alternative to shotgun sequencing for field-scale biomonitoring during remediation interventions. In summary, the application of LRS as an advanced biomonitoring tool significantly enhances the resolution and functional interpretation of microbial community data, with important implications for improving remediation strategies.

Keywords: (Biomonitoring; Metagenomic Sequencing; Bioremediation; Long reads sequencing; Bioinformatics)

Contatti: bruna.matturro@irsa.cnr.it



Pubblicato in [settembre 2024]

Prima edizione

