REMTECH EXPO

HUTTE

La rigenerazione attiva e l'equilibrio del progresso a tutela del bene comune

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

MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA
Consiglio Nazionale delle Ricerche
ISPRA
Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente
CONSIGLIO NAZIONALE DEI GEOLOGI
SIGEA

La rigenerazione attiva e l'equilibrio del progresso atutela del bene comune

RemTech Expo 2026

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, 2026
Piazzale Aldo Moro, 7 - 00185 Roma
www.edizioni.cnr.it
bookshop@cnr.it
ISBN: 978-88-8080-923-4 ed. stampa
ISBN: 978-88-8080-925-8 ed. digitale

@ Grafica di copertina: [Vito Felice Uricchio]

Finito di stampare nel mese di settembre 2026

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

Prefazioni

L'ambiente è sottoposto oggi a molteplici pressioni e si impongono scelte "globali" che investono i modelli di sviluppo, i processi produttivi, gli stili di vita individuali. Siamo già in cammino verso uno nuovo modo di pensare i territori e le città, di gestire il loro rapporto con le persone e con l'ambiente.

I progetti di risanamento e rigenerazione urbana, la nuova vita offerta a molte aree degradate, gli spazi ripensati e donati con un volto diverso alle comunità hanno già trovato applicazione concreta in diverse zone del nostro Paese. E poi ci sono le buone pratiche per la gestione delle risorse naturali, l'economia circolare e un fronte unito che mette insieme studiosi, tecnici, istituzioni, imprese e semplici cittadini ogni giorno impegnati nella riparazione dei danni del passato, nella ricerca di nuove soluzioni e nel superamento di barriere culturali. RemTech, che quest'anno taglia il traguardo della ventesima edizione, in questo senso si pone come modello da seguire e incoraggiare.

Naturalmente è ancora molta la strada da fare, ma il percorso è già tracciato e sta a noi proseguire senza tentennamenti. L'obiettivo deve essere quello di bilanciare le esigenze di crescita con la cura e il rispetto dell'ambiente, attraverso una sempre più necessaria capacità di operare con pragmatismo sui diversi fronti. Un vero sviluppo sostenibile che sappia conciliare aspetti ambientali, economici e sociali.

Gli effetti dei cambiamenti climatici, il rischio idrogeologico, l'inquinamento, le sempre maggiori richieste di energia ci spingono verso la ricerca di soluzioni sostenibili. Sentiamo tutti l'urgenza di scelte oramai improcrastinabili. In questo quadro, la sostenibilità si pone anche come un investimento strategico: l'occasione che abbiamo per prenderci cura dell'ambiente, fare della natura un alleato, migliorare la qualità della vita delle persone e, insieme, promuovere la competitività delle imprese e lo sviluppo dei territori.

RemTech è un laboratorio virtuoso che offre uno spazio importante per tutto questo. Il volume testimonia lo sforzo operoso di chi lavora per

ricomporre fratture, aiutare la natura, risanare le aree. Attraverso approfondimenti teorici, casi di studio, progetti, applicazioni tecnologiche, soluzioni concrete e innovative viene offerto un contributo di altissimo valore. Si tratta di un mezzo efficace per condividere, fare rete, promuovere uno scambio di idee ed esperienze che agevola anche una contaminazione virtuosa tra discipline e ambiti diversi.

È un invito a guardare avanti, ad essere ottimisti. Ed è uno stimolo per tutti – istituzioni, scienza, imprese – a rendere più forte l'impegno per l'ambiente e la sostenibilità. Il risanamento delle aree, la rigenerazione attiva, l'adozione di modelli circolari sono realmente possibili solo attraverso un'azione comune. E in questo sforzo è determinante il pieno coinvolgimento delle persone, la capacità di mettere al centro delle scelte chi vive realmente i territori.

È questa la chiave per generare valore per le comunità e affrontare le sfide del presente e del futuro. Perché è la capacità di risposta a fare la differenza nei momenti di difficoltà. Da questa consapevolezza muove anche l'azione del Ministero e deve proseguire la spinta di tutte le forze che animano il Paese.

I contributi raccolti in questo volume rappresentano un'occasione per riflettere e sono uno strumento utile e concreto a disposizione di chi vuole seguire questo percorso.

Ministro dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica
Gilberto Pichetto Fratin

Con viva partecipazione e profonda convinzione istituzionale che introduco questo volume, espressione tangibile dell'alto valore scientifico e strategico che la comunità di RemTech Expo esprime da tempo. Nel contesto odierno, la nuova riflessione sulle politiche ambientali che il Governo promuove, supera con forza la mera elencazione di vincoli, per farsi promotrice di una visione di ampio respiro, capace di coniugare la tutela degli ecosistemi con la crescita del nostro tessuto produttivo. Come ho sempre sostenuto nell'alveo della mia azione ministeriale, l'ambiente non deve essere inteso come un antagonista ideologico dello sviluppo, un freno all'intraprendenza industriale o un feticcio burocratico.

Al contrario, la transizione ecologica rappresenta il più potente motore di generazione di una nuova economia circolare, un'opportunità irripetibile per ridefinire la competitività della nostra Nazione.

La bussola che orienta questo percorso programmatico risiede nel principio cardine enunciato dal titolo del volume "La rigenerazione attiva e l'equilibrio del progresso a tutela del bene comune".

Questa espressione racchiude l'essenza stessa dell'indirizzo politico che il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica imprime con i più recenti atti normativi. La rigenerazione non è affatto un processo passivo di pura conservazione, ma un'azione coraggiosa e "attiva", volta a restituire valore ai territori attraverso l'innovazione tecnologica e la lungimiranza normativa.

In questa prospettiva, il concetto di "semplificazione integrata" costituisce la chiave di volta dell'intero impianto riformatore. Per decenni, le imprese si sono scontrate con una stratificazione legislativa ipertrofica, che ha spesso paralizzato le migliori energie del Paese. La semplificazione integrata che stiamo perseguendo non significa affatto abbassare la guardia sui controlli o deregolamentare a scapito della sicurezza e della tutela ambientale, ma armonizzare i procedimenti, eliminare i colli di bottiglia burocratici e offrire tempi certi. La legislazione ambientale deve cessare di essere percepita come una barriera sanzionatoria per trasformarsi in una cornice abilitante, un ecosistema di regole chiare ed efficienti volto a favorire inedite forme di sviluppo sostenibile.

Le bonifiche dei siti contaminati e la riqualificazione dei territori feriti rappresentano il primo, decisivo banco di prova di questo cambio di paradigma. Come emerge dal volume che illustra le tecniche e gli

approcci più innovativi, bonificare significa compiere un atto di restituzione economica e sociale: trasformare un passivo ambientale in un attivo patrimoniale, rimettendo a disposizione del sistema produttivo aree antropizzate ed evitando così il consumo di suolo vergine ed è in questa direzione che continuiamo a sostenere le imprese che intendono investire nella rigenerazione economica. A ciò si salda indissolubilmente la gestione efficiente delle risorse e l'economia circolare. Il rifiuto, in ogni caso possibile ed anche nelle aree da bonificare, deve essere visto come una materia prima seconda di valore strategico, fondamentale per garantire l'autonomia industriale dell'Italia e dell'Europa in un'epoca di forte instabilità geopolitica delle catene di approvvigionamento.

Per realizzare tale ambizioso disegno, l'alleanza tra scienza, tecnologia e politica è irrinunciabile. In questo senso, guardiamo anche alle tecnologie d'avanguardia come alleate fondamentali: l'osservazione della terra dallo spazio, mediante costellazioni satellitari di ultima generazione, ci offre oggi strumenti predittivi e di monitoraggio un tempo impensabili. Grazie al telerilevamento spaziale siamo in grado di mappare i territori, prevenire i rischi idrogeologici, vigilare sulla legalità e monitorare lo stato di salute dei suoli con precisione millimetrica. L'alta tecnologia spaziale diviene così il braccio operativo di una governance ambientale moderna, guidata dai dati e non dall'ideologia.

Rivolgo dunque un chiaro indirizzo di saluto e di compiacimento alle istituzioni ed alle imprese che operano con coraggio e competenza in questo comparto: lo Stato è e sarà sempre al vostro fianco. Vi chiediamo di continuare a investire in ricerca e sviluppo, di essere i pionieri di quel progresso equilibrato che non lascia indietro nessuno e che tutela il bene comune. Questo volume offre una panoramica straordinaria di competenze e soluzioni operative; sta a noi, attori istituzionali e privati, tradurre queste evidenze scientifiche in una duratura e stabile crescita economica per l'Italia. Auguri di Buon lavoro!

Viceministro al MASE
On. Vannia Gava

La tutela dell'ambiente e la rigenerazione dei territori rappresentano una delle principali sfide del nostro tempo. Non è sufficiente rimuovere le criticità esistenti: occorre una visione capace di coniugare risanamento, prevenzione, sviluppo, innovazione e responsabilità verso le generazioni future.

La rigenerazione attiva nasce da questa consapevolezza; rigenerare significa restituire ai territori sicurezza, funzionalità, valore e prospettive, trasformando situazioni di degrado o compromissione in nuove opportunità per le comunità. La bonifica, la rimozione dei rifiuti e il recupero delle aree rappresentano passaggi fondamentali, ma acquistano pieno significato quando diventano parte di un più ampio percorso di riqualificazione ambientale, sociale ed economica.

Al centro di questo percorso vi è il bene comune. Sappiamo da tempo che il territorio non è una risorsa inesauribile, ma un patrimonio collettivo da custodire e trasmettere alle generazioni future in condizioni migliori. Per questo il progresso deve essere inteso come un equilibrio dinamico tra sviluppo e tutela delle risorse naturali, tra innovazione e sostenibilità, tra esigenze individuali e interesse della collettività.

L'esperienza commissariale dimostra quanto sia essenziale un'azione integrata e coordinata. Le problematiche ambientali richiedono il contributo di competenze diverse e una collaborazione costante tra amministrazioni centrali e territoriali, enti tecnici e scientifici, forze dell'ordine, imprese, comunità locali e cittadini. La rigenerazione è, dunque, prima di tutto, un processo collettivo, fondato su conoscenza, programmazione, rigore tecnico e amministrativo e responsabilità condivisa.

Prevenzione e rigenerazione devono procedere insieme. Occorre intervenire prima che il danno si produca, contrastare gli illeciti, migliorare la gestione dei rifiuti, promuovere un uso responsabile del suolo e rafforzare la cultura della legalità e della responsabilità ambientale. In questo senso, l'educazione ambientale costituisce una vera infrastruttura del futuro: la conoscenza genera consapevolezza, la consapevolezza produce responsabilità e la responsabilità favorisce la partecipazione alla cura dei territori.

La rigenerazione attiva è quindi una scelta di responsabilità istituzionale e civile, che riguarda le istituzioni, chiamate a operare con efficacia, trasparenza e capacità di coordinamento; le imprese, alle quali è richiesto di integrare la sostenibilità nei propri modelli produttivi; le comunità e i cittadini, che attraverso comportamenti consapevoli possono contribuire alla tutela dei luoghi nei quali vivono.
La tutela dell'ambiente non è un limite al progresso, ma una delle condizioni perché esso possa essere duraturo. La bonifica non rappresenta soltanto la conclusione di una stagione di degrado, ma può diventare l'inizio di una nuova stagione di sviluppo. Rigenerare significa, in definitiva, restituire ai territori senso, funzione, sicurezza e futuro.
È questa la responsabilità che ci è affidata: trasformare le criticità in occasioni di riscatto, le bonifiche in percorsi di rigenerazione e la tutela ambientale in una componente essenziale delle politiche di sviluppo, affinché il bene comune possa tradursi concretamente in un territorio più sano, sicuro, resiliente e capace di generare nuove opportunità per le generazioni che verranno.
Perché la vera sfida non è scegliere tra ambiente e progresso, ma costruire le condizioni affinché ambiente, sviluppo e qualità della vita possano procedere insieme, nel rispetto di quell'equilibrio che rappresenta la più autentica forma di tutela del bene comune.
Un sincero apprezzamento al Prof. Vito Felice Uricchio e alla Dott.ssa Silvia Paparella, nonché alle loro Organizzazioni, per aver saputo dare continuità, con competenza, passione e visione, a un'opera così importante. Un percorso che, attraverso il confronto, la conoscenza e l'innovazione, contribuisce concretamente a promuovere una cultura della rigenerazione, della sostenibilità e della tutela del territorio.

Commissario unico alle bonifiche
Gen. D. Giuseppe Vadalà

Premesse

Nell'attuale congiuntura internazionale, in cui la crisi ecologica globale interpella direttamente i fondamenti della convivenza civile e dei modelli di sviluppo, l'azione pubblica e scientifica è chiamata a un improcrastinabile salto di paradigma. L'edizione 2026 del volume, che abbiamo voluto intitolare "La rigenerazione attiva e l'equilibrio del progresso a tutela del bene comune", si colloca al crocevia di questa riflessione, proponendo una chiave di lettura in cui la tutela dell'ambiente supera il concetto della conservazione difensiva per puntare al modello della rigenerazione attiva.

Come acutamente postulato dalle prefazioni istituzionali e concettuali che ispirano l'opera, la difesa passiva del territorio non è più sufficiente a fronteggiare la complessità delle pressioni antropiche e climatiche. La rigenerazione attiva si configura, al contrario, come un processo generativo e sistemico che fa leva sulla cultura, sulla scienza e sulla tecnologia avanzata e su un nuovo modo di fare impresa. Essa supera il limite ontologico del mero "riparare il vecchio", per abbracciare una trasformazione capace di generare nuovo valore economico, sociale e ambientale, creando al contempo opportunità occupazionali e benessere diffuso. In questa prospettiva, la cura dell'ambiente può trasformarsi nel più potente motore di competitività territoriale e di rinascita economica, senza porre alcun freno all'intraprendenza industriale, accompagnano lo sviluppo in una logica più sostenibile.

In più abstract presentati nel presente volume si fa riferimento ad una integrazione virtuosa tra scienza, imprese ed istituzioni, delineando una sinfonia d'intenti in cui il progresso tecnologico, potenziato in alcuni casi dall'intelligenza artificiale o addirittura, dall'osservazione satellitare dallo spazio, agisce quale presidio avanzato di governance moderna.

Il filo rosso che unisce le sezioni del volume, dalle bonifiche dei siti contaminati alla gestione efficiente delle risorse, dai nuovi paradigmi di sviluppo fino alle frontiere dello spazio, converge verso un unico, armonico e supremo obiettivo ordinamentale: la salvaguardia del

bene comune. Tale concetto diviene un solenne richiamo etico alla responsabilità verso le future generazioni, trasformando la riflessione scientifica in una vigorosa call to action.

L'effettiva fecondità dell'innovazione risiede nell'intersezione tra i saperi mutidisciplinari: RemTech da oramai 20 anni e il presente volume abbattono recisamente ogni steccato disciplinare, fondendo geologia, biologia, ingegneria, economia e sociologia in una prospettiva olistica di irrinunciabile amalgama.

Raccogliendo l'ingegno sinergico di scienziati, ricercatori, operatori economici e istituzioni, l'opera, con i suoi abstract, attesta con inoppugnabile evidenza che la scienza, l'innovazione tecnologica e il pragmatismo costituiscono i propulsori di un'autentica rigenerazione.

I contributi qui raccolti tracciano una rotta ineludibile, ponendosi come preziosa bussola orientata verso un orizzonte di equità e sostenibilità.

L'auspicio è che tale compendio sappia accendere in RemTech e nelle varie sedi, un dibattito rigoroso e stimolare un'azione audace, affinché il connubio tra progresso tecnologico e risanamento ambientale divenga urgenza collettiva e tangibile testimonianza di responsabilità verso le generazioni future.

Vi auguro una lettura densa di fecondi stimoli intellettuali e foriera di rinnovate prospettive per il futuro dei nostri territori.

Vito Felice Uricchio
CNR-ITC
Commissario straordinario per gli interventi urgenti di bonifica, ambientalizzazione e riqualificazione dell'area di Taranto

Questo volume nasce da una convinzione che accompagna RemTech Expo fin dalle sue origini: la rigenerazione dei territori richiede una visione condivisa, competenze integrate e, soprattutto, la capacità di trasformare la conoscenza in azioni concrete.

Le sfide ambientali contemporanee non possono più essere affrontate attraverso approcci isolati o esclusivamente settoriali. Territorio, ambiente, infrastrutture, sviluppo economico, innovazione e qualità della vita sono dimensioni profondamente connesse. Comprenderne le relazioni è il primo passo per costruire politiche efficaci e interventi capaci di produrre risultati duraturi.

Puntiamo qui sulla necessità di una conoscenza integrata e di una pianificazione multilivello, che parta da una visione ampia ed efficace; sulla prevenzione e sulla previsione; sulla capacità di mantenere in equilibrio il progresso con il benessere umano, che deriva anche dalla possibilità di vivere in un ambiente salubre e sicuro.

La pianificazione deve essere in grado di collegare gli indirizzi generali alle esigenze concrete dei territori, coinvolgendo istituzioni, comunità scientifica, professionisti, imprese e cittadini. Occorre passare dalla frammentazione delle competenze a un sistema nel quale conoscenze, responsabilità e strumenti possano dialogare e concorrere alla definizione di obiettivi comuni.

Prevenzione e previsione rappresentano, in questa prospettiva, due elementi essenziali. Non possiamo limitarci a intervenire quando il danno si è già verificato. Dobbiamo rafforzare la capacità di conoscere i fenomeni, monitorarne l'evoluzione, valutarne i rischi e anticiparne, per quanto possibile, gli effetti. Solo così sarà possibile tutelare il territorio, utilizzare in maniera responsabile le risorse e garantire maggiore sicurezza alle comunità.

Non dimentichiamo la tecnologia, il pragmatismo, l'organizzazione e l'essere umano. La tecnologia mette oggi a disposizione strumenti straordinari di conoscenza, analisi e intervento, ma la sua efficacia dipende dalla capacità di inserirla all'interno di processi organizzativi solidi e di obiettivi chiaramente definiti. Il pragmatismo è ciò che permette alle idee di diventare progetti e ai progetti di tradursi in

risultati misurabili. L'organizzazione consente di coordinare competenze e responsabilità. Al centro di ogni scelta, tuttavia, deve rimanere la persona, con il suo diritto a vivere e crescere in un ambiente salubre, sicuro e capace di offrire opportunità.

La rigenerazione attiva e l'equilibrio del progresso a tutela del bene comune restituisce questa visione e raccoglie contributi, esperienze e prospettive differenti, unite dalla volontà di costruire un modello di sviluppo fondato sulla responsabilità, sulla conoscenza e sulla capacità di agire.

Nel corso dei suoi vent'anni, RemTech Expo ha lavorato per favorire l'incontro e il confronto tra istituzioni, ricerca, professioni e sistema produttivo, creando uno spazio permanente di dialogo e collaborazione. Questo volume si inserisce pienamente in tale percorso e testimonia il valore di una comunità capace di mettere a sistema saperi diversi per affrontare problemi complessi e individuare soluzioni concretamente applicabili.

Il mio ringraziamento va a tutti gli autori, agli esperti, alle istituzioni e ai partner che hanno contribuito alla realizzazione dell'opera. L'auspicio è che le riflessioni e le esperienze qui raccolte possano offrire nuovi strumenti di conoscenza, alimentare ulteriori collaborazioni e accompagnare decisioni sempre più consapevoli, efficaci e orientate alla tutela del bene comune.

Silvia Paparella
Silvia Paparella General Manager RemTech
Hub Tecnologico Ambientale,
Presidente Sogesid,
Cavaliere della Repubblica Italiana
dell'Ordine "Onore al Merito"

RemTech Europe 2026 brings together something that is increasingly essential in the environmental field: knowledge, innovation and responsibility. This Book of Abstracts is more than a collection of scientific contributions. It is a snapshot of a rapidly evolving community that is working across disciplines, borders and continents to address one of the most complex challenges of our time: how to restore contaminated land and water while protecting human health, ecosystems and the future generations who will inherit them.

The programme of RemTech Europe reflects the extraordinary breadth of this challenge. From policy perspectives on Zero Pollution and the new approaches to soil monitoring, to the investigation and remediation of PFAS; from contaminated sites and brownfield regeneration to groundwater protection, vapor intrusion and hydrocarbon pollution; from in situ technologies, bioremediation and phytotechnology to advanced monitoring, risk assessment and high-resolution site characterization, the contributions collected in this volume demonstrate that there is no single solution to contaminated land management.

Some challenges, however, stand out because of their scale, persistence and complexity. PFAS are undoubtedly among them. The conference devotes significant attention to PFAS policy, investigation, soil and groundwater remediation, treatment technologies and emerging regulatory approaches. Contributions address technologies ranging from foam fractionation and soil flushing to stabilization, soil washing, thermal treatment and innovative water purification approaches. PFAS remind us that contamination is not only a technical problem: it is also a long-term societal, regulatory and economic challenge requiring cooperation between scientists, regulators, industry and communities.

At the same time, a new technological frontier is rapidly transforming the way contaminated sites are investigated and managed. Artificial intelligence, machine learning and data-driven approaches are moving from the margins of environmental practice towards the centre of decision-making. The contributions presented at RemTech Europe explore digital 4D conceptual site models, machine learning for

biodegradation assessment, AI-generated brownfield mapping, intelligent environmental sensing and real-time subsurface monitoring. These developments raise exciting possibilities, but also important questions: How can we transform increasingly large volumes of environmental data into reliable knowledge? How can AI support, rather than replace, scientific judgement? And how can we ensure that new digital tools remain transparent, robust and accessible to practitioners everywhere?

Another fundamental question runs throughout this Book of Abstracts: how can remediation itself become more sustainable? Restoring a contaminated site should not simply mean transferring pollution from one environmental compartment to another, nor should remediation create environmental burdens that are disproportionate to the risks being addressed. Sustainable remediation requires us to consider energy consumption, greenhouse-gas emissions, waste generation, resource use, biodiversity, soil functions, ecosystem services and the social and economic context of each intervention. The programme therefore gives space to sustainable remediation initiatives, nature-based solutions, soil health, ecosystem services, innovative treatment pathways and risk-informed redevelopment.

This broader perspective is particularly important because contaminated land is never just about contamination. It is about places, communities and opportunities. Brownfield regeneration, sustainable agriculture, soil restoration, water reuse and the recovery of ecosystem functions show that remediation can become a catalyst for territorial regeneration rather than simply the final stage of a cleanup project.

What makes this edition of RemTech Europe especially significant is its truly international character. Contributions and perspectives come from Europe, Africa, Asia, North and South America and Oceania, reflecting different environmental conditions, regulatory frameworks, technological capacities and societal priorities. The programme includes experiences from countries such as Italy, France, Germany, Portugal, Spain, Austria, Slovenia, Bosnia and Herzegovina, Greece and Switzerland, as well as Brazil, the United States, Australia, Nigeria,

Cameroon, Ethiopia, Côte d'Ivoire, Chad, Malaysia, Singapore, India and others.

This geographical diversity is not simply a statistic. It is one of the greatest scientific strengths of the conference. Environmental problems may be global, but their manifestations are profoundly local. A contaminated industrial site in Europe, an oil-impacted community in Nigeria, a tropical agricultural soil in Côte d'Ivoire, a brownfield in Brazil or a PFAS-affected site in Northern Europe may require very different approaches. Sharing these experiences allows us to challenge established assumptions, learn from different contexts and develop solutions that are both scientifically sound and adaptable to local realities.

It is equally important to emphasize the opportunity for participation and scientific exchange that RemTech Europe creates. A high-level international conference should not be a space accessible only to those who have the greatest financial resources. By offering free participation and a digital and hybrid format, RemTech Europe creates opportunities for researchers, professionals and emerging experts who might otherwise find it difficult to participate in international scientific events.

This is particularly meaningful for researchers from low- and middle-income countries, many of whom are working on environmental challenges of enormous importance with limited resources. Their contributions are not peripheral to the global debate; they are essential to it. The experiences presented from Africa, Asia and Latin America demonstrate that scientific excellence is distributed across the world, even when opportunities and resources are not. Giving talented researchers the possibility to present their work alongside leading European and international experts is therefore not only an act of inclusion—it is an investment in the future of environmental science.

The wider RemTech community already extends across one hundred countries and all six continents, bringing together universities, research centres, public authorities, regulators, consultants, technology providers and industry. RemTech Europe builds on this extraordinary network to create a place where a researcher from

Africa can exchange ideas with a European regulator, where an academic from Latin America can discuss a conceptual site model with an international consultant, and where innovative technologies developed in one part of the world can inspire solutions somewhere else.

Ultimately, this Book of Abstracts represents a collective commitment to doing better. Better science. Better data. Better technologies. Better decisions. And, above all, better protection of the land, water, ecosystems and communities upon which our future depends.

At a time when environmental pressures are intensifying and the world is confronted with increasingly complex forms of pollution, RemTech Europe reminds us that progress is possible when knowledge is shared rather than isolated, when innovation is combined with responsibility, and when scientific excellence is open to everyone.

May these abstracts stimulate new ideas, new collaborations and new solutions. And may RemTech Europe continue to be a place where science crosses borders, opportunities reach those who need them most, and the restoration of contaminated land becomes not only a technical objective, but a shared contribution to a healthier, more resilient and more sustainable planet.

Marco Falconi
Remtech Europe Scientific Coordinator
ISPRA, IMPEL Chair

Indice

PREFAZIONI **5**

PREMESSE **11**

INDICE **19**

I. METODOLOGIE E TECNOLOGIE PER LA CARATTERIZZAZIONE, MESSA IN SICUREZZA E BONIFICA DI SITI INQUINATI **33**

INTERVENTI DI RIPRISTINO IN POZZI E PIEZOMETRI 34
DA PERCOLATO A RISORSA: IMPIANTO INNOVATIVO PER IL TRATTAMENTO DEL PERCOLATO CONTAMINATO DA PFAS E VALUTAZIONE DELLA CIRCOLARITÀ DEL PROCESSO 36
RE.MU.RES: LANDFILL MINING DELLA DISCARICA MEDIANTE TECNICHE MUOGRAFICHE NON INVASIVE PER IL RECUPERO DEI MATERIALI 39
BONIFICA SEQUENZIALE DI SITI CONTAMINATI MEDIANTE SCAVI A CELLE SOSTENUTI DA SISTEMI MODULARI PORTAPALANCOLE 41
CORRELAZIONI TRA ATTIVITÀ PRODUTTIVE E PRATICHE AGRICOLE CHE HANNO DETERMINATO LA DIFFUSIONE DEL TFA NELLE ACQUE SOTTERRANEE DI UN'AREA DELLA LOMBARDIA 43
SPECIE VEGETALI TERRESTRI PER LA RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE E LA VALORIZZAZIONE DELLA BIOMASSA 45
PRIME APPLICAZIONI DI ANALISI ISOTOPICHE SUL TRIZIO DI ARPA ABRUZZO NELL'AMBITO DI ATTIVITÀ FINALIZZATE AL CONTRADDITTORIO AI SENSI DELLA PARTE QUARTA TITOLO QUINTO DEL D.LGS 152/06 47
FLUSSO DI MASSA DEI CONTAMINANTI IN SITI CONTAMINATI DA cVOC E PFAS PER LA COSTRUZIONE DI MODELLI CONCETTUALI ACCURATI E IL DIMENSIONAMENTO DI BARRIERE PERMEABILI REATTIVE 49
GESTIONE DEI SEDIMENTI PORTUALI E RIPERIMETRAZIONE DEL S.I.N. DI TARANTO: L'INGEGNERIA AMBIENTALE AL SERVIZIO DELLA GOVERNANCE TERRITORIALE 51
EFFETTO DEGLI AMMENDANTI ORGANICI SULL'EFFICIENZA DEL PROCESSO DI BONIFICA LANDFARMING 53
GESTIONE E CONDIVISIONE DEI DATI AMBIENTALI. L'ESPERIENZA DI SOGIN NELLA BONIFICA DEL CENTRO RICERCHE ENEA-TRISAIA 55
ESPERIENZE DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO SANITARIO DA METALLI PESANTI IN AREE MINERARIE 57
ANALISI DEI PFAS IN PRESENZA DI TESIOATTIVI: INFLUSSO DELLA CONCENTRAZIONE SUI LIMITI DI QUANTIFICAZIONE 59
PRIME CONSIDERAZIONI SULLA PRESENZA DI METALLI PESANTI NELLE AREE AGRICOLE DELLA VALLE DEL SACCO 61

TECNICHE DI RISANAMENTO DI RILEVATI ARGINALI CON INIEZIONI DI RESINE ESPANDENTI 63
DALLA BONIFICA DI LITOSTRUTTURE ANTROPICHE IN CAVE DISMESSE ALLA REALIZZAZIONE DI UNA DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI: UN APPROCCIO INTEGRATO GEOTECNICO-AMBIENTALE 67
INNOVAZIONE EDUCATIVA E PARTECIPAZIONE TERRITORIALE: IL RUOLO STRATEGICO DEL SISTEMA INFEAS E DEI CEAS 69
MODELLAZIONE IDROGEOFISICA 3D DELLA DISCARICA DI MALAGROTTA: VERSO UN DIGITAL TWIN PER LA GESTIONE DEL SITO E LA VALUTAZIONE INTEGRATA DEI VOLUMI DI RIFIUTI, DEL PERCOLATO E DELLE DINAMICHE IDROGEOLOGICHE 71
UTILIZZO DEL FINGERPRINTING COMPOSIZIONALE PER IDENTIFICARE E DATARE SVERSAMENTI DI PRODOTTI PETROLIFERI NELL'AMBIENTE 73
LA BONIFICA BELLICA SISTEMATICA TERRESTRE 75
GESTIONE AMBIENTALE DEI RESIDUATI DA ESERCITAZIONE NEI FONDALI MARINI: APPROCCIO INTEGRATO E LINEE GUIDA DEI POLIGONI DI CAPO TEULADA (SU) E TORRE VENERI (LE) 78
UNI/PDR 191:2026: LINEE GUIDA PER LA DEFINIZIONE DELLE TERRE DA COLTIVO OTTENUTE DAL RISANAMENTO BIOLOGICO DI TERRENI CONTAMINATI 80
RIUTILIZZARE I DATI DELLE PROCEDURE DI BONIFICA PER SPAZIALIZZARE ALLA MESO-SCALA IL VALORE DI FONDO DI ARSENICO IN FALDA 84
VERSO SISTEMI DI BONIFICA AUTOSOSTENIBILI: SVILUPPO DI UNA BARRIERA REATTIVA INIETTABILE BASATA SU BIOCHAR COLLOIDALE E BIOPOLIMERI 87
LA DISCARICA DI CUPINORO: DALLA CHIUSURA DEFINITIVA ALLA RIGENERAZIONE DEL SITO 90
L'USO DELLE NATURE BASED SOLUTION PER UN INTERVENTO DI RIDUZIONE DELLA LISCIVIAZIONE DI CONTAMINANTI VERSO LE ACQUE DI FALDA. IL PHYTOCAPPING. 93
DALL'ADSORBIMENTO ALLA RIGENERAZIONE IN SITU: TRATTAMENTO BIOELETTROCHIMICO ASSISTITO DA BIOCHAR DI ACQUE CONTAMINATE DA TRICLOROETILENE 95
PERMEABLE REACTIVE BARRIER APPLICATIONS OF A COMBINED ISCR AND ERD TECHNOLOGY FOR THE TREATMENT OF AN AEROBIC AQUIFER IMPACTED WITH TRICHLOROETHYLENE IN THE LAZIO REGION 98
APPLICAZIONE DI TECNICHE DI *MYCOREMEDIATION* A UN SUOLO CONTAMINATO DA IPA: DAL TEST PILOTA ALL'INTERVENTO IN SCALA REALE 100
EKOGRIDTM: TECNOLOGIA EFFICACE E SOSTENIBILE PER LA BONIFICA DEL SOTTOSUOLO 103
RIQUALIFICARE AMBIENTI COMPLESSI: SFIDE E STRATEGIE DI RISANAMENTO AMBIENTALE 105
ENHANCED LANDFILL MINING COME PRECONDIZIONE INFRASTRUTTURALE: UN FRAMEWORK STRATEGICO PER OPERATORI EPC NEL CONTESTO FERROVIARIO ITALIANO 107
SISTEMA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEI PROCESSI DI BONIFICA DEI TERRENI 109

La biodiversità del suolo nel nuovo quadro normativo europeo: l'environmental DNA (eDNA) come strumento di monitoraggio di nuova generazione 111
Bonifica di suoli attraverso EKRT: valutazione integrata dei risultati di trattamento 115
Bonifica in 3 mesi di un plume di solventi clorurati su 20.000 m² in sito attivo: intervento in situ integrato con costruzione di un nuovo impianto di trattamento rifiuti 117
Valutazione del potenziale di riconversione industriale (PRI): un modello MCDA-GIS per la prioritizzazione dei brownfield 119
Implementation and operation of an effective GCW remedial system under complex geological conditions 121
Pilota su scala reale di ossidazione aerobica di organoclorurati in acqua di falda 123
Monitorare interventi di fito-biorisanamento nel contesto delle nuove normative europee 124
Interventi urgenti di risanamento della galleria di derivazione della centrale di Glorenza – Alperia 129
Studio pilota sulla dealogenazione riduttiva potenziata (ERD) per la bonifica delle acque sotterranee presso il sito ex agricoltura – Avenza (MS), Italia 131
Analisi di rischio sanitario-ambientale nel materiale di riporto: l'esempio di un polo impiantistico in Toscana 133
Trattamento acque potabili e di falda contaminate da PFAS - tecnologie applicabili e presentazione risultati di prove pilota 135
La bonifica dell'area ex Acna di Piacenza: un caso di successo di applicazione dei fondi PNRR 137
Biostimolazione della degradazione degli organoalogenati mediante microiniezione di idrogeno: risultati di un test pilota 139
Sviluppo del modello geologico e idrogeologico di un ex sito industriale a supporto delle attività di bonifica: applicazione di un approccio di modellazione implicita a un ampio set di dati 142
Quantificare l'incertezza nel dimensionamento di barriere idrauliche e impianti TAF 144
Tecniche di fitorisnamento su terreni contaminati da ceneri di pirite 146
Sito di bonifica di interesse nazionale della ex miniera di amianto di Balangero e Corio (L.426/98) 150
Gestione del rischio PFAS nelle discariche mediante barriere di fondo innovative sfide e soluzioni con geosintetici 153
Gestione e condivisione dei dati ambientali. L'esperienza di SOGIN nella bonifica del Centro Ricerche ENEA-Trisaia 156
PFAS – European benchmark remediation activities 159

Caratterizzazione integrata di un sito contaminato da solventi clorurati: contributo delle analisi isotopiche C–Cl alla definizione del modello concettuale 161
Un'analisi di rischio orientata all'uso finale per la riqualificazione della costa Bagnoli Coroglio 164
Valutazione dell'effettiva presenza di idrocarburi petroliferi in falda in un contesto ambientale già compromesso dalle concentrazioni di composti organo alogenati 168
Evoluzione del desorbimento termico ex situ: dall'impianto mobile ESTD (alla decarbonizzazione delle bonifiche ambientali 170

II. LA GESTIONE EFFICIENTE DELLE RISORSE E LA RIGENERAZIONE DEI TERRITORI 173

Riqualificazione del sito orfano "Ex Tiro a Volo" in loc. Cesi, Terni: rigenerazione del territorio mediante risorse PNRR 174
Dinamica della clearance naturale e risposta ecofisiologica di *Mytilus galloprovincialis*: lo studio per la valutazione dei tassi di decontaminazione e le prospettive per la salvaguardia del Mar Piccolo e della Mitilicoltura Tarantina 176
Il Piano nazionale di ripristino della natura: tra tutela dell'ambiente e della biodiversità e opportunità di rigenerazione e sviluppo dei territori 180
Il contratto di rete nel turismo: scelte organizzative e valutazione della performance 182
La riparazione compensativa dei servizi ecosistemici come strumento per il recupero e la gestione dei territori demaniali degradati: l'intervento sul fiume Reno nell'Appennino bolognese 184
La metodologia "Città Intelligenti" per sviluppare piani/progetti contro la crisi climatica e per lo sviluppo socio-economico delle comunità 186
Il monitoraggio continuo del runup ondoso nella rete di videomonitoraggio costiero ISPRA: un dataset multi-stazione per la calibrazione di modelli numerici e per la gestione del rischio costiero 188
L'environmental risk assessment applicato agli studi di incidenza ambientale dei poligoni dell'esercito italiano insistenti su rete natura 2000 192
Modelli numerici e big data: applicativi cloud a supporto dell'ingegneria ambientale 195
Monitoraggio iperlocale della qualità dell'aria e delle isole di calore urbano con reti di sensori ad alta scalabilità territoriale validati dal CNR-IBE: il caso Airqino 199
SINTESI: Sistema INtegrato di moniToraggio ambientale e supporto alle decisioni per la gEStione del rischio Idrogeologico 201
NEXT USE: un toolkit digitale per governare la complessità operativa degli usi temporanei 203
La mappatura dei materiali e il protocollo Well 205

AIFA LT: previsioni a lungo termine delle portate idrologiche in alto adige in un clima che cambia 207
La pianificazione di rischio idraulico in un contesto evolutivo 209
Monitoraggio dei rifiuti spiaggiati sulle coste Adriatico-ioniche 211
Osservatorio regionale delle aree produttive e dismesse 213
La sfida PFAS-free nei cantieri italiani della Torino-Lione: sviluppo di un protocollo per la gestione dei rischi legati ai materiali contenenti PFAS in uno dei tunnel più lunghi delle Alpi 215
Gestione biologica delle riserve idriche antincendio: strategie di biorisanamento per la prevenzione di alghe, biofilm e materiali ostruttivi nel rispetto della UNI EN 12845 217
Correlazioni tra attività produttive e pratiche agricole che hanno determinato la diffusione del TFA nelle acque sotterranee di un'area della Lombardia 220
Analisi dei flussi delle terre e rocce da scavo in Lombardia 222
Utilizzo della modellazione idrodinamica di trasporto solido a supporto della corretta gestione dei sedimenti della regione Calabria 224
Gestione delle emergenze ambientali: strategie d'intervento nelle aree protette 227
La protezione delle infrastrutture dall'erosione e dal dissesto idrogeologico superficiale con tecniche NBS 229
Test di Lisciviazione dei PFAS e valutazione del percorso di lisciviazione e trasporto in falda per derivare le Concentrazioni Soglia di Rischio nel Suolo tramite Modelli Analitici 232
Dalla "Casa Green" alla rigenerazione attiva del patrimonio edilizio: economia circolare, decarbonizzazione e bene collettivo 234
Valorizzazione di matrici residue per l'abbattimento di fitofarmaci in corpi idrici 236
Costruire con il costruito. Materiali di riporto, urban mining e processi decisionali per la rigenerazione dell'ambiente costruito 238
La rigenerazione degli spazi urbani come obbligo costituzionale di riduzione dei divari territoriali 241
Data Center: dalla potenza al consenso - Governare autorizzazioni, impatti e performance per infrastrutture digitali sostenibili e integrate nel territorio 244
Misura dell'umidità del suolo tramite Cosmic Rays Neutron Sensing per migliorare i sistemi di preallerta per frane e alluvioni 245
L'Acquacoltura multitrofica tra crediti di carbonio e resilienza climatica a Taranto 247

III. LE OPPORTUNITÀ DELL'ECONOMIA CIRCOLARE ED I NUOVI PARADIGMI DI SVILUPPO 249

Recupero delle materie prime critiche dai veicoli fuori uso: il ruolo strategico dell'economia circolare nella resilienza industriale europea ... 250

IL DECANTER CENTRIFUGO VISTO IN CHIAVE DI ECONOMIA CIRCOLARE. 252
IL SETTORE CEMENTO-CALCESTRUZZO COME HUB DELL'ECONOMIA CIRCOLARE: DALLA NUOVA NORMAZIONE ALLE OPPORTUNITÀ DI SVILUPPO 255
DALLA QUALITÀ AMBIENTALE ALLA BIOECONOMIA: MODELLI CIRCOLARI PER TARANTO TRA RICERCA, MITILI E MACROALGHE 257
ANALISI DEI FLUSSI DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO IN LOMBARDIA 260
CRESCITA E GENERAZIONE DI VALORE NEI TERRITORI MUSEALI: IL CONTRIBUTO DELLE TECNOLOGIE SPAZIALI 262
DALL'UPCYCLING DI SCARTI ORGANICI ALLA PRODUZIONE DI BIOMATERIALI MEDICAL GRADE: SVILUPPO DI PLA E COPOLIMERI BIODEGRADABILI PER APPLICAZIONI BIOMEDICALI AVANZATE 264
ANALISI DELL'IMPATTO SOCIO-AMBIENTALE DEI CANTIERI NO-DIG E OPEN-CUT IN CONTESTO URBANO 266
LANDFILL MINING: DALLE DISCARICHE AI GIACIMENTI DEL FUTURO 268
IL RECUPERO DEGLI INERTI DA DEMOLIZIONI IN SITI DI INTERESSE NAZIONALE 270
CRITEST INNOVATION LAB: UN'INFRASTRUTTURA FULL-SCALE PER LA BONIFICA AMBIENTALE E L'ECONOMIA CIRCOLARE 272
ECONOMIA CIRCOLARE E BIORISANAMENTO: IL RUOLO DELLE MACROALGHE NELLA DECONTAMINAZIONE DELLE ACQUE COSTIERE E STRATEGIE DI VALORIZZAZIONE DELLA BIOMASSA ESAUSTA 273
DALLA CIRCOLARITÀ ALLA RIGENERAZIONE: L'APPROCCIO HUMAN-CENTRIC DELL'INDUSTRIA 5.0 PER SISTEMI INDUSTRIALI SOSTENIBILI E RESILIENTI 275
RECUPERO DI MATERIE PRIME CRITICHE DA IMPIANTI ENERGETICI A FINE VITA: OPPORTUNITÀ E STRUMENTI DI VALUTAZIONE 277

VI. ECOTOSSICOLOGIA E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE 278

IMPATTO AMBIENTALE E SANITARIO DEL TALCO 279
MONITORAGGIO DI CONTAMINANTI E VALUTAZIONE ECOTOSSICOLOGICA NEL GOLFO DI GELA: IL PROGETTO SUMME_ONE HEALTH 281
APPROCCIO ECOTOSSICOLOGICO PER VALUTARE LA QUALITÀ DI ACQUE PIOVANE RACCOLTE DA COPERTURE DI SERRE PER UN RIUTILIZZO SOSTENIBILE A SCOPO IRRIGUO 283
DALLA VALUTAZIONE REGOLATORIA ALLA CLASSIFICAZIONE ARMONIZZATA: GLI INTERFERENTI ENDOCRINI TRA REACH, BPR, PPP E CLP 286
CRITERI METODOLOGICI PER LA SELEZIONE DEI PESTICIDI DA MONITORARE NELLE ACQUE 288
PORTALE PESTICIDI ISPRA – APPLICAZIONI WEBGIS PER LA CONSULTAZIONE DEI LIVELLI DI CONTAMINAZIONE E LA RICERCA SPAZIALE DEI PESTICIDI NELLE ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE 290
LE MISURE DI RESTRIZIONE AI SENSI DEL REGOLAMENTO REACH PER LA GESTIONE DEL RISCHIO CORRELATO ALL'USO DEL PIOMBO: DALLA VALUTAZIONE TECNICA ALLA PROPORZIONALITÀ REGOLATORIA 292
SITI ORFANI E PALEO-CAVE: APPROCCIO MULTIDISCIPLINAREPER LA RIMOZIONE DELLA SORGENTE PRIMARIA NEL SITO EX OPIFICIO I.A.O. 294

Allineamento degli indicatori nazionali delle sostanze chimiche con il nuovo quadro europeo EEA/ECHA....296

V. L'OSSERVAZIONE DELLA TERRA PER LA TUTELA DELL'AMBIENTE E LE NUOVE FRONTIERE DELLO SPAZIO....298

Il programma IRIDE per la tutela dell'ambiente....299
Il Progetto IMPEL "Geospatial Intelligence for Environmental Compliance" (GIECA)....301
IRIDE Service Segment 2 - Servizi operativi e applicazioni....303
Near-Space come Risorsa: le Piattaforme Stratosferiche per l'Osservazione della Terra e le Nuove Frontiere dell'Economia Spaziale....305
Insula: la piattaforma cloud per il monitoraggio ambientale operativo tramite dati telerilevati....307
Monitoraggio post-incendio mediante dati Sentinel-2 e QGIS, applicazioni per lo studio di una pineta nella provincia di Taranto....309
I servizi tematici di IRIDE: un insieme di analytics a supporto del monitoraggio dell'ambiente....311
Osservare la Terra per proteggere il futuro: spazio, innovazione e monitoraggio ambientale a supporto delle bonifiche e della transizione ecologica....313
Remote sensing ambientale: tecnologie innovative per la mappatura e il monitoraggio dei siti contaminati....315
Progetto MAMBA (Monitoraggio Ambientale Delle Basi Aeronautiche): la nuova frontiera della sorveglianza e della sicurezza ambientale in Aeronautica Militare....318
Ricostruzione del trasporto di ghiaia in alvei ramificati mediante l'utilizzo di dati DInSAR....321
Integrazione di dati satellitari, GIS e Intelligenza Artificiale per il monitoraggio della biodiversità: il caso BIOGIS360....324
Simulazioni matematiche e tecnologie di telerilevamento per la lotta agli incendi boschivi: il progetto FIRST....326
ATENA un Hybrid Digital Twin urbano alimentato da dati satellitari integrati con misure in situ per la gestione dell'ambiente costruito soggetto ai cambiamenti climatici. 328
Multi-Sensor Satellite Observations for Methane Anomaly Detection, Source Identification, and Flux Estimation....330
Dati satellitari e piattaforme integrate per le Smart Cities: monitoraggio ambientale, verde urbano e gestione del rischio di allagamento....332
Dallo spazio alla tutela del territorio: COSMO-SkyMed e RESCUE_SAT per la mappatura del rischio idraulico....334
Dal monitoraggio tradizionale al digital monitoring workflow: l'evoluzione delle tecnologie geospaziali per la gestione integrata delle infrastrutture e degli asset....338

USO DELLA SPETTROSCOPIA VIS-NIR PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLE MATRICI SOLIDE E DEI SIMULANTI DI REGOLITE: CASO STUDIO DEL PROGETTO BEATRICE 342

VI. INTELLIGENCE E LEGISLAZIONE AMBIENTALE.....344

IL RUOLO PROTEIFORME DELLA FISCALITÀ FUNZIONALE NELLA RICORRENZA DELLE CRISI ENERGETICHE 345
LA FUNZIONE SOCIALE DELLA PROPRIETÀ ALLA PROVA DELLA COSTITUZIONE ECOLOGICA: PREVENZIONE DELLE CATASTROFI E RIGENERAZIONE ATTIVA DELLA TERRA COME BENE COMUNE 347
L'IMPATTO DELLE DISEGUAGLIANZE TERRITORIALI SULLA COESIONE SOCIALE. LA PROSPETTIVA COSTITUZIONALE 349
FROM ROBOT RIGHTS TO ECOLOGICAL DUTIES: A MACHINE ETHICS FRAMEWORK FOR AUTONOMOUS ROBOTS IN ENVIRONMENTAL REGENERATION 351
INTELLIGENZA ARTIFICIALE, ECONOMIA DEI DATI E PATRIMONIO CULTURALE: MODELLI DI VALORE PUBBLICO PER UNA TRANSIZIONE DIGITALE SOSTENIBILE 353
GENERE, GENERAZIONI E RIGENERAZIONI: LE SFIDE ATTUALI DELLA LEGISLAZIONE NAZIONALE E REGIONALE 355
SOSTEGNO PUBBLICO IN AGRICOLTURA E RIGENERAZIONE DEI TERRITORI: LA DIMENSIONE AMBIENTALE 363
I NUOVI PARADIGMI DELLA GOVERNANCE AMBIENTALE 365
L'INERZIA AMMINISTRATIVA NELL'INDIVIDUAZIONE DEL RESPONSABILE E L'EFFETTIVITÀ DEL PRINCIPIO "CHI INQUINA PAGA" 368
METADATOS, INTEROPERABILIDAD Y PRESERVACIÓN DIGITAL: ESTRATEGIAS PARA LA SOSTENIBILIDAD DEL PATRIMONIO DOCUMENTAL HISTÓRICO.....370
INTELLIGENZA ARTIFICIALE E PATRIMONIO CULTURALE DIGITALE: SOSTENIBILITÀ, CONOSCENZA STORICA E BENE COMUNE 373
TUTELA DELL'AMBIENTE E DANNO ERARIALE: L'EVOLUZIONE DELLA RESPONSABILITÀ AMMINISTRATIVA NELLA GIURISPRUDENZA DELLA CORTE DEI CONTI. 375
FROM ROBOT RIGHTS TO ECOLOGICAL DUTIES: A MACHINE ETHICS FRAMEWORK FOR AUTONOMOUS ROBOTS IN ENVIRONMENTAL REGENERATION 377
GOVERNANCE TRANSNAZIONALE DEI GRUPPI SOCIETARI E TUTELA DEGLI INTERESSI STRATEGICI DELLO STATO.....379
REGENERACIÓN ACTIVA DEL BIEN COMÚN: GOBERNANZA POLICÉNTRICA, EFICIENCIA Y EQUIDAD FRENTE A LA TRAGEDIA DE LOS COMUNES.....381
DIGITALISMO 383
ECONOMÍA CIRCULAR Y EL BIEN COMÚN: INTERNALIZACIÓN DE EXTERNALIDADES, EFICIENCIA Y EQUIDAD FRENTE AL RESIDUO LINEAL 385
INTELIGENCIA ARTIFICIAL CONVERSACIONAL, Y DISCAPACIDAD: GARANTÍAS JURÍDICAS PARA UN ACCESO INCLUSIVO A LA JUSTICIA 387
LA FUNCIÓN DE LA EMPRESA EN LA ERA ALGORÍTMICA: GOBERNANZA CORPORATIVA DE LA IA, DILIGENCIA DEBIDA EN DERECHOS HUMANOS Y PREVENCIÓN DEL DAÑO ESTRUCTURAL EN CLAVE DE PAZ POSITIVA 389
IL DISASTRO AMBIENTALE E LA RICHIESTA DI RIPARAZIONE DEL DANNO AMBIENTALE DEL MASE COME PARTE CIVILE 391

VII. REMTECH EUROPE 393

FROM METAGENOMICS TO METATRANSCRIPTOMICS: DECODING HCH DEGRADATION 394
GENOMIC AND TRANSCRIPTOMIC APPROACHES TO HALOGENATED ORGANIC COMPOUNDS TRANSFORMATION BY *CLADOSPORIUM* STRAINS 396
REAL-SCALE PILOT STUDY ON AEROBIC OXIDATION OF CHLORINATED COMPOUNDS IN GROUNDWATER 398
INTEGRATED ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AND DIGITAL MONITORING FOR A TERMINAL CONSTRUCTION LOCATED AT THE VENICE INDUSTRIAL HARBOUR 400
RISK INFORMED AND SUSTAINABLE REDEVELOPMENT OF A CONTAMINATED INDUSTRIAL SITE USING AN INTEGRATED REMEDIATION DESIGN 402
A BIOMONITORING TECHNICAL-OPERATIONAL PROTOCOL (BTOP) SUPPORTING BIOREMEDIATION OF ORGANOCHLORINE-CONTAMINATED SITES 404
ANTHROPOGENIC CHEMICAL POLLUTANTS "MAID": A THREAT TO ECOLOGICAL SUSTAINABILITY WITH POSSIBLE BIOLOGICAL SOLUTIONS 407
SOIL CONTAMINATION HOTSPOTS IN REPUBLIKA SRPSKA (BOSNIA AND HERZEGOVINA): CHALLENGES FOR ASSESSMENT, RISK PRIORITIZATION, AND ENVIRONMENTAL GOVERNANCE 409
PROGRAMMABLE ENVIRONMENTAL GOVERNANCE: REENGINEERING ESG FROM COMPLIANCE INSTRUMENT TO SOVEREIGN INFRASTRUCTURE: MAX 200 DIGITS SPACES INCLUDED 411
SOIL HEALTH IN CLOSING THE BIOMASS CYCLE: CURRENT PROBLEMS OF MICROPLASTIC POLLUTION 413
ASSESSMENT OF CARBON DIOXIDE, METHANE AND OXYGEN MASS FLUX DURING PRELIMINARY SITE INVESTIGATIONS 417
ECOSAFE - ECO-COMPATIBLE PROCESSES FOR WORKER SAFETY AT CONTAMINATED SITES 419
DETECTION OF NEW METABOLITES DURING THE DEGRADATION OF PFOS BY ACIDIMICROBIUM SP. STRAIN A6 IN A FEAMMOX MEDIUM 421
INTEGRATED ADAPTIVE REMEDIATION AND WATER RESILIENCE: STAKEHOLDER-CENTRED SYNERGIES BETWEEN GENESIS AND TARGET 423
PFAS REMOVAL FROM BIO-SOLIDS USING SURFACE ACTIVE FOAM FRACTIONATION (SAFF©) – RESULTS FROM A FULL SCALE, 12 MONTH GOVERNMENT TRIAL 428
ADVANCEMENTS IN BIOREMEDIATION FOR MARINE POLLUTION CONTROL: A COMPREHENSIVE REVIEW 430
INTELLIGENT ENVIRONMENTAL SENSING FOR ADAPTIVE REMEDIATION: SIGNAL PROCESSING AND DATA ASSIMILATION FOR REAL-TIME SUBSURFACE MONITORING 431
INTEGRATED TREATMENT OF MERCURY- AND PFAS- CONTAMINATED SOILS USING A COMBINED SOIL WASHING AND THERMAL DESORPTION APPROACH 433
"KI POTENZIALFLÄCHENKARTE" – AN AI GENERATED NATIONWIDE MAP OF BROWNFIELDS IN AUSTRIA 435
DIGITAL ENVIRONMENTAL MONITORING FOR INTEGRATED REMEDIATION SYSTEMS: ADVANCING PLUME DELINEATION AND MASS TRACKING IN INDUSTRIAL GAC 437

GUIDELINE VALUES FOR THE SOIL-CROP-PATHWAY IN GERMANY.....439
ASSESSMENT OF TOLERANCE, BIOSORPTION, ADSORPTION ISOTHERM, AND KINETICS OF HEAVY METALS FROM LIQUID MEDIA USING LIVE MYCELIA OF *PERENNIPORIA SUBTEPHROPORA* 441
ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF HYDROCARBON IMPACTED SITE AT AJEOKPORI OIL SPILL SITE USING ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY TECHNIQUE 443
APPLICATION OF NUTROIL NP5 NUTRIENTS FOR BIOREMEDIATION OF LOAMY SOIL CONTAMINATED WITH PETROLEUM HYDROCARBONS IN BARA ALUE, TAI LOCAL GOVERNMENT AREA, RIVERS STATE 445
INVESTIGATION ON LEACHATE TRANSPORT ON GROUNDWATER CONTAMINATION USING VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING (VES) AT DUMPSITE IN OGALE COMMUNITY, ELEME LOCAL GOVERNMENT IN RIVERS STATE 447
BIOCHAR AS A SOIL AMENDMENT FOR REFORESTATION OF A FORMER GRAVEL PIT IN A WESTERN CANADIAN BOREAL SETTING 449
ASSESSMENT OF HYDROCARBON CONTAMINATION IN GROUNDWATER AT CRUDE OIL ARTISANAL REFINING SITES IN OGONI, NIGERIA.....451
PHYTO-ASSESSMENT OF VETIVER GRASS ENHANCED WITH EDTA SOIL AMENDMENT GROWN IN SINGLE AND MIXED HEAVY METAL CONTAMINATED SOIL 452
GROUNDWATER TPH REDUCTION DYNAMICS DURING ACTIVE REMEDIATION IN OGONILAND: EVIDENCE OF REBOUND, SMEAR-ZONE PERSISTENCE, AND PROCESS-BASED CONTROLS 454
SUSTAINABILITY EVALUATION OF SOIL REMEDIATION OPTIONS AND DEVELOPMENT OF AN ENHANCED DECISION-SUPPORT APPROACH 456
NATURE-BASED SOLUTIONS FOR SOIL REMEDIATION UNDER CONTEMPORARY ENVIRONMENTAL CHALLENGES.....458
RISK ASSESSMENT AND REMEDIATION POTENTIAL OF DRILL CUTTINGS-CONTAMINATED SOIL AMENDED WITH PEAR (DACRYODES EDULIS) SEED WASTE 460
IMPACT OF AN ORGANIC AMENDMENT ON SOIL CARBON AND PLANT PRODUCTIVITY AT TAILINGS PONDS IN THE INTERIOR OF BRITISH COLUMBIA: SOLUTION FOR RECLAMATION PLAN 461
COMPARATIVE ASSESSMENT OF UV-BASED ADVANCED OXIDATION PROCESSES FOR THE DEGRADATION OF BISPHENOL A IN WATER.....462
PILOT-SCALE TESTING OF THE MOBILE RESOIL® UNIT ON SOILS FROM THREE ARAGORN METAL(LOID)-CONTAMINATED CASE STUDIES.....464
SOIL AND CROP MANAGEMENT CHOICES FOR THE KOPRZYWIANKA RIVER CATCHMENT IN POLAND BASED ON MODELLING APPROACHES 466
CARBON MATERIALS FROM BIOMASS: HOW PRODUCTION PATHWAYS SHAPE BIOCHAR AND HYDROCHAR PERFORMANCE 470
PERFORMANCE EVALUATION OF AGRO-WASTE DERIVED BIO-REACTIVE MATERIALS FOR CR(VI) REMOVAL FROM WASTEWATER.....472
ENHANCING PHYTOREMEDIATION OF CONTAMINATED SEDIMENT USING BIOCHAR AND PGPR 475
BIOCHAR-ACTIVATED PERSULFATE FOR ATRAZINE AND SIMAZINE REMOVAL: INSIGHT INTO REACTIVE PATHWAYS AND THE ROLE OF SINGLET OXYGEN 477

ADAPTIVE ENVIRONMENTAL REMEDIATION SYSTEMS (AERS): BAYESIAN DATA ASSIMILATION FOR DYNAMIC SOIL CONTAMINATION MODELS 479
BIOLOGICAL CLOGGING APPLIED TO DEVELOPING CONTAMINANT BARRIERS.....481
BIOACCESSIBILITY OF POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS IN VINEYARDS 483
PLANT GROWTH RESPONSES IN CHROMIUMCONTAMINATED SOILS 485
HYBRID SYSTEM FOR POLYETHYLENE MICROPLASTIC RETENTION IN WATER: THE ROLE OF BIOCHAR AND *LEMNA MINOR* 487
PFAS IN ENVIRONMENTAL MATRICES: TARGETED 489
ANALYSIS AND TOPA-BASED SCREENING 489
LEVERAGING STATISTICAL EVALUATIONS OF VOC DISTRIBUTIONS IN SOIL GAS BENEATH LARGE BUILDINGS TO OBTAIN BETTER DATASETS 490
GUIDELINES FOR SELECTING REMEDIATION TECHNOLOGIES FOR UNSATURATED SOILS AND GROUNDWATER: A SCREENING MATRIX APPROACH FOR LUXEMBOURG 492
EVALUATION OF THE POLLUTION POTENTIAL OF REPI DUMPING SITE ON NEARBY SURFACE WATER QUALITY USING MULTIPLE POLLUTION INDICES IN ADDIS ABABA, ETHIOPIA 497
MULTIDIMENSIONAL RISK PERCEPTIONS AND LIVED EXPERIENCES ACROSS FOUR COMMUNITY STRATA NEAR REPI DUMPING SITE IN ADDIS ABABA.....499
INNOVATIVE TOOLS FOR FIGHTING PFAS 501
BIOCHAR-ENHANCED MISCANTHUS PHYTOTECHNOLOGY FORTHE RESTORATION OF MILITARY-CONFLICT-AFFECTED SOILS.....503
LEGISLATING FOR THE FUTURE: THE PAN-AFRICAN MODEL LAW FOR SUSTAINABLE SOIL MANAGEMENT 505
ESTIMATING MASS EXTRACTION AND REMEDIATION TIME FOR PUMP-AND-TREAT SCHEMES WITH CAPTURE ZONE ANALYSES 506
THERMAL DESORPTION OF VHOC CONTAMINATED SOIL AND VAPOR MANAGEMENT AT LUCCIANA, FRANCE 508
RESTORING PFAS-CONTAMINATED SOILS TO THEIR PRISTINE STATE : THERMAL TREATMENT OF SOURCE ZONES AND PATHWAYS TO FULL-SCALE REMEDIATION WITH KRYSALIS® 510
EFFECTS OF SOLVENT, PH AND DISSOLVED ORGANIC CARBON ON THE PHOTODEGRADATION OF PYRETHROID INSECTICIDES AND THEIR FLUORESCENT PHOTOPRODUCTS IN AQUEOUS MEDIA 513
COMPARATIVE EVALUATION OF NANOFILTRATION AND ELECTROMAGNETIC DESALINATION TECHNOLOGIES FOR IRRIGATION WATER MANAGEMENT AND POTATO PRODUCTIVITY IN SEMI-ARID TUNISIA.....515
SENEGALIA SENEGAL (L.) BRITTON. RESPONSE TO MICROBIAL AND MANURE AMENDMENTS FOR REHABILITATION OF WASTE ROCK DUMPS IN THE MINING SITE OF ESSAKANE IN BURKINA FASO.....517
HIGH-ENERGY ELECTRON BEAM IRRADIATION FOR PFAS DESTRUCTION IN CONCENTRATED LIQUID STREAMS.....519
WHAT MONITORING DATA REALLY TELL US: LESSONS LEARNED FROM ISCO, ERD AND ISCR FIELD APPLICATIONS.....521
TOWARDS SUSTAINABLE INJECTABLE REACTIVE BARRIERS: COLLOIDAL BIOCHAR STABILIZATION, TRANSPORT AND REACTIVE PERFORMANCE 523

BASELINE REPORTS UNDER THE EU INDUSTRIAL EMISSIONS DIRECTIVE: BEST PRACTICES, KEY CHALLENGES AND LESSONS LEARNED 525
BEYOND THE LABORATORY: CAN AI HELP ENVIRONMENTAL PROFESSIONALS SEE DATA LIKE AN EXPERIENCED CHEMIST? 527
RETHINKING TRACER GAS TESTING: IS HELIUM STILL THE BEST OPTION FOR VAPOR INTRUSION INVESTIGATIONS?.....529
USING MIN-TRAP® SAMPLERS TO BETTER UNDERSTAND PFAS.....531
IDENTIFICATION AND IMPLEMENTATION OF THE MOST SUITABLE AVAILABLE TECHNOLOGY FOR THE REMEDIATION OF CHLORINATED SOLVENTS IN GROUNDWATER, INFORMED BY A COMPREHENSIVE SITE CHARACTERIZATION AND SUPPORTED BY FOCUSED MONITORING ACTIVITIES 533
FROM ADSORPTION TO IN-SITU REGENERATION: BIOCHAR-ASSISTED BIOELECTROCHEMICAL TREATMENT OF TCE CONTAMINATED GROUNDWATER.....535
COMBINED IN SITU STABILIZATION (ISS) AND IN SITU CHEMICAL OXIDATION (ISCO): SYNERGIES OF A COMBINED REMEDY AND LESSONS LEARNED.....539
HYBRID ULTRASONIC-MECHANICAL SOIL WASHING FOR REMEDIATING WEATHERED PETROLEUM-CONTAMINATED DESERT SOILS.....541
DIGITAL 4D CONCEPTUAL SITE MODELS AND MACHINE LEARNING: ADVANCING BIODEGRADATION INSIGHTS FOR CHLORINATED SOLVENT REMEDIATION 543
NEW INSIGHTS INTO THE EFFECTS OF ELECTROKINETIC REMEDIATION ON SOIL HEALTH545
INTEGRATED BIOLOGICAL TECHNOLOGIES FOR THE REMEDIATION AND REQUALIFICATION OF AN URBAN AREA CONTAMINATED BY HYDROCARBONS 547
INTEGRATING SOIL-GAS TRACERS AND LASER-INDUCED FLUORESCENCE FOR RAPID DELINEATION OF LNAPL SOURCE ZONES: A GEOSPATIAL APPROACH FOR CONTAMINATED SITE CHARACTERIZATION.....549
SOIL MICROBIOTA RESPONSES TO THE ELECTROKINETIC REMEDIATION OF PESTICIDE-CONTAMINATED SOILS.....551
SOIL MICROARTHROPOD COMMUNITIES AS BIOINDICATORS OF SOIL FUNCTIONING IN THE SUDANO-SAHELIAN SAVANNA OF CAMEROON 553
DEPLOYMENT AND VALIDATION OF AN DRONE-BASED METHANE DETECTION SYSTEM USING SPECIFIC SENSORS IN AMAZONIAN OIL AND GAS UNIT 555
NOOSTASIS-DSS: OPERATIONAL TOOL FOR SELECTING REGENERATION SCENARIOS UNDER NO NET LAND TAKE 557
LARGE SUSTAINABLE TUSCANY BROWNFIELD REMEDIATION CHALLENGES, OPPORTUNITIES AND LESSONS LEARNED 559
LESSONS LEARNED PFAS MASS REMOVAL FROM SOIL BEDROCK AND ANTHROPOGENIC SURFACES FOR IMPROVED REMEDIATION AND DECONTAMINATION 561
LESSONS LEARNED - SURFACTANT ENHANCED BIOREMEDIATION OF PETROLEUM CONTAMINATED SOIL IN CANADIAN ARCTIC AND KUWAIT DESERT CONDITIONS.....563
COUPLED NANO-BIO PROCESSES FOR THE EFFECTIVE REMOVAL OF COMPLEX MIXTURES OF PERSISTENT POLLUTANTS FROM GROUNDWATER 565
TOWARDS STRATEGIC PFAS MANAGEMENT IN SOUTHEAST ASIA – A REGIONAL SITUATIONAL REVIEW OF RISK, REGULATION AND TREATMENT APPROACHES 567

From Laboratory Testing to Engineering Design: Reducing Uncertainty in Full-Scale ISCO Applications 569
From Data Gaps to Decision Confidence: High-Resolution Screening Technologies for Resolving Spatial and Functional Contamination Complexity 571
Valorization of fruit processing by-products into antimicrobial and plant growth stimulating compounds: a circular economy perspective 573
High-Resolution Site Characterization for Emergency Response Interventions: Pontedera Case Study – Hydrocarbon Spill 575
Portable X-Ray Fluorescence Analyzers: Applications to Characterize Lead in Soil 577
INTECH4WATER: an integration of innovative technologies for the treatment and reuse of urban and industrial wastewater 579
Dual functionality of citric acid for sustainable remediation of TCE-contaminated groundwater: antiprecipitation agent and electron donor for BRD 581
Closing the Loop on PFAS Remediation: On-Site Destruction of AFFF and PFAS-Impacted Waters Using HALT 583
Field Validation of Rapid Leaching Technology for PFAS Source-Zone Remediation in Clay-Rich Soils at a US Military Installation in Eastern North Carolina 585
Assessing industrial reconversion potential in brownfield sites: a GIS-MCDA approach for circular ecoindustrial district planning 587
Modular treatment solutions for the elimination of short- and ultra-short-chain PFAS from contaminated groundwater 589
From cleanup cost to value creation: the business case for nature-based solutions at remediation sites 591
MIBIREM Project – Toolbox for Microbiome-based Remediation 595
Ozone-Based In Situ Chemical Oxidation (ISCO) for Deep PCB Source Zone Remediation: Design and Field Pilot Test at the SIN Brescia-Caffaro (Italy) 597
Large-Scale Application of Thermal Conduction Heating (TCH) and in situ integrated remedation strategy: the Area Tremonti Case Study 599
Summary of International Sustainable Remediation Initiatives 601
Full scale project with a combined in situ surfactant enhanced flushing and chemical oxidation technology for the remediation of organic compounds 602
PFAS Removal from a Highly Contaminated Groundwater Site: Pilot-Scale Performance of a Novel Adsorption Media Compared with Activated Carbon 604
Coupled hydro-thermal model to support feasibility study of a new thermal energy plant 606
Design and construction of a mobile soil washing plant according to the Best Available Techniques: the experience of Ecoblu S.r.l. 608

PASSIVE SAMPLING: A USEFUL TOOL IN THE FOOD GATHERING BASKET.....610

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

Interventi di ripristino in pozzi e piezometri

Dott. Geol. Gianluca Pirani PhD

ISPRA: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia

Abstract

I punti di captazione delle acque sotterranee, oltre all'auspicabile calo di rendimento nel tempo, spesso mostrano malfunzionamenti dovuti a fenomeni che possono manifestarsi in tempi relativamente brevi. L'intasamento fisico dovuto alla geologia degli acquiferi, ove sabbie, limi e fango penetrano le opere e si depositano sul fondo riducendone la profondità, spesso è agevolato da pompaggi condotti a portate elevate. Altri fattori sono ascrivibili all'ammaloramento e alla non idoneità della colonna filtri, a cui si aggiunge la presenza di batteri di zolfo e ferro che formano biofilm capaci di ostruirne le fessure. Sono altresì rilevanti i processi di corrosione galvanica, idraulica, chimica e biologica, in cui acque aggressive tendono ad attaccare e solubilizzare alcuni minerali presenti in falda, inoltre acque dure possono indurre la formazione di incrostazioni nei tubi piezometrici. Acque cariche di metalli e sali inorganici in soluzione, sono in grado di arrecare danni alla strumentazione presente nei pozzi (pompe, sonde, sensori, ecc.). Una gestione discontinua delle reti di monitoraggio acque facilita l'insorgenza di tali disfunzioni e mina l'efficacia delle azioni di messa in sicurezza e "bonifica" delle acque di falda. La mancanza di controlli periodici può portare all'acquisizione di dati idrochimici e piezometrici non rappresentativi. L'inefficienza dei sistemi di recupero, rilevabile da una netta flessione di produttività, oltre all'impatto negativo a danno di acquiferi vulnerabili, accresce notevolmente costi gestionali e consumi energetici. Quindi una corretta prassi operativa impone verifiche periodiche di funzionalità dei piezometri di monitoraggio e dei pozzi. In *primis* il controllo del loro stato e degli impianti, ove presenti, a cui seguono la verifica d'insabbiamento e l'esecuzione di prove di portata, basilari a determinarne efficienza idraulica e rappresentatività idrochimica. In caso di mancata idoneità (è sufficiente che uno dei due requisiti sopra citati non sia garantito) nell'ottica dei costi/benefici è necessario procedere con interventi di ripristino. I più utilizzati sono di due tipi:

- Meccanici: *air-lift*, pistonaggio, spazzolatura con spazzole d'acciaio, *jetting tool*, in cui viene erogata acqua nei filtri con pressioni di esercizio variabili tra 200 e 900 bar e portate di circa 150-250 l/min.
- Chimici, che comportano l'immissione di vari tipi di sostanze, tra le quali acido nitrico, glicolico, permanganato di potassio.

Il *revamping*, anche con metodiche abbinate, spesso è precorso e concluso da videoispezioni, per verificare causa ed entità dei malfunzionamenti, indirizzare la scelta del metodo più idoneo e per testare l'efficacia del trattamento. Le operazioni includono l'estrazione e la pulizia della strumentazione sommersa, la rimozione di concrezioni e materiali asportati precipitati a fondo pozzo, concludendo con lo spurgo delle acque sino alla loro chiarificazione. Se il recupero non ha successo le opere possono essere cementate, ma in caso di contaminazione e se ubicate in aree "strategiche", può convenire equipaggiarle per l'emungimento acque.
Sarà a discrezione del progettista utilizzare strumenti di supporto decisionale (*screening* preliminare, dati sito specifici, stima del costo dei lavori e dei monitoraggi, scelta delle opzioni progettuali, fruibilità dell'attrezzatura, utilizzo di specifici indicatori, ecc.) che conducano alla scelta della migliore tecnologia disponibile.

Keywords: punti d'acqua, disservizi, monitoraggi, controlli, ripristino.

Contatti : gianluca.pirani@isprambiente.it

Da percolato a risorsa: impianto innovativo per il trattamento del percolato contaminato da PFAS e valutazione della circolarità del processo

Petra Scanferla[1], Giulia Meneghin[1], Giorgia Di Carlo[1], Roberto Pellay[2], Gianluca Saoner[2], Francesco Trevisan[3]

[1] Fondazione Università Ca' Foscari, Santa Croce 507, 30135 Venezia, Italia
[2] Tev Group srl, Via Romea 8, 30034 Malcontenta di Mira, Venezia, Italia
[3] Veneto Acque spa, Via Torino 180, 30172 Venezia Mestre, Italia

Abstract
La gestione del percolato di discarica rappresenta una rilevante criticità ambientale a causa della complessità e dell'abbondanza di contaminanti inorganici e organici presenti, tra cui le sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS) [1].
La rimozione dei PFAS dalle matrici acquose costituisce una sfida complessa che richiede tecnologie avanzate. Lo stato dell'arte si basa su processi di separazione fisica, come l'osmosi inversa, l'evaporazione o l'adsorbimento su carbone attivo. Tuttavia, tali soluzioni non sono definitive, in quanto producono flussi concentrati o carboni esausti che necessitano di ulteriori trattamenti. Attualmente, la strategia più accreditata per la distruzione definitiva dei PFAS è la degradazione termica ad alte temperature, sebbene sia limitata da elevati costi operativi e dalla scarsa disponibilità di impianti idonei [2].
Il processo di trattamento proposto dal presente lavoro prevede un approccio integrato multistadio, che unisce diverse sequenze di trattamento: dapprima un trattamento biologico a due stadi e una nanofiltrazione (NF), una filtrazione su carbone attivo granulare (GAC), l'osmosi inversa (RO) e la distillazione sotto vuoto dei fanghi di risulta per la separazione dei PFAS in un liquido altamente concentrato. L'impiantistica permette di produrre un'acqua di risulta avente concentrazioni inferiori ai limiti per le acque destinate al consumo umano e di recuperare i sali, prodotti dal trattamento di osmosi inversa, idonei per il loro riutilizzo come agenti antigelo stradali. Il

concentrato dalla nanofiltrazione viene trattato tramite ossidazione chimica e coagulazione/precipitazione, seguite da solidificazione/stabilizzazione dei fanghi, desorbimento termico sottovuoto, ottenendo da una parte un materiale granulare idoneo al riutilizzo e avente concentrazioni inferiori ai limiti previsti dalla Tabella 1 Colonna B dell'allegato 5 al Titolo V della parte IV del D.Lgs. 152/2006 s.m.i. e dall'altra l'unico prodotto di scarto che riguarda un concentrato di PFAS da inviare alla termodistruzione a costi sostenibili in relazione al suo ridottissimo volume. Inoltre, non si prevede di inviare ad impianto di rigenerazione i filtri a carbone attivo in quanto nel processo impiantistico è inclusa una rigenerazione di questi ultimi tramite distillazione sottovuoto.
Al fine di testimoniare l'efficacia dell'impianto di trattamento del percolato in termini di conformità ai principi di economia circolare, il presente studio propone la valorizzazione di specifici indicatori di circolarità selezionati dalla normativa UNI/TS 11820 [3]. Essi si prefiggono di valutare l'andamento nel tempo dell'indice di circolarità sia nel recupero di due principali risorse, l'acqua e le risorse materiche, sia nella riduzione dei rifiuti.

MATRICE	INDICATORI E DESCRIZIONE	DERIVAZIONE	U.M.	DESCRIZIONE
ACQUA	Quantità di acqua proveniente da recupero e/o riciclo rispetto al totale del fabbisogno idrico	UNI/TS 11820 indicatore 5	l	Quantità di acqua recuperata dal processo di trattamento del percolato rispetto al fabbisogno idrico necessario
MATERIE	Risorse materiche secondarie autoprodotte rispetto al totale delle risorse materiche prime e secondarie	UNI/TS 11820 indicatore 1	t	Quantità di materiale riutilizzabile recuperato dal processo di trattamento del percolato rispetto al totale delle risorse materiche utilizzate
RIFIUTI	Rifiuti speciali avviati al recupero rispetto al totale dei rifiuti speciali prodotti	UNI/TS 11820 indicatore 18	t	Quantità di percolato avviato al trattamento e al recupero rispetto al totale dei rifiuti speciali prodotti

Questo processo ha dimostrato come un approccio integrato per la gestione del percolato di discarica rappresenti la metodologia adatta al fine di massimizzare il recupero di materia e di minimizzare lo smaltimento dei rifiuti, allineandosi quindi ai principi dell'economia circolare e coniugando efficacemente la gestione sostenibile delle risorse con la sostenibilità economica dell'intervento. Attualmente sono state trattate circa 100.000 mc di acque contaminate da PFAS

con valori medi di sommatoria PFAS (ai sensi del Dlgs 102/2025) di circa 7.000 ng/L, passando a percolati con concentrazioni intorno ai 30.000 ng/L.

[1] Vaverková, M. D., Elbl, J., Koda, E., Adamcová, D., Bilgin, A., Lukas, V.,....., Zloch, J. (2020). *Chemical composition and hazardous effects of leachate from the active municipal solid waste landfill surrounded by farmlands*. Sustainability (Switzerland), 12(11). https://doi.org/10.3390/su12114531

[2] Hela Rekik, Hamed Arab, Loick Pichon, My Ali El Khakani, Patrick Drogui, *Per-and polyfluoroalkyl (PFAS) eternal pollutants: Sources, environmental impacts and treatment processes*. Chemosphere, Volume 358, 2024, 142044, ISSN 0045-6535, https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142044

[3] UNI/TS 11820 (2022) "Misurazione della circolarità – Metodi ed indicatori per la misurazione dei processi circolari nelle organizzazioni".

Keywords: percolato, discarica, PFAS, impianto di trattamento, economia circolare.

Contatti: petra.scanferla@unive.it , giulia.meneghin@unive.it giorgia.dicarlo@unive.it.

RE.MU.RES: landfill mining della discarica mediante tecniche muografiche non invasive per il recupero dei materiali

***Fabio Sebastiano*[1], *Antonio Valerio*[1], *Serena Vespoli*[1], *Giovanni De Lellis*[2]**

[1] *Recupero Etico Sostenibile SpA (speaker),*[2] *Università di Napoli Federico II, Dipartimento di Fisica "E. Pancini"*

Abstract

Il Landfill Mining (LFM) è una tecnologia di intervento sulle discariche che consente di recuperare materiali che possono trovare una nuova vita nel circuito del recupero o essere destinati alla produzione di energia, oltre che restituire aree in passato destinate a discarica a nuovi usi. La ri-funzionalizzazione delle discariche è l'idea alla base del landfill mining, ovvero svuotare ed estrarre materie prime valorizzabili dalle vecchie discariche per riempirle con i rifiuti irrecuperabili di oggi. Si tratta di una tecnica di bonifica per intraprendere misure importanti per la protezione di aria, terra e risorse idriche. In tal senso, è in corso lo studio di fattibilità per interventi di LFM sulla discarica ubicata in località Tufo Colonoco nel Comune di Isernia che è classificata in base all'art. 4 del Decreto Legislativo n. 36 del 13/01/2003 come discarica per "rifiuti non pericolosi". L'intento è quello di valutare interventi di LFM attraverso l'escavazione dei rifiuti depositati e il loro successivo trattamento per inertizzazione delle frazioni pericolose e alla separazione delle diverse componenti con l'obiettivo di recuperare e valorizzare la parte nobile dei materiali depositati e al contempo recuperare volumetrie. Il progetto prevede l'introduzione della tecnica della radiografia muonica come innovativo strumento non invasivo per condurre un'analisi stratigrafica delle discariche e dei siti contaminati e innovare così, potenziandolo, il processo di landfill mining fornendo al decisore uno straordinario strumento di diagnosi preventiva per la stima delle tipologie di materiali presenti e la successiva fase di mining con il recupero di materie. Il progetto è sviluppato in collaborazione con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) e con il Dipartimento di Fisica dell'Università di Napoli Federico II.

L'obiettivo è:

- l'identificazione di un modello di indagine mediante muografia di una discarica in uso per restituire un modello di conoscenza della stratigrafia e della posizione dei materiali finalizzati ad un mirato processo di landfill mining per recuperare le frazioni ad alto valore aggiunto (plastiche, vetro, acciaio, metalli);
- la progettazione e la realizzazione di una linea sperimentale per la produzione di emulsioni nucleari per ottimizzare le performance per questa particolare applicazione. Questa iniziativa porterà ad accrescere le competenze e definire una possibile azione di ricaduta sul mondo imprenditoriale per lo sviluppo di uno spin-off dedicato.

Il progetto prevede l'elaborazione di un innovativo sistema di acquisizione di immagini mediante rivelatori dedicati che registrano il passaggio dei muoni cosmici attraverso pellicole ultrasensibili, denominate emulsioni nucleari. Queste lastre fotografiche vengono sviluppate attraverso un processo chimico in camera oscura e analizzate con microscopi ottici robotizzati e completamente automatici, dotati di telecamere ad alta risoluzione e con elevato frame rate, sviluppati presso l'Università di Napoli e l'Istituto di Fisica Nucleare di Napoli. L'obiettivo è correlare i dati di densità della discarica ottenuti dalla muografia e dal modello tridimensionale ottenuto mediante rilievo satellitare al materiale presente in discarica in maniera non invasiva. Si vuole individuare una tecnologia innovativa che consenta di caratterizzare, senza effettuare perforazioni, i materiali presenti in discarica per valutarne la capacità di estrazione di materie ad elevato valore.

Keywords landfill mining, muografia, discariche, recupero materiali, economia circolare

Contatti: *director@recuperoeticosostenibile.it*

Bonifica sequenziale di siti contaminati mediante scavi a celle sostenuti da sistemi modulari portapalancole

Ing. Simone Fregonese[1], **Dott. Matteo Savriè**[2]

[1] Responsabile Prodotti Speciali, ELTO S.r.l. (speaker); [2] Responsabile Settore Consolidamenti, RELEO S.r.l.

Abstract

Gli interventi di bonifica mediante scavo e rimozione ex situ dei terreni contaminati presentano criticità specifiche quando sono eseguiti in ambito urbano o in prossimità di edifici, infrastrutture e sottoservizi. Alla necessità di garantire la stabilità delle pareti e la sicurezza degli operatori si aggiungono l'esigenza di contenere l'area di lavoro, controllare la geometria dello scavo e consentire campionamenti, verifiche ambientali e rimozione di serbatoi interrati in condizioni operative definite.

Il contributo descrive una metodologia di intervento basata sulla suddivisione dell'area da bonificare in celle o pozzetti successivi, sostenuti mediante un sistema modulare a cassero portapalancole. Dopo un pre-scavo iniziale vengono installati i pannelli perimetrali, le palancole verticali e gli elementi di contrasto. Lo scavo procede quindi per fasi, con abbassamento progressivo delle palancole per pressione e posa delle travi di contrasto dimensionate sulla base delle condizioni geotecniche, della profondità e della configurazione del singolo intervento. Tale modalità può evitare il ricorso alla vibroinfissione, riducendo le interferenze dinamiche con le strutture circostanti, quando la natura dei terreni e le condizioni di cantiere ne consentono l'applicazione.

All'interno del volume protetto possono essere eseguiti il prelievo di campioni sulle pareti e sul fondo scavo, la rimozione selettiva dei terreni contaminati e l'eventuale estrazione di cisterne o manufatti interrati. Completata la bonifica della singola cella, il pozzetto viene eventualmente isolato, rinterrato e compattato per strati, con estrazione progressiva delle palancole. La sequenza esecutiva prevede il mantenimento temporaneo delle pareti condivise con i pozzetti

adiacenti non ancora trattati, consentendo di procedere per settori e di limitare l'estensione dello scavo contemporaneamente aperto.
L'esperienza applicativa evidenzia come l'integrazione tra progettazione della bonifica e progettazione delle opere provvisionali possa migliorare il controllo delle fasi operative, l'accessibilità per le verifiche ambientali e l'adattabilità a geometrie variabili e spazi ristretti. Il sistema di blindaggio assume pertanto il ruolo di tecnologia abilitante del processo di bonifica, da definire fin dalle fasi progettuali in relazione alle caratteristiche geotecniche, alla contaminazione presente e alle interferenze del sito.

Keywords: bonifica dei suoli; scavi profondi; blindaggi; palancole; cantieri urbani

Contatti: simone.fregonese@elto.it; matteo.savrie@releo.it

Correlazioni tra attività produttive e pratiche agricole che hanno determinato la diffusione del TFA nelle acque sotterranee di un'area della Lombardia

Madela Torretta (ARPA Lombardia), Bruno Zonca (ARPA Lombardia), Gianni Azzali (ARPA Lombardia)

Abstract

La normativa italiana in tema di potabilità (D.lgs 18/2023) prevede l'introduzione, a partire dal 12 gennaio 2027, di un limite di riferimento per l'Acido Trifluoroacetico (TFA) pari a 10 μg/L.

Il TFA è un PFAS a catena ultracorta con una struttura chimica che lo rende particolarmente mobile nell'ambiente; essendo molto solubile e chimicamente stabile, il TFA non si degrada e tende ad accumularsi facilmente nei corpi idrici e nelle falde acquifere, destando preoccupazione a livello globale per la sua persistenza e presenza nell'ambiente. Secondo le conoscenze attuali, è di gran lunga la sostanza chimica artificiale più diffusa nelle acque sotterranee in Europa.

Nel territorio lombardo, le prime rilevazioni effettuate dai gestori del servizio idrico hanno evidenziato porzioni di territorio in cui i valori di TFA in falda superano ampiamente il nuovo limite normativo, raggiungendo in alcuni casi concentrazioni molto elevate.

In assenza di studi consolidati che attestino l'effettiva pericolosità della molecola per la salute umana, diviene fondamentale intervenire per individuare le fonti ed impedirne un'ulteriore diffusione in ambiente.

Gli studi condotti da ARPA Lombardia hanno evidenziato come i processi di dispersione e diluizione del TFA in ambiente rendano complesso l'intero fenomeno di contaminazione in atto.

È infatti noto che la presenza di TFA deriva da varie fonti, tra cui processi ed emissioni industriali (es. aziende farmaceutiche), prodotti refrigeranti e gas propellenti, prodotti fitosanitari e veterinari, impianti di depurazione delle acque di scarico; il TFA si forma anche come prodotto di degradazione di PFAS contenenti almeno un gruppo trifluorometilico (CF_3).

Gli approfondimenti effettuati dall'Agenzia hanno evidenziato un'importante correlazione tra le pratiche agricole e la dispersione in ambiente di TFA.
Ad oggi, infatti, i sistemi di trattamento degli impianti di depurazione non sono in grado di ridurre le concentrazioni di TFA presenti nei reflui provenienti da alcune realtà produttive; pertanto, si determina una veicolazione del contaminante attraverso il fitto reticolo di corpi idrici superficiali utilizzati per l'irrigazione, con successiva infiltrazione fino alla falda acquifera.
L'impiego di prodotti fitosanitari contenenti TFA o da cui lo stesso deriva per degradazione degli stessi contribuisce ulteriormente all'accumulo del contaminante negli acquiferi sottesi alle aree agricole.
Si ritiene pertanto necessario approfondire i meccanismi di dispersione idrodinamica del TFA in ambiente, al fine di conoscere gli aspetti che possono impattare anche la filiera agroalimentare.

Keywords: PFAS, falda, irrigazione, potabilità, fitosanitari

Contatti: m.torretta@arpalombardia.it , b.zonca@arpalombardia.it , g.azzali@arpalombardia.it

Specie vegetali terrestri per la riqualificazione ambientale e la valorizzazione della biomassa

***Melissa Sardano*[1,2], *Michelangelo Di Luozzo*[5], *Aurora Rutigliano*[1,2], *Roberto Carlucci*[3], *Ilaria Savino*[1], *Vito Felice Uricchio*[1,4], *Valeria Ancona*[1]**

[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]*Dipartimento di Bioscienze Biotecnologie e Ambiente, Università di Bari, Bari, Italy*
[4]*Commissario straordinario per gli interventi urgenti di bonifica, ambientalizzazione e riqualificazione dell'area di Taranto*
[5]*Responsabile Raffineria di Taranto - Eni Industrial Evolution*

Abstract
La transizione ecologica impone un cambio di paradigma nei territori da tutelare e vulnerabili (aree industriali dismesse, Siti di Interesse Nazionale (SIN) e suoli marginali degradati). Gli approcci chimico-fisici tradizionali, invasivi, costosi e lineari, azzerano la vitalità biologica del suolo e generano scarti complessi da smaltire, ignorando il potenziale di upcycling delle biomasse residuali.
In ottica circolare, le fitotecnologie basate sull'impiego di colture ad alta biomassa offrono una soluzione rigenerativa a ciclo chiuso: consentono la bonifica *in situ* (*bioremediation*) e la contestuale produzione di materie prime seconde destinate a filiere energetiche e bioindustriali no-food, azzerando gli sprechi e rigenerando i territori.

L'analisi della letteratura scientifica ha permesso di individuare piante resilienti capaci di riqualificare la matrice pedologica e arricchirne la frazione organica, privilegiando varietà la cui biomassa presenta un alto potenziale di valorizzazione sia energetica che come materia prima seconda. Le macrofite poliennali, *Arundo donax*[2], *Miscanthus* e *Panicum virgatum* fitostabilizzano metalli e PCB, fornendo biomassa per l'industria cartaria e vettori energetici ad alta resa (biogas, bioetanolo di II gen., butanolo e H_2). Tra le specie annuali, *Sorghum bicolor* tollera l'aridità accumulando metalli destinati alla conversione in bioetanolo; *Cannabis sativa L.* fitoestrae Pb, Cd e As rigenerando il

suolo, offrendo fibre d'eccellenza per la bioedilizia, il settore cartario, il tessile e sottoprodotti per biogas; *Cynara cardunculus*, coniuga la fitoestrazione di As, Pb e Cd alla valorizzazione industriale dei semi, destinati a filiere di biodiesel e biopolimeri. Le specie legnose a rotazione rapida (SRC) quali *Populus spp.*, *Salix spp.*, *Paulownia tomentosa* stimolano la rizodegradazione di idrocarburi e l'accumulo di metalli, alimentando filiere termochimiche (gassificazione per syngas e pellet) e bioraffinerie lignocellulosiche per la produzione di cellulosa, pannelli e condensati. Tra le specie officinali, oleaginose e industriali, *Chrysopogon zizanioides*, promuove il recupero dei suoli da xenobiotici generando syngas, mentre *Brassica napus* e *Helianthus annuus* captano metalli indirizzando l'olio estraibile a biodiesel.

Questo approccio metodologico conferma che la dimensione energetica di queste colture è il reale motore economico della rigenerazione. A livello europeo, la Direttiva RED III (UE 2023/2413), la Soil Monitoring Directive e la Strategia Europea per la Bioeconomia individuano nell'integrazione tra bonifica dei suoli marginali e produzione di syngas e biocarburanti avanzati un pilastro strategico per la l'autonomia energetica. In Italia, le sperimentazioni pilota condotte su SIN ed ex siti industriali attestano che il recupero energetico a km zero da biomasse residuali rende la bonifica finanziariamente sostenibile.

In conclusione, tali specie trasformano una passività ambientale in un investimento redditizio; la loro flessibilità ecologica delinea un modello di bioeconomia circolare replicabile su scala nazionale, capace di rigenerare il valore economico locale, tutelare il suolo e supportare filiere industriali resilienti e a zero rifiuti.

Keywords: (5 keywords): Bioeconomia circolare, Fitotecnologie, Valorizzazione della biomassa, Materia prima seconda, Riqualificazione ambientale

Contatti: m.sardano2@phd.uniba.it, a.rutigliano42@phd.uniba.it, roberto.carlucci@uniba.it,ilariasavino@cnr.it, vitofelice.uricchio@cnr.it, valeria.ancona@cnr.it.

Prime applicazioni di analisi isotopiche sul Trizio di ARPA Abruzzo nell'ambito di attività finalizzate al contraddittorio ai sensi della Parte Quarta Titolo Quinto del D.Lgs 152/06

Valentina Conti[1], Gianluca Marinelli[2], Antonio Diligenti[2], Sabrina Tennina[1], Jacopo Pellegrini[2] e Mariano Del Trecco[2]

[1]ARPA ABRUZZO Distretto Provinciale di Pescara – Laboratorio di Fisica
[2]ARPA ABRUZZO Distretto Provinciale di Chieti – Ufficio Siti Contaminati Materiali da Scavo e Discariche

Nell'ambito delle attività di controllo di una discarica in fase di gestione post operativa, sono state effettuate verifiche analitiche isotopiche finalizzate all'aggiornamento e alla validazione del modello concettuale del sito. Tali attività si sono rese necessarie a seguito del rinvenimento, nell'ambito di un precedente monitoraggio delle acque sotterranee, di un superamento della Concentrazione Soglia di Contaminazione (CSC) del parametro Boro. La vasca d'invaso sorge su litotipi argillosi plio-pleistocenici di avanfossa, dotati di bassi valori di conducibilità idraulica che a scala regionale sono caratterizzati da locali risalite di acque profonde alle quali può essere imputato il fenomeno riscontrato. Pertanto, il gestore ha proposto un piano di indagini idrogeochimiche ed isotopiche (studiando gli isotopi di boro, ossigeno e idrogeno, nei piezometri della rete di monitoraggio e nel percolato), finalizzato a verificare l'eventuale origine naturale del fenomeno e ad approfondire le conoscenze idrogeologiche del sito. Per verificare le risultanze di tale studio, l'Agenzia ha eseguito determinazioni analitiche del Trizio, isotopo dell'idrogeno utilizzato per la valutazione dei tempi di residenza delle acque sotterranee. Le concentrazioni di Trizio, che si integra nella molecola di acqua senza ostacolarne il flusso e che sono strettamente connesse al mescolamento dei vari circuiti che contribuiscono all'alimentazione delle falde acquifere, consentono di ottenere informazioni sia sul tempo di residenza medio che sulle condizioni dinamiche dei corpi idrici. Grazie alle caratteristiche sopra descritte, la quantificazione delle concentrazioni in acqua consente di tracciare eventuali fuoriuscite di percolato che impattano direttamente le acque

sotterranee. Infatti, poiché questo può contenerne un quantitativo centinaia di volte superiore a quello presente nelle acque naturali (indicativamente compreso tra le 3-5 UT), e pertanto tale isotopo può essere utilizzato come elemento discernente tra una perdita di percolato e un substrato geochimico. L'analisi è stata effettuata dall'Agenzia mediante scintillazione liquida utilizzando il metodo normato UNI EN ISO 9698:2019. Dal punto di vista della firma isotopica del Trizio, nel piezometro interessato dal superamento del Boro sono stati rilevati 0,59 UT mentre nelle acque sotterranee riferite a un piezometro posto a monte, sono stati rilevati 2,790 UT. I risultati sinora ottenuti hanno consentito di confermare la tesi dell'origine naturale del Boro, testimoniando tempi di residenza delle acque sotterranee relativamente più alti nel piezometro impattato (a dimostrazione dell'esistenza di un contributo almeno in parte derivante da acque più antiche) e la probabile assenza di miscelazione con il percolato di discarica. La messa a punto di tale metodologia da parte dell'Agenzia consentirà l'utilizzo della prova come ulteriore linea di evidenza da utilizzare nei casi in cui la sola presenza di alcuni contaminanti nelle acque sotterranee (come metalli/metalloidi e altri inquinanti inorganici) potrebbe essere ricondotta sia a percolato di vecchie discariche sia alla presenza di un fondo naturale legato alle caratteristiche dell'acquifero.

Keywords: Trizio, Isotopi, Bonifiche, Discariche.

Contatti: v.conti@arpaabruzzo.it, g.marinelli@arpaabruzzo.it, a.diligenti@arpaabruzzo.it, s.tennina@arpaabruzzo.it, j.pellegrini@artaabruzzo.it, m.deltrecco@aptaabruzzo.it

Flusso di massa dei contaminanti in siti contaminati da cVOC e PFAS per la costruzione di modelli concettuali accurati e il dimensionamento di barriere permeabili reattive

***Janis Patiño*[1]** [1]REGENESIS, Italia *(jpatino@regenesis.com)*

Contesto/Obiettivi: il flusso di massa dei contaminanti è oggi considerato il principale driver per la valutazione del rischio associato alla loro migrazione e per la progettazione efficace degli interventi di bonifica, diventando una componente critica dei modelli concettuali di sito (MCS). Le misure puntuali delle concentrazioni sono fondamentali per delimitare i plume e verificare la conformità dei piezometri di monitoraggio, e risultano pertanto disponibili nella maggior parte dei siti. Di conseguenza, le prime stime del flusso di massa si ottengono spesso moltiplicando la concentrazione per la velocità di Darcy (derivata da slug test o prove di pompaggio e dal gradiente idraulico). Sebbene questo approccio sia accettabile in acquiferi omogenei, è stato dimostrato che anche con variazioni di conducibilità idraulica inferiori a 1,5 ordini di grandezza, fino all'80% della massa contaminante può migrare attraverso il 20% della sezione trasversale dell'acquifero.
Questi risultati portano a rivalutare la risoluzione del flusso di massa necessaria per la costruzione di un MCS rappresentativo e per il dimensionamento efficace di una barriera permeabile reattiva (PRB). Il presente lavoro ha avuto l'obiettivo di analizzare e indagare: 1) la correlazione tra il flusso di falda e il flusso di massa; 2) le caratteristiche litologiche comuni associate alle zone ad elevato flusso di massa; 3) i calcoli di dimensionamento delle PRB e i relativi aggiustamenti basati sui dati di flusso di massa raccolti, mediante l'uso di misuratori passivi di flusso. La diffusione di questi dispositivi è in rapido aumento, anche in diversi siti italiani ed europei.

Approccio/Attività: negli anni sono stati proposti numerosi metodi per la misurazione del flusso di massa, ciascuno con specifici vantaggi e limitazioni. I misuratori passivi sono stati valutati in diversi studi, affermandosi come un metodo affidabile per ottenere un'elevata risoluzione spaziale e temporale, capace di catturare variazioni del flusso di falda e del flusso di massa lungo l'intera sezione filtrante dei

piezometri. In questa presentazione vengono analizzati dati provenienti da misuratori installati in dieci siti, con spessori compresi tra 1,6 e 10 m, in acquiferi contaminati da cVOC e PFAS. I dati sono stati analizzati per stabilire correlazioni tra flusso di falda, flusso di massa e litologia, in profili verticali con una risoluzione di 0,3 m.

Risultati/Implicazioni: i risultati dimostrano che variazioni della velocità di Darcy inferiori a un ordine di grandezza possono essere associate a variazioni del flusso di massa fino a due ordini di grandezza, dove oltre la metà della massa contaminante migra attraverso meno del 30% della sezione analizzata. L'analisi include anche gli strati litologici che ospitano queste zone ad alto flusso di massa, fornendo indicazioni preliminari utili per i professionisti del settore. Questi risultati sono fondamentali per il corretto dimensionamento e l'applicazione delle PRB nel trattamento efficace di PFAS e cVOC. Le evidenze emerse suggeriscono che, anche in acquiferi relativamente omogenei, lievi variazioni del flusso di Darcy possono essere associate a picchi di flusso di massa che, se non adeguatamente misurati e integrati nei calcoli di dimensionamento, possono compromettere le prestazioni delle PRB.

Gestione dei sedimenti portuali e riperimetrazione del S.I.N. di Taranto: l'ingegneria ambientale al servizio della governance territoriale

***Gabriella De Santis*[1], *Gaetano Internò* [1], *Giovanni Francesco Gugliotti*[1], *Annamaria Basile* [2], *Angelo Tursi* [3], *Vito Felice Uricchio*[2]**

[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*

Abstract
Nel complesso panorama delle bonifiche ambientali all'interno dei Siti di Interesse Nazionale (SIN), la gestione dei sedimenti portuali richiede un cambio di paradigma, determinando una evoluzione dell'operatività tecnica in strumento di conoscenza scientifica. Il Piano di Caratterizzazione dei Moli Antistanti il porto in Rada (agosto 2025) sancisce l'avvio delle attività poste in essere per lo stralcio funzionale nel Porto di Taranto, un massiccio intervento finalizzato al ripristino delle quote batimetriche operative nelle macroaree A3, A4, A5 e A6, antistanti i moli del porto in rada. Questo specifico percorso d'azione si distacca nettamente dalle passate indagini storiche (ISPRA 2009-2010), rispondendo alle prescrizioni di ARPA Puglia per mapparne lo stato attuale. L'intervento, nel complesso, eseguirà un protocollo ingegneristico rigoroso: indagini magnetometriche preventive per la bonifica bellica e vibrocarotaggi eseguiti mediante imbarcazioni dotate di strumentazione satellitare DGPS. La caratterizzazione ad altissima risoluzione spaziale, strutturata su maglie portuali da 100x100m e fino a 50x50 m a ridosso dei manufatti, indaga capillarmente la stratigrafia fino a due metri di profondità e oltre il fondo scavo. Le rigorose analisi chimiche, microbiologiche ed ecotossicologiche condotte secondo i severi standard SNPA sul tal quale e su elutriati isolano la contaminazione da metalli pesanti (mercurio e piombo) confinata nei primi strati, guidando la scelta di dragaggi meccanici ecocompatibili assistiti da benne a tenuta stagna e

barriere flessibili antitorbidità. Sebbene il fulcro operativo risieda nella messa in sicurezza del bacino portuale e nell'abbattimento delle concentrazioni dei contaminanti ai limiti consentiti, il patrimonio di dati certificati generato da attività di monitoraggio in corso d'opera produce un valore conoscitivo di ritorno che si interconnette, con pesi e confini ben distinti, alla pianificazione di area vasta. Questo solido quadro analitico locale si raccorda alla più ampia procedura di riperimetrazione del S.I.N. "Taranto", formalmente avviata dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica nel marzo 2023. Le indagini di dettaglio del porto dialogano con il macro-programma territoriale guidato in sinergia dalla Struttura Commissariale, dal CoNISMa e dall'AdSP del Mar Ionio, il quale applica una diversa metodologia di campionamento a "maglia ragionata" su griglie macroscopiche (da 450x450 m a 225x225 m) estese a tutto lo specchio acqueo. Proprio in questo ambito di macro-governance territoriale, al fine di salvaguardare l'integrità biologica dell'area, saranno introdotte e condotte attività anche sperimentali di mappatura dei fondali basate su tecniche innovative e non invasive, progettate specificamente per non perturbare il delicatissimo equilibrio dell'ecosistema marino. La netta distinzione tra l'attività fisica del dragaggio portuale e la macro-diagnostica territoriale permette di isolare il rischio reale di contaminazione ereditato circa quindici anni fa. I risultati analitici e tecnologici così ottenuti offriranno la base scientifica per supportare le future scelte di deperimetrazione amministrativa, svincolando le aree marine conformi alle normative vigenti, trasformando di conseguenza il Porto di Taranto in un motore di sviluppo sostenibile e prosperità.

Keywords: (Dragaggio, Caratterizzazione, Riperimetrazione-SIN, Sedimenti, Bonifica)

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

Effetto degli ammendanti organici sull'efficienza del processo di bonifica landfarming

***Francesca Lazzari*[1], *Angela Antonucci*[1], *Francesca Colais*[1], *Jacopo Jirillo*[2], *Elisabetta Straccamore*[2], *Maria Rosaria Boni*[1]**

[1] Università degli studi di Roma La Sapienza, DICEA, via Eudossiana 18, Roma [2] Itelyum Regeneration S.p.A., Ceccano, Frosinone

Abstract

Il risanamento ambientale dei suoli contaminati rappresenta una delle principali sfide europee e, a conferma di ciò, si registra come, ad oggi, oltre il 60% dei suoli europei risulti in cattivo stato di salute. In tale contesto si colloca la recente Direttiva (UE) 2025/2360 sul monitoraggio e la resilienza dei suoli, che introduce un nuovo paradigma orientato non solo alla mera riduzione della contaminazione, ma anche al recupero della funzionalità e della salute della matrice suolo.

Il presente lavoro, con l'obietto di monitorare alcuni dei parametri compresi in allegato alla Direttiva sopracitata, approfondisce il ruolo di un approccio innovativo di ottimizzazione della tecnologia di bonifica landfarming basato sull'impiego di due ammendanti organici: compost e biochar. Per valutare il reale contributo derivante dall'applicazione di tali materiali, è stata condotta un'attività sperimentale su un suolo contaminato da idrocarburi pesanti (C>12) proveniente dallo stabilimento Itelyum, in regime di bonifica con messa in sicurezza operativa, sito nel SIN "Bacino del Fiume Sacco", caratterizzato da una concentrazione iniziale pari a 9370 mg/kg ss. La sperimentazione in lab-scale, ha visto il confronto di tre linee di trattamento, sviluppate in nove reattori in acciaio, ai quali è stata data una pendenza del 1% per permettere la raccolta del lisciviato; settimanalmente il suolo è stato sottoposto a rivoltamento ed alla misura dell'umidità, al fine di riprodurre le condizioni a scala reale di un sistema di landfarming. Le tre condizioni sperimentali testate, quali biostimolazione con impiego di una miscela di compost e biochar (BSM), biostimolazione tradizionale con fertilizzanti chimici (BS) e controllo (C), sono state oggetto di campionamento settimanale, al fine di valutare la biodegradazione degli idrocarburi ed i parametri

chimico fisici quali la tessitura, il pH, l'azoto, il fosforo e il carbonio organico.
I risultati hanno evidenziato, per ciascuna delle tesi oggetto di studio, una riduzione degli idrocarburi superiore all'85%, indicando una significativa capacità intrinseca di biodegradazione del suolo. Tuttavia, sono emerse sostanziali differenze nello stato di salute finale della matrice trattata; per ciascuno dei parametri analizzati infatti, il trattamento BSM ha mostrato un miglioramento. Nello specifico si evidenzia un incremento significativo del TOC passato dal 3% al 5%, un miglioramento della capacità di ritenzione idrica WHC, passato dal 36% al 43%, e una dinamica degradativa degli idrocarburi pesanti più regolare e statisticamente significativa ($p < 0,05$). La scelta di applicare compost e biochar è stata inoltre supportata dalla natura fine della matrice (60,5% delle particelle di dimensione inferiore a 0,063 mm). La miscela applicata in BSM ha infatti agito come bulking agent, migliorando porosità, aerazione e stabilità strutturale del sistema.
I risultati dimostrano che la sola riduzione della concentrazione dei contaminanti non rappresenta un criterio sufficiente per valutare la sostenibilità di un intervento di bonifica. L'impiego di ammendanti si configura invece come una strategia capace di associare efficacia di decontaminazione, incremento della sostanza organica e ripristino dello stato di salute complessivo del suolo.
Pertanto, il presente studio ha evidenziato la necessità di orientare gli interventi di bonifica verso approcci coerenti con gli obiettivi imposti dalla Direttiva (UE) 2025/2360.

Keywords: soil; landfarming; organic amendment; remediation; heavy hydrocarbons.

Contatti: francesca.lazzari@uniroma1.it, angela.antonucci@uniroma1.it, francesca.colais@uniroma1.it, jacopo.jirillo@itelyum.com, elisabetta.straccamore@itelyum.com, mariarosaria.boni@uniroma1.it.

Gestione e condivisione dei dati ambientali. L'esperienza di SOGIN nella bonifica del Centro Ricerche ENEA-Trisaia

Elena Bunone[1], Fabrizio Martocchia[1], Simone Piedilato[2], Pina Volpicelli[1],

[1] SOGIN S.p.A. [2] Regione Basilicata

Abstract

La gestione dei procedimenti di bonifica dei siti contaminati richiede strumenti capaci di integrare e organizzare grandi quantità di dati ambientali, territoriali e progettuali, provenienti dalle attività di caratterizzazione, monitoraggio e risanamento. In tale contesto, i Sistemi Informativi Territoriali rappresentano un supporto essenziale per la governance ambientale, consentendo di trasformare informazioni complesse in strumenti operativi a supporto delle decisioni e delle attività di controllo.

L'esperienza sviluppata nell'ambito della bonifica della falda del Centro Ricerche ENEA della Trisaia, interessata dalla presenza di contaminanti quali Tricloroetilene e Cromo Esavalente in concentrazioni superiori ai limiti normativi, costituisce un esempio significativo di applicazione di tali strumenti. Il procedimento, avviato ai sensi dell'art. 245 del D.Lgs. 152/2006, è stato coordinato dalla Regione Basilicata, che ha svolto il ruolo di Autorità responsabile, assicurando il coordinamento istituzionale tra gli enti coinvolti e promuovendo la condivisione delle informazioni necessarie alla valutazione dello stato ambientale e alla definizione degli interventi di bonifica.

Per supportare il processo decisionale e garantire una gestione condivisa delle informazioni, la Regione Basilicata ha promosso la realizzazione del SIT-TRISAIA, formalizzato attraverso un Protocollo d'Intesa sottoscritto con ARPA Basilicata, ENEA e Sogin. L'obiettivo è stato quello di creare un'infrastruttura informativa unica e costantemente aggiornata, capace di raccogliere, integrare e rendere disponibili i dati prodotti durante tutte le fasi del procedimento.

In questo contesto Sogin ha fornito il proprio contributo tecnico-specialistico, valorizzando l'esperienza maturata nelle attività di decommissioning nucleare e di gestione di piattaforme geospaziali

avanzate. Tali competenze hanno consentito di progettare e sviluppare l'architettura del database georeferenziato e di un sistema WebGIS, assicurando l'integrazione di dati provenienti da fonti eterogenee e la loro fruizione attraverso strumenti di analisi territoriale evoluti.
Il database del SIT comprende informazioni ambientali e territoriali di ampia natura: dati di monitoraggio e geotopografici, cartografie di base, risultati delle modellazioni idrogeologiche sulla dispersione degli inquinanti, elaborazioni tematiche e servizi cartografici pubblici. L'intero patrimonio informativo è organizzato all'interno di una piattaforma cloud accessibile tramite credenziali agli enti partecipanti al Tavolo Tecnico.
Il SIT-TRISAIA mette a disposizione mappe interattive, strumenti di consultazione documentale, layer scaricabili, report ambientali e dashboard per all'analisi dei contaminanti. Tali funzionalità consentono di correlare rapidamente dati spaziali e analitici, agevolando le attività di verifica e di valutazione tecnica. Grazie agli accordi di cooperazione tra i soggetti coinvolti, il sistema viene aggiornato e può essere ulteriormente implementato con nuove applicazioni e funzionalità.
I risultati dimostrano che una piattaforma condivisa migliora trasparenza, condivisione delle informazioni e coordinamento tra gli enti coinvolti. Grazie alla componente geografica e all'uso di standard interoperabili, il SIT-TRISAIA rappresenta un modello innovativo di gestione integrata dei dati ambientali a supporto delle attività di bonifica e tutela del territorio.

Keywords: Siti contaminati; Monitoraggio ambientale; Cooperazione istituzionale; GIS/WebGIS; SIT-TRISAIA

Contatti: bunone@sogin.it; martocchia@sogin.it

Esperienze di Valutazione del Rischio Sanitario da metalli pesanti in aree minerarie

Elisa Mariani [1], Maria Gabriella Andrisani[1], Antonella Vecchio[2], Federica Scaini [2]

[1] Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Elisa Mariani), [2]Istituto Superiore di Sanità

Abstract

Le aree minerarie dismesse rappresentano una delle principali sfide in materia di bonifica e gestione del territorio. Sono aree, spesso molto vaste, in cui le attività antropiche estrattive e di lavorazione dei materiali, in particolar modo metalliferi, contenuti naturalmente nei giacimenti, hanno amplificato la dispersione superficiale di tali elementi concentrata negli scarti di lavorazione. Ciò ha generato enormi volumi di rifiuti estrattivi che, antecedentemente al D.lgs. 117/2008, venivano sistematicamente abbandonati in strutture di deposito prive di presidi ambientali e senza una gestione di recupero. La peculiarità di tali contesti risiede nella sovrapposizione tra la contaminazione derivante dalle attività industriali e la presenza dell'anomalia geochimica dei metalli tipica del substrato mineralizzato che, seppur di origine naturale, potrebbe comportare rischi ambientali non accettabili per la salute umana e l'ambiente.

La normativa di riferimento per le bonifiche (D.lgs. 152/2006) prevede la possibilità che tali sostanze possano presentare, nelle matrici ambientali (suolo, sottosuolo, acque sotterranee), una concentrazione, definita Valore di Fondo (VdF) che superi le Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) se derivi da processi naturali, escludendo l'apporto di fonti puntuali di inquinamento antropico. I VdF possono essere assunti dalle Amministrazioni competenti come limiti di conformità ambientale. Tuttavia, tale conformità non azzera intrinsecamente la tossicità dei metalli presenti: infatti, non solo vengono preservate inalterate le proprie caratteristiche di tossicità, persistenza e bioaccumulo ma, abbandonati in cumuli di discariche, si rendono ancora più disponibili a diffondersi nelle matrici ambientali circostanti.

Le esperienze applicative hanno evidenziato che la valutazione del rischio sanitario in queste aree richiede necessariamente approcci

specifici, che tengano conto: della reale fruizione del territorio, compresi i possibili scenari di riqualificazione e riuso, della presenza di diversi scenari di esposizione e, soprattutto, delle concentrazioni biodisponibili poichè sono i processi di mobilizzazione che influenzano in maniera significativa l'effettiva esposizione dei recettori.
In questo contesto, l'utilizzo esclusivo dei VF non risulta sufficiente alla valutazione del rischio sanitario ma è fondamentale adottare un approccio di valutazione del rischio sito-specifica basato sull'effettiva esposizione integrando modelli concettuali rappresentativi e scenari di esposizione realistici.
L'approccio descritto è stato applicato in aree minerarie vaste ricadenti nel Sito di Interesse Nazionale (SIN) del Sulcis-Iglesiente-Guspinese. In questo ambito, sono stati utilizzati modelli avanzati per la valutazione dei percorsi di esposizione più rilevanti (inalazione, ingestione, contatto dermico e lisciviazione verso le acque sotterranee), in grado di rappresentare la complessità dei sistemi ambientali e di superare i limiti degli approcci basati sui soli VF. In tal modo è stato possibile orientare le azioni verso interventi mirati e con soluzioni di gestione sostenibili.

Keywords: Metalli, Contaminazione, Aree minerarie dismesse, Valori di Fondo

Contatti: elisa.mariani0892@gmail.com , mariagabriella.andrisani@isprambiente.it, antonella.vecchio@iss.it, federica.scaini@iss.it

Analisi dei PFAS in presenza di tesioattivi: influsso della concentrazione sui limiti di quantificazione

Tiziano Vendrame[1], Lisa Feltrin[1]

[1]ARPAV – Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto

Introduzione e obiettivi di studio

La presente esposizione illustra brevemente l'interferenza negativa causata dalla presenza di tensioattivi sulla quantificazione di alcuni PFAS (PFOA e PFOS in particolare) nel metodo che utilizza la cromatografia liquida ASTM D7968-23.

Durante l'analisi di alcuni prodotti commerciali con un elevato contenuto di tensioattivi si è riscontrato che il recupero degli standard interni utilizzati era praticamente nullo sui prodotti concentrati, mentre ritornava a valori accettabili per diluizione della miscela a valori di tensioattivi inferiori o paragonabili alla CMC (concentrazione micellare critica).

La diluizione consente di poter eseguire l'analisi correttamente, a costo tuttavia di un proporzionale incremento dei limiti di quantificazione

Metodologia

Per l'analisi viene usato il metodo ASTM D7968-23, ancorché destinato ai solidi, che prevede l'estrazione di 2g di campione con 10 ml di acqua/metanolo 1:1; per motivi pratici e considerato che i campioni liquidi sono più omogenei dei solidi, la quantità di campione e di estraente viene dimezzata; come standard si usano le seguenti miscele della Wellington: standard interno: MPFAC, standard di taratura: PFAC-MXC standard di controllo: PFAC-MXB.

La separazione in HPLC avviene su colonna Phenomenex Luna Omega PS C18 e l'analisi in LC-Massa su triplo quadrupolo Sciex 6500 Plus

I campioni analizzati che hanno evidenziato questo comportamento sono stati:

- additivi per cemento (additivo aerante) ad alto contenuto di tensioattivi (15%-20% laurilsolfato di sodio e analoghi);
- schiumogeni antincendio concentrati (residuo secco tra1.5% e 3.5% circa)

Risultati e conclusioni

La metodica adottata è idonea a rilevare su matrici complesse (fanghi e compost) PFAS con un LOQ di 0.2-0.25 µg/Kg, mentre su matrici liquide non interferite gli LOQ sono dell'ordine di 0.1 µg/Kg (o µg/l)

Nel caso dei tensioattivi in questione si è constatato che su campioni non diluiti il recupero degli standard interni era basso o nullo, e diventava invece accettabile con diluizioni sufficienti a portare la concentrazione di tensioattivo inferiore o dell'ordine della CMC (concentrazione micellare critica).

La diluizione comporta ovviamente un proporzionale innalzamento del LOQ, per cui su parecchi di questi campioni alcuni dei PFAS analizzati sono "balzati" a LOQ di 50 µg/Kg e in qualche caso di 250 µg/Kg.

Nel caso estremo dell'additivo ad alto contenuto di tensioattivi gli LOQ di molti PFAS sono stati portati a 500 µg/Kg

Contatti: tiziano.vendrame@arpa.veneto.it

Prime considerazioni sulla presenza di metalli pesanti nelle aree agricole della Valle del Sacco

***Giulia Sprecacenere*[1], *Federica Scaini*[1], *Eleonora Beccaloni*[1], *Gianluca Pirani*[2], *Antonella Vecchio*[1]**

1 Istituto Superiore di Sanità
2 Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

Il presente lavoro rientra nell'ambito del progetto "Caratterizzazione aree agricole ripariali", di cui all'Accordo di programma tra il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) e la Regione Lazio per la realizzazione degli interventi di messa in sicurezza e bonifica del SIN "Bacino del Fiume Sacco".
Lo studio ha avuto l'obiettivo di caratterizzare le aree agricole ripariali, secondo quanto previsto dal DM 46/2019, al fine di individuare e verificare la presenza e l'estensione della contaminazione nei suoli agricoli e nei vegetali coltivati o spontanei, in primis per valutare i potenziali rischi per flora e fauna, poi per gli esseri umani mediante la risalita della catena trofica. Il presente studio si pone l'obiettivo di verificare se, l'elevata presenza di elementi metallici nei terreni dell'area in esame, sia ascrivibile a fenomeni naturali oppure sia determinata dalle sue numerose attività antropiche, in prevalenza di natura agricola.
La principale criticità è stata la differenziazione tra la componente naturale da quella antropica e progressivamente, quella antropica diffusa da quella puntuale; tali informazioni risultano necessarie per definire il reale grado di inquinamento dell'area.
Va premesso che come previsto dalle normative ambientali di diversi paesi Europei compresa quella Italiana, per alcuni metalli e metalloidi, al fine di stabilire se essi siano stati originati da sorgenti naturali o da fonti antropiche, è necessario determinare i loro Valori di Fondo naturale (VFN).
In particolare, per le aree a destinazione d'uso agricolo, l'Allegato 2 - "Concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) per i suoli delle aree agricole" del DM 46/2019, individua le concentrazioni massime di sostanze chimiche inorganiche ed organiche, evidenziando che per le prime il valore riportato è da utilizzare solo in assenza di Valori di Fondo (VF) validati.

L'elaborazione dei Valori di Fondo nel presente studio è stata articolata in continuità con il lavoro di ISPRA del 2009 "Determinazione dei Valori di Fondo Naturale dei terreni per metalli e metalloidi nel Sito di Interesse Nazionale della Valle Del Sacco". Analogamente, essa è stata basata su un approccio di tipo geologico combinato all'analisi statistica dei dati di campo elaborati tramite Excel e Pyton, nonché fondata sulle informazioni scientifiche ad oggi disponibili.
Le principali litologie, dunque, sono state individuate sulla base della Carta Geologica Regionale del Lazio 1:25000, e le singole unità di prelievo sono state associate alle formazioni affioranti nelle rispettive aree. Successivamente sono state identificate le coppie di metalli che presentano una maggiore correlazione tra loro e un minore indice di dispersione relativo ai rapporti aritmetici tra le concentrazioni riscontrate, indicativo di un'origine naturale. L'elaborazione ha consentito di definire, per ciascun microinquinante inorganico, un range di concentrazione di riferimento finalizzato al confronto con i risultati della caratterizzazione delle aree agricole ripariali del SIN Bacino del Fiume Sacco.
Su tale base sono stati individuati criteri operativi per l'interpretazione dei dati: i valori ricadenti all'interno dell'intervallo individuato sono riconducibili al fondo naturale; i valori moderatamente superiori richiedono una verifica del passaggio suolo-pianta; i valori marcatamente superiori potrebbero essere indicativi di una probabile origine antropica.

Keywords: Suoli agricoli, Valori di Fondo, Metalli e metalloidi, SIN Bacino del Fiume Sacco, Siti contaminati

Contatti: *giulia.sprecacenere@guest.iss.it, federica.scaini@iss.it, eleonorabeccaloni@tiscali.it ,gianluca.pirani@isprambiente.it, antonella.vecchio@iss.it*

Tecniche di risanamento di rilevati arginali con iniezioni di resine espandenti

***Marco d'Attoli*[1], *Fabio Navi*[1], *Andrea Occhi*[1], *Daniele Gualerzi*[1], *Marco Occhi*[1]**

[1] Geosec.

Abstract

Sempre più frequentemente gli enti preposti alla gestione del reticolo idrografico italiano affrontano problematiche di dissesti di rilevati arginali causati da tane e cunicoli sotterranei scavati da animali. Tali vuoti, in condizioni di piena, possono costituire delle vie di flusso preferenziali e portare alla formazione di fontanazzi e, nei peggiori dei casi, al collasso del rilevato arginale con conseguente inondazione delle aree circostanti.

Geosec ha testato una nuova tecnologia finalizzata a risanare i rilevati affetti da tali problematiche mediante il riempimento dei cunicoli con l'iniezione di resine poliuretaniche espandenti. Scopo del test è stato quindi quello di saturare i vuoti presenti all'interno del corpo arginale sfruttando la proprietà espandente della resina la quale si fa strada laddove incontra minor resistenza. La resina, inoltre, grazie alle sue proprietà meccaniche garantisce un ripristino delle condizioni strutturali del rilevato e ne riduce la permeabilità essendo essa stessa impermeabile. L'intervento risulta poco invasivo e non richiede attività di scavo.

Metodologia

La resina poliuretanica espandente sfrutta istintivamente i punti di minor resistenza già presenti nel terreno occupando vuoti e porosità durante tutto il suo avanzamento.

Le elevate proprietà meccaniche la rendono difficilmente scalfibile dall'azione meccanica di un animale. Una delle proprietà fondamentali del prodotto è la sua stabilità dimensionale ovvero la sua proprietà di mantenere nel tempo e nelle diverse condizioni di esercizio le sue dimensioni originarie e la sua forma.

Altresì importante è la sua compatibilità ambientale secondo i dettami del d.lgs. 152/2006 e s.m. . Il prodotto reagito non inquina le falde e non cede sostanze a contatto con l'acqua.

La soluzione è stata testata in un tratto di rilevato arginale su sponda destra del fiume Po ubicato nel comune di Gabiano (AL).
Tale tratto di rilevato si presentava gravemente ammalorato per uno sviluppo di circa 80 metri lineari a causa della presenza di cunicoli di grandi dimensioni scavati da nutrie. Il campo prova è stato eseguito scegliendo il tratto di circa 24 metri lineari maggiormente ammalorato.
Si è prevista una campagna di indagini preliminari finalizzata a stimare la geometria dei cunicoli interni
al rilevato arginale e i volumi di materiale asportato.
Tale fase ha previsto l'esecuzione di georadar, tomografie di resistività elettrica, prove penetrometriche dinamiche DPM30.
Particolare attenzione è stata posta all'indagine georadar la quale utilizza onde elettromagnetiche per mappare il sottosuolo e rilevare, in modo non distruttivo, informazioni quali strutture sepolte, cavità sottoservizi ecc. .
L'indagine georadar è stata eseguita sulla sommità arginale ed è stata spinta sino ad una profondità di circa 3 m permettendo di indagare il volume di rilevato interessato dai cunicoli e di identificare frequenze associabili a vuoti.
E' stata inoltre integrata con la tomografia di resistività elettrica per la misura della resistività del terreno costituente il corpo del rilevato. Anche la tomografia consente infatti, in modo indiretto e non distruttivo, di identificare la presenza di anomalie interne al rilevato associabili alla possibile presenza di vuoti e cavità.
Sono stati eseguiti 5 stendimenti tomografici da 24 elettrodi ciascuno. Due di tali stendimenti sono stati disposti linearmente sulla sommità arginale, due ad una quota intermedia delle sponde e uno alla base del rilevato lato fiume, lato su cui si concentravano maggiormente gli ingressi delle tane. Tale configurazione ha
permesso la ricostruzione del modello 3D dei valori di resistività del rilevato interessato fino a una profondità d'indagine pari a - 8 m dalla sommità arginale. L'analisi dei valori ha portato all'individuazione di volumi alto-resistivi associabili alla possibile presenza di macro-cavità. Una prima analisi dei dati geofisici ha portato ad una stima di un volume di vuoti correlabili a cavità interne al rilevato indagato pari a circa 20 m3.
Dopo l'elaborazione e analisi dei dati rilevati durante la prima fase della campagna di indagini, si è proceduto ad indagare in modo diretto e puntale le aree ove il modello geofisico aveva evidenziato maggiori

criticità. Tale fase di taratura del modello è stata effettuata mediante prove penetrometriche dinamiche DPM30.
Le prove hanno permesso, in più punti, l'intercettazione di cavità dell'altezza di 20-30 cm e disposte a quote variabili ma comunque comprese tra la sommità arginale e -3 m da essa. E' stata quindi confermata la bontà del modello geofisico e la sua utilità allo scopo.
Prima di procedere alla successiva fase di foratura si è infine eseguita una mappatura degli ingressi delle tane al fine di poter controllare anche visivamente la saturazione dei vuoti.
I fori di iniezione sono stati realizzati in corrispondenza dei punti ove, precedentemente, era stata appurata la
presenza delle cavità. I fori sono stati eseguiti manualmente con trapani a rotopercussione e con punte diametro 2,5 cm circa. Pertanto, non è stato necessario eseguire scavi o asportazione di materiale.
All'interno dei fori sono state inserite cannule di alluminio per la successiva iniezione della miscela poliuretanica. Le cannule sono state inserite sino alla quota della cavità intercettata. Nei fori in cui sono state intercettate cavità a quote diverse si è proceduto ad una iniezione multilivello.
Le iniezioni sono state condotte quindi dalla sommità arginale intercettando i cunicoli scavati. In ciascun foro si è iniettato fino a rilevare visivamente la fuoriuscita del materiale dagli ingressi delle tane o rigonfiamenti del rilevato che suggerivano una saturazione degli spazi disponibili. Al termine delle iniezioni si è accertato
che ciascun ingresso risultasse completamente ostruito dalla resina.
Sono stati iniettati complessivamente iniettati 1193 kg di prodotto corrispondenti ad un volume di circa
9,8 m3 ovvero in linea con il volume di vuoti stimati attraverso le indagini preliminari.
A completamento dell'opera si è ricoperta la resina con terreno onde evitare di esporla all'azione diretta dei raggi UV.
Risultati e conclusioni
Al termine delle iniezioni sono state ripetute le indagini georadar e di tomografia di resistività elettrica attraverso cui è stato possibile appurare un riempimento dei vuoti grazie all'incremento dei valori delle frequenze e dei valori resistivi, incremento causato dalla presenza della resina essendo quest'ultima un materiale alto-resistivo.

Il test condotto ha permesso di verificare ottime possibilità di applicazione della tecnica illustrata nel campo del risanamento dei rilevati arginali affetti dalla presenza di tane e cunicoli. L'intervento può essere ritenuto efficace, duraturo e a ridotto impatto sia per il rilevato che da un punto di vista paesaggistico.

Contatti: ufficiotecnico@geosec.it, ufficiotecnico1@geosec.it, commerciale@geosec.it, tecnico@geosec.it, direzione@geosec.it

Dalla bonifica di litostrutture antropiche in cave dismesse alla realizzazione di una discarica per rifiuti non pericolosi: un approccio integrato geotecnico-ambientale

Gianluca Intini[1], Vito Specchio[2], Francesco Gioia[3], Antonio Zibisco [4], Matteo Dibisceglia[1]

[1] T&A - Tecnologia e Ambiente S.r.l., [2]Aquanumerica Spin Off Politecnico di Bari, [3]Trevi S.p.A., [4]Independent researcher

Il caso-studio è di fatto un rilevante esempio di economia di riutilizzo di geositi relitti, usati negli anni Ottanta come bacini di accumulo di residui di processi industriali siderurgici (litostrutture antropiche) per la realizzazione di una discarica per rifiuti non pericolosi. L'intervento ha avuto una duale, precipua, finalità: un approfondito studio sulle metodiche di riqualificazione di questi geositi sepolti, mediante una analisi sulle effettive e concrete possibilità di cessione residua delle composizioni di risulta (del processo industriale), classificazione, verifica delle possibilità di riutilizzo della ammasso detritico vagliato (deposto preliminarmente in apposite piattaforme di attesa) e bonifica litostrutturale del catino-relitto mediante interventi di trattamento geotecnico delle pareti; riqualifica geostrutturale mediante verifica delle pareti ridefinite da rimozione della litostruttura antropica, finanche realizzando elementi di discontinuità trasversali per il completamento del catino (parete in terre armate di collegamento della morfostruttura residua della pregressa escavazione).

Le fasi qui sintetizzate sono state oggetto di studi assestanti in approfondimento delle risposte fisico-chimiche, fisico-elastiche, con progettazione di trattamenti geotecnici di elevazione della stabilità delle pareti mediante trattamenti con malte cementizie, reti di protezioni, tiranti e iniezioni di intasamento e riduzione progressiva del grado di fratturazione/fessurazione dei sistemi di lesioni occupanti spazio. La realizzazione di un lotto di discarica, con una volumetria complessiva pari a 4,6 milioni di metri cubi, è stata possibile grazie all'impostazione di un processo di gestione integrato delle materie che ha previsto la rimozione controllata di circa 1,65 milioni di metri cubi di litostruttura antropica precedentemente abbancata sul sito.

L'approccio adottato ha privilegiato la valorizzazione delle materie presenti che, attraverso l'esecuzione di trattamenti fisici e controlli ambientali, sono state riutilizzate in situ come riempimento strutturale del fondo cava. La realizzazione di tale riempimento ha consentito di ridurre significativamente l'impatto ambientale delle lavorazioni, evitare il ricorso a conferimenti esterni e incrementare il franco di sicurezza rispetto alla falda acquifera sottostante.
L'intervento ha previsto, anche, la riconfigurazione morfologica dell'intero catino di cava, resa necessaria dalla presenza di fronti instabili e dalla eterogeneità dell'assetto geotecnico, attraverso la realizzazione di opere geotecniche specificamente progettate per superare le criticità riscontrate. Il progetto costituisce un caso applicativo avanzato in cui la gestione delle materie, il recupero di rifiuti mediante specifici trattamenti e controlli e la progettazione geotecnica ambientale sono stati integrati in un unico processo coordinato. Le soluzioni tecniche implementate, insieme alle metodologie di controllo e di monitoraggio sviluppate, rendono l'esperienza replicabile in altri contesti caratterizzati dalla necessità di bonifica o messa in sicurezza, recupero o riqualificazione di cave dismesse in aree a elevata sensibilità ambientale.
L'intero intervento descritto nei paragrafi precedenti è stato concluso nel 2022 ed ha evidenziato il successo della strategia d'intervento avendo superato tutte le fasi di collaudo finali, dalle opere strutturali, ancora oggi oggetto di monitoraggio, alle opere ambientali di messa in sicurezza della falda acquifera, anch'essa oggetto di monitoraggio attraverso la rete piezometrica di controllo implementata durante la fase di realizzazione dell'intervento. L'esperienza maturata nell'ambito delle attività descritte ha evidenziato la possibilità concreta di attuare strategie sostenibili nella gestione di materiali antropici per far fronte alla costante necessità di individuare siti idonei alla realizzazione di infrastrutture ambientali, come le discariche, anche in contesti ambientali e morfologici complessi, favorendone il recupero.

Contatti: g.intini@tecnologiaeambientesrl.com

Innovazione educativa e partecipazione territoriale: il ruolo strategico del sistema INFEAS e dei CEAS

Ilaria Savino[1], Simona Amodio[1], Gabriella Calvano[2], Vito Felice Uricchio [1]

[1] Istituto per le Tecnologie della Costruzione - Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-ITC), Bari, Italia [2] Dipartimento di Ricerca e Innovazione Umanistica (DIRIUM), Università degli Studi di Bari, Bari, Italia

Abstract

Negli ultimi anni, il contesto contemporaneo è stato interessato da profonde trasformazioni ambientali, sociali ed economiche che hanno reso sempre più urgente una riflessione critica sui paradigmi attraverso cui comunità locali e istituzioni affrontano le sfide della sostenibilità. La transizione ecologica richiede la costruzione di strumenti culturali, educativi e partecipativi idonei a rendere la sostenibilità una pratica condivisa. Ciò implica il riconoscimento dell'educazione quale leva fondamentale di trasformazione nel lungo periodo, favorendo il superamento di una concezione dell'educazione alla sostenibilità da prevalentemente naturalistica ad un approccio integrato. A tal riguardo, il sistema INFEAS, nato negli anni Novanta come sistema nazionale finalizzato a coordinare e promuovere l'informazione, la formazione e l'educazione ambientale sul territorio, assume un ruolo strategico nel favorire la collaborazione tra istituzioni, enti locali, scuole, università e associazioni. Il sistema si fonda su una rete di strutture, tra cui i Centri di Educazione all'Ambiente e alla Sostenibilità (CEAS), quali presìdi territoriali di apprendimento permanente e di innovazione educativa. Tuttavia, a fronte di un consolidamento del quadro normativo delineato dalla Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile e dall'Agenda 2030, il Sistema INFEAS e la rete dei CEAS continuano ancora oggi a confrontarsi con numerose criticità legate alla disomogeneità territoriale, alla frammentazione della rete, alla discontinuità dei finanziamenti e alla limitata integrazione delle politiche pubbliche. In tale contesto, il progetto *INFEAS 3.0: Innovazione e partecipazione dei territori per l'educazione all'ambiente, alla sostenibilità e alla cittadinanza globale* mira a rafforzare il Sistema INFEAS in un hub di innovazione educativa e partecipazione territoriale, capace di

supportare la transizione ecologica attraverso l'educazione ambientale, lo sviluppo sostenibile e la cittadinanza globale. Il progetto incrocia i tre vettori dello sviluppo sostenibile: coerenza delle politiche, intesa come capacità delle istituzioni di integrare i principi dello sviluppo sostenibile nei processi di pianificazione e gestione territoriale; cultura della sostenibilità, volta alla diffusione di conoscenze, valori e pratiche responsabili; e partecipazione territoriale, quale elemento imprescindibile nella definizione delle strategie di tutela e valorizzazione ambientale. Partendo da contesti ad alta fragilità ambientale, come il caso emblematico di Taranto, il progetto mira a rendere la città un laboratorio privilegiato di partecipazione e rigenerazione territoriale, realizzando un nuovo modello di *governance* da formalizzare in linee guida trasferibili a livello nazionale, un'infrastruttura della conoscenza, un archivio di pratiche efficaci, nonché uno strumento di valutazione condiviso. Il rafforzamento del Sistema INFEAS rappresenta un'opportunità strategica per accompagnare i territori verso modelli di sviluppo più resilienti, inclusivi e sostenibili, contribuendo concretamente al raggiungimento degli Obiettivi dell'Agenda 2030 e alla costruzione di comunità capaci di affrontare le sfide ambientali del presente e del futuro.

Keywords: sostenibilità, educazione, INFEAS, partecipazione.

Contatti: ilariasavino@cnr.it; amodio@itc.cnr.it; gabriella.calvano@uniba.it; vitofelice.uricchio@cnr.it

Modellazione idrogeofisica 3d della discarica di Malagrotta: verso un digital twin per la gestione del sito e la valutazione integrata dei volumi di rifiuti, del percolato e delle dinamiche idrogeologiche

Paolo Ciampi[1]*, Giorgio Cassiani[2], Nino Tarantino[3], Giovanni Savarese[3], Aldo Papotto[3], Giuseppe Vadalà[3], Marco Petrangeli Papini[1]

[1] Università di Roma "La Sapienza", 2 Università di Padova, 3 Struttura del Commissario Unico per la bonifica delle discariche e dei siti contaminati.

Abstract

Introduzione e obiettivi di studio

L'ex discarica di Malagrotta rappresenta uno dei siti ambientalmente più complessi e rilevanti a scala nazionale, per l'ingente accumulo di rifiuti, la produzione di percolato e i potenziali impatti sulle matrici ambientali circostanti. Il lavoro presenta un'analisi multidisciplinare del sito basata sull'integrazione sistematica di dati geognostici, geofisici, idrogeologici e chimico-ambientali acquisiti in oltre vent'anni di attività, finalizzata allo sviluppo di un modello concettuale evoluto e alla realizzazione di un primo digital twin del sito. Obiettivo del lavoro è sviluppare una piattaforma informativa unificata e dinamica capace di: (i) ricostruire in 3D la distribuzione dei rifiuti e del percolato; (ii) stimarne i volumi geometrici ed effettivamente mobilizzabili; (iii) analizzare i possibilipercorsi di migrazione del percolato; (iv) fornire una base tecnico-scientifica per supportare attività di monitoraggio, gestione e bonifica.

Lo studio si basa sulla digitalizzazione e integrazione di un ampio patrimonio di dati eterogenei, comprendente oltre 400 punti georeferenziati tra piezometri, pozzi MISE, pozzi di percolato e saggi di scavo, integrati con 257 sondaggi a carotaggio continuo fino a 100 m di profondità, infrastrutture di sito e circa 3.000 pozzi biogas.

È stato sviluppato un geodatabase e un modello tridimensionale del sottosuolo discretizzato in circa 589 milioni di voxel (2 × 2 × 0,5 m), vincolato da DEM LiDAR ad alta risoluzione e da interpolazione stratigrafica data-driven. La modellazione dei volumi di rifiuti e percolato è stata effettuata mediante interpolazione spaziale dei dati

di spessore, integrando vincoli geologici e strutturali, con valutazione dei volumi effettivi tramite porosità efficace.
Il quadro modellistico è stato integrato con indagini geofisiche non invasive (tomografia elettrica di resistività, ERT), monitoraggi piezometrici e analisi chimiche delle acque sotterranee, finalizzati alla verifica di accumuli di percolato, gradienti idraulici e possibili fenomeni di migrazione degli inquinanti.
Le elaborazioni geologiche, geofisiche e idrogeologiche delineano un sistema complesso, caratterizzato da condizioni di saturazione diffusa e da locali elevati gradienti idraulici. Le evidenze indicano criticità sia nella gestione del percolato sia nelle dinamiche di flusso in un contesto idrogeofisico e chimico articolato, coerentemente supportate dall'integrazione tra modellazione 3D, indagini geofisiche e monitoraggio piezometrico. L'approccio adottato dimostra come la lettura integrata dei dataset consenta di superare una visione frammentata del sito, restituendo un quadro conoscitivo più robusto e coerente. Il lavoro rappresenta un primo tentativo di organizzare in modo sistematico l'intero patrimonio informativo disponibile su Malagrotta in un modello tridimensionale dinamico, configurabile come base per un futuro digital twin del sito. Più che nella sola quantificazione volumetrica, il valore del contributo risiede nella capacità di ricostruire processi, relazioni e criticità ambientali in una piattaforma replicabile e aggiornabile, a supporto delle strategie di monitoraggio, messa in sicurezza e pianificazione degli interventi di bonifica.

Bibliografia
[1] Ciampi, P., Cassiani, G., Felli, G., Tarantino, N., Savarese, G., Vadalà, G., Petrangeli Papini, M. (2026). Landfill contamination and slope instability mapping through multi-source data fusion: advancing multi-hazard detection via 3D modeling, geophysical investigations, and open GIS data. Waste Management, 209, 115216. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2025.115216.
[2] Ciampi, P., Cassiani, G., Tarantino, N., Savarese, G., Vadalà, G., Papotto, A., Petrangeli Papini, M. (under review). Non-invasive hydro-geophysical imaging of landfill leachate source-to-plume dynamics using electromagnetic induction methods, geochemistry and hydrological modelling. Engineering Geology.

Contatti: paolo.ciampi@uniroma.it

Utilizzo del fingerprinting composizionale per identificare e datare sversamenti di prodotti petroliferi nell'ambiente

Alice D'Angelo[1], Claudio Meregalli[1], Diego Tacchini[1], Massimo Marchesi[2]

[1]Isotope Tracer Technologies Europe S.r.l., Italy
[2]Università degli studi di Roma La Sapienza

Abstract

Le fuoriuscite di petrolio e prodotti petroliferi rappresentano un grave problema ambientale e richiedono un'analisi forense accurata per determinarne cause, responsabilità e impatti. La tecnica del fingerprinting composizionale emerge come uno strumento fondamentale in questo contesto, permettendo un'analisi dettagliata dei campioni contaminati e dei relativi residui ambientali attraverso l'uso di strumentazioni sofisticate e tecniche analitiche specifiche.
Tale metodologia è una tecnica analitica, basata sulla norma EN 15522/2025, utilizzata per identificare e caratterizzare campioni provenienti da siti contaminati da prodotti idrocarburici, conferendo ad ogni diversa tipologia di prodotto una "impronta digitale" che riflette la sua composizione chimica. Questa "impronta digitale" permette quindi di identificare e confrontare campioni per determinare la tipologia del prodotto che ha causato lo sversamento (benzina, cherosene, gasolio, olio minerale, greggio) ed individuare eventuali variazioni nella composizione nel tempo o nello spazio. Il processo inizia con l'identificazione della fuoriuscita e con la raccolta e la preparazione dei campioni (oli, acque contaminate, campioni di suolo/terreno) seguita da un'analisi in gascromatografia accoppiata a spettrometria di massa per separare e riconoscere i diversi composti che compongono i campioni contaminati.
Da tale analisi si ottengono cromatogrammi che permettono di identificare a quale prodotto/frazione petrolifera si possa attribuire l'origine della contaminazione, possedendo ogni frazione petrolifera un'impronta caratteristica. Elaborando i dati analitici si identifica la distribuzione relativa dei vari composti/isomeri all'interno delle

famiglie omologhe più rappresentative (n-alcani, n-alchilcicloesani, naftaleni, BTEXs e alchilbenzeni ed isoprenoidi) mediante analisi per frammenti m/z caratteristici. Pur non restituendo valori di concentrazione assoluti per quei composti ricercati, tale metodo consente di verificare la presenza o meno di composti target specifici e di determinare la distribuzione relativa di composti appartenenti a famiglie omologhe di interesse. Successivamente si procede ad una stima del livello di degradazione e di una possibile datazione mediante l'utilizzo di diversi indicatori (stadi di Kaplan, rapporto n-C17/pristano, rapporto Rb (Benzene + Toluene/Etilbenzene + Xileni) in modo da poter valutare e attribuire le responsabilità della fuoriuscita.
Costi sempre più elevati di caratterizzazione, messa in sicurezza e successiva bonifica dei siti contaminati stanno infatti mettendo in evidenza
la necessità di una precisa e corretta attribuzione delle responsabilità, in particolar modo per casi complessi dove, ad esempio, la proprietà è mutata nel tempo, o piuttosto dove la presenza di possibili altri responsabili non sia da escludersi. Il fingerprinting composizionale si pone quindi come analisi di riferimento per far fronte a questa importante problematica ambientale.

Keywords: Fingerprinting Composizionale; Contaminazione idrocarburica; Analisi GC-MS; Forense ambientale;
Contacts: alice.dangelo@it2europe.com, claudio.meregalli@it2europe.com, diego.tacchini@it2europe.com, massimo.marchesi@uniroma1.

La bonifica bellica sistematica terrestre

Magg. Rosanna Lupo [1]

[1] 5° Reparto Infrastrutture - Ufficio B.C.M..

Abstract

Durante il secondo conflitto mondiale è stato stimato che sul nostro territorio nazionale siano state sganciate circa 378.900 tonnellate di bombe. Nell'immediato dopoguerra, a seguito delle campagne di risanamento del territorio, sono stati recuperati e distrutti circa 22.500 quintali di esplosivi. Per dare un'idea dell'entità del fenomeno, delle 150.000 bombe da 500 lbs sganciate dagli alleati ne sono state rinvenute 24.000 in circa 80 anni: ad oggi sottoterra si trovano circa 126.000 bombe da 500 lbs, che rappresentano solamente un'aliquota degli ordigni inesplosi potenzialmente letali (bombe a mano, granate di artiglieria, cartucciame vario).

Pertanto, nella progettazione di qualsiasi intervento che preveda attività di scavi, di qualsiasi tipologia e profondità, è fondamentale ponderare la necessità di dover effettuare la bonifica bellica preventiva del sito, per garantire la sicurezza delle maestranze durante le lavorazioni principali.

Scopo del presente lavoro è quello di illustrare la Direttiva GEN-BST-001 e le procedure relative alla bonifica bellica sistematica terrestre.

Metodologia

L'attività di indagine per il rinvenimento di ordigni bellici inesplosi, a lungo lasciata allo spirito d'iniziativa dei committenti, è stata disciplinata, sotto il profilo della sicurezza sul lavoro, con la promulgazione della Legge 1° ottobre 2012 n. 177 recante "Modifiche al decreto legislativo 9 aprile 2008 n. 81 in materia di sicurezza sul lavoro per la bonifica degli ordigni bellici" (G.U. n. 244 del 18 ottobre 2012). In particolare, in sede progettuale, è stata imposta la valutazione del rischio dovuto alla presenza di ordigni bellici inesplosi rinvenibili durante le attività di scavo nei cantieri. Sulla base di tale valutazione, qualora ritenuto necessario dal coordinatore per la progettazione, il committente provvede ad incaricare un operatore economico specializzato (iscritto in un apposito Albo istituito presso il Ministero della Difesa) per l'esecuzione dell'attività di bonifica

preventiva e sistematica, al fine di garantire che ogni parte del volume di terreno sul quale saranno condotte successivamente delle attività antropiche sia privo di ordigni.
L'iter tecnico-amministrativo delle attività di Bonifica Bellica Sistematica Terrestre (di seguito BST) è regolamentato dalla Direttiva Tecnica di settore (GEN-BST-001) emanata dal Ministero della Difesa – Direzione Generale dei Lavori e può essere sinteticamente suddiviso nelle seguenti fasi:
− fase 1: il Soggetto Interessato (colui che ha interesse nell'eliminazione del rischio di ordigni bellici) presenta specifica istanza all'Autorità Militare territorialmente competente (di seguito OEP), il quale emetterà il Parere Vincolante in merito alle specifiche regole tecniche da osservare in considerazione della collocazione geografica e della tipologia dei terreni interessati;
− fase 2: l'operatore economico specializzato incaricato dal Soggetto Interessato esegue l'attività di BST;
− fase 3: al termine dell'attività l'operatore economico specializzato emette l'Attestato di Bonifica Bellica e lo invia, notiziando il Soggetto Interessato, all'OEP.
La conclusione dell'iter tecnico amministrativo con l'assunzione a protocollo da parte dell'OEP dell'Attestato di Bonifica Bellica rappresenta la più significativa novità introdotta dalla Direttiva GEN-BST-001 Edizione 2025, che elimina la validazione dell'Attestato da parte dell'Autorità Militare.
Risultano per contro invariate le modalità tecnico operative per lo svolgimento della Bonifica Sistematica Terrestre, che si articola in Bonifica Superficiale e Bonifica Profonda.
La Bonifica Superficiale consiste nelle attività di ricerca, localizzazione e scoprimento di ordigni esplosivi residuati bellici nonché di tutte le masse metalliche presenti superficialmente sul terreno e all'interno di uno strato di profondità massima di 1,00 m. mediante specifici apparati di ricerca.
La Bonifica Profonda a profondità maggiori di -1,00 m. dal p.c. prevede la suddivisione dell'area da bonificare in quadrati aventi il lato di 2, 80 metri, la perforazione al centro di ciascun quadrato a mezzo di trivella non a percussione ed il sondaggio di ciascun foro tramite l'inserimento della sonda dell'apparato di ricerca per profondità successive (-1,00 m, -3,00 m., -5,00 m e -7,00m). Ad oggi la profondità d'indagine convenzionale massima stabilita è pari a -7,00 m. dal p.c..

Qualora non fosse possibile applicare la suddetta procedura, esistono altre modalità tecnico operative, da attuarsi in funzione della natura del terreno ed il suo stato di antropizzazione, della presenza di acqua o di rilevanze archeologiche.
Ad esempio, in presenza di diffuse anomalie ferromagnetiche, la quale non consente l'applicazione della Bonifica Profonda mediante fori trivellati, risulta necessario applicare la Bonifica Profonda mediante scavo meccanico a strati, che prevede il vaglio del materiale scavato per strati inferiori ai 30 cm. fino alla rimozione delle interferenze. Tale metodologia, in rapporto alla procedura tradizionale, presenta tempi notevolmente più lunghi e conseguentemente costi maggiori.
Conclusioni
La bonifica bellica sistematica terrestre è un'attività onerosa ma fondamentale al fine di garantire la sicurezza delle maestranze durante le attività di scavo. Qualora dalla valutazione del rischio bellico (per la quale il Ministero della Difesa fornisce supporto a titolo non oneroso) il coordinatore per la progettazione ritenga necessario procedere con la bonifica bellica, risulta essenziale progettare attentamente le attività. La durata di esecuzione e i costi della bonifica bellica, infatti, dipendono da molteplici fattori che dovrebbero essere accuratamente valutati e quantificati al fine di evitare scostamenti economici e ritardi durante l'avvio del cantiere.

Contatti: rosanna.lupo1@esercito.difesa.it

Gestione ambientale dei residuati da esercitazione nei fondali marini: approccio integrato e linee guida dei poligoni di Capo Teulada (SU) e Torre Veneri (LE)

Paola Renzi[1], Luigi Nicola Alcaro[1], Pierpaolo Giordano[1], Claudio Numa[1], Ten. Col. Marco dott. Fella[2]

[1] Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale – Centro Nazionale per le Crisi e le Emergenze ambientali e il danno (CN-CRE).
[2]Stato Maggiore dell'Esercito - Direzione per il Coordinamento Centrale del Servizio di Vigilanza e Prevenzione e Protezione

Abstract
Dalle risultanze "Progetto Poligoni", nato 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), è derivato un nuovo accordo di collaborazione tra l'Istituto superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale (ISPRA) e lo Stato Maggiore dell'Esercito (SME), che consiste in un'attività a carattere tecnico-scientifico e che ha consentito di redigere "linee guida", sito-specifiche per ciascuno dei due siti, individuando i contesti nei quali si renda necessaria o meno la rimozione di residuati del munizionamento impiegato nelle esercitazioni dai fondali marini interessati, corredate di misure di mitigazione.
Metodologia
Le preliminari attività di valutazione volte ad accertare la possibile nocività di questi residuati del munizionamento hanno utilizzato 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.
Per quanto concerne la stesura delle linee guida sito specifiche ci si è avvalsi delle informazioni presenti in letteratura, della normativa corrispondente, ma soprattutto dell'esperienza maturata sul campo dai ricercatori ISPRA relativamente a questa tematica, approdando a

concepire un diagramma decisionale che sintetizza in forma grafica il percorso decisionale da intraprendere per la gestione dei residuati.

Keywords: coastal marine environments; UXO and non-UXO; ecotoxicology; bioassays; biomarkers, methodological guide; environment remediation.

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

UNI/PDR 191:2026: Linee guida per la definizione delle terre da coltivo ottenute dal risanamento biologico di terreni contaminati

Davide Rossi[1], Giancarlo Renella[2], Mentore Vaccari[3], Solveig Tosi[4], Tomaso Munari[5], Edoardo Puglisi[6], Lucia Bonadonna[7], Luigi Righini[8], Marco Bascape[8], Elisabetta Perrotta[9], Massimo Pugliese[10], Federico Turano[11], Andrea Franzetti[1]

[1] Università degli Studi di Milano-Bicocca (DISAT), Piazza della Scienza 1, 20126 Milano; [2] Università degli Studi di Padova – Dip. DAFNAE; [3] Università degli Studi di Brescia – Dip. DICATAM; [4] Università degli Studi di Pavia – Dip. di Biologia e Biotecnologie; [5] Universitàdegli Studi di Genova – DISTAV; [6] Università Cattolica del Sacro Cuore – BIOCREA / ISO TC; [7] Istituto Superiore di Sanità (ISS); [8] Ordine dei Chimici e dei Fisici; [9] AssoAmbiente; [10] TÜV Italia; [11] UNI – Ente Italiano di Normazione

Abstract

Il suolo è una risorsa non rinnovabile alla scala temporale delle attività umane e la sua tutela rappresenta una priorità strategica nelle politiche europee, sancita dal Green Deal e dalla EU Soil Strategy 2030. Secondo i dati SNPA 2025, nel solo 2024 sono stati consumati in Italia circa 84 km² di nuove superfici artificiali. Parallelamente, i dati ISPRA indicano che nel 2022 sono state prodotte in Italia oltre 18,5 milioni di tonnellate di rifiuti terrosi, di cui il 95% è stato avviato a filiere di recupero, ma una quota significativa di questi materiali non riesce a raggiungere la cessazione della qualifica di rifiuto (End of Waste, EoW) ai sensi dell'art. 184-ter del D.Lgs. 152/2006 e viene conseguentemente smaltita in discarica, con un impatto ambientale ed economico rilevante.

Questa criticità deriva in larga misura dall'assenza di criteri tecnici armonizzati per la classificazione e il riutilizzo dei terreni recuperati. In tale contesto si inserisce la Prassi di Riferimento UNI/PdR 191:2026 "*Linee guida per la definizione delle terre da coltivo ottenute dal risanamento biologico di terreni contaminati*", elaborata dal Tavolo UNI/PdR "Terre da coltivo" su iniziativa del Dipartimento di Scienze

dell'Ambiente e della Terra (DISAT) dell'Università degli Studi di Milano-Bicocca.

L'obiettivo primario della PdR è fornire un quadro di riferimento tecnico, ambientale, sanitario e agronomico per la produzione e l'impiego di "terre da coltivo", definite come materiali terrosi con livelli variabili di umidità, strutturanti, ammendanti e fonti di nutrienti, risultanti da processi di risanamento biologico e idonei all'impiego per ripristino e modellazione del paesaggio in scenari non alimentari e non strutturali. La PdR si inserisce nel framework dell'economia circolare, promuovendo la trasformazione del rifiuto in risorsa certificabile, tracciabile e sicura, e costituisce un supporto operativo per gestori di impianti di recupero, operatori della bonifica, pubbliche amministrazioni ed enti di controllo.

L'elaborazione della PdR ha seguito un approccio multidisciplinare, integrando competenze di microbiologia ambientale, pedologia agronomica, ecotossicologia, chimica analitica, diritto ambientale e valutazione della conformità. Il Tavolo UNI/PdR "Terre da coltivo", composto da esperti universitari, rappresentanti istituzionali (ISS), ordini professionali, associazioni di categoria e organismi di certificazione, ha operato attraverso un processo iterativo di revisione e validazione dei criteri proposti, in coerenza con il Regolamento UE n. 1025/2012.

I criteri di qualità ambientale si fondano su una valutazione del rischio sanitario-ambientale destino-specifica, focalizzata sugli idrocarburi pesanti (C > 12) quali contaminanti target del biorisanamento. La speciazione adottata segue la classificazione MADEP (Massachusetts Department of Environmental Protection – EPH Method, rev. 2.1, 2019), che prevede tre frazioni: alifatici C19–C36, alifatici C13–C18 e aromatici C13–C22, analizzate mediante GC-FID secondo le procedure estrattive UNI EN 14039 e ISO 16703. Le concentrazioni soglia di rischio (CSR) massime accettabili nello scenario di utilizzo sono state fissate, rispettivamente, a 2.000, 700 e 65 mg/kg s.s. Per gli altri inquinanti inorganici e organici, il set analitico minimale prevede il rispetto dei limiti tabellari del D.Lgs. 152/2006 (Allegato 5, Tabella 1, colonne A e B), integrato da test di eluizione (UNI EN 12457-2) per la verifica delle concentrazioni nell'eluato.

I criteri di qualità sanitaria si basano sulla ricerca di microrganismi indicatori di contaminazione fecale: Escherichia coli (limite: $< 10^3$ UFC/g_{ss}) e spore di Clostridium perfringens (limite: $< 5 \times 10^3$ UFC/g_{ss}), secondo le metodiche dei Rapporti ISTISAN 14/18 (ISS, 2014). La

valutazione ecotossicologica comprende: (i) il test di germinazione e allungamento radicale su Lepidium sativum (metodica APAT RTI CTN_TES 1/2004), requisito minimo per l'idoneità d'uso con soglia di Indice di Germinazione IG% > 90% (assenza di fitotossicità); (ii) il test di evitamento su due specie di invertebrati edafici – Eisenia fetida/andrei (UNI EN ISO 17512-1) e Folsomia candida (UNI EN ISO 17512-2) – che, pur non costituendo un requisito obbligatorio, orienta l'assegnazione delle classi di qualità ecologica (A, B, C) in funzione della Risposta Netta Percentuale (NR%).
I criteri di qualità tecnica e agronomica definiscono i parametri fisico-chimici richiesti per l'idoneità all'impiego come terra da coltivo, tra cui: contenuto di scheletro < 10% in volume, sostanza organica totale ≥ 20 g/kg s.s., carbonio organico ≥ 12 g/kg s.s., sostanze umiche ≥ 7 g/kg, pH 6,6–8,4, capacità di scambio cationico ≥ 5 meq/100g s.s. e conduttività elettrica ≤ 0,7 dS/m. Per i materiali estranei, sono definiti limiti quantitativi per frazioni plastiche, inerti e materiali galleggianti, in coerenza con i criteri ANPA per gli ammendanti di qualità. La procedura di campionamento prevede un approccio probabilistico sistematico-stratificato (UNI 10802, UNI EN 14899), con lotti massimi di 3.000 m^3 e almeno 20 incrementi per campione composito. La valutazione della conformità tiene conto dell'incertezza di misura secondo le Linee Guida SNPA 34/2021.

La PdR UNI/PdR 191:2026 definisce per la prima volta in Italia un sistema organico di criteri per la qualifica EoW delle terre da coltivo derivanti da biorisanamento, colmando un vuoto normativo che limitava il pieno sviluppo dell'economia circolare nel settore della bonifica. L'approccio integrato adottato – che combina valutazione del rischio chimico-sanitario, ecotossicologia, microbiologia e agronomia – garantisce che i materiali prodotti siano sicuri per la salute umana e per gli ecosistemi, pur riconoscendo la natura intrinsecamente eterogenea dei terreni contaminati trattati.
Il sistema di classificazione della qualità ecologica in tre classi (A, B, C), basato sui test di evitamento su E. fetida e F. candida, consente un'assegnazione graduata degli scenari di utilizzo, modulando l'idoneità del materiale in funzione della sensibilità ecologica dell'area di destinazione: dai giardini privati e aree ricreative (classe C) ai parchi e boschi ripariali (classe B e A). Questo approccio, in linea con i Criteri Ambientali Minimi (CAM) e con il Regolamento EU Nature Restoration

(2024/1991), massimizza i servizi ecosistemici erogabili dalle terre recuperate, promuovendo la rigenerazione di habitat semi-naturali in contesti già degradati dall'azione antropica.
Dal punto di vista regolatorio, la PdR si inserisce nel quadro REACH (Reg. CE 1907/2006), inquadrando le terre da coltivo come sostanze UVCB di origine naturale esenti dall'obbligo di registrazione, purché il processo di biorisanamento non comporti modifiche chimiche alla struttura minerale del suolo e i materiali risultanti non presentino caratteristiche di pericolosità ai sensi del Regolamento CLP. La PdR prevede inoltre un percorso di valutazione della conformità di terza parte (schema tipo 3, UNI CEI EN ISO/IEC 17065), che garantisce la tracciabilità e la certificabilità del prodotto, rafforzando la fiducia degli operatori di mercato e delle pubbliche amministrazioni.
In conclusione, la PdR UNI/PdR 191:2026 rappresenta un elemento di connessione tra innovazione tecnologica, strumenti regolativi e obiettivi di sostenibilità, capace di trasformare un rifiuto in una risorsa sicura e certificabile. La sua applicazione può ridurre significativamente i volumi di rifiuti terrosi smaltiti in discarica, contenere il consumo di suolo naturale e supportare interventi di rigenerazione urbana e ripristino paesaggistico, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi della EU Soil Strategy 2030 e rafforzando l'integrazione tra bonifica dei siti contaminati, economia circolare e tutela del capitale naturale.

Contatti: andrea.franzetti@unimib.it

Riutilizzare i dati delle procedure di bonifica per spazializzare alla meso-scala il valore di fondo di Arsenico in falda

Laura Landi[1]*, Marco Rotiroti[2], Chiara Zanotti[2], Joel Podgorski[3], Michael Berg[3], Alessandro Amorosi[1], Enrico Dinelli[1], Maria Filippini[1]

[1]Alma Mater Studiorum– Università di Bologna, Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali; [2]Università degli Studi di Milano-Bicocca, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra
[3]Eawag– Instituto Federale Svizzero di Scienze e le Tecnologie Idriche, Dipartimento di Risorse Idriche e Approvigionamento Idropotabile.

Abstract
La normativa ambientale italiana fa riferimento al Valore di Fondo (VdF) per distinguere l'origine geogenica dei contaminanti da quella antropica. I VdF solitamente stimati a scala regionale, sulla base delle reti di monitoraggio ufficiali, spesso non garantiscono una risoluzione sufficiente a cogliere le eterogeneità naturali a scale più piccole, rendendo tali valori inadatti ad applicazioni sito-specifiche. La stima del VdF alla meso-scala (intermedia tra quella locale e regionale) rimane largamente inesplorata, principalmente a causa della scarsità di dati adeguatamente distribuiti nello spazio. Questo studio propone una metodologia alternativa e riproducibile per la definizione e la spazializzazione dei VdF di arsenico, sfruttando la grande mole di dati archiviata nelle numerose procedure di bonifica a valle di un opportuno trattamento per migliorarne la qualità e l'omogeneità. La spazializzazione del VdF avviene tramite un approccio integrato che combina machine learning e geostatistica, con l'obiettivo di ottenere una mappatura più robusta e di identificare punti di forza e criticità di entrambi i metodi. Lo studio si propone di fornire uno strumento pratico a supporto della gestione efficace delle acque sotterranee. Non richiedendo l'acquisizione di nuovi dati, l'approccio proposto valorizza il potenziale di una fonte di informazioni già esistente e ampiamente diffusa, che rimarrebbe altrimenti inutilizzata oltre il contesto delle singole procedure di bonifica.

A partire da 108 siti di bonifica ritenuti idonei (ovvero ad esclusione di procedure semplificate, che prevedono il monitoraggio di soli pochi

contaminanti indice, e siti estremamente complessi e diffusi come il Polo Petrolchimico di Ferrara), sono stati raccolti i dati relativi a 1695 piezometri e 12741 campioni. Dopo l'applicazione del workflow di aggregazione e analisi, i dati associati a 488 piezometri sono stati considerati rappresentativi delle condizioni naturali dell'acqua sotterranea ospitata nell'acquifero superficiale.
La zonazione basata su tali dati ha definito diverse facies idrochimiche associate principalmente a processi geochimici riducenti, correlati alla presenza di torbe nel sottosuolo e identificati come principali driver della mobilizzazione di As in falda. Tale zonazione è stata validata attraverso il confronto con la rete regionale di monitoraggio della qualità delle acque, mostrando un generale accordo ma la possibilità di raggiungere un maggiore livello di dettaglio.
I VdF di arsenico sono stati invece stimati localmente per ogni piezometro considerato idoneo, e successivamente spazializzati combinando machine learning (Random Forest, RF) e geostatistica (kriging), al fine di produrre sia mappe di classificazione (probabilità di superamento della soglia di 10 µg/L) sia mappe di regressione (concentrazione continua del VdF).
I due approcci di spazializzazione risultano complementari: il RF cattura l'eterogeneità spaziale ad alta risoluzione, mentre il kriging evidenzia meglio i pattern generali. Entrambi confermano una probabilità di contaminazione più elevata nel settore nord-orientale della provincia, caratterizzato da depositi deltizi torbosi, e più bassa nel settore sud-occidentale, caratterizzato da
depositi alluvionali appenninici. Le maggiori eterogeneità si concentrano invece nelle aree centrali, dove i diversi depositi si alternano con maggiore variabilità. Alcune specifiche zone di divergenza tra i metodi evidenziano invece aree a maggiore complessità che richiedono ulteriori approfondimenti.
La combinazione dei due metodi consente di ottenere spazializzazioni più robuste nelle aree in cui i risultati convergono e di evidenziare criticità nelle aree di divergenza, suggerendo eventuali priorità nella caratterizzazione e gestione delle acque sotterranee.
A conclusione dello studio, si può riassumere che:
• i dati di monitoraggio delle procedure di bonifica possono essere riutilizzati per la caratterizzazione geochimica delle acque sotterranee per varie finalità, tra cui la determinazione del VdF di arsenico;
• l'integrazione di machine learning e geostatistica fornisce una spazializzazione robusta del VdF, fornendo previsioni spesso coerenti

nelle aree non coperte da monitoraggi ed evidenziando zone con incertezza più elevata;
• lo studio fornisce uno strumento pratico e riproducibile a supporto della gestione efficace delle acque sotterranee, sfruttando dati preesistenti e limitando la necessità di acquisire nuovi dati, con conseguente ottimizzazione delle risorse;
• lo studio ha permesso anche di mettere in luce alcuni aspetti potenzialmente migliorativi per la raccolta dei dati durante le procedure di bonifica, al fine di ottimizzarne ulteriormente il possibile riutilizzo.

Riconoscimenti
Questo studio è stato supportato dalla Regione Emilia-Romagna (RER) e l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPAE). Ringraziamo Igor Villani (RER), Cristina Baroni (RER), Marco Marcaccio (ARPAE), Marco Roverati (ARPAE), Gabriella Dugoni (ARPAE) e altri collaboratori, che hanno contribuito allo studio fornendo il loro supporto nelle fasi di raccolta dati e interpretazione.

Contatti: laura.landi11@unibo.it

Verso sistemi di bonifica autosostenibili: sviluppo di una barriera reattiva iniettabile basata su biochar colloidale e biopolimeri

Naima Blal[1], Damiano Feriaud[1], Sara Cerra[1], Ilaria Fratoddi[1], Marco Petrangeli Papini[1]

[1] Sapienza Università di Roma.

Abstract

La contaminazione delle acque sotterranee da solventi clorurati rappresenta una delle problematiche ambientali più diffuse e complesse a livello internazionale. Composti quali tricloroetilene (TCE), cis-dicloroetilene (cis-DCE) e cloruro di vinile (VC), ampiamente utilizzati in passato in numerosi processi industriali, sono frequentemente riscontrati negli acquiferi a causa di sversamenti accidentali, pratiche di smaltimento non controllate e attività produttive storiche. La loro elevata persistenza ambientale, associata alla capacità di migrare nel sottosuolo, rende particolarmente difficile il contenimento e la bonifica delle contaminazioni.

Le tecnologie convenzionali di risanamento, tra cui i sistemi pump-and-treat, presentano spesso limitazioni significative legate agli elevati costi operativi, ai lunghi tempi di trattamento e alla difficoltà di rimuovere i contaminanti presenti nelle zone a bassa permeabilità dell'acquifero.

L'eterogeneità dei mezzi porosi naturali favorisce infatti la formazione di percorsi preferenziali di flusso e di zone di ristagno nelle quali i contaminanti possono permanere per lunghi periodi, costituendo una sorgente secondaria di contaminazione.

Negli ultimi anni è cresciuto l'interesse verso le Barriere Permeabili Reattive Iniettabili (Injectable Permeable Reactive Barriers, IPRB), una tecnologia che consente l'immissione diretta di materiali reattivi nel sottosuolo senza la necessità di importanti interventi di scavo. Rispetto alle tradizionali barriere permeabili reattive, le IPRB consentono una maggiore flessibilità applicativa, una riduzione dell'impatto sul sito e costi di installazione potenzialmente inferiori.

Attualmente la maggior parte delle applicazioni si basa sull'utilizzo di carboni attivi colloidali stabilizzati mediante sostanze organiche

biocompatibili. Tuttavia, la ricerca di materiali alternativi, sostenibili e a basso costo rappresenta un tema di crescente interesse. In questo contesto il biochar, materiale carbonioso derivante dalla pirolisi o gassificazione di biomasse di scarto, emerge come un potenziale adsorbente per applicazioni di bonifica ambientale grazie all'elevata area superficiale specifica e alle proprietà adsorbenti nei confronti di numerosi contaminanti organici.

L'obiettivo del presente lavoro è stato quello di sviluppare e validare sperimentalmente un sistema IPRB basato su compositi biochar-biopolimero (BC-BP), studiandone la stabilità colloidale, il trasporto in mezzi porosi e le possibili interazioni con processi biologici di declorazione riduttiva.

Le prove di stabilità hanno evidenziato come la presenza dei biopolimeri sia fondamentale per migliorare la dispersione delle particelle di biochar e limitare i fenomeni di aggregazione. Tra tutti i materiali testati, la carbossimetilcellulosa ha mostrato le prestazioni più promettenti, rappresentando il miglior compromesso tra incremento della stabilità colloidale e contenimento della viscosità della sospensione. Quest'ultimo aspetto risulta particolarmente importante ai fini dell'iniettabilità del materiale nel sottosuolo.

L'ottimizzazione della formulazione ha evidenziato che concentrazioni di biochar comprese tra 1 e 3 g/L consentono di ottenere sospensioni stabili nel tempo, mentre concentrazioni superiori favoriscono fenomeni di stratificazione e sedimentazione, riducendo l'efficacia del sistema. Le prove in colonna hanno messo in evidenza alcune criticità legate al trasporto del biochar. In particolare, durante i test preliminari sono stati osservati fenomeni di clogging all'ingresso del mezzo poroso, accompagnati dal passaggio da filtrazione profonda a filtrazione superficiale e dalla formazione di un filter cake costituito da aggregati di dimensioni elevate. Tali risultati hannoevidenziato come il controllo della distribuzione granulometrica rappresenti un aspetto cruciale per il successo dell'applicazione.

Per superare questa limitazione è stato introdotto uno step di prefiltrazione finalizzato alla rimozione delle particelle più grossolane. Questa modifica ha consentito di migliorare significativamente il comportamento del sistema durante l'iniezione. Al termine della fase di lavaggio della colonna sono stati trattenuti circa 320 mg di biochar, dimostrando una distribuzione efficace del materiale all'interno del mezzo poroso e una buona resistenza alla mobilizzazione successiva.

Gli esperimenti in box model hanno permesso di approfondire la comprensione dei meccanismi che governano il trasporto del biochar in condizioni più vicine a quelle reali. L'analisi delle immagini ha consentito di seguire l'evoluzione spaziale e temporale della distribuzione del materiale, mentre la modellazione matematica ha mostrato come il comportamento osservato possa essere descritto considerando simultaneamente i fenomeni di advezione, diffusione e sedimentazione gravitazionale. I risultati ottenuti costituiscono un importante strumento per la progettazione e l'ottimizzazione di future applicazioni in scala reale.

Infine, le attività preliminari relative all'integrazione tra adsorbimento e biodegradazione hanno evidenziato la produzione di acidi grassi volatili derivanti dalla fermentazione del biopolimero.

Sebbene il fenomeno sia stato caratterizzato da una fase iniziale di latenza, probabilmente associata all'adattamento della comunità microbica e all'idrolisi del polimero, i risultati ottenuti suggeriscono la potenziale disponibilità di donatori di elettroni in grado di sostenere processi di declorazione riduttiva.

Questa evidenza apre prospettive particolarmente interessanti per lo sviluppo di sistemi di bonifica autosostenibili, nei quali il biochar svolga una funzione adsorbente nei confronti dei contaminanti, mentre il biopolimero fornisca il supporto metabolico necessario ai microrganismi decloranti. In tale configurazione, l'accoppiamento tra processi fisici e biologici potrebbe contribuire a prolungare l'efficacia della barriera e migliorare le prestazioni complessive del trattamento.

In conclusione, i risultati ottenuti dimostrano il potenziale del biochar colloidale come materiale reattivo per applicazioni IPRB e sottolineano l'importanza dell'ottimizzazione della formulazione per garantire adeguate prestazioni di trasporto nel sottosuolo. L'integrazione tra adsorbimento e biodegradazione rappresenta inoltre una promettente linea di sviluppo per future applicazioni di bonifica sostenibile delle acque sotterranee contaminate.

Contatti : naima.blal@uniroma1.it

La Discarica di Cupinoro: dalla chiusura definitiva alla rigenerazione del sito

Davide Di Cesare, Angela Marrapodi, Samuela Palmisano, Enrico Piermattei

[1] HTR Bonifiche S.r.l. – Raggruppamento Temporaneo di Imprese con Pavoni S.p.A.

Abstract

La chiusura definitiva di una discarica esaurita rappresenta uno degli interventi più complessi nel panorama della bonifica ambientale: non si tratta semplicemente di sigillare un invaso, ma di restituire al territorio un sito che per decenni ha esercitato pressioni sull'ambiente circostante, trasformandolo in un sistema stabile, controllato e compatibile con il contesto naturale nel lungo periodo. Il capping definitivo costituisce l'atto tecnico conclusivo di questa trasformazione, nonché il primo passo verso la fase di post-gestione e di reinserimento paesaggistico del corpo discarica.

HTR Bonifiche S.r.l., in raggruppamento temporaneo di imprese con Pavoni S.p.A., ha progettato e realizzato la messa in sicurezza definitiva e il capping della Discarica di Cupinoro, nel Comune di Bracciano (RM), per conto della Regione Lazio – Direzione regionale Politiche Ambientali e Ciclo Integrato dei Rifiuti. L'intervento si distingue per una ragione che va oltre la complessità tecnica: Cupinoro è la prima discarica per rifiuti urbani in Italia ad essere stata completamente chiusa e ufficialmente avviata alla fase di post-gestione, segnando un precedente rilevante nell'ambito della gestione sostenibile dei rifiuti e della riqualificazione ambientale dei siti dismessi.

La discarica nasce alla fine degli anni Settanta come deposito di rifiuti e viene riconosciuta ufficialmente come area di smaltimento di rifiuti solidi urbani nel 1991. Nel corso degli anni, il bacino di utenza si è progressivamente ampliato fino a servire 25 Comuni del Lazio, rendendo necessari successivi ampliamenti: il sito ha raggiunto una superficie complessiva di circa 100.000 m² — suddivisa nei Lotti Sud e Nord — e una volumetria totale stimata in circa 2,5 milioni di m³. I conferimenti sono cessati nel gennaio 2014; a seguito del fallimento della società gestrice, la Regione Lazio è subentrata nella gestione del

sito nel 2017, nominando un Commissario ad Acta con il mandato di garantire la messa in sicurezza e procedere alla realizzazione del capping definitivo.
La consegna delle aree per le opere propedeutiche e le indagini preliminari è avvenuta il 12 luglio 2021; i lavori principali sono stati avviati il 21 ottobre 2021 e conclusi il 29 dicembre 2023. Il collaudo è stato effettuato il 29 febbraio 2024, sancendo formalmente la transizione del sito alla fase di post-gestione.
La componente di riqualificazione ambientale ha rappresentato una dimensione irrinunciabile dell'intervento, coerente con una visione del sito non come semplice opera di messa in sicurezza, ma come processo di rigenerazione del territorio. Il ripristino vegetazionale ha interessato l'intera superficie della discarica mediante inerbimento, semina, biostuoie preseminate e idrosemina, differenziando gli interventi tra piano sommitale, versanti e strutture in terra armata. La selezione delle specie arboree e arbustive — roverelle, cerri, rosmarino, ginestra odorosa, lauroceraso, cotonastro — è stata orientata alla coerenza con il paesaggio locale e alla funzionalità ecologica, favorendo l'integrazione progressiva del sito nel contesto naturale circostante.
A completamento dell'intervento, HTR ha promosso la realizzazione di un percorso didattico articolato in nove pannelli informativi sulla storia e sull'evoluzione della discarica, destinato alle scolaresche del territorio. Il percorso è arricchito da opere artistiche realizzate dall'artista Marco Zappa, che conferiscono al sito una nuova dimensione simbolica: la discarica viene reinterpretata come luogo di memoria, trasformazione e responsabilità ambientale collettiva, trasformandosi da problema ambientale a infrastruttura culturale.

A seguito del collaudo del 29 febbraio 2024, la Discarica di Cupinoro è entrata ufficialmente nella fase di post-gestione. HTR Bonifiche continua a operare sul sito per conto del Comune di Bracciano, garantendo la manutenzione ordinaria, la gestione dei presidi ambientali, il rispetto delle prescrizioni AIA e lo smaltimento continuativo del percolato.
Il caso studio di Cupinoro dimostra come la bonifica ambientale di una discarica esaurita possa essere concepita e realizzata come un processo integrato di rigenerazione del territorio: attraverso l'applicazione di tecnologie avanzate di bonifica, la capacità di

proporre soluzioni migliorative in fase di gara e un approccio progettuale attento al contesto, HTR ha trasformato un sito dismesso in un sistema ambientale stabile, monitorabile e reinserito nel paesaggio. Sicurezza tecnica, riduzione degli impatti, gestione sostenibile dei rifiuti residui e restituzione alla comunità non sono stati obiettivi separati, ma parti di un unico percorso di riqualificazione ambientale, coerente con il tema dell'edizione 2026 di RemTech: "La rigenerazione attiva e l'equilibrio del progresso a tutela del bene comune".

Contatti: mail1@gmail.com , mail2@icloud.com , mailN@outlook.com

L'uso delle Nature Based Solution per un intervento di riduzione della lisciviazione di contaminanti verso le acque di falda. Il Phytocapping.

Maurizio Beretta[1], Paolo De Angelis [2], Edoardo Zuffetti [1]

[1] Stantec S.p.A., [2] Università della Tuscia, [3] Furia s.r.l.

Abstract

In un sito industriale del centro Italia dove venivano prodotti fertilizzanti ed acido solforico, la produzione è stata interrotta all'inizio degli anni '90 del secolo scorso. Il sito, di estensione pari a circa 130.000 metri quadrati, risulta dismesso da anni ed è in corso di completamento la costruzione di una fabbrica per la produzione di idrogeno verde ("hydrogen valley"). Su altre porzioni dell'area permangono terreni contaminati principalmente da metalli pesanti poiché si trovano talora miscelati con ceneri di pirite, che costituiva lo scarto di produzione del processo industriale.

Nel corso del processo di riqualificazione gli Enti di controllo hanno prescritto di attuare in questa porzione interventi finalizzati a ridurre l'effetto di infiltrazione delle acque meteoriche e ridurre il processo di lisciviazione e trasporto dei contaminanti verso la falda.

Nella fase di studio delle alternative di intervento applicabili, ci si è rivolti a tecnologie appartenenti alla categoria delle "Nature-Based Solution", valorizzando il percorso di riconversione dell'area in un contesto di alta sostenibilità ambientale con il progetto di costruzione della fabbrica di produzione dell'idrogeno verde. Le aree interessate dall'intervento hanno superficie pari a circa 16.500 metri quadrati.

Si è quindi prevista l'installazione di un intervento di phytocapping, con la messa in opera di diverse specie di arbusti ed alberi, secondo una distribuzione e sesto d'impianto specifico. La semina di specie erbacee completa il sistema di copertura.

Il principio secondo il quale agisce il phytocapping non è quello di rendere impermeabile la superficie del terreno impedendo completamente l'infiltrazione, ma è quello di interrompere la lisciviazione e il trasporto dei contaminanti verso le acque di falda grazie all'attività biologica e biofisica dello strato di vegetazione. Infatti, le piante assorbono l'acqua presente nel terreno e la

disperdono in atmosfera prevalentemente attraverso il processo dell'evapotraspirazione. A questo si aggiungono i processi evaporativi della pioggia intercetta dalle chiome, l'adsorbimento nello strato organico di lettiera fogliare che si viene a formare sulla superficie del suolo.
Il progetto prevede un programma di monitoraggio attraverso specifici strumenti che sono stati installati per verificare la variazione della infiltrazione delle acque nel tempo. Inoltre, sono in corso monitoraggi della qualità dell'acqua attraverso i piezometri già presenti sull'area.
Allo stato attuale il sistema di phytocapping è stato completato e si sta passando dalla fase di realizzazione a quella di gestione.
Il sistema di phytocapping è tra i primi applicati in Italia su questa tipologia di terreni.
Nel corso della presentazione verranno messi in luce gli aspetti legati alla progettazione dell'intervento, alla sua fase realizzativa ed agli esiti dei primi monitoraggi di controllo eseguiti.

Contatti: maurizio.beretta@stantec.com

Dall'adsorbimento alla rigenerazione in situ: trattamento bioelettrochimico assistito da biochar di acque contaminate da tricloroetilene

Geremia Sassetto[1], Bruna Matturro[2], Marco Petrangeli Papini[1], Marco Zeppilli[1]

[1] Dipartimento di Chimica, Sapienza Università di Roma
[2] Istituto di Ricerca sulle Acque, IRSA-CNR

Abstract

La contaminazione delle acque sotterranee da solventi clorurati rappresenta una criticità rilevante nel settore della bonifica ambientale, sia per la persistenza dei contaminanti primari sia per la possibile formazione di intermedi di degradazione tossici. Tra questi, il tricloroetilene (TCE) costituisce un contaminante di particolare interesse, poiché i processi di declorazione riduttiva possono portare alla formazione di cis-1,2-dicloroetilene (cis-DCE) e vinilcloruro (VC), rendendo necessario non solo rimuovere il composto di partenza, ma anche controllare l'accumulo dei prodotti intermedi.
I sistemi adsorbenti a base di materiali carboniosi, tra cui il biochar, sono efficaci nel trattenere contaminanti organici e nel ridurne la concentrazione in fase acquosa. Tuttavia, il loro impiego come sola tecnologia di trattamento può essere limitato dalla progressiva saturazione del materiale e dalla necessità di sostituzione o rigenerazione esterna. D'altra parte, i sistemi bioelettrochimici possono fornire elettroni in modo controllato a comunità microbiche decloranti, favorendo la degradazione riduttiva dei solventi clorurati senza richiedere l'aggiunta continua di donatori chimici di elettroni.
L'obiettivo di questo studio è stato valutare l'integrazione tra biochar e stimolazione bioelettrochimica in un sistema a flusso continuo in mezzo poroso, rappresentativo di condizioni applicabili al trattamento di acque sotterranee contaminate. Il lavoro si inserisce nello sviluppo di una tecnologia recentemente oggetto di deposito brevettuale, basata sull'accoppiamento tra adsorbimento, degradazione

bioelettrochimica e possibile rigenerazione in situ del biochar all'interno della stessa zona reattiva.
Sono state operate tre colonne in vetro riempite con sabbia quarzifera e alimentate in continuo con un mezzo minerale contaminato con TCE a concentrazione nominale pari a 100 µM (. Le colonne, lunghe 20 cm e con diametro interno di 5 cm, sono state mantenute in condizioni sature e alimentate in flusso ascendente con un tempo di ritenzione idraulica di circa un giorno. Tutti i sistemi sono stati inoculati con una coltura microbica anaerobica declorante precedentemente acclimatata alla degradazione del TCE.
Le colonne bioelettrochimiche erano dotate di una configurazione elettrodica concentrica, costituita da un anodo in grafite, un catodo in feltro di grafite e un separatore permeabile per evitare cortocircuiti mantenendo la continuità idraulica e ionica. Le prove sono state condotte per 120 giorni, suddivisi in tre fasi operative: una fase potenziostatica iniziale, con catodo mantenuto a −450 mV rispetto all'elettrodo standard a idrogeno, seguita da due fasi galvanostatiche con corrente imposta pari rispettivamente a −1,3 mA e −5 mA. Le concentrazioni di TCE e dei principali prodotti di declorazione sono state monitorate mediante gascromatografia accoppiata a spettrometria di massa con campionamento dello spazio di testa.
Durante la fase potenziostatica iniziale, i sistemi bioelettrochimici hanno sviluppato correnti molto basse, nell'ordine di pochi µA, e il contributo della stimolazione elettrochimica alla declorazione è risultato limitato. In questa fase, la rimozione del TCE nei sistemi contenenti biochar è stata prevalentemente attribuibile all'adsorbimento, come indicato dal comportamento simile osservato tra il controllo non polarizzato e la configurazione bioelettrochimica con biochar.
Il passaggio al controllo galvanostatico ha modificato in modo significativo il comportamento dei sistemi, evidenziando il ruolo determinante del flusso elettronico imposto. Alla corrente di −1,3 mA, entrambe le colonne bioelettrochimiche hanno mostrato un incremento della declorazione riduttiva. La configurazione combinata biochar-sistema bioelettrochimico ha raggiunto la rimozione completa del TCE e concentrazioni di cis-DCE inferiori rispetto al sistema bioelettrochimico senza biochar, sebbene sia stato osservato un accumulo significativo di VC. Tale comportamento suggerisce che, in questa fase, il sistema fosse in grado di degradare non solo il TCE in

ingresso, ma anche una frazione precedentemente trattenuta dal biochar.

L'aumento della corrente a −5 mA ha ulteriormente migliorato la prestazione del sistema combinato. In questa fase, TCE e cis-DCE sono risultati al di sotto dei limiti di rilevabilità, mentre leconcentrazioni di VC sono state inferiori rispetto al sistema bioelettrochimico privo di biochar. Al contrario, il controllo non polarizzato ha mostrato una progressiva perdita di efficienza, coerente con la saturazione del letto adsorbente e con l'assenza di un adeguato apporto di elettroni per sostenere la declorazione biologica.

Nel complesso, i risultati indicano che il biochar può svolgere più funzioni complementari all'interno di un sistema bioelettrochimico per il trattamento di acque contaminate da solventi clorurati. Oltre ad agire come materiale adsorbente, il biochar può contribuire al trattenimento dei contaminanti nella zona reattiva, fungere da supporto per la crescita di biofilm microbici e favorire un ambiente più idoneo alla declorazione riduttiva. L'integrazione con la stimolazione bioelettrochimica consente inoltre di ipotizzare una progressiva rigenerazione in situ del materiale adsorbente, grazie alla degradazione dei contaminanti precedentemente trattenuti.

La configurazione combinata biochar-sistema bioelettrochimico appare quindi promettente per applicazioni di bonifica sostenibile delle acque sotterranee, in particolare nei casi in cui sia necessario accoppiare capacità tampone, controllo del rilascio dei contaminanti e degradazione biologica assistita.

Ulteriori sviluppi dovranno approfondire la quantificazione della rigenerazione del biochar, l'ottimizzazione della corrente applicata e la riduzione dell'accumulo di intermedi tossici, con l'obiettivo di favorire il trasferimento della tecnologia verso configurazioni applicative quali sistemi ex situ, pozzi di trattamento e barriere reattive permeabili elettrificate.

Permeable reactive barrier applications of a combined ISCR and erd technology for the treatment of an aerobic aquifer impacted with trichloroethylene in the Lazio region

Alberto Leombruni[1], Brant Smith[2]

[1] Evonik Operation GmbH 1, [2]Evonik LLC,

Abstract

The site is a former highly industrialized area of center Italy where groundwater is contaminated with Trichloroethylene (TCE; >40 ppb), Dichloropropane and, to a lesser extent, DCE and VC (<1 ppb). The EHC® Liquid technology deploys in situ chemical reduction (ISCR) mechanisms for treatment of impacted groundwater. It is comprised of two ingredients which are easily combined and diluted for injection: i) ELSTM Microemulsion; a controlled-release food- grade carbon in the form of lecithin, and ii) EHC® Liquid Reagent Mix; an organo-iron compound. The addition of organic carbon in a saturated zone is widely known to promote conventional enzymatic reductive dechlorination 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. Synergistically, the soluble organo-iron component is comprised of a ferrous iron (Fe2+) that can form a variety of iron minerals (e.g. magnetite, pyrite) capable of reducing contaminants as they oxidize further to the ferric (Fe3+) state via one electron transfer. The ferric ion can then be “recycled” back to ferrous, as long as other electrons from supplied carbon and indigenous carbon are available.
In 2024, pilot was successfully carried out in a portion of the contaminated aquifer showing rapid and full treatment of the chlorinated mass. Application of the EHC Liquid reagent was

performed via direct injection through fixed Manchette tubes distributed in the upstream parts of the source areas as Permeable Reactive Barrier schematics due to the site constraints. Afterwards, the microemulsion solution naturally migrated into the respective downstream contaminated portions of the aquifer below the industrial infrastructures thanks to the groundwater flow.
Less than 12 months after injection of EHC Liquid, concentrations of TCE, DCE and VC contaminants were rapidly reduced up to 95% compared to pre-treatment levels. Upgradient and downgradient data have shown that there was treatment across the PRBs. Requisite remedial target values were reached in all main monitoring piezometers in the areas. Main field parameters in the ISCR & 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. Moreover, according to the absolute abundances of specific biomarkers detected in the different treated areas, biomonitoring confirmed how the EHC Liquid treatment has been a very effective approach at this site. The multi-integrated analysis of biological parameters along with other geochemical data has been useful for the full-scale implementation.

Contatti: alberto.leombruni@evonik.com

Applicazione di tecniche di *mycoremediation* a un suolo contaminato da ipa: dal test pilota all'intervento in scala reale

Paolo Criscione[1], Paolo Bertoldo[1], Mirca Zotti[2], Simone Di Piazza[2], Grazia Cecchi[2], Anna Volpi Ghirardini[3], Fabio Pranovi[3], Alice Stocco[3], Marco Picone[3], Giorgio Pucillo[4]

[1] DESAM Ingegneria e Ambiente, [2] DISTAV, Università degli Studi di Genova, [3] Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica, Università Ca' Foscari di Venezia, [4] Ptech

Abstract

I trattamenti di bonifica ambientale basati su processi di bioremediation costituiscono un ambito tecnologico in progressiva evoluzione, di particolare interesse per la gestione di contaminanti recalcitranti e per contesti nei quali le tecniche convenzionali risultano difficilmente applicabili, oppure non sostenibili sotto il profilo ambientale ed economico. L'esperienza presentata valuta approcci biotecnologici applicati alla bonifica di suoli contaminati, con specifico riferimento alla mycoremediation. L'obiettivo dell'applicazione è lo sviluppo e la verifica di soluzioni in grado di favorire la degradazione e/o la riduzione delle concentrazioni di composti organici persistenti, quali gli idrocarburi policiclici aromatici — IPA -, mantenendo al contempo un'impronta ecologica contenuta, grazie a ridotti fabbisogni energetici, alla limitata produzione di materiali di scarto e alla possibilità di valorizzare substrati esausti secondo principi di economia circolare. Nello specifico, viene illustrato un caso di bonifica condotto in un Parco Urbano nel Comune di Venezia, un'area utilizzata in passato come cava di argilla, che oggi presenta una contaminazione da IPA nel primo metro di suolo. Il presente contributo ne approfondirà le metodologie operative e i relativi risultati sperimentali.

La prima fase del lavoro si è svolta con l'esecuzione di un campo prove realizzato su un'area omogenea di circa 100 m^2, con sperimentazione di una combinazione delle seguenti tecniche biotecnologiche: Uso di substrati esausti derivanti dalla coltivazione di funghi eduli e utilizzo di

microfunghi autoctoni. I microfunghi sono stati selezionati da campioni prelevati direttamente in situ e sviluppati, conservati in condizioni controllate presso il Laboratorio di Micologia e Collezione ColD MIRRI-ERIC dell'Università di Genova. In questa prima fase sono stati ottenuti risultati promettenti che hanno permesso di proporre il Progetto Operativo di Bonifica sull'intera area approvato in data 22 aprile 2026.

L'intervento sull'intero sito contaminato iniziato nella primavera del 2026, attualmente in corso, ha interessato una superficie di circa 2.800 m^2, prevedendo prima l'applicazione sequenziale di substrati esausti derivanti dalla coltivazione di Pleurotus ostreatus e poi l'inoculo di una soluzione a concentrazione nota di microfunghi autoctoni. Questi ultimi sono stati preventivamente isolati, caratterizzati e selezionati per lo scopo, nel corso del test pilota. Al fine di garantire le condizioni ottimali per lo sviluppo fungino ed evitare stati di stress biologico, viene eseguito un rigoroso monitoraggio dei parametri chimico-fisici del suolo in particolare la temperatura e contenuto idrico del suolo. L'andamento del processo di biodegradazione viene valutato attraverso ripetute campagne di determinazione analitica delle concentrazioni di IPA.

Nel test pilota è stata osservata, nell'arco di 6 mesi, una significativa riduzione della concentrazione degli IPA con diminuzioni superiori al 70% delle concentrazioni rilevate per tutti i cogeneri che presentavano superamenti delle CSR.

A soli due mesi dall'avvio della bonifica su tutta l'area (aprile 2026), i riscontri evidenziano un andamento favorevole, con un abbattimento delle concentrazioni iniziali per la maggior parte dei composti analizzati.

Le attività di controllo in itinere si stanno focalizzando, inoltre, sulla valutazione del miglioramento dello stato ecologico del suolo eseguita attraverso l'analisi della comunità a microartropodi sviluppata in collaborazione con l'Università Ca' Foscari di Venezia. I risultati ottenuti permetteranno di valutare la presenza di un microambiente favorevole ai processi di biodegradazione, offrendo un'ulteriore conferma ecologica della buona riuscita e dell'efficacia dell'intervento di bonifica.

In conclusione, è interessante sottolineare come la sostenibilità ambientale, sociale ed economica dell'approccio biologico, confermata anche da uno studio di Life Cycle Assessment (LCA), risulti significativamente superiore rispetto alla strategia tradizionale di Dig

& Dump (scavo e conferimento in discarica). Le tecniche biologiche applicate presentano un impatto ambientale significativamente inferiore e a ciò si sommano benefici ecologici complementari, quali l'incremento della biodiversità e della sostanza organica edafica (con conseguente sequestro di CO_2), la drastica riduzione della produzione di rifiuti e la valorizzazione di scarti agro-industriali in un'ottica di economia circolare

Contatti: desam@desam.itm, mirca.zotti@unige.it, simone.dipiazzaunige.it, voghi@unive.it, commerciale@ptech.it

EKOGRIDTM: tecnologia efficace e sostenibile per la bonifica del sottosuolo

***Cristina Cianfoni*[1], *Elisa Rainaldi* [1]**

[1] *Mares S.r.l.*

Abstract

EkogridTM è una tecnologia innovativa per la bonifica in situ di suoli, sedimenti e acque sotterranee contaminati da composti organici di origine petrolifera. Il sistema integra processi di ossidazione elettrocinetica e biodegradazione, favorendo la degradazione dei contaminanti direttamente nella matrice ambientale interessata.
La tecnologia risponde alle attuali esigenze di efficacia, sostenibilità ed economicità che caratterizzano gli interventi di risanamento ambientale. Tra i principali punti di forza si evidenziano i ridotti consumi energetici e materie prime, l'assenza di produzione di rifiuti e di scarichi industriali e il limitato impatto sulle attività presenti in sito, rendendo EkogridTM una soluzione particolarmente adatta per gli interventi di bonifica sostenibili e a basso impatto ambientale.
La tecnologia EkogridTM si basa sulla generazione di un campo elettrico nel sottosuolo mediante l'applicazione di una differenza di potenziale a basso voltaggio, con una periodica inversione di polarità, attraverso una rete di elettrodi disposti secondo una griglia regolare e gestiti dauna o più centraline di controllo.
Il principale effetto indotto nel sottosuolo dall'utilizzo della tecnologia di risanamento elettrocinetico è l'induzione dell'elettrolisi dell'acqua naturalmente presente nel sottosuolo (di umidità e/o falda), o eventualmente apportata da sistemi di subirrigazione, favorendo la produzione di ossigeno (O_2) e radicali ossidrili (OH*). Tali specie reattive promuovono la degradazione degli idrocarburi e ne aumentano la biodegradabilità.
Il sistema consente inoltre, la distribuzione mirata di nutrienti e agenti biologici, ottimizzando i processi naturali di bonifica.
A partire dal 2018, Mares applica con successo la tecnologia EkogridTM su numerosi siti contaminati distribuiti sul territorio nazionale, conseguendo risultati significativi nei processi di risanamento ambientale. Forte dell'esperienza maturata e delle

evidenze ottenute sul campo, nel marzo 2024, Mares ha avviato il sistema EkogridTM per il risanamento di un punto vendita carburanti dismesso, interessato da contaminazione idrocarburica.
L'applicazione della tecnologia EkogridTM ha consentito il raggiungimento degli obiettivi di bonifica previsti da progetto in tempi inferiori rispetto a quelli definiti nel cronoprogramma. I risultati ottenuti confermano l'efficacia dell'approccio integrato di ossidazione elettrocinetica e biodegradazione nel trattamento di contaminazioni da idrocarburi, evidenziandone il potenziale quale soluzione sostenibile, efficiente e a basso impatto per gli interventi di risanamento ambientale in situ.

Contatti: cristinacianfoni@maresitalia.it

Riqualificare ambienti complessi: sfide e strategie di risanamento ambientale

Daniele Vezzoli[1], Claudio Carnabuci[1]

[1] HPC ITALIA S.r.l.

Abstract

Il Sito oggetto di studio è costituito da un ex stabilimento produttivo ubicato nel Nord Italia. Obiettivo principale dello studio è stato quello di individuare le strategie di bonifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 più idonee alla riduzione delle passività ambientali presenti, in un contesto urbano e residenziale complesso, con lo scopo di riqualificare l'area e restituirla alla comunità. L'intervento di bonifica progettato, preceduto da una valutazione di Analisi di Rischio (AdR) sito-specifica, è stato basato su tecnologie sostenibili e tra loro sinergiche, con preferenza per approcci in-situ a basso impatto ambientale, in grado di gestire una contaminazione nei terreni e nelle acque di falda eterogenea (metalli, idrocarburi, solventi clorurati, etc).

Le attività svolte presso il Sito hanno permesso di ottenere risultati concreti e significativi, dimostrando l'efficacia dell'approccio adottato nella gestione di un contesto complesso. Di seguito vengono riepilogati:

1. Aggiornamento e ottimizzazione delle conoscenze del Sito. Le indagini ambientali integrative e l'AdR sito-specifica hanno consentito di aggiornare il Modello Concettuale del Sito e di identificare le criticità prioritarie, permettendo la definizione di interventi mirati ed efficaci.
2. Progettazione degli interventi operativi. Le strategie operative di bonifica sono state dimensionate con tecnologie sostenibili, in sinergia tra loro, dovendo gestire una contaminazione eterogenea in matrici ambientali differenti. La suddivisione in fasi ha permesso di pianificare interventi progressivi, adeguati alla gestione delle priorità ambientali e sanitarie del Sito, sempre nell'ottica del suo recupero e restituzione alla comunità.

3. Efficienza economica e sostenibilità ambientale. L'applicazione della metodologia BATNEEC ha garantito il rispetto delle best practice di settore, minimizzando i costi e l'impatto ambientale. Le soluzioni proposte rappresentano un equilibrio tra efficacia tecnica, ottimizzazione dei tempi e allocazione delle risorse economiche.
4. Collaborazione e approvazione. L'intero processo è stato condotto in un quadro di trasparenza e collaborazione tra i diversi attori coinvolti, compresi gli Enti di Controllo, con approvazione degli elaborati progettuali (AdR e POB) in Conferenza dei Servizi senza necessità di revisione.

Il caso in oggetto rappresenta un modello di gestione integrata e sostenibile per la bonifica di siti complessi al fine di restituire aree fortemente contaminate alla comunità. La combinazione di tecnologie avanzate, attenzione al contesto locale e stretto coordinamento tra tutti i soggetti coinvolti ha prodotto un progetto ben strutturato replicabile in scenari simili. Gli interventi proposti non solo hanno risposto alle esigenze normative, ma potranno anche valorizzare il territorio, con un impatto positivo per la comunità locale e l'ambiente circostante.

Contatti: daniele.vezzoli@hpc.ag

Enhanced landfill mining come precondizione infrastrutturale: un framework strategico per operatori epc nel contesto ferroviario italiano

Giacomo Galbiati[1], Leonardo Lapenta[1], Andrea Menon[1], Federico Paraboschi Ruperto[1], Chiara Ogheri[1] , Giorgio Locatelli[1], Mario Marchionna[2]

[1] Complex Project Lab, Dipartimento di Ingegneria Gestionale, Politecnico di Milano; [2] Saipem S.p.a., Technology & Innovation

Abstract

Nell'ambito del corso "Complex Projects Lab", tenuto al Politecnico di Milano, in collaborazione con Saipem, il presente documento sintetizza i risultati di un progetto volto a valutare l'Enhanced Landfill Mining (ELFM) come opportunità di ingresso strategico per l'azienda, nel campo delle infrastrutture ferroviarie.

L'ELFM si distingue dal Landfill Mining tradizionale per il perseguimento simultaneo di tre flussi di valore: il recupero di materiali, la valorizzazione energetica e il ripristino del suolo, in piena coerenza con il quadro europeo dell'economia circolare. La letteratura e le esperienze internazionali documentano un settore ancora privo di modelli industriali strutturati e replicabili su scala: anche nei contesti più avanzati, come il progetto europeo NEW-MINE e la rete EURELCO, l'ELFM rimane prevalentemente legato a condizioni site-specific e a trigger progettuali contingenti. Il contesto italiano non fa eccezione, ma offre due casi empirici di particolare rilevanza per la definizione di tre opzioni strategiche di ingresso applicabili a operatori EPC: la discarica di Villorba (TV), rimossa in ragione dell'interferenza con il tracciato della Superstrada Pedemontana Veneta, e il progetto Maruzzella (CE), caso esemplare ed unico in tutta Europa per dimensioni e complessità di governance pubblica.

La tesi centrale del lavoro è volta a riformulare il posizionamento strategico dell'ELFM:

quando una discarica storica interferisce con il tracciato di un'infrastruttura ferroviaria già autorizzata, la sua rimozione rappresenta una precondizione obbligatoria per la costruzione.

Questo cambiamento trasforma la logica economica dell'intervento, migliorandone la bancabilità e rimuovendo l'incertezza sull'effettiva realizzazione. L'obiettivo dello studio è identificare le condizioni in cui Saipem potrebbe incontrare tali interferenze nel contesto della propria attività di general contractor ferroviario e definire le opzioni strategiche conseguenti.
L'analisi identifica una combinazione ricorrente di fattori abilitanti per l'ELFM: valore strategico del suolo recuperato, presenza di frazioni ad alto valore nel deposito, e supporto pubblico con strumenti autorizzativi consolidati. Sul versante delle criticità, i progetti basati su un solo flusso di ricavo, l'assenza di dati sistematici sulla composizione del deposito, la qualità bassa dei materiali recuperati e la frammentazione legislativa e amministrativa sono i fattori che più frequentemente ne compromettono la sostenibilità economica.
Parallelamente, l'analisi geospaziale e dei casi confermano che l'interferenza discarica- infrastruttura non è un evento eccezionale, ma una condizione ricorrente lungo i corridoi ferroviari.
Il caso Villorba dimostra la replicabilità operativa del modello nel contesto di appalti infrastrutturali: il contractor principale assume la responsabilità della rimozione senza necessità di possedere la titolarità del flusso rifiuti, affidando la gestione specializzata a operatori qualificati nell'ambito del proprio perimetro contrattuale.
L'analisi normativa del progetto Maruzzella evidenzia che la padronanza del procedimento
PAUR (Procedimento Autorizzativo Unico Regionale) costituisce un vero differenziale competitivo nel mercato ELFM italiano. Dimostrando che questa strada è percorribile anche per interventi digrande complessità tecnica, a condizione di disporre di competenze autorizzative integrate fin dalle fasi preliminari.
La raccomandazione è strutturare una roadmap innescata da eventi reali piuttosto che da scadenze fisse. La prima opportunità concreta sul corridoio ferroviario funge da trigger per la validazione operativa del modello, l'accumulo di track record abilita il consolidamento dell'offerta integrata, e la dimostrazione di domanda ricorrente costituisce la condizione per valutare investimenti in innovazione proprietaria.
Contatti: federico.paraboschi@mail.polimi.it

Sistema intelligente per la gestione dei processi di bonifica dei terreni

Giovanni Perillo[1]

[1] Università degli Studi Parthenope, Napoli

Abstract

Oggi la gestione dei terreni contaminati, siano essi vecchi siti industriali dismessi, aree agricole compromesse da fitofarmaci o zone urbane a rischio, rappresenta una sfida straordinariamente complessa, costosa e rallentata da colli di bottiglia burocratici. I metodi tradizionali per mappare l'inquinamento, pianificare i cantieri e interfacciarsi con gli enti di controllo soffrono di una forte frammentazione dei dati e di lunghissimi tempi di elaborazione. Questo si traduce in un aumento incontrollato dei costi operativi (OPEX) e in una dilatazione dei tempi di intervento che blocca il riutilizzo di asset strategici. In questo scenario, l'esigenza di un approccio più rapido, preciso e pienamente conforme alle normative vigenti è diventata una priorità non più rimandabile. Lo studio nasce proprio per rispondere a questa urgenza, proponendo una svolta tecnologica che trasforma radicalmente la gestione delle bonifiche. L'obiettivo è superare l'inefficienza dei processi manuali attraverso una digitalizzazione intelligente, capace di offrire massima trasparenza verso gli stakeholder e di ridurre al minimo sia l'impatto ambientale sia i rischi legali ed economici per l'azienda.
Il nucleo del sistema ipotizzato è una piattaforma modulare guidata dall'Intelligenza Artificiale che automatizza l'analisi ambientale e supporta le decisioni ingegneristiche attraverso un flusso di lavoro chiaro e standardizzato. Il software acquisisce e centralizza dati eterogenei provenienti da canali istituzionali come l'ARPA, da rilievi con droni e satelliti, e da vecchie relazioni tecniche. Subito dopo, una fase di pre-elaborazione pulisce e normalizza queste informazioni per eliminare errori o incongruenze.
Una volta standardizzato il dato, entrano in gioco i motori di IA: il Machine Learning classifica i livelli di rischio e identifica le priorità d'intervento; la Computer Vision analizza le

immagini aeree per individuare anomalie nel suolo; mentre l'NLP (Natural Language Processing) scansiona i testi normativi per estrarre automaticamente i vincoli di legge e i limiti di contaminazione.
Il sistema incrocia queste analisi tramite una mappa cartografica GIS e suggerisce la strategia di bonifica più efficace ed economica. Infine, il ciclo si chiude con dashboard interattive e la generazione automatica di report tecnici già perfettamente conformi alle linee guida nazionali e regionali, pronti per essere sottoposti agli enti regolatori.
Sul piano prettamente operativo, l'accuratezza dei modelli predittivi e l'automazione dei processi permettono di ridurre i costi di bonifica del 20-30% rispetto ai metodi tradizionali, ottimizzando l'uso delle risorse e azzerando gli sprechi. A questo si aggiunge un'accelerazione straordinaria dei tempi di cantiere, con una contrazione dei tempi di intervento fino al 40%, favorendo una rotazione molto più rapida dei progetti.

Contatti: Giovanni.perilloniparthenope.it

La biodiversità del suolo nel nuovo quadro normativo europeo: l'environmental DNA (eDNA) come strumento di monitoraggio di nuova generazione

Francesca Formicola[1], Silvia Leoci[1,2], Massimiliano Baric[1], Andrea Franzetti[2], Tatiana Stella [1]

[1] M3R S.r.l.; [2]Università degli studi di Milano-Bicocca,

Abstract

La salute del suolo rappresenta una delle principali sfide ambientali, sociali ed economiche a livello europeo. Secondo le recenti stime della Commissione Europea, tra il 60% e il 70% dei suoli dell'Unione Europea risulta attualmente degradato, con conseguenze significative sulla sicurezza alimentare, sulla qualità delle acque, sulla resilienza climatica, sulla biodiversità e sulla capacità degli ecosistemi di fornire servizi ecosistemici essenziali.

In risposta a tale scenario, l'Unione Europea ha recentemente adottato un nuovo quadro normativo volto a promuovere la tutela, il monitoraggio e il ripristino dei suoli. In particolare, la Soil Monitoring Law, ad oggi in fase di recepimento, introduce per la prima volta una definizione armonizzata di "suolo sano", basata sull'integrazione di parametri chimici, fisici e biologici, riconoscendo esplicitamente il ruolo della biodiversità quale elemento fondamentale per la valutazione della salute degli ecosistemi terrestri. Parallelamente, la Nature Restoration Law, già in fase di attuazione, sottolinea la necessità di definire obiettivi misurabili di ripristino ecologico e di sviluppare sistemi di monitoraggio in grado di valutare l'efficacia degli interventi di recupero ambientale.

La biodiversità del suolo comprende un'ampia varietà di organismi, tra cui batteri, funghi, protisti, nematodi, artropodi, lombrichi, apparati radicali e organismi simbionti associati, che contribuiscono collettivamente alla stabilità degli ecosistemi, alla resilienza ambientale e alla fornitura di servizi ecosistemici. La Soil Monitoring Law riconosce inoltre la necessità di raccogliere e analizzare informazioni sulla biodiversità del suolo e prevede la possibilità di implementare, nei futuri sistemi di monitoraggio, descrittori

biologicibasati sulla caratterizzazione delle comunità microbiche e di altrigruppi tassonomici.
L'implementazione di tali obiettivi richiede lo sviluppo di metodologie standardizzate, riproducibili e applicabili su larga scala, capaci di integrare le tradizionali valutazioni chimico-fisiche con indicatori biologici rappresentativi della complessità ecologica del suolo. L'attuazione della Soil Monitoring Law richiederà non solo l'identificazione di nuovi descrittori biologici della salute del suolo, ma anche la definizione di metodologie condivise, standardizzate e applicabili su larga scala, capaci di descrivere la complessità biologica degli ecosistemi terrestri.
Per questi motivi, le tecnologie biomolecolari rappresentano una delle prospettive più promettenti per il monitoraggio della biodiversità e della salute del suolo. In particolare, le tecniche di metabarcoding ed environmental DNA (eDNA), basate sul sequenziamento di nuova generazione (NGS), consentono di caratterizzare simultaneamente differenti gruppi biologici, fornendo informazioni sulla composizione delle comunità, sulla biodiversità e sullo stato ecologico degli ecosistemi terrestri.
Il presente contributo si propone di analizzare il ruolo delle tecnologie biomolecolari nel nuovo contesto normativo europeo, discutendone le potenziali applicazioni per il monitoraggio della biodiversità e della salute del suolo e presentando un caso studio applicativo basato sull'utilizzo di approcci di metabarcoding ed eDNA.
Le analisi di metabarcoding hanno evidenziato comunità microbiche caratterizzate da elevata biodiversità tassonomica e da una struttura fortemente rarefatta, con numerosi taxa presenti a basse abbondanze relative. Tra i generi più frequentemente rilevati figurano Pseudomonas, Sphingomonas, Bradyrhizobium e Nocardioides, taxa comunemente associati agli ecosistemi del suolo e alla loro elevata complessità ecologica.
Le analisi eDNA, attualmente in corso, consentiranno di caratterizzare la biodiversità multi- trofica dei siti indagati, fornendo informazioni sulla composizione delle comunità biologiche e sulle eventuali differenze osservate tra le diverse condizioni ecologiche investigate.
Queste tecnologie rappresentano strumenti particolarmente promettenti per supportare l'implementazione dei futuri sistemi di monitoraggio della biodiversità previsti dal quadro normativo europeo. Rispetto agli approcci convenzionali, tali metodologie consentono di superare alcune delle principali limitazioni associate al

campionamento e all'identificazione degli organismi del suolo, permettendo la caratterizzazione simultanea di molteplici livelli trofici a partire da un singolo campione ambientale.
L'impiego di approcci basati sull'eDNA consente infatti di ridurre la dipendenza dalle tradizionali procedure di identificazione morfologica, di limitare la soggettività associata alle attività di campionamento e classificazione tassonomica e di ottenere una rappresentazione più integrata della biodiversità del suolo. Inoltre, la digitalizzazione delle informazioni biologiche e l'utilizzo di pipeline bioinformatiche standardizzate favoriscono l'armonizzazione dei dati, la loro interoperabilità e lo scambio di informazioni tra differenti programmi di monitoraggio nazionali ed europei, in linea con i principi FAIR (Findable, Accessible, Interoperable and Reusable).
Ulteriori vantaggi di tali approcci includono la riduzione dei tempi di analisi rispetto alle metodologie convenzionali e la possibilità di costruire baseline ecologiche comparabili nel tempo e nello spazio. Tuttavia, le tecnologie basate su eDNA presentano ancora alcune limitazioni, legate principalmente alla natura prevalentemente qualitativa o semi-quantitativa delle informazioni ottenute, che può limitare la valutazione delle distribuzioni spaziali e delle abbondanze assolute degli organismi presenti. Inoltre, tali approcci non consentono, allo stato attuale, di valutare direttamente caratteristiche biologiche e demografiche degli organismi, quali stato di salute, età, sesso o altri parametri fenotipici, rendendo ancora fondamentale l'integrazione con osservazioni dirette e attività di monitoraggio sul campo.
In questo contesto, la sfida posta dalla Soil Monitoring Law non consiste tanto nello sviluppo di tecnologie, già consolidate in altri ambiti applicativi, quanto nella definizione, standardizzazione e armonizzazione del loro utilizzo per la costruzione di una nuova generazione di indicatori biologici in grado di contribuire a descrivere la salute del suolo e la sua complessità ecologica.
La progressiva integrazione delle tecnologie biomolecolari nei programmi di monitoraggio ambientale potrebbe favorire il passaggio da una valutazione prevalentemente chimico-fisica del suolo a un approccio più olistico, capace di includere la componente biologica e la complessità funzionale degli ecosistemi, supportando così l'attuazione delle future politiche europee in materia di salute del suolo e biodiversità. In linea con l'approccio multidisciplinare

promosso dalla Soil Monitoring Law, le tecnologie biomolecolari non sono destinate a sostituire gli approcci convenzionali, ma a integrarli, contribuendo alla costruzione di sistemi di monitoraggio armonizzati, interoperabili e capaci di rappresentare la complessità degli ecosistemi.
La sfida futura non sarà quindi individuare il singolo indicatore migliore, ma integrare approcci complementari per descrivere la salute del suolo nella sua complessità biologica, ecologica e funzionale.

Contatti: tatiana.stella@m3r.it; francesca.formicola@m3r.it

Bonifica di suoli attraverso EKRT: valutazione integrata dei risultati di trattamento

T. Angiolini[1,2], A. De Folly D'Auris[3], A. Conte[3], D. Bersano[3], S. Frisario[4], A.Prisciandaro[4], A. Acciani[4], P. Galizia[4], S. Ferro[2], M. Vocciante[1,2]

[1]Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale (DCCI), Università di Genova
[2] Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Scienza e Tecnologia dei Materiali (INSTM)
[3] R&D Environmental & Biological Laboratories, Eni S.p.A., San Donato M.se (MI)
[4]Eni Rewind Viale De Gasperi n.2, San Donato M.se (MI)

Abstract

Il mercurio è un contaminante di origine prevalentemente antropica, la cui gestione rimane prioritaria a causa dell'elevato potenziale di bioaccumulo e dei rischi per la salute umana e gli ecosistemi.
Data la sua persistenza nei suoli, sono state studiate diverse tecnologie di bonifica per rimuovere questo contaminante efficacemente dal terreno.
La tecnologia elettrocinetica (Electrokinetic Remediation Technology, EKRT) ha ampie applicazioni nella rimozione di contaminanti dal suolo, dimostrandosi promettente con diversi tipi di contaminanti (PHA, petrolio, composti non metallici) ma anche con metalli pesanti come il mercurio (Santos et al., 2020), soprattutto per la bonifica in-situ. La sua efficacia dipende dalla configurazione e dalla disposizione degli elettrodi (Vocciante et al., 2021).
Questo studio si propone di descrivere i risultati ottenuti da un test pilota EKRT su un terreno contaminato da mercurio, secondo la configurazione brevettata da Eni (Brevetto Italiano 1414308), integrando una metodologia per la speciazione del mercurio appositamente sviluppata per determinare le specie chimiche di maggior interesse ai fini della valutazione ambientale e dell'analisi di rischio.
Va considerato che, ai fini normativi, la valutazione della contaminazione da mercurio nel suolo è espressa in termini di mercurio totale; tuttavia, numerosi studi evidenziano come tossicità e

mobilità del mercurio dipendono in misura rilevante dalla forma chimica in cui esso è presente. In tale contesto, le forme considerate nel protocollo risultano coerenti con i principali scenari di esposizione valutati nelle analisi di rischio ambientale: mercurio elementare per volatilizzazione, specie organo-mercuriche per contatto diretto/ingestione e specie saline del mercurio per lisciviazione. In particolare, amalgami e solfuri di mercurio presentano in generale una tossicità relativamente più bassa, mentre i composti organo-mercurici e alcune specie alogenate risultano associati a effetti particolarmente critici, anche a carico del sistema nervoso centrale.
Ai fini normativi, la valutazione del suolo è espressa in termini di mercurio totale; tuttavia, la speciazione fornisce informazioni complementari utili a interpretare mobilità, volatilità e potenziale esposizione delle diverse forme presenti.
Di conseguenza, pur non avendo raggiunto la CSC di 5 mg/kg, il trattamento ha determinato una marcata riduzione del mercurio totale e delle forme maggiormente rilevanti dal punto di vista della mobilità, esposizione e tossicità, con un residuo dominato dal solfuro di mercurio, specie relativamente stabile e scarsamente solubile.

Contatti: g.marinelli@artaabruzzo.it

Bonifica in 3 mesi di un plume di solventi clorurati su20.000 m² in sito attivo: intervento in situ integrato con costruzione di un nuovo impianto di trattamento rifiuti

Paola Goria[1], Janis Patiño[1], Marcello Carboni[1]

[1] REGENESIS

Abstract

Un impianto di gestione rifiuti nel Nord Italia, esteso su circa 500.000 m², è stato interessato da una contaminazione diffusa della falda da solventi clorurati, con un'area di intervento pari a circa 20.000 m² coincidente con il sedime di un nuovo impianto waste-to-energy (WTE) da realizzare. Le attività di caratterizzazione condotte da A2A hanno evidenziato un plume esteso per circa 300 m e la presenza di concentrazioni nell'area sorgente fino a 6.000 µg/L di 1,1-DCE, 15.000 µg/L di TCM e 1.000 µg/L di 1,2-DCA. Il progetto ha richiesto non solo il raggiungimento delle CSC sull'intero sito, ma anche la compatibilità con un cronoprogramma estremamente stringente legato alla realizzazione del nuovo impianto, imponendo un approccio di bonifica rapido, flessibile e fortemente integrato con le attività di cantiere.
A seguito di un test pilota, TAUW e REGENESIS hanno sviluppato per A2A un intervento in situ combinato sorgente-plume, progettato per massimizzare l'efficacia in tempi ridotti e minimizzare le interferenze con la costruzione dell'impianto WTE. L'area sorgente è stata trattata mediante iniezioni a griglia di reagenti per la riduzione chimica in situ (ISCR) e la declorurazione riduttiva potenziata (ERD), mentre nel plume sono state realizzate due barriere permeabili reattive iniettabili basate su processi di adsorbimento e biodegradazione (ISSB). La complessità operativa del sito — falda superficiale, presenza di infrastrutture, condizioni meteo avverse e sovrapposizione con altre attività di bonifica e costruzione — ha richiesto l'implementazione di un modello esecutivo altamente dinamico. Le attività sono state completate in una finestra temporale estremamente ridotta mediante

l'impiego simultaneo di tre squadre di iniezione operanti in parallelo, con 2–3 sonde attive contemporaneamente e un coordinamento quotidiano continuo tra A2A, TAUW e REGENESIS.
Il cronoprogramma dell'intervento è stato adattato alle esigenze del cantiere del nuovo impianto, richiedendo una pianificazione flessibile e una gestione integrata delle priorità di bonifica e costruzione.
Il test pilota ha evidenziato una riduzione molto rapida delle concentrazioni, confermando la fattibilità dell'approccio e consentendo il passaggio alla fase full-scale. Nonostante le forti criticitàoperative e le tempistiche estremamente compresse, l'intervento è stato completato nei tempi previsti, con risultati significativi: riduzione marcata delle concentrazioni nell'area sorgente e raggiungimento delle CSC nelle barriere intermedia e a valle in tutti i punti di monitoraggio. Le condizioni riduttive instaurate risultano persistenti nel tempo, garantendo il proseguimento dei processi di degradazione e una sostanziale limitazione del flusso contaminante verso valle. L'intervento ha inoltre consentito l'avvio e la prosecuzione della costruzione del nuovo impianto WTE in parallelo alle attività di bonifica, dimostrando come un approccio in situ combinato, supportato da una forte integrazione tra stakeholder e da una esecuzione multi-team coordinata, possa rappresentare una soluzione efficace per siti complessi di grandi dimensioni soggetti a vincoli temporali stringenti.

Keywords: bonifica in situ, solventi clorurati, ISCR, ERD, ISSB

Contatti: pgoria@regenesis.com

Valutazione del potenziale di riconversione industriale (PRI): un modello MCDA-GIS per la prioritizzazione dei brownfield

Federico Pinzin[1], Mentore Vaccari[1], Laura Cutaia[2], Emanuela De Marco[2]

[1] Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio, Ambiente e di Matematica (DICATAM), Università degli Studi di Brescia

[2]ENEA, Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile,

Abstract

La transizione dei sistemi produttivi verso modelli di eco-distretto circolare è tra gli obiettivi strategici centrali del Circular Economy Action Plan e del Green Deal europeo. In questo contesto, le aree industriali dismesse (brownfield) rappresentano un'opportunità rilevante: la loro riconversione consente di ridurre il consumo di suolo, riattivare economie territoriali e costruire piattaforme produttive orientate alla simbiosi industriale.

In Italia, tuttavia, la gestione integrata dei brownfield è ostacolata dall'assenza di un censimento nazionale sistematico e dalla mancanza di strumenti operativi per supportare la selezione delle aree prioritarie di intervento, limitando la possibilità di pianificare interventi coordinati nell'ambito del Piano Nazionale dedicato alla simbiosi industriale e agli eco-distretti.

Il presente contributo propone un modello quantitativo per la valutazione del Potenziale di Riconversione Industriale (PRI) delle aree brownfield, basato sull'integrazione di Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) ed elaborazione spaziale GIS. L'obiettivo è costruire uno strumento di ranking territoriale, trasparente e replicabile, capace di supportare le politiche di prioritizzazione degli interventi a scala provinciale e nazionale.

I risultati dell'applicazione mostrano come il modello PRI sia in grado di discriminare efficacemente tra siti con diverso livello di idoneità alla riconversione in eco-distretto circolare, producendo un ranking comparativo stabile e interpretabile. I siti con punteggio PRI più elevato risultano concentrati negli ATO della Bassa Pianura Bresciana

e della Franciacorta, dove la densità del tessuto produttivo circostante, la qualità delle infrastrutture logistiche e la prossimità a impianti AIA con elevato potenziale sinegetico favoriscono l'inserimento dei siti riconvertiti in reti di simbiosi industriale già strutturate. I siti con punteggio più basso si localizzano prevalentemente negli ATO montani, in particolare Valle Camonica e Valli Bresciane, dove la presenza di vincoli ambientali, la minore accessibilità logistica e la rarefazione del tessuto industriale limitano il potenziale di integrazione produttiva.

L'analisi di sensibilità condotta confrontando i tre scenari di ponderazione (P, U, T) ha confermato la robustezza del ranking per i siti con potenziale più elevato e più basso, che mantengono la propria posizione indipendentemente dallo scenario adottato. Una maggiore variabilità è stata osservata nella fascia intermedia del ranking, dove le differenze di sensibilità disciplinare tra esperti urbanisti e tecnici industriali determinano oscillazioni nell'ordinamento, senza però alterare la fascia di appartenenza dei siti. Ciò suggerisce che per i siti in posizione intermedia sia opportuno affiancare al modello un'analisi di dettaglio caso per caso, mentre per le priorità di intervento ai due estremi dello spettro il ranking è da considerarsi robusto."

Sul piano delle conclusioni, il modello proposto offre un contributo metodologico direttamente trasferibile a contesti di programmazione nazionale e locale. La sua architettura modulare, basata su dati pubblici, aggiornabili e integrabili con ulteriori fonti informative lo rende compatibile con le esigenze del Piano Nazionale per la simbiosi industriale e gli eco-distretti circolari, fornendo una base quantitativa e trasparente per orientare la destinazione delle risorse verso le aree con maggiore potenziale di rigenerazione produttiva.

Contatti: federico.pinzin@unibs.it

Implementation and operation of an effective GCW remedial system under complex geological conditions

Niloufar Falakbaz[1], Eduard Alesi[1], Melinda Wieser[2] Tamás, László[2]

[1] IEG Technologie GmbH, [2] WSP, Budapest, Hungary

Abstract

In collaborazione con IEG Technologie GmbH, presso un sito farmaceutico fortemente contaminato è stata installata ed è attualmente in esercizio un'innovativa tecnologia di bonifica basata sulla circolazione delle acque sotterranee e sulla biodegradazione accelerata. I risultati sono promettenti e mostrano un tasso di degradazione significativamente superiore rispetto alle aree del sito in cui è applicata esclusivamente la tradizionale tecnologia di bonifica pump and treat.

Il sito oggetto dell'intervento è un complesso farmaceutico densamente edificato. La contaminazione da solventi clorurati si estende fino a una profondità di 60 m dal piano campagna e interessa un'area di circa 40 ettari. Le condizioni idrogeologiche locali non sono favorevoli alla tradizionale tecnologia pump and treat a causa delle rese idriche estremamente basse all'interno di una successione fluviale quaternaria costituita da sabbie fini, limi e livelli argillosi.

Per questo motivo è stato progettato, installato e messo in esercizio un sistema di pozzi a circolazione di falda (Groundwater Circulation Wells, GCW), che opera come un bioreattore in situ, distribuendo i nutrienti negli acquiferi eterogenei per favorire la declorazione riduttiva. Il sistema è costituito da un pozzo dotato di almeno due o più tratti filtranti idraulicamente separati. L'acqua di falda viene estratta da una sezione e, dopo il trattamento, reimmessa in un'altra sezione posta a una quota superiore o inferiore. Questo genera una circolazione forzata tridimensionale attorno al pozzo, aumentando il numero di ricambi dell'acqua attraverso lo spazio poroso e favorendo il rilascio degli inquinanti dalle strutture sedimentarie a grana fine. Uno dei principali vantaggi del sistema è la possibilità di migliorare il bilancio idrico dell'area. Inoltre, l'acqua tecnologica trattata proveniente dallo stabilimento farmaceutico può essere immessa nel sistema di circolazione, riducendo i costi di gestione delle acque reflue

e migliorando l'efficienza della bonifica e il raggio d'influenza dei pozzi di risanamento.
Durante il funzionamento del sistema viene prodotta un'enorme quantità di dati, che vengono archiviati, organizzati e visualizzati mediante il software di gestione dati EQUIS (Environmental Quality Information System). Ciò consente una migliore comprensione dei processi di bonifica e biodegradazione e rappresenta uno strumento fondamentale per la gestione dei big data e per le relazioni con gli stakeholder.
Le condizioni geologiche e idrogeologiche sono state integrate in un modello geologico tridimensionale realizzato con Leapfrog, che ha costituito la base per lo sviluppo di un modello idrogeologico dell'intero sito mediante MODFLOW. I modelli idraulici e di trasporto sono stati utilizzati per valutare l'efficienza della nuova tecnologia di bonifica rispetto all'attenuazione naturale e alle tecnologie di bonifica tradizionali. I risultati della modellazione hanno dimostrato che questo sistema rappresenta una soluzione efficace per il risanamento del sito e che la sua estensione consentirebbe di incrementarne ulteriormente le prestazioni.
I risultati delle analisi mostrano che il tasso di degradazione è aumentato significativamente nelle aree in cui la nuova tecnologia è stata applicata per cinque anni. Inoltre, presso il GCW in funzione da più tempo il solvente originario non è più rilevabile, mentre nei GCW installati più recentemente le concentrazioni sono in rapida diminuzione.
Sulla base di questi risultati, i sistemi di circolazione delle acque sotterranee possono essere implementati in aree industriali densamente edificate e gestiti in modo economicamente efficiente anche nei casi in cui la contaminazione sia localizzata al di sotto degli edifici, dove l'accesso diretto ai contaminanti risulta particolarmente difficoltoso

Contatti: Niloufar.falakbaz@ieg-technology.com

Pilota su scala reale di ossidazione aerobica di organoclorurati in acqua di falda

Devaki Destri[1], Alessandro Gentini[1]

[1] BD Biodigressioni srl, Università di Pisa, [2]Teseco Bonifiche srl

Gli eteni clorurati come il percloroetilene (PCE) e il tricloroetilene (TCE) sono tra i contaminanti delle acque sotterranee più diffusi. Le strategie di bonifica si basano tradizionalmente sulla declorazione riduttiva anaerobica, che può essere efficace ma spesso richiede uno stretto controllo delle condizioni redox e può portare all'accumulo di intermedi tossici. In questo contesto, gli approcci aerobici o ossidativi sono applicati meno comunemente e rimangono relativamente inesplorati su scala reale, in particolare se integrati con processi biologici.
Questo studio mira a valutare la fattibilità e l'efficacia di una strategia integrata di bonifica aerobica e biologica per le acque sotterranee contaminate da TCE in un sito su scala reale, combinando il condizionamento chimico–fisico della falda acquifera con biostimolazione e bioincremento, utilizzando un consorzio microbico autoctono isolato su contaminanti clorurati.
Il trattamento ha promosso e sostenuto efficacemente condizioni prevalentemente ossidative nelle acque sotterranee, nonostante la variabilità spaziale e temporale. I contaminanti hanno mostrato una tendenza generale alla diminuzione in tutto il sito, pur mantenendo variabilità tra i vari piezometri.
Le analisi metagenomiche tramite metabarcoding hanno permesso di osservare un andamento nella biodiveristà comune a tutti i punti di campionamento, mentre le analisi di whole-genome sequencing del consorzio isolato hanno permesso di individuare dei pathway di degradazione e funzioni enzimatiche possibilmente coinvolte nell'ossidazione dei contaminanti clorurati. Taxa altamente rappresentati nel consorzio isolato sono stati rilevati anche in matrici ambientali, suggerendo possibili interazioni tra degradatori specializzati e membri ausiliari della comunità.

Contatti: devaki.destri@biodigressioni.it

Monitorare interventi di fito-biorisanamento nel contesto delle nuove normative europee

Massimiliano Baric[1], Roberto Comolli[2], Chiara Ferrè[2], Silvia Leoci[1,2], Isabel Nogués[3], Laura Passatore[3], Fabrizio Pietrini[3], Gianluca Rapaccini[4], Tatiana Stella[1], Massimo Zacchini[3],Stefano Zoli[4]

[1]M3R srl, [2]Università degli studi di Milano-Bicocca, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra (DISAT), [3]Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri (IRET), Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), [4]Terrapreta Srl, via Valparaiso 11, 20144 Milano (MI)

Abstract

Il fitorisanamento si sta progressivamente diffondendo in ambito europeo come soluzione sostenibile basata sulla natura (NbS) per affrontare la contaminazione dei suoli. Questo approccio è particolarmente rilevante nel contesto del recente regolamento europeo sul ripristino della natura (Nature Restoration Law, 2024/1991) e della direttiva sul monitoraggio e la resilienza del suolo (Soil Monitoring Law 2025/2360). Tuttavia, uno dei principali ostacoli alla sua implementazione su larga scala è rappresentato dalla mancanza di sistemi di monitoraggio robusti e standardizzati, in grado di descrivere, non solo le dinamiche dei contaminanti, ma anche il recupero e la funzionalità dell'ecosistema. A differenza delle tecnologie di bonifica ingegnerizzate convenzionali, il cui monitoraggio si basa sul controllo di processi deterministici e su parametri di riferimento basati sulla concentrazione dei contaminanti, il fitorisanamento opera attraverso complesse interazioni tra suolo, pianta e microrganismi. Questo richiede sistemi di monitoraggio ecosistemici, capaci di integrare indicatori chimici, biologici ed ecologici, , descrivendo non solo l'evoluzione della contaminazione, ma anche il recupero della funzionalità del sistema ambientale. Sulla base di una ricognizione di casi studio europei, il presente lavoro offre una panoramica dei principali criteri che guidano il monitoraggio di processi di bonifica basati sulle fitotecnologie, evidenziando la necessità di superare l'approccio incentrato sul singolo processo fisico-chimico in favore di un tipo di monitoraggio ecosistemico adattivo.

Sulla base di questi elementi, viene inoltre proposto un quadro di monitoraggio a supporto dei processi decisionali in contesti urbani di bonifica, che combina metriche quantitative di attenuazione dei contaminanti con indicatori qualitativi di recupero ecologico del suolo e della fornitura di servizi ecosistemici. Questo approccio mira a migliorare l'affidabilità, la trasparenza e l'accettazione normativa del fitorisanamento. Infine, vengono discussi i principali vincoli che ne limitano l'applicazione in ambito urbano, tra cui barriere normative e lunghi tempi di realizzazione, individuando opportunità strategiche per promuovere il fitorisanamento come soluzione multifunzionale per la rigenerazione urbana, coerente con gli obiettivi di sostenibilità dell'Unione Europea.

Gli indicatori utilizzati per il monitoraggio del fitorisanamento devono integrare diversi comparti ambientali. Il monitoraggio del suolo è finalizzato sia all'ottimizzazione delle condizioni di crescita di piante e microrganismi, sia alla verifica dell'avanzamento dei processi biochimici e fisici di bonifica.

Lo studio del suolo deve quindi comprendere diversi campi di analisi: chimico (es. pH, concentrazione e frazione biodisponibile di contaminante), pedo-morfologico (es. porosità e conducibilità idraulica), microbiologico (es. struttura delle comunità microbiche, attività enzimatica e presenza di geni funzionali) e relativo alla pedofauna (es. struttura della comunità di artropodi). I parametri legati al comparto "pianta" hanno invece l'obiettivo di valutare attecchimento e vitalità della vegetazione (es. mortalità, indici basati sulla misura della fluorescenza della clorofilla), crescita delle piante (es. diametro del tronco a 1.3 m dal suolo, percentuale di copertura tramite foto da drone), interazione della pianta con i contaminanti (es. fattore di bioaccumulo e di traslocazione) e il contributo ai servizi ecosistemici (es. biodiversità vegetale, numerosità, biodiversità e dimensioni delle piante). Infine, per il comparto "atmosfera", il monitoraggio è generalmente finalizzato alla valutazione dei servizi ecosistemici connessi alla presenza di vegetazione (es. temperatura, concentrazione di particolato).

L'analisi della letteratura evidenzia che la scelta dei parametri oggetto di monitoraggio e delle relative tempistiche dipendono fortemente dalla strategia di fitorisanamento applicata. Per gli interventi di fitostabilizzazione i principali parametri studiati sono la concentrazione e la mobilità/biodisponibilità del contaminante nel suolo che devono essere monitorate nel lungo periodo per verificare

la stabilità del sistema e la persistenza delle condizioni di contenimento. In questi casi il fattore di accumulo suolo- pianta e i test di eco-tossicità sul suolo assumono particolare rilevanza. Il monitoraggio dei sistemi di fitostabilizzazione fornisce elementi utili per orientare nel tempo la gestione della biomassa, la manutenzione del sito e l'accesso delle persone.
Negli interventi di rizodegradazione, il monitoraggio della popolazione microbiologica della rizosfera riveste un ruolo centrale e viene studiato nel tempo attraverso indicatori quali la biomassa microbica, la respirazione, l'attività enzimatica, la diversità funzionale e la struttura della comunità. I tempi di monitoraggio devono coprire l'intero spettro temporale che va dalla fase pre-intervento fino all'avvenuta bonifica.
Infine, le applicazioni di fitoestrazione si caratterizzano per una maggiore attenzione agli indicatori basati sulla pianta e direttamente correlati all'assorbimento di contaminanti, come ad esempio il fattore di bioaccumulo e il tasso di crescita vegetale. In questo caso il monitoraggio deve seguire tutto/i il/i ciclo/i vegetativi della pianta, dalla messa a dimora fino alla rimozione della biomassa.
1 EUI02-130 GOCCIA "Green Opportunities to clean up contaminants through an interspecies alliance" – co-finanziato dalla European Urban Initiative (ERDF – European Regional Development Fund) In generale, a differenza degli interventi di bonifica ingegnerizzati, in cui le prestazioni del sistema possono essere ottimizzate attraverso un controllo tecnico diretto, il fitorisanamento è caratterizzato da una variabilità spaziale significativa e da variazioni dell'ecosistema nel tempo (successioni ecologiche, risposta a cambiamenti climatici, fluttuazioni stagionali), il che complica l'interpretazione dei dati eriduce la trasferibilità dei risultati da sito a sito. Pertanto, il monitoraggio deve essere in grado di descrivere le traiettorie di sviluppo del sistema anziché focalizzarsi soltanto su punti finali statici. Tali differenze riflettono una delle principali trasformazioni di paradigma nella progettazione e nella governance del monitoraggio.
Inoltre, mentre i sistemi ingegnerizzati privilegiano l'efficienza, la prevedibilità e la conformità normativa, le soluzioni basate sulla natura richiedono strategie di monitoraggio adattive, a lungo termine e orientate al sistema, capaci di cogliere la complessità ecologica e la variabilità temporale. Tuttavia, alla luce delle recenti normative europee, quando si confrontano diversi approcci di bonifica del suolo,

sia ingegnerizzati che basati sulla natura, è fondamentale considerare il loro impatto complessivo sul suolo.
Il piano operativo di bonifica del sito "Goccia" (Milano) prevede la suddivisione dell'area in sub-lotti in base alla tecnologia di bonifica applicata. Il piano di monitoraggio considera quindi una serie di parametri, tempistiche e approcci spaziali che variano per ciascun sublotto: il sublotto A che prevede un intervento di rizodegradazione e il sublotto B, nel quale, attraverso il mantenimento della vegetazione spontanea, si garantisce la prosecuzione nel tempo del processo di attenuazione naturale sugli organici e la fitostabilizzazione in atto sui metalli presenti nel suolo.
Per entrambi i sublotti la prima campagna di monitoraggio (tempo 0) fornirà gli elementi per la creazione di una baseline di riferimento da cui partire per interpretare le fluttuazioni dell'ecosistema dovute agli interventi di bonifica e ai fattori ambientali. Il progetto si articola in due fasi, la prima denominata "pilota", prevede un monitoraggio più frequente nel tempo e denso nello spazio, e che prevede lo studio di un maggior numero di parametri. L'obiettivo di tale fase è quello di garantire un'osservazione approfondita e continuativa per un periodo di due anni. La seconda fase, denominata "di consolidamento", inizierà a partire dal terzo anno e si protrarrà fino a bonifica conclusa. La cadenza temporale dei monitoraggi prevede intervalli che si estendono da 6 mesi a 5 anni, a seconda del parametro investigato e a seconda della fase temporale. La distribuzione spaziale dei campionamenti nel sublotto A segue uno schema statistico sistematico. Per il sublotto B, in considerazione delle condizioni di elevata variabilità relative ai parametri vegetazionali, pedologici e di contaminazione, è stata proposta una strategia di campionamento basata sulla metodologia incrementale che prevede il monitoraggio di singole "unità decisionali" (Decision Units) distribuite sull'area.
In siti contaminati urbani come nel caso della Goccia, l'accessibilità pubblica e le modifiche nella destinazione d'uso del suolo esercitano un'influenza diretta sulla scelta delle fitotecnologie e sulla selezione degli indicatori di monitoraggio appropriati. In tali contesti il monitoraggio supporta la gestione dinamica del sito in relazione a fattori ecologici, sociali e urbanistici. Inoltre, con l'avanzamento delle operazioni di bonifica, il modello concettuale del sito dovrebbe essere periodicamente aggiornato sulla base dei risultati del monitoraggio e dell'evoluzione del contesto urbanistico, integrando nuove evidenze relative alla biodisponibilità dei contaminanti, all'insediamento della

vegetazione, alla funzionalità del suolo e al controllo dell'esposizione. Questa prospettiva adattiva riveste particolare rilevanza per le strategie di fitostabilizzazione e gestione del rischio, nelle quali i contaminanti non vengono rimossi ma mantenuti in situ in condizioni ecologiche e di utilizzo del suolo controllate. In questo senso assumono particolare rilievo gli approcci di governance adattiva, che risultano particolarmente appropriati nei casi di sistemi di bonifica a lungo termine e in approcci multifunzionali come quelli basati sulle NbS, soprattutto alla luce delle recenti iniziative europee come la Strategia UE per il suolo 2030 e la direttiva europea sul monitoraggio del suolo.

Contatti: s.leoci1@campus.unimib.it, laura.passatore@cnr.it

Interventi urgenti di risanamento della galleria di derivazione della centrale di Glorenza – Alperia

Roberto Bertero[1], Vittorio Tresso[1]

[1] Hydrodata SpA

Abstract

A fine luglio 2021, nel centro abitato di San Valentino alla Muta (BZ), si sono verificati allagamenti nei locali interrati di alcuni edifici situati in prossimità della galleria di derivazione che convoglia le acque dal Lago di Resia alla centrale idroelettrica di Glorenza. L'evento ha reso necessario un intervento urgente per comprendere le cause del fenomeno e definire soluzioni efficaci e durature.

Hydrodata ha supportato Alperia nelle fasi di analisi del fenomeno, gestione dell'emergenza e progettazione degli interventi definitivi di risanamento. Obiettivo principale dello studio è stato quello di identificare l'interazione tra falda e infrastruttura, individuare le cause degli allagamenti e progettare un intervento di impermeabilizzazione e consolidamento della galleria. L'intervento di relining è stato realizzato attraverso l'inserimento progressivo di virole in PRFV di lunghezza variabile (2–6 m), adattate alle irregolarità geometriche della galleria esistente. I tubi sono stati posati tramite una finestra di accesso appositamente realizzata e collegati mediante giunti a manicotto, successivamente rinforzati mediante laminazione in vetroresina dove necessario. Durante la posa, è stata garantita la tenuta idraulica mediante prove pneumatiche su tutti i giunti, mentre l'intercapedine tra nuova e vecchia struttura è stata riempita con malta cementizia iniettata.

Le attività di cantiere, avviate a fine ottobre 2021 si sono concluse entro marzo 2022, hanno visto il coinvolgimento sinergico di diversi soggetti: PAC per le opere preliminari, Rotech per il relining e Amiblu per la fornitura delle tubazioni.

L'esperienza ha evidenziato l'importanza di un approccio integrato tra modellazione idrogeologica, gestione dell'emergenza e progettazione esecutiva, oltre al valore della collaborazione tra progettisti, impresa

e committenza per affrontare condizioni operative complesse e garantire la sicurezza e l'efficacia degli interventi.

La sinergia e la collaborazione tra progettisti di Hydrodata, tecnici di Alperia e imprese realizzatrici sono state determinanti per la realizzazione di un progetto ambizioso, tra i primi in Europa per diametro (3 m) e lunghezza del tratto risanato (1 km).

Contatti: hydrodata@hydrodata.it

Studio pilota sulla dealogenazione riduttiva potenziata (ERD) per la bonifica delle acque sotterranee presso il sito ex agricoltura – Avenza (MS), Italia

Maria Alejandra Decima[1], Riccardo Crespi[1]

[1] Eni Rewind

Abstract

La contaminazione da solventi clorurati rappresenta una delle principali criticità ambientali nei siti industriali europei. Presso il sito Ex Agricoltura di Avenza (Massa Carrara), ricompreso all'interno di un Sito di Interesse Nazionale (SIN), Eni Rewind ha condotto un test pilota di Dehalogenazione Riduttiva Potenziata (Enhanced Reductive Dechlorination, ERD) al fine di valutarne l'efficacia nel trattamento di acque sotterranee contaminate da tetracloroetilene (PCE) e tricloroetilene (TCE), rilevati a concentrazioni fino a tre ordini di grandezza superiori ai limiti normativi (CSC).

Il test è stato realizzato in tre aree caratterizzate da differenti condizioni idrogeologiche e geochimiche, mediante l'installazione di 32 punti di iniezione e 34 piezometri di monitoraggio. Due aree sono state trattate mediante 3D Microemulsion e SMicroZVI, mentre un'area è stata trattata con EOS QR, substrato a base di lattato.

Il monitoraggio delle acque sotterranee è stato eseguito durante le fasi di baseline e post-trattamento attraverso analisi chimico-fisiche mensili e tramite applicazione trimestrale del protocollo elimina® (Eni Linking Isotopic and Microbial Investigations to Aid Natural Attenuation), che integra analisi isotopiche specifiche per composto (CSIA) con indagini microbiologiche e molecolari.

I dati preliminari hanno evidenziato una bassa abbondanza di Dehalococcoides spp., microrganismi chiave per la completa decolorazione riduttiva. Per tale motivo, tutte le aree sono state sottoposte a bioaumento mediante inoculo Bio Dechlor Inoculum Plus™ (BDI).

Il primo monitoraggio successivo all'iniezione ha confermato la rapida instaurazione di condizioni fortemente riducenti anaerobiche (DO <

0,5 mg/L; potenziale redox compreso tra –150 e –250 mV), accompagnate da:
• deplezione dei nitrati;
• incremento delle concentrazioni di ferro e manganese disciolti;
• aumento del carbonio organico totale (TOC); tutti indicatori dell'attivazione dei processi riduttivi.
Le tendenze osservate per i contaminanti evidenziano:
• riduzione del PCE di circa un ordine di grandezza in tutte le aree (S1_A1, S1_A2, S2);
• accumulo di 1,2-dicloroetilene (DCE) e cloruro di vinile (VC), coerente con il percorso di degradazione: PCE → TCE → DCE → VC → etene;
• riduzione complessiva della massa dei solventi clorurati pari a circa un ordine di grandezza.

I risultati preliminari dimostrano che la tecnologia ERD, supportata da bioaumento mirato, è in grado di promuovere efficacemente la degradazione degli eteni clorurati in condizioni geochimiche favorevoli.

Contatti: mariaalejandra.decima@enirewind.com; riccardo.crespi@enirewind.com

Analisi di rischio sanitario-ambientale nel materiale di riporto: l'esempio di un polo impiantistico in Toscana

Tiziana Busà[1], Nicla Cea[1], Alfio Bazzichi[1]

[1] *WSP Italia*

Abstract

Per un Polo Impiantistico situato nella Regione Toscana, già censito come sito contaminato ed oggetto di Messa in Sicurezza Operativa, è previsto un riassetto complessivo, che prevede modifiche sostanziali nei cicli produttivi autorizzati, sottoposte al procedimento regionale di Verifica di Assoggettabilità a VIA. Gli interventi consistono nell'ammodernamento dell'impianto di depurazione acque e nella costruzione di un impianto per il riuso e il riciclo dei RAEE.
Nel corso delle indagini di pre-caratterizzazione dei suoli da scavare, sono stati rinvenuti alcuni superamenti delle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) di analiti non presenti nel Modello Concettuale approvato precedentemente all'entrata in vigore delle Linee Guida SNPA n.46/2023, si è reso necessario quindi l'Aggiornamento dell'Analisi di Rischio ai sensi delle succitate linee guida, poiché l'area risulta interamente interessata dalla presenza di materiale di riporto.
Per un Polo Impiantistico situato nella Regione Toscana, per il quale è previsto un riassetto complessivo, sono stati rinvenuti, durante le indagini di pre-caratterizzazione dei suoli da scavare, superamenti di CSC di analiti non presenti nel Modello Concettuale approvato precedentemente all'entrata in vigore delle Linee Guida SNPA n.46/2023.
Si è reso quindi necessario l'Aggiornamento del Modello Concettuale e dell'Analisi di Rischio secondo le sopra citate linee guida poiché l'area risulta interamente interessata dalla presenza di materiale di riporto. L'Analisi di Rischio è stata applicata facendo riferimento alla Stato di Progetto.
Per il materiale di riporto, come riportato nell'Appendice alle LG SNPA n.46/2023, l'analisi di rischio è stata applicata in modalità diretta, ossia determinando la stima del rischio associato alle concentrazioni riscontrate nell'eluato, per tutti i contaminanti ricercati nel test di cessione, e nella matrice solida per tutti gli altri contaminanti.

Tutte le simulazioni del rischio effettuate per il materiale di riporto hanno permesso di definire un rischio accettabile per il percorso di lisciviazione.
Per la matrice acque di falda, poiché in corrispondenza del piezometro identificato come POC, le acque risultano sempre conformi alle CSC per tutti i parametri monitorati, il rischio da trasporto delle acque di falda al punto di conformità è accettabile.
L'Analisi di Rischio, approvata dalla Regione Toscana, ha permesso quindi di definire il Sito non contaminato allo stato di progetto, potendo così procedere con gli interventi previsti, attualmente in fase di realizzazione.

Contatti: tiziana.busa@wsp.com , nicla.cea@wsp.com , massimilianoalfio.bazzichi@wsp.com

Trattamento acque potabili e di falda contaminate da PFAS - tecnologie applicabili e presentazione risultati di prove pilota

Simone Alberio[1], Paolo Boitani[1], Alessandro Raffaldi[1], Marco Zamborlini[1]

[1] Zueblin Umwelttechnik GmbH

Abstract

La contaminazione delle acque da PFAS (sostanze perfluoroalchiliche e polifluoroalchiliche) rappresenta una delle principali e più urgenti problematiche ambientali e sanitarie dei nostri tempi. I PFAS sono utilizzati in una vasta gamma di prodotti industriali, tra cui schiumogeni antincendio, tessuti impermeabili e rivestimenti antiaderenti. La loro natura stabile, data dal legame carbonio-fluoro, unita alle loro caratteristiche di mobilità, tendenza al bioaccumulo e 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 necessità di garantire la sicurezza dell'approvvigionamento idrico ha recentemente spinto il legislatore europeo e nazionale a definire un quadro regolatorio radicalmente più severo, trasformando la gestione delle acque sotterranee e dei sistemi idro-potabili in una priorità tecnologica non più rimandabile. Il fulcro di questo cambio di paradigma è rappresentato dalla Direttiva Europea (UE) 2020/2184 sulle acque destinate al consumo umano, recepita in Italia attraverso il D.Lgs. 23 febbraio 2023, n. 18 e successivamente integrata dal D.Lgs. 102/2025. Questo impianto normativo ha introdotto limiti armonizzati con uno scenario di progressivo e severo restringimento delle soglie di accettabilità, per il raggiungimento delle quali i trattamenti tradizionali possono risultare insufficienti o economicamente insostenibili su larga scala. Diventa quindi fondamentale validare sul campo strategie di rimozione avanzate e selettive. Il presente lavoro illustra gli esiti di una serie di prove pilota condotte su acque destinate al consumo idropotabile, sia su matrici di acqua di falda (caratterizzate da contaminazioni storiche).

Lo studio mira a confrontare l'efficienza di rimozione, le cinetiche di saturazione e la sostenibilità operativa delle principali tecnologie disponibili — tra cui filtrazione su carboni attivi granulari, resine a scambio ionico e il processo della foam fractionation — fornendo criteri oggettivi e scalabili per l'ingegnerizzazione degli impianti di trattamento a scala reale in conformità con i nuovi standard vigenti, ed illustrandone l'implementazione nei principali progetti di trattamento acque full scale completati con successo o ancora in corso da parte della società Zueblin Umwelttechnik GmbH (Züblin).
L'analisi dei dati raccolti durante l'esecuzione dei test di trattamento di acque contaminate da PFAS ha evidenziato come la scelta del metodo più efficace per il trattamento delle acque contenenti tali composti dipenda, oltre che dai loro livelli di concentrazione, anche dalla tipologia del composto (lunghezza della catena).
Se le concentrazioni sono basse, nell'ordine di 0,1-10 µg/L, la filtrazione risulta essere il processo di purificazione più efficace e meno costoso. L'esecuzione di un test pilota specifico è fondamentale per individuare la tipologia di media filtrante più idoneo, tale da minimizzare i costi operativi. In caso di acque con livelli di concentrazione particolarmente elevati, oltre i 50 µg/L, il solo processo di filtrazione non risulta conveniente a causa dell'elevato consumo dei media filtranti. In questi casi, la soluzione più efficiente risulta essere implementare una combinazione di tecnologie: la foam fractionation come sezione di trattamento principale, seguita da un finissaggio mediante filtrazione. L'esecuzione di un test pilota specifico di foam fractionation è fondamentale per verificare le migliori condizioni operative per il processo di formazione della schiuma e, in funzione della tipologia di PFAS presenti, l'eventuale necessità di dosaggio di specifici additivi (tensioattivi e antifoam) per ottimizzare la concentrazione dei contaminanti nella schiuma.

Contatti: umwelttechnik-it@zueblin.de

La bonifica dell'area ex Acna di Piacenza: un caso di successo di applicazione dei fondi PNRR

Alberto Angeloni[1], Silvia Lenzu[1], Samuele Salotti[2]

[1] Montana SpA 2, [2]A.P. Srl

Abstract

A seguito di gara di evidenza pubblica ai sensi del Codice Appalti, il Comune di Piacenza, nell'ambito di un finanziamento del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), ha incaricato le società Montana e A.P. e l'ing. Lerro, di redigere il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica e il Progetto Esecutivo, nonché di effettuare la Direzione Lavori ed il Coordinamento della Sicurezza in fase di Progettazione ed Esecuzione degli interventi di bonifica e messa in sicurezza permanente dell'area ex ACNA, ubicata a Piacenza, tra Via S. Bartolomeo e Via Cantarana, all'interno dell'antica cinta muraria della città. Nel sito era insediato fino alla fine degli anni Settanta, uno stabilimento della ditta ACNA, adibito alla produzione di intermedi e di coloranti. L'area si presentava in stato di abbandono, con tutti gli impianti per la produzione smantellati e i principali edifici demoliti. Il Comune di Piacenza ha intrapreso il percorso di riqualificazione dell'area destinandola in parte a parcheggio (ca 10.000 mq) ed in parte a verde pubblico (ca 30.000 mq).

L'intervento descritto rappresenta un esempio significativo di come una corretta impostazione progettuale, accompagnata da un'efficace collaborazione tra tutti i soggetti coinvolti, possa consentire il raggiungimento degli obiettivi di bonifica nel rispetto dei requisiti tecnici, amministrativi e temporali previsti. L'intero iter di progettazione è stato sviluppato attraverso scelte tecniche coerenti con le caratteristiche del sito e con gli obiettivi di risanamento, beneficiando di un confronto continuo e costruttivo con gli Enti di controllo. Tale approccio ha favorito la condivisione delle soluzioni progettuali, la tempestiva risoluzione delle criticità emerse e una gestione efficace delle fasi autorizzative, contribuendo in maniera determinante alla buona riuscita dell'intervento.

La fase esecutiva si è svolta nel rispetto del cronoprogramma, pur in presenza di eventi non prevedibili che hanno richiesto un'attenta

gestione operativa. Tra questi si segnalano il rinvenimento di rifiuti pericolosi non censiti nella fase di caratterizzazione e la scoperta di manufatti di interesse storico-archeologico, che ha comportato l'attivazione delle procedure previste con il coinvolgimento della competente Soprintendenza. Nonostante tali circostanze, la flessibilità organizzativa, la capacità di coordinamento tra gli operatori e il costante dialogo con le autorità competenti hanno consentito di limitare gli impatti sulle tempistiche complessive e di portare a termine i lavori nei tempi compatibili con gli impegni assunti. L'intero percorso dall'affidamento del servizio di progettazione (PFTE sottoposto ad approvazione di ARPAE e PE sottoposto a validazione), all'esecuzione delle opere (con redazione di due varianti progettuali, di cui una sottoposta ad approvazione di ARPAE) e al collaudo dell'intervento di bonifica (marzo 2026) è stato infatti condotto in meno di due anni, tra maggio 2024 e marzo 2026. La rapidità con cui è stato condotto l'intero processo rappresenta un risultato di particolare rilievo, reso possibile da un'efficace organizzazione delle attività, da un costante coordinamento tra i soggetti coinvolti e da una gestione puntuale delle criticità emerse.

L'intervento di bonifica dell'area ex ACNA costituisce inoltre un caso concreto di efficace utilizzo delle risorse del PNRR. I finanziamenti assegnati sono stati impiegati nel rispetto delle finalità previste dalla convenzione, garantendo il completamento delle opere entro le scadenze stabilite. In questo contesto, il progetto ha rappresentato la quota economicamente più rilevante tra gli interventi finanziati nell'ambito della misura di riferimento, contribuendo in maniera determinante al conseguimento dei target assegnati alla Regione Emilia-Romagna.

L'esperienza maturata conferma come il successo di interventi di bonifica complessi non dipenda esclusivamente dalla qualità delle soluzioni tecniche adottate, ma anche dalla capacità di integrare competenze multidisciplinari, pianificazione, dialogo istituzionale e gestione efficace degli imprevisti.

Contatti: angeloni@montanambiente.com

Biostimolazione della degradazione degli organoalogenati mediante microiniezione di idrogeno: risultati di un test pilota

Camilla Valli[1], Chiara Maisano[4], Andrea Crema[3], Maurizio Agosta[5], Andrea Del Frate[5], Giacinto Carnevale[4], Michela Peroni[3], Sarah Zecchin[1], Daniele Pedretti[2], Eleonora Pasinetti[3], Laura Ferrari[4] e Lucia Cavalca[1]

[1] Dipartimento di Scienze per gli Alimenti, la Nutrizione e l'Ambiente, Università degli Studi di Milano; [2] Dipartimento di Scienze della Terra "A. Desio", Università degli Studi di Milano; [3] SIAD S.p.A., S.P. ; [4] TAUW Italia S.r.l.; [5] Edison S.p.A

Abstract

La contaminazione da idrocarburi alifatici clorurati rappresenta una problematica ambientale di rilevanza globale. Tali composti possono essere trasformati mediante respirazione anaerobica ad opera di batteri specializzati, distinti in obbligati, quali Dehalococcoides, Dehalogenimonas e Dehalobacter, e facoltativi, quali Geobacter, Desulfitobacterium e Sulfurospirillum. Negli ultimi anni il biorisanamento in situ si è affermato come strategia sostenibile, che fonda la propria efficacia sulla disponibilità di donatori di elettroni, la presenza di batteri dealogenanti, le condizioni idrogeologiche del sito e sui livelli di contaminazione. Il presente studio si inserisce all'interno del progetto di bonifica di un sito di circa 33 ettari contaminato da residui petrolchimici, caratterizzato da elevate concentrazioni di cloroeteni e cloroetani nelle acque di falda (fino a centinaia di migliaia di µg/l). A partire dagli anni 2000 sono iniziati i primi interventi di messa in sicurezza, basati su una barriera idraulica con trattamento delle acque emunte. Il sito è stato progressivamente interessato da un intervento di biobarriere reattive caratterizzate dalla stimolazione dei processi anaerobici mediante iniezione di substrato riducente per la degradazione di solventi clorurati e dei processi aerobici mediante insufflazione di aria e apporto di nutrienti (NP) finalizzata alla biodegradazione di cloruro di vinile, BTEX e alcani e all'ossidazione di As(III). Parallelamente, si è proceduto allo spegnimento progressivo della barriera idraulica con una previsione di spegnimento completa.

Al fine di stimolare la comunità microbica dealogenante e ridurre il carico di contaminanti trattati dall'attuale biobarriera anaerobica, è stata valutata la microiniezione di idrogeno gassoso mediante tecnologia Ground ReD®, brevettata da SIAD S.p.A..

Nel corso della prova pilota, le analisi in campo con sonda multiparamentrica dei parametri chimico-fisici dell'acquifero, evidenziano la costante diminuzione del potenziale redox in tutti i piezometri (da una media di - 48 mV ad una media di -165 mV, raggiungendo valori fino a - 422 mV nel piezometro H1), unitamente ad un aumento del pH (da una media di 6,8 ad una media di 7,6) e della conducibilità elettrica (da 8-9 mS/cm fino a picchi di oltre 20 mS/cm, valori principalmente connessi alla natura dell'acquifero situato in area lagunare), e la costante assenza di ossigeno disciolto in tutti i punti del test. Al tempo iniziale tra i 7 piezometri del test pilota si registrava una concentrazione media di circa 1.000 µg/l di tetracloroetilene (PCE), 130.000 µg/l di tricloroetilene (TCE), 3.000 µg/l di cis-1,2-dicloroetilene (DCE) e 156.000 µg/l di cloruro di vinile (VC). Le concentrazioni maggiori sono state rilevate nei punti PC1 e PC2. Nel corso del test vi è stata una progressiva diminuzione della concentrazione dei contaminanti principali nel punto di iniezione H1 rispetto al punto di monte Pz33. Facendo riferimento ai valori di baseline, nel punto di iniezione al 11° mese del test, sono state registrate per gli eteni alto-clorurati riduzioni del 95% del TCE e del 99% del PCE e per gli eteni basso-clorurati riduzioni del 80% per il VC e del 55% per il DCE. I rilievi con gas analyzer in corrispondenza dello spazio di testa dei piezometri mostrano in quasi tutti i punti, un progressivo aumento fino al tempo T8 dell'anidride carbonica (mediamente dal 2% al 4%), dei VOC (da 100 a 1500 ppm), dell'idrogeno (da 0 a 2000 ppm), dell'acido solfidrico (da 0 a 12 ppm) e una contemporanea riduzione dell'ossigeno (dal 18% al 12%). Nelle fasi successive del test si osserva un'inversione degli andamenti con un ritorno dell'anidride carbonica a valori di 0,5-1,5%, dei VOC a valori di 400-750 ppm, dell'idrogeno a valori di 200-500 ppm, dell'acido solfidrico a valori di 1-2 ppm e dell'ossigeno a valori di 15-18%. Per quanto riguarda i gas traccianti, in tutti i piezometri di monitoraggio si riscontra la presenza di elio nello spazio di testa dei piezometri (con picchi fino a 6.000 ppm); in falda si rilevano concentrazioni comprese tra 4.000-7.000 µg/l di kripton, tra 60-110 µg/l di elio e tra 800-1.000 µg/l di idrogeno in H1, mentre in tutti i punti di monitoraggio si rileva solo kripton in concentrazioni variabili tra 2 e 270 µg/l. Si rileva come

il kripton sia comparso anche nel piezomentro di monte a partire dal tempo T8 secondo concentrazioni di 3-8 µg/l. Sin dal tempo inziale nel piezometro H1 erano stati osservati titoli microbici elevati pari a 1012 copie geniche/l e titoli di *Dehalococcoides*, TCE e VC reduttasi nell'ordine di 105 copie geniche/l. Dopo 3 mesi dall'avviamento del test pilota si rileva un aumento di almeno 1-2 ordini di grandezza di tutti i biomarcatori funzionali fino a 2-3 ordini a 9 mesi, evidenziando stimolazione sia della comunità microbica totale sia di quella dealogenante. Le analisi isotopiche condotte nel punto H1 al tempo iniziale evidenziano un valore di δ13C del TCE fortemente negativo (-45,6‰) e valori progressivamente meno negativi di cis-DCE (-32,5‰), 1,1-DCE (-24,6‰) e VC (-24,6‰). Il marcato frazionamento isotopico dei composti della catena degradativa conferma la presenza di attività di biodegradazione naturale. I risultati parziali delle analisi ripetute su campioni estratti dallo stesso punto dopo 5 mesi di test confermano questa ipotesi e indicano un arricchimento, rispetto al tempo inziale, sia cis-DCE (-29,7‰) sia di VC (-22,6‰). È possibile ipotizzare quindi una trasformazione di cis-DCE e VC a seguito del trattamento di biostimolazione, poiché con il progredire della biodegradazione, il carbonio residuo tende a diventare isotopicamente più pesante [2]. I risultati raccolti fino ad ora indicano che la microiniezione di idrogeno gassoso mediante tecnologia Ground ReD® favorisce lo sviluppo della comunità dealogenante autoctona e incrementa l'attività di biodegradazione dei solventi clorurati nel punto di iniezione. I risultati finali del sequenziamento Illumina e delle analisi isotopiche consentiranno di valutare l'evoluzione della comunità microbica e di confermare l'efficacia del trattamento nel lungo periodo.

Contatti: camilla.valli@unimi.it, chiara.maisano@tauw.com, andrea_crema@siad.eu lucia.cavalca@unimi.it

Sviluppo del modello geologico e idrogeologico di un ex sito industriale a supporto delle attività di bonifica: applicazione di un approccio di modellazione implicita a un ampio set di dati

Luca Navone[1], Antonio Scaglione[1], Fabio Canova[2], Davide Caragnini[2]

[1] WSP Italia S.r.l. ,[2]Eni Rewind S.p.a.

Abstract

Nei siti oggetto di interventi di bonifica o messa in sicurezza, la costruzione di un modello geologico e idrogeologico è fondamentale per una efficace e razionale gestione delle attività di bonifica, monitoraggio e messa in sicurezza operativa.
In siti di grandi dimensioni, con una lunga e articolata storia produttiva e di caratterizzazione ambientale, la costruzione o l'aggiornamento del modello richiedono spesso l'integrazione di una grande mole di dati eterogenei, acquisiti nel corso di diverse campagne di indagine su un arco di tempo anche pluridecennale.
Il presente studio descrive il processo di sviluppo di un modello idrogeologico 3D di un ex sito industriale di grandi dimensioni, oggetto di bonifica, utilizzando le conoscenze pregresse sull'assetto geologico locale e un ampio set di dati stratigrafici acquisiti nel corso di oltre 20 anni. Il sito ricade in un contesto geologico complesso, caratterizzato dalla giustapposizione di diversi ambienti deposizionali.
Il presente studio descrive il processo di sviluppo di un modello idrogeologico 3D di un ex sito industriale di grandi dimensioni, oggetto di bonifica, utilizzando le conoscenze pregresse sull'assetto geologico locale e un ampio set di dati stratigrafici acquisiti nel corso di oltre 20 anni. Il sito ricade in un contesto geologico complesso, caratterizzato dalla giustapposizione di diversi ambienti deposizionali.
L'obiettivo della modellazione eseguita è la ricostruzione del modello idrogeologico del sottosuolo, finalizzato a supportare l'interpretazione dell'assetto piezometrico e della distribuzione spaziale del DNAPL.

I risultati evidenziano la presenza di un sistema acquifero multistrato, tipico di ambienti alluvionali complessi, con distribuzione discontinua dei livelli a bassa permeabilità.
La validazione del modello ha previsto anche l'analisi integrata dell'estensione dei tratti fenestrati dei piezometri esistenti, dei dati piezometrici disponibili e della distribuzione dei DNAPL.
Le superfici geologiche ricostruite potranno essere integrate in un modello numerico del flusso sotterraneo.

Contatti: g.marinelli@artaabruzzo.it

Quantificare l'incertezza nel dimensionamento di barriere idrauliche e impianti TAF

Giulia Giambelli[1], Paolo Lucini[1], Giovanni Formentin[1]

[1] HPC ITALIA S.r.l.

Abstract

Ogni sistema sotterraneo è soggetto a incertezze legate alla struttura geologica, alle proprietà idrogeologiche e alle semplificazioni implicite nella rappresentazione matematica di sistemi complessi.
Nei siti contaminati, l'incertezza si estende alla distribuzione degli inquinanti nelle acque sotterranee. Tutte queste incertezze si riflettono inevitabilmente sulle predizioni richieste al modello, ovvero sul posizionamento e sulle portate della barriera, nonché sulla qualità delle acque raccolte. Per gestire tale complessità, le attività di modellazione sono state supportate da un processo stocastico, basato sull'algoritmo iterative Ensemble Smoother (iES), finalizzato a stimare l'effetto delle incertezze nei parametri e condizioni al contorno del sistema idrogeologico rispetto alle predizioni (portate e carichi) richieste al modello. I risultati così ottenuti forniscono uno strumento fondamentale per garantire l'efficacia a lungo termine della barriera e per il dimensionamento ottimale del TAF.
Infatti, uno degli aspetti più importanti per la corretta progettazione di un impianto TAF è la definizione delle caratteristiche delle acque in ingresso, sia a livello quantitativo che qualitativo. Avere una definizione accurata delle concentrazioni dei contaminanti in ingresso al sistema è fondamentale per selezionare le tecnologie di trattamento più adatte e dimensionare correttamente le varie sezioni dell'impianto.
In questo contesto, il modello numerico si inserisce come uno strumento di supporto strategico, consentendo di stimare l'evoluzione delle concentrazioni collegate agli emungimenti e di ingegnerizzare il sistema con maggiore sicurezza. Dall'analisi dei percorsi compiuti dalle particelle, è stato possibile verificare le aree attraversate e la destinazione finale, inclusi i pozzi che le captano. Il rapporto tra particelle che terminano in uno dei pozzi barriera e particelle totali determina un'efficacia di captazione pari al 99,8% per la barriera

nell’acquifero superficiale e al 99,9% per la barriera nell’acquifero profondo.
L'integrazione del modello numerico si è dimostrata uno strumento strategico importante per la progettazione dell’impianto TAF, permettendo di prevedere l'evoluzione delle concentrazioni dei contaminanti legati agli emungimenti e offrendo così una base ingegneristica per una corretta caratterizzazione quantitativa e qualitativa delle acque in ingresso all’impianto.
Dal punto di vista del dimensionamento, il confronto tra i diversi approcci statistici ha premiato l'adozione del 95° percentile rispetto alle concentrazioni massime assolute. Questa scelta ha permesso di superare il rischio di un gravoso e antieconomico sovradimensionamento teorico, orientando il progetto verso una configurazione aderente alle reali condizioni di esercizio. Il risultato finale è un impianto TAF flessibile, capace di garantire la massima sicurezza ambientale, la sostenibilità economica e la predisposizione strutturale a gestire eventuali futuri incrementi di carico.

Contatti: Giulia.Giambelli@hpc.ag

Tecniche di fitorisnamento su terreni contaminati da ceneri di pirite

Laura Passatore[1], Maria Luisa Antenozio[1], Lorenzo Massimi[2], Fabrizio Pietrini[1], Massimo Zacchini[1], Davide Marzi[1], Patrizia Brunetti[1], Isabel Nogués[1], Emanuele Pallozzi[1], Walter Stefanoni[1], Manzari Vito Leonardo[3], Lorenzo Mezzo[3], Canzano Alessandro[3], Di Cillo Luigi[3], Moretti Leandro[3], Dario Liberati[4], Paolo De Angelis[4]

[1] Research Institute on Terrestrial Ecosystems (IRET), National Research Council of Italy (CNR), [2] Department of Chemistry, Sapienza University of Rome, [3]Edison Regea, Foro Buonaparte, [4]Department for Innovation in Biological, Agro-food and Forest systems (DIBAF), University of Tuscia.

Abstract

In Europa numerosi siti risultano contaminati da ceneri di pirite, residuo del procedimento industriale di produzione dell'acido solforico tramite arrostimento della pirite. Sebbene oggi si utilizzi prevalentemente zolfo come materia prima, questi depositi persistono, pregiudicando l'accesso in sicurezza alle aree urbane e periurbane dove questi impianti erano collocati. Le normative (D.M. 2004 e Decreto 186/2006) vigenti consentono il riutilizzo delle ceneri in ambito industriale (es. cementifici), ma tale opzione non è sempre tecnicamente o ecologicamente sostenibile. Le alternative convenzionali (soil washing/flushing, escavazione o confinamento) risultano spesso onerose e ad alto impatto ambientale, soprattutto su larga scala. Il presente studio nasce quindi dall'esigenza di trovare soluzioni sostenibili per il trattamento di siti contaminati da ceneri di pirite, testando l'applicabilità di fitotecnologie ispirate ai principi delle "nature-based solutions", nello specifico utilizzando diverse specie vegetali capaci di fito-estrarre o fito-stabilizzare i contaminanti presenti nei suoli (principalmente arsenico e piombo). La sperimentazione, finanziata finanziato dal gruppo Edison, prevede:
- una prima fase ex-situ con i materiali contaminati provenienti da un sito in centro Italia, per la verifica della loro fitotossicità e per la selezione di specie erbacee adatte ad interventi di fitorisanamento;
-l'indagine sulla vegetazione arborea spontanea cresciuta sul sito, con campionamento ed analisi dei tessuti vegetali;

- una seconda fase in-situ per verificare l'efficienza delle specie vegetali potenzialmente utili per interventi di fitorisanamento, ovvero per attività colturali compatibili (phytomanagement).

In questa sede si vogliono esporre i risultati della prima fase recentemente conclusa (ex-situ), oltre che descrivere le attività attualmente in corso relative alla realizzazione del progetto pilota in-situ. Le piante erbacee oggetto di sperimentazione ex-situ sono state Cannabis sativa e Pteris vittata, due specie con una attitudine diversa rispetto ai contaminanti. C. sativa è una specie caratterizzata da crescita veloce e possibilità di valorizzare la biomassa, questo ne fa una buona candidata per interventi di fitostabilizzazione, ove l'obiettivo sia il confinamento del contaminante a livello radicale e l'utilizzo della biomassa epigea (non contaminata) per la produzione di biodiesel, energia, materiali per bioedilizia ecc. P. vittata è invece una felce conosciuta come iperaccumulatrice di arsenico. Un suo utilizzo sarebbe quindi orientato ad un intervento di fitoestrazione, per rimuovere metalli e metalloidi presenti nel suolo. L'applicazione della fitoestrazione prevede una rimozione periodica della biomassa contaminata e un suo smaltimento come rifiuto.

Durante la sperimentazione per ognuna delle specie selezionate sono stati valutati due aspetti determinanti per la riuscita di un intervento di fitorisanamento:

- la tolleranza rispetto alla contaminazione dei suoli oggetto di studio;
- la capacità di traslocare i contaminanti negli organi epigei (fusto e foglie) o di concentrare i contaminanti a livello radicale.

Queste caratteristiche non sono infatti generalizzabili per tutti i substrati, seppur ugualmente contaminati, ma sono dipendenti da una serie di variabili sito-specifiche legate alle condizioni pedoclimatiche.

La sperimentazione in vaso ha mostrato una buona tolleranza delle specie testate, seppur con alcune differenze. Infatti, Pteris vittata si è adattata bene alla crescita nei tre substrati mostrando addirittura una maggiore produzione di biomassa nei terreni contaminati rispetto al controllo, segno di un possibile effetto di stimolazione dovuto alla presenza di uno o più metalli (effetto di ormesi). La biomassa prodotta a fine sperimentazione risulta infatti aumentare in maniera proporzionale alla presenza di contaminazione. Diversamente, Cannabis sativa è risultata più sensibile e meno tollerante alla presenza di contaminazione, seppur comunque capace di germinare e crescere anche sui terreni a contaminazione alta (HIGH).

L'analisi di metalli e metalloidi presenti all'interno dei tessuti di C. sativa e P. vittata dopo due mesi di crescita sui diversi substrati ha fornito importanti elementi utili a valutare la capacità di fitoestrazione o fitostabilizzazione delle due specie erbacee sui terreni testati. Dalle analisi chimiche emerge con chiarezza l'elevata capacità di Pteris nell'assorbire e traslocare l'arsenico (fino a 3504 ppm nelle fronde) presente nel terreno. Tale caratteristica si estende in misura minore anche agli altri metalli come Zn, Cu, Pb e Ni. P. vittata ha quindi mostrato un comportamento tipico delle piante iperaccumulatrici nei confronti dell'arsenico (BCF>1, concentrazione nelle fronde> 1000 ppm), anche in condizioni di biodisponibilità molto bassa come nel caso delle ceneri di pirite. Le piante di canapa hanno invece mostrato una minore capacità di assorbimento dei metalli rispetto a P. vittata e una tendenza a confinare tali contaminanti a livello radicale, traslocandone solo una minima parte in fusto e foglie.
Tuttavia, considerando i tassi di assorbimento di As misurati per ogni pianta, pari a 0,43 mg in terreni poco contaminati (38 ppm As), 3,29 mg in terreni a contaminazione media (332 ppm As) e 11,40 mg nelle condizioni di maggiore contaminazione (4788 ppm As), si otterrebbero tassi estrattivi non sufficienti per ottenere in tempi ragionevoli una riduzione degli elementi tossici nel suolo inferiore ai limiti di legge.
Le piante di canapa, invece, hanno stoccato i metalli principalmente a livello radicale limitandone la traslocazione in fusto e foglie. Tale caratteristica apre la possibilità a diversi usi della biomassa poiché non contaminata (es. fibra, bioedilizia, energia da pirolisi). Durante la coltura i metalli nel terreno verrebbero stabilizzati dalla presenza della pianta (fitostabilizzazione); la copertura da parte della vegetazione limita infatti l'infiltrazione di acqua nel terreno, con lisciviazione di elementi tossici verso la falda e il sollevamento di polveri, oltre ad incrementare la materia organica nel terreno che riduce la mobilità dei metalli nel suolo. Inoltre, dal secondo test di fitotossicità è emerso che il trattamento di due mesi con canapa ha migliorato le condizioni del terreno, effetto che invece non è stato osservato nel terreno trattato con *Pteris*.
Si può quindi concludere che, dagli elementi raccolti in questa prima fase di sperimentazione, un trattamento di fito-stabilizzazione con coltura di *Cannabis sativa*, unita alla valorizzazione della *Pteris Vittata* *Cannabis sativa* biomassa prodotta, potrebbe essere un'alternativa valida per terreni misti a cenere di pirite e per ceneri di pirite tal quali. Se invece sarà necessario perseguire la via della bonifica tramite

fitoestrazione, dovranno essere testate specie con alta produzione di biomassa (es. specifici genotipi di pioppo), per verificare che i tassi di crescita e i tassi di bioaccumulo permettano un processo di estrazione in tempi accettabili. *Pteris vittata*, pur avendo confermato la sua spiccata capacità di assorbimento e traslocazione, non raggiunge dimensioni della parte aerea sufficienti a garantire un trattamento efficiente e sostenibile.

Contatti: laura.passatore@cnr.it

Sito di bonifica di interesse nazionale della ex miniera di amianto di Balangero e Corio (L.426/98)

Cristian Bosonin[1]

[1] Riccoboni SpA

Abstract

Il presente progetto si inserisce nell'ambito del più ampio programma di bonifica e messa in sicurezza permanente del Sito di Interesse Nazionale (SIN) dell'ex miniera di amianto di Balangero e Corio, istituito ai sensi della Legge 27 marzo 1992, n. 257 e della Legge 9 dicembre 1998, n. 426. Le attività sono finalizzate al risanamento delle significative compromissioni ambientali generate da circa un secolo di attività estrattiva, che ha profondamente modificato le caratteristiche morfologiche e ambientali dell'area.

Il sito è localizzato nel Comune di Balangero (TO), a circa 30 km da Torino, e comprende l'ex area estrattiva a cielo aperto "S. Vittore", situata a nord/nord-ovest rispetto al centro abitato. Il contesto territoriale è caratterizzato dalla presenza di discariche di materiale sterile e dal lago di cava, originatosi dal pregresso bacino estrattivo. L'area oggetto dell'intervento si colloca a nord del lago ed è costituita da una superficie pianeggiante con substrato roccioso affiorante, naturalmente impermeabile e solo parzialmente vegetato. Nonostante l'elevato grado di alterazione antropica, l'area non presenta elementi di particolare pregio paesaggistico o naturalistico e risulta limitatamente antropizzata nel suo immediato intorno.

In tale contesto si colloca il progetto definitivo di messa in sicurezza permanente dei materiali di bonifica, che prevede la realizzazione di un volume confinato destinato allo stoccaggio definitivo dei rifiuti contenenti amianto prodotti durante le attività di risanamento. Tali rifiuti, attualmente gestiti in regime di deposito preliminare presso il Corpo H, includono diverse tipologie di materiali pericolosi, tra cui fibre di amianto, fanghi asbestiferi e manufatti in cemento-amianto.

L'intervento risponde alla necessità di garantire una collocazione definitiva, sicura e conforme alla normativa vigente per tali rifiuti, contribuendo in modo sostanziale al completamento delle attività di bonifica e alla riduzione del rischio di dispersione delle fibre nell'ambiente.

I risultati del progetto evidenziano un approccio integrato alla messa in sicurezza permanente dei materiali contenenti amianto, fondato sulla combinazione di soluzioni ingegneristiche avanzate, gestione ambientale e ottimizzazione delle risorse disponibili in sito. L'intervento principale è rappresentato dalla realizzazione del volume confinato, ubicato a nord del lago di cava in un'area pianeggiante delimitata dai gradoni della ex attività estrattiva. L'invaso, sviluppato in elevazione rispetto al piano campagna e con geometria assimilabile a un trapezio irregolare, presenta un'altezza media di circa 12 m e si integra morfologicamente con le strutture esistenti, addossandosi parzialmente ai gradoni di coltivazione e completandosi mediante argini di contenimento.

Dal punto di vista tecnico, il volume confinato è caratterizzato da un sistema multistrato di impermeabilizzazione, costituito da una barriera geologica (argilla e bentonite), da uno strato artificiale in argilla e da un rivestimento in HDPE, protetto da geotessile, sovrastato da uno strato drenante. Tale configurazione, conforme al D.Lgs. 36/2003 e s.m.i., garantisce elevate prestazioni di isolamento e durabilità, anche in relazione alle caratteristiche del substrato naturale, già dotato di bassa permeabilità. Analoghe soluzioni sono adottate per le sponde, con sistemi combinati di impermeabilizzazione e drenaggio in geocomposito.

Un elemento qualificante del progetto è rappresentato dalla realizzazione degli argini mediante tecniche di terre armate e dall'impiego prioritario di materiali provenienti dall'interno del sito, in particolare il materiale dell'"ultima volata". Tale scelta, inquadrata nel rispetto della normativa sulle terre e rocce da scavo (DPR 120/2017), consente di coniugare sicurezza ambientale ed efficienza economica, permettendo contestualmente la bonifica delle aree di deposito esistenti. Il materiale asbestifero viene infatti definitivamente confinato all'interno degli argini, opportunamente stratificato, additivato e isolato mediante sistemi di protezione, eliminando il rischio di dispersione di fibre.

Rilevante è inoltre il sistema integrato di gestione delle acque, che comprende la raccolta e il trattamento dei percolati mediante apposita vasca dedicata, nonché la gestione delle acque meteoriche attraverso serbatoi di prima pioggia e opere di regimazione superficiale. Tali soluzioni garantiscono il controllo dei flussi idrici e la prevenzione di fenomeni di contaminazione.

Il progetto include anche l'adeguamento della viabilità di accesso e la realizzazione di infrastrutture di supporto, quali aree di manovra, sistemi di lavaggio mezzi, unità di decontaminazione e servizi tecnici, funzionali alla gestione operativa e al rispetto delle prescrizioni di sicurezza.
Completa l'intervento la realizzazione della copertura finale (capping), con successiva rivegetazione, finalizzata all'isolamento definitivo dei rifiuti e al recupero paesaggistico dell'area.
Nel complesso, i risultati progettuali evidenziano l'integrazione tra competenze multidisciplinari – geotecniche, ambientali e impiantistiche – e l'adozione di soluzioni tecniche in grado di garantire elevati standard di sicurezza, sostenibilità e controllo nel lungo periodo.

Contatti: cristian.bosonin@riccoboniholding.com

Gestione del rischio PFAS nelle discariche mediante barriere di fondo innovative sfide e soluzioni con geosintetici

Alberto Simini[1]

[1] HUESKER Srl

Abstract

Le discariche correttamente progettate e realizzate utilizzano sistemi barriera compositi per evitare perdite di percolato verso i terreni sottostanti. Tuttavia, l'esperienza, i test e le analisi indicano che i sistemi barriera compositi non saranno in grado di contenere i PFAS entro i livelli normativi proposti, che sono nell'ordine delle parti per trilione. Per soddisfare questi requisiti, un'opzione innovativa è quella di utilizzare sistemi barriera che includano un componente progettato per rimuovere selettivamente i PFAS dal percolato. Tali prodotti sono stati sviluppati e testati, dimostrando una capacità molto elevata di "catturare" i PFAS in un'ampia gamma di varietà e concentrazioni. Tali prodotti sostituiscono il geotessile nontessuto di separazione posato al di sopra dello strato di drenaggio minerale, per trattare il percolato prima che questo lasci la discarica o quella particolare parte della discarica utilizzata per lo stoccaggio di terreno contaminato con PFAS
l geocomposito attivo rappresenta un approccio innovativo per la protezione del suolo e delle acque sotterranee, in quanto rimuove le sostanze inquinanti di riferimento dal percolato. L'acqua che si infiltra nella discarica si carica di sostanze chimiche e diventa così un percolato che trasporta i PFAS al geocomposito attivo, che rimane permeabile all'acqua. Qui, il filtrato viene trattato passivamente prima di infiltrarsi ulteriormente nello strato di drenaggio minerale con una concentrazione di inquinanti al di sotto del livello di soglia obiettivo.
I materiali attivi rimuovono i contaminanti di riferimento da un mezzo liquido o gassoso e li legano alla loro struttura. Poiché non tutti i sorbenti sono adatti a tutti gli inquinanti, è necessario selezionare il tipo più adatto per la specifica problematica. I PFAS sono un gruppo composto da diverse migliaia di singoli composti che si differenziano per la lunghezza della catena di carbonio e del gruppo funzionale di testa. La sfida nel trattamento delle acque è quella di rimuovere il

maggior numero possibile di composti PFAS con il materiale e la tecnologia selezionati. Allo stesso tempo, bisogna considerare che nei percolati di discarica sono sempre presenti altri co-contaminanti ad alte concentrazioni. In studi di laboratorio e sul campo, una speciale resina a forte scambio anionico ha dimostrato di essere altamente efficace per la rimozione di un'ampia gamma di singoli composti PFAS anche con un tempo di contatto con il percolato relativamente breve. La capacità di questo sorbente è molto maggiore rispetto al carbone attivo o alle argille organofile. Un altro vantaggio è il forte legame tra i PFAS e lo scambiatore anionico selettivo, poiché i PFAS non vengono legati solo attraverso le forze di van-der-Waals, ma soprattutto attraverso lo scambio di ioni. Questi meccanismi rendono estremamente difficile il desorbimento una caratteristica molto importante per applicazioni a lungo termine. Per l'utilizzo di questo materiale nella filtrazione del percolato di discarica, è stato eseguito un ampio programma di test che ha dimostrato come l'aggiunta di carbone attivo allo scambiatore anionico selettivo sia vantaggiosa per questa specifica applicazione. L'efficacia di uno scambiatore di anioni per una particolare molecola bersaglio può essere notevolmente ridotta se sono presenti altri tipi di contaminanti. Tra i contaminanti tipici che influiscono sulle prestazioni vi sono i composti organici disciolti, gli anioni (cloruri o solfati), le molecole organiche pesanti (oli e grassi), le particelle fini e i solidi sospesi. Nonostante la sua forte affinità per i PFAS, anche altri anioni e composti organici competono con le molecole di PFAS nei processi di adsorbimento. Inoltre, i composti organici disciolti ad alto peso molecolare possono accumularsi sulla superficie del sorbente e causare una riduzione della sua efficacia. Per questi motivi, l'aggiunta di carbone come emendante sacrificale offre un vantaggio significativo alle prestazioni complessive del geocomposito attivo. Per quanto riguarda il desorbimento, va notato inoltre che per le applicazioni a lungo termine, come i filtri per il percolato, l'uso esclusivo del carbone non è raccomandato. Le molecole di PFAS a catena corta adsorbite possono desorbire dal carbone in presenza di composti organici disciolti o PFAS a catena lunga.

Oltre ai benefici dei diversi emendanti, anche l'interazione del percolato con i geotessili è importante per la durabilità del prodotto. Come già detto, i solidi sospesi, le particelle fini o i contaminanti più grandi sono problematici per i sorbenti. In quasi tutti i percolati di discarica sono presenti queste particelle fini ed è pertanto

indispensabile evitare che le particelle fini intasino i granuli e impediscano l'accesso alla superficie funzionale. Per la protezione dei sorbenti sono quindi necessari geotessili nontessuti idonei a bloccare tali particelle.
Il materiale attivo è incapsulato tra i geotessili e la sua quantità (in termini di kg/m^2) dipende fortemente dai parametri specifici del sito, che sono cruciali per la progettazione dello strato sorbente dei geocompositi attivi (Niewerth 2021-2). Per progettare un geocomposito attivo efficiente, ènecessario prendere in considerazione quattro fattori di prestazione:
- Affinità: descrive la tendenza a sorbire determinati inquinanti. Nel caso dei PFAS, un ampio spettro di singoli composti deve essere assorbito con la stessa efficacia.
- Cinetica: la cinetica del sorbente è importante per ottenere un'efficace riduzione delle concentrazioni di inquinanti considerando la portata di percolato.
- Capacità: per le applicazioni con un flusso di contaminanti limitato nel tempo, la capacità deve essere superiore al prodotto di una determinata concentrazione di percolato, della quantità annuale di percolato e di un appropriato fattore di sicurezza.
- Irreversibilità: permette di escludere un desorbimento nel corso del tempo e consente quindi l'uso permanente dei sorbenti.

Contatti: a.simini@HUESKER.it

Gestione e condivisione dei dati ambientali. L'esperienza di SOGIN nella bonifica del Centro Ricerche ENEA-Trisaia

Elena Bunone[1], Fabrizio Martocchia[1], Simone Piedilato[2], Pina Volpicelli[1]

[1] SOGIN S.p.A., [2] Regione Basilicata

Abstract

La complessità dei procedimenti di bonifica dei siti contaminati richiede la disponibilità di strumenti in grado di integrare, organizzare e rendere fruibile un elevato volume di dati ambientali, territoriali e progettuali, prodotti nel corso delle attività di caratterizzazione, monitoraggio e risanamento. La definizione di un quadro conoscitivo condiviso tra i soggetti istituzionali coinvolti costituisce un presupposto imprescindibile per garantire la corretta conduzione del procedimento, il supporto alle valutazioni tecnico-amministrative e l'efficacia delle azioni di tutela ambientale. I Sistemi Informativi Territoriali si configurano come piattaforme strategiche di supporto alle decisioni, capaci di trasformare dati complessi in strumenti operativi a servizio della governance pubblica.

Nell'ambito del procedimento di bonifica avviato ai sensi dell'art. 245 del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. per le aree di pertinenza del Centro Ricerche ENEA della Trisaia interessate dal superamento delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) per specifici contaminanti di origine antropica, quali Tricloroetilene e Cromo Esavalente, la Regione Basilicata ha esercitato un ruolo centrale di indirizzo, coordinamento e governance istituzionale.

In qualità di Autorità responsabile del procedimento, la Regione ha presieduto e coordinato il Tavolo Tecnico permanente composto dagli Enti territorialmente competenti, da ARPA Basilicata, Prefettura, ISIN, Province, Comuni, ENEA e Sogin, assicurando l'integrazione delle competenze, il coordinamento delle attività tecniche e la condivisione delle informazioni necessarie alla valutazione dello stato di qualità delle matrici ambientali e all'individuazione delle più appropriate misure di intervento.

Nell'esercizio di tale funzione di regia istituzionale, la Regione Basilicata ha promosso la realizzazione di un Sistema Informativo Territoriale (SIT) condiviso, concepito come infrastruttura conoscitiva a supporto dei processi decisionali e delle attività di monitoraggio ambientale, con l'obiettivo di rendere disponibili in modo strutturato, omogeneo e dinamico le informazioni prodotte nel corso del procedimento di bonifica. Tale iniziativa è stata formalizzata mediante la sottoscrizione di un Protocollo d'Intesa tra Regione Basilicata, ARPA Basilicata, ENEA e Sogin, che disciplina il modello di cooperazione istituzionale e le modalità di aggiornamento continuo della base dati da parte dei soggetti coinvolti secondo le rispettive competenze.
In tale quadro, Sogin ha assunto un ruolo tecnico-specialistico di primaria rilevanza, mettendo a disposizione il patrimonio di competenze maturato nella gestione di dati territoriali complessi e nell'impiego di tecnologie GIS e WebGIS a supporto delle attività di decommissioning nucleare, di caratterizzazione ambientale e di monitoraggio del territorio. L'esperienza acquisita nella realizzazione di piattaforme geospaziali avanzate, tra cui il portale REMO e gli strumenti sviluppati nell'ambito della CNAPI, ha costituito la base metodologica per la progettazione e l'implementazione del Sistema Informativo Territoriale dedicato al sito della Trisaia.
In attuazione degli indirizzi definiti dalla Regione Basilicata e delle specifiche tecniche condivise con ENEA ed ARPA Basilicata, Sogin ha quindi progettato e realizzato il database georeferenziato e l'architettura del SIT, finalizzati alla sistematizzazione, integrazione e valorizzazione dell'ingente patrimonio informativo derivante dalle attività di caratterizzazione ambientale, messa in sicurezza, monitoraggio e bonifica della falda sotterranea. Il sistema consente di organizzare e correlare dati provenienti da fonti eterogenee, rendendoli accessibili e consultabili attraverso strumenti di analisi territoriale avanzata.
A supporto delle attività di valutazione tecnica e di controllo ambientale, Sogin ha inoltre sviluppato modelli bidimensionali e tridimensionali, rappresentazioni tematiche, dashboard e applicativi GIS dedicati alla visualizzazione dell'evoluzione dello stato qualitativo delle matrici ambientali e alla consultazione della documentazione tecnica prodotta nell'ambito delle attività di monitoraggio della falda.
Il Sistema Informativo Territoriale costituisce pertanto il risultato di una sinergia istituzionale e tecnica nella quale la Regione Basilicata ha

assicurato la governance complessiva del processo e il coordinamento degli stakeholder coinvolti, mentre Sogin ha fornito il supporto specialistico necessario alla realizzazione di uno strumento evoluto di conoscenza e supporto alle decisioni, capace di trasformare una rilevante mole di dati ambientali in informazioni strutturate e fruibili a beneficio delle attività di controllo, pianificazione e tutela ambientale.
L'esperienza de SIT-TRISAIA dimostra quanto sia importante condividere le informazioni ambientali con strumenti facilmente accessibili e pronti all'uso. Lo strumento GIS fornisce il valore aggiunto della localizzazione geografica degli elementi. Applicativi GIS, come visualizzatori e dashboard, nell'ambito di tematiche territoriali complesse diventano un sistema di supporto alle decisioni molto interessante per comprendere e risolvere problematiche ambientali complesse distribuite in un territorio vasto.
L'utilizzo di formati dati di largo consumo permette la replicabilità delle informazioni su qualsiasi piattaforma informatica.

Contatti: martocchia@sogin.it

PFAS – European benchmark remediation activities

***Daniela Perego*[1], *Davide Contessotto*[1]**

[1] VEOLIA Remediation Italia

Abstract

I PFAS (Sostanze per- e polifluoroalchiliche) rappresentano una classe di inquinanti persistenti di crescente preoccupazione ambientale in Europa. La loro presenza nei suoli e nelle acque sotterranee richiede strategie di bonifica efficaci e standardizzate. Questo studio presenta un benchmark delle attività di bonifica PFAS, analizzando la regolamentazione vigente, i livelli di impatto e le tecnologie disponibili per il trattamento.

I risultati evidenziano una significativa variabilità nella regolamentazione europea: l'UE fissa limiti di 100 ng/l per la somma di 20 PFAS e 20 ng/l per 4 PFAS entro il 2028 nelle acque potabili, mentre per i suoli non esiste ancora una regolamentazione armonizzata. Per i suoli, i livelli di impatto variano da 10 µg/kg (zone industriali/aeroporti) a 100 mg/kg (siti chimici del fluoro). Le tecnologie mature includono: incenerimento, soil washing, discarica, desorbimento termico, trattamento biologico, stabilizzazione/solidificazione, pump & treat con carbone attivo e resine, osmosi inversa, evapo-concentrazione. Le tecnologie innovative comprendono: soil flushing, advanced oxidation processes, non-thermal plasma, ossidazione elettrochimica, continuous foam fractionation (nuovo concetto in attesa di brevetto) e barriere reattive permeabili.

Per la bonifica in-situ / on-site VEOLIA Remediation può contare su 5 laboratori dedicati e officine di costruzione delle unità di trattamento o per test pilota, ed un Know-how specialistico di oltre 400 specialisti dedicati, 40 anni di esperienza in bonifiche con una forte integrazione tra le divisioni di trattamento rifiuti pericolosi e bonifica siti.

Gli asset disponibili: 7 impianti di trattamento in 6 paesi, con capacità di trattare 1,5 milioni di tonnellate di terreno nel 2025. La divisione Hazardous Waste Europe di Veolia gestisce un'ampia rete di impianti in Europa che comprende: 7 discariche per rifiuti pericolosi, 29 unità di trattamento (fisico-chimico/biologico), 17 linee di incenerimento con recupero energetico, 14 unità di trattamento fisico-chimico per

rifiuti minerali, 19 unità di riciclaggio (solventi, oli, idrocarburi, metalli, batterie, ecc.), 47 piattaforme di raggruppamento, transito e smistamento, 16 siti di gestione/trattamento delle terre. In Italia, Veolia Hazardous Waste possiede 4 impianti di trattamento autorizzati, inclusi due piattaforme polifunzionali (Milano e Bulgarograsso) e due impianti di trattamento acque (Livorno e Ravenna).

Le soluzioni integrate Veolia per la gestione dei PFAS combinano bonifica in situ/on-site con soluzioni impiantistiche all'avanguardia. Sebbene le tecnologie esistano, è necessaria la loro validazione ed ingegnerizzazione industriale in condizioni realistiche, considerando la matrice specifica acqua/suolo, gli ioni competitivi e la sostanza organica naturale, eseguendo lab-test, ed ove necessario un successivo impianto pilota in sito.

L'esperienza conferma spesso l'inefficacia di una soluzione univoca: ogni intervento richiede una valutazione caso per caso. È essenziale analizzare non solo la concentrazione di PFAS, ma anche la matrice (suolo o acqua), le interferenze chimiche e la sostanza organica. Attraverso l'analisi dei flussi e l'integrazione di tecnologie differenti, si definiscono strategie mirate che ottimizzano la decontaminazione e concentrano gli inquinanti in volumi minimi per la distruzione finale, garantendo la sostenibilità del processo.

Contatti: remediation.it@veolia.com

Caratterizzazione integrata di un sito contaminato da solventi clorurati: contributo delle analisi isotopiche C–CL alla definizione del modello concettuale

Andrea Chiampo[1], Lorenzo Fassino[1], Roberto Palazzin[1], Antonio Scaglione[1], Sergio Gil Villaba[2], Gianpiero Zaccone[1]

[1]WSP Italia, [2]IT2 Europe,

Abstract

La gestione dei siti contaminati da solventi clorurati richiede un approccio avanzato di caratterizzazione, in grado di supportare la definizione del modello concettuale e la scelta delle strategie di bonifica. La presenza di composti quali tetracloroetilene (PCE), tricloroetilene (TCE) e prodotti di degradazione comporta infatti elevata complessità interpretativa, legata alla possibile coesistenza di più sorgenti, ai fenomeni di rilascio secondario e ai processi di trasformazione in falda.

Il presente lavoro illustra un caso studio di caratterizzazione ambientale di un sito industriale contaminato da solventi clorurati, nel quale sono state integrate tecniche tradizionali (indagini idrochimiche, modellazione concettuale, indagini ad alta risoluzione) con analisi isotopiche compound-specific (CSIA) su carbonio e cloro, al fine di migliorare la comprensione dell'origine e dell'evoluzione del plume contaminato.

L'analisi isotopica ha permesso di ottenere informazioni chiave non desumibili dai soli dati di concentrazione ed ha fornito indicazioni chiare sull'entità e tipologia della degradazione dei contaminanti in falda e sull'origine della contaminazione in PM16. I valori di δ13C del PCE nei campioni di falda risultano compresi tra circa -28‰ e -20‰, evidenziando una apprezzabile variabilità spaziale.

Il confronto con il prodotto commerciale (δ13C ≈ -26,9‰) ha evidenziato che i campioni prelevati in prossimità dello stabilimento presentano firme isotopiche compatibili con tale sorgente, indicando una correlazione diretta con le attività storiche del sito. Tuttavia, l'analisi isotopica del solo carbonio non ha consentito una discriminazione univoca delle sorgenti. L'analisi combinata δ13C–

δ37Cl (dual isotope plot) ha invece evidenziato un risultato fondamentale:

- il PCE rilevato nel settore sud-orientale (piezometro PM16) presenta una firma isotopica del cloro distinta rispetto a quella osservata nei piezometri prossimi allo stabilimento;
- ciò indica la presenza di una sorgente secondaria indipendente, non riconducibile direttamente al rilascio originario del sito industriale.
- Contestualmente, in altri piezometri i valori isotopici risultano coerenti con un PCE di origine industriale che ha subito processi di degradazione anaerobica in acquifero. L'analisi isotopica dei prodotti di degradazione (TCE, DCE, CVM) ha inoltre evidenziato processi di declorazione riduttiva limitati, con livelli di degradazione generalmente inferiori al 10–15%, probabilmente condizionati da condizioni idrogeochimiche non completamente favorevoli.

L'integrazione delle evidenze idrochimiche e isotopiche ha portato alla definizione di un modello concettuale avanzato, caratterizzato da:

- sorgente primaria storica associata allo stabilimento;
- sorgenti secondarie diffuse nel sottosuolo e nella falda;
- seconda sorgente indipendente nel settore sud-est, identificata tramite CSIA;
- possibile presenza di contaminazioni più antiche non correlate al rilascio principale;
- influenza determinante della stratigrafia nella migrazione del plume.

Questo modello supera le limitazioni delle interpretazioni basate esclusivamente sui gradienti di concentrazione.

Implicazioni per la bonifica

I risultati evidenziano importanti implicazioni operative:

- la presenza di sorgenti multiple richiede strategie di bonifica differenziate;
- i sistemi tradizionali di pump & treat, pur efficaci per il contenimento, possono non risultare risolutivi;

- la limitata degradazione suggerisce la possibilità di interventi di bioremediation potenziata;
- l'analisi isotopica consente di discriminare contributi multipli e di monitorare l'efficacia dei trattamenti nel tempo.

Il caso studio dimostra come l'integrazione tra caratterizzazione convenzionale e analisi isotopiche multi-elemento rappresenti un approccio efficace per la gestione dei siti contaminati da solventi clorurati. In particolare, la CSIA C–Cl si conferma uno strumento determinante per:

- distinguere sorgenti multiple di contaminazione;
- identificare processi di degradazione;
- ridurre le incertezze nella definizione del modello concettuale.

Contatti: gianpiero.zaccone@wsp.com

Un'analisi di rischio orientata all'uso finale per la riqualificazione della costa Bagnoli Coroglio

Rodolfo Costa[1], Linda Rossi[1], Giulia Di Vincenzo[1], Biancamaria Cazzaniga[1], Corbetta Daniele[1], Pocher Andrea[1] , Edoardo Robortella Stacul[2], Lorenzo Morra[2], Leonardo Gualco[2], Ginevra Gaffi[2]

[1]Arcadis Italia s.r.l.
[2] Invitalia S.p.A.

Abstract

La costa di Bagnoli-Coroglio è un'area di Rilevante Interesse Nazionale, per la quale sono in fase di pianificazione interventi di riqualificazione e bonifica ambientale. I sedimenti saranno bonificati o confinati al fine di ottimizzare i benefici ambientali e minimizzare gli impatti. La fascia costiera sarà ripristinata per un uso pubblico multifunzionale, con particolare attenzione alla salute pubblica e alla tutela dell'ambiente.
Nella fase preparatoria, una complessa valutazione del rischio orientata all'uso finale per la salute umana e per l'ambiente è stata essenziale per definire le strategie di bonifica e riqualificazione.
Attualmente, non esistono standard nazionali o internazionali consolidati per la valutazione dei rischi sanitari connessi all'uso ricreativo di siti interessati da sedimenti marini contaminati. Questo vuoto normativo ha reso necessario lo sviluppo di un nuovo approccio metodologico multidisciplinare.
La progettazione integrata considera la natura dinamica dei sedimenti distinguendo tra il comparto "dinamico" (porzioni di spiaggia soggette a movimentazione per effetto del moto ondoso) e il comparto "statico" (porzioni stabili anche in condizioni estreme). Mediante modellazione numerica sono stati definiti un profilo di litorale stabile, le necessarie opere di contenimento (pannelli e barriere frangiflutti sommerse) e gli spessori del volume di sedimento dinamico da rimuovere nelle aree di spiaggia Nord e Sud, garantendo stabilità e durabilità nel lungo periodo.
Le informazioni raccolte presso gli stakeholder rilevanti sugli usi finali attesi sono state considerate per impostare di conseguenza la Valutazione del Rischio. Per le matrici ambientali presenti nel sito è stata condotta una Valutazione del Rischio in modalità diretta per lo scenario futuro post-bonifica, al fine di verificare l'accettabilità del

rischio sanitario per i futuri fruitori del sito e valutare l'interconnessione con l'adiacente acqua di mare antistante il nuovo litorale.
Nella Valutazione del Rischio sono stati considerati numerosi percorsi di esposizione. Le aree di spiaggia sono trattate come suoli articolati in tre diversi orizzonti, con differenti modalità di esposizione umana o di trasporto verso il mare. Per il comparto marino costiero emerso/sommerso è stata valutata l'idoneità del sito alla balneazione.
Per i calcoli numerici della Valutazione del Rischio sono stati utilizzati sia il software Risk-net versione 3.2 Pro sia fogli di calcolo Excel sviluppati specificamente a tale scopo, basati su equazioni riportate in manuali (ad esempio il Manuale BP-RISC) e in pubblicazioni scientifiche internazionali, al fine di simulare percorsi di esposizione non coperti dal software.
La Valutazione del Rischio relativa ai sedimenti delle aree di spiaggia Nord e Sud indica livelli di rischio tossico e cancerogeno accettabili per esposizioni fino a sei mesi all'anno. Non è stato identificato alcun chiaro percorso di contaminazione tra sedimenti e acqua di mare, a supporto di un approccio unitario di bonifica per l'intero sistema dinamico di sedimenti emersi e sommersi, efficace nel ridurre le concentrazioni complessive dei contaminanti nella zona di interazione tra sedimenti e mare. Per l'acqua di mare, il rischio per inalazione risulta accettabile, mentre il contatto dermico e l'ingestione in prossimità della linea di costa presentano criticità; tali aspetti saranno mitigati dagli interventi pianificati di dragaggio e ripascimento con materiale conforme, che si prevede ridurranno le concentrazioni dei parametri critici e, di conseguenza, i rischi associati fino a livelli compatibili con il ripristino dell'idoneità alla balneazione.
Per garantire l'efficacia degli interventi di bonifica dei fondali, mantenere l'idoneità alla balneazione e valutare l'evoluzione temporale delle concentrazioni dei contaminanti, sarà attuato un piano di monitoraggio che includerà campionamenti periodici, analisi e valutazioni sito-specifiche.

Affrontare la contaminazione storica attraverso l'innovazione e la partnership – SIR regione Campania

Marialuisa Cremonesi[1], Manfredi Scozzi[1], Stefano Piccio[3], Danny Magliocco[4]

[1] Jacobs

Abstract

La gestione delle contaminazioni storiche da solventi clorurati rappresenta ancora oggi una delle principali sfide per il settore delle bonifiche ambientali, in particolare nei contesti industriali caratterizzati da lunghi trascorsi produttivi e da complesse interazioni tra sorgente contaminante, terreno e falda.
Il presente contributo illustra il percorso di integrazione alla caratterizzazione, messa in sicurezza e bonifica di un esteso sito industriale italiano interessato da contaminazione della falda da tetracloroetilene (PCE) e altri solventi clorurati.
Il progetto costituisce un esempio di integrazione tra approfondimento tecnico-scientifico, innovazione tecnologica e cooperazione tra soggetti pubblici e privati finalizzata al raggiungimento degli obiettivi di risanamento e alla successiva restituzione dell'area alla comunità.
Il caso studio propone una riflessione sul valore della collaborazione tra enti di controllo, consulenti specialistici e soggetti responsabili della gestione del procedimento, dimostrando come l'adozione di tecnologie avanzate, supportata da un dialogo istituzionale continuo e trasparente, possa favorire il successo di interventi complessi di bonifica e la rigenerazione sostenibile di aree industriali dismesse.
Un elemento distintivo dell'intervento è stato l'impiego di tecniche avanzate di investigazione ad alta risoluzione, tra cui la tecnologia Membrane Interface Probe (MIP), utilizzata per la ricostruzione dettagliata della distribuzione della contaminazione e per l'ottimizzazione delle strategie di intervento. I risultati delle indagini hanno consentito di definire una bonifica progressiva e adattativa, articolata in più fasi spaziali e temporali (242, comma 7, del D.Lgs. 152/2006).

Un ulteriore elemento di interesse del progetto è stato il percorso tecnico condiviso con ARPAC per la definizione degli obiettivi di bonifica, sviluppato attraverso uno specifico programma di monitoraggio delle acque sotterranee finalizzato alla valutazione del contributo di sito e dei valori di fondo. L'elaborazione e l'interpretazione dei dati chimici e idrogeologici hanno consentito di distinguere gli impatti riconducibili alla sorgente contaminante dalle pressioni ambientali diffuse presenti nell'area, supportando la definizione di target di risanamento coerenti con il contesto territoriale e conformi al protocollo ISPRA. Tale approccio ha permesso di sviluppare un modello

interpretativo condiviso con gli enti di controllo e di validare obiettivi di bonifica tecnicamente sostenibili e scientificamente robusti
La strategia di risanamento ha combinato diverse tecnologie in treatment train, tra cui i sistemi Air Sparging–Soil Vapor Extraction (AS-SVE) installati lungo il confine idrogeologico di valle, finalizzati al contenimento della migrazione del plume, al controllo dei vapori nel sottosuolo, alla protezione dei recettori esterni e alla gestione di eventuali sottoprodotti generati dagli interventi di bonifica. Il sistema è stato successivamente integrato con un biofiltro dedicato al trattamento del metano prodotto nei processi di degradazione, garantendo una gestione sostenibile delle emissioni. Sulla base dell'aggiornamento continuo del modello concettuale del sito, sono stati inoltre realizzati interventi di In Situ Chemical Reduction (ISCR) mediante l'impiego di reagenti selezionati e materiali a base di ferro zerovalente, finalizzati alla declorazione dei solventi clorurati e alla riduzione della massa contaminante adsorbita e disciolta, attraverso una sequenza di interventi progressivi e adattativi nelle diverse aree sorgente del sito.
L'esperienza evidenzia come l'approccio integrato abbia consentito una progressiva riduzione delle concentrazioni di PCE sia all'interno del sito sia ai punti di conformità esterni, fino al raggiungimento degli obiettivi di bonifica e alla successiva certificazione dell'avvenuto risanamento da parte delle autorità competenti.

Contatti: marialuisa.cremonesi@jacobs.com, manfredi.scozzi@jacobs.com, stefano.piccio@jacobs.com, danny.magliocco@jacobs.com

Valutazione dell'effettiva presenza di idrocarburi petroliferi in falda in un contesto ambientale già compromesso dalle concentrazioni di composti organo alogenati

Valentina Cerigo[1]

[1] *Provincia di Asti*

Abstract

Viene qui presentato un approfondimento condotto presso il sito in bonifica Ex-Way Assauto nel Comune di Asti, per l'individuazione della presenza di Idrocarburi Petroliferi in una falda fortemente compromessa da idrocarburi alogenati.

Nel luglio 2020 il Piano della Caratterizzazione segnala la possibile presenza di idrocarburi petroliferi in falda e la Provincia di Asti avvia un percorso di definizione di un protocollo analitico condiviso, volto a gestire un approfondimento per l'accertamento dell'estensione e dell'effettiva presenza della contaminazione da idrocarburi petroliferi.

Per le proprietà chimico-fisiche gli idrocarburi alogenati (TCE, PCE ecc) possono comportarsi da **DNAPL**, con potenziale accumulo in profondità e migrazione lungo il flusso di falda, mentre gli **idrocarburi petroliferi** sono tipicamente **LNAPL**, con possibile presenza in fase libera in galleggiamento sulla falda.

La compresenza di composti idrocarburici alogenati ad alte concentrazioni introduce interferenze analitiche/interpretative: alcune misure "idrocarburi totali" o "idrocarburi leggeri" possono includere contributi dei composti idrocarburici alogenati, richiedendo speciazioni e protocolli selettivi per distinguere le famiglie chimiche e attribuire correttamente sorgente e responsabilità.

La scelta di effettuare prelievi multipli nello stesso piezometro risponde all'esigenza di intercettare porzioni diverse della colonna d'acqua e distinguere, almeno qualitativamente, LNAPL e DNAPL/idrocarburi alogenati.

Nello specifico, sono state definite le seguenti "linee guida" analitiche:

1) utilizzo congiunto di EPA 5021A + EPA 8260D e EPA 5030C + EPA 8260D per solventi organo-alogenati

2) speciazione MADEP per le frazioni idrocarburiche con metodiche VPH ed EPH
3) esecuzione delle determinazioni "idrocarburi totali/C6-C10 come n-esano" solo come dato accessorio, da considerare valido ai fini interpretativi solo se coerente con MADEP e con criteri di identificazione selettiva
4) esecuzione delle determinazioni "idrocarburi Petroliferi Totali, C10-C40" mediante la metodica UNI EN ISO 9377-2:2002
5) TPH (Total Petroleum Hydrocarbons) – all fractions
6) Totale in GC-FID

I dati ottenuti mostrano come la determinazione "*idrocarburi allfractions* / TPH" risulti *inferiore o prossima al limite di detezione*, indicando un contributo petrolifero trascurabile nel periodo considerato. Per contro, la lettura in GC-FID, poco selettiva, può restituire concentrazioni di idrocarburi petroliferi dello stesso ordine di grandezza di altre classi chimiche interferenti, facendo risultare il dato analitico più esposto a sovrastime e ambiguità interpretative.

Sulla base delle informazioni attualmente disponibili è stato possibile stabilire che la contaminazione da idrocarburi petroliferi non sia presente come impatto autonomo nel sito, ma sia "apparente" e riconducibile alle interferenze e alla sovrapposizione analitica generate dalla contaminazione da idrocarburi alogenati.

Keywords: (Halogenated hydrocarbons - Petroleum hydrocarbons - Aquifer - Analytical protocol - Analytical interferencerds)

Contatti: vcerigo@provincia.asti.it

Evoluzione del desorbimento termico ex situ: dall'impianto mobile ESTD (alla decarbonizzazione delle bonifiche ambientali

Gianfranco Caccamo[1], Jan Haemers [1]

[1] icaro Ecology S.p.A. 1, [2]Haemers Technologies SA

Abstract

Il desorbimento termico rappresenta oggi una delle tecnologie più efficaci per la bonifica di terreni e matrici contaminate da idrocarburi, solventi organici e altri composti organici volatili (VOC) e semivolatili (SVOC), grazie alla capacità di volatilizzare ed estrarre gli inquinanti dalla matrice solida mediante il riscaldamento controllato, preservando le caratteristiche geotecniche, del terreno da trattare.
Tra le applicazioni più consolidate in questo ambito, sia in letteratura che nella pratica operativa, si distingue l'utilizzo del desorbimento termico tramite punte scaldanti alimentate da bruciatori, noti come Smart Burners®, tecnologia brevettata da Haemers Technologies SA, di cui Icaro Ecology è unica licenziataria per il territorio italiano. Nelle configurazioni ex situ e in situ, questa tecnologia consente di trattare contaminazioni complesse riducendo sensibilmente il ricorso allo smaltimento in discarica e favorendo il recupero e il riutilizzo dei materiali trattati secondo i principi dell'economia circolare.
In questo contesto si inserisce l'esperienza sviluppata da Icaro Ecology S.p.A. con la realizzazione del primo impianto mobile di desorbimento termico ex situ (ESTD) autorizzato dalla Regione Siciliana ai sensi dell'art. 208, comma 15, del D.Lgs. 152/2006.
Basato sulla tecnologia Smart Burners®, il sistema ESTD 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 tubi e punte scaldanti, integrato con tubazioni per l'estrazione di vapore, disposti secondo una configurazione geometrica studiata per garantire un riscaldamento omogeneo del suolo e l'estrazione dei contaminanti. L'impianto mobile è stato dimensionato per uno scenario tipo, corrispondente a un volume di circa 2.000 m^3 di terreno contaminato.

La tecnologia ESTD consente il trattamento e reimpiego delle matrici risanate, attraverso un approccio di “bonifica, rigenerazione e reimpiego”, questo permette di ottimizzare i processi di bonifica in aree ad alto impatto ambientale, riducendo la necessità di ricorrere a materiale vergine di cava, contribuendo alla salvaguardia delle risorse naturali e alla riduzione dei fronti di escavazione e della movimentazione su gomma, ma anche consentendo il pieno recupero funzionale e ambientale dei suoli trattati, aprendo anche la strada a processi di rinaturalizzazione. Non si tratta solo di rimozione della contaminazione ma di vera e propria rigenerazione del suolo. Un processo che vede agire in simbiosi sostenibilità, efficienza e cura del territorio.

Sebbene il desorbimento termico costituisca già una soluzione coerente con i principi dell'economia circolare, il processo presenta un elevato fabbisogno di energia termica, tradizionalmente soddisfatto mediante combustibili fossili. Per questo motivo è stato avviato programma di ricerca applicata finalizzato alla progressiva decarbonizzazione delle configurazioni ESTD e ISTD attraverso l’integrazione di fonti energetiche rinnovabili.

L’attività, sviluppata nell’ambito del dottorato di ricerca nazionale, ha analizzato la possibilità di sostituire l’alimentazione fossile degli Smart Burners® con un sistema di riscaldamento basato sul solare termico a concentrazione. La ricerca ha incluso la modellazione numerica avanzata del processo mediante fluidodinamica computazionale (CFD), utilizzando il software Ansys Fluent e specifiche User-Defined Functions (UDF) per la personalizzazione dei modelli di simulazione.

La configurazione proposta prevede l’impiego di collettori solari parabolici lineari e del fluido termovettore Therminol VP-1, integrati con un sistema di riscaldamento conduttivo del terreno. L’energia termica prodotta dal campo solare viene trasferita alla matrice contaminata attraverso gli elementi scaldanti, mantenendo il principio di funzionamento del desorbimento termico ma modificandone l’architettura energetica.

L’integrazione del solare a concentrazione consente quindi di ridurre il ricorso ai combustibili fossili e le emissioni climalteranti associate alle operazioni di bonifica, senza rinunciare all’efficacia del trattamento.

L’innovazione non risiede nella sostituzione del desorbimento termico, tecnologia già consolidata, ma nella sua evoluzione verso un sistema alimentato da energia rinnovabile.

Il valore aggiunto del progetto consiste nella capacità di coniugare risanamento ambientale, recupero delle matrici e sostenibilità energetica, attraverso una soluzione potenzialmente replicabile e scalabile in differenti contesti contaminati. L'approccio proposto rafforza pertanto il ruolo del desorbimento termico come tecnologia in grado di integrare economia circolare, innovazione industriale e transizione energetica.

Contatti: gianfranco.caccamo@icaroecology.it

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

Riqualificazione del sito orfano “Ex Tiro a Volo” in loc. Cesi, Terni: rigenerazione del territorio mediante risorse PNRR

***Gianbattista Attinasi*[1], *Alice Turina* [1], *Giorgia Imerigo*[2], *Andrea Cecilia*[2]**

[1]*NCE Srl (speaker),* [2]*Comune di Terni (speaker)*

Abstract

Nell’ambito del programma di intervento finanziato con il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza per l’Italia (PNRR), misura M2C4 Investimento 3.4, sono stati realizzati gli interventi di messa in sicurezza e riqualifica dell’area dell’ex tiro a volo di Cesi, “sito orfano” caratterizzato dalla diffusa presenza dei residui delle attività di tiro, in particolare frammenti di piattelli e pallini al piombo, che avevano determinato la contaminazione del suolo superficiale.

Nell’intervento, proposto congiuntamente tra Soggetto Attuatore Esterno (Comune di Terni) e progettisti (NCE), si intendono presentare i risultati ottenuti, analizzandoli in raffronto alle previsioni progettuali ed evidenziando le peculiarità degli interventi, sviluppati in ambito PNRR e Codice dei Contratti Pubblici (D.lgs. 36/2023).

L’area è collocata in un alto morfologico, lungo il versante esposto a Sud/Sud-Ovest degradante verso l’abitato di Cesi con pendenze molto elevate; l’intervento ha coinvolto sia l’area dedicata alla pratica dell’ex impianto di Tiro a Volo sia la sua estensione verso valle, interessata dalla ricaduta dei residui delle attività di tiro e caratterizzata dalla presenza di bosco e tratti di roccia carsica.

Tali aspetti, uniti al quadro economico di finanziamento e alle tempistiche richieste, hanno guidato la scelta della tipologia di interventi applicabili, in linea con i criteri di individuazione delle migliori tecniche di intervento a costi sostenibili (B.A.T.N.E.E.C. – Best Available Technology Not Entailing Excessive Costs) previsto dal D.Lgs. 152/06.

L’intervento di messa in sicurezza è stato dapprima oggetto delle fasi progettuali (Progetto di Fattibilità Tecnico ed Economica e poi Progetto Esecutivo) nel primo semestre 2025 ed in seguito realizzato

nel periodo settembre 2025 – marzo 2026, rispettando le scadenze previste dal finanziamento.
Le soluzioni adottate integrano efficacia ambientale e sostenibilità al fine di rimuovere la sorgente di contaminazione e ripristinare lo stato originario dei luoghi, posti all'interno della Zona Speciale di Conservazione IT5220013 – MONTE TORRE MAGGIORE, minimizzando gli impatti sugli habitat naturali, vegetazione e fauna. Proprio per le peculiari caratteristiche dei luoghi l'intervento ha posto diverse sfide sia in fase progettuale che esecutiva, superate grazie al costante bilanciamento tra le necessità di rimozione della sorgente di contaminazione, gestione delle risorse economiche, tutela ecosistemica e valorizzazione del territorio. Gli interventi eseguiti hanno consentito di restituire circa 9.400 m^2 di suolo (pari all'83% delle aree interessate dall'intervento) alla fruizione della popolazione, contribuendo alla tutela della salute pubblica e dell'ambiente circostante e dimostrando quanto la gestione efficiente delle risorse pubbliche possa garantire il raggiungimento di importanti traguardi in termini di riqualificazione del territorio.

Keywords: Messa in sicurezza, Rigenerazione Urbana, PNRR, Siti Orfani, Sostenibilità

*Contatti: nce@*nce-consulting.com*, giorgia.imerigo@*comune.terni.it

Dinamica della clearance naturale e risposta ecofisiologica di *Mytilus galloprovincialis*: lo studio per la valutazione dei tassi di decontaminazione e le prospettive per la salvaguardia del Mar Piccolo e della Mitilicoltura Tarantina

***Vito Felice Uricchio*[1], *Nicola Ungaro* [2], *Annamaria Basile*[1], *Michele Conversano*[3], *Vito Bruno* [2], *Vittorio Esposito*[2], *Vito Bavaro*[3], *Magda Di Leo*[4], *Leonardo Deri* [5], *Mariangela Fedele*[1], *Fabrizio Basile*[3]**

[1]*Commissario straordinario per gli interventi urgenti di bonifica, ambientalizzazione e riqualificazione dell'area di Taranto;* [2]*ARPA Puglia;* [3]*ASL di Taranto;* [4] *Cnr- Irsa;* [5] *Capitaneria di Porto di Taranto.*

Abstract

La mitilicoltura nel bacino idrografico di Taranto rappresenta un cardine socio-economico, storico e identitario per la comunità ionica. Il bacino del Mar Piccolo è caratterizzato da peculiari condizioni idrobiologiche ed ecologiche definite da un elevato grado di trofismo e da un cospicuo apporto nutritivo, parametri che storicamente favoriscono un eccellente accrescimento somatico e metabolico del mitilo mediterraneo (*Mytilus galloprovincialis*). Tuttavia, il bacino risente in modo significativo delle pressioni antropiche e industriali stratificatesi nel corso dei decenni, le quali hanno determinato l'accumulo nei sedimenti di inquinanti organici persistenti, specificamente policlorodibenzo-p-diossine, policlorodibenzofurani e policlorobifenili. Al fine di tutelare la salute pubblica dal rischio igienico-sanitario connesso al bioaccumulo di tali xenobiotici lipofili, il quadro normativo regionale ha storicamente imposto, tramite l'Ordinanza della Regione Puglia numero 1989 del 2011, il trasferimento perentorio del novellame dal Primo Seno verso altre aree idonee entro e non oltre la data del 28 febbraio di ciascun anno. Questa rigidità temporale, che ha garantito la prosecuzione delle pratiche mitilicole nel Primo Seno, tuttavia penalizza in modo sostanziale il comparto produttivo, precludendo agli operatori la possibilità di sfruttare il periodo primaverile ed estivo, fase caratterizzata dalla massima rigogliosità vegetativa del bacino interno. L'interesse del Commissario per le bonifiche per *Mytilus*

galloprovincialis nel contesto ecosistemico dei mari di Taranto, è motivato dal fatto che questa specie agisce come uno specializzato ed efficiente organismo filtratore, svolgendo un ruolo biogeochimico di primaria importanza. L'alimentazione del mollusco si esplica attraverso una costante filtrazione dell'acqua mediante l'apparato branchiale, operazione con la quale l'animale trattiene e seleziona il particellato organico sospeso e il fitoplancton. Durante tale attività fisiologica, il mitilo tende a concentrare nei propri tessuti le sostanze chimiche idrofobiche e lipofile veicolate dalla frazione solida trattenuta. Parallelamente a questo meccanismo di bioaccumulo, l'organismo mette in atto complessi processi di depurazione e segregazione meccanica: la quota di particellato non edibile o in eccesso viene infatti rigettata sotto forma di pseudofeci ad alto contenuto organico. La costante deposizione di queste pseudofeci sul fondale stimola un fenomeno biologico di *biocapping*, *ovvero una progressiva copertura e immobilizzazione naturale dei sedimenti contaminati che limita significativamente la risospensione degli inquinanti nella colonna d'acqua soprastante*. Inoltre, l'apporto continuo di sostanza organica induce una marcata stimolazione della microflora batterica bentonica autoctona, accelerando i processi catalitici di biodegradazione delle sostanze inquinanti organiche e favorendo così la rigenerazione ecologica del substrato. I risultati ottenuti dal rigoroso monitoraggio condotto su scala annuale tra il novembre del 2024 e il gennaio del 2026, attraverso lo studio "*Valutazione dei tassi di decontaminazione in lotti di mitili trasferiti dal primo seno del Mar Piccolo al Mar Grande*"
dimostrano la piena fattibilità scientifica e l'efficacia della clearance naturale, intesa come processo di autodepurazione metabolica derivante dal trasferimento preventivo dei molluschi nelle acque aperte del Mar Grande. La cinetica di decontaminazione degli xenobiotici mostra una dinamica bifasica nettamente delineata: nei primi quindici giorni di permanenza nel nuovo ecosistema si assiste a una rapida flessione della carica inquinante dovuta a un marcato effetto di diluizione biologica, favorita dall'intenso scambio metabolico con un ambiente meno contaminato. Il consolidamento di tale depurazione si attua in modo stabile e definitivo entro un arco temporale compreso tra i trenta e i quarantacinque giorni dal trasferimento, garantendo l'abbattimento delle concentrazioni di diossine e PCB ampiamente al di sotto delle soglie massime prescritte dalla legislazione comunitaria. Un elemento di straordinario rilievo

ecofisiologico emerso dalla sperimentazione risiede nella totale autonomia biologica della clearance naturale. Il potenziale depurativo espresso dalle acque del Mar Grande si è rivelato costante e indipendente dallo stato fisiologico o riproduttivo dell'organismo. Il processo di smaltimento dei contaminanti mantiene infatti la medesima efficacia sia durante la stagione primaverile, periodo in cui il mollusco versa in uno stato di debilitazione metabolica post-riproduttiva indotto dall'emissione dei gameti, sia durante i mesi estivi, caratterizzati dal massimo rigoglio vegetativo. Inoltre, le indagini biometriche hanno confermato che il processo di decontaminazione non ha determinato alterazioni significative dei principali parametri ecofisiologici valutati, mantenendo sostanzialmente inalterati l'Indice di Condizione e il contenuto di Sostanza Organica dei mitili. Nel corso della sperimentazione, le condizioni termiche del Mar Grande si sono mantenute compatibili con il benessere fisiologico dei molluschi: durante i mesi estivi del 2025, le temperature superficiali sono rimaste al di sotto della soglia critica di 28°C, senza evidenza di condizioni di stress termico tali da comprometterne la vitalità. Dal punto di vista gestionale e sanitario, l'indagine impone un'essenziale distinzione tecnico-giuridica fondata sul principio di prevenzione. Qualora un lotto di mitili evidenzi un effettivo superamento dei limiti di legge quando ancora staziona nel Primo Seno del Mar Piccolo, esso non può essere sottoposto a processi di decontaminazione per fini alimentari e deve essere avviato all'obbligatoria distruzione. Di conseguenza, l'intero modello scientifico elaborato trova la propria applicazione ideale in ambito preventivo e programmato, trasferendo i lotti in Mar Grande o nel secondo Seno del mar Piccolo prima che la concentrazione nei tessuti oltrepassi la soglia regolamentare. Questa evidenza fornisce elementi scientifici per valutare il superamento del modello emergenziale rigidamente legato alla scadenza del 28 febbraio, consentendo alle Autorità preposte di adottare un calendario gestionale dinamico e flessibile. In virtù dei dati acquisiti, attraverso l'integrazione del monitoraggio ambientale, delle analisi dei contaminanti nei tessuti e delle valutazioni ecofisiologiche e biometriche, la permanenza dei lotti nel Primo Seno del Mar Piccolo potrebbe essere prolungata, in presenza di condizioni favorevoli e nel rispetto dei requisiti di sicurezza alimentare, per un periodo maggiore al fine di sfruttarne appieno le risorse trofiche, programmando poi la fase conclusiva di depurazione naturale di trenta-quarantacinque giorni in Mar Grande

prima della commercializzazione estiva. In conclusione, l'integrazione tra la ricerca biologica e le strategie di governance territoriale evidenzia l'importanza di un approccio multidisciplinare e interistituzionale, basato sull'integrazione delle competenze scientifiche, ambientali e sanitarie degli Enti coinvolti nello studio, e suggerisce l'adozione di un approccio strutturato basato sul paradigma *One Health*. Si rende dunque opportuna la rimodulazione dell'Ordinanza Sanitaria n. 1989 del 2011 attraverso l'istituzione di un tavolo tecnico istituzionale, affiancata dalla formalizzazione di un preciso Disciplinare Operativo di Trasferimento. Tale cornice normativa dovrà essere sostenuta dalla continuità delle attività integrate di monitoraggio ambientale e sanitario, di valutazione dei livelli di contaminazione e dei parametri ecofisiologici dei molluschi e dall'interpretazione congiunta dei dati da parte degli Enti coinvolti, oltre che dall'implementazione dei sistemi di tracciabilità del prodotto. Quest'ultima misura consentirà di certificare il percorso di clearance naturale compiuto dai mitili tarantini, trasformando un vincolo ambientale in un elemento di riconosciuta eccellenza ecologica, sanitaria e gastronomica

Keywords: Clearance naturale, Bioaccumulo, Biocapping, Mytilus galloprovincialis, One Health

Contatti: v.uricchio@governo.it, n.ungaro@arpa.puglia.it

Il Piano nazionale di ripristino della natura: tra tutela dell'ambiente e della biodiversità e opportunità di rigenerazione e sviluppo dei territori

Luigi Servadei[1]

[1] *CREA-Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (speaker)*

Abstract

Il Regolamento (UE) 2024/1991 sul ripristino della natura introduce un cambio di prospettiva nelle politiche ambientali europee affiancando alla conservazione della biodiversità un approccio fondato sul recupero della funzionalità degli ecosistemi e sulla ricostruzione delle relazioni tra capitale naturale, attività economiche e qualità dei territori. In questo quadro, il Piano nazionale di ripristino della natura rappresenta uno strumento strategico sia per conseguire gli obiettivi europei di tutela e recupero degli ecosistemi degradati ma anche per orientare processi di rigenerazione territoriale capaci di produrre benefici economici, sociali e occupazionali.

Il contributo analizza il ruolo del Piano nazionale come possibile elemento di connessione tra politiche ambientali, agricole, urbane e di sviluppo locale. Il ripristino degli ecosistemi naturali può infatti generare una pluralità di effetti positivi legati al rafforzamento dei servizi ecosistemici, alla maggiore resilienza ai cambiamenti climatici, alla riduzione dei rischi naturali, al miglioramento della qualità paesaggistica, al sostegno alle produzioni agroalimentari di qualità, alla valorizzazione del turismo sostenibile e alla creazione di filiere legate alla bioeconomia, alla manutenzione del territorio e alle infrastrutture verdi e blu. Il valore economico del ripristino emerge, quindi, dalla capacità di prevenire costi futuri, ridurre vulnerabilità e attivare nuove opportunità di investimento e occupazione.

La sfida consiste nel superare una chiave di lettura del ripristino come insieme di vincoli o interventi settoriali, per riconoscerlo come investimento territoriale e strumento di sviluppo. In tale ambito assumono particolare rilievo l'integrazione tra strumenti di programmazione e finanziamento, il coinvolgimento delle Regioni e

degli enti locali, la partecipazione degli attori economici e sociali e la costruzione di modelli di governance multilivello. Gli strumenti come la Politica Agricola Comune(PAC), i fondi della politica di coesione, i programmi per l'adattamento climatico, insieme alle forme di programmazione territoriale partecipata, possono contribuire a rendere gli obiettivi di ripristino concretamente attuabili e coerenti con le esigenze delle comunità locali.
Per le aree rurali e interne, in particolare, il ripristino degli ecosistemi può diventare uno strumento per rafforzare la qualità delle produzioni, la gestione sostenibile delle risorse naturali, la connettività ecologica e la capacità di attrarre investimenti, servizi e nuove professionalità. Nelle aree urbane e periurbane può invece sostenere forme di rigenerazione fondate sulle infrastrutture verdi, sul miglioramento della qualità ambientale e sull'adattamento climatico.
L'attuazione del Piano nazionale di ripristino della natura rappresenta quindi un banco di prova per la capacità di coniugare tutela della biodiversità, sostenibilità economica e sviluppo territoriale. La sfida sarà quella di trasformare gli obiettivi di ripristino in una politica di investimento nei territori capace di generare benefici ambientali e, allo stesso tempo, opportunità per le comunità e le economie locali.

Keywords: ripristino della natura; biodiversità; rigenerazione territoriale; sviluppo locale; servizi ecosistemici

Contatti: l.servadei@masaf.gov.it

Il contratto di rete nel turismo: scelte organizzative e valutazione della performance

Nicolaia Iaffaldano[1]

Università degli Studi di Bari Aldo Moro (speaker)[1]

Abstract

Obiettivi. Il presente lavoro si occupa di particolari sistemi organizzativi di rete che considerano le alleanze strategiche come fulcro dei processi di creazione di valore. Nel settore turistico, ogni impresa deve necessariamente dialogare con le altre imprese, ma anche con il territorio e, in una prospettiva "macro", deve essere in grado di competere con le imprese situate e operanti in altri territori. Il settore turistico, data la rilevanza delle relazioni di collaborazione per la competitività non solo delle singole imprese, ma anche dei territori, esprime una naturale vocazione all'adozione del contratto di rete da parte degli operatori del settore. Tuttavia, a quindici anni dall'istituzione del contratto di rete, ancora non si ha un quadro delle scelte organizzative e di governance di queste reti operanti nel settore turistico. Una novità particolarmente interessante è quella di poter osservare come le imprese che decidono di mettersi in rete compiano le più diverse scelte organizzative e strutturali per organizzare le proprie attività congiunte nell'ambito del marketing, dell'innovazione e della promozione del territorio, e di poter analizzare come queste scelte si associno a diversi risultati in termini di performance di rete. Complessivamente, le relazioni di collaborazione analizzate dall'indagine sono principalmente avviate per raggiungere obiettivi di competitività altrimenti non raggiungibili autonomamente dalle singole imprese (marketing, innovazione, promozione del territorio) e per fare massa critica rispetto alla ridotta dimensione della singola impresa, cercando quindi di aumentare il proprio potere contrattuale.
Metodologia. Metodo qualitativo tramite intervista esplorativa.
Risultati. L'accordo di rete sottoscritto da tutte le imprese operanti nel settore turistico nella regione Puglia mira a rafforzare e implementare l'offerta turistica fatta di attrazioni, risorse materiali e risorse immateriali. Il prodotto turistico è tradizionalmente riconosciuto come uno dei prodotti a più alta complessità in quanto la sua erogazione richiede il coordinamento e l'integrazione armonica dei

servizi offerti da numerose imprese appartenenti a settori anche molto diversi tra loro. Per la natura stessa del prodotto, quindi, le relazioni inter-organizzative sono state tradizionalmente al centro degli studi manageriali sul turismo incentrate sui temi del marketing, competitività delle imprese e delle destinazioni.
Limiti della ricerca. La ricerca si basa su una condizione fondata ma non dimostrata, ovvero che uno strumento strategico possa costituire un elemento significativo per un cambiamento sostanziale dell'offerta turistica.
Implicazioni pratiche. L'accordo di rete tra le masserie pugliesi, quale mezzo di applicazione di strategie cooperative, determina l'incremento del flusso turistico grazie a una maggiore visibilità delle strutture (attraverso un'offerta integrata) rispetto al potenziale mercato turistico e al ritorno reciproco dei turisti che, appartenenti alla rete, si promuovono a vicenda (attraverso la cooperazione tra le masserie).
Originalità dello studio. Si concentra sull'aggregazione di realtà di dimensioni limitate operanti nel settore turistico, resa possibile da accordi di rete ben consolidati che, inevitabilmente, valorizzano su larga scala le caratteristiche autentiche del territorio stesso.

Keywords: turismo sostenibile, contratto di rete, sistema delle masserie pugliesi, attività congiunte, performance di rete

Contatti: nicolaia.iaffaldano@uniba.it

La riparazione compensativa dei servizi ecosistemici come strumento per il recupero e la gestione dei territori demaniali degradati: l'intervento sul fiume Reno nell'Appennino bolognese

***Angela Sarni*[1], *Daniele Montanaro*[1], *Paola Di Toppa*[1]**

[1] *Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA)*

Nel luglio del 2020 un incidente occorso durante le attività di svaso della diga di Pavana (PT) ha causato lo sversamento lungo il corso del torrente Limentra e del fiume Reno, di tonnellate di sedimenti limosi che hanno sepolto km di sponde fluviali e causato la moria della fauna ittica presente nei tratti a valle della diga e fino a 10 km da essa, tra le specie maggiormente impattate ce ne sono 5 protette dalla Direttiva Habitat: cobite, scazzone, rovella, vairone, barbo comune.
Le autorità regionali hanno attivato le procedure per la valutazione del danno ambientale ai sensi della parte VI del D Lgs 152/06, ottenendo dal MASE il riconoscimento del diritto alla riparazione del danno subito dalle acque dei fiumi e dai loro popolamenti ittici. L'istruttoria di valutazione del danno ambientale, condotta da ISPRA insieme alle ARPA delle regioni interessate dall'evento (Toscana ed Emilia Romagna), ha definito gli interventi da realizzare come misure di riparazione primaria e compensativa sulle specie ittiche colpite: reimmissione per le specie che ad un anno dall'evento non avevano ricolonizzato le aree in cui si trovavano prima dello svaso e immissioni per le specie che avevano iniziato un ripristino naturale, ma che non erano ancora tornate ai livelli di densità pre-svaso.
Inoltre, è stata richiesta la riparazione compensativa dei servizi ecosistemici, cioè delle misure da mettere in atto per "compensare" la perdita temporanea delle utilità fornite dalle risorse naturali danneggiate agli ecosistemi fluviali ed alla comunità civile. Il danno temporaneo derivante dallo svaso della Diga di Pavana è stato valutato nella perdita temporanea di 6 mesi di qualità dei corsi d'acqua Limentra e Reno, e per "compensare" tale perdita ISPRA ha proposto il recupero spondale di un torrente/fiume, essendo le rive fondamentali per garantire i servizi ecosistemici offerti dai corsi d'acqua ed il sostentamento della biodiversità. Applicando il metodo

Habitat Equivalency Analisys, la superficie da “riparare” è stata stimata pari a circa 10.242 m2, mentre il sito dove realizzare gli interventi compensativi, secondo le indicazioni della Regione Emilia Romagna, deve ricadere in aree di demanio idrico ma non rientrare in scenari di rischio alluvionale H-P3, dovrebbe essere localizzato in prossimità di un corso d’acqua locale con rive degradate o coincidere con tratti del fiume Reno, impattati ad esempio da attività di cantiere, con conseguente eradicazione della vegetazione autoctona sostituita da pietrame, inoltre, deve presentare caratteristiche idonee all’intervento riparativo per collocazione geografica, superficie disponibile, tipologia di copertura del suolo.
La non facile selezione di un sito idoneo ha fortemente rallentato l’iter esecutivo delle misure riparative, ma recentemente è stata identificata un’area con le caratteristiche richieste nell’alto Reno sull’Appennino bolognese, per cui la fase successiva è la realizzazione di due tipologie di interventi: il recupero della fascia spondale attraverso interventi di ricostituzione boschiva con controllo delle specie aliene e la creazione di un bosco perifluviale di essenze autoctone idonee al sito. Il risultato atteso è la riparazione compensativa spettante al territorio dopo l’evento dello svaso, ma attraverso essa si realizza anche il recupero dell’area di intervento sotto il profilo ambientale, idro-biologico e paesaggistico, ottenendo molto più di una rinnovata utilità ecosistemica.

Keywords: misure di riparazione compensativa, ripristino spondale, recupero tratti fluviali degradati, servizi ecosistemici, metodi di equivalenza per le misure di riparazione compensative.

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

La metodologia “Città Intelligenti” per sviluppare piani/progetti contro la crisi climatica e per lo sviluppo socio-economico delle comunità

Gallo Giacoma Tiziana

[1] *Esperta in rigenerazione urbana Carbon Free ASVIS*

Abstract

Il dibattito contemporaneo sulla transizione ecologica soffre spesso di una frattura: da un lato l'accademismo teorico, dall'altro un tecnicismo burocratico soffocante. In questo scenario, le nostre città, fragili e impreparate di fronte all'emergenza climatica, necessitano di strumenti nuovi. Risponde a questa esigenza il nuovo saggio di Giacoma Tiziana Gallo, “Nuove metodologie e strumenti operativi di rigenerazione urbana. La metodologia «Città Intelligenti» per sviluppare piani/progetti contro la crisi climatica e per lo sviluppo socio-economico delle comunità” (Maggioli Editore).

Con la prefazione del Prof. Enrico Giovannini, Direttore Scientifico dell’ASviS, il volume segna un cambio di paradigma: la riqualificazione del costruito evolve in rigenerazione della “città delle persone”. La metodologia “Città Intelligenti” non è un'astrazione, ma un approccio che interpreta l’ambiente urbano come un "ecosistema umano", applicando i principi dell'ecologia del paesaggio in coerenza con il Goal 11 dell'Agenda ONU.

Pragmatismo contro la crisi. Il messaggio cardine del saggio è rassicurante: possediamo già le competenze e le tecnologie per ridurre drasticamente la carbon footprint. L’autrice, esperta di bioedilizia e pianificazione strategica, decodifica con metodo una “cassetta degli attrezzi” pratica che integra efficienza energetica, mobilità intelligente, governance partecipata e cura del ciclo di vita degli interventi. L'alibi dell'impossibilità tecnica o economica viene smantellato grazie a protocolli operativi che trasformano il territorio in un organismo resiliente.

L’urbanistica come motore economico. Il testo scardina il falso mito che vede la sostenibilità come nemica dell'economia. Analizzando i flussi del PNRR e dei fondi europei, l'arch. Gallo dimostra come la rigenerazione urbana sia un volano per filiere corte, bioedilizia e

finanza ESG. Investire nella trasformazione urbana significa attivare l'imprenditoria locale e dare risposte concrete al "tema casa", rendendo l'adattamento climatico un investimento patrimoniale a lungo termine.
Empatia e inclusione: la città per tutti Il successo di un piano non si misura solo in CO2 risparmiata, ma nel benessere sociale. Citando la lezione di Adriano Olivetti e Bernardo Secchi, il saggio pone al centro le fasce più fragili: bambini, anziani e persone colpite da povertà energetica. La "Città Intelligente" è, prima di tutto, equa ed empatica.
Dalla teoria al campo Il valore aggiunto del libro risiede nella sua natura di "diario di bordo" di esperienze reali: dal Piano Strategico di Taranto al progetto "Milano per LOC" (Piazzale Loreto), fino agli interventi di Fano e Crispiano. Ogni capitolo è corredato da casi studio che fungono da linee guida concrete.
Rivolto ad amministratori, professionisti e giovani talenti — che qui trovano una guida per muoversi tra i complessi bandi europei — il volume di G. Tiziana Gallo non è un saggio da scaffale, ma un manuale operativo indispensabile. Una chiamata alla responsabilità che trasforma la crisi in una straordinaria opportunità di rinascita collettiva.

Keywords: piani progetti ESG sviluppo comunità

Contatti: g.tiziana.gallo@gmail.com

Il monitoraggio continuo del runup ondoso nella rete di videomonitoraggio costiero ISPRA: un dataset multi-stazione per la calibrazione di modelli numerici e per la gestione del rischio costiero

***Luca Parlagreco*[1]*, Saverio Devoti*[1]*, Gabriele Nardone*[1] *e Giordano Giorgi*[1]**

[1] ISPRA.

Abstract

La gestione dell'erosione costiera e del rischio di inondazione dei litorali sabbiosi rappresenta una delle sfide ambientali con cui il territorio italiano sarà sempre più chiamato a confrontarsi, in risposta alle pressioni esercitate dall'innalzamento del livello del mare e dalla variazione dei regimi meteomarini. In questo contesto, la disponibilità di osservazioni continuative delle dinamiche di spiaggia — morfologia, posizione della linea di riva, risalita ondosa — costituisce un prerequisito fondamentale sia per la valutazione del rischio di inondazione costiera sia per lo sviluppo e la validazione degli strumenti modellistici necessari a supportare le decisioni. Le campagne di misura episodiche, per quanto preziose, non sono in grado di fornire la densità temporale richiesta per caratterizzare la risposta della spiaggia agli eventi di mareggiata, né per alimentare in modo continuativo i modelli numerici operativi. La Rete di Videomonitoraggio Costiero dell'ISPRA (RVMC) nasce per colmare questo divario, offrendo un'infrastruttura osservativa permanente e automatizzata distribuita lungo alcuni dei principali contesti costieri italiani.

La rete conta attualmente dieci stazioni operative, distribuite lungo le coste adriatica e tirrenica. La selezione dei siti di installazione ha seguito un processo strutturato in tre fasi successive.

Il primo criterio è stato l'esposizione ondosa: le stazioni sono state collocate in settori costieri rappresentativi dei principali regimi ondametrici italiani, dall'Adriatico settentrionale e centrale — dominato da mari a fetch limitato e caratterizzati da periodi d'onda brevi — alla costa tirrenica, esposta a moti ondosi a periodo più lungo provenienti dal bacino occidentale del Mediterraneo, fino ai settori

costieri del Tirreno meridionale, soggette a burrasche dai quadranti meridionali e settentrionali. Il secondo criterio ha riguardato la continuità morfologica della costa: sono stati esclusi tratti con articolazione planimetrica complessa, piccole baie o discontinuità morfologiche marcate, privilegiando litorali rettilinei o debolmente curvilinei dove il trasporto sedimentario lungo costa è sufficientemente omogeneo da rendere significativa una misura puntuale. Il terzo criterio, di natura logistica, ma non secondario nella pratica del monitoraggio costiero, ha riguardato la disponibilità di strutture sopraelevate — alberghi, edifici demaniali, manufatti costieri — idonee all'installazione dei sensori in quota, condizione necessaria per garantire il campo visivo richiesto dalla geometria di misura. Questa combinazione di criteri ha prodotto una rete puntuale che, pur nella sua natura discreta, offre una copertura rappresentativa dei principali ambienti morfodinamici italiani e consente la generalizzazione dei risultati per classe di esposizione ondosa e tipo di spiaggia.

Cinque delle 10 stazioni operative sono equipaggiate con sensori LiDAR 2D, installati in posizione fissa e orientati verso mare lungo transetti perpendicolari alla riva. Il sistema acquisisce quotidianamente il profilo altimetrico della spiaggia a tre orari fissi. Le scansioni delle ore 10:00 e 14:00 sono istantanee e forniscono misure morfologiche puntuali, utilizzate per ricostruire le variazioni cumulative del profilo nel tempo e quindi, classificare il comportamento di ogni settore del transetto in termini di erosione o accumulo. La scansione delle ore 12:00 è invece continua, della durata di cinque minuti, e costituisce il cuore del sistema di monitoraggio del runup: in questo intervallo il laser compie circa 2.250 rotazioni complete a 8 Hz, producendo una serie temporale densa della quota della superficie — sia della spiaggia emersa che del pelo libero dell'acqua. Da questa serie di informazioni vengono estratte automaticamente le metriche principali: quota massima di risalita dell'acqua sulla spiaggia, livello medio e oscillazione dello swash, estensione orizzontale della zona inondata e un indice di agitazione che riflette lo stato del mare al momento dell'acquisizione. Un algoritmo adattivo, basato sulla variabilità temporale della quota misurata in ogni punto del transetto, identifica il confine tra spiaggia emersa e sommersa senza richiedere parametri specifici del sito, rendendolo applicabile uniformemente all'intera rete.

L'accuratezza delle misure LiDAR è verificata mediante campagne periodiche di rilievo con strumentazione DGPS-RTK, che forniscono misure di quota al suolo con precisione centimetrica lungo i transetti monitorati. Il confronto sistematico tra i due dataset consente di stimare l'errore residuo del sistema, di identificare eventuali derive strumentali e di calibrare i parametri geometrici del sensore — in particolare l'angolo di inclinazione verticale e la quota del centro ottico. I risultati ottenuti presso le stazioni validate indicano errori quadratici medi inferiori a 10 cm, con bias sistematici riconducibili a imprecisioni nella misura della quota del sensore e correggibili tramite una procedura di calibrazione dedicata.

Il valore principale del dataset prodotto dalla rete RVMC risiede nella sua continuità temporale e nella sua natura multivariabile. La disponibilità di osservazioni giornaliere di morfologia, posizione della linea di riva, stato del mare e runup presso le stesse stazioni consente di costruire record process-based a scala locale. Questi record sono direttamente utilizzabili per la calibrazione dei parametri di modelli di propagazione ondosa e di simulazione del runup — operazione che richiede serie storiche sufficientemente lunghe da coprire un ampio spettro di condizioni ondose, dal mare calmo agli eventi estremi. La co-localizzazione con dati ondametrici offshore e di misure mareografiche permette inoltre, di chiudere la catena osservativa dal largo alla riva, fornendo le condizioni al contorno e i termini di validazione necessari per un uso rigoroso dei modelli. La seconda finalità riguarda l'alimentazione di sistemi di previsione operativa, per i quali la disponibilità di osservazioni aggiornate quotidianamente rappresenta un contributo concreto alla riduzione dell'incertezza nelle stime di impatto costiero.

Risultati e conclusioni

I risultati preliminari ottenuti dalla stazione di Kufra, situata sul litorale di Sabaudia afferente al Parco Nazionale del Circeo, sono riferiti a un periodo di sei mesi compreso tra novembre 2025 e aprile 2026, illustrano le potenzialità del sistema. La serie temporale della quota di runup mostra una variabilità stagionale marcata, con valori prossimi allo zero nei periodi di mare calmo primaverile e quote superiori a 1.5 metri sul livello medio del mare durante gli eventi di mareggiata invernale. Il confronto con i dati di altezza d'onda significativa misurati al largo evidenzia una correlazione quantitativa robusta, confermando la capacità del sistema di rispondere in modo fisicamente coerente alle variazioni del forzante ondoso. Le prospettive di sviluppo

includono l'estensione del processing on-site a tutte le stazioni della rete e l'integrazione con i dati di posizione della linea di riva estratti dal sistema di videomonitoraggio ottico per la stima della pendenza del fronte spiaggia.

Riconoscimenti
La RVMC è stata implementata nell'ambito dell'intervento B23-B25 del Progetto MER, Missione 2 RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA, Componente 4 TUTELA DEL TERRITORIO E DELLA RISORSA IDRICA, Investimento 3.5 RIPRISTINO E TUTELA DEI FONDALI E DEGLI HABITAT MARINI, Amministrazione Titolare: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, finanziato dall'Unione europea – NextGenerationEU

Contatti: luca.parlagreco@isprambiente.it, saverio.devoti@isprambiente.it, gabriele.nardone@isprambiente.it, giordano.giorgi@isprambiente.it

L'environmental risk assessment applicato agli studi di incidenza ambientale dei poligoni dell'esercito italiano insistenti su rete natura 2000

Ten. Col. Marco dott. Fella[1]

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

Abstract

La costituzione di poligoni militari a cielo aperto, sin dal secondo dopoguerra, ha contribuito a conservare la naturalità del territorio, preservandolo da attività fortemente impattanti quali abusivismo edilizio, agricoltura intensiva, turismo di massa, bracconaggio e altre forme di sfruttamento indiscriminato.

Dalla fine degli anni '90 del secolo scorso l'Unione Europea, in attuazione della Direttiva UE 92/43 "Habitat", ha avviato la costituzione della Rete ecologica Natura 2000 che si è basata sull'individuazione di aree di particolare pregio ambientale, denominate Zone Speciali di Conservazione (ZSC), e Zone di Protezione Speciale (ZPS) per l'avifauna, previste dalla Direttiva 2009/147/CE "Uccelli" che ha sostituito la storica Direttiva 79/409.

Allo stato attuale oltre il 60% dei poligoni a cielo aperto attualmente impiegati dall'Esercito Italiano ricadono totalmente o parzialmente in Siti appartenenti alla Rete Natura 2000. Questo dato testimonia che le attività addestrative a fuoco in un poligono, se correttamente pianificate, possono essere compatibili con la preservazione degli habitat e delle specie naturali.

Scopo del presente lavoro è quello di illustrare una best practice applicata alle attività militari che potrebbe essere estesa anche ad altri ambiti applicativi del "mondo" civile.

Metodologia

Per la redazione degli studi di incidenza è stato adottato il noto modello denominato DPSIR (Driving forces, Pressures, States, Impacts, Responses) dell'Agenzia Europea per l'Ambiente (AEA).

Al fine di individuare e sintetizzare meglio le diverse componenti del modello DPSIR, è stata utilizzata una matrice di valutazione quali-quantitativa (vds. Figura 1) che analizza ogni singolo elemento del modello. Tale matrice mette in relazione le attività addestrative

(Determinanti) con relative tipologie di Pressioni esercitate sulle componenti ambientali (Stato) che possono tradursi, a loro volta, in possibili Impatti per ciascuno dei quali viene valutato, in base a un'appropriata analisi di rischio, se è necessario o meno adottare misure di mitigazione (Risposte).
Il metodo si basa, così, su uno schema matriciale, che restituisce quattro livelli di incidenza.
Il livello di incidenza associato a ogni singolo impatto individuato è valutato inizialmente senza tenere conto delle misure di mitigazione e successivamente viene stimata l'incidenza residua dopo l'attuazione delle misure individuate.

In particolare, la matrice di valutazione quali-quantitativa riporta:

- i determinanti, ovvero le attività addestrative che possono originare le pressioni;
- le pressioni generate dalle attività addestrative in relazione alle componenti ambientali che potenzialmente possono risentire dei loro effetti;
- le componenti ambientali su cui agiscono i singoli fattori di pressione;
- gli impatti relativi a ogni fattore di pressione individuato, in prima istanza, senza tenere conto delle misure di mitigazione già in atto o da attuare a medio/breve termine;
- le risposte che rappresentano le misure di mitigazione necessarie a eliminare o ridurre gli effetti sull'ambiente a un livello non significativo;
- l'incidenza residuale, che, rivalutata alla luce delle misure di mitigazione adottate, dovrà rientrare entro un valore non significativo.

La matrice di valutazione consente, pertanto, di esprimere un giudizio quali-quantitativo sulla compatibilità delle attività addestrative con l'ambiente naturale, e di individuare specifiche misure di mitigazione per rendere "non significative" le incidenze ambientali.
Il metodo adottato per determinare la significatività delle attività addestrative militari seguendo una procedura standardizzata che, sulla base di dati oggettivi messi in relazione con valutazioni tecniche effettuate da un Subject Matter Expert, consente di ottenere un prodotto finale di maggiore affidabilità e accuratezza. L'esperienza

maturata potrebbe suggerire di applicare tale schema anche ad altri comparti produttivi.

Contatti: marco.fella@esercito.difesa.it

Modelli numerici e big data: applicativi cloud a supporto dell'ingegneria ambientale

Andrea Pedroncini[1], Sina Saremi[2], Baptiste Le Mauff[3]

[1] DHI S.r.l. – Italy, [2] DHI ESPAÑA, S.L., [3]DHI SARL - France

Abstract

La crescente disponibilità di dati ambientali, osservazioni satellitari e piattaforme cloud sta trasformando il modo in cui l'ingegneria ambientale affronta l'analisi dei sistemi costieri e marini. Il valore non risiede soltanto nell'aumento della quantità di informazioni disponibili, ma nella capacità di integrare dataset eterogenei, aggiornati e distribuiti in modo coerente all'interno di modelli numerici e strumenti di supporto alle decisioni. Le applicazioni cloud consentono di superare criticità tradizionali quali l'accesso frammentato alle sorgenti dati, i tempi elevati di pre-processing, la difficoltà di aggiornare rapidamente gli scenari modellistici e la limitata integrazione tra osservazioni, simulazione e reporting. In questo contesto, il contributo analizza tre soluzioni complementari: l'automazione della catena dati per la modellazione meteo-marina tramite MIKE Data Link, la previsione e gestione di plume mediante DHI PlumeCast, e la produzione di batimetrie derivate da satellite a supporto degli studi costieri.

Descrizione degli applicativi

Il primo aspetto riguarda la preparazione dei dati di ingresso ai modelli numerici, che rappresenta ancora oggi una fase critica negli studi di idrodinamica, qualità delle acque e trasporto sedimentario. La costruzione delle condizioni al contorno, delle condizioni iniziali e dei forcing atmosferici richiede infatti l'integrazione di dataset provenienti da molteplici fonti, spesso caratterizzate da formati, risoluzioni e sistemi di riferimento differenti. MIKE Data Link si inserisce in questo processo come strumento cloud per la raccolta e il pre-processing automatizzato di dati meteo-marini destinati alla modellazione costiera e oceanica. La piattaforma consente l'accesso a sorgenti quali Copernicus, ERA5, HYCOM, NOAA CFSv2 e DTU 10 Tide, automatizzando la generazione di condizioni al contorno, condizioni iniziali e forcing per i modelli numerici. Questo tipo di automazione

riduce significativamente le attività manuali e accelera il ciclo di preparazione del modello.
Dal punto di vista metodologico, l'interesse principale di soluzioni di questo tipo risiede nello spostamento del lavoro del modellista verso attività a maggiore valore aggiunto, quali la definizione del dominio, la verifica della coerenza fisica dei dati, la calibrazione e la validazione dei modelli.
L'automazione delle fasi ripetitive consente di migliorare la qualità complessiva dello studio, aumentando al contempo la rapidità di esecuzione. Questo è particolarmente rilevante in contesti che richiedono aggiornamenti frequenti degli scenari, come studi operativi, analisi evento-specifiche o valutazioni di varianti progettuali. Inoltre, la disponibilità del processo in ambiente cloud favorisce la replicabilità e la standardizzazione dei workflow, consentendo di applicare procedure coerenti a domini geografici diversi e a periodi temporali differenti, migliorando la tracciabilità e il confronto tra scenari modellistici.
Il secondo ambito analizzato riguarda la gestione della dispersione di plume sedimentari o di contaminanti, un tema centrale nelle attività di dragaggio, nelle opere marittime e negli scarichi in ambiente costiero. DHI PlumeCast è una piattaforma cloud progettata per l'analisi e la previsione della dispersione di plume, che integra modellazione numerica avanzata con strumenti di visualizzazione e dati in tempo reale. Il sistema è basato su modelli consolidati, tra cui MIKE FM Hydrodynamics and Waves, Mud Transport e ECO Lab, e consente simulazioni sia in modalità storica sia previsionale. Questo permette di analizzare il comportamento dei plume in funzione delle condizioni ambientali e operative, supportando sia la pianificazione sia la gestione in tempo reale delle attività.
Un elemento rilevante è l'integrazione di dati osservati provenienti da sensori, satelliti e sistemi di tracciamento, che consente di aggiornare continuamente lo stato del sistema simulato.
Questo approccio riduce l'incertezza legata alla variabilità delle condizioni al contorno e migliora la rappresentatività delle simulazioni. Per l'ingegneria ambientale, ciò si traduce nella possibilità di passare da studi statici, tipicamente utilizzati in fase progettuale, a strumenti dinamici di supporto decisionale. La piattaforma consente infatti di impostare scenari alternativi, confrontare risultati e condividere in modo strutturato le informazioni con Autorità e

stakeholder, facilitando sia i processi autorizzativi sia la gestione operativa.
Il terzo tema riguarda l'utilizzo di batimetrie derivate da satellite, che rappresentano una soluzione innovativa per colmare le lacune informative nelle aree costiere poco profonde o scarsamente rilevate. Il servizio si basa sull'integrazione di immagini multispettrali Copernicus Sentinel-2, dati di altimetria laser ICESat-2 e modelli di machine learning, con l'obiettivo di stimare la profondità del fondale in modo scalabile e ripetibile nel tempo. L'utilizzo di compositi multi-immagine consente di mitigare gli effetti di nuvolosità, riflessione superficiale e torbidità a breve termine, migliorando la qualità del dato per applicazioni di modellazione costiera, analisi del bilancio sedimentario e monitoraggio morfodinamico.
Queste tecniche si inseriscono in un'evoluzione più ampia del telerilevamento, in cui la combinazione di sensori ottici e lidar satellitari, insieme a modelli di apprendimento automatico, permette di stimare la batimetria anche in assenza di dati in situ. Studi recenti evidenziano come tali approcci possano raggiungere livelli di accuratezza adeguati per molte applicazioni ingegneristiche e ambientali, pur rimanendo distinti dai rilievi tradizionali per finalità di navigazione o progettazione di dettaglio.
Dal punto di vista applicativo, la batimetria satellitare è particolarmente utile per la ricostruzione di fondali in lagune, bassi fondali e sistemi costieri estesi, dove i rilievi diretti risultano onerosi o non aggiornati.
È tuttavia fondamentale considerare i limiti fisici del metodo. La stima batimetrica basata su dati ottici richiede una sufficiente trasparenza dell'acqua e una visibilità adeguata del fondale, risultando meno efficace in ambienti torbidi o profondi. Per questo motivo, sono in sviluppo approcci complementari, come il mapping intertidale o la bathymetry da wave inversion, che consentono di estendere l'applicabilità anche a condizioni meno favorevoli. La tendenza attuale è quella di integrare più metodologie in dataset ibridi, capaci di combinare i vantaggi di ciascun approccio.
Nel complesso, i tre esempi analizzati delineano una traiettoria comune nell'evoluzione dell'ingegneria ambientale digitale. MIKE Data Link interviene nella fase di costruzione dei dati di ingresso ai modelli, PlumeCast integra modellazione e gestione operativa della qualità ambientale, mentre le batimetrie satellitari ampliano la base informativa territoriale su cui tali modelli si fondano. L'elemento

unificante è rappresentato dall'utilizzo del cloud come infrastruttura di integrazione tra dati, modelli e utenti, capace di aumentare la scalabilità, la frequenza di aggiornamento e la coerenza metodologica degli studi. Questa evoluzione non implica un cambiamento nei principi fisici alla base della modellazione, ma modifica profondamente le modalità operative con cui tali modelli vengono costruiti, aggiornati e utilizzati. In un contesto caratterizzato da crescente disponibilità di dati e da esigenze di risposta sempre più rapide, l'integrazione tra big data, modellazione numerica e piattaforme cloud rappresenta un passaggio chiave per rendere l'ingegneria ambientale più efficace, trasparente e orientata al supporto decisionale.

Contatti: anp@dhigroup.com

Monitoraggio iperlocale della qualità dell'aria e delle isole di calore urbano con reti di sensori ad alta scalabilità territoriale validati dal CNR-IBE: il caso Airqino

Ginevra Cambi[2], Alessandro Zaldei[1], Simone Putzolu[1], Carolina Vagnoli[1], Elena Vannini[2], Alessandro Bruni[1]

[1] National Research Council, Institute of BioEconomy (CNR-IBE)
[2] Tea-Group spa

Abstract

I cambiamenti climatici amplificano in ambito urbano il fenomeno delle isole di calore (Urban Heat Island): asfalto, cemento e superfici artificiali assorbono e restituiscono calore, mantenendo le aree urbane sensibilmente più calde delle zone rurali circostanti, soprattutto nelle ore notturne. L'Europa è il continente che si scalda più rapidamente, a un ritmo doppio rispetto alla media globale, e la combinazione tra isole di calore e ondate di calore configura un crescente problema di salute pubblica, che colpisce gli stessi soggetti fragili già esposti all'inquinamento atmosferico. Le strategie di mitigazione e adattamento richieste agli enti locali, dalla forestazione urbana alla creazione di aree d'ombra e punti di raffrescamento, necessitano di dati ambientali ad alta risoluzione spaziale per individuare gli hotspot di criticità e misurare l'efficacia degli interventi. Tuttavia, gli strumenti disponibili operano oggi su scale non adeguate: le reti regionali di qualità dell'aria gestite dalle agenzie ambientali (in Italia circa 600 stazioni ufficiali) sono insostituibili per la certificazione degli sforamenti dei limiti di legge, ma troppo rade per mappare la variabilità urbana, mentre il sistema nazionale di allerta da ondate di calore HHWW (Heat Health Watch Warning) del Ministero della Salute, operativo nell'estate 2026 in 27 città italiane con previsione del rischio a 72 ore su quattro livelli, ragiona alla scala dell'intera città e non del singolo quartiere. La nuova Direttiva (UE) 2024/2881 sulla qualità dell'aria ambiente, in vigore dal 10 dicembre 2024 e da recepire entro l'11 dicembre 2026, persegue un obiettivo di inquinamento zero entro il 2050 e valorizza, accanto alle misurazioni in siti fissi, il ruolo delle misurazioni indicative e della modellizzazione.

In questo quadro, obiettivo del presente lavoro è descrivere l'impiego di una rete di sensori ad alta scalabilità territoriale, scientificamente validata, per il monitoraggio iperlocale congiunto della qualità dell'aria e dello stress termico in ambito urbano, a supporto delle politiche di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici.
I risultati confermano che una rete di sensori ad alta scalabilità territoriale, scientificamente validati, fornisce alle amministrazioni un layer informativo iperlocale complementare alle reti regionali fisse e al bollettino nazionale di allerta da calore, abilitando l'individuazione degli hotspot termici e di inquinamento e la valutazione quantitativa dell'efficacia degli interventi di mitigazione e adattamento nel tempo. La validità del metodo è documentata da una rete che conta oltre 200 centraline attive in Italia e da progetti come Prato Urban Jungle (finanziato dai fondi europei Urban Innovative Actions), dove la rete iperlocale gestita dal CNR-IBE consente di valutare oggettivamente i benefici della forestazione urbana confrontando le aree d'intervento con gli altri quartieri. Il modello è replicabile su scala regionale e nazionale come strumento di supporto alle decisioni per gli enti locali impegnati nelle strategie di adattamento ai cambiamenti climatici e nel percorso di adeguamento agli obiettivi della Direttiva (UE) 2024/2881, secondo un modello operativo basato su installazione, validazione scientifica, piattaforma dati, manutenzione e servizi ricorrenti.

Contatti: alessandrozaldei@cnr.it; simoneputzolu@cnr.it; carolina.vagnoli@cnr.it; g.cambi@tea-group.it; e.vannini@tea-group.it; a.bruni@tea-group.it

SINTESI: Sistema INtegrato di moniToraggio ambientale e supporto alle decisioni per la gEStione del rischio Idrogeologico

Ginevra Cambi[2], Alessandro Zaldei[1], Simone Putzolu[1], Carolina Vagnoli[1], Elena Vannini[2], Alessandro Bruni[1]

[1] National Research Council, Institute of BioEconomy (CNR-IBE)
[2] *Tea-Group spa*.

Abstract

Il rischio idrogeologico in Italia richiede strumenti di monitoraggio capillare capaci di integrare dati pluviometrici, idrometrici e modelli predittivi in tempo reale, a supporto delle decisioni di enti pubblici e Protezione Civile. Il progetto SINTESI (cofinanziato da Regione Toscana, Programma Coesione Italia 21-27, con partner TEA Group, Magenta Srl, Blue Eco Line S.r.l. e CNR-IBE) ha realizzato un Sistema Integrato di Monitoraggio Ambientale e Supporto alle Decisioni che tiene sotto osservazione l'evoluzione di fenomeni meteorologici e idrogeologici con impatto su ambiente, sicurezza e attività umane. La compagine di progetto riflette una filiera completa di competenze: TEA Group ha curato la progettazione e produzione delle centraline e dei sensori di campo, Magenta Srl lo sviluppo della piattaforma software cloud e dei microservizi di analisi, Blue Eco Line il supporto alla sperimentazione sul territorio, e CNR-IBE la validazione scientifica dei modelli e dei dati. Obiettivo del lavoro è la progettazione, lo sviluppo e la validazione in campo di un'infrastruttura edge-to-cloud per il monitoraggio pluviometrico e idrometrico, l'emissione automatica di allerte basate su soglie regionali e la previsione a 7 giorni delle grandezze ambientali rilevanti, destinata a soggetti pubblici e privati che devono gestire emergenze, progettare interventi preventivi o pianificare attività esposte a rischio idrogeologico.
Il sistema ha raggiunto un livello di maturità tecnologica TRL 8, senza scostamenti significativi rispetto alla proposta progettuale. L'infrastruttura hardware/software è operativa end-to-end, dall'acquisizione edge alla fruizione cloud (interfaccia pubblica disponibile su https://map.airqino.it).

Il modulo di analisi video per il rilevamento di detriti legnosi (classe "Driftwood") ha raggiunto, in fase di validazione, una precision del 91,8% e una accuracy del 68,9% su un dataset di 1748 istanze annotate (mAP 56,4%, recall 73,4%), confermando la fattibilità di un sistema di early-warning basato su computer vision a basso costo per il monitoraggio di corsi d'acqua, complementare alla misura puntuale fornita dai sensori idrometrici a ultrasuoni, radar e piezometrici.
Il sistema di allerta pluviometrica è stato validato in ambiente operativo reale con il Comune di Monteriggioni come beta-tester, dimostrando capacità di rilevamento e notifica automatica del superamento soglia: a titolo di esempio, un evento pluviometrico ha generato un'allerta automatica per superamento della soglia di 20 mm/15min, con valori di 22 mm e 21 mm rilevati da due centraline distinte, dimostrando la capacità del sistema di discriminare correttamente eventi a rischio a scala sub- comunale.
È stata inoltre avviata un'interlocuzione con uno studio specializzato (Notarbartolo, Firenze) per la verifica di brevettabilità del sistema. In particolare, la realizzazione di prototipi "high fidelity" (TRL7) e la loro dimostrazione in ambiente operativo (TRL8) forniscono la base documentale per la rivendicazione di privativa industriale; la logica di interconnessione dei layer aria/acqua/calore e l'algoritmo di correlazione predittiva inquinanti-pioggia presentano, secondo la valutazione preliminare, requisiti di novità e applicabilità industriale, così come il prototipo integrato di centralina aria/meteo/video nella sua configurazione di sistema.
I risultati dimostrano la replicabilità del modello su scala regionale nazionale per la gestione del rischio idrogeologico, configurando SINTESI come evoluzione della piattaforma AirQino da strumento di monitoraggio ambientale a componente di un sistema integrato di previsione, allerta e supporto alle decisioni per enti pubblici, Protezione Civile, utility e gestori di infrastrutture esposte a rischio idrogeologico, con un modello operativo basato su installazione, piattaforma dati, manutenzione e servizi ricorrenti.

Contatti: alessandrozaldei@cnr.it; simoneputzolu@cnr.it; carolina.vagnoli@cnr.it; g.cambi@tea-group.it; e.vannini@tea-group.it; a.bruni@tea-group.it

NEXT USE: un toolkit digitale per governare la complessità operativa degli usi temporanei

Marta Andrei[1], Serena Sgallari[2]

[1] ART-ER cons.p.a.
[2] Regione Emilia-Romagna

Abstract
Nei processi di rigenerazione urbana il tempo non è più un elemento neutro, ma una componente centrale del progetto. Tra la dismissione di un'area e la sua trasformazione definitiva si apre spesso un tempo di attesa lungo e incerto, che genera spazi inutilizzati e vuoti urbani, ma che può essere reinterpretato come fase attiva di sperimentazione, entro cui la città continua a evolvere attraverso pratiche quotidiane e micro-interventi dagli effetti cumulativi. In questa prospettiva, gli usi temporanei funzionano come dispositivi di urbanistica adattiva: consentono di testare nuovi usi degli spazi in modo concreto e flessibile, di rallentare il degrado e di coinvolgere le comunità nelle trasformazioni. Uno degli aspetti più sfidanti di queste pratiche è il governo della loro dimensione multidisciplinare e integrata: amministratori pubblici e attivatori territoriali si trovano a gestire contemporaneamente attività con tempistiche diverse e competenze afferenti a molti campi disciplinari, il che rende l'aspetto manageriale uno dei nodi principali su cui costruire nuovi strumenti di supporto. A partire da questa esigenza, il contributo presenta Next Use, il toolkit digitale sviluppato da Regione Emilia-Romagna e ART-ER per accompagnare passo passo amministratori e attivatori nelle diverse fasi del processo. L'obiettivo è descriverne le caratteristiche tecniche e operative come strumento innovativo per promuovere l'uso temporaneo e rendere replicabili procedure e pratiche.
La struttura di Next Use produce due ordini di risultati. Sul piano operativo, il toolkit agevola gli aspetti gestionali e manageriali degli usi temporanei, restituendo a chi opera una mappa chiara delle attività da svolgere lungo l'intero ciclo del processo, dall'ideazione fino alla gestione nel tempo. Sul piano del metodo, l'integrazione di contenuti validati sul campo all'interno di un percorso strutturato rafforza il dialogo tra la pianificazione urbanistica formale e le pratiche dal basso, contribuendo a colmare la distanza tra i due ambiti. Un esito particolarmente rilevante riguarda la replicabilità. La struttura

versatile del toolkit lo rende potenzialmente applicabile anche ad altri processi di rigenerazione, a condizione che siano comparabili la sequenza di fasi, la pluralità di attori e i fabbisogni di coordinamento multi-competenze. In questo senso Next Use non si configura come una soluzione chiusa, ma come uno strumento operativo capace di supportare la dimensione adattiva e incrementale delle trasformazioni urbane, mentre la natura open source dell'archivio ne consente l'arricchimento progressivo grazie al contributo dei soggetti esperti. Il percorso emiliano-romagnolo suggerisce che la scalabilità degli usi temporanei dipende meno dalla replicabilità dei singoli progetti e più dalla replicabilità di condizioni: competenze diffuse sul territorio, criteri di valutazione condivisi e strumenti di supporto adeguati. In questa direzione, il consolidamento di dispositivi come Next Use rappresenta un passo utile per stabilizzare gli usi temporanei come componente strutturale dell'urbanistica contemporanea, e apre alcune piste di lavoro: rafforzare la misurazione del valore pubblico generato e ampliare la base di contenuti operativi a disposizione degli attori territoriali.

Contatti: marta.andrei@art-er.it

La mappatura dei materiali e il protocollo Well

Andrea Chiuchiolo[1], Emiliano Colleoni[1]

[1] HPC Italia S.r.l

Abstract

L'obiettivo principale del protocollo WELL (o WELL Building Standard) è misurare, certificare e migliorare la salute e il benessere psicofisico delle persone all'interno degli edifici. A differenza di altri protocolli (come il LEED) che si concentrano principalmente sull'efficienza energetica e sull'impatto ambientale della struttura, il sistema WELL si focalizza sulla salute e il benessere di chi gli edifici li vive e li occupa quotidianamente.
La certificazione valuta principalmente le strategie implementate su involucro, impianti HVAC, qualità dell'aria e dell'acqua, illuminazione, comfort termo-igrometrico e acustico, oltre a politiche gestionali e si articola in dieci concetti (Air, Water, Nourishment, Light, Movement, Thermal Comfort, Sound, Materials, Mind, Community), con prerequisiti obbligatori e ottimizzazioni opzionali che determinano i livelli di certificazione (Bronze, Silver, Gold, Platinum). L'approccio integra misure tecniche, protocolli gestionali e verifiche prestazionali in sito.
In questo scenario di transizione verso un'edilizia rigenerativa orientata alla salute e al benessere, HPC Italia si configura come partner strategico. L'azienda gestisce l'intero ciclo del concetto "Materials" del protocollo WELL, dalla fase di strip-out fino alla costruzione e alla gestione operativa.
L'attività consiste nella traduzione dei requisiti del protocollo in procedure operative di cantiere. Grazie ad un comprovato expertise multidisciplinare, il contributo di HPC si focalizza sulla gestione integrata – dalla mappatura e caratterizzazione chimica al campionamento, fino ai piani di bonifica, messa in sicurezza e mitigazione del rischio – di tutti i contaminanti storici e dei vettori di rischio chimico attenzionati dallo standard WELL per la tutela della salute pubblica.
Oltre al censimento mirato di Materiali Contenenti Amianto (MCA) e Fibre Artificiali Vetrose (FAV), quali matrici cardine nella valutazione del rischio indoor, vengono controllati altri inquinanti critici e metalli

pesanti regolati dal protocollo. I principali oggetto di indagine sono il Piombo (storicamente presente in vernici e reti idriche obsolete), i composti a base di Arseniato di Rame Cromato (CCA) nei legni trattati, bifenili policlorurati (PCB), il Mercurio (presente in componenti e sistemi di illuminazione fluorescenti), i ritardanti di fiamma alogenati (HFRs) e gli ftalati (presenti nei vecchi rivestimenti plastici).

Il presente contributo illustra quindi l'approccio metodologico integrato applicato da HPC Italia, che, presidiando l'attività fin dalla due diligence iniziale, guida il cliente attraverso le fasi sequenziali di mappatura, caratterizzazione dei materiali, gestione del rischio, progettazione dei risanamenti e, infine, validazione strumentale sul campo (Performance Verification), necessari per raggiungere con successo i massimi livelli di certificazione WELL.

La mappatura, la caratterizzazione e la gestione dei materiali pericolosi svolge un ruolo chiave al fine di garantire una riqualificazione salubre e sostenibile del patrimonio immobiliare preesistente.

La gestione integrata delle sostanze soggette a restrizione rappresenta uno strumento strategico essenziale per guidare il processo dal campionamento iniziale, attraverso la progettazione delle bonifiche, fino all'esecuzione dei monitoraggi finali per il raggiungimento dei massimi livelli di certificazione WELL.

Questo approccio permette di ottimizzare le tempistiche operative, ridurre i costi di coordinamento di figure frammentate, azzerare i rischi di contaminazione incrociata durante le lavorazioni e garantire la tutela della salute pubblica e di tutti gli stakeholder coinvolti. Grazie alle metodologie illustrate è possibile prevenire l'esposizione indoor ad agenti chimici e inquinanti, dalla fase di *construction* fino alla fase di *operation*, promuovendo il benessere psicofisico dei lavoratori e degli occupanti, garantendo il superamento dei monitoraggi sul campo (*Performance Verification*) e contribuendo attivamente a un settore delle costruzioni più responsabile e all'avanguardia.

Contatti: Andrea Chiuchiolo@hpc.ag, Emiliano Colleoni@hpc.ag

AIFA LT: previsioni a lungo termine delle portate idrologiche in alto adige in un clima che cambia

Ester Colombarini[1], Rossella Luchi[1], Dino Boaro[1], Roberto Bertero[1], Giorgio Battisti[2]

[1] Hydrodata SpA,
[2]Alperia Trading Srl

Abstract

Nel contesto attuale del cambiamento climatico, la previsione della disponibilità futura delle risorse idriche rappresenta un elemento strategico per la gestione sostenibile dei territori e delle infrastrutture che dipendono dalla risorsa idrica. Tale esigenza risulta particolarmente rilevante nelle aree alpine, caratterizzate da una marcata stagionalità dei deflussi, controllata dai processi di accumulo e fusione nivale e dalla variabilità delle temperature e delle precipitazioni che condizionano la disponibilità idrica su scala stagionale e annuale.
In questo quadro, lo sviluppo di strumenti previsionali operativi consente di supportare la pianificazione della risorsa idrica, migliorare la capacità di adattamento ai cambiamenti climatici e rafforzare la resilienza dei sistemi territoriali. La disponibilità di scenari idrologici rappresentativi permette infatti di valutare anticipatamente possibili condizioni di scarsità o abbondanza idrica, fornendo un supporto concreto ai processi decisionali.
Il progetto AIFA LT (Advanced Inflow Forecast Algorithm – Long Term), sviluppato nel periodo 2021–2025 dalla collaborazione tra Hydrodata SpA e Alperia Trading Srl, ha integrato competenze di idrologia applicata, modellazione numerica e gestione operativa della risorsa idrica, con l'obiettivo di realizzare un sistema operativo di previsione idrologica a lungo termine, in grado di fornire stime dei deflussi estese fino ad un anno, basate su scenari rappresentativi.
AIFA LT è stato applicato ai bacini idrologici che alimentano 24 impianti idroelettrici in Alto Adige, un contesto alpino nel quale la produzione idroelettrica assume un ruolo centrale ma è strettamente connessa anche alla gestione complessiva della risorsa idrica e agli usi plurimi del territorio. Il sistema è stato concepito come strumento

operativo, orientato all'utente e integrabile nei sistemi di supporto alle decisioni già in uso presso i gestori degli impianti idroelettrici.
Il sistema AIFA LT fornisce, con frequenza settimanale, previsioni delle portate attese associate a tre scenari idrologici rappresentativi — anno scarso, medio e abbondante — in corrispondenza delle opere di presa degli impianti idroelettrici oggetto di studio e degli idrometri della rete di monitoraggio provinciale. Tali previsioni consentono di stimare i volumi idrici naturali disponibili fino a un anno e di definire una fascia di variabilità della risorsa, offrendo una rappresentazione strutturata dell'incertezza e superando i limiti di un approccio basato su una singola previsione deterministica.
L'aggiornamento periodico dello stato idrologico dei bacini, basato sulle condizioni meteorologiche osservate e sulle principali variabili di stato — accumulo nivale, saturazione del suolo e riserve sotterranee — permette di seguire l'evoluzione della previsione nel corso dell'anno e di valutare progressivamente la variazione dei volumi attesi a fine periodo. La fascia compresa tra scenario scarso e scenario abbondante tende a ridursi con l'avanzare dell'anno, convergendo verso i valori osservati e migliorando la capacità di valutazione della disponibilità idrica residua.
In ambito operativo, l'applicazione sviluppata per gli impianti idroelettrici supporta la gestione dei serbatoi, l'allocazione della risorsa tra più impianti, l'anticipazione di condizioni di scarsità o surplus idrico e la pianificazione delle strategie energetiche. Inoltre, la disponibilità di scenari aggiornati costituisce uno strumento utile per la gestione coordinata della risorsa con gli altri usi del territorio, quali ad esempio, irrigazione, innevamento programmato e antincendio.
Nel complesso, AIFA LT contribuisce a rafforzare la resilienza dei sistemi idroelettrici e territoriali rispetto alla variabilità idrologica e climatica, migliorando la gestione del rischio e la qualità dei processi decisionali.
Gli sviluppi futuri potranno includere l'integrazione di proiezioni climatiche, tecniche di previsione probabilistica e approcci basati su machine learning, al fine di incrementare ulteriormente le capacità predittive del sistema.

Contatti: hydrodata@hydrodata.it, giorgio.battisti@alperia.eu

La pianificazione di rischio idraulico in un contesto evolutivo

Luca Dutto[1], Andrea Colombo[2], Marta Martinengo[2], Marco Andreoli[3]

[1] Hydrodata SpA, [2]Autorità di Bacino Distrettuale del fiume Po, [3]Art Srl Ambiente Risorse Territorio

Abstract

Nel periodo 2024-2025 si è riscontrato in Italia lo sviluppo e la conclusione di numerosi studi finalizzati all'aggiornamento delle pianificazioni territoriali di settore in tema di rischio idraulico, anche in relazione al prossimo avvio del terzo ciclo di pianificazione del PGRA – Piano di Gestione del Rischio da Alluvioni (termini definiti dal D.Lgs. 49/2010: aggiornamento mappe di pericolosità e rischio a dicembre 2025, aggiornamento Piani entro dicembre 2027 per il nuovo sessennio 2028-2033).

La pianificazione di gestione del rischio idraulico ha sempre visto un forte coinvolgimento di Hydrodata nei suoi 50 anni di storia, fin dai contributi ai suoi primi embrioni a seguito dei gravosi eventi del 1993 e 1994, con il supporto all'Autorità di Bacino del Po per l'impostazione delle Fasce Fluviali e dei Piani Stralcio, e in seguito ricercando costantemente l'innovazione tecnologica e metodologica che consentisse di predisporre strumenti sempre più affidabili e basati su robuste capacità previsionali dei potenziali effetti attesi sul territorio.

L'aggiornamento in corso porta però a dover fare i conti con l'attuale assetto idrologico e del territorio, in anni caratterizzati dalla ricorrenza sempre più frequente di eventi assai gravosi in termini di effetti al suolo. Identificarne le cause è essenziale per impostare adeguatamente la pianificazione: quanto si può attribuire agli effetti di cambiamento climatico in corso (e dunque quali aggravi ancora è lecito attendersi) e quanto a una maggiore vulnerabilità del territorio, diventata cronica in alcune aree?

La pianificazione di rischio idraulico si trova quindi davanti a un possibile cambio di approccio, per aree storicamente più vulnerabili o che gradualmente lo diventino in virtù di maggiori forzanti idrologiche: perseguire unicamente un criterio di protezione completa del territorio per gli eventi gravosi di riferimento (al netto delle aree già

deputate all'espansione dei corsi d'acqua), prevedendo nei Piani di Bacino un sistema di opere e interventi conseguente, che tuttavia non sempre può essere risolutivo nei limiti della sostenibilità economica, ragionevolezza tecnica, durabilità nel tempo, oltre che richiedere lunghi tempi realizzativi; o introdurre un concetto di assetto dinamico (evolutivo) delle opere di difesa, con definizione di portate limite ammissibili attuali, al di là delle quali entrino in gioco, attraverso opportuni piani di emergenza e politiche di maggior consapevolezza degli abitanti, soluzioni di contenimento e mitigazione dei potenziali danni, potenziando la resilienza del territorio (mitigandone la vulnerabilità) nei confronti di allagamenti non evitabili almeno in un periodo transitorio.

Contatti: hydrodata@hydrodata.it

Monitoraggio dei rifiuti spiaggiati sulle coste Adriatico-ioniche

Milvia Elena Di Clemente 1, Brixhilda Lleshi 1, Valentina De Pinto 2, Paolo Francesco Garofoli 2, Francesco Todaro1, Michele Notarnicola1

[1] Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica, Politecnico di Bari,

[2]Dipartimento Ambiente, Paesaggio e Qualità Urbana, Regione Puglia,

Abstract

I rifiuti spiaggiati rappresentano una delle principali minacce ambientali per i mari. Secondo la definizione del Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP, 2005), il rifiuto marino è qualsiasi materiale solido persistente scaricato o abbandonato nell'ambiente marino/costiero. Gli accumuli sulle spiagge – definiti anche "beach litter" – sono generalmente costituiti da rifiuti antropici (e.g., plastiche, metalli, vetro) e materiali naturali, sia organici (e.g., Posidonia oceanica) che minerali (e.g., sabbia e conchiglie). I dati del 2024 (Šubelj et al., 2024) mostrano che la densità di rifiuti sulle spiagge del Mediterraneo supera sistematicamente la soglia di 20 rifiuti ogni 100 m, valore fissato dalla Direttiva 2008/56/EC come requisito per il raggiungimento del Buono Stato Ambientale. Il problema è particolarmente acuto lungo le coste del Mar Mediterraneo, in territori sprovvisti di sistemi omogenei di regolamentazione e gestione.

In questo contesto, il progetto BLUECIRCLE – Boosting Circular Economy Solutions for Marine Litter Collection and Recycling in the Adriatic-Ionian Regions – mira a testare la fattibilità tecnica, ambientale e sociale di un sistema di gestione circolare dei rifiuti spiaggiati, attraverso la sperimentazione di un impianto di recupero mobile atto alla separazione delle diverse frazioni merceologiche.

Il presente studio analizza i dati derivanti dal monitoraggio delle coste dei partner del progetto: Regione Puglia (Italia), Municipio di Nikolaos Skoufas (Grecia), Kastela City (Croazia), Consiglio Regionale di Durazzo (Albania), Municipio di Neum (Bosnia) e Municipio di Budva (Montenegro). In particolare, vengono discussi i dati derivanti dalla caratterizzazione chimico-fisica e merceologica di campioni di rifiuti

spiaggiati raccolti in due campagne di monitoraggio nel corso del 2025 in diverse tipologie di habitat costiero (antropico, semi-naturale e naturale).

Le campagne di campionamento hanno prodotto un dataset transnazionale rappresentativo di 13 siti costieri in 6 paesi (Italia, Grecia, Croazia, Albania, Bosnia-Erzegovina e Montenegro). I risultati sintetizzati in Tabella 1 mostrano una significativa variabilità della composizione dei rifiuti in funzione della tipologia di habitat: 1) negli habitat antropici, come Mola di Bari (Italia), prevalgono i materiali antropici (rifiuti plastici, metalli ferrosi e vetro); 2) negli habitat semi-naturali i cumuli di materiali spiaggiati sono costituiti prevalentemente da materiali organici naturali (e.g., Posidonia oceanica, alghe, residui lignocellulosici) e rifiuti antropici, con una forte variabilità anche all'interno dello stesso territorio (e.g., Kastela: Resnik 66.7% organico naturale vs. Bile 64.3% antropogenico); 3) negli habitat naturali predominano la componente organica e/o minerale naturale, sebbene la plastica rimanga presente in percentuali variabili tra il 3% e il 34%.

I risultati ottenuti confermano che la presenza di rifiuti spiaggiati lungo le coste dell'area adriatico-ionica rappresenta un problema ambientale significativo, con caratteristiche composizionali variabili in funzione del tipo di habitat e della localizzazione geografica. L'applicazione del protocollo ha permesso di ottenere un dataset comparabile, che costituisce una base fondamentale per le successive fasi operative del progetto: sviluppo di un impianto mobile pilota per il recupero dei rifiuti spiaggiati.

Nel complesso, questo studio rafforza la cooperazione tra le nazioni coinvolte, garantisce la comparabilità dei dati raccolti e pone le basi tecniche per le successive fasi operative, contribuendo allo sviluppo di un sistema innovativo e sostenibile per la gestione del beach litter nell'area adriatico-ionica.

Osservatorio regionale delle aree produttive e dismesse

Serena Sgallari e Daniele Capitani[1],Francesca D'Eliseo D'Alessandro e Francesca Altomare[2]

[1] 1Regione Emilia-Romagna, [2]ART-ER,

Abstract

Il progetto, sviluppato dalla Regione Emilia-Romagna, Settore regionale Governo e Qualità del territorio, in collaborazione con ART-ER, ha l'obiettivo di costruire e implementare un Osservatorio regionale delle aree produttive e dismesse, finalizzato a supportare le politiche di rigenerazione urbana e territoriale, attrazione degli investimenti e riuso del suolo. L'Osservatorio fornisce elementi conoscitivi utili per programmare delle politiche pubbliche, alla valutazione delle priorità di intervento e alla valorizzazione delle aree produttive o dismesse, e/o per renderle potenzialmente destinabili a processi di investimento, di trasformazione, rigenerazione e riuso. L'Osservatorio integra un framework di contesto di indicatori con un sistema informativo georeferenziato per la mappatura delle aree, consentendo la lettura congiunta delle caratteristiche delle aree e del contesto territoriale. Gli indicatori descrivono le condizioni di contesto e di qualità del territorio, mentre la mappatura delle aree, attraverso la sovrapposizione di più layer informativi, definisce le caratteristiche fisiche, le fragilità e le potenzialità spaziali delle aree (distanza dai caselli, rischi di frana, sismicità, siti da bonificare). Questi elementi costituiscono una base conoscitiva di supporto Enti locali nella definizione di scenari di sostenibilità per le aree attive e di scenari di trasformazione e rigenerazione per le aree dismesse.

Il progetto restituisce un quadro conoscitivo, seppur non esaustivo, delle aree produttive e dismesse regionali, ponendo una base informativa a supporto della definizione delle priorità di intervento delle politiche pubbliche. I principali risultati includono: Censimento delle aree produttive: 224 aree produttive attive di grandi dimensioni (≥ a 10 ettari), le quali occupano una superficie complessiva di oltre 18.000 ettari distribuiti su tutte le province; Censimento delle aree dismesse: 341 aree dismesse (abbandonate da oltre 4 anni e più ampie di 10.000 mq), che coprono un totale di oltre 1.500 ettari; Schede di

profilazione: Per ogni area sono state elaborate schede di dettaglio che sintetizzano imprese, addetti, infrastrutture digitali, siti da bonificare e indici di attrattività, fornendo un "profilo" immediato dell'area; Modello concettuale di posizionamento (rating): sistema di valutazione multidimensionale basato su quattro macro-dimensioni: attrattività (indici socio-economici e ambientali), accessibilità (distanza da caselli e scali merci), pericolosità (rischio sismico, idrogeologico e alluvionale) e valore (mercato immobiliare). finalizzato all'attribuzione di punteggi comparativi ed all'identificazione di criticità e potenzialità.
Le analisi condotte permettono di delineare due principali tipologie di scenari: Scenari di sostenibilità per le aree produttive attive, orientati al rafforzamento della resilienza territoriale e alla mitigazione degli impatti ambientali; Scenari di trasformazione per le aree dismesse, differenziati in funzione del posizionamento, che includono riconversione funzionale, rigenerazione urbana o interventi di rinaturalizzazione nei contesti meno competitivi. Nel complesso, il sistema sviluppato consente di integrare informazioni eterogenee in un quadro interpretativo unitario, rafforzando la capacità di supporto alle decisioni e alla definizione di strategie territoriali mirate.

Contatti: Serena.Sgallari@regione.emilia-romagna.it

La sfida PFAS-free nei cantieri italiani della Torino-Lione: sviluppo di un protocollo per la gestione dei rischi legati ai materiali contenenti PFAS in uno dei tunnel più lunghi delle Alpi

Elisabetta Priante[1], Anita Pizzaia[1], Silvia Ziliani[1], Anna De Fina[1], Ambra Bolognino[1], Jean Pierre Davit[1], Manuela Rocca[2], Pia Grieco[2], Sara Puma[2], Lorenzo Morra[3]

[1] WSP Italia, [2] TELT Sas; [3]AI Engineering,

Abstract

I PFAS (sostanze per- e polifluoroalchiliche) sono composti chimici di origine antropica impiegati fin dagli anni ’50 per le loro proprietà di resistenza al calore, all’acqua e agli oli. La presenza di forti legami carbonio-fluoro li rende estremamente resistenti dal punto di vista chimico, fisico, termico e biologico e risultano pertanto difficilmente degradabili. Grazie a queste caratteristiche i PFAS sono utilizzati in numerosi processi industriali e su prodotti di largo impiego, compresi diversi materiali utilizzati nel settore delle costruzioni e delle grandi opere infrastrutturali. In anni recenti sono emersi episodi di contaminazione da PFAS nel suolo e nelle acque sotterranee; anche in Italia sono stati riscontrati casi associati all’impiego di materiali da costruzione che hanno richiamato significativa attenzione pubblica e mediatica.

In tale contesto è stato sviluppato un protocollo tecnico finalizzato a prevenire e minimizzare il rischio di introduzione e rilascio in ambiente di PFAS nei cantieri di una delle opere infrastrutturali più grandi e strategiche attualmente in realizzazione tra Italia e Francia.

Questo progetto deriva da un approccio proattivo e pionieristico alla gestione del rischio, considerando che in Italia attualmente non sono presenti obblighi normativi specifici relativi alla presenza di PFAS nei materiali da costruzione e nelle matrici ambientali, ad eccezione delle sostanze PFAS classificate come inquinanti organici persistenti ai sensi della Convenzione di Stoccolma.

In assenza di una normativa italiana specifica sui PFAS nei materiali da costruzione, questo protocollo costituisce una guida per valutare i

materiali e le attività che si svolgono in cantieri civili e prevenire il rilascio di PFAS nell'ambiente.
Il protocollo individua i metodi analitici da adottare, il set di composti PFAS da ricercare e valori soglia di riferimento derivati da regolamentazioni e standard internazionali. Per i materiali classificati a rischio di rilascio di PFAS, è inoltre prevista la predisposizione di un Piano di Gestione PFAS, finalizzato a definire le misure minime di prevenzione, controllo e mitigazione necessarie a ridurre il rischio di contaminazione ambientale.
Il protocollo sviluppato rappresenta un approccio innovativo e preventivo alla gestione dei PFAS nei materiali da costruzione, applicato ai cantieri italiani di uno dei tunnel più lunghi delle Alpi nonché una delle principali opere infrastrutturali europee. L'esperienza descritta costituisce un primo riferimento in Italia per la valutazione e la gestione del rischio PFAS nei materiali impiegati in grandi cantieri infrastrutturali e può rappresentare una base replicabile per future opere complesse, contribuendo a integrare principi di prevenzione, sostenibilità e tutela delle matrici ambientali nella progettazione e realizzazione delle infrastrutture.

Contatti: elisabetta.priante@wsp.com

Gestione biologica delle riserve idriche antincendio: strategie di biorisanamento per la prevenzione di alghe, biofilm e materiali ostruttivi nel rispetto della UNI EN 12845

***Lorenzo Bertolotto*[1], *Danilo Calcaterra*[1], *Elena Di Biasi*[1]**

[1] Paneco Ambiente Srl

Abstract

Le riserve idriche antincendio rappresentano un elemento essenziale per garantire la continuità operativa dei sistemi di spegnimento automatico e manuale installati in ambito industriale, logistico e civile. Sebbene tali infrastrutture siano progettate per assicurare la disponibilità immediata di acqua in caso di emergenza, la permanenza prolungata dell'acqua in condizioni di stagnazione può determinare fenomeni di degrado qualitativo che compromettono l'efficienza dell'intero sistema. L'accumulo di sostanza organica proveniente dall'ambiente circostante, associato all'apporto di nutrienti e all'esposizione alla radiazione solare, favorisce processi di eutrofizzazione con conseguente proliferazione di alghe, cianobatteri, fitoplancton, biofilm, mucillagini e sedimenti organici. Tali fenomeni possono determinare un incremento della torbidità, la formazione di zone anossiche, la produzione di odori sgradevoli e, soprattutto, l'ostruzione delle opere di presa, dei filtri e delle pompe antincendio. La norma UNI EN 12845 richiede che le riserve idriche siano mantenute in condizioni tali da garantire il corretto funzionamento dell'impianto in qualsiasi momento, evitando la presenza di materiali in grado di compromettere la funzionalità delle apparecchiature. Tradizionalmente il controllo delle acque è stato affidato a trattamenti chimici basati su cloro, ipoclorito di sodio, rame e alghicidi. Tuttavia, tali sostanze causano effetti collaterali sull'ecosistema acquatico, incrementano la corrosione dei materiali e il loro utilizzo può richiedere frequenti interventi manutentivi.
Il presente studio descrive l'applicazione di un protocollo innovativo di biorimediazione dell'acqua tecnica di una vasca antincendio. Quest'ultima è sita presso lo stabilimento di un'azienda italiana di riferimento nel settore alimentare. La vasca era soggetta a una serie

di problematiche come la proliferazione algale, l'aumento della torbidità e l'accumulo di sedimenti organici, con conseguente necessità di interventi periodici di manutenzione e utilizzo di trattamenti chimici a base di cloro e ipoclorito. L'interesse del gestore verso soluzioni a minore impatto ambientale derivava dalla presenza di canali agricoli limitrofi allo stabilimento, potenzialmente interessati da scarichi accidentali in caso di troppo pieno della vasca. Tale contesto rendeva particolarmente rilevante la ricerca di strategie alternative all'impiego di alghicidi convenzionali.

Le prime evidenze di efficacia sono state osservate circa un mese dopo l'avvio del trattamento. Sebbene la piena attivazione biologica sia generalmente raggiunta entro due settimane dall'applicazione, nel caso in esame la presenza residua di sostanze chimiche derivanti dai precedenti trattamenti ha rallentato l'instaurarsi dei processi biologici. Nonostante tale condizione iniziale, il monitoraggio ha evidenziato un progressivo e importante miglioramento della qualità dell'acqua. In particolare, sono stati osservati:

- significativa riduzione della proliferazione algale;
- diminuzione della torbidità dell'acqua;
- riduzione degli accumuli organici e dei biofilm;
- miglioramento delle condizioni generali della riserva idrica.

La riduzione della biomassa algale e dei materiali organici sospesi ha determinato un miglioramento della trasparenza dell'acqua, facilitando le attività di controllo visivo e contribuendo a limitare il rischio di formazione di materiali potenzialmente ostruttivi per le opere di presa e per i sistemi di pompaggio. Dal punto di vista ambientale, il trattamento ha consentito la completa eliminazione dell'utilizzo di alghicidi a base di cloro precedentemente impiegati dal gestore, riducendo
il rischio associato all'eventuale dispersione di sostanze chimiche nei canali agricoli adiacenti. Un ulteriore elemento osservato durante il periodo di monitoraggio è stata la comparsa di girini e di altre forme di vita acquatica, indicativa di un miglioramento delle condizioni ecologiche dell'ambiente e della riduzione della pressione esercitata dai precedenti trattamenti chimici.

La qualità dell'acqua rappresenta un aspetto spesso sottovalutato nella gestione delle riserve idriche antincendio, nonostante il suo ruolo determinante nel garantire l'efficienza e la sicurezza degli impianti durante le emergenze. Il caso studio presentato dimostra che

l'impiego combinato di strategie di biorimediazione basate su biotecnologie e consorzi microbici selezionati può costituire una valida alternativa ai tradizionali trattamenti chimici per il controllo di alghe, biofilm, mucillagini e sedimenti organici. L'esperienza evidenzia, inoltre, come la gestione biologica delle vasche antincendio possa contribuire agli obiettivi di sostenibilità aziendale, alla riduzione della Water Footprint e al rispetto delle condizioni richieste dalla normativa UNI EN 12845 per il corretto funzionamento delle riserve idriche.

Contatti: info@panecoambiente.com

Correlazioni tra attività produttive e pratiche agricole che hanno determinato la diffusione del TFA nelle acque sotterranee di un'area della Lombardia

Madela Torretta [1]***, Bruno Zonca*** [1]***, Gianni Azzali*** [1]

[1] ARPA Lombardia

Abstract

La normativa italiana in tema di potabilità (D.lgs 18/2023) prevede l'introduzione, a partire dal 12 gennaio 2027, di un limite di riferimento per l'Acido Trifluoroacetico (TFA) pari a 10 μg/L.
Il TFA è un PFAS a catena ultracorta con una struttura chimica che lo rende particolarmente mobile nell'ambiente; essendo molto solubile e chimicamente stabile, il TFA non si degrada e tende ad accumularsi facilmente nei corpi idrici e nelle falde acquifere, destando preoccupazione a livello globale per la sua persistenza e presenza nell'ambiente. Secondo le conoscenze attuali, è di gran lunga la sostanza chimica artificiale più diffusa nelle acque sotterranee in Europa.
Nel territorio lombardo, le prime rilevazioni effettuate dai gestori del servizio idrico hanno evidenziato porzioni di territorio in cui i valori di TFA in falda superano ampiamente il nuovo limite normativo, raggiungendo in alcuni casi concentrazioni molto elevate.
In assenza di studi consolidati che attestino l'effettiva pericolosità della molecola per la salute umana, diviene fondamentale intervenire per individuare le fonti ed impedirne un'ulteriore diffusione in ambiente.
Gli studi condotti da ARPA Lombardia hanno evidenziato come i processi di dispersione e diluizione del TFA in ambiente rendano complesso l'intero fenomeno di contaminazione in atto.
È infatti noto che la presenza di TFA deriva da varie fonti, tra cui processi ed emissioni industriali (es. aziende farmaceutiche), prodotti refrigeranti e gas propellenti, prodotti fitosanitari e veterinari, impianti di depurazione delle acque di scarico; il TFA si forma anche come prodotto di degradazione di PFAS contenenti almeno un gruppo trifluorometilico (CF3).

Gli approfondimenti effettuati dall'Agenzia hanno evidenziato un'importante correlazione tra le pratiche agricole e la dispersione in ambiente di TFA.
Ad oggi, infatti, i sistemi di trattamento degli impianti di depurazione non sono in grado di ridurre le concentrazioni di TFA presenti nei reflui provenienti da alcune realtà produttive; pertanto, si determina una veicolazione del contaminante attraverso il fitto reticolo di corpi idrici superficiali utilizzati per l'irrigazione, con successiva infiltrazione fino alla falda acquifera.
L'impiego di prodotti fitosanitari contenenti TFA o da cui lo stesso deriva per degradazione degli stessi contribuisce ulteriormente all'accumulo del contaminante negli acquiferi sottesi alle aree agricole.
Si ritiene pertanto necessario approfondire i meccanismi di dispersione idrodinamica del TFA in ambiente, al fine di conoscere gli aspetti che possono impattare anche la filiera agroalimentare.

Keywords: PFAS, falda, irrigazione, potabilità, fitosanitari

Contatti: m.torretta@arpalombardia.it , b.zonca@arpalombardia.it , g.azzali@arpalombardia.it

Analisi dei flussi delle terre e rocce da scavo in Lombardia

Stefania Ughini[1], Pietro Bazzicalupo [1], Debora Morano[1], Francesca Zanini[1], Madela Torretta[1]

[1] Direzione Tecnica Controlli e Prevenzione del Rischio Antropico, Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia,

Abstract

Il territorio lombardo, nonostante la significativa eterogeneità, presenta un elevato grado di urbanizzazione e industrializzazione, con una conseguente forte pressione edilizia. In questo contesto, la gestione come sottoprodotti delle terre e rocce da scavo (TRS) originate dai numerosi cantieri, in conformità alla normativa vigente (DPR 120/2017), assume un ruolo cruciale all'interno dell'economia circolare.

Nel presente contributo sono stati organizzati e analizzati, in maniera sistematica, i dati relativi ai flussi delle TRS prodotte in Lombardia nell'anno 2025, con riferimento esclusivo ai cantieri disciplinati dall'art. 21 del DPR 120/2017 (piccoli cantieri con produzione di terre inferiore a 6.000 m3 o grandi cantieri non soggetti a VIA-AIA). Sono stati calcolati i quantitativi complessivi di TRS prodotti nel territorio lombardo e valutati i siti di utilizzo, sia in relazione alla destinazione geografica (entro o fuori provincia/regione), che alla tipologia di utilizzo, distinguendo in particolare tra recupero ambientale e utilizzo in cicli produttivi.

L'analisi si basa sui dati delle Dichiarazioni di Utilizzo pervenute nell'anno 2025 che sono stati sistematizzati in un applicativo in via di sviluppo; non sono stati utilizzati i dati delle relative Dichiarazioni di Avvenuto Utilizzo (DAU), ancora parziali.

A livello regionale, nel corso del 2025 sono state registrate oltre 4000 Dichiarazioni di Utilizzo, corrispondenti a un quantitativo di oltre 7 milioni di metri cubi di TRS prodotte, con i maggiori quantitativi attribuibili alle province di Milano, Bergamo e Brescia. Dall'analisi emerge che, nella maggior parte della regione, oltre il 60% dei materiali è stato destinato a interventi di recupero ambientale, mentre l'utilizzo all'interno di cicli produttivi è significativo nelle province di Lecco, Brescia e Mantova, benché il numero maggiore di

impianti sia collocato nelle province di Brescia e Milano. Per quanto riguarda la destinazione geografica, si evidenzia come la maggior parte delle terre venga riutilizzata entro il territorio provinciale, con alcune eccezioni.
A questi dati si affiancano quelli relativi alle attività di controllo svolte da ARPA Lombardia sulle dichiarazioni pervenute. I controlli sono svolti territorialmente su base provinciale e articolati su tre livelli di approfondimento: una verifica di completezza formale della documentazione, effettuata sulla totalità delle dichiarazioni in ingresso (oltre 4.000 per l'anno 2025); un controllo documentale approfondito, effettuato su una parte delle dichiarazioni pervenute e infine, i controlli in campo presso alcuni siti di produzione, deposito intermedio o destinazione, selezionati sulla base di quanto emerso dai precedenti approfondimenti. I controlli effettuati nel 2025 hanno portato all'emissione di comunicazioni di notizie di reato, su parte delle quali è stato possibile applicare la procedura estintiva ex art. 318 bis. Le irregolarità riscontrate sono riconducibili alla mancanza sia di requisiti ambientali che di tipo formale.

Keywords: terre e rocce da scavo; DPR 120/2017; Lombardia; dichiarazione di utilizzo; controlli

Contatti: s.ughini@arpalombardia.it

Utilizzo della modellazione idrodinamica di trasporto solido a supporto della corretta gestione dei sedimenti della regione Calabria

Vera Corbelli[1], Massimo Coccato[2], Luca Dutto[3], Marilena Segato[2],Raffaele Velardo[1],Giovanna De Chiara[1], Stefano Pagano[1]

[1] Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale
[2] O2H engineering srls
[3] Hydrodata spa

Abstract

Tra il 18 e il 21 gennaio 2026 il versante ionico della regione Calabria, insieme a settori della Sardegna e della Sicilia orientale, è stato investito dal ciclone mediterraneo "Harry", caratterizzato da intensi venti di scirocco, precipitazioni persistenti con cumulate superiori ai 100 mm nelle 24 ore e condizioni meteomarine severe, con onde alte oltre gli 8 m. Nella regione Calabria l'evento ha prodotto diffuse criticità: erosione e distruzione di arenili, infrastrutture e sottoservizi lungo il litorale compreso tra Melito di Porto Salvo e Cirò Marina, ingrossamento dei principali corsi d'acqua e fiumare, fenomeni franosi nelle aree interne. A seguito di tale evento, le Ordinanze del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 1180 del 30 gennaio 2026 e n. 1181 del 17 febbraio 2026 hanno attribuito alle Autorità di Bacino Distrettuali, in raccordo con le Regioni, la redazione di Piani preliminari speditivi di compensazione dei sedimenti.
In tale quadro, il presente contributo illustra le attività condotte dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale per la predisposizione del Piano della Compensazione dei Sedimenti (PCS), con particolare riferimento al percorso tecnico-operativo-gestionale dallo stesso definito, strutturato e coordinato. Il percorso, sviluppato in continuità con il Piano di Gestione dei Sedimenti, ha consentito di ricondurre le esigenze emerse nella fase post-evento a un quadro conoscitivo, valutativo e operativo unitario, assicurando il raccordo tra pianificazione di bacino, gestione del rischio idrogeologico, dinamiche costiere e tutela ambientale. L'attività ha trovato formale conclusione nell'approvazione del Piano con Decreto del Segretario Generale. In tale configurazione, l'Autorità di Bacino Distrettuale ha ritenuto

opportuno avvalersi del supporto dell'RTI Hydrodata S.p.A. – O2H Engineering s.r.l.s. – DHI S.r.l. – TEA Engineering S.r.l. – prof. ing. Alberto Ferruccio Piccinni– dott. agr. Carmine Lupia, già affidatario del servizio relativo al Piano di Gestione dei Sedimenti.

Il supporto richiesto ha riguardato lo svolgimento di indagini di campo e di laboratorio, nonché lo sviluppo di studi specialistici funzionali alla redazione del PCS. Tali attività sono state ricondotte all'interno del quadro metodologico e pianificatorio predisposto dall'Autorità, consentendo di integrare dati, rilievi, elaborazioni cartografiche e verifiche sito-specifiche in un sistema coerente di supporto alle valutazioni e alle successive decisioni operative. Tale impostazione ha ottimizzato tempi e risorse, garantendo il rispetto delle stringenti scadenze fissate dalle Ordinanze per la predisposizione del PCS.

Il lavoro qui presentato illustra le attività di modellazione morfodinamica finalizzate all'analisi dell'evoluzione dell'alveo, dei fenomeni di trasporto solido e delle dinamiche sedimentarie dei corsi d'acqua, evidenziando il contributo della stessa quale strumento di verifica delle scelte di Piano.

L'integrazione della suscettibilità morfosedimentaria con i fattori di compatibilità ambientale, territoriale e infrastrutturale ha condotto alla macrozonazione delle aree maggiormente idonee al prelievo. Le simulazioni morfodinamiche hanno restituito un quadro coerente dei processi di erosione e deposito, in buon accordo con la classificazione delle aree di deposito ottenuta a scala regionale. La convergenza tra macrozonazione e modellazione conferma la solidità dell'impostazione adottata e rafforza la tracciabilità delle scelte di Piano. Il Piano della Compensazione dei Sedimenti dimostra, infatti, come un approccio integrato e multiscalare — che coniuga analisi geomorfologica del bacino, valutazione delle compatibilità territoriali e modellazione numerica di dettaglio — consenta di definire in tempi rapidi una pianificazione basata su elementi conoscitivi solidi e replicabili. La modellazione numerica rappresenta in questo contesto uno strumento imprescindibile, in quanto permette di quantificare le dinamiche del trasporto solido, simulare scenari di intervento e valutarne gli effetti a scala di bacino e di tratto fluviale, riducendo le incertezze alla base delle scelte progettuali. Il PCS si configura, quindi, come strumento anticipatorio e dinamico, coerente con il più ampio Piano di Gestione dei Sedimenti, rispetto al quale le azioni di compensazione acquistano continuità, efficacia e sostenibilità nel medio-lungo periodo.

Contatti: segreteria@distrettoappenninomeridionale, info@o2h.it, luca.dutto@hydrodata.it

Gestione delle emergenze ambientali: strategie d'intervento nelle aree protette

Bruno Bandiera[1], Ludovico Tarallo[1], Mirko Congiu[1], Gianluca Modesti[1]

[1] Servizio dei Supporti – Comando Logistico Aeronautica Militare

Abstract

Le attività da porre in essere in seguito ad un incidente o a un qualsiasi evento potenzialmente contaminate, risultano ben descritte e consolidate nel d.lgs.152/06 (artt.242 e seguenti), nonché dalle linee guida ed i manuali emanati da ISPRA (ex-APAT). Esistono tuttavia scenari operativi che risultano maggiormente complessi, allorquando il sito di interesse risulta ricadere tra le aree ambientalmente protette o comunque soggette a vincoli in tal senso. In tale alveo vanno ricomprese, così come da L.394/91, le aree della Rete Natura 2000 (Siti di Interesse Comunitario, Zone Speciali di Conservazione e Zone di Protezione Speciale, che vanno a tutelare habitat e specie di pregio a rischio), Parchi Nazionali, Parchi naturali Regionali o Interregionali, le riserve naturali, le zone umide di interesse, le aree di reperimento marine e terrestri e le altre aree naturali protette (oasi, parchi suburbani, ecc.).

Lo svolgimento delle operazioni di soccorso, attuazione delle misure di precauzione, rimozione e ripristino a seguito di una potenziale contaminazione in porzioni di territorio che sono ambientalmente tutelate necessita di particolari accorgimenti atti a proteggere la biodiversità presente e segue le comunicazioni e le necessarie interlocuzioni con i soggetti interessati alla gestione di dette aree (es. Ente parco, Consorzio di bonifica, Carabinieri o Forestale del Parco, ecc.) previste dalle norme vigenti.

Obbiettivo della presente illustrazione è di condividere due esperienze che hanno riguardato incidenti volo che hanno interessato due aree protette del Lazio in seguito a eventi del settembre 2017 a Terracina e del più recente ottobre 2025 a Latina (Parco del Circeo).

Le procedure attuate così come consolidate a partire dal 2017 e oggi previste in ambito Forza Armata, hanno consentito un crescente efficientamento delle operazioni di intervento a supporto dei Reparti interessati in caso di incidente di volo.

Inoltre, il coinvolgimento di personale con maturata esperienza nel settore e operante nella Task Force, proveniente dalla componente logistico-operativa hanno consentito rapidità anche nell'esecuzione delle indagini.
La collaborazione con le istituzioni che gestiscono le aree protette ha assicurato colloquio costante, trasparenza e la riduzione al minimo dei tempi necessari per definire le modalità di ingresso e intervento nelle aree tutelate, riducendo sensibilmente i connessi rischi di diffusione di potenziali contaminazioni salvaguardando il bene primario delle risorse naturali.

Contatti: gianluca.modesti@aeronautica.difesa.it

La protezione delle infrastrutture dall'erosione e dal dissesto idrogeologico superficiale con tecniche NBS

***Marcello Zarotti1, Claudio Zarotti*[1],**

[1] Prati Armati srl

Abstract

Studi, sperimentazioni, centinaia di cantieri in tutto il mondo realizzati nelle più differenti condizioni pedoclimatiche, hanno dimostrato che i PRATI ARMATI®, costituiti da sementi di particolari specie erbacee a radicazione profonda e resistente, consentono di bloccare l'erosione ed il dissesto idrogeologico superficiale, con positive ripercussioni anche in profondità.

Le tecniche antierosive attualmente disponibili sul mercato sono datate e risalgono agli inizi del secolo scorso e prevedono l'impiego di manufatti in grigio o sintetici quali geocelle o geostuoie. Gli alberi, gli arbusti e i prati tradizionali sono invece da sempre utilizzati dall'uomo per tentare di bloccare l'erosione e i piccoli smottamenti dei terreni, con alcuni limiti: gli alberi hanno radici di grande diametro che fanno rigonfiare il terreno, appesantiscono i versanti, possono innescare momenti destabilizzanti nel suolo (effetto vela); le piante erbacee tradizionali hanno apparati radicali modesti nello sviluppo, con bassa resistenza meccanica e non riescono a vegetare e svilupparsi su litotipi sterili (come lo smarino) e inquinati da metalli pesanti e/o idrocarburi.

Da sempre il settore del controllo dell'erosione è un settore a bassa tecnologia e innovazione. In tutte le branche del sapere si verificano peraltro innovazioni che rendono obsolete le vecchie tecniche. PRATI ARMATI srl ha introdotto un elevato grado di conoscenza interdisciplinare, correlando varie branche del sapere spesso fra loro in contrasto: botanica, agronomia, ingegneria, geologia, energetica, architettura del paesaggio, concentrando l'attenzione solo sulle specie erbacee a radicazione profonda e resistente (oltre 200 MPa), finora poco note, studiate e utilizzate, che presentano indubbi vantaggi geotecnici rispetto a tutte le altre tecniche e sono in grado di resistere

anche a eventi meteorologici molto intensi e non prevedibili, costituendo una vera e propria opera geotecnica. L'università della Tuscia in collaborazione con l'università di Perugia hanno verificato,

su una collina sperimentale attrezzata e strumentata, la capacità di evitare qualunque erosione e rallentare il deflusso dell'acqua sottoponendo le parcelle a carichi di irrorazione di acqua di 2.200 litri/m2/giorno. L'erosione misurata è diminuita di oltre 1000 volte (cfr Rai 1 – Linea Verde: https://www.pratiarmati.it/articoli-scientifici/i-prati-armati-hanno-resistito-a-2-200-litri-m2-in-24-ore- nessuna-erosione/). Da qui l'idea di realizzare direttamente sul tal quale anche le opere di captazione e regimazione delle acque superficiali e meteoriche, eliminando completamente l'uso di materiali e manufatti estranei al litotipo di cui è costituito il versante, quali canalette in cemento e ferro, plastica, briglie, embrici, opere in grigio in generale risparmiando: tempo, energia, inquinamento, rischi, etc.

I PRATI ARMATI®: tecnologia innovativa e naturale contro l'erosione ed il dissesto idrogeologico superficiale

La soluzione con i PRATI ARMATI® si è dimostrata ottimale dal punto di vista tecnico, economico, ambientale, di realizzazione, per l'assenza di manutenzione e con un consumo energetico e di inquinamento per l'installazione fino a cento volte inferiore rispetto a tecniche tradizionali. Tali specie erbacee, grazie alla loro fisiologia e caratteristiche, incrementano la resistenza al taglio dei terreni, proteggono i versanti da forti precipitazioni, traspirano ingenti quantità di acqua diminuendo la pressione interstiziale e migliorano i principali parametri geomeccanici dei terreni.

Con i PRATI ARMATI® è anche possibile realizzare innovative opere di captazione e regimazione delle acque superficiali e meteoriche direttamente sul tal quale. Inoltre, è stato dimostrato come, con questa tecnologia, sia possibile omogenizzare e visualizzare, soprattutto negli strati superficiali e subsuperficiali, il differente contenuto di acqua dei versanti. Questa soluzione consente di allinearsi – mantenendo intatti i dettami delle NTC (Norme Tecniche per le Costruzioni) e dell'Eurocodice 7 e 8 a importanti impegni e obiettivi globali e nazionali, quali la Convenzione sulla Diversità Biologica, la Strategia dell'UE sulla biodiversità per il 2030, gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite (SDG), i dettami del PNRR, del regolamento UE 2020/852, del principio DNSH e della normativa Nature Restoration Law.

Nelle figure sopra riportate si illustrano due applicazioni dei PRATI ARMATI®: in Fig. 1 il continuo dissesto sul cantiere di RFI in Piemonte non consentiva l'elettrificazione della linea ferroviaria Alba-Bra e il

passaggio in sicurezza dei treni; in Fig. 2 il forte dissesto idrogeologico sul cantiere Tecne-Autostrade per l'Italia ne impediva l'apertura in sicurezza a causa sia del materiale eroso che continuava ad invadere la carreggiata, sia per il continuo cedimento delle opere di regimazione idraulica realizzate con massi cementati. In entrambi i casi, con l'applicazione dei PRATI ARMATI®, sono state definitivamente risolte tutte le problematiche non risolvibili con tecniche e inerbimenti tradizionali: la funzionalità e sicurezza delle opere è stata ripristinata, oltretutto con totale assenza di manutenzione e fortissimo abbattimento delle emissioni di CO2, CO, NOx, SOx, particolato.

Contatti: info@pratiarmati.it

Test di Lisciviazione dei PFAS e valutazione del percorso di lisciviazione e trasporto in falda per derivare le Concentrazioni Soglia di Rischio nel Suolo tramite Modelli Analitici

Francesca Motta[1], Stefania Verdelocco [1], Giorgio Volpi [1]

[1] AECOM Italia

Abstract

È stato condotto uno studio per quantificare la lisciviazione delle sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS) dalla zona insatura verso la falda acquifera. L'approccio si basa sull'applicazione del Leaching Environmental Assessment Framework (LEAF), sviluppato dall'Agenzia per la Protezione Ambientale degli Stati Uniti (EPA). L'obiettivo di questo lavoro era la definizione di una metodologia per derivare livelli di bonifica del suolo sito-specifici al fine di proteggere la falda e raggiungere lo standard di qualità delle acque sotterranee a valle del sito. Lo standard di qualità delle acque sotterranee è stato fissato pari a 50 ng/L di Quantità Tossica Equivalente (TEQ) sulla base dei Fattori di Potenza Relativa (RPF) come definiti nel Rapporto RIVM 2018-0070, Istituto Nazionale per la Sanità Pubblica e l'Ambiente, Paesi Bassi. Metodologia Le indagini sul suolo sono state eseguite in un sito dove è stata rilevata una significativa contaminazione da PFAS nella falda. Le aree sorgente impattate dai PFAS sono state individuate in base agli utilizzi storici del sito e confermate da indagini sul suolo e studi di monitoraggio delle acque sotterranee. L'indagine ha incluso la raccolta di campioni di suolo insaturo sottoposti a test di lisciviazione e la determinazione di parametri specifici del sito (ad es. pH, contenuto di carbonio organico, distribuzione granulometrica), test di colonna di percolazione in laboratorio (metodo EPA 1314) e test di lisciviazione in equilibrio (metodo EPA 1316) su tre aree sorgente. I test di lisciviazione sono stati condotti anche con acqua (L/S = 2) su tutto il sito. L'analisi dei risultati dei test di lisciviazione ha permesso di identificare il costituente più significativo della miscela (cioè PFOS). Le concentrazioni nel percolato sono state utilizzate in un modello di trasporto analitico dalla zona insatura alla falda per calcolare le

concentrazioni attese di PFAS nelle acque sotterranee presso i piezometri situati nelle aree sorgente. Le concentrazioni modellate sono state confrontate con quelle misurate nei piezometri delle aree sorgente. Il percorso di migrazione in falda è stato stimato con il modello analitico di trasporto Domenico fino al Punto di Conformità (POC), situato al confine a valle del sito. La concentrazione di PFOS modellata al POC è stata validata tramite l'utilizzo di un modello numerico agli elementi finiti (codice Feeflow®) calibrato nel 2021 per l'area sorgente più rappresentativa e confrontata con le concentrazioni calcolate con il modello numerico. Dato il buon accordo tra le concentrazioni stimate dai modelli analitico e numerico, le concentrazioni target di PFAS nell'area sorgente sia nel lisciviato che nel suolo (sostanza secca) posso essere retrocalcolate e confrontate con le concentrazioni rilevate nel percolato, per l'identificazione del suolo impattato che potrebbe essere oggetto di bonifica. Sulla base delle concentrazioni sperimentali nel lisciviato, delle equazioni di ripartizione, dei parametri geologici specifici del sito e delle proprietà chimiche del PFOS raccolte da fonti internazionali, e nonostante le molte assunzioni conservative e le incertezze insite nel modello analitico, le concentrazioni modellate nelle acque sotterranee al POC hanno mostrato un'elevata correlazione con le concentrazioni medie di PFAS in falda. Il modello analitico corrisponde anche alla concentrazione prevista dal modello numerico di PFOS al POC. La metodologia descritta, basata su test di lisciviazione eseguiti secondo i metodi EPA 1314 e 1316, può essere utilizzata per definire concentrazioni target nel suolo al fine di raggiungere concentrazioni accettabili nelle acque sotterranee al confine a valle del sito.

Keywords: PFAS, Test di cessione

Dalla “Casa Green” alla rigenerazione attiva del patrimonio edilizio: economia circolare, decarbonizzazione e bene collettivo

Paola Lassandro

ITC-CNR Via Lembo, 38/B - 70124 Bari (BA) – Italia

Abstract

La revisione della Energy Performance of Buildings Directive (EPBD IV) rappresenta uno degli strumenti più avanzati del Green Deal europeo per accompagnare la transizione ecologica del patrimonio edilizio e promuovere un nuovo modello di *deep renovation*.

Il settore delle costruzioni è responsabile di una quota significativa dei consumi energetici, delle emissioni climalteranti e della produzione di rifiuti. Pertanto, l’EPBD IV promuove la decarbonizzazione del patrimonio edilizio mediante l’introduzione degli *Zero Emission Buildings* come nuovo standard per le nuove costruzioni, la diffusione delle energie rinnovabili attraverso il *solar deployment*, il progressivo abbandono dei combustibili fossili e l’adozione di criteri di sostenibilità estesi all’intero ciclo di vita dell’edificio. Un elemento innovativo è rappresentato dall’introduzione del Life-Cycle Global Warming Potential (GWP), indicatore che misura le emissioni di gas serra associate alle fasi di produzione dei materiali, costruzione, utilizzo, manutenzione, demolizione, recupero e smaltimento (*embodied carbon*). Dal 2028 il GWP dovrà essere calcolato e riportato negli Attestati di Prestazione Energetica per i nuovi edifici superiori a 1.000 m² e, dal 2030, per tutte le nuove costruzioni, secondo il quadro metodologico comune definito dall’Unione Europea.

La direttiva introduce inoltre strumenti di supporto alla transizione quali i *Renovation Passports*, che definiscono percorsi progressivi di deep renovation, e i *One-Stop-Shops*, strutture di assistenza tecnica, amministrativa e finanziaria finalizzate a ridurre le barriere informative e favorire l’uso di soluzioni innovative e l'accesso agli investimenti. Tali strumenti risultano essenziali per contrastare la povertà energetica e mobilitare risorse pubbliche e private verso obiettivi di sostenibilità.

L’attuazione della direttiva sta presentando tuttavia significative criticità. In Europa permangono differenze tra gli Stati membri nella disponibilità di banche dati ambientali, nelle metodologie di valutazione del carbonio incorporato e nella diffusione di competenze specialistiche necessarie per il calcolo del GWP. *Renovation Passports* e *One-Stop-Shops* si trovano in molti casi in una fase ancora sperimentale. In Italia, le sfide risultano amplificate dalla vetustà del patrimonio edilizio, dall’elevata presenza di edifici storici e condomìni, dalla frammentazione della proprietà e dall’instabilità degli strumenti incentivanti. Questi fattori possono rallentare il raggiungimento degli obiettivi europei, ma evidenziano al contempo la necessità di nuove forme di governance, innovazione e cooperazione tra attori pubblici e privati.

In questa prospettiva, l’EPBD IV non rappresenta soltanto una normativa energetica, ma una vera strategia di rigenerazione attiva del patrimonio costruito. La direttiva introduce infatti un approccio integrato che collega decarbonizzazione, economia circolare, innovazione tecnologica, inclusione sociale e valorizzazione del capitale territoriale. La riqualificazione diventa un processo programmato e sistemico capace di ridurre le emissioni lungo l'intero ciclo di vita, contrastare la povertà energetica, migliorare la qualità dell'abitare, stimolare l'innovazione delle filiere produttive e incrementare il valore del patrimonio esistente nel percorso verso città più resilienti, inclusive e climaticamente neutrali

*Keywords: Deep renovation, Zero Emission Building, Life-Cycle Global Warming Potentia*l, *Rigenerazione attiva, decarbonizzazione*

Contatti: paola.lassandro@itc.cnr.it

Valorizzazione di matrici residue per l'abbattimento di fitofarmaci in corpi idrici

Teresa Verriello [1] ***,Annamaria Ragonese*** [2,3] ***, Carmine Massarelli*** [3]

[1]*Freelance Chemist,*
[2]*Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, 70125 Bari, Italia,*
[3]*Unità di Ricerca Ambiente e Territorio, Istituto per le Tecnologie delle Costruzioni, Consiglio Nazionale delle Ricerche (ITC-CNR), 70124 Bari, Italia*

Abstract
In un contesto che richiede autonomia strategica e tutela degli ecosistemi, la bioeconomia circolare rappresenta un asset chiave per sostituire materiali fossili e rigenerare i territori. In linea con il Piano di implementazione 2025-2027 della Strategia italiana per la Bioeconomia, la trasformazione di scarti biominerali e biomasse residue della Blue Economy e della filiera agroalimentare in biomateriali funzionali ad alta efficienza per la rimozione di prodotti fitosanitari dai corpi idrici consente di valorizzare risorse inutilizzate, rispondendo alle priorità europee di riduzione dell'inquinamento idrico e del suolo attraverso catene del valore integrate, a ciclo chiuso e completamente green.
In questo scenario si colloca lo sviluppo di bio-adsorbenti ibridi avanzati basati su Surface-Modified Zeolites (SMZ). Le zeoliti, naturali o sintetizzate da sottoprodotti industriali, possiedono un framework alluminosilicatico tridimensionale microporoso con elevata area superficiale e capacità di scambio cationico, ideale per il sequestro di metalli pesanti. Tuttavia, la loro natura idrofila e la carica superficiale negativa limitano l'interazione con contaminanti organici idrofobi o anionici, tra cui la maggior parte dei fitofarmaci. La funzionalizzazione superficiale con molecole anfifiliche o chelanti estratte da matrici di scarto permette di invertire il potenziale zeta e instaurare interazioni idrofobiche o di coordinazione mirate.
La ricerca impiega chitosano, ricco di gruppi amminici e derivato dai carapaci dei crostacei, acido fitico, polifosfato organico ottenuto dai cruscami cerealicoli, e idrossiapatite, bioceramica calcio-fosfatica ricavata dal riciclo termochimico dei gusci d'uovo. Accanto a questi

modificatori, vengono valutati ulteriori scarti della Blue Economy e dell'agroalimentare, come gusci di mitili, alghe e residui organici. Le biomolecole selezionate agiscono come agenti coordinanti e tettoni supramolecolari, capaci di chelare i gruppi funzionali dei fitofarmaci tramite interazioni elettrostatiche, legami idrogeno e complessazione. Il materiale ibrido acquisisce così una duplice selettività: l'interfaccia organica sequestra i contaminanti organici, mentre il core zeolitico mantiene la capacità di scambio ionico per la rimozione simultanea dei metalli pesanti.
L'impiego di zeoliti sintetizzate da fly ash e di biomodificanti ottenuti da scarti massivi massimizza la percentuale di riciclo, rendendo questi sistemi altamente promettenti per la circular economy. Per garantirne la trasferibilità industriale, sono necessari test a TRL crescente e attività di up-scaling con prove di adsorbimento e cinetica chimica in matrici acquose reali. A tali sperimentazioni si affiancano modelli predittivi basati su Machine Learning, capaci di simulare la saturazione dei bio-adsorbenti al variare delle condizioni ambientali e chimico-fisiche, superando la "valle della morte" tecnologica e dimostrando la fattibilità di processi in cui gli scarti diventano risorse primarie per la rigenerazione delle acque.
Le prospettive future includono l'integrazione di proprietà fotocatalitiche, Fenton-like o enzimatiche nei bio-adsorbenti, trasformandoli in dispositivi auto-rigeneranti capaci di degradare i pesticidi in prodotti innocui, evitando la generazione di rifiuti pericolosi e chiudendo realmente il ciclo.

Keywords: Bioeconomia Circolare, Biomateriali Residui, Sintesi e Caratterizzazione Spettroscopica, Prodotti Fitosanitari, Machine Learning

Contatti:ter.verriello@gmail.com,a.ragonese1@phd.uniba.it,carmine.massarelli@cnr.it

Costruire con il costruito. Materiali di riporto, urban mining e processi decisionali per la rigenerazione dell'ambiente costruito

***Massimo Clemente*[1], *Corrado Castagnaro*[2], *Benedetta Ettorre*[3], *Eleonora Giovene di Girasole*[4]**

[1] *Istituto per le Tecnologie della Costruzione – Consiglio Nazionale delle Ricerche (speaker),* [2,3,4]*Istituto per le Tecnologie della Costruzione – Consiglio Nazionale delle Ricerche*

Abstract

Secondo le stime delle Nazioni Unite, entro il 2050 circa due terzi della popolazione mondiale vivranno in contesti urbani, con una conseguente crescita della domanda di risorse [1]. All'interno delle città si concentra la maggior parte dei consumi di materia ed energia e, al tempo stesso, si accumulano ingenti quantità di materiali incorporati negli edifici, nelle infrastrutture e nei suoli antropizzati.
In questo scenario si inserisce il paradigma dell'*urban mining*, che interpreta l'ambiente costruito come uno stock antropogenico di risorse da cui recuperare Materie Prime Seconde attraverso processi di trasformazione urbana [2][3]. L'*urban mining* costituisce una strategia operativa per governare il metabolismo urbano, riducendo il ricorso a risorse primarie e trasformando i flussi di materia generati da demolizioni, bonifiche e interventi di riqualificazione in nuove risorse per la città. In particolare, tali attività possono essere interpretate come occasioni per attivare nuovi cicli della materia, contribuendo alla riduzione dell'estrazione di risorse naturali e dell'impatto ambientale del settore delle costruzioni. In quest'ottica, la rigenerazione urbana può essere intesa come una strategia circolare quando prevede lo sviluppo di processi sostenibili di trattamento, recupero, riutilizzo e riciclo dei materiali [4][5].
Il contributo propone una riflessione sul ruolo dei materiali di riporto all'interno di tale quadro interpretativo, sostenendo che la loro valorizzazione non dipenda esclusivamente dalle caratteristiche fisiche o ambientali del materiale, bensì dalla capacità di costruire processi di conoscenza in grado di supportare le decisioni progettuali.

Caratterizzazione, monitoraggio e certificazione costituiscono l'infrastruttura cognitiva necessaria per scegliere tra riutilizzo, recupero, confinamento o smaltimento; la digitalizzazione dello stock costruito consente invece di sviluppare inventari dinamici della materia, utili lungo l'intero ciclo di vita degli elementi. La conoscenza diventa così un dispositivo abilitante, capace di trasformare un materiale potenzialmente critico in una risorsa valutabile e reintroducibile nei cicli dell'economia circolare.

Il caso della Colmata di Bagnoli rappresenta un esempio emblematico dell'evoluzione del paradigma gestionale dei materiali di riporto. Realizzata negli anni Sessanta mediante il conferimento di scorie d'altoforno e materiali di risulta dell'ex Ilva, la colmata è stata a lungo considerata un problema da rimuovere. Le strategie più recenti, orientate alla messa in sicurezza permanente e al riutilizzo dell'area nell'ambito del programma di rigenerazione urbana e degli interventi infrastrutturali previsti per l'America's Cup 2027, testimoniano invece il passaggio verso una logica di gestione della materia, nella quale il valore dei materiali è valutato all'interno di un più ampio processo di trasformazione territoriale.

In questa prospettiva, i materiali di riporto cessano di essere una mera questione ambientale o normativa e diventano una componente delle politiche di rigenerazione urbana. Il principio del *costruire con il costruito* assume così il significato di una strategia orientata alla valorizzazione dello stock esistente, nella quale conoscenza, innovazione tecnologica e qualità delle decisioni costituiscono gli elementi fondamentali per promuovere città più resilienti, circolari e sostenibili.

Bibliografia

[1] Department of Economic and Social Affairs, United Nations. *World Population Prospects 2022: Summary of Results*; United Nations: New York, NY, USA, 2022; pp. 1–24. ISBN 978-92-1-148373-4.

[2] Rigillo, M. (2023). *Il design di processi circolari per la gestione dei rifiuti da demolizione nell'intervento di rigenerazione urbana*. In M. Rigillo, E. Attaianese, G. Galluccio, & S. Russo Ermolli (Eds.), Strategie Tailor-Made per il governo dei processi complessi Approcci digitali per interventi sostenibili di trasformazione urbana, CLEAN ed., Napoli, pp. 194-205.

[3] Cossu, R., Salier, V., Bisinella, V. (2012). *Introduction: The Urban Mining Concept*. in Cossu, R., Salier, V., Bisinella, V. (eds), Urban Mining: A global cycle approach to resource recovery from solid waste, CISA ed., Padova, pp.13-20.
[4] Ness, D. A., Xing, K. (2017). *Toward a Resource-Efficient Built Environment: A Literature Review and Conceptual Model*. Journal of Industrial Ecology, 21(3), 572–592. https://doi.org/10.1111/JIEC.12586;ISSUE:ISSUE:DOI
[5] Luciano, A., Altamura, P., Baiani, S., & Cutaia, L. (2023). *The building stock as an urban mine: The case of the circular regeneration of disused buildings*. Sustainable Chemistry and Pharmacy, 33. Elsevier. https://doi.org/10.1016/J.SCP.2023.101104.

Keywords: Ambiente costruito, Urban mining, Rigenerazione urbana, Economia circolare, Processi decisionali

Contatti: clemente@itc.cnr.it*,* castagnaro@itc.cnr.it*,* *ettorre@itc.cnr.it*, *giovanedigirasole@itc.cnr.it*

La rigenerazione degli spazi urbani come obbligo costituzionale di riduzione dei divari territoriali

Cecilia Pannacciulli [1]

[1] Università degli Studi di Bari Aldo Moro

Abstract

Con la riforma del Titolo V della Costituzione scompare dal dettato dell'art. 117 Cost. la materia "urbanistica", sostituita con quella più ampia (e anche più complessa) del "governo del territorio", anch'essa affidata alla competenza legislativa concorrente di Stato e Regioni (art. 117, co. 3, Cost.). Progressivamente, anche grazie a significativi interventi della Corte costituzionale (cfr. sentt. nn. 303, 307 e 363/2003; 196/2004; 237/2009; 21 e 278/2010; 105/2017), si è affermata una nozione sempre più estesa di "urbanistica", che supera la tradizionale disciplina dell'uso del suolo per rispondere all'esigenza di una considerazione integrale del territorio e di una più ampia disciplina delle sue trasformazioni e delle diseguaglianze che spesso ne derivano. La dimensione territoriale di queste ultime trova nello spazio urbano un'espressione alquanto problematica: la città, che dovrebbe costituire il luogo di più agevole e scontata affermazione dei diritti, spesso non è in grado di garantirne l'effettività. Ciò significa ripensare la città a partire dalle periferie e, in ogni caso, dai luoghi ove la marginalità urbana si traduce in un vero e proprio divario di cittadinanza, posto che il grado di realizzazione dei diritti dei cittadini, strettamente connesso all'attuazione dei principi sanciti dagli artt. 2 e 3 Cost. – non può prescindere dalle condizioni del contesto in cui si esercitano. In questa prospettiva assume un ruolo centrale il principio di solidarietà territoriale, fondato sugli artt. 5 e 119 Cost., che orienta la distribuzione delle risorse per incidere sulle condizioni strutturali del divario e promuovere la coesione sociale. Gli stessi LEP, previsti dall'art. 117, co. 2, lett. m), Cost., rappresentano una soglia minima di tutela, ma non esauriscono l'obiettivo di coesione. Da ciò deriva che i dati empirici sui divari territoriali assurgono a indicatori qualificati del grado di attuazione della Costituzione. Il 'governo del

territorio' applicato allo spazio urbano significa, dunque, organizzare le periferie come spazi democratici di pluralismo nonché di rimozione delle diseguaglianze urbane attraverso processi di rigenerazione urbana, di amministrazione condivisa, di *smart city*, che integrano tecnologia, sostenibilità e partecipazione come leve per l'eguaglianza sostanziale. L'efficacia degli interventi dipende però dalla capacità istituzionale dei contesti: senza adeguate politiche i benefici rischiano di concentrarsi nei territori già dotati di risorse, e un'eccessiva attenzione al profilo digitale può disumanizzare la città, marginalizzando i cittadini, specie i più fragili (per età, condizione socio-economica, disabilità fisiche o cognitive). Le città intelligenti che non investono in coesione sociale rischiano di emarginare chi non rientra nel profilo del "cittadino digitale ideale", di aumentare il divario tra centro e periferie e, di conseguenza, la disuguaglianza nella fruizione dei servizi essenziali che hanno un impatto esiziale sulla qualità della vita. Lo stesso uso dei *big data* per la gestione della sicurezza urbana, comportando una pervasiva profilazione dei cittadini, solleva criticità etiche e di tutela della privacy, fino a favorire l'autocensura per sottrarsi ai pericoli della sorveglianza, con ciò rischiando isolamento, diffidenza e sospetto nelle relazioni sociali. Positive sono, invece, le più innovative tendenze dell'attuale urbanistica, sempre più configurabile come il diritto del riuso ovvero della "rigenerazione", che mira ad affrontare la complessità dello sviluppo urbano secondo un approccio "olistico" delle azioni da intraprendere al fine di garantire pari livello di efficienza e sostenibilità alle questioni ambientali, economiche e sociali che nascono nello spazio urbano. In tale prospettiva è, dunque, auspicabile che l'*urbanistica consensuale* (cfr., ad es., art. 201, *Codice dei contratti pubblici*) possa progressivamente preferirsi alla tradizionale *urbanistica per provvedimenti*, in quanto espressione della sussidiarietà orizzontale di cui all'art. 118, co. 4, Cost. e degli inderogabili doveri di solidarietà di cui all'art. 2 Cost., al fine di superare l'«equilibrio regressivo» cui l'art. 3, co. 2, Cost. impone di porre rimedio, anche attraverso il rafforzamento del legame tra istituzioni, comunità e territorio.

Keywords: divari territoriali; rigenerazione urbana, smart city; artt. 2, 3, co. 2, e 117 Cost.; governo del territorio; urbanistica consensuale

Contatti: *cecilia.pannacciulli@uniba.it*

Data Center: dalla potenza al consenso - Governare autorizzazioni, impatti e performance per infrastrutture digitali sostenibili e integrate nel territorio

Marco Lomuscio [1]

[1] Real Estate Senior Business Development & Sales PropTech Manager di RINA Prime.

Abstract

La crescita dell'intelligenza artificiale, del cloud e dei servizi digitali sta rendendo i data center infrastrutture sempre più strategiche per la competitività e lo sviluppo del Paese. La loro realizzazione richiede però di governare una combinazione particolarmente complessa di fattori: disponibilità energetica e connessione alla rete, scelta e trasformazione delle aree, iter autorizzativi, Valutazione di Impatto Ambientale, consumo di risorse, prestazioni ESG, continuità operativa e relazione con gli Enti e le comunità locali.

In questo scenario, la compliance non può più essere considerata un adempimento da verificare al termine del processo, ma deve diventare uno strumento di governo dell'intero ciclo di vita dell'infrastruttura: dalla selezione del sito alla progettazione, dal permitting alla costruzione, fino al commissioning e alla gestione operativa.

Lo speech approfondisce il ruolo di un partner tecnico indipendente e super partes, capace di affiancare sviluppatori, investitori e gestori attraverso valutazioni di fattibilità, due diligence tecniche e ambientali, supporto alle procedure di VIA e agli iter autorizzativi, verifica della progettazione, monitoraggio della costruzione, commissioning e controllo continuativo delle performance.

Dati, piattaforme digitali e intelligenza artificiale possono trasformare le informazioni tecniche, energetiche e ambientali in evidenze verificabili, utili a prevenire le criticità, rendere più solide le decisioni e instaurare un dialogo trasparente con le Amministrazioni pubbliche.

L'obiettivo è accompagnare lo sviluppo di data center efficienti, resilienti e sostenibili, capaci non soltanto di rispondere alle esigenze tecnologiche degli operatori, ma anche di generare fiducia e integrarsi responsabilmente nel territorio che li ospita.

Misura dell'umidità del suolo tramite Cosmic Rays Neutron Sensing per migliorare i sistemi di preallerta per frane e alluvioni

Luca Stevanato[1], Enrico Gazzola [1], Gianmarco Cracco [1], Stefano Gianessi [1], Barbara Biasuzzi [1] , Angelo Amicarelli [1]

[1] Finapp S.p.a.

Abstract

Il cambiamento climatico sta aggravando i rischi ambientali legati all'estremizzazione degli eventi meteorologici. Nubifragi, siccità prolungate e ondate di calore creano le condizioni per frane, alluvioni e incendi. In tutti questi fenomeni l'umidità del suolo è un fattore chiave, ma resta spesso trascurato per la scarsa disponibilità o affidabilità di questo dato.

La maggior parte dei sistemi di Early Warning si basa solo su dati meteorologici, o al più integra l'umidità del suolo da satellite o da modello. Eppure, la letteratura scientifica indica chiaramente il suo ruolo cruciale nell'instabilità dei pendii: riduce l'attrito e la resistenza al taglio, mentre aumenta il peso del suolo e la pressione nei pori. Anche nelle alluvioni, se portata dei fiumi e intensità delle piogge determinano l'apporto d'acqua, è il livello di saturazione pregressa del suolo a stabilire la sua capacità di assorbimento e drenaggio.

Monitorare l'umidità del suolo in modo affidabile significa quindi comprendere meglio i fattori predisponenti di queste calamità, migliorare le performance dei modelli di allerta, ridurre i falsi allarmi e aumentare le previsioni corrette.

Oggi una nuova generazione di tecnologie di monitoraggio prossimale, non invasive, rende possibile misurare l'umidità del suolo in continuo e su ampia scala. È il caso del detector Finapp, basato su tecnologia Cosmic-Ray Neutron Sensing (CRNS): misurando l'assorbimento, da parte dell'acqua nel suolo o nella neve, dei neutroni generati dai raggi cosmici, il sistema quantifica l'umidità del terreno mediata su un

volume esteso fino a 200 m in orizzontale e mezzo metro in profondità.

Con un detector leggero, compatto e basato su materiali sicuri e facilmente reperibili, Finapp porta sul mercato una tecnologia competitiva per la misura dell'umidità del suolo, a una scala rilevante per numerose applicazioni di monitoraggio ambientale.

Su questa base tecnologica, Finapp ha sviluppato Fin4Earth: un portale di pre-allertamento sito-specifico per gli eventi di frane, incendi e alluvioni. Integrando modellistica dedicata — idrologica e idraulica per le alluvioni, statistica per le frane, algoritmica per gli incendi — con previsioni meteorologiche e algoritmi proprietari di intelligenza artificiale, Fin4Earth fornisce una predizione fino a tre giorni della suscettibilità dei siti a ciascun evento calamitoso, trasformando un dato finora poco accessibile in uno strumento operativo concreto per la protezione del territorio.

Keywords: Cosmic Rays Neutron Sensing; Umidità del suolo; Frane; Alluvioni; Early Warning

Contatti: stevanato@finapptech.com, gazzola@finapptech.com, amicarelli@finapptech.com

L'Acquacoltura multitrofica tra crediti di carbonio e resilienza climatica a Taranto

***Roberta Capogrosso*[1], *Carmine Massarelli*[1], *Annamaria Basile*[2] *Vito Felice Uricchio*[1,2]**

[1] CNR-ITC,[2]Commissario straordinario per gli interventi urgenti di bonifica, ambientalizzazione e riqualificazione dell'area di Taranto

Nell'ambito della transizione ecologica e della risposta adattativa ai cambiamenti climatici, l'allevamento di mitili e macroalghe nei mari di Taranto offre straordinarie prospettive per la diversificazione e l'integrazione del reddito dei mitilicoltori. Il progetto MITICA (Mitilicoltura Integrata per la Tutela, l'Innovazione e la Capacità di adattamento al cambiamento climatico ed Ambientale), sviluppato in attuazione della Legge Regionale n. 42/2024, individua nell'acquacoltura multitrofica integrata (IMTA, Integrated Multi-Trophic Aquaculture) uno strumento chiave per coniugare tutela ecologica e sostenibilità economico-sociale nei bacini del Mar Piccolo e del Mar Grande. Il ciclo del carbonio nei sistemi marini costieri vede nei molluschi bivalvi e nella flora algale due componenti essenziali ma distinte per la fissazione del carbonio organico e inorganico. I mitili (*Mytilus galloprovincialis*) assorbono gli ioni calcio e bicarbonato disciolti nell'acqua per sintetizzare il carbonato di calcio ($CaCO_3$) che costituisce la struttura del loro guscio, trasformando la biomassa calcarea in un vero e proprio serbatoio relativamente stabile di carbonio inorganico. Attraverso l'analisi diffrattometrica e chimica delle fasi cristalline del guscio, come la percentuale di aragonite e la quantificazione dei carbonati mineralizzati, è possibile quantificare con precisione la frazione di carbonio inorganico sottratta all'ambiente acquatico. Affiancare a questo processo la coltivazione di macroalghe autoctone, consente di potenziare la componente di sequestro del carbonio organico attraverso la fotosintesi. Le macroalghe giocano un ruolo ecologico fondamentale nel mitigare gli impatti delle stagioni estive più calde e dei frequenti eventi di anossia e ipossia. Durante la stagione estiva, quando l'innalzamento termico e l'eutrofizzazione riducono l'ossigeno disciolto provocando gravi fenomeni di moria nei mitili, l'attività fotosintetica delle alghe immette ossigeno disciolto nella colonna d'acqua, sostenendo i

processi respiratori e metabolici dei bivalvi e migliorandone il tasso di sopravvivenza. Allo stesso tempo, l'assorbimento di CO_2 da parte della biomassa algale contrasta l'acidificazione locale delle acque, preservando l'integrità strutturale dei gusci dei mitili e riducendone la fragilità. Sul piano economico e finanziario, l'integrazione delle pratiche di acquacoltura multitrofica offre ai mitilicoltori la possibilità di accedere a nuovi strumenti di valorizzazione dei servizi ecosistemici, inclusi i mercati volontari del carbonio. Attraverso la quantificazione certificata del carbonio stoccato nei gusci e sequestrato dalle macroalghe, combinata con il monitoraggio in tempo reale mediante sensori multiparametrici, potrebbero essere sviluppati sistemi di generazione e certificazione di crediti di carbonio dotati dei requisiti di addizionalità, tracciabilità e permanenza. L'adozione di tecnologie avanzate come la blockchain per la registrazione e certificazione dei crediti garantisce trasparenza e immutabilità nei registri digitali, favorendo l'accesso a nuove opportunità di finanziamento e di valorizzazione economica dei servizi ecosistemici prodotti dagli impianti di acquacoltura. Inoltre, la biomassa algale prodotta rappresenta un'ulteriore risorsa economica ad alto valore aggiunto, suscettibile di essere valorizzata nel settore delle biomasse energetiche, dei biocarburanti, della nutraceutica e dell'estrazione di composti bioattivi di interesse industriale. Allo stesso modo, il recupero e la polverizzazione delle conchiglie al termine del ciclo produttivo consentono il reinserimento del carbonato di calcio in circuiti di economia circolare, quali l'industria delle costruzioni e la produzione di materiali bio-edili. In conclusione, la trasformazione del settore mitilicolo tarantino da un modello monocolturale a un sistema integrato e resiliente consente di proteggere la produzione storica dalle minacce climatiche e di riqualificare e diversificare le competenze professionali degli operatori locali, creando una filiera sostenibile, diversificata e capace di generare valore economico sia dal mercato dei prodotti ittici sia dalla vendita dei crediti di carbonio e dai sottoprodotti ad alto valore aggiunto. Tale approccio rappresenta un modello innovativo di adattamento climatico e sviluppo sostenibile applicabile anche ad altri contesti produttivi costieri del Mediterraneo.

Keywords: Acquacoltura multitrofica (IMTA), crediti di carbonio Mytilus galloprovincialis, progetto MITICA, resilienza climatica

Contatti: roberta.capogrosso@cnr.it; carmine.massarelli@cnr.it; a.basile@governo.it ; v.uricchio@governo.it

III. Le opportunità dell'economia circolare ed i nuovi paradigmi di sviluppo

Recupero delle materie prime critiche dai veicoli fuori uso: il ruolo strategico dell'economia circolare nella resilienza industriale europea

***Giulia Magnavita*[1], *Beatrice Tassi* [1], *Lorenza Emili*[1], *Lorianna Annunziata* [1]**

[1]*Affiliazione: CNR IIA Sede Secondaria di Roma c/o Ministero dell'Ambiente e della sicurezza energetica, Via Cristoforo Colombo n. 44 00144 Roma*

Abstract

La transizione ecologica e digitale europea sta determinando una crescita esponenziale della domanda di materie prime critiche (*Critical Raw Materials* – CRM), essenziali per la produzione di batterie, dispositivi elettronici, tecnologie *clean-tech*, reti elettriche e mobilità sostenibile. In questo scenario, il recupero di materiali strategici dai veicoli fuori uso (*End of Life Vehicles* – ELV) rappresenta una delle principali sfide industriali e ambientali per la costruzione di una filiera circolare europea resiliente e meno dipendente dalle importazioni *extra*-UE.

Ogni anno in Europa circa 6 milioni di veicoli raggiungono il fine vita, generando un flusso rilevante di materiali recuperabili quali acciaio, alluminio, rame, plastiche tecniche, vetro, gomma e componenti contenenti terre rare e altri metalli strategici. Sebbene l'attuale sistema europeo consenta il recupero di circa l'85% dei materiali presenti nei veicoli, persistono significative criticità nella valorizzazione delle frazioni non metalliche e nel recupero avanzato delle materie prime critiche, con tassi ancora limitati per plastiche e componenti ad alto valore.

Il contributo analizza il quadro normativo europeo e nazionale alla luce del nuovo *Critical Raw Materials Act* e del prossimo Regolamento europeo sui veicoli a fine vita, evidenziando il ruolo strategico dell'economia circolare nella sicurezza degli approvvigionamenti industriali. Il CRM *Act* prevede infatti che entro il 2030 almeno il 15% del fabbisogno europeo di materie prime critiche derivi dal riciclo, mentre in Italia il recupero di materiali strategici potrebbe soddisfare tra il 20% e il 32% del fabbisogno nazionale entro il 2040.

Particolare attenzione viene dedicata alle criticità che ancora limitano lo sviluppo di un mercato competitivo delle materie prime seconde: frammentazione normativa, difficoltà nella classificazione *End of Waste*, disomogeneità tra gli Stati membri, insufficiente domanda industriale di materiali riciclati e carenza di *standard* condivisi di qualità e tracciabilità.
L'analisi evidenzia come il passaggio da una gestione dei rifiuti orientata allo smaltimento a una vera filiera industriale del recupero rappresenti una condizione essenziale per rafforzare la competitività europea, ridurre la dipendenza geopolitica dalle importazioni di materiali strategici e accelerare la transizione verso modelli produttivi climaticamente neutri e circolari.
Il contributo si propone infine di approfondire il ruolo delle innovazioni tecnologiche, della progettazione circolare dei veicoli e delle nuove politiche europee nel favorire sistemi avanzati di recupero, riutilizzo e valorizzazione delle materie prime critiche provenienti dai veicoli fuori uso, quale leva strategica per la sostenibilità industriale e ambientale europea.

Keywords: economia circolare, materie prime critiche, veicoli fuori uso, transizione ecologica, filiere circolari.

Contatti: giulia.magnavita@cnr.it , beatricetassi@cnr.it, lorenzaemili@cnr.it , lorianna.annunziata@cnr.it

Il decanter centrifugo visto in chiave di economia circolare.

Michele Russo[1]

[1]*Getech srl, Via Roncaglia, 10, 60035 JESI (AN)*

Abstract

Il decanter centrifugo è una tecnologia consolidata, il salto concettuale rispetto all'uso tradizionale consiste nel passare da una logica di semplice separazione e smaltimento (modello lineare) a una di valorizzazione e rigenerazione delle risorse (modello circolare) considerando anche il fatto che stiamo vivendo la transizione ecologica, promuovendo il recupero, la valorizzazione e il riutilizzo delle risorse lungo l'intero ciclo produttivo. Le nostre macchine sono pensate e costruite in modo sostenibile, tenendo in considerazione il ciclo vita della macchina ed il contesto di applicazione, infatti sono costruite con materiali riciclabili come ghisa ed acciaio.
La robustezza e la qualità costruttiva sono tali che, anche dopo molte migliaia di ore, sono possibili e convenienti sia la rigenerazione a nuovo che l'upgrade a nuovo.
Il decanter centrifugo assume un ruolo strategico, è un sistema ad elevata efficienza impiegato nella separazione solido-liquido in numerosi comparti come quelli industriali, agroalimentari e ambientali.
Il decanter centrifugo, basandosi sul principio della sedimentazione accelerata tramite forza centrifuga, permette la separazione continua di miscele eterogenee solido – liquido, ovvero la rimozione delle particelle in sospensione con straordinaria precisione. Nell'ottica dell'economia circolare, questa capacità tecnologica si traduce direttamente nella trasformazione di quelli che storicamente venivano considerati "rifiuti" o "scarti di processo" in nuove materie prime ad alto valore aggiunto. Per cui la centrifuga non è più il macchinario di fine linea che scarta i rifiuti, ma diventa il cuore pulsante del recupero di materia e di energia.
L'utilizzo del decanter centrifugo consente di ottimizzare i processi di recupero delle materie prime secondarie, ridurre la produzione di rifiuti e incrementare la sostenibilità delle filiere produttive. Le

applicazioni spaziano dal minerario alla depurazione delle acque, dal trattamento dei fanghi biologici fino alla produzione di biogas e biometano, contribuendo alla creazione di nuovi modelli industriali fondati sul recupero delle risorse.
Nel comparto energetico, come ad esempio quello della produzione di biogas e biometano da FORSU (frazione organica del rifiuto solido urbano), mediante la centrifugazione del digestato si ottengono la frazione solida che può essere impiegata in agricoltura come ammendante o per il compost e la frazione liquida che viene reimmessa nel processo. Ciò permette non solo di diminuire l'impatto ambientale delle produzioni, ma anche di generare nuove opportunità economiche attraverso la trasformazione del rifiuto in risorsa.
Nel settore ambientale, negli impianti di Soil Washing ad esempio da spazzamento spiagge, prima mediante passaggi di vagliatura e ciclonatura per la rimozione di plastiche, metalli, alghe spiaggiate come la posidonia ed altro materiale, e successivamente inviando l'acqua di lavaggio contenente solidi sospesi < 100 µm in centrifuga, si recuperano: l'acqua, che viene riutilizzata, ed i materiali come la sabbia che viene nuovamente reimmessa nell'arenile e la posidonia che può essere utilizzata in edilizia biocompatibile e nel design, e gli altri materiali che se riciclabili sono inviati all'industrie di trasformazione in caso contrario smaltiti.
Analogamente, nel settore minerario, si elencano alcuni dei settori serviti per la disidratazione di fanghi bentonitici, fanghi di dragaggio, fanghi di soil washing materiali inerti e jet grouting, l'impiego di questa tecnologia favorisce una gestione più efficiente dei fanghi e dei reflui, riducendo i costi di smaltimento e incrementando il recupero di acqua ed energia; infatti, si pensi che, con i nostri impianti l'acqua recuperata riesce ad avere un contenuto di solidi sospesi < 80 mg/l, per cui può essere sia riutilizzata nel processo ma anche scaricata in acque superficiali secondo la legislazione vigente. Per quanto riguarda invece il materiale solido, si ottiene solido palabile con SS ≈ 55 ÷ 65 %, quindi una notevole riduzione di volume e peso per il trasporto, riducendo così le emissioni di CO_2 in atmosfera, e l'approvvigionamento idrico da altre fonti. I suddetti settori, sono solo alcuni dove i nostri decanter centrifughi sono installati.
L'adozione del decanter centrifugo si inserisce inoltre nei nuovi paradigmi dello sviluppo sostenibile e dell'industria 4.0, caratterizzati dall'integrazione tra digitalizzazione, efficienza energetica e innovazione tecnologica. I moderni sistemi di controllo automatizzato

consentono infatti di monitorare in tempo reale i parametri di processo, ottimizzando consumi, prestazioni e qualità del prodotto finale.
In conclusione, il decanter centrifugo emerge come una tecnologia abilitante per la transizione verso l'economia circolare, poiché consente di coniugare innovazione industriale, sostenibilità ambientale e competitività economica. La sua applicazione nei diversi settori produttivi, che serviamo, dimostra come le tecnologie di separazione possano costituire un motore di sviluppo capace di promuovere nuovi modelli di crescita basati sul recupero delle risorse, sull'efficienza dei processi e sulla riduzione dell'impatto ambientale, contribuendo concretamente alla costruzione di un sistema produttivo più sostenibile e rigenerativo.

Keywords: Decanter centrifugo, Separazione solido-liquido, Valorizzazione dei sottoprodotti, Efficienza di processo, Recupero delle risorse.

Contatti: michele.russo@gennaretti.com

Il settore cemento-calcestruzzo come hub dell'economia circolare: dalla nuova normazione alle opportunità di sviluppo

***Giuseppina De Luca*[1], *Antonio Bonati*[2]**

[1]* *National Research Council of Italy – Institute for Construction Technologies (ITC-CNR), San Giuliano Milanese, Italy.*
[2] *National Research Council of Italy – Institute for Construction Technologies (ITC-CNR), San Giuliano Milanese, Italy.*

Abstract
Nel nuovo quadro regolatorio, cementi e calcestruzzi non sono più soltanto prodotti da costruzione da decarbonizzare, ma piattaforme industriali attraverso cui reinterpretare il settore come hub dell'economia circolare: non un semplice utilizzatore finale di materiali riciclati, ma un nodo industriale e territoriale capace di intercettare e valorizzare flussi minerali secondari, trasformandoli, previa qualificazione, in costituenti del cemento, aggiunte, aggregati riciclati o componenti del calcestruzzo.
Affinché tale modello diventi operativo è necessario passare da impieghi puntuali di materiali secondari a sistemi strutturati di industrial symbiosis, nei quali lo scarto o il sottoprodotto di una filiera diventa flusso di materia in ingresso per un'altra. La simbiosi industriale è già sviluppata in diversi settori manifatturieri, incluso il tessile; nel settore cementizio e del calcestruzzo la sua applicazione è risultata finora più complessa per la frammentazione delle filiere degli scarti industriali, la variabilità qualitativa e quantitativa dei flussi recuperati e, soprattutto, per barriere normative che hanno limitato l'impiego ordinario di costituenti diversi da quelli normati.
Le politiche europee per la transizione ecologica e il nuovo Regolamento Prodotti da Costruzione 83110/2024) stanno però riducendo progressivamente tali barriere. In tale contesto, la revisione della EN 197-1, attesa nel nuovo impianto delle norme armonizzate per il 2027, potrà aprire il mercato a cementi alternativi, compositi e a minore contenuto di clinker.
Tuttavia, ad oggi il primo segnale concreto di apertura verso l'economia circolare è la UNI 11104:2025, principale riferimento

nazionale per il calcestruzzo. La norma amplia i cementi idonei all'impiego includendo, accanto ai cementi UNI EN 197-1, anche quelli riconducibili alle UNI EN 197-5 e UNI EN 197-6, se qualificati mediante ETA o CVT. Inoltre, consente l'uso di aggiunte di tipo II non convenzionali qualificate, aggiorna alcuni criteri di valorizzazione delle aggiunte minerali e riduce in più casi i contenuti minimi di cemento, favorendo mix design orientati alla riduzione del clinker incorporato.
Il confronto con la precedente edizione evidenzia anche un'evoluzione nella disciplina degli aggregati riciclati. La UNI 11104:2025 non regola più soltanto la sostituzione dell'aggregato grosso naturale con aggregato grosso riciclato, ma estende il campo agli aggregati fini e misti riciclati, con percentuali massime di sostituzione differenziate in funzione di tipologia, classe di esposizione e classe di resistenza. La frazione fine, tradizionalmente critica nel riciclo da costruzione e demolizione, può così diventare componente progettuale del calcestruzzo entro limiti tecnici definiti. Infine, l'Appendice D della stessa norma introduce per la prima volta la classificazione del calcestruzzo preconfezionato in funzione dell'impronta carbonica mediante il parametro GWPc. Pur limitata al perimetro cradle-to-gate, essa collega la prestazione ambientale alla classe di resistenza, fornendo un parametro richiamabile in capitolati e specifiche progettuali.
La nuova normazione non determina automaticamente la circolarità del settore, ma rimuove barriere tecniche e regolatorie, rendendo possibile la trasformazione di flussi secondari qualificati in nuove opportunità industriali per cementi e calcestruzzi.

Keywords: Economia circolare, Simbiosi industriale, Settore del Cemento e calcestruzzo, transizione ecologica

Contatti: deluca@itc.cnr.it, bonati@itc.cnr.it

Dalla qualità ambientale alla bioeconomia: modelli circolari per Taranto tra ricerca, mitili e macroalghe

***Annamaria Ragonese*[1,2] *Ilaria Savino* [2], *Michelangelo Di Luozzo*[3], *Carmine Massarelli*[2], *Vito Felice Uricchio*[2,4]**

[1] Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, 70125 Bari, Italia,
[2] Istituto per le Tecnologie della Costruzione, Consiglio Nazionale delle Ricerche (ITC-CNR), 70124 Bari, Italia
[3] Responsabile Raffineria di Taranto - Eni Industrial Evolution
[4] Commissario straordinario per gli interventi urgenti di bonifica, ambientalizzazione e riqualificazione dell'area di Taranto

Abstract

Il Mar Piccolo di Taranto rappresenta uno dei contesti più strategici per sperimentare nuovi paradigmi di sviluppo basati sull'economia circolare, grazie alla convergenza tra ricerca scientifica, rigenerazione ambientale e innovazione industriale. In questo contesto si inserisce il concetto di mitilicoltura integrata che introduce un modello avanzato di gestione delle filiere blu basato sull'integrazione tra mitilicoltura, coltivazioni algali e monitoraggio dei servizi ecosistemici. L'approccio che si sta sviluppando in collaborazione tra vari soggetti punta a dimostrare che sistemi di coltivazione composto da organismi filtratori e macroalghe, oltra alla produzione di biomassa, contribuiscono alla qualità delle acque generando un sequestro di carbonio misurabile, aprendo la strada alla creazione di crediti di carbonio certificabili per filiere produttive locali. Questo paradigma consente di trasformare la mitilicoltura in un settore capace di produrre valore ambientale oltre che economico, rafforzando la resilienza degli impianti ai cambiamenti climatici e riducendo la moria dei mitili.
ll modello di mitilicoltura integrata e valorizzazione biotecnologica delle biomasse algali, attualmente in fase di sviluppo e sperimentazione nel bacino del Mar Piccolo di Taranto anche grazie al contributo di ENI, si inserisce in perfetta e feconda sinergia con le direttrici strategiche delineate all'interno del dodicesimo Rapporto sulla Bioeconomia in Europa pubblicato nel giugno del 2026. Questo documento programmatico individua proprio nelle risorse biologiche

rinnovabili di matrice acquatica (di terza generazione) e nelle biotecnologie blu i pilastri fondamentali su cui rifondare l'indipendenza strategica dell'Unione Europea, affrancandola dalla vulnerabilità economica derivante dall'impiego delle materie prime fossili. In tale scenario, l'iniziativa tarantina risponde con precisione all'esigenza scientifica e industriale di convertire le innovazioni ecologiche di frontiera in sistemi produttivi strutturati e replicabili su scala reale, fornendo un esempio pionieristico di come le filiere locali possano generare un valore ambientale misurabile e perfettamente integrato nel tessuto economico.

L'urgenza di promuovere simili modelli rigenerativi trova un solido riscontro nei dati macroeconomici globali del settore, il quale ha registrato nel corso del 2025 un fatturato di ben 3.174 miliardi di euro, incidendo per l'8,8% sul Prodotto Interno Lordo complessivo dell'Unione Europea e impiegando oltre 17 milioni di addetti. La transizione verso una gestione avanzata delle aree costiere oltre a rappresentare una necessità di tutela ecologica, è una straordinaria opportunità per consolidare la competitività industriale e mitigare gli effetti della crisi climatica nei territori storicamente fragili. In questo contesto, l'interazione biologica programmata tra organismi filtratori e macroalghe non solo ottimizza la bio-fissazione del carbonio e l'assorbimento virtuoso dei nutrienti in eccesso, ma anticipa operativamente gli standard di sostenibilità promossi dalla nuova strategia europea per l'industrializzazione delle biotecnologie emanata nel novembre del 2025.

La rigorosa metodologia di quantificazione e successiva certificazione dei servizi ecosistemici applicata al contesto marino tarantino, finalizzata alla genesi di crediti di carbonio ad alto valore ecologico, si proietta programmaticamente nel solco dei futuri documenti relativi alla Circular Economy Act ed al Biotech Act. Questi imminenti quadri normativi comunitari sono esplicitamente orientati a definire una regolamentazione stabile, coerente e di lungo termine, indispensabile per catalizzare investimenti privati e favorire il salto di scala industriale delle tecnologie bio-based. Di conseguenza, la valorizzazione a cascata delle biomasse algali e il contestuale ripristino dell'equilibrio trofico del bacino costiero elevano l'esperienza del Mar Piccolo a laboratorio nazionale di riferimento scientifico. Tale ecosistema dimostra concretamente come l'Italia, forte della sua consolidata leadership tecnologica nel settore, possa guidare il cambio di paradigma verso una blue economy pienamente circolare, trasformando le criticità

ambientali del passato in nuove e competitive traiettorie di sviluppo e occupazione.

Keywords: Economia circolare, Blue economy, microinquinanti, mitilicoltura, crediti di carbonio

Contatti: a.ragonese1@phd.uniba.it

Analisi dei flussi delle terre e rocce da scavo in Lombardia

Stefania Ughini[1], Pietro Bazzicalupo [1], Debora Morano[1], Francesca Zanini[1], Madela Torretta[1]

[1] Direzione Tecnica Controlli e Prevenzione del Rischio Antropico, Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia, Via T. Taramelli, 26 – 20126 MI.

Abstract

Il territorio lombardo, nonostante la significativa eterogeneità, presenta un elevato grado di urbanizzazione e industrializzazione, con una conseguente forte pressione edilizia. In questo contesto, la gestione come sottoprodotti delle terre e rocce da scavo (TRS) originate dai numerosi cantieri, in conformità alla normativa vigente (DPR 120/2017), assume un ruolo cruciale all'interno dell'economia circolare.

Nel presente contributo sono stati organizzati e analizzati, in maniera sistematica, i dati relativi ai flussi delle TRS prodotte in Lombardia nell'anno 2025, con riferimento esclusivo ai cantieri disciplinati dall'art. 21 del DPR 120/2017 (piccoli cantieri con produzione di terre inferiore a 6.000 m^3 o grandi cantieri non soggetti a VIA-AIA).

Sono stati calcolati i quantitativi complessivi di TRS prodotti nel territorio lombardo e valutati i siti di utilizzo, sia in relazione alla destinazione geografica (entro o fuori provincia/regione), che alla tipologia di utilizzo, distinguendo in particolare tra recupero ambientale e utilizzo in cicli produttivi.

L'analisi si basa sui dati delle Dichiarazioni di Utilizzo pervenute nell'anno 2025 che sono stati sistematizzati in un applicativo in via di sviluppo; non sono stati utilizzati i dati delle relative Dichiarazioni di Avvenuto Utilizzo (DAU), ancora parziali.

A livello regionale, nel corso del 2025 sono state registrate oltre 4000 Dichiarazioni di Utilizzo, corrispondenti a un quantitativo di oltre 7 milioni di metri cubi di TRS prodotte, con i maggiori quantitativi attribuibili alle province di Milano, Bergamo e Brescia.

Dall'analisi emerge che, nella maggior parte della regione, oltre il 60% dei materiali è stato destinato a interventi di recupero ambientale; anche l'utilizzo all'interno di cicli produttivi è significativo, in

particolare nelle province di Lecco, Brescia e Mantova. Per quanto riguarda la destinazione geografica, si evidenzia come la maggior parte delle terre venga riutilizzata entro il territorio provinciale, con alcune eccezioni. A questi dati si affiancano quelli relativi alle attività di controllo svolte da ARPA Lombardia sulle dichiarazioni pervenute. I controlli sono svolti territorialmente su base provinciale e articolati su tre livelli di approfondimento: una verifica di completezza formale della documentazione, effettuata sulla totalità delle dichiarazioni in ingresso (oltre 4.000 per l'anno 2025); un controllo documentale approfondito, effettuato su una parte delle dichiarazioni pervenute e infine i controlli in campo presso alcuni siti di produzione, deposito intermedio o destinazione, selezionati sulla base di quanto emerso dai precedenti approfondimenti. I controlli effettuati nel 2025 hanno portato all'emissione di comunicazioni di notizie di reato, su parte delle quali è stato possibile applicare la procedura estintiva ex art. 318 bis. Le irregolarità riscontrate sono riconducibili alla mancanza sia dei requisiti ambientali che di quelli di tipo formale.

Keywords: terre e rocce da scavo; DPR 120/2017; Lombardia; dichiarazione di utilizzo; controlli

Contatti: s.ughini@arpalombardia.it

Crescita e generazione di valore nei territori museali: il contributo delle tecnologie spaziali

Antonella Lerario[1]

[1] *Istituto per le Tecnologie della Costruzione, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-ITC)*

Abstract

Il patrimonio culturale nella sua espressione materiale, quella museale in particolare, racchiude e manifesta l'essenza migliore delle comunità e dell'umanità. Visioni conservative rigide, prassi gestionali inappropriate e una malintesa idea di 'assoluto', di un patrimonio che si autogiustifica e basta a sé stesso, hanno finito col rendere macroscopicamente percepibile solo il fardello associato alla presenza sui territori di una risorsa letta come 'voce di costo' e legato alla tutela e ad una fruizione sostanzialmente fine a sé stessa - o comunque puramente esperienziale -, operando un ribaltamento concettuale totale e inaccettabile. Il patrimonio prodotto e stratificato nel tempo rappresenta infatti per natura il senso del progresso e della crescita di un popolo nei secoli: proprio per questo i recenti appelli a farsi 'motore' di crescita dei territori non vanno intesi come la richiesta di un 'cambiamento' nella funzione dei musei, essendo in realtà totalmente in linea con essa. È importante quindi concretizzare la visione di un patrimonio produttivo, in grado di far crescere le comunità, non solo sul piano turistico-culturale ma rispetto all'intero orizzonte della vita di un territorio.

La rete di connessioni dei musei con gli stakeholder del settore sociale, culturale, economico, ambientale, in cui anche i pubblici - non più destinatari di valori assoluti ma coinvolti nella creazione di valori condivisi - sono inclusi tra i portatori di interesse, è una componente fondamentale per l'attivazione di processi di rigenerazione. Essenziale in questo scenario è però anche l'affermarsi di modelli d'azione in grado di rinnovare il contenuto della presenza museale nella direzione del 'fare impresa' in chiave generativa, evidenziandone efficienza e impatti territoriali nella produzione del valore.

Presso CNR-ITC è in corso negli ultimi anni un sentiero di indagine che, inaugurando un nuovo settore di attività nel campo delle Digital Humanities, intende testare le reali potenzialità di un apparato

tecnologico collaudato quale quello dei Sistemi Informativi Geografici (GIS) nel sostenere questa evoluzione, individuando nuovi e inesplorati ambiti applicativi.
Casi virtuosi emersi nelle fasi iniziali della ricerca proprio grazie all'uso del *mapping* hanno rivelato il potenziale di alcune realtà museali nel promuovere la crescita sociale, la micro-imprenditoria e una nuova lettura delle risorse territoriali, e la capacità della tecnologia di ottimizzare la formazione e la gestione di reti di stakeholder del settore pubblico-privato. Alla luce di ciò, il presente contributo intende ampliare la prospettiva di osservazione verificando la validità delle tecnologie spaziali nel supportare in maniera organica l'evoluzione profonda dell'istituzione museale verso il modello di impresa.
I Sistemi Informativi Geografici trovano da tempo nel settore aziendale uno dei campi di applicazione privilegiati, sia a supporto delle '*mission'* specifiche, sia per gli aspetti gestionali interni. La presente ricerca opera un raffronto con il settore museale, individuandone i punti di contatto e i 'micro-ambiti' in cui verificare la trasferibilità del supporto tecnologico, con il duplice obiettivo di contribuire, da un lato, all'evoluzione del modello museale da centro di spesa a impresa in grado di autosostenersi e generare valore per territori e comunità e, dall'altro, all'individuazione di specifici orientamenti e *'focus areas'* per gli sviluppi futuri della tecnologia.

Keywords: GIS per il settore museale; musei e sviluppo territoriale; mapping; digital humanities; musei generativi

Contatti: antonella.lerario@itc.cnr.it, antonella.lerario@cnr.it

Dall'upcycling di scarti organici alla produzione di biomateriali medical grade: sviluppo di PLA e copolimeri biodegradabili per applicazioni biomedicali avanzate

Fabio Sebastiano[1], Valerio Maialetti[1], Filippo Donato Carlomagno[1], Laura Mastronardi[1], Beatrice Magnifico[1], Antonio Lucio Valerio[1]

[1] *Recupero Etico Sostenibile SpA (speaker)*

Abstract

La crescente necessità di ridurre l'impatto ambientale dei processi industriali e valorizzare i flussi di rifiuti organici richiede lo sviluppo di soluzioni di economia circolare in grado di integrare recupero di biomasse e produzione di materiali ad alto valore aggiunto. In questo contesto, RES S.p.A. sviluppa una filiera industriale integrata di upcycling di scarti agroalimentari ricchi in carboidrati fermentescibili, finalizzata alla produzione di Acido Polilattico (PLA) per applicazioni avanzate, con particolare riferimento al settore biomedicale.

La filiera si basa sulla selezione e pretrattamento di matrici agroalimentari residuali ad elevata frazione glucidica, seguiti da processi fermentativi condotti da ceppi selezionati di batteri lattici per la produzione di acido lattico ad elevata purezza ottica. Il controllo della stereochimica del monomero rappresenta un parametro chiave in quanto direttamente correlato alle proprietà finali del polimero. L'acido lattico viene quindi purificato e convertito in lattide, intermedio strategico per la sintesi del PLA, consentendo la valorizzazione di scarti organici in feedstock chimici ad alta qualità e specifiche controllate.

Il PLA è uno dei principali biopolimeri per il settore biomedicale grazie a biocompatibilità, biodegradabilità controllata e origine rinnovabile. Le sue proprietà possono essere modulate attraverso il controllo di peso molecolare, stereochimica e cristallinità, rendendolo adatto a dispositivi riassorbibili (suture, viti e placche ortopediche), scaffold per ingegneria tissutale, sistemi di rilascio controllato di principi attivi e dispositivi personalizzati ottenuti mediante manifattura additiva (stampa 3D).

Parallelamente, presso il centro di ricerca Polymeres, sono in corso attività di sviluppo di materiali polimerici avanzati mediante polimerizzazione ad apertura d'anello (ROP) del lattide in reattore batch da 20 L. L'attività è focalizzata sull'ingegnerizzazione del materiale attraverso il controllo dei parametri di processo e della struttura macromolecolare. La modulazione di peso molecolare, stereochimica e composizione (aggiunta di co-monomeri per fare copolimeri) consente di ottenere proprietà meccaniche, termiche, reologiche e di degradazione mirate.
Lo sviluppo include la sintesi di differenti gradi di PLA e copolimeri biodegradabili per ampliare il range applicativo verso sistemi riassorbibili, scaffold multifunzionali, sistemi avanzati di drug delivery e dispositivi medicali complessi realizzati tramite stampa 3D. La progettazione di materiali con degradazione controllata rappresenta un elemento chiave per applicazioni in medicina rigenerativa e chirurgia mini-invasiva.
Il progetto integra una filiera biotecnologica industriale e una piattaforma di sviluppo materiali, creando una connessione diretta tra valorizzazione di biomasse residuali e produzione di biomateriali medical-grade. L'intero processo è progettato in conformità ai requisiti ISO 13485 e ISO 10993, garantendo trasferibilità industriale e compliance normativa.
Nel complesso, il progetto dimostra la fattibilità di una filiera circolare integrata capace di trasformare scarti agroalimentari in biomateriali avanzati ad alto valore tecnologico, contribuendo allo sviluppo di nuove catene del valore basate su bioeconomia circolare, chimica verde e manifattura avanzata nel settore biomedicale.

Keywords: Economia Circolare, Upcycling rifiuti organici, Waste-to-value, Biotecnologie industriali, Biopolimeri biodegradabili (PLA)

Contatti: director@recuperoeticosostenibile.it; testing@recuperoeticosostenibile; lab@recuperoeticoostenibile.it

Analisi dell'impatto socio-ambientale dei cantieri no-dig e open-cut in contesto urbano

Stegano Roberto Carnevali[1]

[1] AssoProReTI – Associazione Progettisti Reti Trenchless Italia

Abstract

È ampiamente riconosciuto che le tecnologie no-dig, o tecnologie senza scavo, offrano un approccio più sostenibile rispetto alle tradizionali tecniche di scavo a cielo aperto, minimizzando gli effetti negativi sull'ambiente circostante e sulla comunità. Questa caratteristica ha fatto sì che tali tecnologie guadagnassero nel tempo l'appellativo di "tecnologie a basso impatto ambientale". Tuttavia, nonostante questo riconoscimento, la quantificazione degli impatti ambientali ed economici rimane una sfida complessa e spesso trascurata. La quantificazione degli effetti rimane un tabù, in particolare quando si tratta di tradurre in termini monetari i benefici reali derivanti dall'adozione di tecnologie no-dig.

Il presente lavoro di ricerca si propone di colmare questa lacuna, descrivendo innanzitutto i potenziali impatti associati ai cantieri, sia per interventi di rinnovamento che di nuova posa di condotte. Tali impatti includono, a titolo esemplificativo ma non esaustivo, l'inquinamento atmosferico e acustico, la congestione del traffico, i disagi per i residenti e le attività commerciali, nonché i potenziali danni alle infrastrutture esistenti. La ricerca si focalizza sulla quantificazione di questi impatti attraverso la loro monetizzazione in termini di "costi indiretti", definiti come "i valori monetari equivalenti degli effetti negativi che vengono subiti dalla comunità e che non sono inclusi nei costi diretti del contratto d'appalto".

Successivamente, basandosi su modelli e formule già presenti nella letteratura scientifica, sia italiana che internazionale, è stato sviluppato un modello di calcolo dei costi indiretti. Questo modello tiene conto di una vasta gamma di fattori, tra cui la durata dei lavori, la lunghezza della condotta risanata, le caratteristiche del cantiere e il contesto socio-ambientale circostante. Per facilitare l'applicazione pratica del modello, è stato creato un apposito foglio di calcolo Excel che consente agli utenti di inserire dati di input specifici per il loro

progetto e di ottenere una stima dei costi indiretti associati sia all'utilizzo di tecnologie no-dig che di tecniche di scavo a cielo aperto. Il foglio di calcolo permette, quindi, di confrontare in modo diretto i due approcci e di valutare i benefici economici derivanti dall'adozione delle tecnologie no-dig.
Infine, il foglio di calcolo è stato testato su quattro interventi di risanamento diversi tra loro per parametri progettuali e contesto socio-ambientale. Questi interventi, pur presentando caratteristiche uniche, sono accomunati dall'utilizzo della stessa tecnologia di risanamento no-dig, ovvero la CIPP UV (Cured-in-Place Pipe with Ultraviolet curing). L'applicazione del modello a questi casi studio ha permesso non solo di valutare l'incidenza dei costi indiretti sul costo totale del progetto e di operare un confronto diretto tra gli effetti negativi provocati dall'utilizzo degli scavi a cielo aperto e la tecnologia no-dig, ma anche di analizzare le variazioni degli impatti legati all'uso di quest'ultima al variare delle condizioni al contorno che caratterizzano ciascuno dei quattro interventi. Questo ha consentito di identificare i fattori che influenzano maggiormente i costi indiretti e di fornire uno strumento utile per la progettazione degli interventi futuri,

Keywords: no-dig; trenchless; costi indiretti; socio-ambientale; benefici

Contatti: sc@rotech.bz.it , info@assoproreti.it , direzione@assoproreti.it

Landfill Mining: dalle discariche ai giacimenti del futuro

Giovanni Perillo[1]

[1] Università degli Studi Parthenope, Napoli

Abstract

In un contesto globale caratterizzato da una crescente urbanizzazione e da modelli di consumo lineari, la gestione dei rifiuti solidi urbani (Rsu) ha assunto la rilevanza di una vera e propria emergenza logistica e ambientale. Per molti decenni, il ricorso alle discariche è stato considerato la soluzione terminale e standardizzata al problema dello smaltimento. Oggi, tuttavia, la progressiva saturazione degli spazi disponibili, unita alla consapevolezza dei rischi di inquinamento a lungo termine e alla potenziale perdita di risorse economiche, impone un radicale cambio di paradigma.

In questo scenario si inserisce il Landfill Mining (Lfm), o estrazione mineraria dalle discariche, configurandosi come una strategia ingegneristica complessa e multifase. Lungi dal ridursi a una mera attività di scavo dei vecchi ammassi di rifiuti, il Lfm si propone di trasformare i siti esausti o non conformi in vere e proprie "miniere urbane" o antropogeniche. L'obiettivo strategico è duplice: da un lato, recuperare risorse preziose sotto forma di materiali ed energia; dall'altro, riabilitare frazioni di territorio compromesse per restituirle a usi sostenibili, perseguendo l'obiettivo del "consumo di suolo zero" attraverso la rigenerazione ecologica.

Il Landfill Mining viene definito come l'escavazione controllata dei rifiuti solidi stoccati, associata a trattamenti tecnologici intensivi eseguiti direttamente in situ per separare la massa in flussi omogenei dotati di valore commerciale. Gli obiettivi principali dell'intervento si articolano in quattro macro-aree:

• Recupero di risorse materiali: estrazione selettiva di metalli ferrosi e non ferrosi (quali alluminio e rame), inerti (vetro e ceramiche) e frazioni plastiche ad alto valore di riciclo.

• Recupero di risorse energetiche: isolamento della frazione secca combustibile per la produzione di Combustibile Derivato dai Rifiuti

(Cdr) o Rifiuto Solido Recuperato (Rsr) ad alto potere calorifico, destinati a cementifici o centrali termiche dedicate.

• Land reclamation (recupero del suolo): bonifica radicale del sito mediante la rimozione della sorgente inquinante, azzerando le emissioni odorigene, la generazione di percolato e la fuga di biogas, rendendo così il terreno idoneo per progetti edilizi ecologici, parchi urbani o infrastrutture civili.

• Riduzione del volume: ripristino dei volumi geometrici interni alla discarica, consentendo di prolungarne la vita utile operativa o di svuotare definitivamente l'area.

Nonostante gli ingenti costi iniziali legati alla movimentazione di imponenti volumi di terra e rifiuti, l'analisi del ciclo di vita (Lca) e l'analisi costi-benefici (Cba) dimostrano la profittabilità dei progetti sul lungo periodo. I principali vantaggi multidimensionali includono la mitigazione climatica (grazie all'eliminazione delle sorgenti storiche di metano), la protezione idrica (con il contenimento definitivo del percolato) e la sicurezza di approvvigionamento di materie prime critiche e terre rare intrappolate nei vecchi manufatti tecnologici stoccati. A ciò si somma l'enorme incremento del valore immobiliare dei terreni recuperati e l'indotto occupazionale legato allo sviluppo di filiere industriali ad alta tecnologia (green jobs).

Contatti: Giovanni.perillonіparthenope.it

Il recupero degli inerti da demolizioni in Siti di Interesse Nazionale

Marco Raspolli [1]

[1] Ambiente srl.

Abstract

Il recupero di inerti è stato realizzato in una frazione del SIN di Piombino che si estende a nord-est rispetto al comune di Piombino ed è attiguo allo stesso. Comprende un polo industriale di notevoli dimensioni, l'area marina antistante, aree di riempimento e colmata con materiali di riporto e discariche di rifiuti prevalentemente industriali.
L'area industriale si estende per un totale di circa 931 ettari di aree a terra; l'area marina antistante il sito, perimetrata parallelamente alla costa, si spinge al largo per circa 3 Km.
Nello specifico illustreremo la gestione degli inerti e riutilizzo terre e rocce da demolizione di manufatti dell'ex centrale Enel di Torre del Sale.
Il materiale costituito da terre e rocce da scavo è stato oggetto di gestione ai sensi del **DPR 120/2017 Titolo V - TERRE E ROCCE DA SCAVO NEI SITI OGGETTO DI BONIFICA articoli 25 e 26** è stato collocato all'interno del cantiere di Decommissioning della Centrale Enel di Torre del Sale di Piombino, ed è rappresentato da parte degli argini di delimitazione dei bacini di contenimento dei serbatoi che contenevano OCD denominati K50.
Aree di interesse sono i bacini K1 e K2, argini est, ovest, sud e nord del solo K1. L'argine di confine fra il bacino K2 e K3 è stato avviato a smaltimento. Quantità: 15.000 mc non compattato.
Dati del sito di destinazione: il materiale di scavo è stato destinato a rimodellamento interno al K100 sito internamente alla ex CTE ENEL con la realizzazione di un sottofondo con terreno conforme alla colonna B.
L'intero intervento è stato oggetto di confronto normativo con gli enti. Il tema ha trovato un iniziale confronto con ARPAT.
Successivi incontri e la presentazione del progetto al tavolo della Regione Toscana che ha di fatto eliminato ogni dubbio sulla

conformità normativa e sui vantaggi ambientali della scelta presentata rispetto agli impatti ambientali di scelte alternative:
- 15.000 mc di spazio risparmiato in eventuali siti di discarica;
- 500 viaggi di mezzi pesanti sul territorio;
- emissioni causate dal trattamento meccanico fuori sito di 15.000 mc di inerti;
- esiti analitici di conformità svolti con rigore su ogni setto da 750 mc;
- conoscenza approfondita di norme e della loro applicabilità nell'attività specifica ed ogni possibile eccezione;
- Stakeholder engagement e rapporto con gli ENTI, conoscenza delle persone;
- chiarezza nel rapporto con i funzionari degli enti su necessità imprenditoriali e obiettivi di salvaguardia dell'ambiente.

Contatti: mraspolli@ambientesc.it

CRITEST Innovation Lab: un'infrastruttura full-scale per la bonifica ambientale e l'economia circolare

Francesco Colangelo[1]

[1] Università degli Studi di Napoli Parthenope

Abstract

Il CRITEST Innovation Lab — Centro Ricerca, Innovazione, Trasferimento tecnologico E Sviluppo sostenibile per la Transizione ecologica — è un'infrastruttura di ricerca full-scale realizzata ad Acerra (Napoli), pensata per colmare il divario tra sperimentazione di laboratorio e applicazione industriale nella bonifica ambientale e nell'economia circolare. Il Centro ospita impianti full scale per il trattamento di suoli e acque contaminate, il recupero di materia da sottoprodotti industriali e scarti da costruzione e demolizione, e la produzione di materiali certificati End of Waste.

Sul fronte della bonifica, CRITEST Innovation Lab adotta un approccio "green" alla stabilizzazione dei terreni contaminati, sostituendo cementi e reagenti tradizionali con leganti derivati da sottoprodotti industriali altrimenti destinati allo smaltimento, e sviluppa tecnologie per il trattamento di reflui e acque di falda validate su impianti dimostrativi full scale. Sul fronte dell'economia circolare, il Centro lavora su cementi e calcestruzzi low-carbon a base di ceneri volanti e loppa d'altoforno, sulla cattura e l'intrappolamento della CO_2 nei conglomerati cementizi come reagente strutturale, e sul riutilizzo degli aggregati da demolizione per fondazioni e sottofondi stradali ecosostenibili.

Bonifica e circolarità si configurano così come due dimensioni dello stesso modello: gli scarti industriali ed edili diventano risorsa per il risanamento ambientale e per l'edilizia a basso impatto, mentre la scala reale degli impianti fornisce alle imprese parametri di progetto non ottenibili in laboratorio. Il caso CRITEST Innovation Lab propone un modello di infrastruttura trasferibile per accelerare, su scala industriale, la transizione ecologica dei territori.

Contatti: francesco.colangelo@uniparthenope.it

Economia circolare e biorisanamento: il ruolo delle macroalghe nella decontaminazione delle acque costiere e strategie di valorizzazione della biomassa esausta

***Simona Amodio*[1], *Ilaria Savino* [1], *Vito Feliche Uricchio*[1]**

[1]*Environment and Territory Research Unit, Construction Technologies Institute, Italian National Research Council (CNR-ITC), 70124 Bari, Italy*

Abstract

Le acque costiere rappresentano ecosistemi complessi e dinamici, caratterizzati da un elevato valore ecologico ma anche da un'elevata vulnerabilità alle pressioni antropiche. La vicinanza alle aree urbane le espone alla contaminazione di inquinanti organici ed inorganici tra cui metalli pesanti (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn), veicolati da scarichi industriali e urbani, attività portuali e apporti fluviali, con gravi ricadute su ecosistemi, reti trofiche e salute umana. In questo scenario le macroalghe marine rappresentano una risorsa naturale strategica, sostenibile ed economicamente vantaggiosa per il biomonitoraggio e biorisanamento della qualità delle acque costiere. L'elevato rapporto superficie/volume e i gruppi funzionali della parete cellulare (carbossilici, idrossilici, solfati, amminici) conferiscono un'eccezionale capacità di legare i cationi metallici e di tollerare elevate concentrazioni di inquinanti. La rimozione dei metalli avviene tramite tre meccanismi complementari: il biosorbimento, rapido adsorbimento extracellulare sui gruppi di parete; il bioaccumulo, internalizzazione intracellulare mediata da trasportatori e successiva compartimentazione in vacuoli e fisodi; e la biotrasformazione, che modifica chimicamente i metalli in forme meno tossiche. Le Feoficee (generi Cystoseira, Ericaria e Sargassum) bioindicatori delle coste rocciose del Mediterraneo, sono tra le più efficienti: l'acido alginico dei loro tessuti lega selettivamente i metalli bivalenti, accumulandoli nelle porzioni perennanti del tallo. Le Cloroficee (generi Ulva e Chaetomorpha) sono tra le più promettenti in termini di abbondanza della biomassa algale. Tali specie sono particolarmente vocate per una valorizzazione "a cascata": dalla frazione pulita si possono estrarre composti ad alto valore (alginati, agar, fucoidani, pigmenti,

biostimolanti agricoli), mentre dalla biomassa esausta e satura di metalli si recuperano gli elementi inorganici tramite processi di desorbimento e rigenerazione del biosorbente. Nel contesto delle acque costiere l'approccio più idoneo è il bioaccumulo in situ: le macroalghe vive, lasciate crescere o coltivate direttamente nell'ambiente contaminato, assorbono e concentrano i metalli disciolti durante la loro crescita, per poi essere raccolte, sottraendo in questo modo i contaminanti dalla colonna d'acqua senza necessità di impianti di trattamento. La biomassa raccolta, ricca di metalli, viene essiccata e destinata alle fasi di valorizzazione e di recupero degli elementi, chiudendo il ciclo in ottica di economia circolare. La specie *Chaetomorpha linum,* dominante nel biorisanamento dei nutrienti e la sua documentata presenza nelle acque costiere del Mar Piccolo di Taranto, impattate per le eredità antropiche del passato, ne rafforza il potenziale ruolo strategico per la decontaminazione. Ulteriori processi di valorizzazione della biomassa includono la conversione pirolitica in biochar per nuovi cicli di trattamento delle acque e la valorizzazione energetica dei residui carboidratici tramite fermentazione a bioetanolo o digestione anaerobica a biogas. Pertanto, il biorisanamento delle acque costiere mediato da macroalghe si configura come una tecnologia sostenibile, replicabile e a basso impatto, pienamente coerente con la transizione ecologica e la rigenerazione attiva degli ecosistemi costieri marini e offre un duplice vantaggio con la valorizzazione della biomassa macroalgale esausta, contribuendo alla riduzione dei rifiuti e allo sviluppo di filiere produttive circolari.

Keywords: biorisanamento marino, metalli pesanti, macroalghe, economia circolare

Contatti: amodio@itc.cnr.it

Dalla circolarità alla rigenerazione: l'approccio Human-Centric dell'Industria 5.0 per sistemi industriali sostenibili e resilienti

Stefano Brogi[1]

[1] Consiglio Nazionale delle Ricerche – Piazzale Aldo Moro, 7 - 00185 Roma, Italia

Abstract

La transizione verso un'economia circolare richiede un cambiamento di paradigma capace di superare la sola efficienza nell'uso delle risorse e di integrare pienamente la dimensione sociale della sostenibilità. In tale prospettiva, il presente contributo analizza l'intersezione tra i modelli di produzione circolari e l'approccio human-centric dell'Industria 5.0, proponendo una riflessione teorica sul passaggio dalla circolarità alla rigenerazione dei sistemi industriali. Se l'Industria 4.0 ha privilegiato digitalizzazione, interconnessione e automazione dei processi, l'Industria 5.0 ricolloca l'essere umano al centro della trasformazione industriale, ponendo il benessere delle persone, la sostenibilità e la resilienza tra i suoi principi fondanti.

Attraverso un'analisi concettuale della letteratura scientifica e dei principali framework istituzionali, il contributo esplora le sinergie tra i principi dell'economia circolare e quelli dell'Industria 5.0, considerando pratiche quali *circular design*, riciclo, *industrial upcycling*, servitizzazione, simbiosi industriale e rigenerazione delle risorse. Tali pratiche vengono analizzate non soltanto in relazione alla loro capacità di ridurre il consumo di materie prime e gli impatti ambientali, ma anche rispetto al potenziale contributo alla creazione di lavoro dignitoso, inclusione sociale, benessere dei lavoratori e sviluppo delle competenze. In questa prospettiva, il capitale umano non rappresenta esclusivamente un destinatario della transizione, ma costituisce una risorsa abilitante per la sua effettiva realizzazione.

Il lavoro propone il concetto di *Human-Centric Circularity*, inteso come un approccio integrato nel quale la circolarità dei flussi di materiali e risorse si combina con la centralità dell'essere umano, generando condizioni favorevoli alla rigenerazione ambientale, sociale e

organizzativa. Il framework concettuale evidenzia come la transizione circolare possa evolvere da una logica prevalentemente orientata all'efficienza delle risorse verso una prospettiva rigenerativa, nella quale sostenibilità ambientale, benessere umano e resilienza industriale risultano interdipendenti e reciprocamente rafforzativi.
Infine, il contributo sostiene che la rigenerazione dei sistemi industriali richiede una governance *human-centric* capace di integrare innovazione tecnologica, valorizzazione del capitale umano e responsabilità ambientale. In tale prospettiva, la transizione circolare non costituisce un mero adeguamento tecnico o normativo, ma un'opportunità strategica per ridefinire il rapporto tra uomo, tecnologia e natura e promuovere ecosistemi industriali più sostenibili, inclusivi e resilienti. Il framework proposto offre una base teorica per future verifiche empiriche e per lo sviluppo di strategie manageriali e politiche pubbliche orientate a una rigenerazione attiva e di lungo periodo dei sistemi economici e industriali.

Keywords: (Circular Economy; Industry 5.0; Human-Centric Circularity; Regenerative Systems; Human Well-being)

Contatti: stefano.brogi@cnr.it

Recupero di materie prime critiche da impianti energetici a fine vita: opportunità e strumenti di valutazione

Marta Atzeri[1], Marco Cigagna[1], Battista Grosso[1], Alessio Lai[1], Cristina Levanti[1], Francesco Pinna[1*], Giulio Sogos[1], Giovanni Brussato[2], Giulia Maggini[2], Emiliano Fedeli[2], Francesca Petraroia[2], Monica Tommasi[3]

[1]Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Ingegneria delle Georisorse (CINIGeo), [2] Laser Romae, [3] Amici della Terra.

Abstract

La transizione energetica determina una domanda crescente di materie prime critiche (Critical Raw Materials, CRM), indispensabili per la produzione di impianti fotovoltaici, turbine eoliche e sistemi di accumulo dell'energia. Allo stesso tempo, la progressiva dismissione di queste tecnologie genera nuovi flussi di rifiuti che rappresentano una potenziale fonte secondaria di materiali strategici quali litio, cobalto, nichel, terre rare, argento e silicio, rendendo il riciclo una componente essenziale per garantire l'approvvigionamento di risorse. L'attività di ricerca presentata è finalizzata a valutare le opportunità di recupero delle CRM contenute negli impianti energetici a fine vita. Attraverso l'analisi delle tecnologie disponibili e delle migliori pratiche di trattamento, vengono individuate le soluzioni più efficaci per il recupero dei materiali di interesse. Le informazioni raccolte confluiscono in un modello tecnico-economico in grado di stimare i costi di trattamento, le prestazioni dei processi e il potenziale di recupero delle diverse CRM.

L'obiettivo del lavoro è fornire uno strumento di supporto alle decisioni per la pianificazione e lo sviluppo di filiere di riciclo, contribuendo allo sviluppo di strategie orientate alla sicurezza dell'approvvigionamento di CRM e al rafforzamento dei principi dell'economia circolare nel settore energetico.

Contatti: francesco.pinna92@unica.it

VI. Ecotossicologia e sostenibilità ambientale

Impatto ambientale e sanitario del talco

Dott. Geol. Gianluca Pirani PhD

ISPRA: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia

Abstract

Le recenti vicende giudiziarie di importanti aziende americane che commercializzano cosmetici e prodotti per igiene personale a base di talco, hanno posto alla ribalta la questione relativa al loro potenziale effetto nocivo. L'estrazione del talco, eseguita a scala globale e i suoi numerosi impieghi industriali e lavorazioni, delineano un profilo geologico e merceologico assai complesso. Questo articolo ne fornisce un sintetico quadro ambientale, poi chiarisce alcuni aspetti del suo controverso profilo tossicologico, di crescente interesse da parte dei mass media e oggetto di accesi dibattiti. Il talco minerale $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ è presente in vari ambienti geologici: metamorfismo retrogrado, metasomatismo di dolomie ricche di silicio, associazioni ultramafiche, sistemi idrotermali, metamorfismo progressivo di silicati ricchi di magnesio e rocce lateritiche. In passato in molti siti minerari il talco è stato coltivato con l'amianto, spesso rinvenuto in paragenesi sotto forma di tremolite, crisotilo e in alcuni tipi di vermiculite. Dal 1870 al 2023 i siti estrattivi del minerale in Italia sono stati sessantasei, alcuni di essi ancora attivi [Val Germanasca (Piemonte-TO), Valmalenco (Lombardia-SO), Orani (Sardegna-NU)]. La produzione mondiale nel 2025 si attesta intorno alle 6.9 milioni di tonnellate (dati USGS), con un apporto del nostro Paese del 2.5% (~170 t/a). Grazie alle proprietà di placcatura, idrofobicità, morbidezza e inerzia, esso trova applicazioni in molti settori e processi, apprezzato per secoli come polvere per il corpo e attualmente impiegato in prodotti per l'igiene femminile e cosmetici. Altri usi: alimentazione, agricoltura, come pigmento, produzione di ceramiche e stampi, rivestimenti, industria della carta e della gomma, coperture, trattamento acque, prodotti farmaceutici, ecc. Le vie d'ingresso del talco e dei suoi composti nell'organismo umano sono l'inalazione, dato che l'esposizione ripetuta a quantità eccessive di polveri insolubili di qualsiasi tipo può indurre effetti sanitari avversi, poi il contatto dermico. Studi di coorte sugli addetti ai lavori, condotti a partire dagli

anni ’50, hanno infatti concluso che l'inalazione prolungata di polvere di talco può portare problemi respiratori (irritazione polmonare, tosse) e malattie polmonari (talcosi e silicosi). Laddove le analisi hanno evidenziato la presenza di amianto, anche in tracce, sovente sono state accertate patologie asbesto correlate.
Ricerche attuali nei prodotti per la cura personale, hanno mostrato una possibile associazione tra l'ingresso delle particelle nel sistema riproduttivo femminile e aumento del rischio di cancro ovarico. Per tale motivo nel 2024 lo IARC ha revisionato la classificazione del talco sul rischio oncologico nei seguenti gruppi:

- il talco contaminato da amianto resta classificato come *“cancerogeno per gli esseri umani”*, GRUPPO 1;
- il talco non contaminato da amianto è stato inserito nel gruppo 2A, sostanze *“probabilmente cancerogene”*.

Questi eventi hanno prima condotto a un drastico crollo e poi alla cessazione delle vendite di talco minerale in tutto il mondo (dal 2023 è stato sostituito con prodotti a base di amido di mais). I ricercatori riaffermano che l’insorgenza di patologie tumorali potrebbe essere legata ad amianto e quarzo presenti nella polvere; perciò, è fondamentale evitarne l'inspirazione negli ambienti di lavoro e per i consumatori, è invece congruo accertare origine e qualità dei prodotti.

Keywords: talco, miniere, prodotti per il corpo, tremolite, tossicologia.

Contatti: gianluca.pirani@isprambiente.it

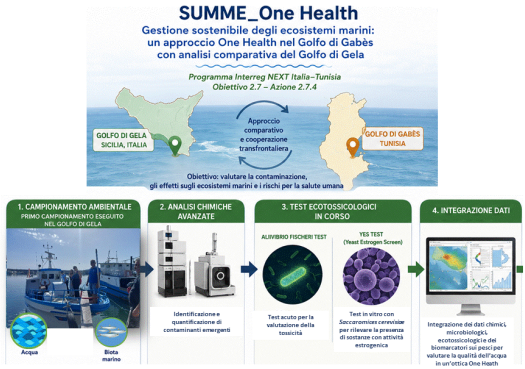
Monitoraggio di contaminanti e valutazione ecotossicologica nel Golfo di Gela: il progetto SUMME_One Health

***Anna Barra Caracciolo*[1], Paola Grenni[1], Livia Mariani[1], Alessandra Narciso[1], Luisa Patrolecco[2], Francesca Spataro[2], Aida Bradauskaite[3,4], Francesca Falco[4]**

[1]Istituto di Ricerca Sulle Acque, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Montelibretti, Roma, [2]Istituto di Scienze Polari, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Montelibretti, Roma, [3]Tate Scientific Research Institute Nature Research Centre Akademijos St. 2, Vilnius, [4]Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie Marine, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Mazara del Vallo, Sicilia.

Il Mar Mediterraneo rappresenta uno degli *hotspot* mondiali di biodiversità, ma è al tempo stesso uno degli ecosistemi marini più vulnerabile agli effetti delle pressioni antropiche. La presenza di contaminanti persistenti e l'immissione continua dai corsi d'acqua di quelli emergenti, costituisce una minaccia per la qualità degli ecosistemi costieri, con possibili ripercussioni sulla biodiversità, sulla sicurezza alimentare e sulla salute umana. In questo contesto, l'approccio *One Health* offre un modello integrato per comprendere le interazioni tra ambiente, fauna e salute dell'uomo, promuovendo strategie condivise di monitoraggio, prevenzione e mitigazione.
In questo scenario si inserisce il progetto *SUMME_One Health - Gestione sostenibile degli ecosistemi marini: un approccio One Health mirato all'analisi comparativa tra il Golfo di Gela e il Golfo di Gabès* - finanziato dal Programma *Interreg NEXT Italia-Tunisia*.
Le attività del progetto prevedono il monitoraggio di contaminanti normati ed emergenti mediante tecniche analitiche avanzate, la valutazione dei loro effetti ecotossicologici e l'analisi del potenziale rischio per gli ecosistemi marini e per la salute umana. Nell'ambito delle attività programmate è stato completato il primo campionamento ambientale nel Golfo di Gela, con prelievi di acqua e matrici biologiche destinate alle analisi suddette. Tra i saggi ecotossicologici utilizzati vi è il test con *Aliivibrio fischeri*, basato sulla misura dell'inibizione della bioluminescenza batterica, che consente una rapida valutazione della tossicità di miscele ambientali.

Parallelamente viene impiegato lo YES test (Yeast Estrogen Screen), un biosaggio in vitro che utilizza il lievito *Saccharomyces cerevisiae* geneticamente modificato per rilevare la presenza di sostanze chimiche con attività estrogenica, permettendo di individuare potenziali interferenti endocrini presenti nelle acque analizzate. Inoltre, sono previste analisi di biomarcatori e fisiologiche di fauna ittica marina per valutare risposte sub-letali degli organismi esposti ai contaminanti. Saranno analizzate attività enzimatiche legate a stress ossidativo e detossificazione, quali per es.CAT, SOD e GPx, insieme ai livelli di MDA. Saranno inoltre considerati effetti di interferenza endocrina tramite VTG, oltre a parametri morfologici e istologici come GSI e HSI. Specifici parametri plasmatici permetteranno di valutare lo stato fisiologico generale e il benessere degli organismi analizzati.
L'integrazione dei risultati delle analisi chimiche, dei test ecotossicologici e delle analisi dei biomarcatori consentirà di definire lo stato di qualità ambientale delle aree investigate, valutare la salubrità degli organismi presenti e destinati al consumo, nonché di valutare possibili rischi per l'uomo.



Keywords: biomarker; miscele; effetti acuti; effetti cronici; effetti sub-letali
Contatti: anna.barracaracciolo@cnr.it; livia.mariani@irsa.cnr.it, paola.grenni@cnr.it; luisa.patrolecco@cnr.it, francesca.spataro@cnr.it; aida.bradauskaite@gamtc.lt; francesca.falco@cnr.it

Approccio ecotossicologico per valutare la qualità di acque piovane raccolte da coperture di serre per un riutilizzo sostenibile a scopo irriguo

***Paola Grenni*[1], *Livia Mariani*[1], *Alessandra Narciso*[1], *Anna Barra Caracciolo*[1], *Marco Roverso*[2], *Silvia Pettenuzzo*[2], *Matteo Camporese*[3], *Daniele La Cecilia*[4]**

[1] Istituto di Ricerca Sulle Acque, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Montelibretti, Roma, [2] Dipartimento di Scienze Chimiche, Università di Padova, Padova, [3] Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Università di Padova, [4] Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari", Università di Modena e Reggio Emilia, Modena

Abstract

L'acqua dolce è una risorsa essenziale per gli ecosistemi e le attività umane, ma la crescente domanda e gli effetti del cambiamento climatico ne stanno riducendo la disponibilità. Secondo le stime, entro il 2050 le risorse idriche potrebbero non essere sufficienti a soddisfare il fabbisogno domestico, agricolo e produttivo di circa due terzi della popolazione mondiale.

In questo scenario, il recupero e utilizzo delle acque piovane a scopo irriguo rappresentano una strategia sostenibile per integrare le risorse idriche, in linea ai principi dell'economia circolare e agli Obiettivi dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite 6 (Acqua pulita e servizi igienico-sanitari) e 12 (Consumo e produzione responsabili). Questa strategia consente di limitare il ricorso alle risorse idriche potabili per usi non alimentari e di incrementare la sostenibilità della gestione delle risorse idriche. Tuttavia, il suo impiego può essere condizionato da criticità legate alla qualità della risorsa raccolta. L'acqua può infatti essere soggetta a contaminazione dovuta alle deposizioni atmosferiche, alle attività agricole e al contatto con i sistemi di captazione e stoccaggio (serbatoi e tubazioni). Inoltre, le coperture in PVC delle serre possono costituire una fonte di contaminazione delle acque piovane attraverso il rilascio di additivi chimici (es. ftalati e composti fenolici), nonché di microplastiche generate dalla degradazione e frammentazione del materiale esposto agli agenti atmosferici.

Il possibile utilizzo delle acque piovane raccolte in ambito agricolo a scopo irriguo richiede pertanto un approccio integrato, coerente con i principi *One Health*, che considera la stretta interconnessione tra salute umana, salute animale e tutela degli ecosistemi.

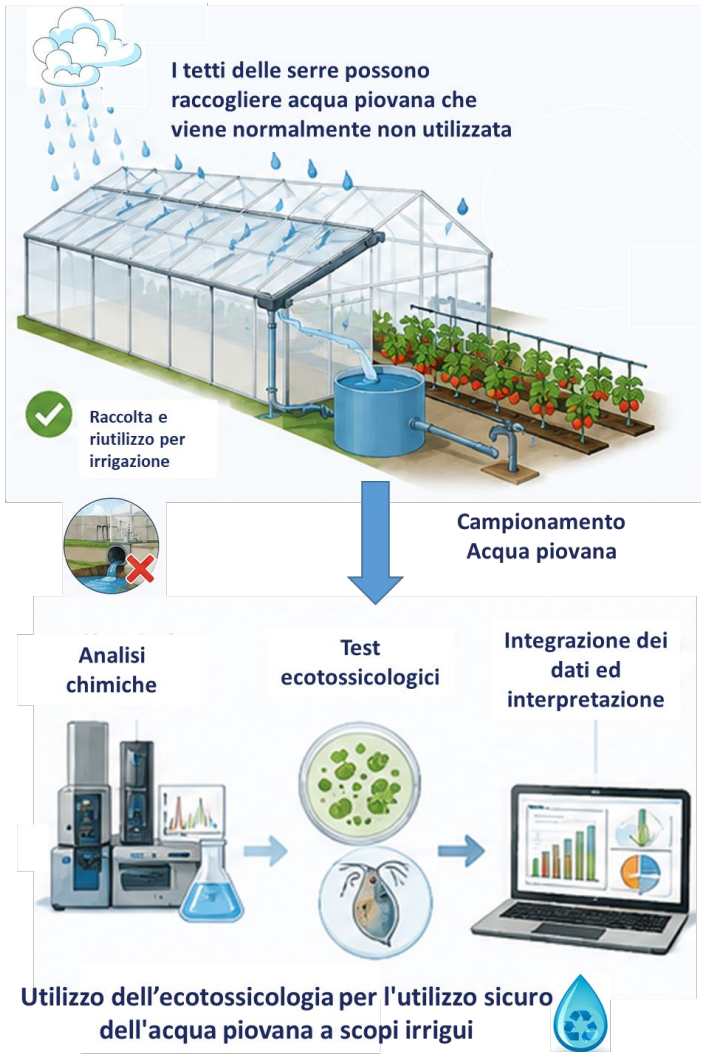


Figura 1. Sistema sostenibile di utilizzo di acqua piovana raccolta dai tetti delle serre a scopo irriguo e valutazione della sua qualità mediante analisi chimiche ed ecotossicologiche.

In questo contesto, i test ecotossicologici rappresentano uno strumento fondamentale, in quanto consentono di valutare i potenziali effetti della miscela di contaminanti presenti nelle acque, fornendo una valutazione complessiva e integrata che completa le informazioni ottenute dalle singole determinazioni analitiche.
Nell'ambito del progetto interdisciplinare "*Circular economy in protected agriculture to improve irrigation sustainability*" finanziato dalla TAUW Foundation, sono stati eseguiti test ecotossicologici acuti utilizzando organismi modello appartenenti a differenti livelli trofici (*Aliivibrio fischeri*, *Lepidium sativum* e *Daphnia magna*) per caratterizzare campioni di acqua piovana raccolti dai tetti di serre in PVC in tre aree agricole del Centro-Nord Italia, utilizzando come termine di confronto campioni raccolti in pieno campo. Per i campioni che hanno evidenziato effetti ecotossici è stata inoltre determinata la concentrazione di effetto (EC_{50}, concentrazione del campione in grado di sortire un effetto nel 50% degli organismi esposti). Quest'ultima quantifica il potenziale tossico dei campioni, fornendo una misura della risposta biologica utile per il confronto con i risultati dello screening dei contaminanti chimici, per esplorare eventuali correlazioni tra la presenza dei contaminanti e gli effetti ecotossici osservati. Questi risultati supportano la valutazione della qualità delle acque destinate all'irrigazione e contribuiscono alla comprensione del potenziale trasferimento dei contaminanti lungo la filiera agroalimentare.

Keywords: (5 keywords) One Health; Economia circolare; Saggi ecotossicologici; Miscela di contaminanti; Sostenibilità idrica

Contatti: paola.grenni@cnr.it , anna.barracaracciolo@cnr.it; livia.mariani@irsa.cnr.it, alessandra.narciso@irsa.cnr.it, marco.roverso@unipd.it, silvia.pettenuzzo@unipd.it, matteo.camporese@unipd.it, daniele.lacecilia@unimore.it

Dalla valutazione regolatoria alla classificazione armonizzata: gli interferenti endocrini tra REACH, BPR, PPP e CLP

Maria Vittoria Cangialosi, Emanuela Pace, Giuseppe Granato, Paolo Rossini, Simone Marzeddu, Dania Esposito.

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 n. 48, 00144 Roma, Italia.

Abstract

Gli interferenti endocrini rappresentano una priorità crescente nella regolamentazione europea delle sostanze chimiche, in quanto possono alterare il funzionamento del sistema ormonale e determinare effetti avversi sulla salute umana e sull'ambiente. Nell'ambito del Regolamento (CE) n. 1907/2006 (REACH, *Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals*), del Regolamento (UE) n. 528/2012 sui prodotti biocidi (BPR, *Biocidal Products Regulation*) e del Regolamento (CE) n. 1107/2009 relativo ai prodotti fitosanitari (PPP - *Plant Protection Products*), l'identificazione delle proprietà di interferenza endocrina costituisce uno strumento essenziale per orientare la gestione del rischio.

Tale processo assume oggi un rilievo ancora maggiore alla luce del Regolamento (CE) n. 1272/2008 (CLP, *Classification, Labelling and Packaging*), modificato dal Regolamento delegato (UE) 2023/707, che ha introdotto nuove classi di pericolo, tra cui quelle relative agli interferenti endocrini per la salute umana (ED HH) e per l'ambiente (ED ENV).

L'obiettivo della classificazione CLP è ricondurre le evidenze disponibili a un sistema armonizzato di classificazione, etichettatura e comunicazione del pericolo. Il raccordo tra le valutazioni ED già disponibili e la nuova classificazione CLP è particolarmente rilevante: le linee guida ECHA relative alle nuove classi di pericolo, chiariscono che le sostanze attive già valutate come interferenti endocrini nell'ambito delle procedure BPR e PPP, nonché le sostanze identificate come SVHC (Substances of Very High Concern) elencate in Candidate

list ai sensi del REACH a causa delle loro proprietà endocrine, dovrebbero essere assegnate alle categorie ED HH 1 o ED ENV 1 secondo il CLP.
L'introduzione delle classi CLP ED HH ed ED ENV rappresenta un cambio di paradigma: l'interferenza endocrina non è più soltanto un elemento di preoccupazione valutato caso per caso, ma diventa una classe di pericolo formalmente comunicabile lungo la catena di approvvigionamento. In questo lavoro sono stati analizzati i dati ECHA relativi agli interferenti endocrini già identificati (SVHC della *Candidate List*) o proposti come tali (*Endocrine Disruptor List*), nonché le sostanze identificate come interferenti endocrini nel processo valutativo dei prodotti biocidi e fitosanitari. L'obiettivo è quello di descrivere lo stato delle valutazioni, gli esiti regolatori e le principali famiglie chimiche coinvolte.
L'analisi evidenzia una prevalenza delle preoccupazioni ambientali rispetto a quelle riferite alla salute umana. Il carattere dinamico degli elenchi ECHA suggerisce che ulteriori sostanze potrebbero essere valutate in futuro come interferenti endocrini. In tale contesto, la *Candidate List* assume il ruolo di indicatore regolatorio avanzato, capace di anticipare futuri impatti su classificazione, etichettatura e strategie di sostituzione.

Keywords: distruttori endocrini, ECHA, CLP, REACH, valutazione.

Contatti: mariavittoria.cangialosi@isprambiente.it , emanuela.pace@isprambiente.it , giuseppe.granato@isprambiente.it paolo.rossini@isprambiente.it , simone.marzeddu@isprambiente.it , dania.esposito@isprambiente.it .

Criteri metodologici per la selezione dei pesticidi da monitorare nelle acque

***Emanuela Pace*[1], *Gianluca Maschio*[1]**

[1] *Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - ISPRA (speaker)*

Abstract

L'uso dei pesticidi in agricoltura può avere impatti rilevanti sull'ambiente, in particolare per la contaminazione delle acque superficiali e sotterranee. Il Sistema Nazionale a rete per la Protezione Ambientale (SNPA) conduce da anni attività di monitoraggio per valutare la qualità delle acque e i relativi rischi. Tali attività si inseriscono nel quadro normativo europeo e nazionale di protezione delle acque e di prevenzione dalla contaminazione da pesticidi, anche in attuazione del Piano di Azione Nazionale previsto dalla Direttiva 2009/128/CE sull'uso sostenibile dei pesticidi.

Il monitoraggio è complesso a causa della diffusione dell'uso dei pesticidi e dell'elevato numero di sostanze impiegate (circa 400), con conseguenti differenze significative nella pianificazione a livello regionale. Questo lavoro presenta la metodologia sviluppata dal SNPA per orientare e armonizzare la selezione dei pesticidi nei profili analitici regionali, attraverso criteri condivisi. L'approccio consente di definire una lista nazionale e liste regionali di sostanze prioritarie, selezionate in base al loro potenziale impatto sull'ambiente e sulla salute umana.

La selezione tiene conto di diversi fattori che influenzano la contaminazione delle acque: quantità utilizzate, evidenze di presenza nelle acque, comportamento ambientale e proprietà di pericolosità. In assenza di dati sui consumi reali, si utilizzano i dati di vendita come indicatore della pressione sul territorio. I dati di monitoraggio pregressi forniscono informazioni sulla capacità delle sostanze di contaminare le acque, mentre le proprietà chimico-fisiche e le caratteristiche territoriali ne condizionano il destino ambientale.

Mediante modelli previsionali è possibile stimare la distribuzione e la contaminazione ambientale.
Per la valutazione della pericolosità si considerano la classificazione armonizzata delle sostanze (pericolo ambientale e tossicità cronica per l'uomo, esposto indirettamente ai pesticidi attraverso l'ambiente), le proprietà così dette di "elevata preoccupazione" e la loro eventuale inclusione tra le sostanze "candidate alla sostituzione" secondo la normativa vigente in materia di pesticidi.

La metodologia prevede l'attribuzione di punteggi ai diversi criteri, ponderati in funzione della rilevanza degli impatti. Un processo articolato in due fasi consente di ottenere un punteggio finale e quindi una graduatoria di priorità. Le liste risultanti sono successivamente verificate sotto il profilo della fattibilità analitica, escludendo temporaneamente le sostanze non determinabili con le tecniche disponibili. Aggiornamenti periodici permetteranno di adeguare le liste all'evoluzione dei consumi e alle innovazioni tecnico-scientifiche.

L'adozione di criteri comuni migliora la confrontabilità dei dati tra regioni, rende più efficace il monitoraggio e contribuisce a una conoscenza più solida e realistica della contaminazione da pesticidi e della sua evoluzione nel tempo.

Keywords: contaminazione da pesticidi, uso sostenibile, monitoraggio, selezione di pesticidi, metodo multicriterio.

Contatti: emanuela.pace@isprambiente.it , gianluca.maschio@isprambiente.it

Portale Pesticidi ISPRA – Applicazioni WebGis per la consultazione dei livelli di contaminazione e la ricerca spaziale dei pesticidi nelle acque superficiali e sotterranee

Gianluca Maschio [1]

[1] *Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - ISPRA (speaker)*

Abstract

Al fine di gestire e divulgare la grande quantità di informazioni prodotte dall'attività di monitoraggio dei pesticidi svolta dalle Agenzie Regionali (ARPA) e Provinciali (APPA) per la protezione dell'ambiente, l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) ha sviluppato il Sistema Informativo Monitoraggio Pesticidi (SIMP). L'ISPRA elabora e valuta le informazioni relative all'anagrafica delle stazioni di monitoraggio e alle determinazioni analitiche effettuate. Gli esperti delle amministrazioni del Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), riuniti all'interno della Rete di Referenti tematica RR-TEM20, definiscono gli indirizzi tecnico-scientifici per la programmazione del monitoraggio.

Allo scopo di realizzare un'efficace divulgazione al pubblico dei risultati del monitoraggio nazionale dei pesticidi nelle acque interne, ISPRA ha realizzato un Portale aperto al pubblico. Nel Portale sono presenti diverse aree dedicate a: lettura ed acquisizione delle pubblicazioni ISPRA relative al monitoraggio dei pesticidi (AREA REPORT); visualizzazione dei grafici statistici (AREA ELABORATI STATISTICI); acquisizione dei dati vettoriali e della relativa simbologia delle stazioni di monitoraggio (AREA DOWNLOAD); visualizzazione e consultazione sulla mappa dei livelli di concentrazione dei pesticidi e ricerca dei pesticidi monitorati, inseriti nella banca dati pesticidi dell'ISPRA (AREA GEOPORTALE).

Nel portale pesticidi (AREA GEOPORTALE), sono contenute due applicazioni geospaziali che rappresentano un potente strumento di analisi territoriale dei pesticidi monitorati.

Le applicazioni “Livelli di concentrazione” e “Ricerca pesticidi” consentono di visualizzare sulla mappa i risultati delle procedure informatiche basate sul confronto delle concentrazioni medie dei pesticidi con i limiti di legge. Il confronto delle concentrazioni rilevate con i limiti stabiliti dalle norme fornisce indicazioni sullo stato di contaminazione delle acque. I limiti normativi sono stati stabiliti a livello europeo e nazionale e sono definiti Standard di Qualità Ambientale (SQA).
Gli esperti ISPRA hanno realizzato una complessa procedura di elaborazione dati finalizzata al calcolo dei livelli di concentrazione nei punti di monitoraggio.
Nell’ interfaccia grafica delle due applicazioni sono presenti strumenti di navigazione e di analisi, l'area centrale dell’ambiente visivo è dedicata alla visualizzazione della mappa interattiva. L’utente attraverso un filtro di selezione, disponile in entrambe le applicazioni, può effettuare ricerche per: anno; regione; comune; codice stazione; sostanza d’interesse; livello di concentrazione del pesticida considerato. I risultati della *query* di selezione sono visualizzati sulla mappa (*layer* dei livelli di concentrazione) e le informazioni alfa-numeriche sono consultabili nella tabella degli attributi.
Nell’applicazione “Livelli di concentrazione” sono stati inseriti strumenti che consentono un’analisi di confronto tra il *layer* dei livelli di concentrazione e gli strati informativi riferiti a diversi tematismi e fenomeni ambientali: alluvioni, siti minerari; zone a rischio frane; aree protette; copertura e uso del territorio (*Corine Land Cover*).

Keywords: Livelli di concentrazione, monitoraggio pesticidi, strato informativo, procedura di elaborazione, limiti normativi.

Contatti: gianluca.maschio@isprambiente.it

Le misure di restrizione ai sensi del Regolamento REACH per la gestione del rischio correlato all'uso del piombo: dalla valutazione tecnica alla proporzionalità regolatoria

Fortunata Barone[1]

[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

Le misure di restrizione ai sensi del Regolamento (CE) n. 1907/2006 (REACH) per la gestione del rischio associato all'uso del piombo rappresentano uno degli ambiti più significativi dell'evoluzione della normativa europea in materia di sostanze chimiche, in coerenza con gli obiettivi di tutela della salute umana e dell'ambiente.

Il piombo è una sostanza di forte interesse regolatorio che presenta un profilo di pericolosità elevato, con ricadute significative sulla salute umana e sull'ambiente. Ai sensi del Regolamento REACH, il piombo è considerato una sostanza estremamente preoccupante (SVHC - *Substance of Very High Concern*) per le sue proprietà di tossicità per la riproduzione, cui si aggiungono effetti avversi sul sistema neurologico e cardiovascolare, documentati anche a bassi livelli di esposizione, in particolare in gruppi vulnerabili della popolazione. Recentemente, inoltre, per il piombo è stata introdotta, ai sensi del Reg. delegato (UE) 2024/197, una nuova classificazione armonizzata di pericolosità ambientale, che distingue le diverse forme fisiche del metallo (polvere di piombo e piombo massivo) in funzione delle relative caratteristiche di tossicità per gli organismi acquatici.

Pertanto, il quadro regolatorio europeo si è progressivamente consolidato attraverso un rafforzamento delle limitazioni all'immissione sul mercato e all'uso del piombo e dei suoi composti in determinate categorie di prodotti, introducendo limiti più stringenti di esposizione.

In tale contesto, il presente contributo fornisce un'analisi integrata delle misure di restrizione in ambito REACH per la riduzione dei livelli

esposizione correlati all'uso del piombo, proponendo uno studio comparativo dei processi di restrizione che recentemente hanno rappresentato i principali interventi regolatori di modifica alla voce 63 dell'Allegato XVII del Regolamento REACH, con riferimento ai procedimenti riguardanti l'uso del piombo nelle munizioni per la caccia e il tiro sportivo, nelle attrezzature da pesca e nel PVC riciclato, con l'obiettivo di ricostruire il percorso di restrizione dalla valutazione tecnica alla decisione finale e di individuarne le implicazioni in termini di proporzionalità regolatoria ed efficacia di riduzione del rischio.
Attraverso un'analisi comparativa dei procedimenti di restrizione per l'uso del piombo, sviluppati nel periodo 2021-2026, il lavoro evidenzia come la definizione delle misure di restrizione deriva dal bilanciamento tra efficacia nella riduzione del rischio, fattibilità tecnica, impatti socioeconomici e proporzionalità regolatoria.
Il contributo propone inoltre informazioni e riflessioni utili a chi opera nella consultazione e valutazione tecnica di dossier regolatori, come quelli definiti nel contesto delle procedure di restrizione REACH, evidenziando il ruolo della valutazione tecnica quale attività continua anche dopo l'adozione dei regolamenti, a supporto della verifica dell'efficacia applicativa, della proporzionalità degli interventi e del perseguimento degli obiettivi di tutela sanitaria e ambientale.
Il caso del piombo costituisce un esempio paradigmatico di gestione del rischio chimico, nel quale la revisione dei limiti di esposizione, l'aggiornamento delle classificazioni di pericolo e l'introduzione di misure restrittive settoriali costituiscono strumenti chiave di analisi per la valutazione dell'efficacia degli interventi normativi nella riduzione del rischio sanitario e ambientale.

Keywords: Registration, Evaluation, Authorization and restriction of Chemicals (REACH); piombo; valutazione del rischio; restrizione; *Substance of Very High Concern* (SVHC).

Contatti: fortunata.barone@isprambiente.it

Siti orfani e paleo-cave: approccio multidisciplinareper la rimozione della sorgente primaria nel sito Ex Opificio I.A.O.

V. Specchio[1], G. Intini[2], E. Brugiotti[3], M. Dibisceglia[2],M. Bellofatto[2],C. Deflorio[2], M. Palumbo,

[1] AquaNumerica spin-off of the Polytechnic University of Bari ,
[2] T&A Tecnologia e Ambiente,
[3] Libero Professionista
[4] Comune di Troia.

Abstract
Il contributo illustra l'approccio multidisciplinare adottato per la ricostruzione dell'assetto morfostrutturale residuo e per la progettazione degli interventi di messa in sicurezza di emergenza del sito orfano denominato "Ex Opificio I.A.O. S.r.l. – Lotto 2.A", ubicato in località Giardinetto – Montecalvello, nel Comune di Troia (FG).
L'intervento rientra nell'ambito del PNRR – Missione 2, Componente 4, Investimento 3.4 "Bonifica del suolo dei siti orfani" ed è finalizzato alla rimozione della sorgente primaria di contaminazione costituita da rifiuti interrati, alla caratterizzazione delle matrici ambientali, alla predisposizione dell'analisi di rischio e alla successiva progettazione degli interventi di bonifica e ripristino ambientale.
Il sito si sviluppa al piede di un versante collinare, in una fascia di raccordo tra il medio-basso versante e il fondovalle, all'interno di un contesto fortemente modificato da pregresse attività estrattive connesse alla coltivazione di argille per la produzione di laterizi. La successiva riconversione e l'utilizzo improprio di porzioni dell'area come ambiti di deposito hanno determinato il riempimento irregolare di paleo-sezioni di cava con rifiuti speciali, in assenza di una compiuta cartografia storica dei volumi e delle geometrie di colmamento. Tale complessità ha imposto la necessità di definire un modello conoscitivo integrato, fondato sulla correlazione tra indagini geofisiche, geognostiche, ambientali, geotecniche e litostrutturali. Le verifiche dirette mediante perforazioni e campionamenti sono state precedute e supportate da campagne indirette finalizzate a investigare areali estesi, riconoscere variazioni laterali dei materiali di riporto,

discontinuità fisiche riconducibili a corpi di rifiuto interrati, variazioni di spessore degli orizzonti antropici, zone di accumulo preferenziale e possibili ambiti di maggiore criticità ambientale.
I sondaggi ambientali sono stati spinti fino all'intercettazione del substrato argilloso naturale, consentendo di distinguere gli orizzonti di riempimento antropico, i livelli di contatto tra rifiuti e fondo cava alterato, nonché il substrato di base. Tale impostazione ha permesso di affinare la stima dei volumi da asportare, elemento decisivo sia sotto il profilo tecnico-operativo sia sotto quello economico, considerata l'elevata incidenza dei costi di conferimento dei rifiuti pericolosi sul quadro finanziario complessivo dell'intervento. La progettazione esecutiva ha quindi previsto un'organizzazione per fasi, comprendente l'allestimento del cantiere, la rimozione controllata delle pavimentazioni e delle strutture interferenti, lo scavo dei rifiuti interrati, il deposito temporaneo in baie dedicate, la caratterizzazione e omologa dei materiali, il trasporto presso impianti autorizzati, la verifica ambientale dei fondi scavo e la riconfigurazione morfologica finale mediante materiali naturali non contaminati. Particolare attenzione è stata posta alla gestione separata dei flussi di materiali, alla raccolta delle acque meteoriche e di contatto, alla prevenzione della contaminazione secondaria e al monitoraggio delle componenti ambientali potenzialmente interferite dalle attività di cantiere. L'esperienza rappresenta un caso applicativo significativo in cui la conoscenza geologico-morfostrutturale del sito diventa presupposto essenziale per la corretta progettazione della bonifica, consentendo di coniugare rimozione della sorgente primaria, sostenibilità tecnica dell'intervento, sicurezza operativa e recupero morfologico di un'area industriale dismessa.

Keywords: siti orfani; paleo-cava; messa in sicurezza di emergenza; rifiuti interrati; modello morfostrutturale.

Contatti: ti: specchio@aquanumerica.it
,g.intini@tecnologiaeambientesrl.com, enrico.brugiotti@gmail.com,
m.dibisceglia@tecnologiaeambientesrl.com,
m.bellofatto@tecnologiaeambientesrl.com,
c.deflorio@tecnologiaeambientesrl.com, utc@comune.troia.fg.it

Allineamento degli indicatori nazionali delle sostanze chimiche con il nuovo quadro europeo EEA/ECHA

Fortunata Barone[1], Maria Vittoria Cangialosi[1], Marco Capolupo[1], Dania Esposito[1], Alessandra Galosi[2], Giuseppe Granato[1], Angelo Marini[1], Simone Marzeddu[1], Gianluca Maschio[1], Emanuela Pace[1], Emiliano Panieri[1], Paolo Rossini[1], Matteo Ventura[1], Anton Vremere[1]

[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), Via Vitaliano Brancati n. 48, 00144 Roma, Italia.
[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), Via Vitaliano Brancati n. 48, 00144 Roma, Italia.

Abstract
La Strategia dell'Unione Europea in materia di sostanze chimiche per la sostenibilità verso un ambiente privo di sostanze tossiche stabilisce un approccio strategico a lungo termine per proteggere la salute umana e l'ambiente dai rischi chimici. Per monitorare i progressi e misurare l'efficacia della legislazione sulle sostanze chimiche, l'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA), in sinergia con l'Agenzia Europea delle Sostanze Chimiche (ECHA), hanno recentemente sviluppato il report "*EU indicator framework for chemicals*" (Rapporto EEA 02/2024), che comprende 25 indicatori e 23 segnali strutturati secondo gli elementi della gerarchia di misure per l'eliminazione delle sostanze tossiche, come descritte nella "*Strategia UE in materia di sostanze chimiche per un ambiente sostenibile e privo di sostanze tossiche*", ovvero: sostanze chimiche sicure e sostenibili, riduzione e gestione del rischio, eliminazione e riduzione dell'inquinamento.
In questo contesto, la Sezione Sostanze Pericolose dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) implementerà un'attività di allineamento istituzionale e popolamento della Banca Dati degli Indicatori Ambientali di ISPRA. L'obiettivo primario sarà quello di integrare gli indicatori nazionali con il quadro europeo di recente istituzione, garantendo la coerenza scientifica e

l'armonizzazione della rendicontazione tra la dashboard europea e il territorio italiano.
Il progetto sarà eseguito attraverso un flusso di lavoro strutturato in più fasi. Una fase preliminare di *scoping* identificherà gli indicatori nazionali esistenti nella banca dati ISPRA corrispondenti al quadro europeo, concentrandosi principalmente su quelli relativi all'eliminazione delle sostanze pericolose e al risanamento dell'inquinamento. Successivamente, il processo operativo comporterà l'analisi degli indicatori sulla dashboard europea, la verifica della pertinenza e dell'affidabilità delle fonti di dati nazionali, l'identificazione di dataset alternativi per colmare le lacune informative e l'elaborazione dei dati secondo protocolli metodologici standardizzati.
Gli indicatori allineati saranno raccolti in schede tecniche complete, composte da una Sezione Metadati e una Sezione Dati, in collaborazione con il Servizio per l'informazione, le statistiche ed il reporting sullo stato dell'ambiente (DG-STAT).
Sarà assegnata la priorità a un primo pacchetto di indicatori — riguardanti la conformità nell'applicazione dei regolamenti REACH/CLP, le tendenze di mercato delle sostanze preoccupanti ed esposizioni pericolose — da preparare per il rilascio iniziale di un primo set di indicatori prioritari entro dicembre 2026. Questo allineamento rappresenterà un progresso significativo per la rendicontazione ambientale nazionale, evolvendo verso una banca dati dinamica a supporto di politiche pubbliche basate sulle evidenze e in grado di rispondere ai requisiti normativi.

Keywords: Indicatori ambientali, ISPRA, Quadro Europeo, Sostanze chimiche, Monitoraggio ambientale

Contatti: dg-tec-sost@isprambiente.it, alessandra.galosi@isprambiente.it

V. L’Osservazione della terra per la tutela dell'ambiente e le nuove frontiere dello spazio

Il programma IRIDE per la tutela dell'ambiente

***Laura Candela*[1], *Simona Zoffoli*[1], *Silvia Natalucci*[1], *Francesco Longo*[1]**

[1] *Agenzia Spaziale Italiana (ASI)*

Abstract

Finanziato per quasi 1,1 M€ con le risorse del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) e del Piano Nazionale Complementare (PNC), IRIDE è un sistema spaziale end-to-end che intende trasformare i dati satellitari di Osservazione della Terra (EO) in servizi geospaziali operativi a supporto delle decisioni pubbliche e dello sviluppo economico dell'Italia.

Il programma IRIDE sta sviluppando un sistema nazionale di EO che integra sei costellazioni satellitari, infrastrutture di terra, una piattaforma digitale dedicata alla distribuzione di dati e prodotti e un ricco portafoglio di servizi geospaziali. L'Agenzia Spaziale Europea (ESA) gestisce l'implementazione del progetto per poi passare all'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) la proprietà dell'infrastruttura e la responsabilità della gestione operativa delle costellazioni, delle infrastrutture di terra e del Segmento Servizi.

Volto a rafforzare le capacità di osservazione della Terra del Paese a supporto del monitoraggio ambientale e della tutela dell'ambiente, della gestione delle emergenze, della sicurezza e della gestione delle risorse, IRIDE si basa su sei costellazioni di satelliti che comprendono, a regime, 68 satelliti dotati di diversi sensori - SAR, ottici, pancromatici, iperspettrali e infrarossi - che coprono l'intero spettro elettromagnetico e acquisiranno con regolarità e alta frequenza temporale dati sull'Italia, sul Mediterraneo e su tutta la superficie terrestre.

Il marketplace digitale di IRIDE intende essere il punto di accesso unico, affidabile e cyber-protetto per tutti gli utenti, istituzioni e operatori commerciali sia ai dati acquisiti dai satelliti della costellazione sia ai prodotti geospaziali ottenuti trasformando i dati EO in un patrimonio di informazioni e dati analitici utili in vari ambiti applicativi di uso quotidiano. La piattaforma integra tecnologie avanzate e standard aperti, garantendo l'interoperabilità con i sistemi di gestione, elaborazione, condivisione e analisi dei dati degli utenti.

La costellazione, in sinergia con gli altri sistemi spaziali nazionali ed europei, è stata concepita per rispondere ai bisogni informativi in primo luogo delle Amministrazioni Pubbliche, quali enti che si occupano di monitoraggio ambientale, di pianificazione territoriale, di Protezione Civile.
L'offerta di prodotti geospaziali è stata articolata in 8 macro-servizi relativi al monitoraggio marino e costiero, alla qualità dell'aria, al monitoraggio dei movimenti del terreno, alla copertura del suolo, all'idro meteo clima, al monitoraggio delle risorse idriche, alla gestione delle emergenze e alla sicurezza.
I servizi IRIDE sono in grado di offrire degli strumenti unici per il monitoraggio e la tutela dell'ambiente, grazie alle eccezionali capacità operative dei satelliti della costellazione e alle potenzialità del marketplace per lo user uptake.

IRIDE costituisce oggi uno dei programmi europei più avanzati nel settore dell'Osservazione della Terra. IRIDE conferma il ruolo centrale dell'Italia nello sviluppo di capacità avanzate di osservazione della Terra dell'Italia, rafforza la competitività industriale e tecnologica del Paese e contribuisce a dotare il Paese di strumenti sempre più autonomi e strategici per la gestione e la tutela del proprio territorio.

Keywords: IRIDE, Osservazione della Terra, Servizi geospaziali, Ambiente e territorio, Protezione civile

Contatti: laura.candela@asi.it, simona.zoffoli@asi.it, silvia.natalucci@asi.it, francesco.longo@asi.it

Il Progetto IMPEL "Geospatial Intelligence for Environmental Compliance" (GIECA)

***Laura Calcagni*[1], *Federico Filipponi*[2], *Antonio Guariniello*[1], *Paolo Rinaldi*[1]**

[1] *ISPRA,* [2] *CNR*

Abstract

Nell'edizione Remtech 2025 abbiamo presentato il progetto Geospatial Intelligence for Environmental Compliance Assurance (GIECA) che ha trovato spazio nell'ambito delle attività promosse da IMPEL (European Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law). L'iniziativa mira a promuovere l'uso di tecniche di Geospatial Intelligence (GEOINT), nell'ambito del contrasto ai reati ambientali.

Il confronto multidisciplinare tra esperti di IMPEL, dell'European Union Forum of Judges for the Environment (EUFJE) e dell'European Network of Prosecutors for the Environment (ENPE) ha individuato le sfide principali che incidono sull'uso operativo della GEOINT.

La scelta della tecnologia da utilizzare per la identificazione di un potenziale "crimine contro l'ambiente" varia ovviamente da caso a caso in funzione della violazione che si intende contrastare e da molteplici condizioni al contorno. Tuttavia, è necessario che siano attentamente valutati due aspetti che risultano imprescindibili.

Il primo aspetto è quello relativo alla "liceità dell'acquisizione dei dati". Nel giudizio penale, infatti, non sono ammesse le prove acquisite in violazione dei divieti di legge e, parimenti, i provvedimenti amministrativi fondati su telerilevamenti illeciti sono annullabili a seguito di ricorso amministrativo. Nell'utilizzo delle GEOINT bisogna quindi garantire la "compliance" (o conformità normativa) alle norme applicabili nell'intero processo di acquisizione, elaborazione e restituzione dei dati. Per l'acquisizione di dati mediante l'utilizzo dei droni, per esempio, si possono citare il Regolamento di Esecuzione (UE) 2019/947 che disciplina l'utilizzo dei droni (UAS) in tutta Europa e il Regolamento UE 2016/679 (**GDPR** (*General Data Protection Regulation*), che è la normativa fondamentale dell'Unione Europea in materia di protezione e trattamento dei dati personali.

Il secondo aspetto da valutare è l'efficacia probatoria del dato

acquisito con gli strumenti della GEOINT nel giudizio ossia l'idoneità a giustificare e motivare eventuali provvedimenti amministrativi. L'efficacia di una prova si fonda sulla garanzia della sua integrità, sulla sua ripetibilità (ove possibile) e sulla evidenza che è in grado di mostrare.
Il progetto sta sviluppando una serie di strumenti e procedure pratici per supportare un utilizzo del GEOINT conforme alla normativa ed efficace sul piano operativo. Tra questi figurano una procedura operativa standard per la raccolta, l'elaborazione e la reportistica dei dati, tabelle riepilogative multilivello per la selezione dei dataset geospaziali più idonei in base alle esigenze investigative, nonché un modello di relazione sull'esame del caso, concepito per agevolare la comunicazione delle evidenze geospaziali tra ispettori, pubblici ministeri e giudici.
L'obiettivo ultimo del progetto GIECA è l'elaborazione di linee guida che possano essere di supporto per tutti gli operatori coinvolti al fine di poter seguire procedure di utilizzo delle GEOINT che possano rispettare i criteri di liceità e di efficacia e l'individuazione di un quadro di riferimento chiaramente definito, essenziale per garantire la rappresentatività degli output proposti.

Keywords: (5 keywords): geospatial intelligence, reati ambientali, IMPEL, GIECA, "environmental compliance assurance".

Contatti: laura.calcagni@isprambiente.it, federico.filipponi@cnr.it, paolo.rinaldi@isprambiente.it.

IRIDE Service Segment 2 - Servizi operativi e applicazioni

***Chiara Perna*[1], *Leonardo Bagaglini*[2], *Marco Corsi*[2]**

[1]e-GEOS SpA (speaker), [2]e-GEOS SpA

Abstract

Sviluppato nell'ambito dell'intesa tra il Governo Italiano ed ESA a valere sui fondi PNRR/PNC, il programma IRIDE rappresenta l'iniziativa strategica nazionale volta a realizzare un sistema spaziale end-to-end di Osservazione della Terra, che copre l'intera catena del valore: upstream, midstream e downstream.

L'architettura del sistema si articola in diversi segmenti operativi: il Flight Operations System (FOS), Configuration Management Planning & Management (CMP&M), Payload Data Ground Segment (PDGS) MarketPlace (MKTPL) e IRIDE Service Segment (ISS), che, a sua volta, si suddivide in Service Segment 1 e 2.

Il Service Segment 2 (ISS2) costituisce il nucleo operativo dedicato all'erogazione, gestione e manutenzione di tre domini tematici:

- **S3 Ground Motion**
- **S7 Emergency**
- **S8 Security**

Il dominio Ground Motion del Service Segment di IRIDE fornisce servizi geospaziali per il monitoraggio del territorio e l'analisi delle dinamiche della copertura e dell'uso del suolo a diverse scale (nazionale, regionale, locale e di singola parcella). Attraverso dati satellitari, supporta applicazioni in ambito ambiente, gestione forestale e agricoltura, includendo il monitoraggio del consumo di suolo, degli habitat naturali, delle aree forestali, degli incendi, dello stato delle colture e delle risorse idriche, a supporto della gestione sostenibile del territorio. I servizi associati al dominio hanno un approccio di acquisizione dati ed erogazione su base sistematica.

Il dominio Emergency del Service Segment di IRIDE fornisce servizi geospaziali a supporto delle autorità competenti nella gestione di

emergenze naturali e antropiche, quali terremoti, alluvioni, incendi, frane, eventi meteorologici estremi e disastri ambientali. Le informazioni satellitari elaborate consentono l'individuazione delle aree colpite, il supporto alle attività operative sul campo e una prima valutazione dell'estensione dei danni. Per la natura stessa del dominio, i servizi associati hanno un approccio di acquisizione dati ed erogazione "a richiesta".

Il dominio Security del Service Segment di IRIDE fornisce servizi geospaziali per la sorveglianza del territorio nazionale e delle frontiere terrestri e marittime dell'Unione Europea, nonché per il monitoraggio di infrastrutture critiche e aree di interesse. Le informazioni satellitari supportano le autorità competenti nel contrasto ad attività illegali e fenomeni ambientali critici, sia terrestri sia marittimi. I servizi associati al dominio un approccio di acquisizione dati ed erogazione "a richiesta".

Keywords: IRIDE, Service Segment 2, Ground Motion, Emergency, Security, Servizi Geospaziali, Osservazione della Terra.

Contatti: chiara.perna@e-geos.it, leonardo.bagaglini@e-geos.it , *marco.corsi@e-geos.it*

Near-Space come Risorsa: le Piattaforme Stratosferiche per l'Osservazione della Terra e le Nuove Frontiere dell'Economia Spaziale

***Matteo Bonissi*[1], *Lisa Petroni*[2]**

[1] Business Development and Grants, Involve Space S.r.l. (speaker), [2]Master di 2° Livello in Finanziamenti agevolati alle imprese e autoimprenditorialità, Università degli Studi Niccolò Cusano

Abstract

Con la crescente domanda di dati ambientali tempestivi e ad alta risoluzione, alimentata dai cambiamenti climatici, dalla degradazione degli ecosistemi e dalla complessità crescente della gestione del territorio e delle risorse, il settore spaziale è chiamato a offrire capacità di osservazione più flessibili, economicamente accessibili e rapidamente dispiegabili.

Sebbene i sistemi satellitari orbitali rimangano la spina dorsale dell'infrastruttura globale di osservazione della Terra, uno strato complementare e largamente sottoutilizzato sta emergendo al confine tra atmosfera e spazio con i sistemi di piattaforme ad alta quota (HAPS), e in particolare i palloni stratosferici.

Questo paper sostiene che le piattaforme stratosferiche basate su palloni rappresentano uno strumento strutturalmente distinto e ambientalmente rilevante per l'osservazione della Terra, offrendo capacità che sono per molti aspetti superiori o complementari a quelle dei sistemi satellitari convenzionali.

Operando a quote comprese tra i 20 e i 40 chilometri, i palloni stratosferici possono trasportare payload ottici, termici, multispettrali e per il rilevamento atmosferico a una frazione del costo del lancio orbitale. La loro quota ridotta rispetto ai satelliti si traduce in una maggiore risoluzione spaziale a parità di caratteristiche del sensore, in tempi di stazionamento prolungati sulle aree di interesse e nella possibilità di essere dispiegati più rapidamente rispetto ai satelliti, caratteristiche particolarmente preziose per applicazioni di monitoraggio ambientale quali il rilevamento di variazioni nell'uso del suolo, la mappatura di incendi e alluvioni, il monitoraggio della qualità dell'aria e la valutazione della biodiversità.

Al di là delle pure capacità osservative, le piattaforme stratosferiche offrono una combinazione unica di caratteristiche operative con implicazioni dirette per la risposta ambientale: tempi di dispiegamento rapidi, misurabili in settimane dalla firma del contratto al lancio, piena recuperabilità del payload con conseguente riutilizzo degli strumenti e miglioramento iterativo, e un'impronta di emissioni significativamente inferiore rispetto ai sistemi di lancio orbitali.
Attingendo all'esperienza operativa di Involve Space Srl, PMI italiana che progetta, costruisce e lancia piattaforme stratosferiche, questo studio presenta esempi concreti di missioni di monitoraggio ambientale e voli di validazione tecnica condotti a quote stratosferiche. Esplora inoltre come l'infrastruttura near-space possa fungere da ponte tra le reti di monitoraggio a terra e i sistemi orbitali di osservazione della Terra, colmando lacune temporali e spaziali critiche nella copertura dei dati ambientali.
Il paper si conclude discutendo il ruolo delle piattaforme stratosferiche nell'economia spaziale più ampia, sostenendo che la loro accessibilità (in particolare per le PMI, gli istituti di ricerca e le agenzie pubbliche) le posiziona come tecnologia democratizzante per l'osservazione della Terra, con implicazioni significative per la governance ambientale, le politiche climatiche e la sostenibilità a lungo termine delle infrastrutture di monitoraggio.

Keywords: HAPS; Monitoraggio ambientale; Piattaforme Stratosferiche; Cambiamento climatico; Stratosfera

Contatti: matteobonissiautore@gmail.com, lisa.petroni@outlook.com

Insula: la piattaforma cloud per il monitoraggio ambientale operativo tramite dati telerilevati

***Jean Pascal Iannacone*[1], *Sara Romagnoli*[1], *Gianluca Brunelli*[1]**

[1] *CGI Italia)*

Abstract

Insula è una piattaforma cloud operativa per l'elaborazione scalabile dei dati di osservazione della Terra (EO), sviluppata da CGI Italia per abilitare il monitoraggio ambientale sistematico e la gestione sostenibile dei territori. La piattaforma integra molteplici processori EO specializzati, trasformando i dati di immagini satellitari, come Sentinel di Copernicus, in informazioni operative accessibili ad agenzie ambientali, autorità di controllo e amministrazioni pubbliche.

Questo contributo presenta tre servizi operativi di monitoraggio ambientali implementati in Insula. Il macro-servizio di Monitoraggio della Qualità dell'Acqua, ulteriormente diviso tra ambiente marino e corpi idrici interni (fiumi, laghi), utilizza dati Sentinel e workflow di algoritmi bio-ottici. Il servizio elabora sistematicamente acquisizioni satellitari, includendo prodotti a super-risoluzione (5 m) generati in Insula, per derivare indicatori quantitativi di qualità (clorofilla, torbidità, proxy di fitoplancton). La piattaforma abilita analisi multi-temporali di rilevamento di anomalie di qualità delle acque. La validazione su eventi inquinanti documentati (es. fiume Oder 2022) dimostra la capacità di caratterizzare disturbi localizzati e la loro evoluzione spaziale. Il servizio di Rilevamento dell'Applicazione di Fertilizzanti Azotati identifica sistematicamente l'applicazione di fertilizzanti azotati tramite elaborazione continua di Sentinel-2. Il servizio supporta le normative sulla gestione dell'azoto, fornendo evidenze di utilizzo dei fertilizzanti su larga scala senza la necessità di svolgere ispezioni di campo. Integrando i risultati con layer di vincoli ambientali e aree protette, le autorità di controllo possono identificare hotspot di non conformità, ottimizzare le risorse di controllo e passare da un monitoraggio reattivo a un monitoraggio proattivo basato su evidenze.

Insula democratizza l'accesso a capacità EO avanzate attraverso cloud computing, interfacce intuitive, visualizzazione interattiva dei dati, download diretti e integrazione con dataset ambientali e amministrativi. Grazie alla configurazione di soglie di allerta

personalizzabili, essa si trasforma in uno strumento operazionale concreto per la gestione proattiva dei rischi ambientali. I servizi implementati rappresentano un modello trasferibile per convertire l'Osservazione della Terra in informazioni a supporto di decisioni per la tutela ambientale, il monitoraggio della conformità normativa e la gestione sostenibile del territorio.

Keywords: (Osservazione della Terra da satellite, Monitoraggio Continuo, Qualità dell'acqua, Torbidità, Cloud Computing)

Contatti: jeanpascal.iannacone@cgi.com

Monitoraggio post-incendio mediante dati Sentinel-2 e QGIS, applicazioni per lo studio di una pineta nella provincia di Taranto

Ciro Galeone[1]

[1] *Politecnico di Bari - Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica.*

Abstract

I cambiamenti climatici in atto rappresentano la più grande sfida per l'umanità, poiché le variazioni che stanno interessando il globo impattano sugli ecosistemi e di conseguenza sulla vita di tutti noi. L'aumento globale delle temperature porta con sé un notevole incremento del numero degli incendi e, in tal senso, prevederne tempestivamente gli effetti, oltre che stimare nel più breve tempo possibile i danni prodotti da un evento incendiario o lo stato di ripresa degli ecosistemi danneggiati, risulta di strategica rilevanza. A tal riguardo, il monitoraggio da remoto attraverso dati satellitari è una delle metodologie maggiormente utilizzata, sia in ambito di ricerca che, a livello istituzionale, dagli Enti Competenti. Difatti, sono numerose le applicazioni del *remote sensing* riscontrate in bibliografia per lo studio degli incendi e dei loro effetti sugli ecosistemi forestali; d'altronde la stessa Comunità Europea monitora questi eventi con dati satellitari acquisiti mediante il Programma *Copernicus*. Partendo da tali presupposti e sfruttando la mole di informazioni desumibile da questi dati, attraverso il calcolo di indici vegetazionali è possibile valutare sia lo stato di salute degli ecosistemi interessati dagli incendi, sia la gravità e la pericolosità di tali eventi. Nel caso studio esaminato, a seguito di una accurata analisi della letteratura scientifica inerente all'argomento, si è scelto di utilizzare tre indici vegetazionali (NDVI, MSAVI2 e NBR) per quantificare l'effettiva gravità di un incendio che ha interessato nel 2021 una pineta di Pino d'Aleppo in Provincia di Taranto, nel Sud Italia, al fine di valutare anche lo stato di ripresa dell'ecosistema forestale danneggiato dall'evento. Utilizzando dati satellitari gratuiti (immagini Sentinel-2) e *software open source* (QGIS) è stata effettuata un'analisi multitemporale (dal 2021 al 2025) dei cambiamenti occorsi ai diversi indici e sono state confrontate le loro

classificazioni, per valutare in maniera integrata i risultati ottenuti. Mediante tecniche di *change detection* sono state prodotte diverse "mappe dei cambiamenti", dalla cui interpretazione è stato possibile stimare la gravità dell'evento e lo stato di rigenerazione in atto nell'area interessata. Pertanto, lo studio ha messo in evidenza le potenzialità e l'affidabilità di tali applicazioni anche per le Pubbliche Amministrazioni, in termini di pianificazione degli interventi successivi ad un incendio, ponendo le basi per la futura implementazione della metodologia adottata con ulteriori tipologie di dati, anche puntuali e/o acquisiti direttamente in campo.

Keywords: (Sentinel-2, QGIS, indici vegetazionali, incendi, remote sensing)

Contatti: galeone.ciro@libero.it

I servizi tematici di IRIDE: un insieme di analytics a supporto del monitoraggio dell'ambiente

***Edouard Royer*[1], *Claudio La Mantia*[1], *Giulio Ceriola*[1],*Luca Demarchi*[1], *Mauro Casaburi*[1], *Silvia Salsone*[1], *Rocco Lusuriello*[1], *Andrea Borruso*[1], *Davide Passarelli*[1]**

[1] *Planetek Italia*

Abstract

Il programma IRIDE costituisce un'iniziativa senza precedenti per il rafforzamento delle capacità di Osservazione della Terra a supporto del monitoraggio ambientale. Cinque degli otto macro-servizi previsti sono dedicati rispettivamente al monitoraggio marino e costiero, alla qualità dell'aria, al territorio e alla copertura del suolo, all'idro-meteo-clima e alle risorse idriche.

Questi servizi sono in grado di offrire dei veri *analytics* geospaziali alle Pubbliche Amministrazioni (PA) italiane grazie all'approccio centrato sull'utente (*user-centered design*) implementato durante lo sviluppo.

Inoltre, per la prima volta viene realizzata una capacità operativa nazionale in grado di trasformare automaticamente dati di Osservazione della Terra in *analytics* e prodotti geospaziali tematici attraverso una piattaforma *cloud-based*, garantendone affidabilità, disponibilità e continuità operativa.

In questo modo, IRIDE trasforma i dati satellitari in prodotti e indicatori facilmente accessibili da amministrazioni pubbliche, enti di ricerca e aziende private, e quindi pronti per essere integrati nei loro processi decisionali.

I servizi coprono numerosi ambiti applicativi di interesse strategico per il Paese. Nell'ambiente marino e costiero consentono di monitorare la qualità delle acque, l'evoluzione delle coste, gli habitat marini e gli effetti degli eventi estremi. In ambito atmosferico, i prodotti supportano l'osservazione della qualità dell'aria e la valutazione degli inquinanti, contribuendo alla tutela della salute e dell'ambiente.

Particolare attenzione è dedicata al monitoraggio del territorio e degli ecosistemi. I servizi permettono di mappare e analizzare la copertura

e l'uso del suolo, il consumo di suolo, le aree urbane, le foreste, gli habitat naturali e le superfici agricole, fornendo strumenti fondamentali per la pianificazione sostenibile e la gestione delle risorse naturali. A questi si affiancano applicazioni dedicate al monitoraggio degli incendi boschivi, alla valutazione dello stato di salute delle foreste, alla stima dello stoccaggio del carbonio e alla conservazione della biodiversità.
IRIDE fornisce inoltre servizi avanzati per l'analisi dei cambiamenti climatici, delle risorse idriche e dei rischi naturali. Attraverso prodotti dedicati a precipitazioni, temperature, siccità, alluvioni, neve e umidità del suolo, il sistema contribuisce a migliorare la capacità di prevenzione, adattamento e gestione dei fenomeni ambientali estremi.
Infine, in ambito urbano, strumenti dedicati all'analisi delle isole di calore, delle aree verdi e delle condizioni microclimatiche offrono un supporto concreto alla progettazione di città più resilienti e vivibili.

Nel loro complesso, i servizi IRIDE costituiscono un ecosistema integrato di analytics geospaziali che trasforma l'Osservazione della Terra in uno strumento operativo a supporto delle politiche ambientali, della gestione del territorio, dell'adattamento ai cambiamenti climatici e della tutela delle risorse naturali del Paese.

IRIDE, Earth Observation, Geospatial Analytics, Environmental Monitoring, Decision Support Systems, User-Centered Design, Cloud-Based Services, Air Quality, Marine and Coastal Monitoring, Land and Climate Monitoring

Contatti: e.royer@planetek.it

Osservare la Terra per proteggere il futuro: spazio, innovazione e monitoraggio ambientale a supporto delle bonifiche e della transizione ecologica

Emanuela Fiuccii[1], Laura Di Giovannii[1], Vincenzo Piscitellii[1]
[1] CNR

Abstract Le tecnologie spaziali stanno assumendo un ruolo sempre più rilevante nella tutela dell'ambiente, nella gestione sostenibile del territorio e nel supporto alle politiche pubbliche di risanamento. Attraverso i sistemi di Osservazione della Terra è oggi possibile acquisire dati continui e ad alta risoluzione sugli ecosistemi, monitorando fenomeni naturali e antropici con precisione elevata. In questo contesto, l'Italia si colloca tra i principali attori europei grazie all'attività dell'Agenzia Spaziale Italiana e allo sviluppo di infrastrutture satellitari avanzate per il controllo del territorio.
Un caso emblematico è rappresentato dalla Terra dei Fuochi, dove l'uso di immagini satellitari e dati geospaziali consente di individuare alterazioni del suolo, mappare siti potenzialmente contaminati, monitorare l'evoluzione delle bonifiche e contrastare fenomeni di smaltimento illecito dei rifiuti. In tale ambito, il supporto alle attività del Commissario straordinario rafforza l'efficacia delle azioni di controllo e risanamento, basandole su evidenze oggettive e aggiornate.
Analoga rilevanza assume l'area di Taranto, caratterizzata da criticità ambientali legate alla presenza di grandi poli industriali. Il monitoraggio satellitare permette di osservare le trasformazioni del territorio, valutare gli impatti ambientali, seguire l'avanzamento delle bonifiche e integrare i dati delle reti di monitoraggio esistenti. Ciò consente una valutazione più accurata delle politiche di risanamento e una maggiore trasparenza verso le comunità locali.
Elemento centrale del sistema è l'accordo quadro siglato il 12 dicembre 2025 tra l'Agenzia Spaziale Italiana e i Commissari straordinari per le bonifiche di Taranto e della Terra dei Fuochi, finalizzato al potenziamento del monitoraggio delle aree a maggiore criticità ambientale tramite tecnologie satellitari nazionali. L'intesa rafforza l'integrazione tra ricerca e governo del territorio,

consentendo una capacità diagnostica avanzata e interventi più mirati ed efficienti.
In questo scenario si inserisce il programma IRIDE, finanziato dal PNRR e coordinato dall'ASI, che prevede una costellazione di satelliti con sensori complementari in grado di fornire dati ad altissima frequenza e risoluzione. Le applicazioni spaziano dal monitoraggio dell'inquinamento alla gestione delle risorse idriche, dalla prevenzione del dissesto idrogeologico al controllo delle coste, fino al supporto alle attività di protezione civile e bonifica.
Le nuove frontiere dello spazio integrano dati satellitari, intelligenza artificiale, sensori terrestri e modelli digitali del territorio, consentendo non solo di osservare i fenomeni ma anche di prevedere criticità e ottimizzare gli interventi. In tale prospettiva, l'Osservazione della Terra si configura come uno strumento strategico per la tutela ambientale, la salute pubblica e la definizione di politiche basate su evidenze scientifiche.

Keywords: Osservazione della Terra, IRIDE, Tutela ambientale, Bonifiche territoriali, Tecnologie satellitari

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

Remote sensing ambientale: tecnologie innovative per la mappatura e il monitoraggio dei siti contaminati

Mauro Barompriori[1], Guido Bonfedi[1], Federico Villani[1]

[1] Eni Rewind

Abstract

La caratterizzazione, il monitoraggio e la gestione dei siti contaminati rappresentano attività complesse che richiedono la disponibilità di dati spaziali accurati, aggiornati e acquisibili con frequenza adeguata all'evoluzione dei fenomeni ambientali osservati. Negli ultimi anni, il rapido sviluppo delle tecnologie di remote sensing (telerilevamento) ha reso disponibili strumenti innovativi in grado di integrare e, in alcuni casi, supportare le metodologie tradizionali di indagine ambientale, consentendo una maggiore copertura territoriale, una riduzione dei tempi di acquisizione dei dati e un miglioramento delle capacità di monitoraggio continuo. Il remote sensing comprende infatti l'osservazione e la misura delle proprietà fisiche di oggetti, superfici e fenomeni mediante l'acquisizione di segnali elettromagnetici o acustici senza contatto diretto con il bersaglio.
L'evoluzione delle piattaforme satellitari, dei sistemi aeromobili a pilotaggio remoto (UAV), dei sensori multispettrali, termici, geofisici e radar ha ampliato significativamente il campo di applicazione di queste tecnologie nel settore delle bonifiche ambientali.
Nel contesto del risanamento di siti contaminati, le tecniche di remote sensing possono essere impiegate sia nelle fasi preliminari di caratterizzazione e modellazione del territorio sia nelle successive attività di monitoraggio delle opere di bonifica, consentendo di raccogliere informazioni ad elevata risoluzione spaziale e temporale. Tali strumenti risultano particolarmente utili in presenza di aree estese, siti difficilmente accessibili o caratterizzati da condizioni operative che limitano l'utilizzo di metodologie convenzionali. Le applicazioni comprendono ad esempio il rilievo fotogrammetrico, il rilievo topografico mediante laser scanner, il rilievo batimetrico, l'interferometria radar satellitare (InSAR), il monitoraggio geofisico da drone, il controllo delle coperture superficiali dei siti di smaltimento,

il monitoraggio delle emissioni gassose e odorigene, la valutazione della qualità delle acque superficiali e l'individuazione di fenomeni di oil-spill.
L'obiettivo del presente lavoro è fornire una panoramica tecnica delle principali tecnologie di remote sensing applicabili alla gestione dei siti contaminati, illustrandone principi di funzionamento, vantaggi, possibili ambiti di utilizzo ed eventuali limiti operativi. Attraverso l'analisi di casi applicativi reali e di esperienze maturate nel settore della bonifica ambientale, il contributo intende evidenziare come l'integrazione di differenti tecnologie di telerilevamento possa migliorare l'efficacia delle attività di monitoraggio ambientale e supportare i processi decisionali durante l'intero ciclo di vita di un intervento di risanamento.
L'analisi svolta evidenzia come il remote sensing rappresenti oggi uno strumento sempre più strategico per la gestione dei siti contaminati, grazie alla capacità di acquisire dati spazialmente distribuiti, ripetibili nel tempo e ottenibili anche in condizioni operative difficili o in aree a limitata accessibilità. Le diverse tecnologie esaminate mostrano livelli di maturità differenti ma risultano complessivamente complementari, consentendo di affrontare problematiche eterogenee attraverso approcci integrati.
Le applicazioni di fotogrammetria e laser scanning da drone si confermano particolarmente efficaci per la produzione di modelli tridimensionali ad alta risoluzione e per il monitoraggio delle modifiche morfologiche del territorio. L'interferometria radar satellitare rappresenta invece una soluzione consolidata e altamente affidabile per il controllo di deformazioni del suolo e delle infrastrutture su vasta scala, offrendo precisioni dell'ordine dei millimetri e permettendo analisi retrospettive grazie alla disponibilità di archivi satellitari storici.
Le tecnologie multispettrali, termografiche e geofisiche mostrano un notevole potenziale nell'individuazione precoce di anomalie ambientali, consentendo attività di screening mirate e l'ottimizzazione delle campagne di indagine tradizionali. Analogamente, l'utilizzo di droni equipaggiati con sensori per il monitoraggio delle emissioni gassose e della qualità delle acque offre nuove opportunità per incrementare la frequenza dei controlli e migliorare la comprensione dei processi ambientali in atto.
Casi applicativi nei siti Eni Rewind mostrano inoltre la capacità delle tecnologie di remote sensing di operare in contesti particolarmente

complessi, come gallerie minerarie inaccessibili, siti ex minerari soggetti a cedimenti e aree caratterizzate da problematiche di sicurezza che limitano l'accesso diretto degli operatori. Sebbene permangano alcuni limiti legati alle condizioni meteorologiche, alle autorizzazioni di volo, alla necessità di calibrazione dei sensori e all'assenza di standard consolidati per alcune applicazioni emergenti, il trend tecnologico indica una continua crescita delle prestazioni e dell'affidabilità dei sistemi disponibili.

In conclusione, l'integrazione del remote sensing nei programmi di caratterizzazione e monitoraggio dei siti contaminati costituisce una significativa opportunità per migliorare l'efficacia tecnica delle attività di bonifica, ridurre tempi e costi operativi e aumentare la disponibilità di informazioni utili ai processi decisionali e alla gestione sostenibile del territorio.

Contatti: mauro.barompriori@enirewind.com

Progetto MAMBA (Monitoraggio Ambientale Delle Basi Aeronautiche): la nuova frontiera della sorveglianza e della sicurezza ambientale in Aeronautica Militare

***Gianluca Modesti*[1], *Gianluca Trampini*[1], *Fabrizio De Paolis*[1], *Massimo Cicerone*[1]**

[1] Servizio dei Supporti – Comando Logistico Aeronautica Militare

Abstract

Le emergenze ambientali rappresentano oggi scenari caratterizzati da elevata complessità decisionale, tempi di risposta estremamente ridotti e crescente necessità di operare in sicurezza in contesti potenzialmente contaminati. Incidenti aeronautici, eventi industriali, sversamenti accidentali, incendi, contaminazioni CBRN e calamità naturali richiedono la disponibilità di informazioni affidabili nelle primissime fasi dell'intervento, quando l'incertezza è massima e le decisioni risultano maggiormente critiche.

L'esperienza maturata dall'Aeronautica Militare nella gestione di eventi reali ha evidenziato come il tradizionale modello di intervento, pur efficace, possa essere ulteriormente evoluto attraverso l'integrazione delle più recenti tecnologie digitali.

Da questa esigenza nasce il progetto MAMBA (Monitoraggio Ambientale Delle Basi Aeronautiche), un programma di innovazione finalizzato alla realizzazione di un ecosistema tecnologico capace di integrare sensoristica avanzata, sistemi autonomi, laboratori mobili e strumenti di supporto decisionale in un'unica architettura operativa.

L'obiettivo non è sostituire il decisore umano, bensì potenziarne la capacità di osservazione, analisi e decisione attraverso l'integrazione di tecnologie avanzate, riducendo contestualmente l'esposizione del personale ai rischi operativi.

Il progetto sviluppa una piattaforma modulare secondo l'approccio System of Systems, nella quale ogni capacità contribuisce alla costruzione di un quadro operativo condiviso.

L'architettura prevede l'integrazione di:

- rete intelligente di monitoraggio ambientale;

- droni UAV per ricognizione multispettrale, rilievi tridimensionali e campionamento;
- robot terrestri e quadrupedi destinati ad operare in aree contaminate o non accessibili;
- laboratori chimici mobili rapidamente rischierabili;
- sistemi di kit dispositivi di protezione individuale;
- Centro di Comando e Controllo mobile;
- piattaforma software di Sistema di Supporto alle Decisioni (Decision Support System – DSS) basata sull'integrazione di dati eterogenei e algoritmi di Intelligenza Artificiale.

MAMBA nasce dalla volontà di integrare in un'unica architettura operativa tecnologie già disponibili e validate, superando l'approccio basato su sistemi indipendenti e definendo il futuro requisito operativo dell'Aeronautica Militare per il monitoraggio ambientale delle proprie infrastrutture.
Il progetto è attualmente nella fase di test delle singole capability che costituiranno il futuro sistema integrato, in particolare, le attività in corso prevedono la valutazione operativa, in modo indipendente ma coordinato, delle diverse componenti del progetto, tra cui sensoristica ambientale, piattaforme UAV e UGV, sistemi di Comando e Controllo, strumenti di supporto decisionale, laboratori mobili e soluzioni di Intelligenza Artificiale, con l'obiettivo di verificarne prestazioni, interoperabilità e impiego negli scenari di interesse dell'Aeronautica Militare.
Elemento qualificante dell'iniziativa è l'adozione di tecnologie già disponibili sul mercato o già impiegate in altri contesti operativi, evitando lo sviluppo ex novo di soluzioni dedicate. L'approccio perseguito consiste nell'integrare capacità tecnologiche mature all'interno di un'unica architettura operativa, adattandole alle specifiche esigenze del monitoraggio ambientale delle infrastrutture aeronautiche.
I risultati delle valutazioni in corso consentiranno di definire il requisito operativo del futuro sistema MAMBA, individuando le caratteristiche funzionali, i livelli di integrazione e le modalità di impiego più efficaci. Tale percorso permetterà di ridurre il rischio tecnologico, ottimizzare gli investimenti e disporre di una capacità modulare, scalabile e rapidamente rischierabile.

L'approccio impiegato consente di:

- ridurre sensibilmente i tempi necessari per la caratterizzazione ambientale di un sito;
- aumentare la sicurezza del personale limitandone l'esposizione diretta;
- migliorare la qualità e l'affidabilità delle informazioni disponibili;
- incrementare la rapidità del processo decisionale;
- ottimizzare il coordinamento tra le diverse componenti operative;
- favorire la digitalizzazione dell'intero ciclo di gestione dell'emergenza.

L'adozione di piattaforme autonome permetterà inoltre di operare efficacemente anche in scenari caratterizzati da contaminazione chimica, biologica, radiologica o industriale, mantenendo la continuità delle operazioni anche in condizioni particolarmente gravose.
Grazie alla sua natura modulare e dual use, il modello risulta applicabile non soltanto in ambito militare, ma anche nel supporto alla Protezione Civile, alle Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente, ai gestori delle infrastrutture critiche civili e militari e agli enti impegnati nella gestione delle emergenze ambientali.
La trasformazione digitale proposta da MAMBA pone il fattore umano al centro del processo decisionale, affidando alle tecnologie il compito di estendere la capacità di osservazione, ridurre i tempi di analisi e aumentare la resilienza dell'intero sistema di risposta.
MAMBA si propone quindi come un percorso evolutivo volto alla realizzazione di una nuova capacità del dell'Aeronautica Militare, fondata sull'integrazione di tecnologie esistenti, sulla digitalizzazione dei processi e sul supporto avanzato alle decisioni per il monitoraggio ambientale e la gestione delle emergenze.

Keywords: XXXXX

Contatti: gianluca.modesti@aeronautica.difesa.it

Ricostruzione del trasporto di ghiaia in alvei ramificati mediante l'utilizzo di dati DInSAR

***Diego Di Martire*[1], *Valeria Guadagno* [2], *Laura Candela*[3], *Giuseppe Del Giudice*[2], *Cristiana Di Cristo*[2], *Giuseppe Galeota*[3], *Maria Daniela Graziano*[4], *Leopoldo Repola*[1], *Raffaele Velardo*[5], *Enrica Viparelli*[1]**

[1] Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse, Università degli Studi di Napoli Federico II (speaker),[2] Dipartimento di Ingneria Civile, Edile e Ambientale, Università degli Studi di Napoli Federico II, [3]Agenzia Spaziale Italiana (ASI) [4] Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Napoli Federico II, [5]Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale.

Abstract

Le piene fluviali sono fenomeni naturali che, se non adeguatamente gestiti, possono causare ingenti danni. La conoscenza del territorio e la comprensione dei fenomeni idrologici ed idraulici, nonchè dei conseguenti processi di erosione, trasporto e deposito dei sedimenti, sono fondamentali per prevedere le caratteristiche della corrente idrica e la sua capacità di trasportare sedimenti. Ad esempio, in base alla profondità e alla velocità della corrente si individuano le aree a rischio di allagamento e quelle in cui è più probabile che si verifichino erosione o accumulo. Queste informazioni servono per programmare interventi per la messa in sicurezza tanto delle aree urbane quanto di quelle rurali.

La caratterizzazione idraulica delle piene e la stima del trasporto solido associato sono problemi classici dell'ingegneria civile di difficile soluzione. Tale difficoltà è dovuta alla complessità dei processi fisici e alle diverse scale spaziali e temporali che li caratterizzano. Il problema è particolarmente complesso negli alvei ramificati, dove la piena si divide in più rami che tendono a spostarsi lateralmente in seguito all'erosione e al deposito. In questo contesto si inserisce il progetto BRAIDED, finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) nell'ambito della Seconda Call del programma I4DP_PA (Innovation for Downstream Preparation - Public Administrations)". L'obiettivo è l'integrazione di dati satellitari di Osservazione della Terra ed in situ per individuare le aree interessate dal trasporto di sedimenti in alvei

ramificati. Tale informazione è fondamentale per definire criteri quantitativi per prevedere gli impatti delle piene soprattutto nei contesti in cui le attuali conoscenze non permettono un'adeguata gestione del rischio alluvioni.
Nelle acquisizioni di dati satellitari con sensori SAR (Synthetic Aperture Radar) i ghiaieti, tipici dei corsi d'acqua ramificati, presentano una forte riflettività. Sfruttando tale caratteristica l'obiettivo è quantificare l'estensione delle aree interessate da trasporto di sedimenti.
L'area di studio è una porzione del fiume Trionto in Calabria. Per tale studio sono state utilizzate anche stazioni pluviometriche nelle vicinanze per individuare i periodi piovosi associati a piene fluviali.
Scelti due eventi di piena separati da periodi di magra sufficientemente lunghi da permettere l'acquisizione di un numero adeguato di immagini SAR, sono stati identificati i Permanent Scatteres, PSs, ritenuti rappresentativi di zone del ghiaieto con spostamenti ridotti, grandezza comparabile con la dimensione dei ciottoli.
Considerata la natura effimera del Trionto, abbiamo interpretato l'assenza di PSs come presenza di vegetazione o spostamento consistenti. Confrontando i dati SAR con immagini satellitari ottiche, abbiamo individuato le aree in cui la mancanza di PSs era dovuta alla vegetazione. Nelle altre aree, l'assenza di PSs indica spostamenti di ghiaia dovuti al passaggio della piena. Se tali spostamenti si riscontrano su aree contigue per tutta la lunghezza dell'area di studio, sono probabilmente imputabili al fenomeno di erosione e deposito della piena.
Il confronto dei dati SAR con le misure pluviometriche dimostra che nella stessa area di studio il numero di PSs è maggiore per il periodo caratterizzato dalla piena di minore entità. Ovvero, in accordo con le nostre aspettative, l'analisi indica che i fenomeni di trasporto di sedimenti durante la piena minori hanno interessato un'area di minore estensione concentrata sul lato sinistro della vallata. Inoltre, in seguito ad analisi di connettività spaziale delle aree senza PSs, la larghezza delle zone contigue è risultata maggiore per l'evento di piena più grande.
Al momento è in corso l'installazione di una rete di monitoraggio in sito per verificare l'attendibilità di questa interpretazione.

Keywords: (Osservazione della Terra, DInSAR, alvei ramificati, ghiaia, trasporto solido)

Contatti: diego.dimartire@unina.it

Integrazione di dati satellitari, GIS e Intelligenza Artificiale per il monitoraggio della biodiversità: il caso BIOGIS360

Valerio Caroselli[1], Fabiano Campo[1], Emanuela De Leo[1]

[1] IPTSAT S.r.l., Roma, Italia.

Abstract

Il monitoraggio della biodiversità richiede oggi l'integrazione di informazioni provenienti da fonti eterogenee, quali immagini satellitari, cartografia tematica, dati ambientali ufficiali e rilievi sul campo. Sebbene tali dati siano sempre più disponibili, nella pratica risultano costruiti con sistemi geografici e formati differenti, livelli di aggiornamento e modalità di accesso non omogenei, rendendone complesso l'utilizzo nei processi di pianificazione territoriale, monitoraggio ambientale e valutazione degli impatti.

Per rispondere a questa esigenza è stata sviluppata BIOGIS360, una piattaforma geospaziale realizzata da IPTSAT nell'ambito del National Biodiversity Future Center (NBFC). La piattaforma integra dati di Osservazione della Terra provenienti dalle missioni Copernicus e da immagini satellitari ad altissima risoluzione con un catalogo strutturato di dataset geospaziali provenienti da fonti istituzionali nazionali e internazionali.

Il catalogo è organizzato in gruppi tematici dedicati a biodiversità, habitat e specie, aree protette, uso e copertura del suolo, dati idrogeologici, cartografia tematica e dati satellitari, consentendo una consultazione unificata delle principali informazioni ambientali disponibili.

La banca dati, basata su standard geospaziali aperti e servizi interoperabili, comprende dataset relativi, tra gli altri, alla Rete Natura 2000, alle aree UNESCO, alle Important Bird Areas (IBA), ai dati GBIF, agli habitat della Direttiva Habitat, ai prodotti Copernicus Land Monitoring Service e ad altri tematismi di interesse ecologico. Tutti i dataset sono armonizzati e corredati da metadati standardizzati garantendo qualità, tracciabilità, aggiornamento e riutilizzo delle informazioni. La piattaforma integra inoltre indicatori sviluppati nell'ambito del progetto, tra cui il Superindice di Biodiversità e il Red

List Index spazializzato, a supporto delle attività di analisi e pianificazione.
La piattaforma fornisce inoltre dashboard interattive, strumenti per l'elaborazione di report personalizzabili, mappe tematiche multilivello, indicatori sintetici di biodiversità e servizi di interrogazione geospaziale del catalogo dati. Gli output sono consultabili ed esportabili in formati interoperabili e possono essere integrati nei flussi di lavoro di Pubbliche Amministrazioni, imprese e professionisti per supportare pianificazione territoriale, valutazioni ambientali, monitoraggi periodici e analisi richieste dalle più recenti politiche europee, tra cui la Nature Restoration Law.
BIOGIS360 dimostra come un approccio integrato basato su Osservazione della Terra, GIS, Intelligenza Artificiale e dati ambientali ufficiali possa trasformare grandi quantità di informazioni eterogenee in uno strumento operativo a supporto del monitoraggio della biodiversità e dei processi decisionali per la gestione sostenibile del territorio.

Keywords: Biodiversità; Osservazione della Terra; GIS; Intelligenza Artificiale; Copernicus

Contatti: info@iptsat.com

Simulazioni matematiche e tecnologie di telerilevamento per la lotta agli incendi boschivi: il progetto FIRST

Raffaele Mangiardi[1], Antonio Costanzo[2], Eleonora Bilotta[3], Marco Sammartino[4], Giorgio Licciardi[5], Gruppo di ricerca di FIRST[*]

[1]Regione Calabria (speaker),2Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, [3]Università della Calabria, [4]Università di Palermo, [5]Agenzia Spaziale Italiana

Abstract

La Regione Calabria, con oltre 6.500 kmq di superficie forestale e tre Parchi Nazionali (Aspromonte, Sila, Pollino), è uno dei territori italiani a maggior rischio incendi. Per fronteggiare tale emergenza e tutelarne l'enorme biodiversità, il progetto FIRST (Fighting fIRes with mathematical Simulations and satellite Technology), cofinanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana, propone un innovativo sistema integrato di supporto decisionale destinato alla Control Room regionale. Il progetto unisce le competenze operative e scientifiche di Regione Calabria, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Università della Calabria e Università di Palermo. Il core tecnologico è un'architettura cloud data-centric basata su un data lake a medaglioni e microservizi. Il sistema acquisisce e normalizza dati eterogenei provenienti da satelliti con sensori ottici e termici, droni dotati di camere termiche e sensori meteo, e stazioni meteorologiche a terra.
Il sistema FIRST interviene in modo sinergico nelle tre fasi dell'emergenza. Nella fase preventiva (pre-incendio), elabora mappe di pericolosità probabilistiche sfruttando la tecnica di geostatistica spaziale Kernel Density Estimate (KDE). Questo strumento identifica tempestivamente le zone a più elevata probabilità di innesco, ottimizzando il presidio e lo schieramento preventivo degli operatori antincendio sul territorio. Nella fase di emergenza (durante l'incendio), il sistema individua hotspot in near real-time integrando fonti differenti (segnalazioni dei cittadini, dati satellitari, rilevamenti da droni). I droni, oltre all'osservazione del fronte, restituiscono parametri meteo accurati al suolo, essenziali come verità a terra. Alla conferma dell'innesco, la piattaforma orchestra l'invio dei dati raccolti

a un avanzato simulatore matematico di tipo Reazione-Diffusione. Tale motore integra parametri statici (orografia, densità arborea, tipo di vegetazione) e dinamici (vento locale, umidità, temperatura), generando scenari predittivi e isocrone di propagazione del fronte di fuoco. Un'innovazione cruciale è l'integrazione, nelle simulazioni, del posizionamento delle squadre di spegnimento, che restituisce previsioni altamente realistiche a supporto della tattica operativa.
Nella fase post-incendio, FIRST processa le immagini satellitari per estrarre la perimetrazione automatica dell'Area Percorsa dal Fuoco, modificabile manualmente tramite applicativi Web GIS. Attraverso il calcolo di indici spettrali, supportati da librerie spettrali raccolte in situ con spettroradiometri, il modulo genera mappe di severità del danno articolate in classi standard. Ciò permette di valutare con accuratezza l'impatto ecologico e di monitorare il recupero vegetativo nel tempo.
Tutti i risultati e i layer cartografici consolidati sono resi fruibili attraverso Dashboard interattive ad alte prestazioni. L'interoperabilità è assicurata dall'esposizione dei dati tramite microservizi REST conformi allo standard OGC API - Features e da protocolli di autenticazione sicuri. Il sistema garantisce un accesso concorrente multiutente, assicurando affidabilità e conservazione a lungo termine dello storico degli scenari.

** Marco Angilletti[1], Fabrizia Buongiorno[2], Laura Candela[5], Luigi D'Amato[5], Sergio Falcone[2], Angelo La Regina[2], Giorgio Licciardi[5], Massimo Musacchio[2], Alfonso Ruffo[2], Malvina Silvestri[2], Pierpaolo Fusaro[3], Pietro Pantano[3], Francesco Gargano[4], Vincenzo Sciacca [4]*

Keywords: Incendi boschivi, Dati satellitari, Rilievi da drone, Simulazione matematica, Cloud Data Platform

Contatti: raffaele.mangiardi@regione.calabria.it, antonio.costanzo@ingv.it , eleonora.bilotta@unical.it, marco.sammartino@unipa.it, giorgio.licciardi@asi.it

ATENA un Hybrid Digital Twin urbano alimentato da dati satellitari integrati con misure in situ per la gestione dell'ambiente costruito soggetto ai cambiamenti climatici.

***Spartaco Paris*[1], *Vincenzo Gattulli*[1], *Patrick Maurelli*[1], *Maria Marsella*[1], *Elisa Pennacchia*[1], *Carlo Vannini*[1], *Peppe Junior Valentino D'Aranno*[1], *Beatrice Mancini*[2]**

[1] *C.I.T.E.R.A. – Sapienza, Università di Roma,* [2] *Best Design srl*

Sessione V – "L'Osservazione della Terra per la tutela dell'ambiente e le nuove frontiere dello spazio".

Abstract

L'accelerazione dei processi di cambiamento climatico e la crescente vulnerabilità del patrimonio costruito impongono lo sviluppo di strumenti di monitoraggio in grado di integrare informazioni acquisite a differenti scale spaziali e temporali, superando la tradizionale frammentazione tra dati satellitari, rilievi geometrici e monitoraggio in situ. In questo scenario, l'Osservazione della Terra non rappresenta più esclusivamente una fonte di dati per l'analisi territoriale, ma assume il ruolo di infrastruttura informativa strategica per la costruzione di ecosistemi digitali finalizzati alla gestione del patrimonio urbano.

Il progetto ATENA, finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana, propone una metodologia interoperabile che integra dati multisorgente di Earth Observation, monitoraggio strutturale e ambientale mediante reti sensoriali, rilievi tridimensionali acquisiti con laser scanner terrestre e UAV, modelli BIM e Digital Twin e strumenti di analisi basati su algoritmi di Intelligenza Artificiale. L'obiettivo è sviluppare un ambiente digitale capace di correlare osservazioni satellitari, informazioni geometriche, dati fisici e conoscenza semantica all'interno di un unico modello dinamico, orientato al supporto delle decisioni per la prevenzione dei rischi, la manutenzione predittiva e la gestione sostenibile del patrimonio costruito.

La metodologia è sperimentata sul sistema urbano costituito da Piazza Pia e dal Passetto di Borgo a Roma, un contesto di particolare

complessità caratterizzato dall'interazione tra patrimonio storico-monumentale, infrastrutture contemporanee e spazi pubblici. In tale scenario, l'integrazione tra osservazioni satellitari, monitoraggio continuo e modelli informativi consente di sviluppare un Digital Twin aggiornabile nel tempo, capace di rappresentare l'evoluzione delle condizioni strutturali e ambientali e di supportare strategie di gestione basate sulla conoscenza.
L'esperienza di ATENA intende evidenziare come il valore dell'Osservazione della Terra non risieda esclusivamente nella disponibilità di dati satellitari ad alta risoluzione, ma nella capacità di trasformare tali informazioni in conoscenza operativa attraverso l'integrazione con sistemi di monitoraggio multisorgente, modelli digitali interoperabili e strumenti di Intelligenza Artificiale. L'approccio proposto definisce una metodologia trasferibile ad altri contesti urbani e infrastrutturali, contribuendo all'evoluzione dei Digital Twin territoriali come strumenti dinamici di supporto alle decisioni per la resilienza urbana, la conservazione del patrimonio culturale e la gestione sostenibile delle città.

Keywords: Earth Observation; Digital Twin; Cultural Heritage; Structural Health Monitoring; Urban Resilience.

Acknowledgement: il presente lavoro è stato realizzato nell'ambito del progetto "ATENA - Artificial Technologies Enhanced by satellite observations for preventing and controlling Natural hazard Augmented by climate changing", finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (Contratto ASI n. 2025-70-I.0, CUP F83C25001200001, CIG B8FD86DBE0). I dati satellitari COSMO-SkyMed e PRISMA utilizzati in questo studio sono stati forniti dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) mediante specifica licenza d'uso.

Contatti: spartaco.paris@uniroma1.it, vincenzo.gattulli@uniroma1.it, patrick.maurelli@uniroma1.it, maria.marsella@uniroma1.it, elisa.pennacchia@uniroma1.it, carlo.vannini@uniroma1.it, peppejuniorvalentino.daranno@uniroma1.it, b.mancini@bdst.it

Multi-Sensor Satellite Observations for Methane Anomaly Detection, Source Identification, and Flux Estimation

Federico Donat[1,2], Tiziano Maestri[1], Michele Martinazzo[1], Marco Falda[1], Fabrizio Masin[1], Giorgia Proietti Pelliccia[1,3] and Guido Masiello[3]

[1]Physics and Astronomy Department "Augusto Righi", University of Bologna
[2]Physics Department, University of Trento
[3]Engineering Department, University of Basilicata

Abstract
Satellite observations play a key role in monitoring atmospheric methane (CH_4) from regional to global scales. Satellite spectrometers such as the TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI) aboard Sentinel-5P provide observations of column-averaged methane (XCH_4) and enable the investigation of large-scale methane variability. However, their native spatial resolution limits the detection and characterization of localized emission sources.
In this work, we apply oversampling techniques to multi-year satellite methane products to enhance the effective spatial resolution and generate stable maps of methane concentration anomalies. In particular, multi-year TROPOMI Level-2 XCH_4 observations are used to identify persistent methane enhancement patterns, revealing regional hotspots and long-lived emission signatures. These anomaly maps provide an observation-driven framework for selecting areas of interest for atmospheric methane monitoring, although they remain insufficient for resolving individual emission sources and accurately quantifying emissions. The identified areas are subsequently investigated using high-spatial-resolution hyperspectral observations acquired by the PRISMA mission, enabling the detection and spatial characterization of individual emission sources.
Methane concentration enhancements are retrieved from PRISMA data using a log-domain matched filter formulated in optical-depth space. Compared with conventional matched-filter approaches, this formulation provides greater robustness over a broad range of

methane enhancements while reducing errors associated with linear approximations. To improve retrieval reliability in complex and heterogeneous scenes, the matched filter is integrated into a processing chain that combines machine-learning-based false-alarm detection with background homogenization through scene partitioning. These processing steps substantially reduce surface-related artifacts and improve the stability of methane enhancement estimates. Case studies demonstrate that explicitly accounting for background heterogeneity is critical for reliable methane retrievals and that the proposed integrated framework yields more stable and physically consistent estimates of methane enhancements.

Keywords: methane monitoring, TROPOMI, PRISMA, hyperspectral remote sensing, matched filter

Contatti: federico.donat2@unibo.it, tiziano.maestri@unibo.it

Dati satellitari e piattaforme integrate per le Smart Cities: monitoraggio ambientale, verde urbano e gestione del rischio di allagamento

Roberto Muscinelli [1]***, Federica Mezzani*** [1]

[1] BIP – Business Integration Partners S.p.A.

Abstract

Le missioni di Osservazione della Terra, come la costellazione Sentinel del programma Copernicus, generano ogni giorno oltre 20 terabyte di dati. A questo patrimonio informativo si aggiungono flussi provenienti da sensori IoT, cartografie tecniche, rilievi in situ e banche dati territoriali. Nel percorso verso le Smart Cities, le Pubbliche Amministrazioni (PA) hanno quindi la possibilità di utilizzare una quantità crescente e diversificata di dati per il monitoraggio ambientale, la gestione dei rischi e la gestione strategica del territorio. La sfida consiste nel renderli interoperabili, analizzarli e trasformarli in servizi operativi e strumenti di supporto alle decisioni per gli enti pubblici e la cittadinanza.

Nel contesto del REM Tech EXPO, Business Integration Partners S.p.A. (BIP) presenta URBIS - Urban Resilience Based on Integrated Satellite Services - un modello di piattaforma geospaziale a supporto degli Enti Pubblici, per il monitoraggio ambientale, la pianificazione territoriale e la gestione dei rischi naturali. Il progetto rappresenta un caso di successo che dimostra come le tecnologie emergenti possano essere tradotte in servizi concretamente utilizzabili dalla PA.

L'approccio metodologico integra dati Earth Observation (EO), IoT e informazioni territoriali attraverso architetture Data Lakehouse e tecniche di data fusion. Algoritmi di machine learning, rappresentazioni GIS 2D e 3D e dashboard operative consentono di generare indicatori ambientali e modelli predittivi a supporto della pianificazione urbana.

Il primo dei due servizi principali è dedicato al monitoraggio del verde urbano e combina dati Sentinel-2, immagini Jilin ad altissima risoluzione, cartografia tecnica e dataset territoriali pubblici. La piattaforma consente di censire le alberature, estrarre indicatori sullo stato della vegetazione e analizzare l'evoluzione della copertura del suolo. Le informazioni prodotte supportano la definizione delle priorità manutentive e la valutazione di fenomeni quali isole di calore, consumo di suolo e degrado ambientale.

Il secondo servizio principale riguarda la prevenzione e la gestione del rischio di allagamento urbano. L'integrazione di immagini satellitari, modelli digitali del terreno, dati meteorologici, sensori IoT, reti di drenaggio, infrastrutture urbane e segnalazioni territoriali consente di identificare le aree vulnerabili, orientare la manutenzione delle infrastrutture di drenaggio e supportare la gestione delle emergenze.

Nel complesso, URBIS opera come strumento di decision making per la PA, migliorando la tempestività del monitoraggio, l'individuazione preventiva delle criticità e l'allocazione delle risorse pubbliche. L'Osservazione della Terra diventa così il nucleo informativo di servizi pubblici digitali orientati alla resilienza urbana, contribuendo a ridurre tempi e costi di monitoraggio, rafforzare la manutenzione preventiva e favorire l'adattamento delle città agli effetti del cambiamento climatico. Il modello favorisce inoltre lo sviluppo di servizi downstream basati sui dati Copernicus, creando opportunità per l'economia dello spazio e l'innovazione dei servizi pubblici digitali.

Keywords: Earth Observation; Smart Cities; Machine learning; Urban resilience; Data fusion

Contatti: roberto.muscinelli@bip-group.com; federica.mezzani@bip-group.com

Dallo spazio alla tutela del territorio: COSMO-SkyMed e RESCUE_SAT per la mappatura del rischio idraulico

Luciano Pavesi*[1], Valerio Gagliardi[1], Stefano Cipollini[1], Giorgia Sanvitale[1], Aldo Fiori[1], Andrea Benedetto[1], Alessandro Ursi[2], Deodato Tapete[2], Maria Virelli[2], Elena Volpi[1]

[1] Dipartimento di Ingegneria Civile, Informatica e delle Tecnologie Aeronautiche, Università degli Studi Roma Tre
[2] Agenzia Spaziale Italiana

Abstract
Il contributo presenta le attività sviluppate nell'ambito del progetto RESCUE_SAT, finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) nell'ambito del programma Innovation for Downstream Preparation for Science – I4DP_SCIENCE, con riferimento all'Accordo Attuativo ASI–Università degli Studi Roma Tre n. 2025-2-HB.0. Il progetto si inserisce nel quadro delle applicazioni downstream dell'Osservazione della Terra e mira a valorizzare i dati satellitari nazionali per la tutela dell'ambiente, la gestione sostenibile del territorio e la mitigazione del rischio idraulico. In particolare, il lavoro qui presentato riguarda la predisposizione di un modello digitale del terreno (Digital Elevation Model, DEM e Digital Terrain Model, DTM) adatto alla modellazione idrologico-idraulica; il DEM/DTM è ottenuto a partire da dati satellitari della costellazione COSMO-SkyMed con l'obiettivo di migliorare la rappresentazione delle aree esposte a pericolosità di inondazione.

Il progetto RESCUE_SAT rappresenta l'evoluzione del modello RESCUE, un modello geomorfologico, idrologico-idraulico, sviluppato per la mappatura a grande scala delle aree inondabili a partire da un numero limitato di dati di input. RESCUE consente di stimare il reticolo idrografico, le aree drenate, le portate di piena e la propagazione delle inondazioni combinando rapidità di calcolo e capacità di applicazione su domini territoriali estesi. La sua evoluzione in RESCUE_SAT mira a integrare il DTM ottenuto da dati satellitari aggiornati e ad alta risoluzione, così da migliorare la qualità delle simulazioni, soprattutto in presenza di infrastrutture di difesa e opere di attraversamento (arginature e ponti).

L'opportunità di utilizzare dati satellitari per la generazione di un nuovo modello altimetrico nasce dal ruolo centrale che il DTM svolge nella modellazione idrologico-idraulica. La rappresentazione della superficie topografica condiziona infatti l'individuazione del reticolo idrografico, la definizione delle direzioni di drenaggio, la delimitazione dei bacini e la stima delle caratteristiche geometriche utili al calcolo delle grandezze idrauliche. I modelli altimetrici tradizionalmente disponibili, pur essendo spesso molto utili a scala regionale o nazionale, possono non essere sufficientemente aggiornati o dettagliati. In questo contesto, i dati COSMO-SkyMed offrono la possibilità di disporre di informazioni ad alta risoluzione, aggiornabili nel tempo e coerenti con le nuove frontiere dell'uso operativo dello spazio per il monitoraggio ambientale.

Il lavoro si concentra in particolare sulla predisposizione di un DTM derivato da DEM COSMO-SkyMed. Il DEM satellitare è ottenuto da elaborazioni di coppie di immagini radar SAR COSMO-SkyMed con tecniche interferometriche. Esso descrive una superficie altimetrica che può includere non solo il terreno, ma anche il contributo di vegetazione, edifici e altri elementi emergenti. Per questo motivo, il DEM non può essere utilizzato direttamente nelle simulazioni idrologico-idrauliche come modello del terreno nudo. È quindi necessario trasformare il DEM in un DTM. Questa trasformazione è fondamentale per evitare depressioni o deviazioni dei percorsi di drenaggio spurie, e produrre una rappresentazione non corretta delle aree contribuenti e delle possibili vie di propagazione delle piene.

La procedura sviluppata in RESCUE_SAT prevede una catena di processamento articolata, ma concepita con finalità operative. Il DEM COSMO-SkyMed viene dapprima corretto attraverso un approccio di apprendimento supervisionato, utilizzando come riferimento dati LiDAR laddove disponibili. L'obiettivo non è soltanto ridurre l'errore altimetrico medio, ma ottenere una superficie morfologicamente coerente, continua e adatta alle analisi idrologiche. A supporto della correzione vengono utilizzate informazioni ausiliarie relative alla copertura vegetale, alla presenza di edifici, alle superfici idriche e alle caratteristiche della superficie. In questo modo, il modello è in grado di riconoscere le principali sorgenti di distorsione del DEM satellitare e di stimare una correzione coerente con il contesto territoriale.

Dal punto di vista metodologico, la trasformazione da DEM a DTM si basa su algoritmi di intelligenza artificiale e, in particolare, su reti neurali convoluzionali, capaci di analizzare non solo il valore altimetrico della singola cella, ma anche il contesto spaziale circostante. Questa scelta consente di trattare in modo più efficace elementi come margini urbani, aree boscate, discontinuità morfologiche e variazioni locali di pendenza. Una successiva fase di rifinitura riduce il rumore residuo e migliora la continuità della superficie prodotta, mantenendo però le principali forme del terreno. I risultati ottenuti mostrano una riduzione significativa degli errori rispetto al riferimento LiDAR, con un miglioramento dell'accuratezza altimetrica e una maggiore affidabilità della superficie finale per le successive applicazioni modellistiche.

In caso di copertura parziale, il DTM COSMO-SkyMed così ottenuto viene poi integrato con prodotti altimetrici ad alta risoluzione disponibili sull'intero dominio di calcolo, in modo da garantire una copertura continua a scala di bacino. La fusione tra il prodotto satellitare corretto e i modelli altimetrici di riferimento consente di utilizzare l'informazione COSMO-SkyMed nelle aree acquisite dal satellite, mantenendo al tempo stesso la continuità spaziale necessaria per l'applicazione del modello RESCUE_SAT. Il dominio finale viene ricampionato a una risoluzione operativa di 10 metri, scelta come compromesso tra dettaglio topografico, rappresentazione dei processi idrologico-idraulici e sostenibilità computazionale delle simulazioni a scala territoriale.

Una fase essenziale del workflow è, infine, il condizionamento idrologico del DTM. Anche un modello del terreno accurato dal punto di vista altimetrico, infatti, può non riprodurre correttamente la connettività idraulica, soprattutto in aree pianeggianti, costiere o fortemente antropizzate. Il condizionamento serve quindi a rendere la superficie coerente con il comportamento atteso del deflusso, integrando l'informazione topografica con dati idrografici esterni, come il reticolo OpenStreetMap e le mappe Copernicus relative alla presenza di acqua e zone umide. Attraverso questa procedura, i corsi d'acqua principali, i canali e gli elementi del reticolo artificiale vengono utilizzati per guidare la definizione delle direzioni di flusso e delle aree drenate. Il condizionamento idrologico consente quindi di produrre gli

input fondamentali per RESCUE_SAT: il DTM corretto e adattato, le direzioni di drenaggio, gli accumuli di flusso e il reticolo idrografico coerente con la morfologia e con le informazioni territoriali disponibili.

La procedura viene illustrata per un caso di studio nella Regione Lazio.
Keywords: COSMO-SkyMed, DEM, DTM, condizionamento idrologico

**Contatto: luciano.pavesi@uniroma3.it*

Dal monitoraggio tradizionale al digital monitoring workflow: l'evoluzione delle tecnologie geospaziali per la gestione integrata delle infrastrutture e degli asset

Alessio Contini[1]

[1]*Spektra S.R.L*

Abstract

Negli ultimi vent'anni il monitoraggio delle infrastrutture ha attraversato una trasformazione tecnologica profonda. Ai sistemi tradizionali, basati su campagne periodiche di rilievo con stazioni totali e ricevitori GNSS, si sono progressivamente affiancate reti di monitoraggio automatiche, in grado di acquisire dati in continuo, con possibilità di essere gestite da remoto e di restituire informazioni in tempo reale tramite piattaforme cloud dotate di funzioni di allerta e reportistica automatica. Questa evoluzione ha determinato un incremento sostanziale di affidabilità, tempestività e qualità dei controlli, con ricadute dirette sulla sicurezza delle infrastrutture e dei cantieri.

Parallelamente, lo sviluppo di sensori wireless, dispositivi IoT e sistemi di monitoraggio di rapida installazione ha ampliato ulteriormente le possibilità operative. Queste tecnologie non sostituiscono il monitoraggio tradizionale, ma ne estendono le capacità, introducendo ridondanza, maggiore copertura spaziale e nuove tipologie informative, rendendo possibili reti di monitoraggio distribuite e scalabili.

Le infrastrutture moderne costituiscono sistemi complessi, composti da migliaia di elementi distribuiti su estensioni territoriali crescenti. In questo contesto il monitoraggio tradizionale, pur mantenendo un ruolo fondamentale per accuratezza metrologica e affidabilità, non è più sufficiente da solo a descrivere in modo esaustivo lo stato di un'opera.

L'affermazione dei processi BIM, unita all'evoluzione delle tecnologie geospaziali di rilievo, ha reso possibile costruire rappresentazioni digitali tridimensionali sempre più accurate e informative lungo l'intero ciclo di vita delle infrastrutture. La disponibilità di tali modelli

non costituisce soltanto un progresso nella rappresentazione geometrica dell'opera, ma rappresenta la base informativa su cui integrare monitoraggio, rilievi geospaziali, ispezioni, manutenzione, documentazione tecnica e gestione degli asset in un unico ecosistema digitale.

Negli ultimi anni il termine Digital Twin è entrato stabilmente nel lessico dell'ingegneria civile, ma viene spesso associato, in modo riduttivo, alla semplice disponibilità di un modello tridimensionale dell'opera. Un Digital Twin non coincide con un modello geometrico: rappresenta un ecosistema informativo dinamico in cui convergono dati di rilievo, monitoraggio, ispezioni, documentazione tecnica, manutenzione e gestione operativa. Di conseguenza, di una stessa infrastruttura possono coesistere Digital Twin differenti, caratterizzati da livelli di accuratezza, dettaglio informativo e finalità operative distinti. Il valore del Digital Twin risiede nella capacità di rappresentare dinamicamente l'evoluzione dell'infrastruttura, aggiornandosi attraverso l'integrazione continua di dati provenienti da rilievo, monitoraggio e attività ispettive.

Alla luce di questa evoluzione, il contributo affronta il seguente interrogativo: è ancora corretto considerare il monitoraggio infrastrutturale come un insieme di misure puntuali, oppure le moderne tecnologie geospaziali consentono di trasformarlo in un Digital Monitoring Workflow continuo, capace di integrare monitoraggio, rilievo, Digital Twin, ispezioni e Asset Management a supporto della sicurezza, della manutenzione predittiva e della sostenibilità delle infrastrutture?

L'evoluzione delle tecnologie geospaziali è stata favorita dal rapido incremento delle capacità di acquisizione, elaborazione, condivisione e visualizzazione di grandi quantità di dati tridimensionali. Il rilievo tridimensionale ha assunto un ruolo centrale nella gestione delle infrastrutture lineari, come strade e ferrovie, e delle reti infrastrutturali estese, quali le reti di distribuzione del gas, della fibra ottica e del servizio idrico. Laser scanner statici, laser scanner portatili con tecnologia SLAM, droni fotogrammetrici e sistemi Mobile Mapping consentono di acquisire grandi quantità di dati geometrici con livelli di dettaglio e precisione differenti ma complementari, ciascuno adatto a obiettivi specifici. Un ulteriore fattore di evoluzione è rappresentato dall'integrazione tra robotica autonoma, intelligenza artificiale e tecnologie geospaziali, che consente di automatizzare rilievi e ispezioni in ambienti complessi o ad alto rischio per gli

operatori, migliorando sicurezza, continuità operativa e qualità delle informazioni acquisite.
Un esempio applicativo significativo è la digitalizzazione di un viadotto. Le tecnologie attuali permettono di costruire un modello digitale ad alto livello di dettaglio, capace di rappresentarne fedelmente la geometria e di documentarne lo stato di conservazione. Tale modello costituisce la base informativa su cui identificare ammaloramenti, deformazioni, dissesti localizzati e fenomeni di degrado, integrando osservazioni ispettive, dati di monitoraggio e informazioni storiche. Il valore aggiunto non risiede nella singola tecnologia impiegata, ma nell'integrazione dell'intero workflow: la combinazione di rilievi tridimensionali, sistemi di monitoraggio, ambienti BIM, piattaforme GIS e cloud collaborativi consente di raccogliere, elaborare e condividere informazioni in un ecosistema digitale unico, garantendo coerenza dei dati, tracciabilità delle modifiche e disponibilità continua delle informazioni per tutti gli stakeholder coinvolti.
Il Mobile Mapping rappresenta uno degli esempi più significativi dell'evoluzione del rilievo geospaziale e del concetto stesso di monitoraggio infrastrutturale. Pur non raggiungendo l'accuratezza metrologica delle stazioni totali o delle reti GNSS permanenti, consente di acquisire rapidamente milioni di punti lungo decine o centinaia di chilometri di infrastrutture lineari, fornendo una rappresentazione tridimensionale continua dell'opera. Questo approccio rende possibile uno screening sistematico dell'intera infrastruttura, individuando automaticamente le aree critiche su cui concentrare successivamente monitoraggi di dettaglio con tecniche tradizionali. Il Mobile Mapping non sostituisce quindi il monitoraggio classico, ma ne ottimizza l'impiego, rendendo più efficiente la pianificazione delle ispezioni e l'allocazione delle risorse.
Tra le principali applicazioni rientrano: l'acquisizione di modelli tridimensionali delle pareti rocciose prospicienti infrastrutture stradali e ferroviarie, finalizzata all'individuazione di instabilità potenziali, variazioni morfologiche e aree prioritarie per controlli successivi; il rilievo di intere gallerie per l'identificazione di deformazioni locali, anomalie geometriche o fenomeni evolutivi da approfondire con sistemi di monitoraggio tradizionali; il monitoraggio delle pavimentazioni stradali, in cui i dati acquisiti sono elaborati automaticamente mediante algoritmi di intelligenza artificiale per il

calcolo di indicatori prestazionali, la classificazione dei difetti e il supporto alla pianificazione degli interventi manutentivi.

Risultati e conclusioni

Gli esempi presentati permettono di rispondere al quesito posto in apertura: il monitoraggio infrastrutturale non può più essere considerato un insieme di misure puntuali, ma va interpretato come un processo digitale integrato. Il valore non risiede più nella singola misura, bensì nella capacità di integrare monitoraggio tradizionale, tecnologie geospaziali, Digital Twin, intelligenza artificiale e Asset Management all'interno di un Digital Monitoring Workflow continuo. Questo approccio abilita modelli di manutenzione predittiva, migliora la sicurezza e l'efficienza operativa, e contribuisce a una gestione più intelligente, resiliente e consapevole delle infrastrutture.

Contatti: info@spektra.it

Uso della spettroscopia vis-NIR per la caratterizzazione delle matrici solide e dei simulanti di regolite: caso studio del progetto BEATRICE

***Ilaria Savino*[1], *Anna Barra Caracciolo*[2], *Chiara De Carolis*[2], *Alessandra Narciso*[2], *Paola Grenni*[2], *Domenico Borello*[3], *Paolo Marzioli*[3], *Fabrizio Piergentili*[3], *Valeria Ancona*[1*]**

[1] Consiglio Nazionale delle Ricerche -Istituto per le Tecnologie della Costruzione (CNR-ITC) di Bari (speaker),[2] Consiglio Nazionale delle Ricerche -Istituto per la Ricerca sulle Acque (CNR-IRSA) di Roma, [3] Sapienza Università di Roma, Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale

Abstract

Il progetto Beatrice, finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana nell'ambito del Bando Luna 2023 e coordinato dall'Università Sapienza di Roma, è volto allo studio e alla prototipazione di un sistema biorigenerativo in grado di produrre energia elettrica e vegetali edibili a partire dagli scarti degli astronauti (acque reflue e urina). Il sistema si basa sull'implementazione di celle a combustibile microbico (*Microbial Fuel Cells-MFCs*), sistemi di coltivazione modulare e autonoma, nonché di metodologie di sfruttamento delle risorse in situ, quali la regolite lunare. Questo substrato consiste in uno strato superficiale di materiale roccioso non consolidato, frammentato a polvere fine, spesso indicato come suolo lunare, che ricopre l'intera superficie della Luna. L'impiego della regolite è ampiamente riconosciuto come un elemento chiave di sostenibilità delle missioni lunari con equipaggio di lunga durata, nell'ambito della strategia nota come *In-Situ Resource Utilization* - ISRU. Tuttavia, diversi studi hanno dimostrato come questo materiale sia pericoloso per la salute umana, causando problemi infiammatori a seguito della sua inalazione. Pertanto, si evince la necessità di condurre studi volti alla definizione delle interazioni delle regoliti con i sistemi di supporto vitali bioregenerativi (BLSS). Nell'ambito del progetto BEATRICE sono state investigati, mediante caratterizzazione spettroscopica vis-NIR, simulanti di regolite per valutarne le potenzialità d'uso in sistemi biorigenerativi per applicazioni lunari.

La spettroscopia vis-NIR è una tecnica di indagine che consente di caratterizzare matrici ambientali in modo rapido e speditivo, restituendo informazioni sulla loro qualità. Nello specifico, sono stati acquisiti gli spettri di riflettanza vis-NIR mediante uno spettroradiometro ASD FieldSpec Pro su campioni di simulanti di regolite quali LHS-1D, LHS-2 e LMS-1, utilizzati in esperimenti di accrescimento vegetale. Una fase di *pre-processing* degli spettri ha previsto l'applicazione del filtro di *Savitzky–Golay* di terzo ordine, dopo la conversione in assorbanza, nonché della derivata seconda, al fine di aumentare la risoluzione dei picchi correlabili alle bande di assorbimento. Le firme spettrali hanno evidenziato variazioni tra le tre regoliti in termini di riflettanza e bande di assorbimento, potenzialmente correlabili alla composizione chimica dei campioni. Poiché tra i costituenti principali dei simulanti di regolite, pirosseno, plagioclasio e ilmenite sono minerali anidri, gli assorbimenti vibrazionali che si verificano nell'intervallo di lunghezze d'onda NIR possono essere attribuiti a minerali derivati dalla loro idratazione e idrossilazione. A tal riguardo, le bande osservate intorno a 1400 nm e 1900 nm in LHS-2 e LMS-1 e da 2200 nm a 2330 nm potrebbero derivare dal processo di transizione cristallina OH-Mn^{3+} e Mg-OH nell'anortosite-plagioclasio, nonché dalle vibrazioni di assorbimento dei legami Al–OH associati al plagioclasio. Nel presente studio, la spettroscopia Vis-NIR si è rivelata uno strumento utile a valutare diversi tipi di regolite in termini di composizione mineralogica. Tale tecnica presenta un elevato potenziale per un'identificazione rapida delle regoliti disponibili sulla superficie lunare, anche al fine di poter individuare ed eventualmente raccogliere come materie prime, quelle selezionate e studiate in esperimenti effettuati ad hoc.

Keywords: progetto BEATRICE, regolite, Microbial Fuel Cells (MFCs), spettroscopia vis-NIR

**Contatti: valeria.ancona@cnr.it*

VI. Intelligence e legislazione ambientale

Il ruolo proteiforme della fiscalità funzionale nella ricorrenza delle crisi energetiche

Antonio Felice Uricchio [1], Tommaso Calculli [2]

[1] Università di Bari,[2] Università di Bari

Abstract

Le recenti crisi energetiche hanno imposto nuove modalità di intervento pubblico nell'economia, comportando anche un mutamento di portata e attributi della fiscalità energetica.

Nella stagione di maggiore impulso del *Green Deal* europeo, la leva tributaria era prevalentemente concepita quale strumento di promozione della transizione eco-energetica. Se tale afflato si è solo parzialmente stemperato in ragione di esigenze di semplificazione ed efficienza di mercato (*Clean Industrial Deal*), si potrebbe sostenere che siano stati gli *shock* geopolitici, le tensioni sui mercati energetici e la crescente instabilità degli approvvigionamenti ad evidenziare l'esigenza di affiancare agli obiettivi climatici ulteriori finalità di sicurezza energetica e coesione sociale.

Muovendo dalla categoria della finanza funzionale, il lavoro di ricerca evidenzia come la fiscalità energetica abbia progressivamente assunto una funzione proteiforme. Infatti, non si può trascurare la persistente finalità di orientamento dei comportamenti verso la decarbonizzazione per il tramite della tentata revisione della materia delle accise; parimenti rilevanti appaiono i profili di razionalizzazione degli incentivi fiscali in essere, volti a favorire anche forme di *prosuming*.

Al contempo, assume un rilievo crescente la mitigazione degli effetti economici e distributivi delle ricorrenti emergenze energetiche, tesa complessivamente a garantire la tenuta dei sistemi produttivi e sociali. Di talché l'indagine si sofferma sui principali strumenti adottati a tal fine nel contesto italiano ed europeo, tra cui la riduzione temporanea del carico fiscale sui prodotti energetici e i meccanismi di modulazione delle accise, propedeutici a sostegni più selettivi ai soggetti maggiormente esposti.

Tali interventi dimostrano inoltre come, nelle fasi emergenziali, la funzione extrafiscale del tributo possa temporaneamente prevalere sulle finalità ambientali, determinando un ridimensionamento della spinta alla decarbonizzazione giustificato da esigenze di stabilizzazione dell'assetto economico e sociale.
L'analisi evidenzia altresì come, più in generale, le crisi energetiche abbiano contribuito a "concretizzare" il paradigma della transizione energetica. Alla centralità degli obiettivi climatici si affiancano infatti istanze di solidarietà intra e intergenerazionale, autonomia strategica e sicurezza degli approvvigionamenti, che impongono una più complessa ponderazione degli interessi pubblici coinvolti. In tale contesto emergono *dal basso* le criticità associate all'elaborazione di una politica fiscale energetica pienamente condivisa a livello unionale: la fiscalità energetica è così chiamata a misurarsi con le differenze che caratterizzano i *mix* energetici nazionali, le strategie di elettrificazione e i modelli di intervento pubblico adottati da ciascuno Stato membro. Il lavoro conclude quindi nel senso che la crescente frequenza delle crisi energetiche rende sempre meno sostenibile la tradizionale distinzione tra fiscalità energetica ordinaria ed emergenziale, dove decarbonizzazione, sicurezza energetica, competitività economica e giustizia sociale non rappresentano obiettivi alternativi, bensì dimensioni oramai complementari e in costante bilanciamento nell'ambito di una nuova funzione di governo delle transizioni.

Keywords: Energy Taxation; Energy Crisis; Green Transition; Extrafiscality; Energy Security.

Contatti: antoniofelice.uricchio@uniba.it , tommaso.calculli@uniba.it

La funzione sociale della proprietà alla prova della Costituzione ecologica: prevenzione delle catastrofi e rigenerazione attiva della Terra come bene comune

Ivan Allegranti[1],

[1] *EuriConv - European Research Institute*

Abstract

La transizione ecologica impone il superamento del tradizionale paradigma della "tutela difensiva" (intesa come mera conservazione passiva o ripristino *ex post* dei danni ambientali) per promuovere la "rigenerazione attiva" e l'equilibrio del progresso a tutela della Terra, intesa come bene comune primario in quanto *habitat* della specie umana. Sotto questo profilo, la riforma costituzionale del 2022, che ha introdotto all'art. 9 la tutela dell'ambiente, della biodiversità e degli ecosistemi nell'interesse delle future generazioni, ridefinisce le coordinate ermeneutiche del nostro ordinamento. Questo nuovo precetto costituzionale incide infatti direttamente sulla conformazione dei diritti patrimoniali, imponendo una rilettura ecocentrica della "funzione sociale" della proprietà ex art. 42, comma 2, della Costituzione. In questa prospettiva, lo statuto civilistico dei beni evolve verso il concetto di "proprietà ecologica": la titolarità privata non costituisce più un diritto assoluto e oppositivo (*ius excludendi*), bensì si struttura come una situazione giuridica relazionale che incorpora intrinsecamente doveri positivi di cura, manutenzione e riqualificazione ecosistemica. Tale metamorfosi proprietaria trova un terreno di prova cruciale nella gestione e prevenzione delle catastrofi naturali. Il diritto dei disastri sta progressivamente abbandonando la dimensione meramente emergenziale e risarcitoria post-evento per abbracciare quella della prevenzione proattiva e dell'adattamento climatico. L'inerzia del proprietario di fronte a rischi idrogeologici e ambientali ampiamente prevedibili non rappresenta più solo una condotta civilisticamente negligente, ma si configura come una diretta violazione della funzione sociale-ecologica della proprietà, la quale impone l'adozione di misure attive di messa in sicurezza del territorio. In questa cornice, l'art. 9 Cost. diventa il motore di un modello conformativo in cui l'iniziativa

economica e il progresso tecnologico sono orientati alla tutela del bene comune, trasformando l'impronta antropica da fattore di rischio a forza propulsiva e creativa. Solo armonizzando la capacità d'impresa con una regolazione ambientale proattiva sarà possibile garantire la resilienza dei territori di fronte alle catastrofi e attuare una transizione giusta e inclusiva nel segno della solidarietà intergenerazionale.

Keywords: Proprietà ecologica, Catastrofi naturali, Costituzione, Funzione sociale, Rigenerazione attiva

Contatti: research@euriconv.eu | *ivan.allegranti@gmail.com*

L'impatto delle diseguaglianze territoriali sulla coesione sociale. La prospettiva costituzionale

Cecilia Pannacciulli [1]

[1] Università degli Studi di Bari Aldo Moro

Negli ultimi due decenni le grandi crisi – economica, ambientale, sanitaria e, oggi, energetica – hanno reso urgente, sia a livello europeo, sia a livello nazionale, il ripensamento delle politiche di coesione sociale, sempre più compromessa dall'acuirsi delle diseguaglianze territoriali. Da questo punto di vista, il territorio rileva non soltanto come elemento costitutivo dello Stato, bensì quale criterio di organizzazione del potere. Tradizionalmente le politiche di coesione si conformano alla territorialità promuovendo un processo decisionale che prende impulso *bottom-up* coinvolgendo i diversi attori e comunità locali in un coordinamento multilivello. Con l'approvazione del Regolamento (UE) 2021/24, istitutivo del Recovery and Resilience Facility (RFF) a fronte del quale l'Italia ha approvato il PNRR e i decreti-legge ad esso collegati (cfr., da ultimi, i nn.124/2023 e 60/2024), si è invece assistito ad una inversione del criterio di partecipazione proattiva degli enti territoriali e della società civile alle strategie di coesione, in favore di un assetto centralizzato delle stesse a livello statale, con la conseguente degradazione dei primi a meri attuatori di tali scelte, con il rischio che un'impostazione fortemente centripeta non riesca a cogliere adeguatamente le effettive esigenze dei territori. Eppure, le coordinate costituzionali in tema di coesione sociale non prescindono dall'attenzione alla visione multilivello, muovendo espressamente dall'art. 119, co. 5, Cost. per aprirsi, grazie agli artt.1, 2 e 3, co. 2, 5, 9, co.3, e 118 Cost., ad un pluralismo territoriale ispirato ai principi di democrazia, autonomia, sussidiarietà e unità nazionale, pluralismo, partecipazione, solidarietà e uguaglianza sostanziale, tutela ambientale e sostenibilità, ai fini del pacifico e ordinato svolgimento delle relazioni comunitarie in vista del benessere comune, nonostante le pur fisiologiche differenze tra consociati e tra formazioni sociali. D'altronde, il principio autonomistico si affermò in Assemblea

costituente proprio per dare unità al di là delle (preziose) diversità. Lo stesso principio di differenziazione di cui all'art. 118 Cost., co. 1, Cost. presuppone che l'allocazione delle funzioni pubbliche debba essere effettuata tenendo presente le peculiarità dei diversi livelli di governo, e dunque tenere conto delle loro specifiche caratteristiche strutturali, demografiche, organizzative e territoriali. La coesione viene così ad assumere un significato proprio e differenziato anche rispetto alla solidarietà e all'eguaglianza configurandosi come una specifica e necessaria modalità "dal basso" per perseguire quei valori costituzionali. Si aggiunga che la recente giurisprudenza costituzionale - che invero sostiene con forti argomentazioni la visione centralista delle politiche di coesione (si vedano ad es.: Corte cost., sentt. nn. 187/2021, 123/2022 e 175/2024) - non manca di ribadire che il principio di leale collaborazione è posto a garanzia dell'autonomia regionale anche quando lo Stato, nell'esercizio della potestà legislativa esclusiva, tenda a centralizzare il processo di *decision making*. Da un altro punto di vista, le norme costituzionali garantiscono, anche a fini di coesione sociale, il riequilibrio di tutti i divari territoriali che si trasformano in diseguaglianze sociali: si pensi alle periferie urbane, all'insularità, alle aree interne e, più in generale, ai luoghi economicamente depressi. In effetti, qualsiasi politica di pianificazione infrastrutturale, dei trasporti, del turismo, della rigenerazione dovrebbe considerare gli impatti sul territorio, i nuovi bisogni che si generano e il modo in cui vengono o dovrebbero essere risolti. La coesione, indipendentemente dal significato attribuitogli, non è una virtù che si apprende, ma un articolato processo politico di partecipazione e contrasto alle logiche che hanno progressivamente ristretto il campo della cittadinanza.

Keywords: coesione sociale; diseguaglianze territoriali; autonomia territoriale; partecipazione; principi costituzionali su coesione sociale

Contatti : cecilia.pannacciulli@uniba.it

From Robot Rights to Ecological Duties: A Machine Ethics Framework for Autonomous Robots in Environmental Regeneration

Pablo Ruiz Osuna

[1] *Invesitgador Euriconv, Investigador posdoctoral URV, Invesitgador Fundación CIEPE*

Abstract

One of the major challenges of the contemporary world is addressing the impact of climate change on our societies and ecosystems. The fight against deforestation, the search for low-carbon or climate-neutral energy sources, the improvement of recycling systems, and the clean-up of contaminated environments all show that the green transition requires not only technological innovation, but also ethical and legal rigour. In this context, artificial intelligence may play an ambivalent role: it can contribute to climate mitigation and adaptation through improved systems for prediction, monitoring, energy optimisation, and resource management; yet it may also hinder this transition if its development increases energy consumption, reproduces inequalities, or is deployed without adequate transparency, accountability, and oversight (Rolnick et al., 2022; Vinuesa et al., 2020).

Today, the growing potential of robots is endowing them with increasing autonomy and capabilities that, until recently, seemed to belong to the realm of science fiction (Ruiz Osuna et al., 2026). In a society marked by population ageing, declining birth rates, shortages of water and energy resources, and economic stagnation, it is reasonable to think that we will increasingly delegate critical tasks to intelligent automata, which may come to constitute a new working class —or perhaps even new citizens— (Ruiz Osuna, 2025).

However, the ethical decisions that a robot may make require careful consideration of their scope, limits, and possible moral contradictions. For example, a robot designed to protect environmental health could

face complex ethical dilemmas, such as sacrificing one green area in order to save another considered to have greater ecological value — for instance, a biosphere reserve—; prioritising the protection of biodiversity over immediate human interests; limiting economic activities deemed harmful to flora and fauna; accepting certain forms of collateral damage; or deciding when an intervention should be brought to a halt.

Are we prepared for the age of intelligent machines?

References:

Rolnick, D., Donti, P. L., Kaack, L. H., Kochanski, K., Lacoste, A., Sankaran, K., Ross, A. S., Milojevic-Dupont, N., Jaques, N., Waldman-Brown, A., Luccioni, A., Maharaj, T., Sherwin, E. D., Mukkavilli, S. K., Kording, K. P., Gomes, C., Ng, A. Y., Hassabis, D., Platt, J. C., … Bengio, Y. (2022). Tackling climate change with machine learning. ACM Computing Surveys, 55(2), Article 42. https://doi.org/10.1145/3485128

Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I., Balaam, M., Dignum, V., Domisch, S., Felländer, A., Langhans, S. D., Tegmark, M., & Fuso Nerini, F. (2020). The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. Nature Communications, 11, 233. https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y

Keywords: RoboLaw; AI ethics; autonomous robots; environmental regeneration; environmental law.

Ruiz Osuna, P., Carbajal, I., Vanioff, I., & Pauketat, J. V. (2026). Creatividad Algorítmica y Derechos de Autor: ¿Puede la IA ser Autora de una Obra?. Ius Humani. Revista De Derecho, 15(1), 142–167. https://doi.org/10.31207/ih.v15i1.463.

Contatti: paruos1990@gmail.com

Intelligenza artificiale, economia dei dati e patrimonio culturale: modelli di valore pubblico per una transizione digitale sostenibile

***Francisco Arteaga*[1], *Anna Peirats*[1]**

[1] *Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir*

Abstract

La trasformazione digitale sta ridefinendo il ruolo del patrimonio culturale all'interno delle moderne economie della conoscenza. Archivi, biblioteche, musei e piattaforme digitali producono oggi grandi quantità di dati che, opportunamente organizzati e analizzati, possono generare valore scientifico, educativo, sociale ed economico. In questo contesto, l'intelligenza artificiale emerge come una delle tecnologie più rilevanti per l'elaborazione, l'integrazione e la valorizzazione delle informazioni culturali, aprendo nuove prospettive per la gestione sostenibile del patrimonio.

La presente comunicazione analizza il rapporto tra intelligenza artificiale, economia dei dati e patrimonio culturale digitale, con particolare attenzione al concetto di valore pubblico. L'obiettivo è esaminare come le tecnologie intelligenti possano contribuire alla costruzione di ecosistemi digitali capaci di favorire l'accesso alla conoscenza, l'innovazione sociale e la crescita sostenibile. Il patrimonio culturale non rappresenta soltanto una risorsa identitaria o simbolica, ma costituisce anche un capitale informativo strategico che può generare benefici diffusi attraverso processi di condivisione, riuso e interoperabilità dei dati.

L'intelligenza artificiale consente di ampliare le possibilità di descrizione, classificazione, analisi e recupero dell'informazione, favorendo nuove forme di utilizzo delle risorse culturali. Tuttavia, il valore prodotto da tali sistemi dipende dalla qualità dei dati, dalla trasparenza degli algoritmi e dall'esistenza di modelli di governance in grado di garantire affidabilità, equità e sostenibilità nel lungo periodo.

La crescente centralità dei dati culturali impone pertanto una riflessione sulle modalità con cui le istituzioni pubbliche possono trasformare il patrimonio digitale in una risorsa condivisa orientata al bene comune.

Particolare attenzione viene dedicata ai principi FAIR e alle strategie europee per la valorizzazione del patrimonio culturale digitale, che promuovono dati accessibili, interoperabili e riutilizzabili come fondamento di ecosistemi innovativi e resilienti. In tale prospettiva, la sostenibilità non riguarda esclusivamente la conservazione delle risorse, ma comprende anche la capacità di generare valore sociale, economico e culturale attraverso l'uso responsabile delle tecnologie emergenti.

La comunicazione conclude che l'integrazione tra intelligenza artificiale, governance dei dati e patrimonio culturale può contribuire alla costruzione di modelli di sviluppo più inclusivi e sostenibili. Il patrimonio digitale assume così una funzione strategica nella transizione tecnologica contemporanea, configurandosi come infrastruttura di conoscenza capace di sostenere innovazione, partecipazione e crescita collettiva.

Keywords: Intelligenza artificiale; economia dei dati; patrimonio culturale digitale; valore pubblico; sostenibilità.

Bibliografia

Borgman, C. L. (2015). *Big data, little data, no data: Scholarship in the networked world*. MIT Press.

Mayer-Schönberger, V., & Cukier, K. (2013). *Big data: A revolution that will transform how we live, work, and think*. Houghton Mifflin Harcourt.

Moore, M. H. (1995). *Creating public value: Strategic management in government*. Harvard University Press.

Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, I. J., Appleton, G., Axton, M., Baak, A., Blomberg, N., Boiten, J. W., da Silva Santos, L. B., Bourne, P. E., Bouwman, J., Brookes, A. J., Clark, T., Crosas, M., Dillo, I., Dumon, O., Edmunds, S., Evelo, C. T., Finkers, R., … Mons, B. (2016). The FAIR guiding principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data, 3*, Article 160018. https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18

Contatti: francisco.arteaga@ucv.es; anna.peirats@ucv.es

Genere, Generazioni e Rigenerazioni: le sfide attuali della legislazione nazionale e regionale

Michele Chieco[1]

[1] *Consiglio Regionale della Puglia - Sezione Supporto legislativo e assistenza giuridica-istituzionale*

Abstract

Le trasformazioni ambientali, demografiche, tecnologiche e geopolitiche degli ultimi anni stanno ridefinendo il rapporto tra diritto, territorio e società, imponendo un ripensamento del ruolo del legislatore e degli strumenti di valutazione delle politiche pubbliche.

Il contributo prende avvio dall'analisi dell'evoluzione del principio di sviluppo sostenibile, dall'elaborazione del Rapporto Brundtland (1987) fino all'Agenda 2030 delle Nazioni Unite e alla recente (2022) introduzione della tutela dell'ambiente e delle future generazioni negli articoli 9 e 41 della Costituzione italiana.

In questo contesto si colloca la legge 10 novembre 2025, n. 167, che introduce la Valutazione di Impatto Generazionale quale strumento di analisi preventiva degli effetti delle leggi sulle generazioni future - che va intesa come valutazione dell'impatto anche sulle differenti generazioni coesistenti - affiancandola alla Valutazione di Impatto di Genere, come componenti strutturali della qualità della normazione.

Il lavoro evidenzia come sostenibilità, equità intergenerazionale, parità di genere e cura rappresentino oggi criteri trasversali per accompagnare le transizioni verde, digitale e sociale, superando una concezione dello sviluppo fondata esclusivamente sulla crescita economica.

In tale prospettiva viene richiamato il concetto di "rigenerazione attiva dei territori", intesa come processo capace di integrare innovazione tecnologica, coesione sociale, partecipazione democratica e valorizzazione del capitale umano, in un approccio orientato all'antifragilità, cioè alla capacità dei sistemi territoriali e istituzionali di trasformare crisi e fragilità in opportunità di apprendimento e sviluppo.

Si accenna alla necessità di nuove metriche di valutazione dell'impatto generazionale e di genere ed al ruolo di indicatori multidimensionali,

quali gli indicatori BES e gli SDGs, nella misurazione degli effetti economici, sociali, ambientali e distributivi delle politiche pubbliche.
Il contributo sottolinea inoltre le potenzialità offerte dall'intelligenza artificiale e dall'analisi dei dati nel supporto ai processi decisionali, nel rispetto dei principi di trasparenza, affidabilità e controllo umano.
Il quadro teorico è integrato dal richiamo ad un'esperienza realizzata dal Consiglio regionale della Puglia nell'ambito del progetto "Giovani in Consiglio – da osservatori a protagonisti", che ha visto studenti delle scuole secondarie superiori cimentarsi, sotto la guida di funzionari consiliari, nella valutazione sperimentale dell'impatto generazionale di progetti di legge regionali. L'esperienza, sviluppata in parallelo al percorso legislativo regionale pugliese per l'introduzione della Valutazione di Impatto Generazionale e della Valutazione di Impatto di Genere nella pianificazione e nella legislazione, rappresenta un esempio di innovazione istituzionale che coniuga educazione civica, partecipazione democratica e qualità della legislazione.
Il contributo conclude che la rigenerazione dei territori, ovvero la riconfigurazione del rapporto tra comunità e territori, richiede un legislatore capace di integrare evidenze scientifiche, partecipazione dei cittadini, valutazione preventiva degli impatti e responsabilità verso le generazioni future, orientando le politiche pubbliche verso un equilibrio tra innovazione, sostenibilità, equità e tutela del bene comune.

Introduzione

Le sfide del XXI secolo, dalla crisi climatica all'accelerazione tecnologica, hanno scardinando i vecchi modelli di sviluppo del Novecento, basati sul consumo intensivo delle risorse. Oggi il legislatore nazionale e regionale si trova di fronte a una nuova responsabilità: non deve più limitarsi a regolare il presente, ma deve orientare il futuro in modo equo e inclusivo. Concetti come la sostenibilità, la cura e l'equità intergenerazionale, non sono più semplici enunciazioni etiche, ma stanno assumendo un ruolo strutturale nella produzione normativa. Stanno ridefinendo il concetto stesso di rigenerazione, non più solo come recupero di aree antropizzate, ma come rafforzamento del capitale umano e sociale. In questo contesto, l'introduzione della Valutazione di Impatto Generazionale e di Genere nella legislazione, tramite la legge n. 167/2025, rappresenta una svolta fondamentale, recepita dalla Puglia, prima regione in Italia, con la legge regionale approvata in

Consiglio regionale nella seduta del 7 luglio 2026. Questo contributo intende analizzare tali tendenze legislative, leggendo il rapporto tra genere, generazioni e rigenerazioni come chiave interpretativa essenziale della governance contemporanea.

1. Territorio e legislazione: dalle intuizioni di Montesquieu alle sfide contemporanee

Il legame tra leggi e territorio affonda le radici nel pensiero politico moderno, trovando in Montesquieu, e nel suo “Lo spirito delle leggi” del 1748, una prima fondamentale intuizione: le norme non possono essere astratte, ma devono adattarsi al clima, all'economia e ai costumi di una società. Nel mondo contemporaneo i territori sono diventati ecosistemi complessi in cui l'aumento delle disuguaglianze e lo sfruttamento intensivo del pianeta hanno mostrato i limiti dello sviluppo industriale.

Da questa consapevolezza è nato il concetto moderno di sviluppo sostenibile, codificato nel 1987 dal Rapporto Brundtland, il quale ha sancito la necessità di soddisfare i bisogni presenti senza compromettere la possibilità di soddisfare quelli futuri, articolando la sostenibilità nelle sue tre dimensioni inscindibili: ambientale, economica e sociale. Un concetto che richiama una sorta di “senso civico” da parte di chi abita adesso il pianeta Terra, casa comune, nei confronti di chi lo abiterà in futuro. Un concetto che tiene conto delle complesse relazioni tra tutte le forme di vita e della finitezza delle risorse disponibili.

Questa visione è stata successivamente tradotta in obiettivi concreti e misurabili dai 17 SDGs dell'Agenda 2030 dell'ONU, che pongono il legislatore, i decisori e le comunità, come custodi della qualità del futuro.

A fondamento di questa evoluzione vi è la complessa storia della demografia mondiale, contrassegnata, secondo le più accreditate teorie scientifiche, da momenti drammatici in cui l’umanità stessa ha rischiato l’estinzione. Circa 900.000 anni fa, a causa dei mutamenti climatici della Transizione Medio-Pleistocenica, la linea evolutiva umana affrontò un rischioso "collo di bottiglia" genetico, che ridusse l'intera popolazione umana globale a poco più di mille individui fertili. Tali “ancestors” resistettero in condizioni estreme per quasi 120.000 anni, lasciando in eredità l'attuale scarsa variabilità genetica dell'uomo moderno. Un secondo evento catastrofico si verificò poi circa 70.000 anni fa, quando l'eruzione del supervulcano Toba in

Indonesia ridusse nuovamente i primi “Homo sapiens” a pochissime migliaia di unità. Superate queste crisi, la popolazione è rimasta sotto i 500 milioni di unità per millenni, fino alla Rivoluzione Industriale, quando i progressi igienici e agricoli hanno permesso di toccare il primo miliardo nel 1804. Da allora l'accelerazione è stata impressionante: due miliardi nel 1927, quattro nel 1974 e oltre otto miliardi nel 2022. Attualmente assistiamo a una decelerazione del tasso di fertilità globale, che porterà a un picco stimato tra i 10,3 e i 10,4 miliardi nella seconda metà del secolo, seguito da una stabilizzazione o da un graduale declino intorno al 2100.

Oggi quindi siamo l'unico primate ad avere, contemporaneamente, una vastissima popolazione globale e una piccolissima diversità genetica, che purtroppo non corrisponde alle grandi disuguaglianze che caratterizzano le nostre comunità.

Comprendere la territorializzazione degli scenari demografici cui si è fatto cenno costituisce la base indispensabile per una legislazione orientata all'equità generazionale.

2. La costituzionalizzazione della sostenibilità e dell’equità intergenerazionale e le nuove sfide legislative

In Italia la sostenibilità ha assunto un valore giuridico vincolante grazie alla riforma costituzionale del 2022, che ha modificato l'articolo 9 - introducendo la tutela dell'ambiente anche nell'interesse delle future generazioni - e l'articolo 41 - stabilendo che l'iniziativa economica non può arrecare danno alla salute e all'ambiente. Per tradurre questi principi in strumenti operativi, la legge n. 167/2025 ha introdotto le valutazioni preventive di impatto generazionale e di genere quale elemento per migliorare la qualità della normazione.

A livello locale, la Regione Puglia ha anticipato questi temi nel proprio Statuto sin dal 2004, tutelando il territorio come bene comune e promuovendo l'inclusione, l'equità tra generazioni e la parità di genere.

L'azione pubblica è quindi chiamata ad ispirarsi ai macroconcetti della cura e della sostenibilità, integrando la dimensione di genere, per garantire che le trasformazioni tecnologiche e ambientali non amplifichino le disuguaglianze esistenti. Questo approccio permea le tre grandi transizioni odierne, a partire da quella verde, incentrata sulla decarbonizzazione e sull'economia circolare come leve di sviluppo. Parallelamente, la transizione digitale impone una profonda

responsabilità etica e sociale; basti pensare al parallelismo tra l'AI Act europeo, che vieta il punteggio sociale e impone trasparenza normativa, e i principi di algoretica espressi dall'enciclica "Magnifica Humanitas", che evidenzia la complessità morale che governa lo sviluppo degli algoritmi. Infine, la sostenibilità deve tradursi in una transizione giusta, che non lasci indietro nessuno e che renda i giovani protagonisti attivi delle politiche territoriali, ma senza ridurre l'attenzione alle altre generazioni coesistenti. Ormai siamo infatti abituati a categorizzazioni e denominazioni su base generazionale, dalle persone nate fino al 1924 (Founder) ai Baby Boomer (1945-1964), alla Generazione X (1965-1980), ai Millennial (1981-1996), alla Generazione Z (1997-2012) e alla Generazione Alpha (2012-2025). Una coesistenza demografica che aiuta a cogliere la complessità di una comunità che si articola in macro-gruppi, che condividono lo stesso presente ma con background culturali, economici e sociali profondamente differenti.

3. i principali ostacoli al processo

Il cammino verso uno sviluppo equilibrato richiede che il decisore politico utilizzi evidenze verificate, secondo un metodo che trova un punto di riferimento storico nel rapporto "I limiti dello sviluppo" del Club di Roma del 1972, il quale dimostrò matematicamente l'impossibilità di una crescita infinita in un pianeta dalle risorse finite. Tale modello va integrato con evidenze sociali ed economiche.

Nel contesto italiano, lo sviluppo è frenato da una combinazione di fragilità strutturali interconnesse, a partire dal debito pubblico che, avendo superato i 3.000 miliardi di euro, con un rapporto Debito/PIL intorno al 137-138%, si traduce in un carico teorico di circa 52.000 euro per cittadino, limitando drasticamente i margini di investimento per il futuro.

A questo vincolo finanziario si unisce la crisi demografica, la denatalità e l'invecchiamento della popolazione colpiscono il welfare, riducono la forza lavoro e frenano l'innovazione. Il quadro si complica ulteriormente a causa della storicamente bassa produttività delle imprese, dei profondi divari territoriali tra Nord e Sud, degli alti tassi di dispersione scolastica e della scarsa partecipazione femminile al mercato del lavoro.

Sul piano normativo, la complessità amministrativa e la frammentazione decisionale ostacolano la programmazione a lungo termine, mentre il territorio rimane fortemente vulnerabile al dissesto

idrogeologico e ai cambiamenti climatici. Poiché tutte queste criticità si alimentano reciprocamente, sorge la necessità di superare le risposte settoriali, a favore di un paradigma integrato e antifragile.

4. L'approccio antifragile: trasformare le crisi in opportunità

Di fronte agli shock globali non è più sufficiente limitarsi a resistere; l'approccio antifragile presuppone che i sistemi istituzionali utilizzino le fragilità e le crisi come spinte creative per innovare e generare nuove competenze in modo corale e partecipativo.

Per fare ciò, il legislatore deve disporre di metriche capaci di misurare gli effetti di lungo periodo delle politiche pubbliche, integrando il calcolo del PIL con gli indicatori del Benessere Equo e Sostenibile (BES) e con nuove metriche e metodiche sviluppate ad hoc per tali nuove esigenze di valutazione delle politiche pubbliche stesse, durante tutto il loro ciclo, ricorrendo alle possibilità offerte dall'intelligenza artificiale per l'elaborazione di grandi quantità di dati affidabili.

I temi fin qui esposti sono stati trattati sistematicamente in ambito consiliare pugliese sin dal 2016, con l'istituzione di Strutture di studio e documentazione che si avvalgono di esperti interni e di partenariati con centri di competenza. Oggi, un piccolo esempio concreto di modello partecipativo "antifragile", di generazione di nuove competenze è offerto da un'esperienza nell'ambito del progetto "Giovani in Consiglio – da osservatori a protagonisti", in cui gli studenti delle scuole superiori hanno testato in via sperimentale, attraverso schede semplificate, attività di screening e valutazione di impatto generazionale di veri progetti di legge. Un'attività che è stata preceduta da formazione e dialogo sulla lettura di principi e fabbisogni collettivi in ottica di sostenibilità.

Dal dialogo con le generazioni che si avviano al mondo universitario e del lavoro, sono emersi bisogni precisi legati all'edilizia scolastica, alla mobilità, alla salute mentale e alla partecipazione democratica, riflettendo direttamente priorità coerenti con obiettivi (SDGs) dell'Agenda 2030, in particolare, e in ordine di importanza per i ragazzi, 4 (Istruzione di qualità), 3 (Salute e benessere), 11 (Città e comunità sostenibili), 8 (Lavoro dignitoso), 16 (Istituzioni solide) e 13 (Azione per il clima).

I giovani hanno mostrato una forte consapevolezza del legame tra qualità del territorio, diritti sociali e futuro proprio, quali giovani individui, e delle comunità di appartenenza, ed hanno applicato la

propria nuova consapevolezza alla formazione di un giudizio critico ed esperto su progetti che riguardano lo strumento principale di attuazione delle politiche pubbliche: la legislazione.
Quello citato è solo un esempio di buona pratica attraverso la quale è possibile fare emergere istanze attraverso processi partecipativi. La complessità del lavoro del legislatore è, come si è visto, estrema. Metriche adeguate, e conoscenza dei contesti sui quali le politiche sono destinate ad impattare, devono guidare la sua azione in un modello collaborativo, che attinga ad ogni risorsa in grado di "dipanare" tale complessità e tradurla in buone leggi per il territorio di riferimento.

Conclusioni

Le trasformazioni epocali del nostro tempo stanno ridefinendo i confini del diritto, trasformando la sostenibilità, l'equità e la responsabilità verso il futuro in principi ordinatori della governance pubblica. Strumenti come le valutazioni di impatto generazionale e di genere offrono una logica preventiva che arricchisce l'intero ciclo delle politiche, ponendo la qualità della vita e la giustizia sociale al di sopra della sola crescita economica quantitativa. Di fronte alle sfide demografiche e ambientali, la rigenerazione attiva dei territori deve diventare un processo multidimensionale in grado di unire evoluzione urbana, innovazione responsabile, coesione sociale e valorizzazione delle differenze. Adottando il paradigma della cura e dell'antifragilità, il progresso non può più essere misurato con parametri esclusivamente economici, ma deve riflettere la tutela del bene comune, orientando i territori verso un equilibrio duraturo tra eccellenza tecnologica, equità e sviluppo sostenibile.

Bibliografia essenziale

Assemblea Generale delle Nazioni Unite, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, Risoluzione A/RES/70/1, 25 settembre 2015.
Commissione Mondiale su Ambiente e Sviluppo (WCED), Our Common Future (Rapporto Brundtland), Oxford University Press, 1987.
Costituzione della Repubblica Italiana, artt. 9 e 41, come modificati dalla legge costituzionale 11 febbraio 2022, n. 1.
Legge 10 novembre 2025, n. 167, Misure per la semplificazione normativa e il miglioramento della qualità della normazione e deleghe

al Governo per la semplificazione, il riordino e il riassetto in determinate materie.
Regione Puglia, Statuto della Regione Puglia, legge regionale 12 maggio 2004, n. 7.
Regione Puglia, legge regionale 2 novembre 2011, n. 29, Semplificazione e qualità della normazione.
Consiglio regionale della Puglia, progetto di legge regionale n. 107 https://giac.consiglio.puglia.it/web/timeline/2530
Consiglio regionale della Puglia, progetto "Giovani in Consiglio – Da osservatori a protagonisti" https://www.consiglio.puglia.it/giovani-in-consiglio-da-osservatori-a-protagonisti
Commissione Europea, The European Green Deal, COM (2019) 640 final, Bruxelles, 2019.
Commissione Europea, A Europe fit for the Digital Age, Bruxelles, 2020.
ISTAT, Rapporto BES – Benessere Equo e Sostenibile, ultime edizioni.
ASviS, Rapporto annuale sullo sviluppo sostenibile in Italia, ultime edizioni.
Keywords: Intergenerational Justice; Legislative Impact Assessment; Policy Evaluation; Sustainable Territorial Governance; Gender Mainstreaming

Contatti: chieco.michele@consiglio.puglia.it

Sostegno pubblico in agricoltura e rigenerazione dei territori: la dimensione ambientale

Lucia Briamonte[1], Assunta Amato[2], Tatiana Castellotti[2], Dario Macaluso[2], Paolo Piatto[2], Mariagrazia Rubertucci[2]

[1] CREA - Centro di ricerca Politiche e Bioeconomia (speaker),[2] CREA - Centro di ricerca Politiche e Bioeconomia

Abstract

L'analisi della spesa pubblica in agricoltura offre una chiave di lettura utile per comprendere quali funzioni vengano effettivamente sostenute dalle politiche di settore. Accanto agli interventi più direttamente rivolti alle imprese agricole, una parte delle risorse riguarda infatti attività che incidono sulla gestione del territorio, sulla conservazione del suolo, sul patrimonio forestale e sulla risposta ai danni provocati da eventi calamitosi.

Il contributo si basa sui dati della Banca dati SoPiA del CREA, costruita attraverso la raccolta e la riclassificazione dei flussi di sostegno pubblico destinati all'agricoltura. La metodologia adottata consente di leggere la spesa secondo quadri omogenei e di confrontare, nel tempo e tra regioni, le principali finalità dell'intervento pubblico. In questa sede l'attenzione è posta sulla componente ambientale del sostegno, considerando in particolare attività forestali, difesa idrogeologica, infrastrutture, interventi di tutela ambientale e spese per calamità naturali.

Nel periodo 2018-2023, gli interventi attivati per il settore agricolo e classificati con finalità di tutela ambientale raggiungono un valore medio pari a 657 milioni di euro annui, pari al 30,6% della spesa agricola regionale, con valori non uniformi lungo la serie. Un ulteriore criterio di classificazione consente di individuare gli interventi destinati ad attività forestali, difesa idrogeologica e infrastrutture che complessivamente ammontano a circa 576 milioni di euro annui e rappresentano oltre un quarto della spesa agricola regionale. Le spese per calamità naturali si attestano invece in media a 129 milioni di euro annui, pari al 6,0% della spesa agricola regionale.

I risultati mostrano che la dimensione ambientale del sostegno agricolo è rilevante e non è riconducibile soltanto agli interventi di ripristino o compensazione dei danni. Una quota significativa delle

risorse riguarda, infatti, interventi di natura preventiva quali la gestione forestale, la difesa del suolo, le infrastrutture territoriali e altri strumenti che incidono sulla capacità dei sistemi rurali di conservare le proprie funzioni produttive, ambientali e sociali. La lettura integrata dei dati permette quindi di osservare come la spesa pubblica agricola contribuisca, con intensità diverse nel tempo e tra regioni, alla gestione attiva delle risorse e alla rigenerazione dei territori.

Keywords: Sostegno pubblico; Agricoltura; Rigenerazione territoriale; Tutela ambientale; SoPiA

Contatti: lucia.briamonte@crea.gov.it, assunta.amato@crea.gov.it, tatiana.castellotti@crea.gov.it, dario.macaluso@crea.gov.it, paolo.piatto@crea.gov.it, mariagrazia.rubertucci@crea.gov.it

I nuovi paradigmi della governance ambientale

Laura Di Giovanni[1], Emanuela Fiucci[1], Vincenzo Piscitellii[1]
[1-] CNR

Abstract
La governance ambientale sta attraversando una profonda trasformazione determinata dall'emergere di nuove sfide globali legate al cambiamento climatico, alla tutela della salute pubblica, alla scarsità delle risorse naturali e alla necessità di promuovere modelli di sviluppo sostenibile. In tale contesto, la transizione ecologica si configura come un nuovo paradigma interpretativo e operativo che supera la tradizionale concezione settoriale delle politiche ambientali, favorendo un approccio integrato tra tutela dell'ambiente, sviluppo economico, innovazione tecnologica e partecipazione degli stakeholder.
L'evoluzione della disciplina delle bonifiche dei siti contaminati rappresenta uno degli ambiti più significativi di questo cambiamento. Le bonifiche non sono più considerate meri interventi di risanamento ambientale, ma strumenti di rigenerazione territoriale, riconversione produttiva e valorizzazione del capitale naturale. In tale prospettiva assumono particolare rilevanza i Piani Regionali di Bonifica e la gestione dei Siti di Interesse Nazionale (SIN), che costituiscono laboratori privilegiati per l'analisi delle nuove forme di governance multilivello.
Il contributo propone una riflessione critica sui principali strumenti che caratterizzano il nuovo paradigma della governance ambientale, con particolare riferimento al principio "chi inquina paga", alle procedure semplificate, ai processi di digitalizzazione, all'economia circolare e alle forme emergenti di governance multilivello. Attraverso una lettura supportata dall'analisi SWOT, vengono evidenziate le opportunità e le criticità derivanti dall'integrazione tra esigenze di tutela ambientale, efficienza amministrativa e rigenerazione territoriale:

Fattori interni	Positivi	Negativi
Governance ambientale	Integrazione delle politiche ambientali e industriali	Frammentazione amministrativa
Piani regionali	Conoscenza territoriale e programmazione	Disomogeneità tra Regioni
SIN	Maggiore attenzione statale	Tempi lunghi e complessità elevata
Principio chi inquina paga	Responsabilizzazione degli operatori	Difficoltà di accertamento delle responsabilità
Procedure semplificate	Accelerazione degli interventi	Possibile riduzione delle garanzie
Nuovi strumenti	Innovazione e flessibilità	Complessità tecnica

Fattori esterni	Opportunità	Minacce
Transizione ecologica	Fondi europei, PNRR, Green Deal	Instabilità normativa
Economia circolare	Nuove filiere industriali	Mercati ancora immaturi
Innovazione tecnologica	Monitoraggi avanzati e bonifiche smart	Divario tecnologico territoriale
Partecipazione pubblica	Maggiore legittimazione delle decisioni	Conflittualità sociale e fenomeni NIMBY

L'analisi suggerisce come le sfide contemporanee richiedano il superamento di approcci settoriali e la costruzione di modelli decisionali più adattivi, partecipativi e orientati ai risultati. In questa prospettiva, il lavoro intende offrire uno spunto per ulteriori approfondimenti teorici e applicativi sul rapporto tra complessità ambientale, innovazione istituzionale e sostenibilità, contribuendo al dibattito sulle future traiettorie della governance ambientale.

Keywords: Governance ambientale; Transizione ecologica; Bonifiche ambientali; Siti di Interesse Nazionale (SIN); Principio "chi inquina paga"; Rigenerazione territoriale; Analisi SWOT; Economia circolare

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

L'inerzia amministrativa nell'individuazione del responsabile e l'effettività del principio "chi inquina paga"

Laura Di Giovanni[1], Emanuela Fiucci[1], Vincenzo Piscitellii[1]
[1-] CNR

Abstract
Il principio del "chi inquina paga" costituisce uno dei cardini del diritto ambientale europeo e italiano. Esso impone che i costi derivanti dalla prevenzione, riduzione e riparazione dei danni ambientali siano sostenuti dal soggetto che ha causato l'inquinamento, evitando che tali oneri ricadano sulla collettività.
A livello europeo, il principio è sancito dall'art. 191 del Trattato sul Funzionamento dell'Unione Europea (TFUE), che lo inserisce tra i principi fondamentali della politica ambientale dell'Unione. La sua attuazione si realizza attraverso numerosi atti normativi, tra cui la Direttiva 2004/35/CE sulla responsabilità ambientale, che disciplina la prevenzione e la riparazione del danno ambientale secondo il criterio della responsabilità dell'operatore responsabile.
Nell'ordinamento italiano, il principio trova riconoscimento principalmente nel Decreto Legislativo 152/2006 (Codice dell'Ambiente), che prevede specifici obblighi di messa in sicurezza, bonifica e ripristino ambientale a carico del responsabile della contaminazione. In particolare, gli artt. 242, 244 e 245 attribuiscono alle amministrazioni competenti il compito di individuare il soggetto responsabile e di attivare i conseguenti procedimenti amministrativi, in attuazione del principio europeo secondo cui gli oneri del risanamento devono gravare sull'inquinatore.
La giurisprudenza nazionale ed europea ha costantemente confermato tale impostazione, escludendo che i costi della bonifica possano essere trasferiti a soggetti estranei alla causazione dell'evento inquinante. Al tempo stesso, è stato chiarito che l'accertamento della responsabilità può fondarsi sul criterio civilistico del "più probabile che non", valorizzando anche elementi indiziari e presunzioni semplici, purché supportati da un'adeguata istruttoria amministrativa.

Le implicazioni del principio sono rilevanti sia sul piano giuridico sia su quello economico. Esso non solo legittima l'imposizione di misure di prevenzione e bonifica nei confronti del responsabile, ma incentiva anche comportamenti produttivi più sostenibili, favorendo l'internalizzazione dei costi ambientali delle attività economiche. Un esempio concreto è rappresentato dall'ipotesi in cui un'impresa provochi la contaminazione di una falda acquifera: in tal caso, sarà tenuta a sostenere i costi delle indagini ambientali, della messa in sicurezza e della bonifica del sito, senza che tali oneri gravino sulla collettività.
Particolare rilievo assume il tema dell'omessa o tardiva individuazione del responsabile da parte della Pubblica Amministrazione. L'inerzia amministrativa può infatti compromettere l'effettività del principio "chi inquina paga", trasferendo indirettamente sulla collettività i costi del risanamento, ostacolando il recupero delle somme sostenute dall'ente pubblico e pregiudicando il diritto di rivalsa del proprietario incolpevole che abbia provveduto spontaneamente alla bonifica. Ne deriva che l'efficacia del sistema di responsabilità ambientale non dipende soltanto dall'esistenza di un responsabile dell'inquinamento, ma anche dalla capacità dell'amministrazione di individuarlo tempestivamente attraverso un'istruttoria adeguata, garantendo la concreta applicazione del principio europeo del "chi inquina paga".

Keywords: Principio chi inquina paga, D.Lgs. 152/2006, Nesso causale, Responsabilità della Pubblica Amministrazione, Proprietario incolpevole

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

Metadatos, interoperabilidad y preservación digital: estrategias para la sostenibilidad del patrimonio documental histórico

Jacob Mompó Navarro[1]

[1] *Universidad de Alcalá (UAH)*

Abstract

La transformación digital ha ampliado el acceso al patrimonio documental, pero la mera digitalización no garantiza la conservación, la accesibilidad ni la reutilización a largo plazo. La sostenibilidad del patrimonio digital depende de la calidad de los metadatos, de la adopción de estándares interoperables y de infraestructuras capaces de preservar los objetos digitales y su contexto documental. En este sentido, los principios FAIR han subrayado la necesidad de que los datos sean localizables, accesibles, interoperables y reutilizables, tanto para personas como para máquinas (Wilkinson et al., 2016).

Esta contribución analiza el papel de los metadatos como recurso estratégico en la gestión sostenible del patrimonio documental. Desde una perspectiva interdisciplinar (archivística, biblioteconomía, historia cultural y humanidades digitales), se examinan los desafíos de descripción, organización, recuperación y preservación de colecciones digitales. El punto de partida es que los registros documentales constituyen estructuras de conocimiento que condicionan la visibilidad, interpretación y reutilización de los objetos patrimoniales. El estudio presta atención a estándares y modelos como DCMI Metadata Terms, EAD, PREMIS, CIDOC CRM, Records in Contexts e IIIF, que permiten describir, vincular, preservar y difundir recursos procedentes de instituciones diversas (DCMI Usage Board, 2020; Library of Congress, 2015; PREMIS Editorial Committee, 2015; International Organization for Standardization, 2023; International Council on Archives, 2023; IIIF Consortium, 2024). Asimismo, se consideran infraestructuras agregadoras como Europeana y Archives Portal Europe, que muestran la importancia de la normalización y la calidad de los datos para la circulación transnacional del patrimonio cultural (Europeana Foundation, 2019, 2024; Archives Portal Europe Foundation, 2024).

La comunicación se centra en tres problemas principales. El primero es la interoperabilidad entre descripciones procedentes de archivos, bibliotecas, museos y repositorios digitales. El segundo, la preservación de la información contextual, decisiva en documentos de transmisión compleja, donde autorías, dataciones, procedencias y relaciones textuales pueden ser inciertas o múltiples. El tercero es el riesgo de simplificación descriptiva: una catalogación incompleta puede reducir la comprensión histórica de los fondos y limitar su recuperación en entornos digitales.

La sostenibilidad del patrimonio documental, más allá de la conservación material o de la reproducción digital de los documentos, requiere sistemas robustos de gestión de datos, políticas de normalización, identificadores persistentes, control de autoridades, preservación de metadatos técnicos y modelos semánticos capaces de representar relaciones complejas. Así pues, se propone considerar los metadatos y las infraestructuras documentales como componentes esenciales de una política sostenible de gestión del conocimiento.

La preservación digital del patrimonio histórico exige una visión integrada, en la que tecnología, estándares documentales y conocimiento humanístico actúen de forma coordinada. Desde esta perspectiva, los metadatos permiten que el patrimonio documental siga accesible, comprensible y reutilizable para las generaciones futuras, y contribuyen a una gestión responsable y sostenible de los recursos culturales en la sociedad digital.

Keywords: Metadatos, Preservación digital, Patrimonio documental, Interoperabilidad, Humanidades digitales

Contatti: jacob.mompo@uah.es

Bibliografía

Archives Portal Europe Foundation. (2024). apeEAD: The use of EAD in Archives Portal Europe.
https://www.archivesportaleurope.net/tools/for-content-providers/standards/apeead/

DCMI Usage Board. (2020). DCMI metadata terms. Dublin Core Metadata Initiative.
https://www.dublincore.org/specifications/dublin-core/dcmi-terms/

Europeana Foundation. (2019). Introducing the quality standard for cultural heritage metadata. https://www.dataspace-culturalheritage.eu/en/news/introducing-the-quality-standard-for-cultural-heritage-metadata

Europeana Foundation. (2024). Europeana Publishing Framework. https://pro.europeana.eu/post/publishing-framework

IIIF Consortium. (2024). IIIF API specifications. https://iiif.io/api/

International Council on Archives. (2023). Records in Contexts. https://www.ica.org/ica-network/expert-groups/egad/records-in-contexts-ric/

International Organization for Standardization. (2023). ISO 21127:2023. Information and documentation: A reference ontology for the interchange of cultural heritage information. ISO.
Library of Congress. (2015).

PREMIS Data Dictionary for Preservation Metadata, version 3.0. https://www.loc.gov/standards/premis/v3/

Library of Congress. (2021). Encoded Archival Description: EAD official site. https://www.loc.gov/ead/

Wilkinson, et al. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. Scientific Data, 3, 160018. https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18

Intelligenza artificiale e patrimonio culturale digitale: sostenibilità, conoscenza storica e bene comune

Anna Peirats[1]

[1] *Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir*

Abstract

La crescente diffusione dell'intelligenza artificiale nei settori della cultura e della gestione documentaria sta trasformando le modalità di accesso, organizzazione e valorizzazione del patrimonio culturale digitale. Archivi, biblioteche, musei e piattaforme digitali utilizzano strumenti di trascrizione automatica, riconoscimento della scrittura manoscritta, estrazione di entità, arricchimento semantico dei metadati e recupero avanzato dell'informazione per ampliare la conoscenza e la fruizione delle collezioni storiche.

Questa trasformazione offre nuove opportunità per la tutela e la diffusione del patrimonio culturale, ma pone anche questioni rilevanti sulla sostenibilità delle infrastrutture digitali e sulla qualità della conoscenza prodotta attraverso sistemi automatizzati. Il patrimonio culturale non viene trasmesso in forma neutrale, ma attraverso processi di selezione, descrizione, classificazione e rappresentazione che influenzano la visibilità e l'interpretazione dei beni culturali. In questo contesto, l'intelligenza artificiale opera su dati e metadati costruiti da istituzioni, professionisti dell'informazione e comunità scientifiche, e contribuisce a ridefinire i processi di produzione della conoscenza storica.

La comunicazione analizza le opportunità e i limiti dell'applicazione dell'intelligenza artificiale al patrimonio culturale digitale, con particolare attenzione alla rappresentazione del sapere storico. Questioni quali attribuzioni incerte, tradizioni documentarie multiple, cronologie aperte, relazioni intertestuali e contesti culturali complessi richiedono modelli capaci di conservare la pluralità interpretativa e la trasparenza metodologica. In assenza di adeguati criteri di controllo, l'automazione può favorire processi di semplificazione che incidono sulla qualità dell'informazione e sulla corretta comprensione del patrimonio.

La comunicazione propone una riflessione sul ruolo dell'intelligenza artificiale nella costruzione di ecosistemi culturali sostenibili, nei quali

innovazione tecnologica, responsabilità scientifica e tutela del bene comune possano procedere in modo integrato. La sostenibilità del patrimonio digitale dipende dalla conservazione dei contenuti e dalla qualità delle infrastrutture della conoscenza che ne garantiscono accessibilità, affidabilità, riuso e trasmissione alle generazioni future. In tale prospettiva, l'intelligenza artificiale può costituire uno strumento strategico per la valorizzazione del patrimonio culturale, purché inserita in modelli di governance fondati su trasparenza, interoperabilità, controllo umano e responsabilità etica.

Keywords: Intelligenza artificiale; patrimonio culturale digitale; digital humanities; sostenibilità; governance della conoscenza.

Contatti: anna.peirats@ucv.es

Bibliografia

Baca, M. (Ed.). (2016). *Introduction to metadata* (3rd ed.). Getty Publications.

Borgman, C. L. (2015). *Big data, little data, no data: Scholarship in the networked world*. MIT Press.

Ciula, A., & Eide, Ø. (2017). Modelling in digital humanities: Signs in context. *Digital Scholarship in the Humanities, 32*(suppl_1), i33–i46. https://doi.org/10.1093/llc/fqw045

Gilliland, A. J. (2016). Setting the stage. In M. Baca (Ed.), *Introduction to metadata* (3rd ed.). Getty Publications. https://www.getty.edu/publications/intrometadata/setting-the-stage/

Terras, M. (2015). Opening access to collections: The making and using of open digitised cultural content. *Online Information Review, 39*(5), 733–752. https://doi.org/10.1108/OIR-06-2015-0193

Tutela dell'ambiente e danno erariale: l'evoluzione della responsabilità amministrativa nella giurisprudenza della Corte dei Conti.

Laura Di Giovanni[1], Emanuela Fiucci[1], Vincenzo Piscitellii[1]
[1-] CNR

Abstract La tutela dell'ambiente costituisce uno dei settori nei quali la responsabilità amministrativa per danno erariale ha registrato una significativa evoluzione interpretativa nella giurisprudenza della Corte dei Conti. Il riconoscimento dell'ambiente quale bene di rilevanza costituzionale e valore primario della collettività ha progressivamente ampliato l'ambito applicativo della giurisdizione contabile, attribuendo rilievo non solo alla tutela delle finanze pubbliche, ma anche alla salvaguardia del patrimonio ambientale.
La responsabilità amministrativa sorge quando amministratori, dirigenti o dipendenti pubblici, con dolo o colpa grave, arrecano un pregiudizio economicamente valutabile all'ente. Il danno può derivare da comportamenti commissivi, quali il rilascio di autorizzazioni illegittime o l'adozione di provvedimenti contrari alla normativa ambientale, oppure da condotte omissive, come la mancata vigilanza, l'omessa bonifica di siti contaminati o l'inerzia nell'esercizio dei poteri di controllo.
L'elaborazione giurisprudenziale ha superato una concezione meramente patrimoniale del danno erariale, riconoscendo la rilevanza economica delle lesioni arrecate all'ambiente quale bene pubblico autonomo. In tale prospettiva si distingue tra danno diretto e danno indiretto. Il danno diretto ricorre quando la condotta dell'agente determina la distruzione, il deterioramento o la compromissione di beni ambientali o paesaggistici appartenenti alla collettività. L'ambiente è stato infatti qualificato come bene suscettibile di autonoma tutela risarcitoria anche sotto il profilo contabile (Corte dei Conti, Sez. Giurisd. Veneto, sent. n. 338 del 13 settembre 1996).
Il danno indiretto, o danno da rifusione, si configura invece quando l'amministrazione è costretta a risarcire soggetti terzi o altre amministrazioni per effetto dell'illecito ambientale commesso da propri dipendenti o amministratori. In tali ipotesi il pregiudizio erariale

coincide con l'esborso sostenuto a titolo risarcitorio (Corte dei Conti, Sez. Giurisd. Campania, sent. n. 558 dell'8 aprile 2010).
L'accertamento della responsabilità richiede la presenza degli elementi costitutivi dell'illecito contabile: condotta attiva od omissiva, elemento soggettivo del dolo o della colpa grave, nesso causale e danno patrimonialmente valutabile. In materia ambientale assumono particolare rilievo le omissioni consistenti nella mancata adozione di misure di tutela, nella mancata attivazione dei poteri di autotutela e nell'inerzia rispetto a fenomeni di inquinamento o degrado del territorio. La colpa grave viene frequentemente ravvisata nelle ipotesi di evidente inosservanza di obblighi normativi o di macroscopica omissione delle attività di controllo e vigilanza.
Essenziale è inoltre il nesso di causalità tra la condotta e il danno erariale, da accertarsi secondo il criterio del "più probabile che non", ormai consolidato nella giurisprudenza contabile (Corte dei Conti, Sez. Giurisd. Emilia-Romagna, sent. n. 107 del 13 ottobre 2025; Corte dei Conti, Sez. App. Sicilia, sent. n. 59 del 25 luglio 2025).
La quantificazione del danno può avvenire con riferimento ai costi di bonifica, alle somme corrisposte a titolo di risarcimento, alla perdita di valore di beni ambientali o alle entrate non riscosse. Le fattispecie più ricorrenti riguardano l'omessa vigilanza su discariche abusive, la mancata bonifica di siti contaminati, il rilascio illegittimo di titoli edilizi in aree vincolate e l'omessa riscossione di sanzioni ambientali. In tali casi la Corte dei Conti richiama il principio europeo "chi inquina paga", evidenziando l'obbligo dell'amministrazione di individuare i responsabili dell'inquinamento e recuperare le somme necessarie al ripristino ambientale.
La responsabilità amministrativa per danno erariale in materia ambientale si conferma così uno strumento essenziale per la tutela delle risorse pubbliche e dell'ambiente quale bene comune di rilevanza costituzionale e sovranazionale.
Keywords: responsabilità amministrativa; danno erariale ambientale; Corte dei Conti; principio chi inquina paga

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

From Robot Rights to Ecological Duties: A Machine Ethics Framework for Autonomous Robots in Environmental Regeneration

Pablo Ruiz Osuna

[1] EuriConv – European Research Institute

Abstract

One of the major challenges of the contemporary world is addressing the impact of climate change on our societies and ecosystems. The fight against deforestation, the search for low-carbon or climate-neutral energy sources, the improvement of recycling systems, and the clean-up of contaminated environments all show that the green transition requires not only technological innovation, but also ethical and legal rigour. In this context, artificial intelligence may play an ambivalent role: it can contribute to climate mitigation and adaptation through improved systems for prediction, monitoring, energy optimisation, and resource management; yet it may also hinder this transition if its development increases energy consumption, reproduces inequalities, or is deployed without adequate transparency, accountability, and oversight (Rolnick et al., 2022; Vinuesa et al., 2020).

Today, the growing potential of robots is endowing them with increasing autonomy and capabilities that, until recently, seemed to belong to the realm of science fiction (Ruiz Osuna et al., 2026). In a society marked by population ageing, declining birth rates, shortages of water and energy resources, and economic stagnation, it is reasonable to think that we will increasingly delegate critical tasks to intelligent automata, which may come to constitute a new working class —or perhaps even new citizens— (Ruiz Osuna, 2025).

However, the ethical decisions that a robot may make require careful consideration of their scope, limits, and possible moral contradictions. For example, a robot designed to protect environmental health could face complex ethical dilemmas, such as sacrificing one green area in

order to save another considered to have greater ecological value — for instance, a biosphere reserve—; prioritising the protection of biodiversity over immediate human interests; limiting economic activities deemed harmful to flora and fauna; accepting certain forms of collateral damage; or deciding when an intervention should be brought to a halt.

Are we prepared for the age of intelligent machines?

References:

Rolnick, D., Donti, P. L., Kaack, L. H., Kochanski, K., Lacoste, A., Sankaran, K., Ross, A. S., Milojevic-Dupont, N., Jaques, N., Waldman-Brown, A., Luccioni, A., Maharaj, T., Sherwin, E. D., Mukkavilli, S. K., Kording, K. P., Gomes, C., Ng, A. Y., Hassabis, D., Platt, J. C., … Bengio, Y. (2022). Tackling climate change with machine learning. ACM Computing Surveys, 55(2), Article 42. https://doi.org/10.1145/3485128

Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I., Balaam, M., Dignum, V., Domisch, S., Felländer, A., Langhans, S. D., Tegmark, M., & Fuso Nerini, F. (2020). The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. Nature Communications, 11, 233. https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y

Keywords: RoboLaw; AI ethics; autonomous robots; environmental regeneration; environmental law.

Ruiz Osuna, P., Carbajal, I., Vanioff, I., & Pauketat, J. V. (2026). Creatividad Algorítmica y Derechos de Autor: ¿Puede la IA ser Autora de una Obra?. Ius Humani. Revista De Derecho, 15(1), 142–167. https://doi.org/10.31207/ih.v15i1.463.

Contatti: research@euriconv.eu

Governance transnazionale dei gruppi societari e tutela degli interessi strategici dello Stato

Antonio Sarcina [1]

[1] URJC | EuriConv – European Research Institute

La progressiva globalizzazione dell'economia, l'integrazione dei mercati finanziari e la crescente concentrazione del potere economico nelle mani di grandi gruppi societari multinazionali hanno profondamente trasformato il rapporto tra impresa, diritto e sovranità statale. I gruppi societari contemporanei operano attraverso strutture complesse e multilivello, caratterizzate da holding, società controllate, partecipazioni incrociate e articolate reti contrattuali distribuite in una pluralità di ordinamenti giuridici. Tale fenomeno ha determinato il superamento della tradizionale dimensione nazionale dell'impresa e la nascita di forme di governance transnazionale capaci di incidere direttamente sugli equilibri economici, politici e strategici degli Stati.
In questo scenario, il diritto dei gruppi societari assume una funzione centrale nell'analisi delle dinamiche di controllo economico globale, ponendo questioni fondamentali relative all'individuazione del centro effettivo di direzione dell'impresa multinazionale, alla responsabilità della società capogruppo, alla trasparenza degli assetti proprietari e alla tutela dei soggetti coinvolti nelle attività del gruppo, inclusi creditori, lavoratori, investitori e consumatori.
Parallelamente, l'emersione di nuovi rischi geopolitici, tecnologici ed economici ha condotto gli Stati a recuperare strumenti di intervento pubblico nell'economia, con l'obiettivo di proteggere interessi ritenuti essenziali per la sicurezza nazionale e per la stabilità del sistema economico. Le recenti crisi internazionali, la competizione strategica tra potenze economiche, la vulnerabilità delle catene globali di approvvigionamento e la crescente rilevanza di infrastrutture digitali, dati, intelligenza artificiale e tecnologie sensibili hanno rafforzato l'esigenza di un controllo pubblico sulle operazioni societarie aventi impatto strategico.
Lo studio si propone di analizzare il rapporto tra governance transnazionale dei gruppi societari e tutela degli interessi strategici dello Stato, soffermandosi sulle tensioni esistenti tra libertà di mercato, circolazione internazionale dei capitali e necessità di preservare la sovranità economica nazionale. In particolare, il modo in

cui gli ordinamenti contemporanei cercano di bilanciare l'apertura agli investimenti esteri con la protezione di settori strategici quali difesa, energia, telecomunicazioni, cybersicurezza, infrastrutture critiche, tecnologie avanzate e gestione dei dati sensibili.
Particolare attenzione sarà dedicata all'istituto del Golden Power in Italia, quale strumento attraverso cui lo Stato esercita poteri speciali di veto, prescrizione e controllo nelle operazioni societarie riguardanti imprese strategiche. L'analisi prenderà in considerazione l'evoluzione normativa e applicativa del Golden Power, il progressivo ampliamento dei settori interessati e il suo ruolo quale espressione di una nuova stagione di intervento pubblico nell'economia globale.
La riflessione sarà inoltre collocata nel contesto europeo e internazionale, con riferimento ai meccanismi di screening degli investimenti esteri diretti sviluppati dalla Unione Europea, nonché agli standard elaborati da organizzazioni internazionali quali la Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico e la Organizzazione delle Nazioni Unite in materia di governance delle imprese multinazionali, sostenibilità, compliance e responsabilità sociale d'impresa.
Si propone di offrire una riflessione interdisciplinare e transdisciplinare sulle trasformazioni del capitalismo globale contemporaneo e sulle nuove forme di regolazione dei poteri economici transnazionali, mettendo in luce come il diritto sia oggi chiamato a ridefinire i confini tra autonomia dell'impresa, interesse pubblico e sovranità statale. In questa prospettiva, il Golden Power all'italiana assume un ruolo sempre più centrale quale strumento di tutela economica strategica, ma anche quale espressione di un più ampio processo di ridefinizione del ruolo dello Stato nell'economia globalizzata del XXI secolo.

Keywords: Golden Power; Gruppi societari multinazionali; Governance transnazionale; Interessi strategici dello Stato; Intervento pubblico nell'economia

Contatti: antonio.sarcina@urjc.es, research@euriconv.eu, anicras@gmail.com

Regeneración activa del bien común: gobernanza policéntrica, eficiencia y equidad frente a la tragedia de los comunes

Amo Navas, Daniel[1]; Jiménez Fernández-Villamil, Juan Enrique[1]; Sarcina, Antonio[1],

[1] Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España

Abstract

La transición desde una protección ambiental defensiva, orientada a reparar daños ya consumados, hacia una regeneración activa exige repensar cómo se gobiernan los recursos compartidos. Esta contribución reexamina la tragedia de los comunes (Hardin, 1968) a la luz del análisis económico del bienestar y de la teoría del gobierno policéntrico de los recursos de uso común (Ostrom, 1990), para argumentar que el equilibrio del progreso no descansa tanto en la disyuntiva entre privatización e intervención estatal como en un tercer diseño institucional basado en la cooperación, la reciprocidad y la información. A partir de la tipología de bienes (privados, públicos, de club y comunales) y del binomio eficiencia-equidad como criterios normativos, se sostiene que los mercados, por sí solos, no garantizan asignaciones equitativas y que la corrección redistributiva del Estado debe ser neutral, de modo que no genere distorsiones más graves que el fallo que pretende subsanar. Sobre esa base, el trabajo defiende que la salida a la sobreexplotación del bien común, hoy un problema de escala planetaria que afecta a la atmósfera, el agua y el suelo, pasa por instituciones que articulen Estado, mercado y sociedad como actores complementarios y no antagónicos (Gatto, 2022; Morrison et al., 2023). Se identifican tres palancas concretas y aplicables, alineadas con el principio de regeneración activa. Primera: una arquitectura normativa que habilite el florecimiento del bien común, apoyada en el conocimiento y la innovación social. Segunda: políticas de educación y concienciación ambiental que internalicen en cada usuario el coste social del uso de los recursos, incluida la divulgación transparente del coste real de los servicios comunes. Tercera: el aprovechamiento de las condiciones tecnológicas e informáticas actuales para viabilizar procesos de autogestión y cogobernanza a gran escala, antes inviables. Este enfoque enlaza el debate clásico sobre los comunes con

la agenda contemporánea de crecimiento regenerativo y justicia ambiental (Pretty et al., 2025), y muestra que la huella humana puede reorientarse de fuerza destructiva a fuerza regeneradora cuando el diseño institucional alinea los incentivos individuales con el bienestar colectivo. Frente a las desigualdades entre territorios desarrollados y rezagados en el acceso y consumo de recursos, se propone un principio de responsabilidad compartida que evite trasladar el coste del ajuste a los más vulnerables. Las conclusiones aportan elementos para orientar los procesos decisionales hacia una gobernanza ambiental que armonice progreso tecnológico y responsabilidad ética, protegiendo el bien común sin renunciar a la eficiencia.

Palabras clave: bien común; tragedia de los comunes; gobernanza policéntrica; regeneración activa; sostenibilidad.

Correo de contacto: *antonio.sarcina@urjc.es, anicras@gmail.com*

Referencias

Gatto, A. (2022). Polycentric and resilient perspectives for governing the commons: Strategic and law and economics insights for sustainable development. Ambio, 51(9), 1921–1937. https://doi.org/10.1007/s13280-022-01719-x

Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. Science, 162(3859), 1243–1248. https://doi.org/10.1126/science.162.3859.1243

Morrison, T. H., Bodin, Ö., Cumming, G. S., Lubell, M., Seppelt, R., Seppelt, T., & Weible, C. M. (2023). Building blocks of polycentric governance. Policy Studies Journal, 51(3), 475–499. https://doi.org/10.1111/psj.12492

Ostrom, E. (1990). Governing the commons: The evolution of institutions for collective action. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511807763

Pretty, J., Barton, J., Bharucha, Z. P., Bragg, R., Pencheon, D., Wood, C., & Depledge, M. H. (2025). How the concept of regenerative good growth could help increase public and policy engagement and speed transitions to net zero and nature recovery. Sustainability, 17(3), 849. https://doi.org/10.3390/su17030849

Digitalismo

Sergio Bellucci [1]

[1] *EuriConv – European Research Institute*

Abstract

Si propone una sintesi teorica della Transizione socioeconomica in corso, articolando tre tradizioni intellettuali all'interno di un framework volto a cogliere l'unità strutturale di fenomeni economici, cognitivi e sistemici altrimenti trattati in modo separato.
La prima tradizione è quella della critica dell'economia politica, che da Marx a Sraffa fino a Romer ha progressivamente affinato la comprensione del valore, del ruolo della conoscenza nei processi produttivi e delle contraddizioni interne al capitalismo. In tale prospettiva, l'evoluzione del sistema economico è letta come una dinamica storica attraversata da tensioni strutturali, nelle quali la trasformazione delle forze produttive modifica continuamente le condizioni della valorizzazione.
La seconda tradizione è quella della teoria dei sistemi complessi e della fisica del disordine, con particolare riferimento alle reti neurali di Hopfield e alla teoria dei vetri di spin di Giorgio Parisi. In questo quadro, i sistemi economico-sociali sono interpretati come reti ad alta dimensionalità, caratterizzate da dinamiche non lineari, molteplicità di stati stabili (attrattori) e transizioni di fase, nelle quali le configurazioni macro emergono dall'interazione di molteplici componenti micro-interconnesse.
La terza è quella della noonomia di Sergej Bodrunov, che riprende e sviluppa la nozione di noosfera di Vladimir Vernadskij per delineare un'alternativa sistemica al capitalismo digitale. In questa prospettiva, la conoscenza non è soltanto un fattore produttivo, ma la principale forza organizzatrice della produzione sociale, la cui piena valorizzazione implica una riconfigurazione delle istituzioni economiche e delle forme di proprietà.
L'argomento centrale è che il Digitalismo, inteso come formazione storico-sociale emergente in cui algoritmi, dati e capitale conoscitivo costituiscono il motore primario della produzione di valore, produce una doppia contraddizione strutturale. Da un lato, una crisi di realizzazione, determinata dall'erosione algoritmica del reddito da

lavoro e dalla progressiva disgiunzione tra produzione di valore e distribuzione del potere d'acquisto. Dall'altro, una crisi di governance, derivante dalla concentrazione monopolistica del capitale conoscitivo all'interno di un numero ristretto di piattaforme globali, che assumono un ruolo di mediazione infrastrutturale nei processi cognitivi ed economici.
Tale doppia contraddizione può essere rappresentata in modo formalmente rigoroso attraverso un sistema di Hopfield a sette variabili, nel quale le configurazioni stabili del sistema corrispondono a differenti attrattori socioeconomici. Questi attrattori includono, da un lato, lo stato di equilibrio del Digitalismo stesso, dall'altro la configurazione della Noociviltà, e infine un punto critico di biforcazione, in cui il sistema perde stabilità strutturale e diviene sensibile a perturbazioni anche minime, aprendo a traiettorie evolutive divergenti.
Transizione non possiede un esito predeterminato, ma che le sue traiettorie possibili, così come le condizioni per orientarle verso l'attrattore della Noociviltà, possono essere identificate con precisione analitica e matematica. Ciò implica che la governance della Transizione non può essere affidata a interventi incrementali o settoriali, ma richiede una ristrutturazione dei nodi ad alta connettività del sistema, in particolare del capitale conoscitivo, la cui forma di proprietà e distribuzione determina in modo non locale la configurazione complessiva della rete economico-sociale. In questa prospettiva, la sua socializzazione non rappresenta un intervento parziale, ma una trasformazione strutturale capace di propagarsi all'intero reticolo con dinamiche sistemiche non riducibili a somma di riforme locali.

Keywords: Transizione; Digitalismo; teoria del valore; sussunzione algoritmica; reti di Hopfield; vetri di spin; noonomia; capitale conoscitivo; plusvalore algoritmico.

Contatti: *research@euriconv.eu*

Economía circular y el bien común: internalización de externalidades, eficiencia y equidad frente al residuo lineal

Jiménez Fernández-Villamil, Juan Enrique[1]; Amo Navas, Daniel[1]

[1] Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España

Abstract

El modelo económico lineal de extraer, producir y desechar ha convertido los residuos en una externalidad negativa de escala planetaria: un coste social que el mercado no internaliza y que erosiona recursos compartidos como la atmósfera, el agua y el suelo. Esta contribución aborda la economía circular desde el análisis económico del bienestar y la teoría de los recursos de uso común, para argumentar que el tránsito desde la mera gestión defensiva del residuo hacia una regeneración activa de los materiales exige rediseñar los incentivos, y no solo las tecnologías de reciclaje. Partiendo de que la capacidad de absorción de residuos del planeta es un bien común sujeto a sobreexplotación (Hardin, 1968) y de que tales recursos pueden gobernarse mediante instituciones cooperativas y policéntricas (Ostrom, 1990), se sostiene que la circularidad no es un fin tecnológico sino un problema de asignación: mientras el precio de los productos no refleje el coste real de su fin de vida, los agentes seguirán infraproduciendo durabilidad y sobreproduciendo desperdicio. El trabajo revisa el concepto de economía circular y su marco de estrategias jerarquizadas (Kirchherr et al., 2017) y recoge la crítica económica que advierte contra sus promesas de desacoplamiento absoluto (Corvellec et al., 2022), para situar el debate en términos de eficiencia y equidad. El diagnóstico es severo: la tasa global de circularidad ronda apenas el siete por ciento de los materiales (Circle Economy, 2023), lo que revela una brecha estructural entre el discurso y la práctica. Frente a ello se proponen palancas concretas y aplicables: instrumentos de internalización de costes, como la responsabilidad ampliada del productor y la fiscalidad sobre el vertido, que trasladen al precio la externalidad del residuo; arquitecturas normativas y de información que reduzcan la asimetría sobre la durabilidad, la reparabilidad y la trazabilidad de los productos,

habilitando decisiones de consumo responsables; finalmente, el aprovechamiento de las capacidades digitales actuales para coordinar a gran escala los flujos de materiales entre empresas, administraciones y ciudadanía, antes inviable. Este enfoque vincula la economía circular con la sostenibilidad entendida como creación neta de valor (Geissdoerfer et al., 2017) y muestra que la huella material humana puede reorientarse de carga a recurso cuando el diseño institucional alinea los incentivos privados con el bienestar colectivo. Atendiendo a las desigualdades entre territorios en la generación y exportación de residuos, se defiende un principio de responsabilidad compartida que no traslade el coste del ajuste a los más vulnerables. Las conclusiones aportan elementos para orientar los procesos decisionales hacia una circularidad que armonice progreso tecnológico, eficiencia y justicia ambiental, protegiendo el bien común.

Palabras clave: economía circular; bien común; externalidades; residuos; sostenibilidad.

Correo de contacto: jimejuan14@gmail.com

Referencias

Circle Economy. (2023). The circularity gap report 2023. Circle Economy. https://www.circularity-gap.world/2023

Corvellec, H., Stowell, A. F., & Johansson, N. (2022). Critiques of the circular economy. Journal of Industrial Ecology, 26(2), 421–432. https://doi.org/10.1111/jiec.13187

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy: A new sustainability paradigm? Journal of Cleaner Production, 143, 757–768. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048

Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. Science, 162(3859), 1243–1248. https://doi.org/10.1126/science.162.3859.1243

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, Conservation and Recycling, 127, 221–232. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005

Inteligencia artificial conversacional, y discapacidad: garantías jurídicas para un acceso inclusivo a la justicia

Mar Aranda Jurado[1]

[1] *Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir*

Abstract

La expansión de la inteligencia artificial conversacional en el ámbito jurídico abre nuevas posibilidades para mejorar la comunicación entre la ciudadanía y los sistemas de justicia, pero también plantea riesgos específicos para las personas con discapacidad, especialmente cuando el diseño tecnológico no incorpora exigencias de accesibilidad universal, ajustes de procedimiento y supervisión humana suficientes (Naciones Unidas, 2006/2016; Real Patronato sobre Discapacidad, s. f.). En este contexto, el derecho de acceso a la justicia debe entenderse como una garantía instrumental para el ejercicio efectivo de los demás derechos, lo que exige analizar si los asistentes conversacionales, chatbots jurídicos y sistemas automatizados de orientación legal reducen barreras o, por el contrario, reproducen nuevas formas de exclusión cognitiva, comunicativa o digital (Naciones Unidas, 2006/2016; CEPC, 2022).

La cuestión presenta una relevancia singular en el ordenamiento español tras la reforma operada por la Ley 8/2021, que adapta la legislación civil y procesal al modelo de apoyos y refuerza la obligación de realizar adaptaciones y ajustes en los procedimientos en que intervengan personas con discapacidad, mediante la introducción del artículo 7 bis de la Ley de Enjuiciamiento Civil (Ley 8/2021, de 2 de junio). Desde esta perspectiva, la presente ponencia examina las garantías jurídicas que deben presidir el uso de la inteligencia artificial conversacional en el acceso a la justicia, tomando como ejes el artículo 24 de la Constitución española, el artículo 13 de la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad y el Reglamento (UE) 2024/1689 sobre inteligencia artificial, que adopta un enfoque preventivo basado en el riesgo y en la protección de los derechos fundamentales (Naciones Unidas, 2006/2016; Reglamento (UE) 2024/1689).

La hipótesis de partida sostiene que la inteligencia artificial conversacional puede ser útil para facilitar información jurídica comprensible, acompañar trámites y reducir costes de acceso, pero únicamente cuando actúa como tecnología de apoyo y no como mecanismo sustitutivo de la decisión humana o del asesoramiento jurídico individualizado (De Lucchi, 2023; Real Patronato sobre Discapacidad, s. f.). En sentido contrario, la utilización acrítica de estas herramientas puede generar sesgos discriminatorios, respuestas inexactas, opacidad sobre las fuentes empleadas, problemas de trazabilidad y riesgos de indefensión, sobre todo en personas con discapacidad intelectual, psicosocial o con necesidades reforzadas de accesibilidad cognitiva (Real Patronato sobre Discapacidad, s. f.; Naciones Unidas, 2006/2016).

A partir de una metodología jurídico-dogmática y de análisis normativo, el trabajo aborda, en primer lugar, la relación entre justicia digital, discapacidad y tutela judicial efectiva; en segundo término, identifica los principales riesgos procesales y antidiscriminatorios asociados al uso de sistemas conversacionales en sedes de información, orientación y acompañamiento; y, finalmente, propone un marco de garantías integrado por accesibilidad desde el diseño, lenguaje claro, explicabilidad, control humano significativo, auditoría, trazabilidad y formación específica de los operadores jurídicos (CEPC, 2022; Naciones Unidas, 2006/2016; Ley 8/2021, de 2 de junio). Desde esta óptica, la ponencia defiende que la innovación tecnológica solo será compatible con un modelo de justicia inclusiva si se inserta en una arquitectura jurídica centrada en la persona, orientada por la igualdad material y comprometida con la eliminación efectiva de barreras

La función de la empresa en la era algorítmica: gobernanza corporativa de la IA, diligencia debida en derechos humanos y prevención del daño estructural en clave de paz positiva

Antonio Sarcina [1]

[1] *Universidad Rey Juan Carlos Madrid*

Abstract

La creciente utilización de sistemas de inteligencia artificial (IA) en procesos de toma de decisiones que inciden en el ejercicio de derechos fundamentales ha situado la protección de la persona en el núcleo del nuevo paradigma regulatorio europeo. Decisiones relativas al acceso al empleo, prestaciones sociales, crédito, asistencia sanitaria o servicios públicos esenciales son cada vez más adoptadas o asistidas por sistemas algorítmicos, lo que genera riesgos relevantes para los principios de igualdad, no discriminación, transparencia, tutela judicial efectiva y dignidad humana.

En este contexto, el Reglamento (UE) 2024/1689 (AI Act), en interacción con la Directiva (UE) 2024/1760 sobre diligencia debida en materia de sostenibilidad (CSDDD), la Carta de los Derechos Fundamentales de la UE y los Principios Rectores de la ONU sobre Empresas y Derechos Humanos, consolida un modelo de gobernanza de la IA basado en la prevención, gestión y reparación de riesgos, desplazando progresivamente la autorregulación hacia un marco jurídico vinculante de responsabilidad empresarial.

Desde esta perspectiva, la opacidad algorítmica y los sesgos sistémicos pueden ser conceptualizados como expresiones contemporáneas de "violencia estructural" (Galtung, 1969), en la medida en que reproducen desigualdades, consolidan asimetrías de poder y limitan el acceso efectivo a derechos fundamentales. Ello refuerza el papel de la empresa como actor institucional central en la economía digital, cuya función no se agota en el cumplimiento normativo, sino que se proyecta sobre la configuración misma de condiciones estructurales de ejercicio de derechos.

En particular, la gobernanza responsable de la IA debe integrarse en procesos efectivos de Human Rights due diligence, conforme a los estándares europeos y a la doctrina sobre deberes de diligencia y supervisión de administradores en el marco de la Ley de Sociedades de Capital (arts. 225 y 529 ter), así como a la interpretación contemporánea del gobierno corporativo orientado a sostenibilidad.
La corriente Business for Peace permite vincular la prevención del daño algorítmico con la construcción de paz positiva, entendida como fortalecimiento del Estado de Derecho, la inclusión y la efectividad de los derechos.
En conjunto, se propone un marco jurídico-analítico integrador entre Derecho de la IA, Derecho de sociedades y derechos humanos, que configura la human rights due diligence como instrumento estructural de gobernanza empresarial para la prevención de vulneraciones sistémicas, el refuerzo de la legitimidad corporativa y la alineación entre innovación tecnológica y sostenibilidad.

Palabras clave: IA; geopolítica; gobernanza algorítmica; derechos humanos (human rights due diligence); violencia estructural; Business for Peace.

Contatti: *antonio.sarcina@urjc.es, anicras@gmail.com*

Il disastro ambientale e la richiesta di riparazione del danno ambientale del MASE come parte civile

***Laura Calcagni*[1], *Paola Di Toppa*[1], *Maria Francesca Lanfranconi*[1], *Daniele Montanaro*[1]**

[1] Centro Nazionale Crisi Emergenze Ambientali e Danno – ISPRA.

Abstract

Il presente lavoro analizza l'azione dello Stato a tutela dell'Ambiente nei contenziosi penali, concentrandosi in particolare sulle procedure di costituzione di parte civile per il risarcimento dei danni nei procedimenti penali avviati nel 2024. Tra i casi esaminati, assumono una rilevanza scientifica le vicende legate alla specifica contestazione del reato di "disastro ambientale" (art. 452-quater c.p., introdotto dalla Legge n. 68/2015). Sulla base dei dati analizzati dal Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) è stato infatti possibile associare alla contestazione del reato la sussistenza del danno ambientale che nello specifico ha interessato le acque sotterrane, gli habitat tutelati dalle direttive comunitarie e le aree protette.

Lo studio approfondisce i meccanismi metodologici attraverso cui è possibile individuare e documentare gli elementi probatori utili fin dalle prime fasi preliminari delle indagini. In conformità con la Parte Sesta del D.Lgs. 152/2006 e i criteri definiti dalla Linea Guida SNPA 33/2021, viene descritto il flusso informativo che unisce gli atti trasmessi dall'Avvocatura Generale dello Stato al Ministero dell'Ambiente con il patrimonio tecnico delle agenzie ambientali. Attraverso l'integrazione di monitoraggi mirati, consulenze tecniche, analisi dei dati ISPRA e attività d'ispezione sul campo, il lavoro evidenzia come l'efficacia della richiesta istituzionale di riparazione dipenda strettamente dalla capacità di dimostrare e quantificare i requisiti di significatività e misurabilità degli impatti ecologici generati dai reati.

Sul piano tecnico-giuridico si evidenzia come la disciplina del danno ambientale regolamentata nella Parte Sesta del D.Lgs. 152/2006 condivida con la tematica dei crimini contro l'ambiente una visione ecocentrica che riconosce il valore intrinseco dell'ambiente,

discostandosi dal tradizionale istituto della bonifica dei siti contaminati ancorato a un approccio di gestione del rischio.

Contatti: paola.ditoppa@isprambiente.it ;
mariafrancesca.lanfranconi@isprambiente.it

VII. RemTech Europe

From Metagenomics to Metatranscriptomics: Decoding HCH Degradation

***Giacomo Bernabei*[1], *Simone Becarelli*[1], *Nicola Bertelloni*[1], *Devaki Destri*[1,5], *Joni Elsmoortel*[2], *Eliza Depoorter*[2], *Peter Vandamme*[2], *Jessica Beyert*[3], *Thomas Reichenauer*[4], *Riccardo Di Mambro*[1], *Simona Di Gregorio*[1]**

[1] *Department of Biology, University of Pisa, Italy*
[2] Ghent University, Laboratory of Microbiology, Department of Biochemistry and Microbiology, Ghent, Belgium
[3] Sensatec GmbH, Kiel, German
[4] *AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Bioresources, Tulln, Austrian*

Abstract

This work describes a metatranscriptomic (MT) strategy designed to move beyond the descriptive capabilities of metagenomics (MG)—answering the question "who is there?"—to quantitatively assess "what is active" within highly performing hexachlorocyclohexane (HCH)-depleting microbiomes. The microbial consortia were enriched from historically contaminated soils collected in Colleferro (Italy) and belong to the flagship consortium IT_COL_03_C_S_EC002.

MT libraries, paired with matched metagenomes, were generated under three experimental conditions: (i) pre-cryopreservation (IT_COL_03_C_S_EC002_T02), (ii) post-cryopreservation under selective pressure (IT_COL_03_C_S_EC002_T02_LE001), and (iii) post-cryopreservation growth in a rich medium devoid of selective pressure (IT_COL_03_C_S_EC002_T02_LE002). Reads were processed within a co-assembly framework (quality control, assembly, ORF prediction, read mapping, and gene quantification), followed by integrated taxonomic and functional annotation against reference databases including NCBI NR and KEGG, and downstream statistical analysis and visualization using R.

MT profiling of thechlorocyclohexane/chlorobenzene degradation module (KEGG map00361) revealed a strong dependence of pathway-level transcription on the presence of selective pressure. Transcripts consistent with dehalogenation and aromatic-ring processing were highest under selective pressure (LE001), intermediate in the pre-

cryopreservation condition (T02), and consistently lowest after growth in LB, indicating a clear functional downshifting when contaminant-driven selection is removed.
Canonical lindane-pathway steps were incomplete across all conditions—specifically, linA and linD signals were not detected—whereas linB and linC-associated functions, along with multiple "non-canonical" enzymes within map00361, were expressed. These findings support a model in which community-wide, partly non-specific catabolic functions can sustain HCH transformation even in the absence of a fully annotated lin cassette.
Finally, MT/MG comparisons suggest that loss of selective pressure is accompanied by increased signatures of genetic mobility (transposase/IS-associated functions), consistent with reduced stability of degradative traits during propagation. This observation represents a critical consideration for bioaugmentation scale-up and microbiome preservation strategies in industrial applications.

Keywords: Metagenomics, Metatrascriptomics, Hexachlorocyclohexane, KEGG Pathway Analysis, Microbiome Enrichment

Contacts: giacomo.bernabei@biologia.unipi.it (+39 3347338288), simone.becarelli@unipi.it, nicola.bertelloni@biologia.unipi.it, devaki.destri@biodigressioni.it, joni.elsmoortel@ugent.be, eliza.depoorter@ugent.be, peter.vandamme@ugent.be, J.Beyert@sensatec.de, thomas.reichenauer@ait.ac.at, riccardo.dimambro@unipi.it, simona.digregorio@unipi.it

Genomic and Transcriptomic approaches to Halogenated Organic Compounds transformation by *Cladosporium* strains

***Giampiero De Simone*[1], *Simona Di Gregorio*[1], *Giacomo Bernabei*[1] *Elena Andreotti*[1], *Chiara Giovannetti*[1], *David Levin*[2], *Laurence Fraissinet*[3], *Thibault Le Gratiet*[3], *David Chapulliot*[3]**

[1]Department of Biology, University of Pisa, Italy (speaker); [2]Department of Biosystems Engineering, University of Manitoba, Canada; [3] Université Lyon 1, France

Abstract

Hexachlorocyclohexane (HCH) and polychlorinated biphenyls (PCBs) are persistent halogenated organic contaminants (HOCs) that pose major environmental and health risks due to their toxicity and persistence. Although Ascomycota fungi have shown promising HOC removal capabilities, the underlying mechanisms remain poorly understood.

This study investigated HOC removal in six *Cladosporium* strains isolated from two contaminated sites dominated by this genus (PCB-contaminated soil in Pont-de-Claix, France, and HCH-contaminated soil in Colleferro, Italy). Degradation assays were combined with comparative genomics and transcriptomics. All strains were tested for HCH and PCB removal and glucose consumption. Their genomes were assembled, annotated, and compared with twelve publicly available *Cladosporium* genomes from non-contaminated environments.

All isolates efficiently removed both HCH and PCBs. However, degradation performance did not reflect the contaminant present at the isolation site, and genomic variation was associated with phylogenetic relationships rather than environmental origin.

Based on its performance, *Cladosporium europaeum* F32 was selected for further investigation. The strain completely removed all tested PCB congeners within 24 h, despite showing almost no transcriptional response at this stage. After 96 h, a marked transcriptomic response was detected only in cultures exposed to highly chlorinated congeners. Upregulated genes included cytochrome P450 monooxygenases, membrane transporters, and proteins involved in

oxidative stress responses, indicating activation of general detoxification pathways.

Overall, the results support a non-specific intracellular detoxification mechanism underlying HOC removal in *Cladosporium*. The absence of pollutant-associated genomic signatures suggests that this capability is phylogenetically conserved rather than driven by adaptation to contaminated environments. These findings broaden the range of candidate strains for bioremediation and support bioprospecting strategies beyond heavily polluted sites.

Keywords: Cladosporium, Organohalides, Genomics, Transcriptomics, Bioremediation

Contacts:
giampiero.desimone@phd.unipi.it ;
giacomo.bernabei@biologia.unipi.it ;
simona.digregorio@unipi.it ;
David.Levin@umanitoba.ca ;
laurence.fraissinet@univ-lyon1.fr ;
legratiet@LIVE.FR
c.giavannetti10@studenti.unipi.it
e.andreotti2@studenti.unipi.it
david.chapulliot@univ-lyon.fr

Real-Scale Pilot Study on Aerobic Oxidation of Chlorinated Compounds in Groundwater

***Devaki Destri*[1], *Alessandro Gentini*[2], *Nicola Bertelloni*[3], *Simona di Gregorio*[4]**

[1] BD Biodigressioni srl University of Pisa(speaker), [2] Teseco Bonifiche srl, [3,4] University of Pisa

Abstract

Chlorinated ethenes such as perchloroethylene (PCE) and trichloroethylene (TCE) are among the most widespread and persistent groundwater contaminants worldwide. Conventional remediation strategies rely predominantly on anaerobic reductive dechlorination, which, while effective under optimal conditions, requires strict redox control and may lead to the accumulation of toxic vinyl chloride intermediates. Aerobic and oxygen-driven approaches represent a less explored alternative at field scale, particularly when integrated with biological processes, despite their potential to achieve complete mineralization without the risks associated with incomplete reductive pathways.

This study evaluated the feasibility and effectiveness of an integrated aerobic bio-based remediation strategy for PCE- and TCE-contaminated groundwater at a real-scale pilot site, combining physical-chemical aquifer conditioning with biostimulation and bioaugmentation using an autochthonous microbial consortium originally isolated from the site's pump-and-treat activated carbon filters and enriched on chlorinated contaminants as the sole carbon source.

The pilot system operated through continuous oxygen delivery via nanobubble injection, periodic nutrient amendment, and repeated bioaugmentation with biomass grown on site. Chemical monitoring was conducted across multiple piezometers over a six-month period, tracking PCE, TCE, and redox-sensitive parameters. Microbial community structure and dynamics were investigated through 16S rRNA amplicon sequencing and shotgun metagenomics of the inoculum, with preliminary functional metagenomic data from groundwater also available.

Treatment effectively promoted and sustained predominantly oxidative conditions throughout the monitoring period, despite

spatial and temporal variability across the site. Both contaminants displayed a consistent decreasing trend at the injection well, with PCE reduction exceeding 98% at the primary injection point within the first two months. Whole-metagenome analysis of the selected consortium identified a diverse enzymatic repertoire potentially involved in aerobic chlorinated compound processing, including glutathione S-transferase activity (EC 2.5.1.18), hydrolytic dehalogenases (EC 3.8.1.2/3), and Rieske-type dioxygenases, distributed across Burkholderiaceae, Sphingomonadaceae, and Comamonadaceae — the dominant taxonomic families. Temporal metabarcoding data revealed a biphasic community response: an initial expansion of diversity followed by a decline in the relative abundance of inoculum-associated degraders, consistent with decreasing selective pressure as contaminant concentrations decreased. We hypothesize that this ecological succession may itself reflect progressive environmental remediation.

Overall, these results support the technical feasibility of an integrated aerobic bio-based approach for chlorinated ethene remediation at field scale. The findings suggest that effective TCE and PCE processing can be achieved by functionally redundant native consortia even in the absence of canonical degrader taxa, and that combined physical-chemical and biological strategies represent a promising alternative or complement to conventional anaerobic treatments, particularly at sites where maintaining strictly reducing conditions is geochemically challenging. Further work is warranted to validate the identified enzymatic pathways and to assess long-term community stability and treatment efficacy.

Acknowledgments

We thank Regione Toscana and ARPA Toscana.

Keywords: real-scale, chloroethenes, nanobubbles, metabarcoding, metagenomics

Contacts: devaki.destri@biodigressioni.it
agentini@tesecobonifiche.it
nicola.bertelloni@biologia.unipi.it
simona.digregorio@unipi.it

Integrated environmental management and digital monitoring for a terminal construction located at the Venice industrial harbour

Mauro Gallo[1], Rudi Ruggeri[2]

Mauro Gallo[1], Rudi Ruggeri[2]
[1] eAmbiente S.r.l. – m.gallo@eambientesrl.com
[2] eAmbiente S.r.l. – r.ruggeri@eambientesrl.com

Abstract

The construction of a containers terminal, first phase of the offshore platform development at the industrial Port of Venice, requires an integrated approach to environmental planning, monitoring and site assistance. The proposed framework combines the Environmental Construction Plan (PAC), the Environmental Monitoring Plan (PMA), continuous field measurements, digital data management and specialist support throughout the works.

The PAC defines the environmental organisation of the construction site, including the location and management of fixed installations, pollutant-control systems, raw-material and waste storage areas, and water collection networks. It also identifies mitigation measures for dust emissions, noise, and potential impacts on water resources and soil, together with procedures for waste, excavated materials and sediment management.

The PMA establishes the environmental matrices to be monitored, the monitoring schedule, station locations, measurement methods, data validation and reporting procedures, and the actions to be implemented when anomalous conditions are detected. The monitoring system includes five stations for atmospheric particulate matter, PM10, over the two-year construction period and four turbidity probes for marine works. Measurements are acquired

continuously, with frequencies ranging from five minutes to one hour, and transmitted to cloud-based storage.

All project and monitoring information is managed through the ePlat1® web platform, configured around the main work clusters, including quay demolition, land excavation, sediment dredging and new containment structures. The platform supports project records, monitoring data, safety information, contractors, production, material origins and destinations, and movement registers. This integrated system is complemented by periodic on-site technical assistance focused on environmental compliance, waste, soil and rock, sediment and impact mitigation.

The case illustrates how environmental planning, real-time monitoring and digital traceability can be combined to improve control, documentation and decision-making in a complex port construction site.

Keywords: environmental monitoring; construction site management; digital traceability; PM10; turbidity

Risk informed and sustainable redevelopment of a contaminated industrial site using an integrated remediation design

***Name Surname*[1], *Name Surname*[2], *Name Surname*[3]**

[1] *Andrea Bianchini, Martin Slooijer*

Abstract

Historical activities of a multinational automotive company in Venray (The Netherlands) resulted in significant soil and groundwater contamination across an 8 ha site. Two main source zones containing chlorinated solvents (cVOCs) and TPH were identified, alongside more widespread heavy metal contamination. Approximately 125,000 m³ of soil was impacted by cVOCs, with concentrations exceeding 10% of PER solubility.

A pump-and-treat (P&T) system had operated for years as a hydraulic containment barrier but removed little contaminant mass, as source areas beneath buildings remained untreated. Monitoring indicated potential lateral plume spreading within site boundaries.

Redevelopment plans were stalled due to regulatory concerns about off-site migration, uncertainties regarding subsurface conditions, and significant liability risks. Remediation had to be integrated with building demolition and asbestos removal, further increasing complexity.

Approach/Activities

To break the deadlock, GreenSoil assumed full environmental liability under a lump-sum contract covering demolition, asbestos removal, and comprehensive soil and groundwater remediation.

Source areas were excavated to 4 m below ground level and treated off-site. An in-situ groundwater remediation system was then installed, based on recirculation filters (extraction and injection wells), designed to function beneath future buildings. Extracted groundwater was amended with GreenSoil's carbon substrate (Dehalo GS™) and reinjected to stimulate enhanced anaerobic biodegradation, effectively creating a large in-situ bioreactor.

A bio-barrier was installed along the site boundary to prevent plume migration. The entire remediation infrastructure was constructed underground, allowing rapid site preparation and uninterrupted redevelopment.
Liabilities were partially transferred to Bodem Beheer Nederland after achieving predefined remediation targets, ensuring long-term plume monitoring and risk control.

Results / Lessons Learned
Through proactive risk transfer, integrated design, and LEAN planning, the site was redeveloped quickly and cost-effectively. The property was handed back to the client within five months, enabling immediate construction activities. Active remediation was completed in three years, and subsequent monitoring confirmed long-term performance. The full remediation process was finalized in 2025.
This case demonstrates how combining risk management, technical innovation, and redevelopment planning can transform a complex contaminated site into a successful and sustainable project.

Our case strongly demonstrates how the planned redevelopment of the site drove the remediation strategy:

- The remediation was fully integrated with demolition and new construction.
- An underground remediation design was developed specifically to allow new warehouses to be built during in-situ treatment.
- Risk transfer and liability management were structured to enable rapid site sale and redevelopment.
- The solution balanced regulatory concerns, plume control, and commercial redevelopment needs.

The project is essentially a redevelopment-driven remediation design.

Keywords: Contaminated site redevelopment, Integrated remediation Chlorinated solvents (cVOCs), Risk transfer, In situ bioremediation

Contacts: a.bianchini@greensoilgroup.com (+34 642703545), cda@me.com , m.slooijer@greensoilgroup.com . GreenSoil Group - Buitendijks 19, 3356 LX Papendrecht, The Netherlands

A Biomonitoring Technical-Operational Protocol (BTOP) supporting bioremediation of organochlorine-contaminated sites

A.Arelli*[1], B.Matturro[2], S.Rossetti[2], F.Araneo[1], V.Fiano[1], C.Fiori[1], L.Marangio[1], G.Reina[1], M.Serafini[1], F.Zampetti[1], E.Alberico[4], R.Bortoletto[4], F.Berteni[4], Massimo Mazzola[5], F.Danesin[5], S.Trivellato[5], E.Pulze[5], L.Epulandi[5], G.Zaccanti[6], R.Costantino[6], C.Bazzini[6], S.Costa[6], M.Mangone[7], V.Manca[7], Valentina Sammartino Calabrese[8], G.Ragone[8], D.Della Rocca[8]

[1]ISPRA - The Italian Institute for Environmental Protection and Research; [2]IRSA-CNR - Water Research Institute – National Research Council; [4]ARPA Lombardia - Regional Environmental Protection Agency;[5]ARPAV Veneto - Regional Agency for Environmental Prevention and Protection; [6]ARPAE Emilia-Romagna - Regional Agency for Prevention, Environment, and Energy; [7]ARPAS Sardegna - Regional Agency for Environmental Protection, [8]ARPAC Campania - Regional Environmental Protection Agency

Abstract

Groundwater and soil contamination by organochlorine compounds remains one of the most challenging environmental issues in the remediation of contaminated sites. Chlorinated solvents, such as Tetrachloroethylene (PCE), trichloroethylene (TCE), as well as other persistent organochlorine contaminants polychlorinated biphenyls (PCBs), are widespread in many industrial areas and frequently affect large and complex aquifers.

Although biological remediation technologies have demonstrated their effectiveness and sustainability, their application is still limited compared with conventional physicochemical remediation approaches. One of the key elements for evaluating the biological potential of contaminated sites is represented by biomonitoring, as the activities aiming at defining the occurrence and abundance of microorganisms or genes involved in the biodegradation or biotransformation of specific contaminants. One of the main barriers to a broader implementation of bioremediation approaches is the lack

of standardized procedures for integrating biomonitoring into remediation planning and management.

In recent years, molecular biomonitoring techniques have become essential tools for investigating microbial communities involved in biodegradation processes.

The identification and quantification of specific microbial biomarkers - including key dechlorinating microorganisms and functional genes—provide valuable information for assessing the natural biodegradation potential of a site, supporting the selection of remediation strategies, and monitoring the effectiveness of biological treatments.

Despite their increasing use in research and selected remediation projects, no national technical guidance is currently available in Italy to harmonize the planning, execution, interpretation, and management of biomonitoring activities within contaminated site remediation.

To address this need, ISPRA and IRSA-CNR, in collaboration with several Regional Environmental Protection Agencies (ARPAs), have initiated the development of a Biomonitoring Technical-Operational Protocol (BTOP) dedicated to organochlorine-contaminated environmental matrices. The protocol aims to provide a standardized framework for integrating biomonitoring into all phases of the remediation process, from site characterization and conceptual model development to remediation design, implementation, and performance monitoring.

The BTOP defines technical recommendations for planning biomonitoring investigations according to the site's Conceptual Model (CM), selecting appropriate sampling strategies, applying validated biomolecular methods for microbial biomarker analysis, and interpreting biological data to support technical and regulatory decision-making. Particular attention is devoted to the integration of microbiological, hydrogeological, geological, and chemical information, allowing refinement of the CM and improving the understanding of in situ biodegradation processes.

The presentation will illustrate the rationale, structure, and implementation strategy of the BTOP, highlighting the collaborative approach adopted by ISPRA, IRSA-CNR, and the participating ARPAs. The protocol represents one of the first coordinated national initiatives aimed at standardizing biomonitoring practices for organochlorine-contaminated sites and promoting the systematic use

of microbial evidence to support sustainable remediation and informed decision-making.

Keywords: biomonitoring, bioremediation, organochlorine compounds, microbial biomarkers, conceptual model, technical-operational protocol.

Contacts : alessia.arelli@isprambiente.it (+39 - 06 - 50072128), bruna.matturro@irsa.cnr.it

Anthropogenic Chemical Pollutants "MAID": A Threat to Ecological Sustainability with Possible Biological Solutions

Rupak Kumar[1]

[1] *ICMR, New Delhi, India*

Abstract

The relationship between mans and environment (MAE) is deeply interconnected, with each influencing the other. While the environment provides essential resources, human overexploitation in pursuit of progress has caused significant and often irreversible damage. Pollution, a byproduct of this imbalance, now poses a serious threat to the planet's sustainability. Chemical pollution is a major concern, referring to the contamination of the environment by unnatural chemicals—typically introduced through human activities—that pose risks to human health. More than 52 million organic and inorganic substances have been synthesized of which over 39 million are commercially available to potential human exposures via the diet, air, drinking water, drug administration, and lifestyle choices etc.
Morpholine and its derivatives (MAID) are one of such xenobiotic chemicals widely used in industries such as rubber, glass, iron, boiler plants, paper, textile, personal care, agriculture, and pharmaceuticals. They can enter the human body through inhalation, ingestion, or dermal absorption, potentially causing localized effects on organs like the lungs, digestive system, or skin through biological nitrosation processes wherein morpholine reacts with a nitrosating agent (like nitrite) to form N-nitrosomorpholine (NMOR), a potential carcinogen. Additionally, these compounds may induce systemic effects too. Maintaining the integrity and functioning of ecosystems, biological approaches of treating anthropogenic chemicals is used. In this regard, a present talk deliberates the isolation and characterization of naturally habitat microbes for the successful remediation of morpholine after acclimatization and analytical studies. The biodegradation of morpholine was confirmed by die away test (spectrophotometric based) and gas chromatography (GC) analysis that revealed that there was complete degradation of morpholine

through following the glycolate pathway route. The degradation efficacy of isolates follows as BAC-1 > SK-5/ BAC-2/ RK1/ RK-2 > RK-11. Thus biological treatment- an eco friendly approaches that results the complete conversion of organic compounds into less harmful end products as a cleaner, greener and safer solution in promoting ecological sustainability.

Keywords: *Morpholine and its derivatives, Biological treatment, Die away test, Gas chromatography, Ecological sustainability*

Contacts:rupakraman@gmail.com (+9 19650207665)

Soil contamination hotspots in Republika Srpska (Bosnia and Herzegovina): challenges for assessment, risk prioritization, and environmental governance

Marijana Kapović Solomun[1], Milica Vranešević[2], Svetlana Lazić[3], Stojanka Dražić[4], Ilija Čigoja [1]

[1] University of Banja Luka, Faculty of Forestry, Blv. Vojvode Petra Bojovića 1A, 78000 Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina marijana.kapovic-solomun@sf.unibl.org

[2] University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Dositeja Obradovića 8, 21102 Novi Sad, Serbia, milica.vranesevic@polj.edu.rs

[3] Ministry of Agriculture, Forestry and Water management of the Republic of Srpska, Trg Republike 1, 78000 Banja Luka,Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina s.lazic@mps.vladars.rs

[4] Ministry of Spatial planning, Civil engineering and Ecology, Trg Republike 1, 78000 Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina s.drazic@mgr.vladars.rs

Abstract

Soil contamination represents an under-recognized environmental risk in Western Balkan countries (European Commission et. al., 2024), thus Republika Srpska (RS), particularly in areas with former industrial activities, military sites and agro-industrial processing infrastructure (Malić et al., 2025). Many potentially contaminated sites originate from pre- conflict periods (Civil War 1992-1995), which today are characterized with incomplete or inaccessible documentation, limited monitoring, and institutional fragmentation which significantly constrain effective risk assessment and remediation planning (Kapović Solomun, et al., 2020). Currently, most of the former industrial sites are under bankruptcy or they are partially privatized, with limited data important for the risk assessment. Previously, industrial activities included heavy and military-related manufacturing, characterized by mechanical, chemical, and surface-treatment processes, with extensive use of industrial oils, lubricants, and chemical substances. This study presents a systematic assessment of six selected soil contamination hotspots across RS, covering industrial, military and agro-industrial sites located in proximity to settlements, surface waters, and sensitive receptors. Using a harmonized screening and

ranking methodology, sites were evaluated based on contamination sources, dominant pollutants, environmental pathways, and potential impacts on human health and ecosystems. Results indicate substantial variability in risk levels among sites, with the highest concern associated with locations where historical activities coincide with shallow groundwater, surface water connectivity, and residential exposure. Based on the available information collected from available documentation and interviews with responsible representatives of the assessed companies, the analysis indicates the potential presence of persistent organic pollutants, heavy metals, petroleum hydrocarbons, and various industrial chemicals used in previous processes. On the other hand, missing monitoring and laboratory data are common situation of selected sites. The findings underscore the urgent need for systematic soil monitoring, improved data transparency, and integration of soil contamination into land-use planning and environmental policy frameworks. Strengthening institutional coordination and adopting riskbased prioritization approaches are essential steps toward sustainable soil management and environmental protection in Republika Srpska.

Keywords: soil contamination, industry, risk assessment, environment

Programmable Environmental Governance: Reengineering ESG from Compliance Instrument to Sovereign Infrastructure: Max 200 digits spaces included

Celio Soares de Souza[1]

[1] *UNESP – University State of São Paulo(speaker)*

Global ESG regulation is entering a new phase. Frameworks such as the European Union Deforestation Regulation (EUDR) signal a structural transformation in how environmental responsibility is enforced across supply chains. Yet the prevailing model of due diligence remains fundamentally reactive—centered on documentbased verification, fragmented reporting systems, and compliance audits detached from real-time environmental performance.

This keynote argues that ESG governance is approaching an infrastructural threshold. Without sovereign, interoperable, and programmable digital architectures, sustainability regulation risks amplifying asymmetries between highly capitalized actors and digitally excluded producers, particularly in climate-sensitive sectors such as agriculture.

We propose the concept of Programmable Environmental Governance (PEG): a systemic model in which environmental verification, traceability, financial incentives, and regulatory compliance are embedded directly into digital infrastructures. Rather than auditing sustainability ex post, PEG enables real-time, algorithmically validated accountability through the integration of edge-based environmental sensing, decentralized registries, and conditional governance protocols.

Beyond supply chain traceability, the PEG architecture extends to environmental remediation and soil health monitoring. By integrating edge-based sensing of soil parameters—such as organic matter content, pH, and contaminant residues—with blockchain-verified restoration records, the framework enables transparent tracking of remediation efforts while aligning economic incentives with measurable ecological recovery. This approach is particularly relevant

for monitoring diffuse pollution, pesticide residues, and soil degradation in agricultural landscapes, addressing critical challenges highlighted in the Climate & Soil Nexus agenda.

Preliminary simulation scenarios conducted in Brazilian coffeeproducing regions indicate that integrating programmable budget allocation mechanisms and computer-vision-based environmental verification can significantly reduce certification costs while improving transparency and market access. These simulations suggest positive economic returns over a multi-year horizon, while reinforcing data sovereignty and reducing technological dependency for smallholders. The transition from compliance tools to programmable governance infrastructures represents more than technological innovation—it marks a structural evolution in environmental regulation. By reconceptualizing ESG not as a reporting obligation but as programmable economic infrastructure, regulators, financial institutions, and technology providers can align sustainability enforcement with capital allocation, ecological regeneration, and long-term systemic resilience. In this paradigm, environmental governance becomes not merely a cost of compliance, but a mechanism capable of steering investment flows toward verifiable environmental performance.

Keywords: Programmable Governance, Blockchain, EUDR Compliance, Soil Health Monitoring, ESG Infrastructure

*Contacts:*mailto: celio.s.souza@unesp.br *(+55 15 98156-8685)*

Soil health in closing the biomass cycle: current problems of microplastic pollution

Monika Jakubus1

[1] Department of Soil Science and Microbiology, Poznan University of Life Sciences.

Abstract

Soil is a vital, limited, non-renewable, and irreplaceable natural resource. Currently, due to rapid civilizational
development, a number of sectors affect soils, most often leading to adverse effects. The sectors that most strongly and negatively impact soil health include agriculture, industry, transport, and waste landfills, both directly and indirectly. These interactions result in soil degradation, such as decreased water retention and sorption capacity, reduction of organic matter, acidification or salinization, contamination with various organic and inorganic xenobiotics, and diminished biodiversity. Degraded soil loses its productive and environmental functions. The scale and scope of this issue are highlighted by data showing that as much as 35% of all soils worldwide are degraded to varying degrees. Unfortunately, degradation processes are continuing and worsening (Soil Monitoring Law, 2023; Soil Strategy for 2030). The drivers and impacts of the problem extend beyond national borders, reducing the soil's capacity to provide these vital services throughout the EU and neighboring countries. Due to the large scale and intensity of unfavorable factors impacting soil, it is necessary to care for and strengthen soil health. Healthy soils are biologically active (e.g., rich in microorganisms, fungi, and earthworms), structurally stable (with good aggregation and porosity), chemically balanced (optimal pH and nutrient contents), and resilient to erosion, drought, and pollution. Therefore, prioritizing soil health is essential because it recognizes soil as a finite and dynamic living resource that is directly related to plant health. It is the capacity of soil to function as a vital living system to sustain biological productivity, maintain environmental quality, and support plants, animals, and humans. Healthy soils are essential for food security, biodiversity, water regulation, and climate mitigation.

However, as noted above, there are many threats to the health and fertility of soil, and among them are
microplastics (MPs), the presence of which in the environment is becoming increasingly noticeable. MPs, often referred to as "white pollution," represent minute plastic particles measuring less than 5 millimeters in size. They have emerged as a pervasive environmental concern, with their presence documented across various ecosystems (Ding et al., 2023). The presence of MPs is a pressing issue due to the widespread use of this type of material in every area of our modern life. There are numerous sources from which MPs can enter the environment, move between its compartments, and easily become incorporated into the food chain [Figure1]. Global plastic production in Europe reached 57.2 million tons in 2022, while only 31% was recycled and used in new products (Plastics Europe, 2022). It is estimated that as much as 79% of the total plastic mass is deposited in landfills and other environmental elements (Azeem et al., 2021). The cited authors report that the highest production is recorded in China and the lowest in South America, while in Europe, an average of 60 million tons is produced annually. While completely eliminating plastic production is unrealistic, reducing it would be a significant achievement, as indicated by provisions such as the Single-Use Plastics Directive (Directive 2019/904), European Regulation 2023/2055, and European Regulation 2025/2365. This means that EU law no longer treats microplastics as merely a theoretical problem; from 2026, every company introducing a product in packaging or using plastics in agriculture must prove that it does not permanently damage the soil ecosystem. However, we must remain acutely aware of the consequences of MPs in our environment, especially considering that they have been documented since the 1970s (Büks and Kauperjohann, 2020). So far, plastic pollution in aquatic environments has generated the most attention, but its impact on terrestrial areas is also evident, despite terrestrial ecosystems receiving less research focus (Rashid et al., 2025).
Most scientific reports on the presence of MPs in soil come from East Asia. On the European continent, the
number of such studies is limited, with only a few countries (Switzerland, Germany, the Netherlands, Italy, and Norway) taking a leading role. Regarding Polish soils, data is fragmentary and limited to local studies involving a small number of samples (Medyńska-Juraszek and Szczepańska, 2023; Hulisz et al., 2025). Nevertheless, the

presence of MPs in the studied soils was confirmed, that the concentration of MPs depending on a number of biotic and abiotic factors. The reason for the limited data and lack of systematic soil monitoring for MPs contamination is primarily due to the lack of standardization in MP analysis methods, as well as the time and cost intensity of the techniques currently used. Nanosized particles are almost impossible to detect using traditional methods; thus, it is necessary to use more advanced techniques, such as pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry (Py-GC/MS), Raman spectroscopy, or microFourier transform infrared spectroscopy (μ-FTIR). These are more expensive and typically restricted to specialized laboratories, which significantly limits the widespread implementation of these tests. It is also worth emphasizing the lack of any legal regulations in this area that would require systematic soil monitoring and introduce limit values for MP concentrations in soils, as is the case for heavy metals and PAHs.

This raises another issue: the potential remediation of areas contaminated with MPs. Knowing that MPs are

distributed ubiquitously, it is impossible to clean the entire planet. It is important to acknowledge that using physicochemical remediation methods can lead to secondary pollution or other forms of soil degradation. Furthermore, the cost of such treatments is currently uneconomical. Considering these issues, greater focus should be placed on maintaining soil health by enhancing natural biological processes. One of the more interesting proposals is the application of biochar. Biochar does not remove plastic, but it improves soil health and stimulates local microbes to degrade pollutants more quickly. Significant potential for purifying soil of MPs is seen in bioremediation (i.e., techniques utilizing microorganisms). According to Thapliyal et al. (2025), various soil microorganisms, including bacteria and fungi, can degrade different MPs with the help of enzymes such as laccase, esterase, peroxidase, oxidoreductase, and hydrolases. They depolymerize the larger polymer chains into smaller units, ultimately mineralizing them into CO_2, H_2O, and CH_4. Although plants do not decompose MPs in the same way some microorganisms do, they can play a key role in the phytoremediation process (Tang, 2023) [Figure 3]. The cited author points out that plants could act as interceptors and temporary sinks for MPs by facilitating their deposition, adsorbing them, trapping them in the root zone, enabling them to cluster on the roots, taking them up, translocating them, and accumulating them in

various plant parts. However, it should be considered that this is only a temporary solution, because the MPs trapped and accumulated in plants may be transferred to higher trophic levels of the food chain. Furthermore, MPs could adversely impact plant health and the ability of plants to remove other environmental pollutants. Therefore, phytoremediation has certain limitations, although it remains a valuable tool, especially when combined with bioremediation processes to degrade MPs (Tang, 2023).

Aware of the numerous unfavorable phenomena accompanying the presence of plastic waste in our environment,

we strive for consistent changes in this area, but this is not an easy task. The assumptions regarding the plastic waste management hierarchy, based on the 4R principle: reduce, reuse, recycle, and recover, are helpful. Comprehensive implementation requires public education and increased public awareness. Much remains to be done, particularly in terms of proper plastic waste sorting and preventing biowaste from being contaminated with plastics (disposable plastic bags), at the household level. Such basic, yet significant, actions make waste processing easier and safer, obtaining well-selected material and producing high-quality compost.

A similar approach can be applied to municipal wastewater, ensuring that the sewage sludge resulting from its treatment is not burdened with MPs. There are also a number of other pathways that should be secured to minimize potential MP emissions into the environment, which primarily occur during the production, processing, and storage of plastic materials. Alternative biomaterials are being increasingly used and can successfully replace conventional plastics. Notable examples include biopolymers such as PHA (polyhydroxyalkanoates), PLA (polylactic acid), and TPS (thermoplastic starch), as well as natural fibers from hemp, flax, or jute. The use of the above materials, especially in plant production and the food industry, should be widespread and supported by appropriate legal regulations.

Contatti: monika.jakubus@up.poznan.pl

Assessment of Carbon Dioxide, Methane and Oxygen Mass Flux during Preliminary Site Investigations

Andre Tartre [1]

[1] *EcoRemediation Inc..*

Abstract

Since mid-1990's, many contaminated sites have been investigated with a probe equipped with a membrane, and where "volatile organic compounds" (VOCs) in the formation diffuse across it and are swept with a clean fluid behind the membrane. The resultant effluent is brought at the surface for analysis. This equipment determines efficiently the position of the contamination but has focussed on vapors analysis only since its inception. A recent initiative has been undertaken to incorporate gas analytical detectors with this equipment.

A vapor is characterized as a substance that exists in a liquid state under standard temperature and pressure conditions. For example, benzene, trichloroethylene, and water are classified as vapors within the atmospheric context. Conversely, a gas is defined as a substance that exists in a gaseous state under standard temperature and pressure conditions. Substances such as oxygen, methane, and carbon dioxide fall under the category of gases. The behavior of these entities in the atmosphere is markedly distinct, particularly with regard to their migratory patterns through soil porosity.

The project entailed the integration of an electrochemical detector for oxygen, alongside two infrared detectors, one designated for methane and another for carbon dioxide, to analyse these gases in the effluent. The incorporation of these supplementary detectors yields real-time quantitative assessments of gas concentrations. In addition, "mass flux" are assessed by letting the flow of the clean fluid behind the membrane for few minutes. Decline of resulting gas concentrations in the effluent provides a clear indication on the capacity of the gas nearby the probe, to migrate.

These "mass flux" can subsequently be employed to ascertain the position, types, and levels of active biodegradation processes occurring within the formation. With the introduction of these additional detectors, estimations of "Natural Source Zone Depletion"

rates can be conducted during preliminary investigations across the entirety of the site.
These additional data:
- May provide exact locations where methane and carbon dioxide are generated, and which migration pathways are developed;
- May provide an estimate of biodegradation rates and may help to determine the type of biodegradation processes occurring in the subsurface;
- With these rates, a cleanup timeframe may be evaluated, considering contaminant volume present in the subsurface;
- These rates may then also serve as a basis of comparison of mass removal rates between active and passive remediation.
Data pertaining to gas will be presented from various site investigations, and these data will be displayed in conjunction with standard data acquired from vapor analyzers utilized with this equipment. This compilation of data will unequivocally illustrate the significant value of obtaining these additional gas data during preliminary site investigations, without significant additional cost.

Keywords: HRSC, NSZD, Biodegradation, Rates, Gas

Contatti: andretartreCIH@hotmail.com

ECOSAFE - Eco-COmpatible processes for worker SAFEty at contaminated sites

Gabriele Beretta[1], Andrea Franzetti[2], Isabella Gandolfi[2], Marta Puddu[1], Sabrina Saponaro[1], Elena Sezenna[1], Marco Di Basilio[3]

[1]Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, [2]Università di Milano Bicocca - Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra, [3]INAIL - Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza degli Impianti

Contaminated soils represent a significant environmental and public health challenge, particularly at industrial and working sites, where remediation actions must coexist with ongoing activities.
Conventional risk mitigation strategies often rely on surface sealing or land-use restrictions, which may reduce exposure but leave contamination sources untreated and limit the ecological and functional recovery of soils.
The ECOSAFE project (Eco-COmpatible processes for worker SAFEty at contaminated sites) explores an alternative vision: shifting from passive containment strategies toward active, eco-compatible processes capable of simultaneously reducing contaminant exposure and promoting soil recovery. The project is driven by the central hypothesis that combining contaminant immobilization with enhanced microbial degradation may offer the dual benefit of reducing worker exposure and progressive depletion of the contaminant mass over time.
To investigate this concept, ECOSAFE proposes an integrated approach based on two complementary tools. Functionalized biochars can be used to immobilize contaminants through sorption and surface interactions, thereby limiting their mobility and immediate bioavailability. At the same time, microbial surfactants will be explored as green agents capable of enhancing the bioavailability and biodegradation of hydrophobic contaminants. Together, these processes may create a synergistic system in which immobilization

limits short-term exposure, while microbial activity progressively transforms contaminants.

This project adopts a multidisciplinary perspective that bridges environmental engineering and microbiology. Planned research activities include the development and testing of active agents, laboratory and field validation, ecotoxicological evaluation, and life cycle assessment. Advanced microbiological techniques, including metagenomic analyses, will be used to investigate how microbial communities respond to and interact with remediation materials.

Beyond generating new scientific knowledge, ECOSAFE aims to translate research outcomes into operational tools for practitioners and decision makers. By developing practical guidelines and decisionsupport protocols, the project seeks to facilitate the adoption of sustainable remediation strategies that protect workers while supporting soil restoration and the circular use of resources to produce active agents. In doing so, ECOSAFE contributes to the broader transition toward more resilient and sustainable management of contaminated sites.

Keywords: Contaminated soils, risk mitigation for workers, functionalized biochars, microbial surfactants, sustainable approach

Contacts: gabriele.beretta@polimi.it, andrea.franzetti@unimib.it, isabella.gandolfi@unimib.it, marta.puddu@polimi.it, sabrina.saponaro@polimi.it, elena.sezenna@polimi.it, m.dibasilio@inail.it

Detection of new metabolites during the degradation of PFOS by Acidimicrobium sp. strain A6 in a Feammox medium

***Alessandro Pellizzaro*[1], *Shan Huan*[2], *Patrizia Pretto*[3], *Massimo Fant*[1], *Peter Jaffè*[2]**

[1] *Acque del Chiampo Società Benefit (speaker)*
[2] *Department of Civil and environmental Engineering, Princeton University*
[3] *Ecomente ETS*

Abstract

In this study, a high-resolution re-analysis of archived samples from a previous 100-day incubation of Acidimicrobium sp. strain A6 (A6) with perfluorooctane sulfonate (PFOS) was conducted to further elucidate metabolic intermediates and defluorination mechanisms. The incubations were conducted in a Feammox medium, described previously, with ammonium (50 mg/l) as the electron donor and ferric iron (ferrihydrite) as electron acceptor. These incubation systems, initially spiked with 100 mg/l PFOS, exhibited a removal efficiency of approximately 50-60% during the 100-day incubation period. Through advanced high-resolution mass spectrometry (HR-MS), a suite of short-chain metabolites (C2 to C7) was identified, including perfluorobutanesulfonamide (PFBSA), perfluoropropanesulfonamide (PFPSA), and perfluoroetanesulfonamide (PFESA). Among these, PFBSA emerged as a primary intermediate, reaching a concentration of 4 mg/l by the end of the experiment. Furthermore, a monodefluorinated metabolite of PFBSA (H-PFBSA) was identified via HRMS; MS/MS spectra of H-PFBSA exhibited fragment ions with m/z values consistent with defluorination at the alpha position. Similarly, MS/MS analysis of defluorinated PFOS metabolites (H-PFOS and 2HPFOS) confirmed that defluorination occurred at both the alpha and beta positions of the perfluoroalkyl chain. This study further demonstrates the robust capability of A6 to degrade perfluoroalkyl acids (PFAAs) and provides the first precise identification of biological

defluorination sites, offering critical insights for refining bacterial PFAA degradation pathways.

Keywords: (Up to 5 keywords): PFAS, Acidimicrobium sp. strain A6 *Feammox, High Resolution Mass Spectrometry Defluorination*

Contacts:

pellizzaroa@acquedelchiampospa.it (+39 0444459213), fantm@acquedelchiampospa.it
jaffe@princeton.edu shanh@princeton.edu
patriziapretto@hotmail.com

Integrated adaptive remediation and water resilience: stakeholder-centred synergies between GENESIS and TARGET

Pavlos Tyrologou[1], Alejandro García-Gil[2], Gerardo Meixueiro Ríos[2], Gilberto M. Martel Rodríguez[3], Juan C. Santamarta[4], Hugo Miguel Pacheco[5], Elsa Cristina Ramalho[6], Jelena Koritnik[4], Megan Expósito Brazier[4], Vitor Correia[1], Iván Hernández Ríos[7], Rui Teixeira[8], Vanessa G. Correia[9], Eduardo P. Mateus[9], Alexandra B. Ribeiro[9], Nazaré Couto[9]

[1] European Federation of Geologists (EFG), Brussels, Belgium,[2]Instituto Geológico y Minero de España, [3]Water Department, Instituto Tecnológico de Canarias (ITC), Spain, [4]Departamento de Ingeniería Agraria y del Medio Natural, Universidad de La Laguna, [5]Horta City Council (Câmara Municipal da Horta), Portugal, [6]Laboratório Nacional de Energia e Geologia, IP. Amadora, Portugal, [7]Association for the Research of Macaronesia (AIM), Spain [8]Department of Water, Urban Sanitation and Regulated Activities, Municipality of Barreiro, Portugal, [9]CENSE – Center for Environmental and Sustainability Research, NOVA School of Science and Technology, NOVA University of Lisbon, Caparica, Portugal.

Abstract

Climate change is increasing pressure on groundwater bodies through prolonged droughts, seasonal imbalances, saline intrusions, variable recharge patterns and the mobilisation of legacy contaminants. These pressures are particularly relevant in territories where aquifers support drinking water supply, irrigation, tourism, industry and groundwaterdependent ecosystems. Under such conditions, remediation can no longer be framed as a narrowly technical exercise focused only on contaminant mass reduction. It must also account for water resilience, governance capacity, operational feasibility and public legitimacy. This requirement is especially visible in European regions where groundwater management responsibilities are distributed across multiple institutions and where climate adaptation and water reuse are becoming strategic policy priorities.

At the same time, increasing water scarcity is accelerating interest in wastewater reuse and integrated water management strategies.

Ensuring the environmental safety of these approaches requires an improved understanding of the occurrence, persistence and mobility of contaminants of emerging concern.

Against this background, the Horizon Europe project GENESIS and the INTERREG SUDOE project TARGET provide complementary perspectives on how adaptive remediation and water resilience can be designed as an integrated process. GENESIS develops a harmonised framework for assessment, monitoring and adaptive groundwater management across demonstrator sites, while TARGET contributes a regional stakeholder-centred perspective on integrated water management and water reuse. Table 1 summarizes their respective roles and contributions.

Methodologically, the combined approach integrates three complementary evidence streams. The first is hydrogeological and monitoring information generated through the GENESIS framework. The second consists of institutional and stakeholder perception collected through governance mapping, surveys, interviews and participatory workshops. The third derives from a SOAR-based analysis (Strengths, Opportunities, Aspirations and Results) applied in TARGET to capture stakeholder perspectives on enabling conditions, strategic opportunities and desired outcomes for integrated water management and water resilience.

These evidence streams are interpreted jointly rather than sequentially. Hydrogeological diagnosis is therefore developed alongside governance analysis and stakeholder consultation, enabling the identification of practical management pathways that are technically robust and institutionally feasible. Such integration recognises that remediation decisions are often constrained not only by scientific uncertainty but also by fragmented mandates, unclear responsibilities and the need for societal acceptance.

GENESIS develops a harmonised evaluation and management framework in which demonstrator sites function as learning laboratories for adaptive groundwater management. The framework integrates hydrogeological characterisation with digital and field-based monitoring systems, including automated sensors, piezometers, water-quality probes, telemetry networks, geospatial analysis and remote sensing tools. These monitoring architectures support the observation of groundwater levels, hydrochemical

indicators, seasonal variability and evidence relevant to contaminant transport or attenuation.

A distinctive contribution of GENESIS lies in coupling these technical monitoring layers with structured stakeholder integration. Institutional actors are systematically mapped across European, national, regional and local levels to identify mandates, operational roles, planning interfaces and decision bottlenecks. This mapping clarifies who owns monitoring data, who authorises remedial measures and who is responsible for communication and compliance when management thresholds are reached.
Surveys, targeted interviews and participatory workshops are used to assess governance perceptions, risk awareness, implementation barriers and institutional readiness for adaptive action. As a result, performance indicators are linked not only to scientific variables but also to governance responsibilities and adaptive decision triggers.

TARGET complements this framework through a Portuguese regional application focused on integrated water management and water reuse, combining stakeholder participatory workshops with experimental investigations on treatment solutions for contaminants of emerging concern.

Reactor designs are currently being optimised to evaluate treatment approaches for emerging contaminants—including pharmaceuticals and pesticides—with the objective of improving the performance of water treatment systems. Monitoring evidence from Portuguese wastewater treatment plants indicates that several pesticide compounds remain detectable in treated effluents, highlighting the limited capacity of conventional treatment processes to remove certain micropollutants. Detected concentrations typically occur at trace levels in the low ng L^{-1} range, yet their frequent occurrence illustrates the persistence of these compounds in urban water systems. Monitoring results also reveal a predominance of fungicides among detected pesticides, together with the presence of legacy or non-approved substances, reflecting the complex mixture of historical and current contamination sources affecting wastewater streams.
Stakeholder analysis conducted in Portugal through the SOAR framework enlarged institutional perspectives on water management and reuse. Participants identified innovation capacity, existing

governance expertise and strong institutional collaboration as key strengths, while technological development and resilient infrastructure were highlighted as strategic opportunities to be considered. The shared aspiration emerging from this analysis is the development of integrated water management systems capable of strengthening aquifer preservation, improving resource efficiency and enhancing resilience to climate change.

From a policy perspective, the framework aligns with evolving European priorities in water and soil governance, including climate adaptation, preventive environmental management and evidence-based decision-making. Its value lies not in replicating identical solutions across sites but in applying a common operational logic combining conceptual risk modelling, transparent monitoring systems, explicit accountability and participatory governance. This integrated approach provides a replicable pathway for aligning groundwater remediation and/or water reuse with broader strategies for water resilience, sustainable resource management and climate adaptation.

GENESIS and TARGET demonstrate that adaptive remediation and groundwater resilience must be understood as interconnected technical and governance processes. Hydrogeological expertise, monitoring networks and conceptual site models remain essential, but long-term effectiveness also depends on institutional interoperability, stakeholder engagement and transparent decision frameworks.
By positioning stakeholder integration as a structural component of remediation planning, the combined framework reduces the distance between scientific assessment and practical implementation. Through the integration of risk-based conceptual models, monitoring evidence and stakeholder intelligence, GENESIS and TARGET provide a robust model for climate-resilient groundwater remediation and water management in Europe.

Contatti: : *pavlos.tyrologou@eurogeologists.eu; md.couto@fct.unl.pt; a.garcia@igme.es; g.meixueiro@igme.es; gmartel@itccanarias.org; jcsanta@ull.edu.es;*

hpacheco@cmhorta.pt; elsa.ramalho@lneg.pt;
mexposito@ull.edu.es;
jkoritnik@ull.edu.es; vcorreia@intraw.eu;
director@aimacaronesia.eu; rui.teixeira@cm-barreiro.pt;
vf.correia@fct.unl.pt; epm@fct.unl.pt; abr@fct.unl.pt

PFAS Removal from Bio-Solids using Surface Active Foam Fractionation (SAFF©) – Results from a Full Scale, 12 month Government Trial.

Peter Murphy [1]

[1] OPEC Systems .

Abstract

More than 98% of wastewater treatment plants report PFAS above the recommended or regulated limits however the removal of PFAS from Biosolids has long posed a seemingly insoluble conundrum for the wastewater community. The strong forces that bond PFAS molecules onto the complex biosolids substrate within sewage waters make them very challenging to treat using conventional wastewater treatment techniques, which are not built or designed to extract amphiphilic compounds such as PFAS. As a result, the PFAS remains largely within the bio-solids matrix, and this nutrient rich resource can no longer be utilised as a fertiliser amendment for broad acre agricultural applications. This is a significant global environmental issue that is compounding as alternative disposal pathways prove problematic: landfills are refusing to accept PFAS impacted bio waste; pyrolysis on the large scale is proving impractical and prohibitively expensive, and; commercial scale incinerators are struggling to keep up with potential treatment volumes and tightening air quality discharge regulations.

The answer to this dilemma may rest with the humble and durable air bubble and the capacity of the air/water interface to effectively and economically harvest PFAS from raw sewage waters. Australian company EPOC Enviro is the worlds leading provider of Foam Fractionation plants having provided over 50 full scale plants across 4 continents. The SAFF technology is infinitely scalable with system designs for up to 10M m3/hr. EPOC's Managing Director Peter Murphy will present detailed results from the world's first full scale PFAS removal from sewage trial (20m3/hr), which was conducted for the Australian Government earlier this year. The results show extremely high levels of PFAS removal from both the aqueous and solid phases

of sewage to the point where the water is suitable for environmental discharge and the biosolids are rendered suitable for beneficial reuse. This seminal work lays the foundations for a viable technique by which the world may manage PFAS impacted biosolids and aqueous sewage discharge streams.

Contatti: pmurphy@opecsystems.com

Advancements in Bioremediation for Marine Pollution Control: A Comprehensive Review

Babangida Alhaji Jinjir[1*], Sharul Ismail[2], Musa M. Mahmud[1], Abubakar Manuwa[3]

[1]Department of Science Laboratory Technology, Mai Idris Alooma polytechnic P.M.B 1020, Geidam, Yobe State, Nigeria.
[2]Faculty of Ocean Engineering Technology, Universiti Malaysia Terengganu, 21030, Kuala Nerus, Terengganu, Malaysia
[3]Department of Agricultural Extension and Rural Development, Ahmadu Bello University, Zaria, Kaduna State.

Abstract

Marine pollution contaminates environment, humans, and living organisms worldwide. Microbial-typed remediation is a possible avenue because it is sustainable and economical. This comprehensive review includes marine contaminants control bioremediation strategy development. The analysis consists of petroleum hydrocarbons (crude oil ethane), toxic metals, along with chemical-based compounds as marine pollutants. It is also bioremediation strategies, additionally how microorganism, as well as phytoremediation. This review discusses bioremediation advances such as genetically engineered microbes, biofilm reactors, and nanotechnology. For better pollution mitigation and environmental remediation, omics technology, artificial intelligence (AI), and machine learning (ML) are in cooperated into marine pollution management applying microbial based remediation. In nutshell, bioremediation is a favourable and ecofriendly marine pollution alleviation technique. Moreover, investigation and strategy enhancement can make better bioremediation strategies, cleaning oceans as well as enhancing marine environment.

Contatti: bbjinjiri@miapoly.edu.ng

Intelligent Environmental Sensing for Adaptive Remediation: Signal Processing and Data Assimilation for Real-Time Subsurface Monitoring

***Celio Soares de Souza*[1], *Marcelino Monteiro de Andrade*[2]**

[1] UNESP – University State of São Paulo*(speaker),* [2] UnB – University of Brasília

Environmental remediation increasingly requires continuous monitoring of complex and dynamic subsurface systems. Traditional monitoring approaches based on periodic sampling campaigns often fail to capture transient processes governing contaminant transport, plume evolution, and remediation performance. This limitation becomes particularly critical in heterogeneous aquifers affected by persistent and mobile contaminants.

This study proposes a conceptual and technological framework for intelligent environmental sensing in adaptive remediation systems, integrating distributed environmental sensors, signal processing techniques, and data assimilation methods to support real-time environmental monitoring. The proposed architecture combines subsurface sensing networks with computational pipelines capable of filtering environmental signals, detecting anomalies, and updating conceptual site models as new data becomes available.

Within this framework, signal processing methods are applied to environmental data streams obtained from monitoring wells and sensor arrays, enabling noise reduction, pattern recognition, and early detection of changes in contaminant concentrations and hydraulic conditions. These processed signals are subsequently integrated into probabilistic data assimilation models — including Bayesian updating approaches — that dynamically update subsurface representations and support predictive simulations of contaminant transport. The approach enables remediation systems to transition from periodic monitoring toward continuous environmental intelligence, allowing remediation strategies to be evaluated and adjusted in response to evolving subsurface conditions. Such capabilities are particularly relevant for contaminated groundwater systems impacted by persistent contaminants and complex hydrogeological structures.

By integrating environmental instrumentation, signal processing, and computational modeling, this work illustrates how advances in electronic engineering and data science can significantly enhance environmental monitoring capabilities. The proposed framework contributes to ongoing discussions on digitalization, adaptive remediation, and intelligent environmental infrastructure within the international remediation community.

Keywords: Signal Processing, Data Assimilation, Environmental Monitoring, Subsurface Sensing, Adaptive Remediation

Contacts:mailto:celio.s.souza@unesp.br, andrade@unb.br

Integrated treatment of mercury- and PFAS-contaminated soils using a combined soil washing and thermal desorption approach

Lars Heinemann, BOWA Recycling AG

The treatment and recovery of soils contaminated with both mercury and per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) represent a significant challenge for the construction and waste management sector. Due to their fundamentally different physico-chemical properties, combined treatment approaches are required to ensure both regulatory compliance and maximum material recovery.

BOWA Recycling AG follows an integrated approach combining soil washing with a downstream thermal treatment plant (TheBA). The objective is the separation of reusable mineral fractions and their reintroduction into the material cycle, as well as the targeted treatment of highly contaminated fine fractions.

The requirements are mainly driven by the strict regulatory framework in Switzerland. PFAS-contaminated materials may only be landfilled below 5 µg/kg, while higher concentrations require treatment. For the reuse of sand and gravel fractions, even stricter limits apply (e.g. ≤ 1.25 µg/kg for the currently relevant PFAS parameters). For mercury, the landfill limit is 5 mg/kg. In addition, regulatory requirements impose a recovery obligation (e.g. ≥ 50% depending on the canton), while generally following the principle of "recovery before disposal".

Within the soil washing process, sand and gravel fractions are separated from fine particles, in which contaminants such as PFAS, mercury, and other heavy metals accumulate. The processed mineral fractions can subsequently be reused as recycled construction materials and reintroduced into the material cycle. In parallel, a multistage water treatment system is applied, consisting of physicochemical treatment, sand and gravel filtration, activated carbon filtration with extended contact times, as well as ion exchange processes. In addition, a specifically developed flocculation agent is

used, which is particularly designed for the removal of PFAS from the process water.

The remaining fine fraction (filter cake), which still contains relevant contaminant concentrations, is subsequently transferred to the thermal treatment plant TheBA. During soil washing, mainly soluble and partly organic contaminants can be reduced and transferred into the water phase. In contrast, heavy metals such as mercury are not soluble and remain predominantly particle-bound, leading to their accumulation in the filter cake, similar to other heavy metals.

The thermal treatment is carried out in a two-stage batch process. In the first stage, drying and pre-treatment take place at temperatures up to approximately 120 °C. In the subsequent thermal desorption phase, temperatures of up to approximately 650 °C are reached, allowing the removal of organic contaminants such as PFAS as well as volatile mercury components, which are extracted and treated via the off-gas cleaning system. The remaining residue (approximately 0.01% of the input material), where the contaminants are highly concentrated, is finally disposed of in a hazardous waste incineration facility.

By combining both processes, a significant reduction of contaminant loads can be achieved, while at the same time a large proportion of the mineral fractions can be preserved and returned to the material cycle. This approach therefore makes a substantial contribution to minimizing landfill volumes and promoting a sustainable circular economy in the field of contaminated site remediation.

Keywords: soil washing, thermal desorption, mercury, PFAS, remediation

Contacts: *lars.heinemann@bowa-recycling.ch*

“KI Potenzialflächenkarte” – an AI generated nationwide map of brownfields in Austria

***Sabine Rabl-Berger*[1], *Gebhard Banko*[2], *Christian Janitsch*[3]**

[1] *Environment Agency Austria (speaker),* [2] *Environment Agency Austria,* [3] Austrian *Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Climate and Environmental Protection, Regions and Water Management*

Abstract

In 2024 the Austrian Federal Ministry for Environmental Protection started an initiative to address Austria’s persistent challenge of high land consumption (around 6,5 hectares per day) far exceeding national sustainability targets.
A major opportunity to minimize land consumption lies in reactivating brownfields: previously industrial or commercial sites that are unused or underused. Earlier studies estimated in 2004 up to 10,000 such sites nationwide, yet neither comprehensive, nor georeferenced. Against this background, the idea grew to leverage AI based image analysis to systematically identify brownfields across Austria and such supporting more sustainable land use, prioritizing redevelopment over new land conversion.
Accordingly, the project’s core objective had been to create the first nationwide, data-driven brownfield map using optical remote-sensing data. By applying a trained AI classification system to orthophotos, approximately 65,000 industrial and commercial sites larger than 1,000 m² were analyzed. In consequence about 4,700 brownfields (sites with very high prediction confidence) covering roughly 4,000 hectares were published (with the assigned probability score) on a public WebGIS platform and made available as open government data.
The map was developed by Environment Agency Austria (Umweltbundesamt) in collaboration with Fraunhofer IIS.
By making the data publicly accessible through www.brachflaechendialog.at and www.data.gv.at the project institutionalizes a standardized, repeatable method for monitoring brownfield potential.

Looking ahead, the project is designed for continuous evolution and long-term integration into Austria's land-use governance. Since one-third of the country is re-photographed annually, updated orthophotos will feed into the system together with other data (inter alia soil sealing, built-up area), enabling regular refreshes of the brownfield map. This creates a dynamic monitoring tool rather than a one-time inventory

Since its release in December 2025, the nationwide map of brownfields in Austria has generated strong interest from real-estate developers and research institutions. Although direct effects on land recycling cannot be measured yet, the high demand suggests that the dataset will support future redevelopment decisions and contribute to reducing land take. Through its institutional embedding within the Austrian Federal Ministry of Environment Protection and regular technical updates, the initiative is foreseen to become a permanent, scalable instrument for contributing to sustainable spatial development.

Keywords: Land take, Brownfields, Artificial Intelligence

Contacts:
sabine.rabl-berger@umweltbundesamt.at (+43 664 611 90 98)
gebhard.banko@umweltbundesamt.at
christian.janitsch@bmluk.gv.at

Digital Environmental Monitoring for Integrated Remediation Systems: Advancing Plume Delineation and Mass Tracking in Industrial GAC

Celio Soares de Souza [1]***, Vivian Parron***[2]

[1] *UNESP – University State of São Paulo (speaker),* [2] *SENAC*

Environmental remediation projects increasingly combine multiple treatment strategies to address complex contaminated sites. Approaches such as Natural Source Zone Depletion (NSZD), large-scale Soil Washing, and bioremediation illustrate how diverse technologies are being deployed to restore soil and groundwater systems. However, the effectiveness of these solutions depends on the capacity to monitor environmental processes and evaluate performance in real-time, moving beyond the limitations of traditional periodic sampling.

This paper proposes a digital environmental monitoring framework focused on the challenges of **Contaminated Site Management (GAC)**, specifically for complex pollutants such as **Organochlorine compounds**. Traditional monitoring often provides only partial snapshots of highly dynamic subsurface conditions, failing to capture the precise evolution of dissolved phase plumes. The proposed architecture integrates in-situ environmental sensing—utilizing **Redox Potential (ORP), Electrical Conductivity, and soil gas probes**—as digital proxies to provide continuous data streams.

Within this framework, monitoring systems enable real-time plume delineation and dynamic **contaminant mass tracking**, allowing for a more accurate evaluation of treatment performance. By linking these data streams with analytical tools and decision-support processes, site managers can transition from reactive sampling to proactive, adaptive management models. This is particularly relevant for monitoring natural attenuation and complex bioremediation processes, where continuous sensing reduces uncertainty and accelerates the verification of remediation milestones.

This perspective contributes to the digital transformation of environmental engineering, highlighting how integrated monitoring

systems support more efficient, transparent, and sustainable remediation projects in large-scale industrial contexts.

Keywords: Contaminated Site Management (GAC), Organochlorines, Plume Delineation, Digital Twins, In-situ Sensing, Industrial Remediation.

Contacts: celio.s.souza@unesp.br vparron2@yahoo.com (All authors e-mail addresses are needed, phone number of speaker is appreciated).

Guideline values for the soil-crop-pathway in Germany

***Dr. Kathrin Schmidt*, Dr. Tobias Frische, Dr. Annegret Biegel-Engler**

German Environment Agency (UBA), Measures of Soil Protection

Germany's Federal Soil Protection Act requires that the soil-to-plant transfer pathway be taken into account during the assessment of (potentially) contaminated sites. This means that food or feed may only be grown on contaminated sites if the levels of contaminants in the soil are below certain values. To date, the following substances are regulated under the Federal Soil Protection and Contaminated Sites Ordinance:

-for food: arsenic, lead, cadmium, mercury, thallium, Benzo(a)pyren, DDT

-for feed: arsenic, lead, cadmium, copper, nickel, mercury, thallium, HCB, HCH, PCB_6, PCDD/F German legislation defines test and action values as follows:

-If test values („Prüfwerte") for pollutants are exceeded, it needs to be investigated if the site is contaminated considering the specific uses at the site.

- If action values („Maßnahmenwerte") are exceeded, the specific site is considered contaminated and measures need to be taken.

Test and action thresholds are developed and agreed upon in expert committees comprising representatives from the federal government and the federal states. They are then introduced into the legislative process by the Federal Ministry of the Environment.

Using PFAS as an example, the presentation will explain how the soil guideline values for crop cultivation are defined. Soil thresholds for PFAS are not yet included in the Soil Protection Act in Germany, but have already been derived technically.

The derivation of test and action levels follows these steps:

1. Establishment of maximum permissible contaminant levels in plants:

Where available, the maximum permissible levels in plants are taken from the relevant regulations (e.g., Commission Regulation (EU)

2023/915 on maximum levels for certain contaminants in food). For the four PFAS compounds PFOS, PFOA, PFHxS, and PFNA, the Tolerable Daily Intake (TDI) of 0.63 ng/kg body weight/day published by the European Food Safety Authority (2020) was used to calculate the maximum permissible levels in plants.

2.Description of contaminant transfer from soil to plants (contaminant- and plant-dependent):

For PFAS, over 2,000 experimental contaminant-plant data pairs were compiled from the scientific literature and measurements conducted by the federal states. This covered more than 10 plant categories and over 20 individual PFAS compounds.

3. Calculation of the maximum permissible contaminant concentrations in the soil at which the maximum permissible plant concentrations are not yet reached:

The contaminant-plant data pairs are plotted on a doublelogarithmic scale. The maximum permissible contaminant concentrations in soil corresponding to the respective maximum permissible plant concentrations are calculated using linear regression. Soil concentrations could be calculated for 4 plant categories and 9 individual PFAS compounds. That is, there were enough data points available and the mathematical correlation was sufficiently strong.

4. Verification of the calculated soil values for plausibility, taking into account analytical detectability and background levels:

Test and action values should be at least three times the analytical limit of quantification to ensure a reliable assessment of the measurement data. In addition, for practical implementation they should be at least twice the background soil contents (resulting from ubiquitous immission).

Keywords: soil-crop-pathway, PFAS, guideline values, contaminated sites, agriculture

Contacts: Kathrin.Schmidt@uba.de, Tobias.Frische@uba.de, Annegret.Biegel-Engler@uba.de

Assessment of Tolerance, Biosorption, Adsorption Isotherm, and Kinetics of Heavy Metals from Liquid Media using Live Mycelia of *Perenniporia subtephropora*

[1]Auwalu Hassan*, [2]Azman Azid, [3]Innocent Chukwunonso Ossai

[1]Department of Microbiology, Faculty of Science, Federal University of Kashere, Gombe State, Nigeria
[2]Faculty of Bioresources and Food Industry, Universiti Sultan Zainal Abidin, Besut Campus, 22000 Besut, Terengganu Darul Iman, Malaysia
[3]Institute of Biological Sciences, Faculty of Science, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia

Abstract

This study aimed at *Perenniporia subtephropora* and the utilization of live biomass as a biosorbent material for treating heavy metalcontaminated liquid medium. The isolate was identified using morphological and molecular techniques. With accession number MK209003, the ITS sequence acquired using Sanger sequencing was deposited to the NCBI database. The identified *P. subtephropora* was tested on different heavy metal concentrations to assess its tolerance capacity. Concentrations of metals (10, 20, 30, and 40 mg/L) were generated by combining metal salts with distilled water. The biosorption was conducted based on initial metal concentration (0, 50, 150, and 450 mg/L), change in pH (4.5, 7.0, and 8.0), and contact duration (0, 24, 48, 72, 96, and 120 hr). The radial growth diameters declined with the increase in metal concentrations. This was for all metals. In the treatment setup, the greatest radial diameter was at 10 mg/L, and was 4.3 cm for Cu, Cr, and As. Based on tolerance rating, *P. subtephropora* is classified as highly tolerant to Cr, Ni, As, and Fe; moderately tolerant to Cu, Zn, and Pb; and low tolerant to Mn. The biosorption accelerated with a heightened level of metal concentration, and no biosorption occurred at 0 mg/L of metals. The maximum biosorption was 28.05 mg/g for Mn, while the least was 23.16 mg/g for Fe. For all metals, the highest biosorption was at

maximum concentration. The biosorption increased with increased levels of pH, especially for some metals (Pd, Fe, Ni, Mn, and As). The maximum value was 1.56 mg/g for Cu and the least was 0.17 mg/g for Mn. The percentage removal efficiency varies significantly concerning the least efficiency, with some metals (Pb, Fe, Ni, Mn, and As) having the least removal efficiency at minimum pH (pH 4.5), while others like Cu, Zn, and Cr having the least values at neutral pH (pH 7.0). The maximum percentage removal for all metals was at the highest pH (pH 8.0). For contact time, *P. subtephropora* exhibited a time-dependent improvement in the biosorption ability. For Cu (1.69 mg/g), Pb (1.65 mg/g), Ni (1.65 mg/g), Mn (1.70 mg/g), Cr (1.78 mg/g), and As (1.44 mg/g), the maximum biosorption was at 96 hr. Meanwhile, for Zn (1.74 mg/g), the maximum biosorption capacity was at 72 hr and 96 hr. The research concludes that the fungal mycelia was found to be a low-cost biosorbent with a high potential for the removal of multiple metals from aqueous solutions including wastewater.

Keywords: Heavy metals, Contamination, Liquid medium, Perenniporia subtephropora, Biosorption, Adsorption isotherm.

Contacts: auwalhssn@gmail.com (+2348060320914), azmanazid@unisza.edu.my, ossainonso@yahoo.com.

Environmental Assessment of Hydrocarbon Impacted Site at Ajeokpori Oil Spill Site Using Electrical Resistivity Tomography Technique

Pene Barikuma[1], Saue Friday Raphael[1], Sigalo Israel[1]

[1]Environmental Remediation Unit, Hydrocarbon Pollution remediation Project.(HYPREP), Rivers state, Nigeria

Abstract

This study investigates the environmental assessment of Ajeokpori of an oilyimpacted site using electrical resistivity tomography. A fusion of field-based measurements with advanced geochemical method was used to delineate the precise depth and boundaries of the affected zones. This study characterizes crude oil-impacted sites using Electrical Resistivity Tomography (ERT) at depths of 1.0, 3.0, 6.0, 9.0, and 12.0 meters. An inverse resistivity model was employed to analysed contamination zones based on resistivity values. The colour gradient in the resistivity profile ranged from dark blue and green (low resistivity) to brown, orange, and red (high resistivity), indicating variations in subsurface material properties. Low-resistivity zones, extending from 1.0m to approximately 10.5m depth, suggested the presence of clay or watersaturated materials. Analysis along a 150.0m survey line in the NE-SW direction revealed three contamination plumes. The first and third plumes extended laterally between 0m–100.0m and 155.0m–162.0m, with depths from 0m to 6.0m. The second plume, spanning 106.0m–144.0m laterally, extended beyond the maximum investigation depth of the Res2Dinv model. The depth of oil contamination was from 4m that sometimes varies from different location and the plume direction that predominantly spread beyond the maximum investigation depth of 11 .8m for both Res2Dinv and earth imager model. The Earth Imager model corroborated these findings, showing scattered low-resistivity zones, likely representing localized high-moisture or clayey deposits within higher-resistivity surrounding material. These results provide critical insights for contamination assessment and remediation planning.

Keywords: Electrical Resistivity Tomography, ERT, oil contamination, Ajeokpori, contamination plumes, resistivity model, geophysical methods, environmental assessment, remediation planning, subsurface contamination, hydrocarbon pollution.

Contacts: *pene.barikuma@hyprep.gov.ng (speaker), raphael.saue@hyprep.gov.ng, barida.kara@hyprep.gov.ng*

Application of Nutroil NP5 Nutrients for Bioremediation of Loamy Soil Contaminated with Petroleum Hydrocarbons in Bara Alue, Tai Local Government Area, Rivers State

Pene Barikuma[1], Sigalo Israel[2], Kanee Baridakara[3], Saue Rapahel Friday[4], Suka Nwibubasa[5]

[1] Environmental Remediation Unit, Hydrocarbon Pollution remediation Project.(HYPREP), Rivers state, Nigeria

Abstract

This study evaluated the effectiveness of nutroil NP5 nutrients in the degradation of total petroleum hydrocarbon (TPH) in crude contaminated loamy soil. The experiment was conducted in Bara Alue, Tai Local Government Area of Rivers State with constructed using three different biocells in five different points. The physical and chemical properties analyzed on the contaminated loamy soil were pH, electrical conductivity (EC), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), total potassium (TK), total petroleum hydrocarbon (TPH), and hydrocarbon utilizing bacteria (HUB) in the laboratory before and after treatment for 4 weeks. The result revealed pH, 6.06, EC 301.10 µS/cm, TN 0.275 mg/kg, TP 15.04mg/kg, TK 4.13mg/kg. TPH in the crude oil contaminated soils were reduced drastically in all the treatment options (biocells) at the end of the remediation period of 4 weeks. TPH, percentage reduction for the effects of nutriol NP5 from 95.97 to 99.16, 75.91 to 91.66, and 64.91 to 86.66%, respectively in all treatment options (point 1 to 5 in the biocells) for the period of 4 weeks. The results from biocell 1 at different points with regression model R2 0.9711, 0.9907, 0.9941 and 0.9384 demonstrates high performance of nutroil NP5. At biocell 2 with different points noticed higher performance R2 0.9037, 0.9971, 0.9938, 0.9961 and 0.9903 compared to biocell 1. Although, biocell 2 at point 1, R2 0.9037 observed less degradation of TPH. At biocell 3 in different points R2 0.9485, 0.936, 0.9156, 0.932, and 0.9515 respectively. In all, biocell 2 at points 2 and 4 is the most performed making nutroil NP5 effective. Statistically, there is no significant difference at 95% confidence levels.

The integration of nutroil NP5 led to an enhancement in the rate of TPH degradation within the soils.

Contacts: *pene.barikuma@hyprep.gov.ng +2348068069663 (speaker), israel.sigalo@hyprep.gov.ng, barida.kara@hyprep.gov.ng, raphael.saue@hyprep.gov.ng, suka.nwibubasa@hyprep.gov.ng*

Investigation on Leachate Transport on Groundwater Contamination using Vertical Electrical Sounding (VES) at dumpsite in Ogale Community, Eleme Local Government in Rivers State

Pene Barikuma[1], Sigalo Israel[1], Kanee Baridakara[1], Saue Rapahel Friday[4], Suka Nwibubasa[5]

[1] Environmental Remediation Unit, Hydrocarbon Pollution remediation Project.(HYPREP), Rivers state, Nigeria.

Abstract

With increasing population comes the concern for waste disposal with open dumpsites as their only source of waste disposal. The leachate formed from the decomposition of waste materials find its way into the groundwater. This study investigated the geoelectric characteristics and the groundwater quality of boreholes around an open dumpsite in Ogale Community, Eleme Local Government in Rivers State. Four (4) borehole locations with varying distances and depth 50, 100 and 150m including the control location of 2000m apart were employed using Schlumberger configured vertical electric sounding (VES) to determine leachate effect on groundwater contamination, subsurface aquifer protective capacity and lithology corrosively. Sub-surface water samples were collected at the dumpsite at borehole depth (BH D) D50, D100 and D150 representing 50m, l00m and 150m respectively, and a control sample. Results of the selected borehole water samples around the dumpsite showed that pH, temperature and dissolved oxygen (DO) were outside the World Health Organisation (WHO) and Nigerian Standard for Drinking Water Quality (NSDWQ) maximum allowable limits (MAL). The results on leachate from BH D50 and BH D100 that were close to the dumpsite had high chlorides (10.8 and 10.5mg/l) among other metals analyzed like Iron <0.002mg/l, Lead <0.009mg/l, and cadmium <0.002 across distances covered. Total Hardness 11.6, 12.5, 16.4mg/l were considerably lower compare to the control sample 16.9mg/l. The results on microbial content including Coliform count (<1.8MPN/l00ml), and Total Heterotrophic Bacteria (THB) (7.80 and 7.20 x104 cfu/ml) were high in BH D50 and BH D100 and as the distances increase the bacteria count reduces BH D 150 (5.0 x104

cfu/ml. The regression model of R2 = 0.9743, 0.9962 and 0.9981 cross borehole depth shows high level of corrosively of metal. The level of contamination of groundwater was determined using the weighted arithmetic water quality index (WQI) method. The WQI of boreholes indicated 67.7, 67.6 and 68.1 respectively indicating that the water quality is poor and not potable for drinking. This was consistent with the secondary result obtained from the VES analysis which showed weak to moderate aquifer protective capacity. Therefore, due to the corrosive nature of the soil, metal pipes that are prone to corrosion should not be used instead plastic pipes should be used for water conveyance There is also a need for adequate and proper planning, design, construction, and strategic management disposal of waste, as well as the adoption of solid waste re-use and recycling. Also, the implementation of a better sustainable environmental sanitation practice should be implemented.

Keywords: Electrical Resistivity Tomography, ERT, oil contamination, Ajeokpori, contamination plumes, resistivity model, geophysical methods, environmental assessment, remediation planning, subsurface contamination, hydrocarbon pollution.

Contacts: pene.barikuma@hyprep.gov.ng +2348068069663 (speaker), israel.sigalo@hyprep.gov.ng, barida.kara@hyprep.gov.ng, raphael.saue@hyprep.gov.ng, suka.nwibubasa@hyprep.gov.ng

Biochar as a Soil Amendment for Reforestation of a Former Gravel Pit in a Western Canadian Boreal Setting

***David Halstead*[1], *Andrew Carpenter*[2], *Blaine Chartrand*[1], *Lily Yu*[3]**

[1] *Saskatchewan Polytechnic,* [2] *Reclaimit Ltd.,* [3] *University of Arizona*

This study evaluates the performance of biochar as a soil amendment relative to conventional treatments in the reforestation of a former gravel pit in a western Canadian boreal setting. Treatment combinations included biochar, fertiliser, hydromulch, and peat, with mycorrhizae and woody debris as surface applications.

Gravel pit substrates are typically characterised by low organic matter, poor nutrient availability, coarse texture, and limited moisture retention, which constrain seedling establishment and long-term ecosystem recovery. A five-year field trial compared treatment effectiveness based on plant survival, growth, and soil chemical and microbiological development indicators.

Results demonstrate that biochar-amended soils supported improved moisture retention and nutrient cycling compared with conventional treatments, contributing to more resilient early-stage vegetation establishment under drainage, pH, and related soil chemistry constraints. Surface applications further enhanced microclimatic conditions and soil protection.

The findings support biochar as a viable amendment for mine and aggregate site reclamation. Jack pine (*Pinus banksiana*) was identified as the ecologically suited species for this Boreal Forest setting; a tree that can also be salvaged for its biomass and act as feedstock for biochar production, while the associated ash fraction may provide alkalinity that could help amend acidic reclamation substrates. The biochar fraction may also contribute contaminant sorption capacity because of its porous structure and surface chemistry, creating a potential circular reclamation strategy.

Keywords: biochar, reclamation, gravel pit, boreal forest, Pinus banksiana (Jack pine)

Contacts: HALSTEAD@saskpolytech.ca, Andrew@reclaimit.ca, blaine.chartrand@saskpolytech.ca, lilyyu2024@arizona.edu (+1 587 889-9351)

Assessment of Hydrocarbon Contamination in Groundwater at Crude Oil Artisanal Refining Sites in Ogoni, Nigeria

Kianen Peter Lenu[1,2], Nwiakoro Numbarabari[1], Pobari Kpenu[1], Karikpo Letan Popsaana[1], Ekong Anne[1]

[1]Environmental Remediation Unit, Hydrocarbon Pollution Remediation Project, Nigeria; [2]Centre for Marine Pollution Monitoring and Seafood Safety, University of Port Harcourt, Nigeria.

The activities of artisanal refining of crude oil in the Niger Delta have resulted in severe petroleum hydrocarbon contamination and destruction of the environment in parts of the region. This study assessed the extent of hydrocarbon contamination in groundwater at artisanal refining sites in Ogoni. Groundwater samples were collected from boreholes in abandoned sites in K-Dere and BDere and analyzed for Total Petroleum Hydrocarbon Content (TPH). The results revealed high hydrocarbon contamination at both sites, with mean TPH concentrations of 482,645.4 µg/L and 2,405,556.8 µg/L in K-Dere and B-Dere respectively. Individual sample concentrations varied widely, with peak values reaching 2,082,868 µg/L in K-Dere and 6,553,013 µg/L in B-Dere. The results exceeded the Regulatory Threshold set by The Environmental Guidelines and Standards for the Petroleum Industry in Nigeria (EGASPIN) of 600ug/L, indicating severe pollution levels. Statistical analysis shows that there was no significant difference in groundwater TPH concentrations between K-Dere and B-Dere ($p > 0.05$), however, the magnitude of contamination observed at both sites reflects severe environmental degradation associated with artisanal refining activities. The finding indicates that, there is urgent need for comprehensive groundwater remediation, enhanced environmental monitoring, and stricter control of illegal refining operations to mitigate risks to ecosystem health and public safety in the region.

Keywords: Hydrocarbon, Crude Oil, Ground Water, Ogoni, Artisanal Refining Sites

Contatti: peter.lenu@hyprep.gov.ng

Phyto-assessment of vetiver grass enhanced with edta soil amendment grown in single and mixed heavy metal contaminated soil

Chuck Chuan Ng [1]

1China-ASEAN College of Marine Sciences, Xiamen University Malaysia

Abstract

Over the years, ethylene-diamine-tetra-acetate (EDTA) has been widely used for many purposes. However, there are inadequate phytoassessment studies conducted using EDTA in Vetiver grass. Hence, this study evaluates the phytoassessment (growth performance, accumulation trends, and proficiency of metal uptake) of Vetiver grass, *Chrysopogon zizanioides* (Linn.) Nash in both single and mixed heavy metal (Cd, Pb, Cu, and Zn) of disodium EDTA enhanced contaminated soil. The plant growth, metal accumulation, and overall efficiency of metal uptake by different plant parts (lower root, upper root, lower tiller, and upper tiller) were thoroughly examined. The relative growth performance, metal tolerance, and phytoassessment of heavy metal in roots and tillers of Vetiver grass were examined. Metals in plants were measured using the flame atomic absorption spectrometry (F-AAS) after acid digestion. The roottiller (R/T) ratio, biological concentration factor (BCF), biological accumulation coefficient (BAC), tolerance index (TI), translocation factor (TF), and metal uptake efficacy were used to estimate the potential of metal accumulation and translocation in Vetiver grass. All accumulation of heavy metals were significantly higher ($p < 0.05$) in both lower and upper roots and tillers of Vetiver grass for Cd + Pb + Cu + Zn + EDTA treatments as compared with the control. The single Zn + EDTA treatment accumulated the highest overall total amount of Zn (8068 ± 407 mg/kg) while the highest accumulation for Cu (1977 ± 293 mg/kg) and Pb (1096 ± 75 mg/kg) were recorded in the mixed Cd + Pb + Cu + Zn + EDTA treatment, respectively. Generally, the overall heavy metal accumulation trends of Vetiver grass were in the order of Zn >>> Cu > Pb >> Cd for all treatments. Furthermore, both upper roots and tillers of Vetiver grass recorded high tendency of accumulation for appreciably greater amounts of all heavy metals, regardless of single and/or mixed metal treatments. Thus, Vetiver grass can be

recommended as a potential phytoextractor for all types of heavy metals, whereby its tillers will act as the sink for heavy metal accumulation in the presence of EDTA for all treatments.

Keywords: Vetiver grass, Lower root, Upper root, Lower tiller, Mixed heavy metal.

Contact: chuckchuan.ng@gmail.com (+60-16-462-6466)

Groundwater TPH Reduction Dynamics During Active Remediation in Ogoniland: Evidence of Rebound, Smear-Zone Persistence, and Process-Based Controls

Sigalo Israel [1,2], 1Pene Barikuma[1], Onuoha Rejoice[1]

[1]Environmental Remediation Unit, Hydrocarbon Pollution Remediation Project (HYPREP), Rivers State, Nigeria.
[2]Institute of Geoscience and Environmental Management, Rivers State University, Port Harcourt, Rivers State, Nigeria

Abstract

Remediation of groundwater contamination is a complex process influenced by subsurface heterogeneity and residual hydrocarbon sources. This study analyses Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) reduction across three active remediation sites in Ogoniland, Nigeria, using 355 samples from 39 monitoring wells over 808 days (November 2023–February 2026). The study evaluates remediation performance, temporal trends, hydrogeological controls, and process-based behaviour. Results indicate a substantial average TPH reduction of 99.7%, with all wells achieving the regulatory target of 600 μg/L. However, temporal analysis reveals complex system dynamics. Rebound patterns were observed in 56.4% of wells, while 43.6% showed fluctuating trends, with no wells exhibiting a consistent monotonic decline. Overall, rebound behaviour affected 66.7% of wells, suggesting the persistence of secondary contaminant sources despite apparent remediation success. No statistically significant relationship was found between groundwater-level fluctuations and TPH concentrations ($p > 0.05$), indicating limited direct hydraulic control over contaminant distribution during the monitoring period. Indicators of smear-zone persistence were observed in 54.5% of wells, with significant site variability. Obaji-Oken recorded a 100% rebound frequency, while Peeteeh Bobanabe achieved rapid remediation with minimal rebound. Process-based interpretation shows that smear-zone dissolution and recontamination dominate in 56.4% of wells, with mixed processes accounting for the remainder. These findings highlight the complexity of hydrocarbon behaviour in tropical aquifers

and emphasize the need for long-term monitoring and adaptive management to ensure sustainable remediation outcomes.

Keywords: Groundwater Remediation, Total Hydrocarbon (TPH), Smear Zone, Biosparging, Rebound, Hydrogeological Conditions, Ogoniland

Contacts:*israel.sigalo@hyprep.gov.ng, pene.barikuma@hyprep.gov.ng,ronuoha156@uniport.edu.ng*

Sustainability Evaluation of Soil Remediation Options and Development of an Enhanced Decision-Support Approach

***Burcu Yıldırım*[1], *Hale Demirtepe*[2]**

[1] Izmir Institute of Technology, Environmental Engineering Department (speaker), [2] Izmir Institute of Technology, Environmental Engineering Department)

Di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) poses significant environmental and human health risks in industrial areas due to its high persistence and bioaccumulation. In managing soils contaminated with such pollutants, it is necessary to evaluate not only the technical effectiveness of remediation strategies but also their environmental, economic, and social impacts, in line with the principles of sustainable remediation defined by SURF UK. This study aims to determine the most sustainable remediation strategy for hypothetical DEHP contamination in a region with heavy industry, and to present an improved approach that addresses the limitations of existing sustainability assessment tools.

Three remediation methods were comparatively evaluated for their sustainability: excavation, biodegradation, and in-situ chemical oxidation. The evaluation was performed using SiteWise®, a multicriteria decision support tool. SiteWise® is a Microsoft Excel-based tool that enables a multidimensional assessment of methods by combining greenhouse gas emissions, energy and water consumption, and occupational safety indicators. The analysis results showed that biodegradation produced higher environmental impacts, but a reduced risk of occupational accidents compared to excavation. This initial assessment has also highlighted significant limitations of the existing tool, as SiteWise does not involve economic assessments, chemical exposure risks, and considers societal issues only within a narrow scope. Therefore, in the second phase of the study, a quantitative comparative analysis tool was developed to address these shortcomings. The enhanced decision-support tool, which incorporates quantitative outputs for environmental, social, and economic aspects, is designed to enable the comparison of

remediation scenarios not only for DEHP but also for various other pollutants.

This study presents a comprehensive framework for comparing sustainable remediation options that considers both the environmental and health impacts of pollutants and the risk reduction potential of remediation options. This approach enables a thorough assessment of environmental, economic, and social aspects by incorporating most of the indicators proposed under each of these elements. This study emphasizes that the selection of remediation methods for contaminated sites requires a multidimensional perspective. The developed approach contributes to sustainable environmental management by providing decision-makers with more comprehensive, comparable, and site-specific assessments.

Keywords: sustainable remediation, SiteWise, decision support tools, DEHP, soil contamination

Contacts: burcuyyildiriim@gmail.com (+90 505 985 0942), haledemirtepe@iyte.edu.tr

Nature-Based Solutions for Soil Remediation under Contemporary Environmental Challenges

***Andrzej Brandyk*[1], *Grzegorz Majewski*[1], *Maja Radziemska*[1]**

[1] *Institute of Environmental Engineering, Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, Poland*

Contemporary land-use patterns, driven by industrial, agricultural, and intensive urban development, lead to significant disruptions in the functioning of soil ecosystems. Consequently, soil remediation under increasing anthropogenic pressure and climate variability requires the implementation of advanced and integrated solutions. In response to these challenges, nature-based solutions are gaining increasing importance, supporting a sustainable approach to soil remediation. The aim of this study was to assess the potential of nature-based solutions, specifically zeolite-assisted phytostabilization, for sustainable remediation of multi-metal contaminated soils under variable environmental conditions.

The results provide new insights into the role of zeolite in shaping soil processes, the behaviour of potentially toxic elements (PTEs), and plant development in soils heavily contaminated with multiple metals, cultivated with Festuca rubra and native microbial communities. Assisted phytostabilization was carried out using zeolite amendments under two contrasting temperature regimes. Laboratory-scale simulations included glasshouse conditions (15–25 °C) and freeze–thaw cycles (−20 to 20 °C), reflecting site-specific environmental variability. Changes in PTE distribution during phytostabilization were assessed using sequential extraction procedures combined with atomic absorption spectrometry.

The results indicated that zeolite application enhanced the reduction of PTE concentrations in soil under both temperature regimes, with more pronounced effects observed under freeze–thaw conditions. In comparison to untreated soils, zeolite-amended systems showed a greater decrease in PTE content, particularly under dynamic temperature fluctuations.

These findings highlight the importance of considering extreme environmental conditions, such as low temperatures

and high contamination levels, in evaluating PTE mobility and transformation during phytostabilization processes.

Keywords: soil contamination; sustainable remediation; potentially toxic elements

Contacts: andrzej_brandyk@sggw.edu.pl (+48 601 491 368)
grzegorz_majewski@sggw.edu.pl, maja_radziemska@sggw.edu.pl

Risk Assessment and Remediation Potential of Drill Cuttings-Contaminated Soil Amended with Pear (Dacryodes edulis) Seed Waste

Beabu Bernard Dumkhana[1*], Pene Barikuma[1]

[1] Department of Agricultural and Environmental Engineering, Rivers State University, Nkpolu-Oroworukwo, PMB 5080 Port.

Abstract

Increased in oil and gas led to the generation of drill cuttings, a waste byproduct containing hydrocarbons and heavy metals. This study investigates the contamination factor (CF), pollution load index (PLI), and ecological risk status of copper (Cu), lead (Pb), cadmium (Cd), nickel (Ni), and arsenic (As) over a five-week period, using established baseline values. Fixed masses of drill cuttings containing 3000g and varying masses of 200, 400, 600, 800, and 1000g pear seed waste respectively were used to assess the risk posed by individual heavy metals. The findings show initial high concentration among metals Cu (6.82 mg/kg), Pb (66.3mg/kg), Cd (9.41 mg/kg) and Ni (35.2 mg/kg) before treatment. Towards the end of the study, there was significant reduction in metal concentration across treatment. In all treated drill cuttings soils, the contamination factor (CF) and contamination risk levels show that CF decreases gradually over weeks but remains in the very high-risk class, Cu (CF: 75.49–151.72) and Cd (CF: 36.38–101.94). Conversely, As exhibited lower contamination, declining from a moderate level in week 1 (CF = 10.84; PLI = 1.74) to a low risk level in week 5 (CF = 2.47; PLI = 0.75). Although all metals showed gradual reductions in CF and PLI values over time, Pb, Ni, Cu, and Cd persisted at environmentally hazardous levels. The results emphasize the critical need for remediation measures, with priority attention directed to Pb and Ni due to their heightened ecological and health risks.

Keywords: Drill cuttings, Heavy metals, Contamination factor (CF), Pollution load index (PLI), Ecological risk, Remediation, Pear seed waste

Contacts: *beabu.dumkahan1@ust.edu.ng, pene.barikuma@hyprep.gov.ng*

Impact of an organic amendment on soil carbon and plant productivity at tailings ponds in the interior of British Columbia: Solution for reclamation plan

Alexandra Scarella[1], Wendy Gardner[2], John Karakatsoulis[2], Michelle Phillips[2], Luis Figueroa-Fábrega[3]

[1] Independent Environmental Consultant, Chile; [2]Thompson Rivers University, Canada ; [3] Universidad de Viña del Mar, Chile

Abstract

Impact of an organic amendment on soil carbon and plant productivity at tailings ponds in the interior of British Columbia: A reclamation plan solution

Tailings result from the removal, grinding, separation and final deposition of ore. These ponds present a challenge for reclamation due to their lack of the chemical, physical and biological attributes essential for plant growth. The addition of amendments may facilitate successful revegetation.

This study was designed to test the effect of fertiliser and biosolids as amendments on soil carbon, nitrogen and plant establishment over a 17-year period. The original study was set up in 1998 at the Highland Valley Copper Mine in British Columbia, Canada, on two tailings ponds: one sandy and one silty. In 2015, these sites were revisited and soil data were collected on total carbon, total nitrogen and plant biomass.

Seven treatments with eight replicates were implemented at each site, and four replicates were sampled for the following treatments: control (no amendment), fertiliser, and biosolids at 150 Mg/ha and 250 Mg/ha. The results indicate that the addition of biosolids improved the total carbon and nitrogen content of the soil, as well as plant growth, at both sites compared to the addition of fertilizer or the control treatment. Soil texture also played a role, with establishment being more challenging at the sandy site.

This study provides insights into successfully reclaiming tailings ponds in regions where no prior examples are available, offering guidance for future reclamation projects worldwide (2016).

Comparative assessment of UV-based advanced oxidation processes for the degradation of bisphenol A in water

***Marija Kuč*[1], *Tajana Simetić*[1], *Tijana Marjanović Srebro*[1], *Jasmina Agbaba*[1], *Aleksandra Tubić*[1], *Jelena Molnar Jazić*[1]**

[1]*Universtiy of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Serbia*

Abstract:

Rapid industrialization in recent decades has led to widespread contamination of aquatic ecosystems with synthetic organic pollutants, particularly endocrine-disrupting compounds. Among them, bisphenol A (BPA) is the most commonly used bisphenol, serving as a monomer in polycarbonate plastics and epoxy resins. As an estrogen-mimicking endocrine disruptor, BPA is regulated by the European Union, Canada, and parts of Asia, which have restricted its use in baby bottles and certain food-contact materials. Its high stability prevents removal by conventional treatment processes such as coagulation, adsorption, or membrane filtration, resulting in persistent accumulation in the environment [1]. These limitations have stimulated growing interest in advanced oxidation processes (AOPs) as a treatment technology capable of efficiently degrading BPA. A key advantage of AOPs is the in-situ generation of highly reactive oxygen species (ROS), particularly hydroxyl radicals ($HO^{\bullet}$) and sulfate radicals ($SO_4^{\bullet-}$), which can mineralize organic molecules. The objective of this study was to compare the efficiency of two advanced oxidation processes: UV/H_2O_2 and UV/PS for BPA degradation in surface waters and to determine the most effective approach. BPA degradation was evaluated at various UV fluences (200–1400 mJ/cm²) and oxidant concentrations (0.03–0.3mM) to assess the synergistic effects of UV radiation combined with hydrogen peroxide or persulfate. BPA removal efficiency was assessed by measuring UV absorbance at 254 nm and total organic carbon (TOC).

The results show that the degradation of BPA in surface water increases with the applied UV fluence. Using direct UV photolysis, the maximum degradation of 46% was achieved at the highest UV fluence

to 1400 mJ/cm^2. The synergistic effect of UV radiation and oxidants (hydrogen peroxide or persulfate) significantly improved BPA removal. At a low oxidant dose of 0.03 mM and a high UV fluence of 1400 mJ/cm^2, the UV/PS and UV/H_2O_2 processes achieved removal efficiencies of 83% and 91%, respectively. With an increased initial oxidant concentration of 0.3 mM, both processes performed similarly, achieving BPA degradation efficiencies above 90% at a relatively low UV fluence of 400 mJ/cm^2. The improved BPA removal at higher oxidant doses can be attributed to the increased generation of reactive radicals responsible for the degradation of organic compounds. The greater availability of these radicals accelerates the reaction, allowing the same removal efficiency to be achieved at lower UV fluence than with UV photolysis alone. A significant decrease in UV absorbance at 254 nm was observed, from 0.1614 to 0.0353 (UV/H_2O_2) and 0.045 (UV/PS) at 0.3 mM oxidant dose. This indicates efficient transformation of aromatic chromophore groups into oxidation intermediates. However, limited TOC removal (approximately 11%) suggests that complete mineralization lags behind the rapid degradation of aromatic chromophores. These results highlight that, although oxidation processes efficiently degrade aromatic structures in BPA, complete mineralization occurs more slowly. Overall, the findings confirm the superior performance of the oxidation process compared to direct UV photolysis and demonstrate its potential for the treatment of BPA-contaminated surface waters.

***Keywords**:* Degradation, *Bisphenol A, AOPs, water treatment*

References:

[1] Loganathan P., Vigneswaran S., Kandasamy J., Nguyen T. V., Cuprys A. K., Ratnaweera H. (2023) Bisphenols in water: Occurrence, effects, and mitigation strategies, *Chemosphere*, **328**, 138560.

***Acknowledgements**: The authors gratefully acknowledge the financial support of the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (Grants No. 451-03-33/2026-03/ 200125 & 451-03-34/2026-03/ 200125)*

Pilot-scale testing of the mobile ReSoil® unit on soils from three ARAGORN metal(loid)-contaminated case studies

***Anela Kaurin*[1], *Simon Gluhar*[1], *Grega E. Voglar*[1], *Barbara Fojkar*[2], *Eirik Aas*[3], *Domen Leštan*[1,2]**

[1] ENVIT Ltd., Pod lipami 35, 1218 Komenda, Slovenia, [2] Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, Slovenia, [3] EUROFINS MILJO A/S, Smedeskovvej 38, 8464 Galten, Denmark

Soil contamination by heavy metal(loids) is a critical global issue, posing significant risks to environmental and human health. In Europe, an estimated 60–70% of soils are in an unhealthy state and roughly 2.8 million sites are potentially contaminated, with industrial activities, mining and improper waste disposal as the dominant sources; the scale and heterogeneity complicate effective pollution monitoring and sustainable remediation strategies.

This study, part of the ARAGORN project funded by the EU-HORIZON initiative, evaluates the efficiency of metal(loid) removal at pilot scale. A key objective of the project is to identify sustainable remediation solutions for contaminated sites in Europe. ReSoil®, one of the technologies used in the project, is an innovative closed-loop, EDTAbased soil-washing solution that removes metals and metalloids while preserving soil as a resource. A <1.5-hour cycle includes: (i) excavation, (ii) on-site extraction with EDTA as the main reactant, (iii) addition of zero-valent iron to immobilise residual metals, (iv) solid–liquid separation and filter-press rinsing to remove mobilised elements, (v) recycling of EDTA and process solutions in a closed loop in a pH gradient (12.5→2) by quicklime and sulfuric acid, and (vi) return of the remediated soil.

ReSoil® was pilot-tested in a mobile 5 kg/batch trailer at three ARAGORN case study sites, Poljana (Slovenia), Pezinok (Slovakia) and Trignac (France), with different contamination patterns and soil properties (e.g. texture). In Poljana, ReSoil® was tested on soil containing 1273 mg/kg Pb, 1706 mg/kg Zn and 11.8 mg/kg Cd, achieving average removals of 77% for Pb, 25% for Zn and 59% for Cd. In Pezinok, ReSoil® was applied to soil containing 3509 mg/kg As, 1726 mg/kg Sb, and 6373 mg/kg Mn, achieving removals of 92% for As, 52%

for Sb and 93% for Mn. In Trignac, ReSoil® was tested on highly contaminated soil containing 3359 mg/kg Pb, 3870 mg/kg Cu and 2565 mg/kg Zn. Under ReSoil® treatment, removals reached 80% for Pb, 58% for Cu and 64% for Zn. These results highlight the strong potential of the process for soils with very high metal and metalloid contamination.

An on-site demonstration at Meza Valley using the ReSoil® trailer is planned for May. ReSoil® recycles EDTA and process solutions, generates no wastewater, and is cost-effective and environmentally safe, without harmful emissions. It is also compatible with follow-up treatments targeting organic pollutants. This is being investigated on Trignac soil, which is contaminated not only with metals but also with PAH and PCB. ReSoil®-treated Trignac soil was used in another experiment with another project partner, where phytoremediation was applied to address the organic contaminants. For this purpose, compost was incorporated during ReSoil®, highlighting the practical advantage of amendment dosing directly in the process and improving amendment distribution in soil.

This study emphasizes the critical need for effective and sustainable solutions to metal contamination in European soils. The pilot tests were used to verify process robustness and practical applicability across contrasting soil conditions. This is particularly important for selecting realistic remediation scenarios at European contaminated sites. Future work will focus on integrating ReSoil® with other sustainable technologies to address organic contaminants and develop comprehensive remediation strategies that improve ecosystem health.

Keywords: closed-loop sustainable soil washing, ReSoil®, mobile unit, pilot-scale remediation, heavy metals, ARAGORN

Contacts: : anela.kaurin@envit.si (+386 31 734 577), simon.gluhar@envit.s, grega.voglar@envit.si, Barbara.Fojkar@bf.uni-lj.si, Eirik.Aas@etn.eurofins.com, Domen.Lestan@bf.uni-lj.si

Soil and crop management choices for the Koprzywianka River catchment in Poland based on modelling approaches

Andrzej Brandyk*[1], *Maja Radziemska*[1], [1]*Grzegorz Majewski*, [1]*Sylwia Szporak- Wasilewska

[1] *Institute of Environmental Engineering, Warsaw University of Life Sciences, Nowoursynowska St. 166, 02-787 Warsaw, Poland*

The search for proper or optimum soil and crop management, that facilitates also the achievement of soil health , reaches new meaning in the contemporary environmental research. The case of agriculturally used catchment- the Koprzywianka River in Poland shows the emerging need to search for links between soil parameters, soil functions and ecosystem services. The challenge to quantitatively describe those links requires employment of modelling techniques. An integrated MikeShe model was calibrated for that catchment in order to study the effects of chosen measures on river discharge and selected contaminants' transport. The main aim was to analyze if the incurring changes in land use and soil management do not significantly alter the hydrologic conditions and sustain the functions of the soil e.g. provide for soil biodiversity. The problem of hydrological model improvements was also discussed, to make adjustments for the broad estimation of soil health parameters in management scenarios- which processes are still missing and what kind of data post- processing is needed.

An attempt was made to model the transport of contaminants, such as : Nitrates, Phosphates and selected metals (Zn, Ni) on a catchment scale to look for limitations from the viewpoint of soil health. It was found, that current management of arable lands and meadows helps to limit the leaching of metals into surface and groundwater, especially close to the mining sites and quarries. In the actual status of mining operations, metal concentrations in plants and soil exhibited temporarily elevated levels.

Keywords: soil contamination; hydrological modeling; soil functions and health, potentially toxic elements

Contacts: andrzej_brandyk@sggw.edu.pl (+48 601 491 368) grzegorz_majewski@sggw.edu.pl, maja_radziemska@sggw.edu.pl, sylwia_szporak@sggw.edu.pl

Determination of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) in soil amended with sewage sludge: a pot experiment

***Irina Jevrosimov*[1], Marijana Kragulj Isakovski[1], Tamara Apostolović[1], Nina Đukanović[1], Dragana Tamindžija[1], Stanko Milić[2], Snežana Maletić[1]**

[1]Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Faculty of Sciences, University of Novi Sad, R. Serbia; [2]Institute of Field and Vegetable Crops, Maksima Gorkog 30, Novi Sad, 21000, Serbia

Soil is a vital natural resource essential for agricultural productivity and human survival, playing an important role in environmental processes due to its capacity to retain and transform various substances. Increasing petroleum consumption has resulted in the accumulation of total petroleum hydrocarbons (TPH) in soil, leading to alterations in its physicochemical and biological properties. Sewage sludge is a semi-solid organic by-product of wastewater treatment that can be used as a soil amendment to improve soil quality and crop productivity. This study investigated the effect of sewage sludge as an organic soil amendment on total petroleum hydrocarbon (TPH) behavior in soil under pot conditions, using sorghum (*Sorghum bicolor* L.) and hemp (*Cannabis sativa* L.) treated with bacterial and fungal plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR), and evaluating the combined impact of sludge and microbial treatments on the target compounds. The experimental study included soil sampling at the beginning and end of the pot experiment to assess the impact of sewage sludge on TPH behavior. Soil originating from Bikovo (Subotica) was amended with sewage sludge, after which sorghum and hemp were planted in it within the framework of a pot experiment, with and without the application of bacterial and fungal PGPR treatments. Soil sampling was conducted at the beginning and at the end of the experiment (spring–summer 2024) for TPH analysis. After drying and homogenization, the samples were extracted using an Accelerated Solvent Extractor (Dionex ASE 350) with hexane/dichloromethane, purified with silica gel and copper,

concentrated, reconstituted with phenanthrene-d10 as an internal standard, and analyzed by GC/MS. The sludge sample was processed using the same procedure. TPH concentrations showed variation among plant species and treatments. TPH decreased in S/S (sorghum with sludge), increased in S/S/B (sorghum with sludge and bacterial PGPR), and showed the greatest reduction in S/S/F (sorghum with sludge and fungal PGPR) and S/S/C (sorghum control). In contrast, TPH increased in H/S (hemp with sludge) and H/S/B (hemp with sludge and bacterial PGPR), while reductions were observed in H/S/F (hemp with sludge and fungal PGPR) and H/S/C (hemp control). TPH decreased significantly in fungal PGPR treatments, from ~70 to ~11 mg/kg in S/S/F and from ~224 to ~39 mg/kg in H/S/F, confirming plant species dependent changes with the highest reduction in fungal PGPR.

Keywords: soil, total petroleum hydrocarbons (TPH), sludge, pot experiment, Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR)

Contacts: irinaj@dh.uns.ac.rs, marijana.kragulj@dh.uns.ac.rs, tamara.apostolovic@dh.uns.ac.rs, nina.djukanovic@dh.uns.ac.rs, dragana.cucak@dh.uns.ac.rs, stanko.milic@ifvcns.ns.ac.rs, snezana.maletic@dh.uns.ac.rs

Acknowledgement:
This research was supported by the Science Fund of the Republic of Serbia, # 6769, Natural based efficient solution for remediation and revitalization of contaminated locations using energy crops – ReNBES

Carbon materials from biomass: how production pathways shape biochar and hydrochar performance

***Irina Jevrosimov*[1], *Tijana Marjanović Srebro*[1], *Tamara Apostolović*[1], *Nina Đukanović*[1], *Jelena Beljin*[1], *Marijana Kragulj Isakovski*[1], *Snežana Maletić*[1]**

[1]*Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Faculty of Sciences, University of Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, R. Serbia*

Abstract

Carbon materials derived from waste biomass, such as biochar and hydrochar, have gained significant attention due to their broad environmental applications. Biochar is a carbon-rich solid produced from dry biomass via thermochemical processes such as pyrolysis, while hydrochar is formed through hydrothermal carbonization (HTC) of biomass in water under hydrothermal conditions. Different process conditions, particularly those of pyrolysis and hydrothermal carbonization, combined with various types of feedstock, lead to the formation of carbon materials with significantly different physicochemical properties [1]. These differences determine their applications in water and wastewater treatment, soil improvement, air purification, catalysis, and energy storage. The biomass used for the production of biochar and hydrochar primarily consists of cellulose, hemicellulose, and lignin, whose composition and structure further influence the final properties of the resulting materials. Biochar properties depend on pyrolysis temperature, with lowtemperature biochars rich in polar functional groups favoring sorption of polar compounds, while high-temperature biochars exhibit greater surface area and porosity, enhancing sorption efficiency and promoting contaminant immobilization in soils. During HTC, oxygen-containing functional groups (hydroxyl and carboxyl) are introduced onto the hydrochar surface, mainly composed of carbon (C), hydrogen (H), oxygen (O), and sulfur (S) [2]. At temperatures up to 200 °C, hydrochar formation does not disrupt the cellulose crystalline structure, likely due to the high lignin content of the biomass. In summary, the properties and environmental performance of biochar and hydrochar are primarily controlled by the type of biomass and

production conditions, which influence their surface chemistry, porosity, and structural characteristics.

Keywords: biochar, hydrochar, pyrolysis, hydrothermal carbonization, biomass

Literature:

1. Kambo, H. S., Dutta, A., (2015). A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physicochemical properties and applications. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 45:359–378.
2. Zhang, Y., Qin, J., Yi, Y. (2021). Biochar and hydrochar derived from freshwater sludge: Characterization and possible applications, *Science of the Total Environment*, 763:144550.

Contacts: irinaj@dh.uns.ac.rs, tijanam@dh.uns.ac.rs, tamara.apostolovic@dh.uns.ac.rs, nina.djukanovic@dh.uns.ac.rs, jelena.beljin@dh.uns.ac.rs, marijana.kragulj@dh.uns.ac.rs, snezana.maletic@dh.uns.ac.rs

Acknowledgement:

The authors gratefully acknowledge the financial support of the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (Grants No. 451-03-33/2026-03/ 200125 & 451-0334/2026-03/ 200125)

Performance Evaluation of Agro-Waste Derived Bio-Reactive Materials for Cr(VI) Removal from Wastewater

***Deepak Kumar*[1], *Divyanshu Bhatt*[2]**

[1] *Department of Soil and Water Conservation Engineering, GBPUAT Pantnagar, India (speaker),*
[2] *Meerut Institute of Technology, India*

Abstract

The text length of the abstract must not exceed 3000 digits excluding spaces

Heavy metal contamination in aquatic environments has emerged as a critical environmental and public health issue due to the persistence, bioaccumulation potential, and high toxicity of these pollutants even at trace concentrations. Among these, hexavalent chromium [Cr(VI)] is of particular concern owing to its high solubility, mobility, and carcinogenic nature. Cr(VI) is predominantly released into the environment from various industrial activities, including leather tanning, ore refining, electroplating, automobile brake lining manufacturing, chemical processing, refractory industries, and cement production. Once discharged, it poses a significant threat to both surface water and groundwater systems, necessitating the development of cost-effective and sustainable remediation strategies.

In the present investigation, the adsorption potential of bio-reactive materials synthesized from agricultural byproducts was systematically evaluated for the removal of Cr(VI) from aqueous solutions. Batch adsorption experiments were conducted to assess the efficiency of activated carbon derived from different biomass sources, namely rice husk, rice straw, maize residue, and pine needles. These biomass materials were freshly procured from the experimental agricultural fields of Pantnagar University, India, ensuring minimal degradation and preservation of inherent physicochemical properties prior to carbonization.

The preparation of activated carbon involved controlled thermal treatment of the selected biomass, followed by activation processes to enhance surface area, porosity, and the availability of functional groups conducive to adsorption. The physicochemical characteristics of the synthesized bio-reactive materials were further analyzed through proximate analysis, which provided insights into moisture content, volatile matter, ash content, and fixed carbon percentage. The results indicated that activated carbon derived from rice husk exhibited the highest yield percentage among all tested biomass types. Additionally, proximate analysis revealed that rice husk-based activated carbon possessed the highest fixed carbon content, suggesting superior structural stability and adsorption capacity.

To elucidate the surface chemistry and identify the functional groups responsible for chromium adsorption, Fourier Transform Infrared Spectroscopy with Attenuated Total Reflectance (FTIR-ATR) was employed. The spectral analysis confirmed the presence of various oxygen-containing functional groups, including C=C (aromatic stretching), C=O (carbonyl groups), C–H (aliphatic stretching), and O–H (hydroxyl groups), appearing at characteristic wavenumbers. These functional groups play a crucial role in the adsorption mechanism through electrostatic interactions, surface complexation, and possible reduction of Cr(VI) to less toxic Cr(III) species.

The adsorption performance of the prepared activated carbons was evaluated under controlled experimental conditions. The results demonstrated that the removal efficiency of Cr(VI) using activated carbon derived from rice husk, maize residue, and pine needles ranged between 70% and 75%, indicating substantial adsorption potential across all tested biomass types. Among the selected materials, activated carbon derived from maize residue exhibited the highest removal efficiency, suggesting a favorable pore structure and surface chemistry for chromium uptake. This enhanced performance may be attributed to the synergistic effect of higher surface area and the abundance of active functional groups facilitating adsorption.

Overall, the study highlights the viability of utilizing agricultural byproducts as low-cost, sustainable precursors for the development of bio-reactive materials for heavy metal remediation. The findings

underscore the potential of agro-waste-derived activated carbon as an effective adsorbent for Cr(VI) removal from contaminated water systems, offering an environmentally friendly alternative to conventional treatment methods.

Keywords: *Hexavalent Chromium [Cr(VI)] Removal; Agro-Waste Derived Activated Carbon; Bio-Reactive Adsorbents; FTIR-ATR Characterization; Wastewater*

Contacts:

Deepak Kumar (+91 7900450774),
deepak.swce.cot.gbpuat@gmail.com
Divyanshu Bhatt, divyanshubhatt181@gmail.com

Enhancing phytoremediation of contaminated sediment using biochar and PGPR

***Nina Đukanović*[1], *Jelena Beljin*[1], *Marijana Kragulj Isakovski*[1], *Tijana Zeremski*[2], *Stanko Milić*[2], *Snežana Maletić*[1]**

[1]*University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department for Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Serbia*

[2]*Institute of Field and Vegetable Crops, Maksima Gorkog 30, 21000 Novi Sad, Serbia*

Abstract

Heavy metal contamination of sediments represents a persistent environmental problem due to their long-term stability and potential remobilization under changing physicochemical conditions. In such systems, total metal concentration alone is not sufficient to assess environmental risk, making speciation and bioavailability key parameters. This study investigates the effect of biochar and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on the behavior of copper (Cu) and lead (Pb) during phytoremediation of contaminated sediment.

The experiment was conducted under semi-controlled conditions using two treatments: sediment amended with PGPR (HM/PGPR) and sediment amended with a combination of biochar and PGPR (HM/PGPR/B). Total metal concentrations were determined by ICPMS following microwave digestion, while changes in metal speciation were assessed using the BCR sequential extraction procedure. The results showed that total concentrations of Cu and Pb exhibited only minor changes after treatment. Copper decreased from approximately 180 mg/kg to 163 mg/kg in the PGPR treatment, while remaining nearly unchanged in the combined treatment. Lead concentrations showed a slight decrease (approximately 10 to 15 mg/kg) in both treatments, reaching approximately 130–137 mg/kg.

In contrast, significant changes were observed in metal speciation, with noticeable differences between treatments. For Cu, both treatments promoted a shift toward the oxidizable fraction (up to ~80%). However, the combined HM/PGPR/B treatment resulted in a

slightly higher proportion of this fraction and a more pronounced decrease in reducible forms, indicating stronger stabilization. For Pb, redistribution from the residual to oxidizable fraction was also observed in both treatments, but this effect was more evident in the HM/PGPR treatment, where a higher share of Pb was transferred to moderately bound forms. In contrast, the HM/PGPR/B treatment retained a larger portion of Pb in the residual fraction, suggesting enhanced stabilization and reduced mobility in the presence of biochar. These findings indicate that although the applied treatments did not significantly reduce total metal concentrations, they strongly influenced metal partitioning and mobility. The combined application of biochar and PGPR demonstrated a synergistic effect, contributing to metal stabilization and transformation processes within the sediment matrix.

Overall, the results highlight the importance of considering metal speciation in the evaluation of phytoremediation efficiency and suggest that combined amendments can play a key role in controlling metal bioavailability and environmental risk.

Acknowledgements: *The authors gratefully acknowledge the financial support of the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (Grants No. 451-03-33/2026-03/ 200125 & 451-03-34/2026-03/ 200125).*

Keywords: Phytoremediation, Sediment, Biochar, PGPR, Heavy metals

Contacts: nina.djukanovic@dh.uns.ac.rs (+381 65 4011467),
jelena.beljin@dh.uns.ac.rs, marijana.kragulj@dh.uns.ac.rs,
tijana.zeremski@ifvcns.ns.ac.rs, stanko.milic@nsseme.com,
snezana.maletic@dh.uns.ac.rs

Biochar-activated persulfate for atrazine and simazine removal: insight into reactive pathways and the role of singlet oxygen

***Tijana Marjanović Srebro*[1], *Nina Đukanović*[1], *Tajana Simetić*[1], *Irina Jevrosimov*[1], *Jelena Molnar Jazić*[1], *Snežana Maletić*[1], *Jelena Beljin*[1]**

[1]*Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Faculty of Sciences, University of Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, R. Serbia*

Abstract

Radical quenching experiments were performed to elucidate degradation pathways in the biochar/persulfate (BC/PS) system using methanol (MeOH), tert-butanol (TBA), and sodium azide (NaN_3) as selective scavengers. Atrazine and simazine (100 µg/L) were treated with three biochars produced from different biomass sources at 700 °C (hardwood, corn cob, and wheat straw) under optimized conditions (0.2 g/L, 3 mM PS, pH 7.02, 0.5-4 h).

For both pesticides, degradation mechanisms strongly depended on biochar type. In the hardwood biochar system, scavengers had negligible influence, indicating a dominant non-radical pathway via direct persulfate activation. In contrast, wheat straw biochar showed clear involvement of reactive oxygen species (ROS), with contributions from hydroxyl radicals ($OH^{\bullet}$) and a major role of singlet oxygen ($^1O_2$). Similarly, in the corn cob biochar system, degradation of both atrazine and simazine was strongly suppressed by NaN_3, confirming $^1O_2$ as the dominant reactive species, while radical pathways were less significant. The negligible effect of MeOH further indicates that sulfate radicals ($SO_4^{\bullet-}$) do not play a significant role in the degradation process. These findings are consistent with a recent study showing that lindane degradation in BC/PS systems is primarily governed by a non-radical ($^1O_2$) pathway, while β-endosulfan removal involves a combination of radical ($SO_4^{\bullet-}$, $OH^{\bullet}$) and nonradical ($^1O_2$) mechanisms, depending on the biochar properties [1].

Overall, the results demonstrate that biochar feedstock governs the dominant degradation pathway, with a shift from non-radical to $^1O_2$

driven mechanisms, providing important insights for the design of BC/PS systems for pesticide removal.

Keywords: biochar, persulfate activation, pesticides, reactive oxygen species, singlet oxygen

Literature:

1. T. Simetić, T. Marjanović Srebro, T. Apostolović, J. Anojčić, N. Đukanović, S. Mutić, J. Molnar Jazić, J. Beljin, **Processes**. 2025, 13(6), 1856.

Contacts: tijanam@dh.uns.ac.rs, nina.djukanovic@dh.uns.ac.rs, tajana.djurkic@dh.uns.ac.rs, irinaj@dh.uns.ac.rs, jelena.molnar@dh.uns.ac.rs, snezana.maletic@dh.uns.ac.rs, jelena.beljin@dh.uns.ac.rs.

Adaptive Environmental Remediation Systems (AERS): Bayesian Data Assimilation for Dynamic Soil Contamination Models

Celio Soares de Souza [1]

[1] *UNESP – University State of São Paulo (speaker),*

Environmental remediation of soil systems has traditionally relied on static conceptual site models (CSMs) and sparse grab sampling, limiting the ability to capture the spatio-temporal dynamics of contaminant transport in the vadose zone. This study proposes an Adaptive Environmental Remediation Systems (AERS) framework for dynamic updating of soil CSMs through continuous data assimilation.

The methodology is based on a modular computational framework that couples a physics-based solver for Richards' Equation with Bayesian data assimilation using the Ensemble Kalman Filter. This approach enables continuous estimation of key parameters, including hydraulic conductivity and sorption coefficients, while preserving physical consistency and mass balance. Unlike purely data-driven approaches, the probabilistic framework explicitly represents uncertainty and supports robust model updating under sparse and noisy environmental data conditions.

Time-series data from distributed soil monitoring networks—comprising capacitance-based moisture sensors (e.g., TEROS 12) and electrical conductivity probes—are assimilated to update both system states and transport parameters. Practical field constraints, including sensor noise, calibration drift, and spatial representativity, are explicitly incorporated as observation error covariances to ensure real-world applicability.

The framework is applied to heterogeneous sandy-loam soils impacted by agrochemical leaching involving high-mobility contaminants, a context characterized by uncertain transport pathways. Adaptive model updating enables improved tracking of contaminant fronts and directly supports remediation decisionmaking, including optimized soil

flushing, targeted reactive barrier placement, and adaptive irrigation control to limit contaminant migration.

Preliminary numerical simulations indicate that the proposed approach reduces uncertainty in contaminant migration forecasts by approximately 35% compared to static calibration. By integrating IoTenabled monitoring with probabilistic modeling, this work contributes to scalable, data-driven remediation strategies for dynamic soil contamination environments.

Keywords: Adaptive Environmental Remediation Systems, Bayesian Inference, Data Assimilation, Soil Monitoring, Vadose Zone, Contaminant Transport, Environmental Remediation, Probabilistic Modeling

Contacts: celio.s.souza@unesp.br (+55 15 98156-8685)

Biological clogging applied to developing contaminant barriers

***Alice K. M. Morita*[1,2], *Mercedes Regadío*[2]**

[1] *Universidad Rey Juan Carlos, Móstoles, Spain (speaker),*
[2]*Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, Spain*

Abstract

Biological clogging causes permeability reduction of different materials, which can be used in the design of barriers for retaining contaminants. The present work studied using construction and demolition waste (CDW) and tire waste (TW) as support materials for developing biological barriers for retaining contaminants. The experimental set-up was composed of 26 columns made of PVC (approx. 50 mm-diameter x 600 mm-length), which were filled with waste and their mixtures (construction and demolition waste – "CDW" – , a mixture of 50% v/v CDW and tire waste – "CDW/TW" –, and CDW inoculated with anaerobic sludge – "IN CDW"). The columns were fed with real leachate from an active municipal solid waste landfill in Madrid, Spain (dissolved organic carbon (DOC) 278±150 mg/L, pH 7.4±0.4, electrical conductivity (EC) 14013±5218 µS/cm, oxidation-reduction potential (ORP) –126±100 mV). Other 2 columns were filled with CDW and were fed with tap water ("Blank"). Head loss and flow were measured to calculate the permeability of the materials over time, using Darcy's equation. Inlet and outlet samples were collected daily (pH, EC, ORP, temperature) and biweekly (cations, anions, trace elements, DOC), for a period of 170 days. After such a period, the feeding was stopped, the columns were opened and the filling materials were sampled for Optical Coherence Tomography (OCT) and 16S rRNA sequencing. The results showed a 2-3 orders of magnitude reduction in hydraulic conductivity values after the studied period, being the lowest values obtained for CDW/TW columns (10^{-7} m/s after 170 days). The greater obstraction obtained for CDW/TW was associated with the hydrofobicity of tire waste, which enhances biofilm adhesion. This result is coherent with the images obtained from the OCT, which showed greater biofilm development for CDW/TW samples. Additionally, it is supposed that the materials can

undergo more obstruction to reach permeabilities compatible with the legal limit, considering that an exponential decrease fitted well the CDW/TW data, predicting conductivity values of 10^{-9} m/s after 420 days of operation. Moreover, a mild reduction in electrical conductivity values, of about 5000 µS/cm, was observed for all barrier configurations, showing that ions can have precipitated within the materials. The best results were obtained for CDW/TW columns, possibly indicating that this configuration is more effective in reducing the release of contaminants to the environment. Regarding the microbiological analysis, significative similarities were observed for samples obtained from the same filling material, indicating that its nature can impair or enhance biofilm adhesion and media obstruction. CDW/TW samples presented the greatest dominance indexes, which was associated to the phyla *Mycoplasmatota, Campylobacterota, Bacteroidota,* and *Bacillota*. The chemical monitoring showed evidence of anaerobic environments, sulfate reduction and alkalinity consumption inside the barrier, which is suggested to be beneficial to promote precipitation of metals from the raw leachates. The present study showed that it is possible to incorporate waste materails for the development of alternative biological barriers, which can be beneficial to protecting the clay layers, increasing their lifetime, and potentially reducing their thickness in a multibarrier system. The new proposed configuration can contribute to fostering the circular economy and reducing environmental contamination.

Keywords: biological barriers; construction and demolition waste; tire waste; biofilms; leachate

Contacts : alice.morita@urjc.es, mercedes.regadio@uam.es

Bioaccessibility of potentially toxic elements in vineyards

***Tijana Milićević*[1], Dubravka Relić[2], Aleksandar Popović[3]**

[1] *University of Belgrade, Institute of Physics Belgrade, Serbia (speaker),*
[2] *University of Belgrade, Faculty of Chemistry, Serbia*

Abstract

Agricultural soils are frequently exposed to potentially toxic elements (PTEs) due to agrochemical application, industrial activities, irrigation practices, and illegal waste disposal. In vineyard environments, soil pollution can pose health risks to workers in the fields through ingestion, inhalation, and dermal routes and to consumers of the products. The health risk assessment requires not only pseudo-total PTE concentrations but also bioaccessibility assessments of the soil fraction that is available for human absorption in the gastrointestinal and lung systems.

We investigated the vineyard soils and grapes from Serbian vineyards. The PTE concentrations were determined by using acid digestion with concentration determination on Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS). The gastrointestinal bioaccessibility of soil and grape PTEs was assessed using the Unified BARGE Method (UBM) developed by the Bioaccessibility Research Group of Europe. Two methods of simulated lung fluid (SLF), simulating healthy lungs and inflammatory lung status, were used to evaluate inhalation bioaccessibility from soil particles. Bioaccessible concentrations were integrated into health risk assessments for oral and inhalation exposure pathways.

Results indicated that oral ingestion is the dominant exposure pathway of vineyard workers to the PTE from soil. In vineyard soils, Sr, Cu, and Co were the most bioaccessible PTEs, followed by Mn, Ni, and Zn. Pseudo-total concentrations suggested Ni, Cr, Co, and Mn were the most significant contributors to the potential health risk for workers, while for grape consumers Ni, Cr, Mo and B concentrations mostly influenced the total risk. However, the human health risk assessment

based on bioaccessible fractions showed THQ < 1 for PTEs from both soil and grape. Soils at some specific locations in surround of the vineyards exhibited higher PTE concentrations and increased bioaccessibility, particularly for Cu (40.5% of total Cu), followed by Co (up to 30%). The lung bioaccessibility of Sr ranged from 20-70%, while Cu was up to 60% biocessible in lungs compared to the total concentration in soil dust particles, followed by Ni and Zn, whose bioaccessibility was up to 20%. Health risk assessment revealed moderate carcinogenic risk for workers based on pseudo-total and bioaccessible PTE concentrations (CR > 1×10^{-6}) only in a few specific soil samples. These findings emphasize that incorporating bioaccessibility provides a more realistic assessment of the human exposure and risk. This approach supports evidence-based vineyard management, prioritizes remediation, and reduces potential human exposure to soil contaminants.

Keywords: soil, grapevine, oral bioaccessibility, inhalational bioaccessibility, in vitro

Contacts: tijana.milicevic@ipb.ac.rs (+381 64 2329827), dradman@chem.bg.ac.rs, apopovic@ipb.ac.rs

Plant growth responses in chromiumcontaminated soils

***Dragana Vidojević*[1], *Uroš Buzurović*[2], *Marco Falconi*[3], *Aleksandra Šiljic-Tomić*[4], *Mira Milinković*[2]**

[1]Serbian Environmental Protection Agency (SEPA), Ministry of Environmental Protection, Belgrade, Republic of Serbia (speaker), [2]Institute of Soil Science, Belgrade, Republic of Serbia, [3]Institute for Environmental Protection and Research (ISPRA), Rome, Italy, [4]United Nations Environment Programme (UNEP), Belgrade, Republic of Serbia

Abstract

Potentially toxic elements (PTEs) are found in nature and, in high concentrations, possess negative effects on the environment. Present in soil, potentially toxic elements adversely affect biochemical, physiological and molecular processes in plants and often reduce both their growth and productivity. One of the most prevalent PTEs toxic to plants is chromium (Cr), which exists in two forms: Cr(III) and Cr(VI), with Cr(VI) being extremely harmful for plants. Accordingly, phytoremediation of Cr-contaminated soils has attracted researchers' attention because the process is still challenging and time-consuming. The research area is a former industrial site that contained tanned leather waste resulting from the deposition of tannery residue, and the soil is likely contaminated with Cr compounds and other PTEs. It is located on the outskirts of the city of Zaječar (eastern part of the Republic of Serbia), along the Crni Timok river, with arable land on the opposite bank. Soil samples were collected from five locations (three contaminated and two reference sites) near the tannery. Two samples (S1 and S2) were collected from the surface layer of contaminated soil (0-10 cm), characterized by a high content of organic waste derived from leather, whereas one sample (S3) represented contaminated soil without organic waste, collected at a depth of 0–15 cm. The representative physical, chemical, and microbiological properties of the collected soil samples were analysed. In order to study the plant growth response in the contaminated soil (S3), pot experiments were performed by using several crops (*Helianthus annuus* L., *Sorghum* sp., and *Brassica napus* L.).

The soil textural class of the studied soils is classified as sandy loam at contaminated locations and as light clay at reference sites. All soil samples showed neutral to slightly alkaline reaction. The soil samples (S1 and S2) contained very high concentrations of total Cr (841.4 and 1260.2 mg kg^{-1}), with Cr(III) concentrations (839.7 and 1258.8 mg kg^{-1}) significantly higher than those of Cr(VI) (1.7 and 1.4 mg kg^{-1}). A soil sample with a lower content of organic waste (S3) had a lower total Cr concentration of 145.2 mg kg^{-1}, a dominant proportion of Cr(III) at 138.5 mg kg^{-1}, and a significantly higher content of Cr(VI) ions at 6.7 mg kg^{-1} compared to samples S1 and S2.

In Cr-contaminated soil (S3), compared to the control treatment, rapeseed seeds had the lowest germination percentage, while sunflower seeds had the highest. Significantly better plant growth was observed in the control treatment for sorghum and rapeseed, while this difference was smaller in sunflower. The nitrogen content (expressed by the Nitrogen Balance Index, NBI) was consistently lower in plants grown on Cr-contaminated soil in all three crops studied, whereas the flavonoid content was consistently higher in plants grown on Cr-contaminated soil in all three crops studied. This is most likely attributable to a plant response to the stress caused by high content of PTEs.

The purpose of this research is to identify plants capable of growing on Cr-contaminated soils and accumulating Cr. The phytoremediation potential of these plants will be assessed to provide insight into their use in the remediation of Cr-contaminated soils.

Keywords: phytoremediation, potentially toxic elements, chromium, pot experiments, agricultural plants

Contacts: dragana.vidojevic@sepa.gov.rs *(+38163421375),* soilsbuzurovic@gmail.com, miramilinkovic@yahoo.com, marco.falconii@gmail.com, aleksandra.siljictomic@un.org

Hybrid system for polyethylene microplastic retention in water: the role of biochar and *Lemna minor*

Madalena Picanço[1,2], Paulo M. Mourão,[1,3,4,5], Nazaré Couto[2]

[1] MED Mediterranean Institute for Agriculture, Environment and Development & CHANGE Global Change and Sustainability Institute, Departamento de Química e Bioquímica, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora
[2] CENSE - Center for Environmental and Sustainability Research & CHANGE - Global Change and Sustainability Institute, Department of Environmental Sciences and Engineering, NOVA School of Science and Technology, NOVA University Lisbon, 2829-516, Caparica, Portugal
[3] VALORIZA Research Center for Endogenous Resource Valorization, Campus Politécnico 10, 7300-555 Portalegre, Portugal
[4] Research Chair of Material Science, University of Namibia, Private Bag 13301, 340 Man-dume Ndemufayo Avenue, Windhoek, Namíbia
[5] LAQV-REQUIMTE, Institute for Research and Advanced Studies, School of Science and Technology, University of Évora, 7000-671 Évora, Portugal

The growing presence of microplastics in aquatic environments poses a significant environmental challenge due to their persistence, widespread distribution, and ability to interact with other contaminants, thereby driving the search for more effective and sustainable treatment solutions. Among the most promising approaches, floating aquatic macrophytes and carbon-based materials derived from waste biomass stand out for their potential for physical retention, surface adsorption, and integration into naturebased solutions. In this context, the present study aims to evaluate and develop a biochar-macrophyte hybrid system for the retention of microplastics in water, using *Lemna minor* as a model species and activated carbon as a comparative reference material.
Laboratory-scale experiments were conducted using water of controlled composition contaminated with polyethylene (PE) microplastics in the form of irregular particles, selected according to

their environmental relevance and analytical suitability. The experimental design included several configurations: control, macrophyte, biochar, and combinations of these materials, to identify possible complementary or synergistic effects. Additionally, two operational regimes, static and dynamic, were also compared to assess the influence of hydraulic conditions on particle retention.

The selection of *Lemna minor* is based on its demonstrated ability to interact with microplastics at the plant surface and is considered a species with potential for retention and phytoremediation strategies. In parallel, recent studies have highlighted the growing interest in biochar-based materials for microplastic removal from water, mainly due to their surface area, structural heterogeneity, and the possibility of being produced from residual biomass.

This study is expected to contribute to a better understanding of the dominant retention mechanisms involved, including adsorption onto biochar and adhesion to plant surfaces, as well as to support the development of more sustainable solutions for the mitigation of microplastics in aquatic systems.

Keywords: Microplastic; Polyethylene; Biochar; Lemna minor; Water treatment

Contacts: madalenapicanco@gmail.com, pamm@uevora.pt, md.couto@fct.unl.pt

PFAS in environmental matrices: targeted analysis and topa-based screening

Jana Kováčová[1]

[1]ALS, Na Harfe 336/9, Prague, Czech Republic

Abstract

This presentation will focus on the analysis of PFAS in environmental matrices, with particular emphasis on water testing, including groundwater, surface water and wastewater. It will present the possibilities of targeted PFAS analysis together with TOPA-based screening as a tool for the assessment of PFAS precursors. In addition to water, the presentation will also cover analytical options for other environmental matrices, especially soils, sediments and, where relevant, biota. Overall, the presentation will provide an overview of current approaches for PFAS determination and precursor evaluation across a range of environmental sample types.

PFAS, analysis, TOPA, water, soil Contacts:
jana.kovacova@alsglobal.com (+420 733 633 328),

Leveraging Statistical Evaluations of VOC Distributions in Soil Gas Beneath Large Buildings to Obtain Better Datasets

Craig A. Cox, CPG (Craig_Cox@CoxColvin.com)
(Cox-Colvin & Associates, Plain City, OH, USA)

Background/Objectives: Understanding the concentration and distribution of VOCs beneath buildings is a critical component of assessing the vapor intrusion pathway. This is particularly important for commercial/industrial buildings that have large footprints, may have long histories of VOC use and may have experienced periodic onsite releases. If an insufficient sample set is collected, the resulting evaluation could underestimate the magnitude of vapor intrusion and potentially result in inadequately mitigated exposure of building occupants to VOCs that could cause harm.
Practitioners in the vapor intrusion field typically rely on local or regional guidance to develop the number of samples to collect during assessment planning. Most guidance documents that weigh in on this issue provide guidance based largely on the building's square footage. This approach, albeit practical, may not result in an adequate characterization of the true distribution of VOCs beneath these buildings. In addition, the costs associated with the collection and analysis of soil gas samples (either passive or active) tend to limit the size of data sets submitted for laboratory analysis.

The objectives of this study are to:
1) determine if there is an underlying distribution associated with the concentration and occurrence of VOCs in soil gas beneath large buildings,
2) provide a means of proposing a minimum set of data points necessary to evaluate conditions beneath large buildings at a specified level of confidence, and
3) evaluate alternative methods that can be used to contain the cost of vapor intrusion evaluations while producing more robust data sets.
Approach/Activities: To determine if a predictive means could be used to estimate the number of samples required to characterize and the concentration and distribution of VOCs in soil gas beneath larger

buildings, large soil gas datasets collected at industrial/commercial buildings were statistically evaluated. These datasets consist of a combination of field-collected data (e.g., PID, LEL, and percent oxygen readings) and analytical results for specific vapor-forming compounds. The statistical evaluation focused on understanding the underlying distribution (e.g., normal, log-normal, gamma, Weibull, or nonnormal). If a common distribution exists, then a predictive approach can be developed to understand the minimal number of samples needed to understand the distribution and concentration that will support more defensible decisions. In addition, by applying distribution-based transformations to soil gas datasets, the data can be more effectively evaluated statistically and more reliably interpolated in GIS applications.

Results/Lessons Learned: Review of the distributions of both field and analytical data indicates that there are underlying distributions in the data that are predictable across both field and analytical data. To take advantage of these distributions, a two-step approach to the collection of vapor intrusion data is proposed. The first step is to collect field screening data at a larger number of sample points, followed by a smaller, targeted number of samples collected for laboratory analysis based on the common distribution and desired level of confidence.

Keywords: Vapor Intrusion, Volatile Organic Compounds (VOCs), Soil Gas Sampling, Statistical Distribution Analysis, Sampling Optimization / Data Density

Contacts: Craig_Cox@coxcolvin.com (+16145262040)

Guidelines for Selecting Remediation Technologies for Unsaturated Soils and Groundwater: A Screening Matrix Approach for Luxembourg

Anna Espinoza-Tofalos[1], Alessia Sartorelli[2], Simone Bruschi[2], Pol Tock[3], Maryline Moutier[3], Sabrina Saponaro[2]

[1] Luxembourg Institute of Science and Technology, Esch-sur-Alzette, Luxembourg, [2]Politecnico di Milano, Department of Civil and Environmental Engineering, Milan, Italy, 3Environtment Agency, Esch-sur-Alzette, Luxembourg

Abstract

Contaminated sites are a widespread environmental challenge that poses significant risks to human health and the ecosystems. Pollution in the subsurface environment can persist over long periods, affecting water quality, limiting land use, and requiring costly remediation interventions [1]. In response to these concerns, a growing effort at the European level has emerged to strengthen environmental protection policies and promote more sustainable management of contaminated sites. However, the selection of appropriate remediation technologies remains a key challenge. Contaminated sites are inherently complex, often characterised by a wide range of pollutants, variable geological and hydrogeological conditions, and multiple technical or logistical constraints. These factors make it difficult to identify suitable treatment options, particularly during the early stages of project development [1].

In Luxembourg, the management of contaminated sites reflects both the country's specific environmental context and the current limitations of available remediation practices. The diversity of soil types, combined with a legacy of industrial and commercial activities, results in a wide range of contamination scenarios. Despite this variability, remediation strategies have historically relied on a limited set of approaches, with excavation and off-site treatment, often carried out in neighbouring countries, or containment measures such as capping remaining the predominant options [2]. This situation is partly due to the lack of treatment and disposal facilities within the national territory, but also to the absence of harmonised approaches

for evaluating alternative remediation options. As a result, the selection of remediation strategies is frequently constrained, with limited consideration of more sustainable or site-specific solutions [3, 4].

At the same time, the regulatory landscape is evolving, placing increasing emphasis on sustainability, longterm effectiveness, and the preservation of soil functions. Emerging European and national policies encourage a more balanced assessment of remediation options, considering not only technical feasibility and costs, but also environmental and social impacts over time [5]. Within this context, the absence of a structured and locally adapted approach for the preliminary evaluation of remediation strategies represents a significant gap. Existing international methodologies do not fully capture Luxembourg's specific conditions, including its soil characteristics, site scale, social challenges and regulatory expectations. This highlights the need for a coherent framework that can guide practitioners in navigating the complexity of contaminated site management, support more consistent decision-making, and facilitate the transition toward more sustainable remediation practices across for both soil and groundwater.

Overall, this research provides a practical and adaptable framework to support more informed decision-making in remediation projects in Luxemburg. By structuring complex information into an accessible format and emphasising both technical and sustainability aspects, the screening matrix contributes to the transition toward more efficient and environmentally responsible management of contaminated sites in the country.

One of the main results of this study is the establishment of a harmonised set of evaluation criteria that can be consistently applied across a wide range of remediation technologies. The distinction between applicability constraints and performance indicators proves essential for structuring the evaluation. Applicability criteria, such as contaminant type, soil properties, and treatment depth, act as primary filters, determining whether a technology could be realistically implemented. In contrast, performance criteria, including removal efficiency, treatment duration, and cost, enable the differentiation between technologies that satisfy these initial constraints. The inclusion of qualitative sustainability indicators further complements the evaluation by highlighting differences in energy demand, resource use, and potential environmental impacts.

The results show that combining these criteria within a stepwise evaluation process significantly improves the clarity of technology selection. The initial screening phase reduces the number of candidate technologies by excluding those incompatible with site-specific conditions. In the case of complex contamination scenarios, this step is particularly effective in narrowing down options where multiple pollutants impose conflicting constraints. The subsequent comparison phase allows for a more detailed assessment of the remaining technologies, making it possible to identify trade-offs between efficiency, duration, and cost. This structured progression supports a more transparent and reproducible decision-making process.

The applicability of the approach was tested through two case studies from real remediation projects in Luxembourg, one for unsaturated soil and one for groundwater. In the soil case study, the tool highlighted thermal treatment technologies as viable alternatives to conventional excavation and disposal (which was the technology actually implemented), with most options achieving removal efficiencies above 98% for TPHs and BTEX (with slightly lower efficiencies for heavier fractions), thereby confirming their technical suitability despite higher on-site associated costs. In the groundwater case study, the tool enabled rapid screening and comparison of technologies, identifying both cost-effective solutions, such as biosparging and air sparging, and higher-performance alternatives achieving contaminant removal efficiencies above 90% under sitespecific conditions [3, 4].

The application of the framework also highlights differences between technology categories. In situ techniques often emerge as competitive options under conditions where excavation of soil or water pumping is technically challenging or cost-prohibitive, particularly for deeper contamination or large treatment volumes. Conversely, ex situ methods and containment approaches remain relevant in situations requiring rapid risk mitigation or where treatment objectives cannot be achieved in situ. The results therefore illustrate how the framework can reveal context-dependent advantages and limitations of different remediation strategies [3, 4].

However, the results also underline several limitations of the approach. The evaluation is based on data derived from the literature and case studies, which introduces variability and uncertainty in reported costs and performance values. These parameters are highly sensitive to site-specific conditions and should therefore be

interpreted as indicative rather than definitive. In addition, the qualitative treatment of sustainability limits the depth of the assessment and does not fully capture broader environmental, social, and economic trade-offs.

Overall, the results indicate that the proposed framework provides a structured basis for narrowing down and comparing remediation technologies, while also demonstrating its applicability to real-world cases. Its use improves the transparency of early-stage decision-making but does not replace the need for detailed investigations, pilot testing, and expert judgment in later project phases.

Conclusions and further development

This study proposes a comprehensive and coherent approach to support the selection of remediation technologies for contaminated soils and groundwater in Luxembourg. Building on a thorough review of existing methodologies and remediation practices, it introduces a structured framework tailored to the national context, integrating both technical and decision-oriented criteria. The approach addresses the growing need for more consistent, transparent, and sustainable management of contaminated sites, in line with evolving European and national regulatory frameworks.

A key contribution of this work is the development of a harmonised methodology that consolidates the main factors affecting remediation decisions. These include applicability constraints, such as contaminant type, soil and groundwater properties, and treatment depth, as well as performance indicators such as efficiency, duration, and cost. In addition, qualitative sustainability considerations are incorporated to provide a broader perspective on environmental and operational impacts. By integrating these elements within a stepwise evaluation process, the framework enables the identification of feasible technologies and supports their comparison under site-specific conditions.

The results demonstrate that structuring available knowledge into a consistent and accessible format can significantly enhance early-stage decision-making. The approach facilitates the exclusion of unsuitable technologies and supports a more informed comparison of viable options, helping to balance technical feasibility, cost, timeframe, and sustainability considerations. In doing so, it broadens the range of remediation strategies considered in Luxembourg, reduces reliance on conventional practices such as excavation and disposal or

containment, and promotes the adoption of more sustainable, site-specific solutions.

However, this work should be regarded as a preliminary decision-support framework. The underlying data, particularly regarding costs and efficiencies, are derived from the literature and case studies and therefore involve inherent uncertainties. Site-specific investigations, pilot testing, and expert judgment remain essential components of the remediation process. Furthermore, sustainability considerations are included at an indicative level and could be further developed to enable a more comprehensive assessment of environmental, social, and economic impacts.

A major strength of the approach lies in its adaptability. Its structure allows for continuous updates as new technologies emerge, additional case studies become available, and regulatory requirements evolve. Future developments could include expanding the scope to emerging contaminants, refining cost and performance data, and strengthening sustainability integration through more advanced assessment methods. Extending the framework to address specific challenges—such as non-aqueous phase liquids or complex mixed contamination—would further enhance its applicability.

Overall, this research supports the transition toward more sustainable and informed management of contaminated sites in Luxembourg. By providing a structured, context-specific basis for selecting remediation technologies, it contributes to more efficient decision-making and is aligned with the country's broader environmental objectives and forthcoming soil protection policies.

Contatti: anna.espinoza@list.lu, pol.tock@aev.etat.lu, sabrina.saponaro@polimi.it

Evaluation of the pollution potential of Repi dumping site on nearby surface water quality using multiple pollution indices in Addis Ababa, Ethiopia

Demamu Tagele Haligamo[1], Tamru Tesseme Aragaw[1], Esayas Alemayehu[2]

[1]Faculty of Water Supply and Environmental Engineering, Water Technology Institute, Arba Minch University, Arba Minch, Ethiopia
[2]Faculty of Civil and Environmental Engineering, Jimma Institute of Technology, Jimma University, Jimma, Ethiopia

Abstract

Open dumping is widely practiced as a final solid waste disposal method in urban areas of developing countries including Addis Ababa, Ethiopia. Uncontrolled generation of dumpsite leachate threatens water resources. Therefore, this study was aimed to evaluate the pollution potential of Addis Ababa Repi dumping site on adjacent river water where its leachate drains into Jemo River in downstream. For this purpose, four leachate samples (L1-L4) were obtained along its course before it reaches the river. Furthermore, six Jemo River water samples (SW1-SW6) were taken from upstream, adjacent and downstream directions. Leachate and river water quality were examined using standard methods. The pollution potential of dumpsite leachate and river water degradation were determined using multiple pollution indices including leachate pollution index (LPI), comprehensive pollution index (CPI), and various irrigation suitability indices. The descriptive results indicated that the dumpsite leachate consists of severe organic contaminants such as COD (19,600mg/L) and BOD (2000mg/L) and heavy metals including Cu (31mg/L), Fe (4.36mg/L) and Hg (0.039mg/L as well as fecal coliforms (220CFU/100mL). The determined LPI values (19.57-26.29) were significantly higher than the Indian treated leachate discharge limit into inland surface water (7.49). The calculated CPI value of 3.28 confirms that river water quality was deteriorated, declining per indices of magnesium hazard and salinity. This study concluded that combining pollution indices is a promising approach for assessing the pollution potential of dumpsite leachate and its impact on surface

water quality, providing insights that necessitate remedial actions in the urban areas of developing countries.

Keywords:Dumpsite leachate,Irrigation suitability,Pollution indices, River water, Waste management

Contatti: demamu.tagele@amu.edu.et

Multidimensional risk perceptions and lived experiences across four community strata near Repi dumping site in Addis Ababa

Demamu Tagele Haligamo[1]*, Tamru Tesseme Aragaw[1], Esayas Alemayehu[2]

[1]Faculty of Water Supply and Environmental Engineering, Water Technology Institute, Arba Minch University, Arba Minch, Ethiopia
[2]Faculty of Civil and Environmental Engineering, Jimma Institute of Technology, Jimma University, Jimma, Ethiopia

Abstract

Background: Open disposal of urban mixed solid waste poses significant environmental, health and socio-economic dangers, specifically in rapidly urbanizing cities of developing countries. These disposal practices contribute to increased environmental contamination, gas emissions, and disease transmission. Hence, this study was aimed to assess stratified environmental, health and socio-economic risk perceptions and lived experiences among communities around Repi open dumping site in Addis Ababa, Ethiopia.

Methods: A community-based cross-sectional qualitative study was conducted from June to July, 2024. Study participants were selected using purposive sampling, and data were collected from four stratified groups including residents living within 0-500m and 500-1000m of the site, solid waste workers and scavengers. 48 in-depth interviews, 4 Focus Group Discussions (FGDs), field observations and review of health records were applied. Data were analyzed using thematic analysis and SPSS ver.23 software.

Results: This study found severe environmental risks from Repi dumping site, most significantly air pollution and unaesthetic environment with community risk awareness magnified with proximity to the site. There were prevalent self-reported health problems including breathing problem, asthma, common cold; malaria/ yellow fever, eye/skin irritation and diarrhea among respondents. Scavengers and waste workers were uniquely reported injury/ body cut from sharp objects. The dumping site created mixed reality by serving as crucial income source, while causing financial

strain from health expenses, psychological stress, social stigma and fear of waste landslides and fires. Community members' showed anger and disappointment towards concerning bodies for failing to implement the promise of relocating the site.
Conclusion: Repi dumping site is a source of the perceived multiple environmental, health and socio-economic risks that significantly impacted the local community health and wellbeing. This study suggests engineered sanitary landfill and pollution mitigation measures as a solution.

Keywords: Community health, Environmental pollution, Open dumping site, Risk perception, Socio-economic impact

Contatti: demamu.tagele@amu.edu.et

Innovative Tools for Fighting PFAS

Jurgen BUHL

[1] *Cornelsen Group, Germany*

PFAS contamination in fire-fighting systems (premix), in industrial wastewater or in landfill leachate is often characterised by the presence of other water constituents such as DOC, other pollutants or elevated levels of dissolved iron alongside the PFAS.. One solution to this challenge involves incorporating a specialised process upstream in the treatment sequence.
This involves adding an environmentally friendly solution to the contaminated water and mixing it thoroughly. The substance is based on organic material and is biodegradable.
After a treatment time of a few minutes, a compound forms in the water between the added solution and the dissolved PFAS. This compound is based on the difference in charge between the PFAS and the added substance. The resulting compound is large enough to be visible in the water and thus accessible for filtration to remove particles (flocs).

Examples in the groundwater sector show that, depending on the composition of the PFAS contamination, up to 98.1% of the PFAS present can be removed as flocs by filtration when this process is applied.
Examples involving landfill leachate yield a removal rate of 93.7% for a group of PFAS. Furthermore, the examples demonstrate that the treatment step is not hindered by water constituents such as DOC or dissolved divalent iron. However, PFBA cannot yet be effectively removed using this method.
Its use in the decontamination of fire-fighting systems (vehicles, buildings) makes it clear that not only are there high concentrations of PFAS (> 1,000 µg/l) present in the rinse water, but also other fluorinated organic compounds and surfactants, the concentrations of which far exceed those of the PFAS. This highly concentrated mixture of pollutants makes the use of activated carbon for purifying

the liquid impossible, as the poorly adsorbable PFAS are detected early on in the purification plant's process.
By employing this type of pre-treatment via flocculation, in combination with downstream activated carbon or ion exchange, it is possible to reliably achieve low effluent values for such a treatment plant. This has been demonstrated by studies at the pilot plant and field trials.

Applications show that when treating contaminated water with the specialised solution, the majority of PFAS is removed as particles. This results in a minimised amount of PFAS-containing residue. Following this pre-treatment, the removal of PFAS remaining in the water is technically simplified, and the significantly reduced concentration of PFAS lowers the consumption of activated carbon and thus the volume of PFAS-containing residues.
Field experience shows that, by using this pre-treatment, it is possible to treat both high PFAS loads and the mixture of contaminants found in fire-fighting systems (PFAS, precursors, etc.) in such a way that low effluent values are achieved at a treatment plant.

Keywords: PFAS particles, complex chemistry, filtration/precipitation

Contact:Jurgen Buhl buhl@cornelsen.group

Biochar-enhanced Miscanthus phytotechnology forthe restoration of military-conflict-affected soils

Valentyna Pidlisnyuk[1], Vitalii Stadnik[2](speaker), Tatyana Stefanovska[3], Andrzej Skwiercz[4], Andriy Herts[5], Oleksandr Kononchuk[5], Martyn Sozansky[2], and Pavlo Shapoval[2]

[1]Department of Environmental Chemistrty&Technology, Jan Evangelista Purkyne University, the Czech Republic; [2]Department of Physical and General Chemistry, National University "Lvivska Polytechnika", Ukraine; [3]Department of Entomology, Integrated Pest Management and Plant Quarantine, National University of Life and the Environment, Ukraine; [4]Department of Microbiology and Rhizosphere, The National Institute of Horticultural Research,Poland;
[5]Department of Biology and Chemistry, Ternopil Volodymyr Hnatyuk National Pedagogical University, Ukraine

Abstract

Military conflicts cause extensive environmental, health, and economic damage worldwide. In Europe, Ukraine has faced Russian military aggression since 2014, escalating into full-scale war in 2022, resulting in widespread land degradation; approximately 40% of the territory is contaminated with landmines and unexploded ordnance. Landscape destruction, wildfires, deforestation, and pollution underscore the urgent need for ecological restoration of conflictaffected lands to support post-war recovery. The NATO SPS MYP G6094 "Mitigation of Climate Change through Advanced Miscanthus Phytotechnology Applied to Military Lands," addresses the rehabilitation of degraded, military-polluted soils while contributing to climate change mitigation. This study evaluates the potential of the perennial bioenergy crop *Miscanthus × giganteus* (*Mxg*) cultivated on contaminated or low-fertility military soils. The crop provides multiple ecosystem services, including carbon sequestration, restoration of soil biological activity, and production of hemicellulose-rich biomass for renewable energy and value-added bioproducts. The integration of *Mxg* cultivation with waste-derived organic amendments,i.e. biochar and ash from various feedstocks,

offers a scalable, closed-loop remediation strategy. The Phytotechnology has been tested at the post-military polygon in Dolyna, Ukraine where the plantation was established in 2017. The land was treated by two amendments: mineral fertilizes, humus and their mixtures. The site showed the good growth at the plantations amended by the mixtures of soil amendments up to 35 t/ha. The changing of the Carbon content in the soils have been monitored since 2024 and illustrated the increasing of the Carbon pool. Since 2023–2024, *Mxg* phytotechnology supported by biochar has been tested in Vorzel, Kyiv region, Ukraine, on low-fertility sandy soils affected in by military activity in 2022. Biochar derived from waste wood (5% and 10%, 2023 plantation) and *Mxg* residues (5% and 10%, 2024 plantation) improved plant health and moderately increased biomass yields. Soil microbial analyses and nematode-based ecological indices indicated recovery of soil ecosystem functioning, reflected by positive structural and biological shifts in soil biota. Overall, the results demonstrate that integrating Miscanthus-based phytotechnology with biologically active, waste-derived amendments represents a viable approach for restoring the long-term ecological resilience of military-conflictaffected lands while simultaneously supporting sustainable biomass production and climate change mitigation.

This research is supported by NATO SPS MYP G6094.

Keywords: biochar; soil biota indicators; post-military land remediation; carbon sequestration

Contacts: valentyna.pidlisnyuk@ujep.cz; vitalii.y.stadnik@lpnu.ua (+38 0977680284), tstefanovska@nubip.edu.ua; andrzej.skwiercz@inhort.pl; herts@chem-bio.com.ua; kononchuk@chem-bio.com.ua; martyn.a.sozanskyi@lpnu.ua; Pavlo.Y.Shapoval@lpnu.ua

Legislating for the Future: The Pan-African Model Law for Sustainable Soil Management

Oliver C. Ruppel

Professor of Public and International Law, Faculty of Law and Director of the Development and Rule of Law Programme at Stellenbosch University, South Africa; Director of the Research Centre for Climate Law, University of Graz, Austria.

Abstract

Environmental law must evolve in response to the planetary crisis by centring soil as the material foundation of ecological integrity, food security, and human rights. It situates the analysis within the International Court of Justice's 2025 Advisory Opinion on climate change, which marks a decisive shift by rejecting a narrow, sectoral understanding of environmental law in favour of a systemic approach integrating climate change, biodiversity, and human rights. Building on this emerging shift, environmental law remains incomplete without explicit recognition of soil as a critical ecological system. Using African soil governance as a case study, colonial legal legacies have entrenched extractive land-use models, fragmented governance, and unequal tenure structures that persist in contemporary legal and policy frameworks. Despite formal political independence, Africa has not yet fully decolonised its soil governance, while current climate and development regimes risk reproduce these dynamics. Finally, the paper advances a framework for legislating for the future. It argues for the adoption of soil-specific legal regimes, including the transposition of the Pan-African Parliament's Model Law on Soil Management, as well as the development of legal protections for soil data and digitally enabled governance systems. By integrating soil, climate obligations, and digital regulation, the paper contributes to a more grounded, decolonised, and forward-looking approach to environmental law, aligned with emerging North–South dialogues on the future of law.

Keywords: Soil, law, governance

Contacts: ruppel@sun.ac.za (+27 71 1338044)

Estimating mass extraction and remediation time for pump-and-treat schemes with capture zone analyses

Martí Bayer-Raich[1*], Simin Akbariyeh[1], Jon Whitley[1], Eric M. Hicks[1], Kristine Weber[1] ,Siram Madabhushi[1], Mackenzie Hirt[1] and Matthew J. Zenker[1]

[1] AECOM

Abstract

Reliable estimation of groundwater remediation time remains a central challenge in the design and optimization of hydraulic pump-and-treat systems, particularly in heterogeneous aquifers where spatially variable sorption leads to formation-dependent contaminant retardation. Although capture-zone-based diagnostic tools provide efficient means for quantifying hydraulic containment and mass capture, existing formulations assume uniform retardation. These assumptions can significantly underestimate operational time requirements in settings with strong lithologic contrasts.

We present the code OptiRem, developed in AECOM, a practical tool for defining optimal pump-and-treat configurations (number of wells, well locations and pumping/injection rates) based on estimates of contaminant mass extracted, remediation time and remediation costs. The method requires a steady-state MODFLOW model and initial concentration distributions for any number of contaminant species with (potentially different) heterogeneous linear/instantaneous sorption parameters without the need of running transport simulations.

The code can be used interactively to find a well configuration that fulfills the requirements in terms of maximum mass extracted and/or minimum remediation time (or costs). The presentation will be based on practical examples to illustrate different situations. Preliminary results indicate, for example, that using wells located near the source zone allows reduce remediation times (if it is not mandatory to capture the entire plume) but wells located further downstream can ensure more mass extracted (requiring larger remediation times). Optimization of remediation costs needs site specific information on operational costs (e.g. cost of treatment of contaminated water in terms of total volume or treated flow rates) and costs of drilling new

remediation wells. Strategies for reinjection of treated water will be analyzed as well. We plan to present the method based on practical cases, using synthetic examples with different versions of MODFLOW (2005 /USG) to show the flexibility of the numerical tools developed and how results can be compared and verified with analytical solutions and particle tracking methods.

Contatti: marti.bayer@aecom.com

Thermal desorption of VHOC Contaminated Soil and Vapor Management at Lucciana, France

***Tom Renson*[1], *Lucie Devaux*[2], *Aline Jordens*[3], *Hatem Saadaoui* [4], *Jan Haemers*[5]**

[1 2 3 4 5] Haemers Technologies

Abstract

As electricity consumption in Corsica experienced significant growth, the EDF group embarked on the renewal of its thermal power plants across the island to address escalating electricity demands. The demolition of the existing Lucciana power plant and the site remediation were pivotal steps in the construction of a modernized facility. Indeed, soil gas analysis have been conducted to assess the land quality and revealed the presence of Volatile Halogenated Organic Compounds (VHOC) contamination up to a depth of 11 meters at the aquifer's roof. The contamination necessitated treatment before proceeding with new construction.

In response to the VHOC pollution challenge, EDF's Lucciana power plant issued a call for tenders in 2020/2021 to remediate the soil at the upcoming facility. In 2022, Haemers Technologies, in collaboration with Englobe, implemented an In Situ Thermal Desorption (ISTD) strategy to remediate the two affected areas to a depth of 13 meters. Two distinct batches of treatment have been carried out.

The first batch, covering an area of 250 square meters, underwent treatment employing 33 Smart Burners™. For the second batch, spanning 400 square meters and with a contaminated zone between 5 and 13 meters, 51 remote flame Smart Burners™ were used to concentrate energy precisely on the impacted area.

In addition to the heating system, a Vapor Treatment Unit (VTU) was integrated into the setup. This VTU included a heat exchanger, condensate tank, three pumps, a knock-out, an extractor, and two activated carbon tanks. To ensure optimal treatment conditions, a water table lowering system was installed, ensuring that the water level remained below the heating zone. The thermal desorption project was executed concurrently with a venting and sparging system, demonstrating the compatibility of both technologies.

Throughout the treatment process, rigorous monitoring encompassed gas emissions and consumption, ground temperature, and pressure to maintain precise control over the installation.
The project culminated in the successful treatment of 6,500 cubic meters of contaminated soil. For batch 1, the average concentration in soil gases was 142,000 µg/m³ of VHOC, while batch 2 exhibited 708,520 µg/m³ of VHOC. Each batch underwent a 70-day treatment regimen, with a 5-day period at the target temperature of 85°C, effectively reducing gas soil concentration below 15,000 µg/m³. The project achieved its overarching objectives, with the cold point temperature reaching the desired 85°C and all remediation targets being met.

Keywords: VHOC, ISTD, Vapor Treatment, Soil heating

Contacts: *tom.renson@haemers-tech.com*, *Lucie.devaux@haemers-tech.com* *aline.jordens@haemers-tech.com* *Hatem.saadaoui@haemers-tech.com* *Jan.haemers@haemers-tech.com*

Restoring PFAS-contaminated soils to their pristine state : thermal treatment of source zones and pathways to full-scale remediation with Krysalis®

Aurélien Vandekerckhove [1], Ysaline Depasse[2], Hatem Saadaoui[3], Jan Haemers [4]

[1 2 3 4] : Haemers Technologies

Abstract

Across Europe, the PFAS debate is clearly shifting toward contaminated soils, where these substances have accumulated for decades and continue to act as long-term sources of pollution. This change in perspective is now reflected in policy, through the proposed group-wide PFAS restriction under REACH and the adoption of the EU Soil Monitoring Law (Directive (EU) 2025/2360), which places soil quality and contaminated land at the center of future environmental strategies. Scientific literature increasingly recognizes soils as the main long-term reservoir of PFAS, storing a large share of the total environmental mass and driving ongoing diffuse contamination.

From an economic and practical standpoint, this shift toward soils is unavoidable. Treating PFAS once they have migrated into groundwater or surface water leads to extremely large volumes and prohibitive costs. As an illustration, one cubic meter of soil contaminated at 50 mg/kg total PFAS represents roughly 90 g of PFAS mass. At a regulatory threshold of 100 ng/L in water (current Belgian standard), this amount corresponds to approximately 900,000 m^3 of water requiring treatment. This simple order of magnitude demonstrates that managing PFAS primarily through downstream water treatment is neither realistic nor sustainable, as it means chasing massive volumes while the source remains active.

As a result, remediation strategies are increasingly shifting toward highly contaminated source zones, where intervention can effectively limit PFAS diffusion at its origin. These zones include PFAS manufacturing sites, downstream industrial users, and locations with intensive historical use of firefighting foams, such as airports, fire training areas, and military or defense facilities. Acting on these sites

provides the greatest environmental benefit for a manageable treatment volume.

One of the key challenges is that very few technologies have demonstrated true PFAS destruction and mineralization at field scale. Many current soil management practices rely on containment, stabilization, or conventional incineration operating at 900–1,100 °C, which often results in partial degradation, pollutant transfer, or longterm storage rather than permanent elimination. In practice, complete mineralization of PFAS requires very high temperatures, typically above 1,400 °C, to reliably break carbon–fluorine bonds and avoid simply moving PFAS from one place to another.

Haemers Technologies has developed one of the first operational thermal solutions to demonstrate effective PFAS destruction and mineralization from contaminated soils, while preserving the soil itself. The technology combines Thermal Conductive Heating (TCH), in which soils are heated to moderate temperatures (typically 350–450 °C) to desorb PFAS without damaging the soil matrix, with direct onsite destruction of the extracted vapors at temperature exceeding 1.400°C. These vapors are captured and reinjected into the heating system, which is specifically designed to achieve complete mineralization. In this configuration, the soil is treated as a material to be restored, not destroyed.

This approach was validated during a full-scale demonstration project in Korsør, Denmark, where approximately 60 tons of highly PFAScontaminated, clay-rich soils were treated. Results showed strong reductions of PFAS concentrations in soils, a significant decrease in leachability, and no detectable PFAS in emissions, confirming effective elimination rather than containment or phase transfer.

Building on these results, a next-generation pilot system focused on energy optimization is under development, alongside a full-scale modular plate-based concept designed to treat much larger soil volumes. Together, these developments support a shift toward complete restoration of PFAS-contaminated source sites, offering a credible and economically viable alternative to chasing PFAS once they have already spread into the environment.

Keywords: PFAS, thermal treatment, mineralization, soil restoration, high-temperature destruction

Contacts : jan.haemers@haemers-tech.com,
Aurelien.Vandekerckhove@haemers-tech.com,
Ysaline.Depasse@haemers-tech.com,
Hatem.saadaoui@haemers-tech.com

Effects of solvent, pH and dissolved organic carbon on the photodegradation of pyrethroid insecticides and their fluorescent photoproducts in aqueous media

***Diène Diégane Thiaré*[1], *Astou Ndiaye*[1], *Anta Sarr*[1], *Abdou Khadre Cissé*[1], *Kéba Ndiongue*[1], *Philippe Giamarchi* [2], *Atanasse Coly* [1]**

[1] *Laboratoire de Photochimie et d'Analyse, Université Cheikh Anta Diop, 5005, Dakar, Sénégal,* [2] *Laboratoire d'Optique et de Magnétisme (OPTIMAG), Université de Bretagne Occidentale (UBO), 6 Av. Victor Le Gorgeu, 29285, Brest Cedex, France*

Abstract

Pyrethroids are used in agriculture and public health initiatives to manage insect and mosquito populations. In this study, we analyzed the impact of solvent polarity, pH, and dissolved organic carbon (DOC) in water samples on the photodegradation of the pyrethroids phenothrin (PHE) and permethrin (PER), as well as their fluorescent photoproducts P and R. Fluorescence spectroscopy was used to study the photodegradation of insecticides and their fluorescent photoproducts. Varian Cary Eclipse fluorescence Spectrophotometer was used to perform spectral measurements at room temperature. A photochemical reactor equipped with a 200 W OSRAM HBO mercury lamp (254 nm) and an Oriel power supply was used to irradiate the pesticide solutions. To analyze the effect of sunlight on the persistence of insecticides in aquatic environments, a 254-nm mercury lamp was used to irradiate the samples. The half-life ($t_1/_2$) of these two pesticides ranges from 0.39 to 0.52 min in methanol and from 0.54 to 1.38 min in water (pH 7). However, the $t_1/_2$ values of P and R range from 1.65 to 17 min in methanol and from 7.07 to 77 min in water (pH 7). The photodegradation of PHE, P and R varies with pH. According to the obtained results, the $t_1/_2$ of PHE is 0.37 min at pH 10 and 21 min at pH 4, while the $t_1/_2$ of P varies from 58 to 231 min, with the higher value occurring at pH 4 (231 min). The same behavior was observed for R, with a $t_1/_2$ of 6.54 min at pH 10 and 21 min at pH 4. In contrast, pH has no significant effect on the $t_1/_2$ of PER. In water samples, the

$t_1/_2$ of pesticides and photoproducts varies significantly with dissolved organic carbon (DOC), which decreases with soil depth (*h*). DOC is highest in runoff water (*h* = 0), then in well water at a depth (*h* = 2 m), and finally in well water at a depth (*h* = 5 m). During the transition from runoff water to well water (*h* = 5 m), the $t_1/_2$ decreases. For PHE, this changes from 87 to 50.23 min; for PER, from 102 to 61.34 min; for P, from 462 to 239 min; and for R, from 630.13 to 385.08 min. This study demonstrates that the $t_1/_2$ of pyrethroid insecticides increases sharply with increasing solvent polarity, medium acidity and quantity of dissolved organic carbon (DOC). The study provides detailed information on the persistence and photodegradation of pyrethroid insecticides and their photoproducts in various environmental media. Particular attention was paid to surface and groundwater. The results showed that pyrethroids and their photolysis products are more resistant to light in acidic aqueous environments and in surface waters with a high organic matter content. This study is a valuable addition to our knowledge of the fate of pyrethroid insecticides and their photolysis products in surface and groundwater. The results should raise awareness among farmers in the Niayes region of the dangers posed by photoproducts generated by the photochemical reactions of pyrethroid insecticides.

Keywords: Pyrethroid insecticides; photodegradation; Persistence; Dissolved organic carbon; surface and groundwater.

Contacts: thiaredienediegane@yahoo.fr, maguidadou@yahoo.fr, sarranta45@yahoo.fr, abdoukhadrecisse97@gmail.com, dionguekeba00@gmail.com, philippe.giamarchi@univ.brest.fr, atanasse.coly@ucad.edu.sn.

Comparative Evaluation of Nanofiltration and Electromagnetic Desalination Technologies for Irrigation Water Management and Potato Productivity in Semi-Arid Tunisia

Khaskhoussy Khawla[1], Hachicha Mohamed[1]

[1]University of Carthage. National research Institute of Rural Engineering. Tunisia

Abstract

Water salinity is a major constraint to agricultural production in semi-arid regions. This study compared the agronomic and economic performance of nanofiltration (NF) and electromagnetic (EM) water treatment technologies for potato cultivation under saline irrigation conditions in Tunisia. Three irrigation treatments were evaluated: untreated saline water, EM-treated water, and NF-desalinated water. NF significantly improved water quality, reduced soil salinity, and increased potato yield, but at a higher production cost. EM treatment showed intermediate agronomic performance with better economic feasibility. The results highlight the trade-off between desalination efficiency and economic viability for sustainable irrigation management in saline environments.Keywords: nanofiltration, electromagnetic treatment, salinity, irrigation, potato, technoeconomic analysis.

Water scarcity and salinity are major challenges affecting agricultural sustainability in semi-arid regions of Tunisia. The increasing use of saline groundwater for irrigation accelerates soil salinization, reduces crop productivity, and threatens long-term agricultural viability [1]. Conventional desalination technologies such as nanofiltration (NF) can improve water quality but often require substantial energy and investment costs [2]. Electromagnetic water treatment (EM) has emerged as an alternative technology that modifies water properties without membrane separation and may offer a more economical solution [3].

This study compares the technical performance and economic feasibility of NF and EM technologies for potato cultivation under saline irrigation conditions in southern Tunisia.

Keywords: nanofiltration, electromagnetic treatment, salinity, irrigation, potato, techno-economic assessment.
This study demonstrated that both nanofiltration (NF) and electromagnetic treatment (EM) can improve the utilization of saline water for potato cultivation, although through different mechanisms. NF was highly effective in reducing irrigation water salinity, resulting in lower soil EC values and the highest potato yield (+41% compared with saline water irrigation). However, its high investment and operational costs may limit its adoption in resource-constrained agricultural systems. In contrast, EM produced only minor changes in water salinity but improved tuber marketability and achieved a favorable balance between agronomic performance and economic cost. While NF appears to be the most effective option for maximizing productivity under saline conditions, EM represents a more affordable alternative for enhancing crop quality and farm profitability. These findings highlight the importance of integrating both technical efficiency and economic feasibility when selecting water treatment technologies for sustainable irrigation in semi-arid regions.

Contatti: khawla.khaskhoussy@yahoo.fr , inrgref@iresa.tn

Senegalia senegal (L.) Britton. response to microbial and manure amendments for rehabilitation of waste rock dumps in the mining site of Essakane in Burkina Faso

***Godar SENE*[2*]; Hendi H. YONLI[1,4]; Kadidia B. SANON[1]; Damase P. KHASA[3]**

[1]INERA/DEF, Burkina Faso; [2]Département de Biologie Végétale, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal; [3]Université Laval, Québec-Canada [4] IAMGOLD Essakane SA, Burkina Faso

Abstract

Senegalia senegal (L.) Britton. is a multipurpose and widespread SubSaharan legume that can colonize disturbed mining sites due to its ability to adapt to drylands. A multi-year randomized complete block design with a factorial model was conducted using this species in a nursery and on waste rock dumps at the Essakane gold mine in northeastern Burkina Faso. Two arbuscular mycorrhizal (AM) fungi (the native isolate *Rhizophagus aggregatus* (formerly *Glomus aggregatum*) isolate DAOM2277128 and the commercial isolate *Rhizophagus irregularis* isolate DAOM197198) and one *Mesorhizobium plurifarium* strain (ORS3588) were inoculated into *S. senegal* seedlings. The seedlings were planted in black polyethythene bags (8 x 13 cm with 200-ml capacity) filled with three types of substrate: sandy soil (substrate A), sandy soil mixed with 25% animal manure (substrate B), and sandy soil mixed with 50% animal manure (substrate C). The seedlings were then outplanted on waste rock dumps to determine whether the microbial inoculation improves the growth and survival rates. Under nursery conditions, the data showed that the manure-enriched substrates harbored less nodulation and root AM colonization, but significantly increased the plant height and dry mass compared to the unamended substrate. However, inoculation under manure-enriched substrates did not consistently increase root AM colonization or plant growth parameters between treatments. Overall, plants inoculated with *R. aggregatus* alone or concurrently with *R. irregularis* and/or *M. plurifarium* ORS3588 showed the greatest increase in these variables. Under unamended substrates, however, inoculation with *R. aggregatus* and its combination with *M. plurifarium* and/or *R. irregularis* significantly enhanced the root colonization rates without significantly affecting

plant growth parameters. Inoculation with *R. irregularis* or with *M. plurifarium* alone did not show any increase in these parameters, even though the nodulation improved significantly with the latter treatment. In field conditions, plant growth and survival were reduced with high rates of manure amendments, possibly due to the lower AM colonization and root nodulation observed with these treatments in the nursery. Plants with better colonization from the unamended and moderately amended substrates showed better survival after outplanting. Our results support the general conclusion that microbial inoculation and manure-enriched substrates could be an option for rehabilitating mining sites using *S. senegal*. However, the data suggest that the addition of manure amendments should be approached with caution, as high rates may induce further stress in plant symbioses and negatively impact their performance in waste rock dumps.

Keywords: arbuscular mycorrhizal fungi, legume nodulating rhizobia, manure amendment, *Senegalia senegal*, waste rock mining, restoration

Contacts: Corresponding author name and e-mail address:

Godar Sene, godar.sene@ucad.edu.sn, ORCID ID: 0000-0001-8434-019X.

High-Energy Electron Beam Irradiation for PFAS Destruction in Concentrated Liquid Streams

A. Vargas Rivadeneira[1], R. Labarbe[1], J. Brison[1], S. Lucas[1], N. Ludwig[2], F. Kuntz[2], A. Smeets[1]

[1] Ion Beam Application (IBA), Belgium.
[2]Aérial, Technological Resources Center and Agro-Industrial Technical Institute, Illkirch Cedex

Abstract

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are a major environmental challenge due to their persistence, chemical stability, and bioaccumulative nature. Current remediation strategies focus on concentrating and removing PFAS from contaminated water using technologies such as granular activated carbon (GAC), ion exchange resins (IX), foam fractionation (FF), and reverse osmosis (RO). Although effective in reducing aqueous concentrations, these approaches generate highly concentrated secondary waste streams and spent media that still require final destruction. High-temperature incineration is currently one of the main disposal routes; however, increasing regulatory pressure, sustainability concerns, and operational limitations are driving the search for complementary and alternative solutions.

This study investigates high-energy electron beam (E-beam) irradiation as a treatment method for highly concentrated PFAS streams. The process is based on water radiolysis, generating reactive species such as solvated electrons (eaq−), hydroxyl radicals (•OH), and hydrogen atoms (•H), which can cleave carbon– fluorine bonds and initiate degradation pathways toward mineralization of both long- and short-chain PFAS compounds.

Experimental trials were conducted on diverse matrices including laboratory-spiked water, industrial wastewaters, foam fractionation concentrates, aqueous film-forming foams (AFFF), and reverse osmosis brines. Long-chain PFAS such as PFOA and PFOS exhibited degradation efficiencies exceeding 99.9% at optimized doses around 300 kGy under controlled pH and atmospheric conditions. This

represents a significant improvement compared to previous benchmarks above 1 MGy, enhancing process feasibility, energy efficiency, and potential scalability for industrial deployment.

Consistent results were obtained for highly concentrated matrices, where destruction efficiencies of approximately 99% were achieved. However, the presence of co-contaminants and organic matter acting as electron scavengers increased the required irradiation dose by competing with PFAS for reactive species. Consequently, ongoing work is focused on developing pre-treatment strategies to reduce matrix interferences and further optimize overall performance.

Additionally, the influence of operational parameters such as dissolved oxygen levels, radical scavenger concentration, and solution chemistry was systematically evaluated to better understand the mechanisms governing PFAS degradation. These insights contribute to defining optimal operating windows and improving process robustness under variable industrial conditions. Overall, the results demonstrate the strong potential of E-beam irradiation as a competitive alternative to conventional destruction technologies, particularly for challenging high-strength PFAS waste streams where conventional approaches face technical or economic limitations.

What Monitoring Data Really Tell Us: Lessons Learned from ISCO, ERD and ISCR Field Applications

Lionel Counet[2.1], Jeroen Vandenbruwane[1], Steven De Clerk[1]

[1] Injectis NV, Toekomststraat 15, B-9890 Dikkelvenne, Belgium
[2]Injectis NV, Carrer de agricultura, 47, 08320 EL Masnou, Barcelona, Spain

Abstract

Remediation projects are often evaluated based on the evolution of contaminant concentrations. However, field experience consistently shows that concentration trends alone rarely tell the full story. Behind every dataset lies a complex interplay of chemical reactions, biological processes, and site-specific constraints that ultimately control treatment performance.

This presentation is based on four remediation projects targeting chlorinated solvents, combining in situ chemical oxidation (ISCO), enhanced reductive dechlorination (ERD), and in situ chemical reduction (ISCR) using zero-valent iron (ZVI). Rather than focusing solely on results, the objective is to explore what monitoring data truly reveal about subsurface processes—and how these insights can improve remediation strategies.

Across these projects, monitoring data highlight recurring patterns. In reductive treatments, decreases in parent compounds such as TCE are frequently accompanied by the temporary accumulation of intermediate products, reflecting active but incomplete degradation pathways. The gradual appearance of ethene confirms that complete dechlorination can be achieved, although often later than expected. At the same time, the data reveal limiting factors that are not always visible at the design stage, such as the persistence of competing electron acceptors like sulfate, which can significantly influence treatment efficiency.

In ISCR applications using zero-valent iron, the monitoring results illustrate the coexistence of abiotic and biotic processes, creating conditions that both directly reduce contaminants and stimulate

biological activity. This dual behavior adds complexity to data interpretation but also opens opportunities for more robust treatment strategies.

ISCO projects, on the other hand, demonstrate the ability to achieve rapid concentration reductions, particularly in well-contacted zones. However, monitoring data also reveal the limitations of oxidation-based approaches, especially in heterogeneous formations where distribution and oxidant demand strongly control performance. Changes in pH, redox conditions, and by-products provide valuable clues to understand these dynamics.

A key lesson emerging from these case studies is that the presence of injected reagents does not necessarily translate into effective treatment. Distinguishing between what is injected, what is accessible, and what is actually reactive in the subsurface is essential. Monitoring parameters such as DOC, VFA, redox indicators, and degradation products provide a much more reliable picture of ongoing processes than concentrations alone.

Ultimately, these projects highlight that successful remediation relies not only on selecting the appropriate technology, but also on the ability to interpret field data and adapt strategies accordingly. Monitoring is not just a validation tool—it is a decision-making tool that helps bridge the gap between design assumptions and field reality.

Towards Sustainable Injectable Reactive Barriers: Colloidal Biochar Stabilization, Transport and Reactive Performance

***Naima Blal*[1], *Damiano Feriaud*[1], *Sara Cerra*[1], *Ilaria Fratoddi*[1], *Marco Petrangeli Papini*[1]**

[1] *Sapienza University of Rome*

Abstract

Groundwater contamination by chlorinated solvents remains a major environmental challenge due to the persistence and mobility of these compounds in heterogeneous aquifers. Conventional remediation technologies, such as pump-and-treat systems, are often ineffective in treating contaminants trapped within low-permeability zones and may require long operational times. Injectable Permeable Reactive Barriers (IPRBs) have emerged as a promising alternative, allowing the direct emplacement of reactive materials into the subsurface while minimizing excavation activities. Although colloidal activated carbon is commonly used in IPRB applications, the development of sustainable alternative adsorbents is still needed.

This study investigated the feasibility of using colloidal biochar as a reactive medium for IPRB applications. The objective was to develop biochar–biopolymer (BC–BP) composites combining effective adsorption properties with adequate colloidal stability and transportability in porous media.

A pine wood biochar produced by gasification at 950 °C was selected and characterized. The material exhibited a specific surface area of 523 ± 5 $m^2\ g^{-1}$, high hydrophobicity, and strong affinity toward nonpolar compounds. To improve suspension stability, different biopolymers, including potato starch, chitosan, alginate, and carboxymethyl cellulose (CMC), were evaluated through static sedimentation tests. Among the tested formulations, CMC provided the best compromise between enhanced colloidal stability and low viscosity, making it the most suitable candidate for injection. Stable suspensions were obtained at biochar concentrations between 1 and 3 $g\ L^{-1}$, whereas higher concentrations promoted stratification and sedimentation.

Transport performance was assessed through column experiments. Initial tests revealed inlet clogging and filter-cake formation caused by particle aggregation. To overcome these limitations, a pre-filtration step was introduced, significantly improving injectability and material transport. Following the flushing phase, approximately 320 mg of biochar remained retained within the column, demonstrating effective distribution and persistence in porous media.
Biochar migration under more realistic conditions was further investigated through box-model experiments coupled with image analysis and transport modeling. The developed model successfully described particle transport by considering advection, diffusion, and gravity-driven settling.
Finally, the potential integration of adsorption and biodegradation processes was preliminarily explored. Fermentation of the stabilizing biopolymer resulted in the production of volatile fatty acids, indicating the potential availability of electron donors for reductive dechlorinating microorganisms. These findings suggest that BC–BP composites could support the development of self-sustaining remediation systems combining contaminant adsorption with biological degradation.
Overall, the results demonstrate the potential of colloidal biochar as a sustainable reactive material for IPRB applications and highlight the importance of formulation optimization to achieve effective subsurface transport and long-term remediation performance.

Keywords: IPRB, Biochar, Dechlorination, Chlorinated Solvents.

Contacts: naima.blal@uniroma1.it, damiano.feriaud@uniroma1.it, sara.cerra@uniroma1.it, ilaria.fratoddi@uniroma1.it, marco.petrangelipapini@uniroma1.it.

Baseline Reports under the EU Industrial Emissions Directive: Best practices, key challenges and lessons learned

Iraklis Panagiotakis[1], Eleni Strompoula[1], Maria-Nefeli Georgaki[1], Dimitris Dermatas[2]

[1]ENYDRON – Environmental Protection Services, Athens, Greece (speaker), [2] National Technical University of Athens, Greece

Abstract

Under the Industrial Emissions Directive (IED), installations that use, produce or release Relevant Hazardous Substances (RHS), namely substances with the potential to contaminate soil and groundwater, are required to prepare a Baseline Report describing the state of soil and groundwater contamination. Although the European Commission issued guidance in 2014 to promote a common approach across Member States, practical implementation has shown that several aspects of Baseline Report preparation and assessment remain challenging, especially where national contaminated land management frameworks are incomplete or not fully integrated with environmental permitting.

The importance of Baseline Reports is further strengthened by the new EU Soil Monitoring Law, which establishes a common framework for soil monitoring, soil resilience and the management of contaminated sites. In this context, IED Baseline Reports should not be treated merely as permitting documents, but as tools linking environmental permitting, contaminated land management, compliance monitoring and future site closure obligations.

This study investigates good practices, key challenges and lessons learned from the preparation and assessment of IED Baseline Reports in selected EU countries, with emphasis on how these practices can be translated into an assessment logic relevant for Greece. The methodology includes a comparative review of practices applied in Germany, Austria, Italy, Spain, France, Denmark, Luxembourg and

Belgium, in relation to the eight-stage process proposed by the European Commission guidance, with applied work in the Greek context. The review shows substantial variation among Member States: some rely on case-by-case approaches, while others use more structured frameworks supported by measurable criteria, checklists, decision tools or threshold-based screening.

The Greek component includes the development of a National Guide for Baseline Report preparation, the technical review of selected Baseline Reports submitted to the competent environmental authorities, and specialized seminars and capacity-building activities for authorities and stakeholders. These activities focus on critical elements such as RHS identification, Conceptual Site Model development, soil and groundwater investigation, and emerging contaminants management, such as PFAS.

This study contributes to the systematic documentation of good practices in Baseline Report preparation across EU Member States. By linking comparative review with practical assessment and capacitybuilding activities in Greece, it supports the development of a more harmonized and technically robust approach not only to Baseline Report preparation under the IED framework, but also to the identification, documentation, and management of potentially contaminated industrial sites under the new EU Soil Monitoring Law.

Keywords: *Industrial Emissions Directive; Relevant Hazardous Substances; Baseline Report; contaminated sites; soil and groundwater; EU Soil Monitoring Law*

Contacts: *panagiotakis@enydron.com; strompoula@enydron.com; georgaki@enydron.com; dermatas@gmail.com.*

Beyond the Laboratory: Can AI Help Environmental Professionals See Data Like an Experienced Chemist?

Kelly Horiuchi[1]

[1] *AmSpec Group, Camarillo, CA, USA (speaker)*

Abstract

Background/Objectives. Site investigations generate significant amounts of analytical data from soil gas, indoor and outdoor air, groundwater, and soil results. Most project teams rely on laboratory reports, data validation summaries, and screening levels to support decisions. However, experienced analytical chemists often recognize important patterns and anomalies that are not immediately obvious to end users for example professional geologists, engineers, regulators, or risk assessors reviewing the final report. Examples include elevated reporting limits caused by sample dilution, chromatographic patterns suggesting weathered petroleum or chlorinated solvent sources, and trends in tentatively identified compounds (TICs) and matrix interferences that may influence project conclusions. The objective of this presentation is to demonstrate how AI can identify and communicate these laboratory insights in a consistent, transparent, and defensible manner.

Approach/Activities. A "Chemist Sandbox" review process was developed to evaluate laboratory datasets using a combination of analytical chemistry rules, historical laboratory knowledge, and AIassisted interpretation. Rather than replacing professional judgment, the system functions as a secondary, intuitive review layer that examines laboratory results for patterns and observations typically identified by senior chemists. Examples include identification of elevated reporting limits relative to screening levels, unusual dilution factors, TIC patterns, changing contaminant fingerprints, source signature indicators, data gaps, and historical trends. The system also generates questions that an experienced chemist might ask when reviewing the dataset across all analyses, prior to site characterization or remediation decisions.

Results/Lessons Learned. Several case studies will be presented where AI demonstrated strong capabilities in organizing large

datasets, identifying trends, locating anomalies, and summarizing complex laboratory information. The greatest value was not in generating conclusions but in making laboratory knowledge more accessible to environmental professionals who may not have extensive analytical chemistry backgrounds. Human review remained essential for interpretation, context, and decision-making. This presentation discusses how AI-assisted laboratory intelligence may help bridge the gap between raw analytical results and actionable environmental insights, while maintaining transparency, documentation, and professional accountability.

Keywords: AI-assisted data interpretation, analytical chemistry, environmental site investigation, laboratory data quality, digital innovation

Contacts: kelly.horiuchi@amspecgroup.com

Rethinking Tracer Gas Testing: Is Helium Still the Best Option for Vapor Intrusion Investigations?

***Kelly Horiuchi*[1], *Rafael Sousa*[2]**

[1] AmSpec Group, Camarillo, CA, USA (speaker), [2] Vapor Solutions, Sao Paulo, Brazil

Abstract

Background/Objectives. Tracer gas testing is widely used to evaluate the integrity of sub-slab and soil gas sampling systems and to identify leaks that may compromise vapor intrusion data quality. Helium has traditionally been the preferred tracer gas because of its sensitivity and ease of detection. However, increasing costs, periodic supply constraints, and competing demand from medical, semiconductor, and industrial sectors have prompted renewed interest in alternative approaches. This presentation evaluates the use of carbon dioxide (CO_2) as an alternative tracer gas for leak testing during vapor intrusion investigations.

Approach/Activities. Field testing was conducted using a dual-sensor CO_2 monitoring system designed to evaluate the integrity of sub-slab and soil gas sampling points, sample trains, and field connections prior to sample collection. The approach continuously monitored tracer gas concentrations within a test shroud and at the sampling point to identify leakage pathways and assess sampling integrity. Field deployment considerations including naturally occurring background CO_2, equipment configuration, sensitivity, practicality, and implementation costs were evaluated and compared with traditional tracer gas approaches.

Results/Lessons Learned. Results demonstrated that CO_2 tracer testing provided a practical and effective method for identifying leakage pathways that may affect vapor intrusion sample quality. The approach reduced tracer gas consumption, simplified field logistics, and eliminated dependence on specialty gases that may experience market volatility or supply disruptions. The presentation discusses lessons learned from field implementation and examines the advantages and limitations of alternative tracer gases as the vapor

intrusion industry seeks to maintain data quality while improving efficiency, resiliency, and sustainability of field investigations.

Keywords: vapor intrusion, tracer gas, helium alternatives, carbon dioxide, sub-slab sampling

Contacts:kelly.horiuchi@amspecgroup.com (speaker), rafael.sousa@vaporsolutions.com.br

Using Min-Trap® Samplers to Better Understand PFAS

Dora Taggart[1], Sam Rosolina[1]

[1]Microbial Insights Inc. (Dora Taggart)

Abstract

Background/Objectives. Per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) represent a class of compounds that are detected widely in the environment and exhibit exceptional longevity in the environment, characterized by complex fate and transport and significantly slow or negligible degradation rates. These substances are not only pervasive and resistant to breakdown but have affinity for air-water interfaces and can also sorb onto minerals, organic matter, and microplastics. PFAS have been documented in groundwater at thousands of sites, often distributed in very large plumes. When groundwater levels decline, a substantial proportion of some PFAS may remain within the dewatered soil pores, potentially due to the presence of an air/water interface that induces a capillary effect and creates a smear zone. Ongoing research is enhancing our general understanding of PFAS behavior in the environment; however, the collection of materials for site-specific measurements of key transport parameters remains both costly and logistically challenging. In light of this, the Mineral Trap Sampler (Min-Trap®, U.S. Patent No. 11,002,643) has emerged as a cost-effective in situ monitoring tool designed for the passive collection of direct mineralogical and chemical data. The findings from this study will illustrate the utility of Min-Trap® Samplers in calculating site-specific PFAS sorption coefficients (Kd) and assessing the extent of PFAS smear zones and mass retention at specific monitoring locations.

Approach/Activities. Laboratory experiments, including a dynamic 2-dimentional flow experiment ("tank test") were completed to validate the performance of Min-Traps in a synthetic aquifer environment contaminated with long-chain PFAS (PFOS, PFOA, etc). The tank consisted of clean Ottawa sand and accommodates five 2-inch monitoring wells. The system was controlled to mimic groundwater flow throughout the entirety of the tank, with known PFAS concentrations and geochemical conditions (e.g., pH, ORP, ionic strength). Three Min-Trap® Samplers were deployed in the tank test,

one containing only Ottawa sand as the solid, one containing Ottawa sand mixed with an activated carbon remediation product, and one containing individual pouches holding a variety of site materials (clay, sand, silt, and rock). After allowing the system to reach equilibrium (determined by influent/effluent pH and ORP measurements, among others) the Min-Trap® Samplers were retrieved from the tank and analyzed. At equilibrium, Kd = Concentration in solid/Concentration in water, therefore the concentrations of PFAS were measured in the Min-Trap® solids as well as in water collected from the wells, and a specific Kd was calculated for each contaminant per material type. The measured Kd within each Min-Trap® Sampler was compared to the expected results found in literature, and the impact of adding activated carbon was determined. An additional study was performed in the tank with a Min-Trap® Sampler placed at a known elevation and after 20 days, the water table within the tank was dropped below the sampler. After 10 additional days, this Min-Trap sampler was collected and analyzed for comparative mass retention.

Results/Lessons Learned. This presentation highlights the capabilities of Min-Trap® Samplers in measuring site-specific PFAS sorption coefficients (Kd), an important parameter to incorporate into conceptual and quantitative site models. The study also showed that a range of Kd values can be determined using various materials such as clay, sand, silt, and rock – all within a single Min-Trap® Sampler. This information can be particularly valuable for sites with unknown stratigraphy. Additionally, the unique passive sampling tool has proven effective in evaluating the smear zone of an aquifer, providing a well-specific measure of PFAS mass retention and a way to estimate site-wide capillary effects.

Keywords: (5 keywords): PFAS, MinTraps, sorption coefficients, Kd

Contatti: dtaggart@microbe.com

Identification and implementation of the most suitable available technology for the remediation of chlorinated solvents in groundwater, informed by a comprehensive site characterization and supported by focused monitoring activities

Eduardo Alzola[1], Unai Reyes[1], Amaia Yubero[1], Bárbara Angulo[1]

[1] AFESA Medio Ambiente, S.A.

Abstract

The selection of an effective remediation strategy for groundwater affected by chlorinated solvents requires a detailed understanding of the contaminant distribution, the geological setting and the hydraulic behaviour of the aquifer. In recent years, conventional extractionbased technologies, such as pump & treat and multiphase extraction (MPE), have increasingly been complemented or replaced by in situ alternatives with a lower environmental footprint. Among these approaches, chemical reduction and biological degradation processes have become key tools for the treatment of chlorinated compounds. Chlorinated solvents behave as dense non-aqueous phase liquids (DNAPLs), because their density exceeds that of water. Consequently, they migrate vertically through the subsurface until reaching a lowpermeability layer, where they can accumulate as residual or free product. Their behaviour becomes particularly difficult to predict and control in fractured rock environments, where groundwater flow and contaminant transport are governed by preferential pathways rather than by a homogeneous porous medium. A comprehensive hydrogeological study was therefore undertaken to define the conceptual site model and identify the most appropriate treatment strategy. The investigation included a topographic survey of the existing piezometers, soil sampling and laboratory analysis, together with in situ hydraulic testing. Lefranc, Lugeon and slug tests were performed, complemented by pumping and recovery tests. The resulting dataset allowed the hydraulic properties of the different geological units to be differentiated and confirmed that the fractured

basal limestone was the principal groundwater-flow medium and the main zone of contaminant accumulation.
On the basis of this information, an integrated treatment combining ISCR and EAD was selected. Eighty-three new injection wells were installed to distribute the selected reagents throughout the affected saturated zone. The proposed approach combined chemical and biological mechanisms in order to address the specific behaviour of the target compounds. TCE and DCE may be transformed through both abiotic and biological processes; however, chemical reduction is generally faster and limits the formation of chlorinated intermediates, particularly vinyl chloride (VC). In contrast, VC requires biological degradation. The combined application of ISCR and EAD was therefore designed to reduce TCE and DCE concentrations while controlling the potential generation of VC and promoting its subsequent biodegradation.
Reagent injection produces temporary changes in groundwater chemistry and microbiology. For this reason, the monitoring programme extends beyond the analysis of target chlorinated compounds. In addition to the biannual groundwater sampling, nitrate, sulphate, iron, manganese, organic matter, redox potential and pH are monitored to assess the evolution of the geochemical conditions induced by the treatment. Changes in bacterial populations are also evaluated through laboratory-based NGS 16S metagenomic analysis.
The hydrogeological characterisation was essential for adapting the injection design to the site-specific conditions and ensuring treatment coverage across the contaminated fractured-rock interval. Eighteen months after injection, post-treatment monitoring indicates that the expected chemical and biological processes are developing within the aquifer. The results show a marked reduction in contaminant concentrations, with degradation rates above 95% in some monitoring points and remediation objectives more stringent than those initially established.

Keywords: chlorinated solvents, advanced bioremediation, hydrological study, fractured rock

Contacts: ealzola@afesa.es (+34 608167358), ureyes@afesa.es, ayubero@afesa.es, bangulo@afesa.es.

From Adsorption To In-Situ Regeneration: Biochar-Assisted Bioelectrochemical Treatment Of TCE Contaminated Groundwater

***Geremia Sassetto*[1], *Bruna Matturro*[2], *Marco Petrangeli Papini*[1], *Marco Zeppilli*[1]**

[1]*Department of Chemistry, Sapienza University of Rome, Piazzale Aldo Moro 5, 00185 Rome, Italy*
[2]*Water Research Institute, IRSA-CNR, Via Salaria km 29, 00015 Monterotondo, Rome, Italy*

Abstract
Chlorinated solvents such as trichloroethylene (TCE) remain a major challenge for groundwater remediation because their treatment requires not only removal of the parent compound but also control of toxic dechlorination intermediates such as cis-1,2-dichloroethylene and vinyl chloride. This work investigates an integrated biocharassisted bioelectrochemical approach designed to combine contaminant adsorption, microbial reductive dechlorination and possible in situ regeneration of the adsorbent within the same reactive zone.
Three continuous-flow porous-media columns were operated for 120 days under conditions representative of engineered groundwater treatment. The systems included a biochar-amended open-circuit control, a bioelectrochemical system without biochar, and a combined bioelectrochemical system containing biochar. All columns were fed with TCE-contaminated mineral medium at approximately 100 µM and operated at a hydraulic retention time of about one day. The bioelectrochemical systems were tested under an initial potentiostatic phase at −450 mV vs SHE, followed by galvanostatic operation at −1.3 mA and −5 mA.
During potentiostatic operation, the electrochemical contribution was limited and TCE removal in the biochar-amended systems was mainly governed by adsorption. Switching to galvanostatic control markedly enhanced reductive dechlorination, confirming the key role of controlled electron supply. The combined biochar-bioelectrochemical system showed the best overall performance. At −1.3 mA, it achieved

complete TCE removal and lower cis-DCE concentrations than the bioelectrochemical system without biochar, although vinyl chloride accumulation remained significant. At −5 mA, TCE and cis-DCE were below detection limits, while vinyl chloride concentrations were substantially reduced compared with the bioelectrochemical system without biochar. In contrast, the non-polarized biochar control progressively lost performance because of sorption-bed saturation.
These results indicate that biochar can act not only as a sorbent and microbial support, but also as a functional component of a bioelectrochemical reactive zone. The combined configuration appears promising for sustainable groundwater remediation by coupling contaminant buffering, enhanced dechlorination and progressive regeneration of adsorption capacity. The approach is being developed within a recently filed patent application for the treatment of contaminated waters.

Keywords: Sustainable remediation; Groundwater remediation; Trichloroethylene; Bioelectrochemical systems; Biochar

Contacts: geremia.sassetto@uniroma1.it, bruna.matturro@irsa.cnr.it, marco.petrangelipapini@uniroma1.it, marco.zeppilli@uniroma1.it

Carbonaceous amendments with immobilised bacteria as dual-function systems for organophosphorus pesticide retention in alluvial sediments

***Snežana P. Maletić*[1*], *Srđan D. Rončević*[1], *Dragana I. Tamindžija*[1], *Tamara B. Apostolović, Peng Zhang*[2] *and Marijana M. Kragulj Isakovski*[1]**

[1] *University of Novi Sad Faculty of Sciences, Novi Sad Republic of Serbia,*

[2] *MOE Key Laboratory of Pollution Processes and Environmental Criteria, College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300350, China*

Abstract

This study investigated the combined biosorption and biodegradation of four organophosphorus pesticides (fenthion, fenitrothion, parathion-methyl and malathion) in Danube alluvial sediment amended with biochar and hydrochar derived from Miscanthus × giganteus and sugar beet shreds. Batch experiments were conducted over 50 days using unamended sediment, sediment amended with carbonaceous materials, and sediment amended with materials colonised by an indigenous OPP-degrading bacterium (*Bacillus megaterium* BD5). Biochars produced by slow pyrolysis exhibited substantially higher specific surface areas (20–260 $m^2\ g^{-1}$), lower H/C ratios and more aromatic structures compared to hydrochars produced by hydrothermal carbonisation (3.9–13.1 $m^2\ g^{-1}$), indicating stronger sorption potential. Hydrochars showed higher O/C and H/C ratios, reflecting a more aliphatic structure. In unamended sediment, removal of all investigated OPPs exceeded 90%, indicating effective natural attenuation. Amendment with biochar and hydrochar significantly increased pesticide retention ($p < 0.05$), resulting in higher residual concentrations after 50 days. Sorption followed the order malathion < fenthion < fenitrothion < parathion-methyl, consistent with increasing hydrophobicity. Miscanthus-derived biochar showed the highest sequestration capacity for all compounds. Immobilisation

of B. megaterium BD5 on carbonaceous materials was confirmed by scanning electron microscopy and resulted in a 4–5 log increase in bacterial abundance compared to free-cell inoculation. However, no significant enhancement of OPP biodegradation was observed, indicating reduced bioavailability due to strong sorption. Overall, biochar and hydrochar amendments primarily controlled OPP fate through sorption-driven immobilisation rather than biodegradation, highlighting their suitability for pesticide containment and groundwater protection in sandy alluvial sediments.

Acknowledgement: The authors gratefully acknowledge the financial support of the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (Grants No. 451-03-33/2026-03/ 200125 & 451-03-34/2026-03/ 200125, and Bilateral project for Scientific and Technological Cooperation between the Republic of Serbia and the People's Republic of China (implementation period 2024–2026) and *the European Union GA No. 101059546-TwinSubDyn*

Keywords: Organophosphorus pesticides; Biochar and hydrochar; Biosorption; Sediment remediation

Contacts: emma.bauer@gmail.com (+49 151 49621), cda@me.com , jeroen.dejong@outlook.com (All authors e-mail addresses are needed, phone number of speaker is appreciated).

Combined In Situ Stabilization (ISS) and In Situ Chemical Oxidation (ISCO): Synergies of a Combined Remedy and Lessons Learned

***Brant Smith*[1], *Josephine Molin*[2], *Alberto Leombruni*[3]**

[1] Evonik Corporation Piscataway USA, [2] Evonik Corporation Piscataway USA, [3] Evonik Operation GmbH Italy

Abstract

Background / Objectives: Two mature remediation technologies can be combined together in a single application potentially resulting in significant cost savings and an improved technical result. Since 2018, this combined remedy has been applied around the world, including numerous applications throughout Europe including Italy. In situ stabilization (ISS) and in situ chemical oxidation (ISCO) have been applied individually to treat a wide assortment of contaminated sites each for over 30 years. ISS reduces the spread and leachability of contaminants by mixing in binder with subsurface soils, creating a solidified matrix and reducing the soil's hydraulic conductivity while providing the desirable soil stability following a soil mixing application. Alternatively, ISCO works by reacting with and transforming organic pollutants. The combination of these two technologies has increased in popularity for heavily contaminated sites and/or sites requiring a more definitive solution quickly, often in a single application, providing a more complete and cost-effective solution as opposed to applying either technology alone.

Approach / Activities: ISCO/ISS has been evaluated in a series of bench and full-scale applications where varying dose combinations of sodium persulfate with different binders were analyzed based on its effect on soil stability, hydraulic conductivity and leaching. This presentation will review the fundamental chemistry and synergies involved with combining the two technologies. Data from both bench scale experiments and field applications will be presented to illustrate how both concentration and stabilization goals can be achieved in a combined application.

Results / Cost Efficiencies / Lessons Learned: Data show that multiple sites have benefited in several critical ways from combining ISCO and ISS including greater solidification, lower leachate and lower hydraulic conductivity compared to ISS only. ISCO applied via soil mixing also significantly benefits from the combination with ISS due to rapid solidification of the soils allowing for site activities shortly after the application as well as lower leachate concentrations compared to ISCO only. Greater matrix strength following the combined remedy allows for lower amounts of binder to be used which in turn reduces the mass of soil that is displaced and the need for further handling and disposal of excess soil masses. A combined ISCO / ISS strategy can thus result in significant cost and energy savings. Data from multiple field applications will illustrate a reduction in the contaminant concentration within the soil itself due to ISCO and a greater reduction leachability due to both technologies has resulted in successful applications and closed sites.

Keywords: In Situ Chemical Oxidation, Contaminants, Stabilization, Remediation, Soil, Aquifer

Contacts: brant.smith@evonik.com, josephine.molin@evonik.com, alberto.leombruni@evonik.com

Hybrid Ultrasonic-Mechanical Soil Washing for Remediating Weathered Petroleum-Contaminated Desert Soils

Meshari Almutairi [1]

[1] Department of Environmental Engineering and Sustainability, College of Engineering and Energy, Abdullah Al Salem University, Kuwait City, Kuwait

Abstract

Weathered petroleum contamination of desert soils is a persistent environmental concern, as conventional remediation approaches often struggle to address hydrocarbons that have become strongly bound to soil particles over time. This study investigates a hybrid soil washing strategy that combines ultrasonic cavitation with mechanical agitation, using a biodegradable plant-derived surfactant, to remediate long-weathered, oil-contaminated sand collected from Gulf War oil lake site in the Kuwaiti desert, where the initial total petroleum hydrocarbon (TPH) concentration was 96,000 mg/kg.

Treatment performance was assessed across multiple washing cycles under controlled laboratory conditions, with outcomes compared against mechanical-only and ultrasonic-only approaches. The combined method consistently outperformed both standalone techniques, achieving substantially higher contaminant removal and bringing residual hydrocarbon levels within recognized environmental safety thresholds, while individual treatments fell short. Supporting structural and turbidity analyses indicated greater particle dispersion and increased soil porosity following the hybrid treatment, pointing to a more thorough disruption of oil-soil interactions.

The findings suggest that the synergy between acoustic and mechanical forces enhances contaminant desorption beyond what either mechanism achieves alone, offering mechanistic insight into how cavitation and agitation jointly influence soil structure and hydrocarbon mobility. Though demonstrated on desert soil from one region, the approach holds relevance for other arid and semi-arid settings facing similar contamination, suggesting potential as a scalable, environmentally conscious remediation option.

Keywords: Weathered hydrocarbon-contaminated soils, Hybrid ultrasonic–mechanical soil washing, Biosurfactants, Arid environment.

Contatti: drmeshariq81@gmail.com

Digital 4D Conceptual Site Models and Machine Learning: Advancing Biodegradation Insights for Chlorinated Solvent Remediation

***Alessandro Valle*[1], *Paolo Ciampi*[2], *Marco Petrangeli Papini*[1]**

[1] University of Rome "La Sapienza", Department of Chemistry (speaker), [2] University of Rome "La Sapienza", Department of Earth Sciences

Abstract

Recalcitrant chlorinated solvents are relevant contaminants in environmental remediation due to their long-term persistence within environmental matrices which render remediation processes complex, time-consuming, and costly. Biodegradation mechanisms— such as Biological Reductive Dechlorination (BRD)—can enhance the remediation of these substances by harnessing the degradative capabilities of indigenous microbial communities. Machine Learning (ML) offers powerful tools for developing models that can characterize and predict complex environmental processes. However, its application to site-scale biodegradation remains limited. Integrating BRD processes with ML-based approaches could lead to significant advancements in remediation strategies. This study aims to present the results of the analysis of in situ BRD processes of chlorinated solvents using a 4D digital platform combined with ML techniques, applied to a real case study in Italy. A Conceptual Site Model (CSM) is proposed as the core framework for the development of such digital tools and predictive applications.

All available site information was digitized and organized within a relational geodatabase. The database, comprising over 120 georeferenced piezometers, was used to develop a geology-driven CSM. Spatial interpolation of stratigraphic and groundwater level data aimed to reconstruct the site's 3D geological framework and groundwater flow pattern. A 18-year chemical monitoring dataset was used to characterize the site's contamination status. 3D concentration isosurfaces for chlorinated compounds (TCE, DCE, and VC) were integrated into the geological model to visualize the spatial extent and temporal evolution of the contamination plume. This representation

aimed to identify secondary contamination sources and to estimate contaminated volumes, reduction rates, and mass removal over time. ML techniques were then applied to real monitoring data to analyze and parameterize the BRD process of chlorinated solvents. The geochemical database, consisting of more than 80,000 records, was filtered to investigate the dynamics associated with chlorinated solvents reduction. Model development included a construction and setup phase—using a subset of the available parameters and data—followed by training and testing phases validated against the remaining real dataset. Through ML modeling, degradation constants and dechlorination rates for the target compounds were derived and compared with values reported in literature.

The integration of a 4D digital interface with ML techniques enabled an innovative and comprehensive investigation of the in situ BRD process. The multi-temporal 3D visualization of chlorinated solvents highlighted distinct zones of active biodegradation, confirming the role of site-specific hydrogeochemical features in influencing contaminant persistence and microbial activity. The ML-based modeling approach parameterized the BRD process, estimating degradation constants and dechlorination rates capturing site-specific variations. Overall, the integration of the digital CSM with ML analytics proved to be a robust interpretative and predictive framework for real-site applications. The reliability of the developed model supports the prediction of contamination evolution scenarios, optimizing remediation design and promoting adaptive, data-driven management strategies for complex chlorinated solventcontaminated sites.

Keywords: chlorinated compounds, BRD, 4D geodatabase, machine learning, in situ remediation

Contacts: alessandro.valle@uniroma1.it, paolo.ciampi@uniroma1.it, marco.petrangelipapini@uniroma1.it

New insights into the effects of electrokinetic remediation on soil health

João Brinco[1*], Nazaré Couto[1], Vanessa G. Correia[1], João Brinco[1], Patricia Timbuc[1], Mariana Freitas[1], Eduardo P. Mateus[1], Alexandra B. Ribeiro[1]

[1] CENSE – Center for Environmental and Sustainability Research & CHANGE - Global Change and Sustainability Institute, NOVA School of Science and Technology, NOVA University Lisbon, Caparica, Portugal

Abstract

Remediation is an effective tool in reducing environmental and human health risks of contaminated soils. However, the effects on soil health and soil functionality are not always considered. In this study we combine volatile organic compound (VOC) profiling with microbial analysis, before and after an electrokinetic remediation experiment of soil contaminated with several pesticides, in order to better understand the effect of the remediation process on these soil attributes. Furthermore, we are also evaluating the possibility of a new on-the-fly methodology for estimation of contamination levels during the remediation process.

Laboratory-scale experiments were conducted using an agricultural soil spiked with a mixture of commonly detected pesticides. Electrokinetic treatments (10 mA DC) were applied for 7 days, in continuous (24h ON) and pulsed (12h ON, 12h OFF) modes. Pesticide concentrations were quantified before and after treatment using GC-MS/MS, while soil health was assessed through physicochemical parameters, microbial abundance (bacteria and fungi) and volatile organic compounds (VOC) profiles, using solid-phase microextraction (SPME) followed by GC-TOFMS. A new on-the-fly and noninvasive methodology was attempted by extracting the soil directly with disposable SPME tips for 3h, retro extracting them to ethanol and analyzing by GC-MS/MS.

As expected, the electrokinetic process induced pesticide mobility and degradation in the soil. However, the treatment also changed the soil's physio-chemical parameters, particularly the pH, which reached around 2.6 near the anode and 12.2 near the cathode, having started from a nearly neutral value. Microbial abundance was reduced due to the treatment, particularly in the continuous application mode.

Bacterial populations reduced by an average of 48%, while fungal populations reduced by an average of 36%. Thus, the increased fungi:bacteria ratio suggests that fungi are more resistant than bacteria to the treatment. VOC analysis revealed different profiles before and after treatment, suggesting that electrokinetic remediation also influences soil VOC's. Some of the organic compounds identified might be good candidates for indicators of changes caused by the electrokinetic process.
Overall, the results point to significant changes in several soil parameters due to electrokinetic remediation and highlight the importance of seeing beyond contaminant removal to a more inclusive analysis and evaluation, particularly considering future soil uses.

This work 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 (FCT) through the Research units CENSE "Center for Environmental and Sustainability Research" under project UID/PRR/04085/2025 (doi.org/10.54499/UID/PRR/04085/2025) and CHANGE "Institute for Global Change and Sustainability" under project LA/P/0121/2020 (doi.org/10.54499/LA/P/0121/2020). This research is anchored at RESOLUTION LAB, an infrastructure at NOVA School of Science and Technology.

Contatti: j.brinco@fct.unl.pt

Integrated biological technologies for the remediation and requalification of an urban area contaminated by hydrocarbons

***Paolo De Angelis*, Silvia Crognale, Dario Liberati, Cristina Russo, Diego Giuliarelli, Davide Lelli, Maurizio Petruccioli**

Department for Innovation in Biological, Agro-Food and Forest Systems (DIBAF), University of Tuscia, Viterbo, Italy

Abstract

The application of nature-based solutions (NbS) to contaminated site remediation represents an innovative and sustainable strategy that integrates contaminant removal with ecosystem restoration, improving soil and groundwater quality while delivering additional environmental and social co-benefits. The case study presented herein concerns an integrated bio-phytoremediation strategy implemented at a hydrocarbon-contaminated site, located within a densely populated urban area of the municipality of Pesaro (Italy). The site was formerly occupied by a small coal-gasification plant (early '900s). More recently, the area has been designated for building development. During foundation excavation works, underground storage tanks formerly used for the collection of coal processing byproducts (including tar and other petroleum-derived hydrocarbons) were accidentally breached, leading to the release of contaminants into the subsurface. After the removal of primary sources by Dig & Dump approach, site investigations identified contamination in both the shallow soil layers, mainly consisting of demolition debris, and the deeper alluvial deposits. The detected contaminants include light (C<12) and heavy (C>12) hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), and perchloroethylene (PCE). Groundwater contamination is characterized by elevated concentrations of hydrocarbons, particularly aromatic compounds such as benzene, toluene, m,p-xylene, naphthalene, and fluorene. Organochlorinated solvents, including PCE and TCE, have also been detected at concentrations exceeding regulatory limits. Furthermore, excessive levels of inorganic constituents, namely boron, iron, and manganese, have been recorded in groundwater. To prevent the migration of

contaminants within the aquifer, a Pump-and-Treat (P&T) system has been installed and is currently in operation. In consideration of the extent of contamination and the site-specific constraints, an integrated remediation strategy based on bioaugmentation and phytoremediation was adopted, combining contaminant remediation with the ecological and landscape restoration of the site. Indigenous microorganisms isolated from the site and selected in the laboratory based on their demonstrated capability to degrade the target organic contaminants were cultivated in a bioreactor and subsequently introduced into the subsurface through trenches approximately 50 cm in width and 0.5–1.0 m in depth, the latter determined according to the vertical extent of contamination. The trenches were spaced at 1.5 m centres. The trenches, partially coinciding with tree planting rows, are in areas where CSC values are exceeded in unsaturated soils. Plant species were selected on the basis of their adaptability to local climatic and soil conditions, together with their demonstrated suitability for the remediation of contaminated soils. A total of 26 species, comprising 551 individual plants, were established across the site. To facilitate the on-site reuse of treated effluent from the Pump-andTreat (P&T) system for subsurface irrigation of the biophytoremediation systems, two dedicated treatment units were constructed: the *Phyto-Lake* and the *Phytodepuration Canal*. The poster describe the organizational structure of the intervention and some results of the operational monitoring (vegetation, microorganisms) collected over the four years following implementation.

Keywords: Bioremediation, Phytoremediation, Full-Scale, Urban site

Contacts: pda@unitus.it

Integrating soil-gas tracers and Laser-Induced Fluorescence for rapid delineation of LNAPL source zones: a geospatial approach for contaminated site characterization

[1] ***Giulia Felli***, [2] ***Livio Ruggiero***, [3]***Marco Petrangeli Papini***, [1] ***Paolo Ciampi***

[1] *Department of Earth Sciences, Sapienza University of Rome, Rome, Italy,* [2] *National Research Council, Institute of Environmental Geology and Geoengineering, IGAG-CNR, Rome, Italy,* [3] *Department of Chemistry, Sapienza University of Rome, Rome, Italy,*

Abstract

The accurate delineation of Light Non-Aqueous Phase Liquid (LNAPL) source zones remains one of the main challenges in contaminated site characterization because residual hydrocarbons are often distributed heterogeneously within the vadose zone and shallow aquifers. Conventional invasive investigations frequently provide only discrete information, making it difficult to identify persistent secondary source zones and to optimize remediation strategies.

This study presents an integrated geospatial approach combining indirect soil-gas investigations (^{222}Rn, ^{220}Rn, CO_2, CO_2 flux and CH_4) with direct Laser-Induced Fluorescence (LIF) measurements to improve the identification of LNAPL-related anomalies. The methodology was applied at a former military site in southern Sardinia (Italy) affected by multiple historical JP-8 fuel releases.

A Combined Index (CI) integrating normalized maximum LIF fluorescence and inverted ^{222}Rn concentrations was developed within a GIS environment. Spatial organization of the index was investigated using Moran's I and Local Indicators of Spatial Association (LISA), while hotspot consistency was quantitatively evaluated through overlap analysis between statistically significant CI clusters and independent anomaly layers.

Results revealed a statistically significant clustered spatial pattern (Moran's I = 0.933; p = 0.001), identifying a coherent contamination hotspot corresponding to the historical release area. Quantitative

overlap analysis showed a strong correspondence between CI hotspots and high-fluorescence zones (92.3%), whereas radon depletion exhibited a moderate overlap (51.4%), confirming the complementary role of direct hydrocarbon detection and indirect soilgas tracers.
The proposed workflow provides a rapid, non-invasive and reproducible tool for identifying secondary LNAPL source zones and prioritizing investigation targets. By integrating complementary geochemical and hydrogeophysical indicators within a quantitative spatial-analysis framework, the approach supports more efficient contaminated-site characterization and can improve decision-making during groundwater monitoring and remediation planning.

Keywords: Soil gas, Laser-Induced Fluorescence (LIF), Site characterization, Geospatial analysis

Contacts: giulia.felli@uniroma1.it, livio.ruggiero@cnr.it, marco.petrangelipapini@uniroma1.it, paolo.ciampi@uniroma1.it.

Soil microbiota responses to the electrokinetic remediation of pesticide-contaminated soils

X Vanessa G. Correia[1], João Brinco[1], Fernando T. Diniz[1], Eduardo P. Mateus[1], Nazaré Couto[1*], Alexandra B. Ribeiro[1]

[1]CENSE – Center for Environmental and Sustainability Research & CHANGE - Global Change and Sustainability Institute, NOVA School of Science and Technology, NOVA University Lisbon, Caparica, Portugal

Abstract

Soils contaminated by persistent organic pollutants, such as pesticides, are often remediated using traditional remediation methods leading to soil degradation or disturbance of microbial communities. For that reason, one of the main goals of the ISLANDR project is to exploit the use of low-input remediation techniques to minimize the impact on both the environment and soil functionality. In this work, we exploited the use of electrokinetic remediation (EKR), a soil remediation technology used for the treatment of contaminated soils and assessed its impact on soil bacterial and fungal communities.
Metodologia
Experiments conducted at the lab scale using a soil spiked with a mixture of 14 commonly used pesticides found in European and Portuguese soils [1] were set under continuous or semi-continuous (12h ON/OFF) application for 4 days. Pesticide removal efficiency was quantified through chemical analysis of soil samples collected before and after treatment [2]. Preliminary results showed a reduction in pesticide concentrations, confirming the potential of EKR for organic contaminant mobilization and removal. The impacts of EKR on the microbial communities (bacteria and fungi) were evaluated quantitatively using a plate count method. The composition of the soil microbiota before and after remediation was also analyzed by metagenomic sequencing following PCR amplification of the fungal ITS1 region and the bacterial 16S rRNA V3–V4 regions.
Risultati e conclusioni
EKR is a promising cross-disciplinary remediation approach that efficiently removes pesticides and has a moderate effect on soil microbiota [3]. By linking pesticide removal with soil microbiota, ISLANDR contributes to the broader goals of the European Green Deal

and Soil Mission, fostering innovative solutions at the interface of soil chemistry, microbiology, and environmental engineering.

Bibliografia

[1] Carvalho, R., Guedes, P., Mateus, E. P., Silva, V., Tyrologou, P., Koukouzas, N., Ribeiro,
A. B., & Couto, N. (2025). Soil contamination in Europe unveiled: A review of pesticides and metabolites to watch. Open Research Europe, 5, Article 257. https://doi.org/10.12688/openreseurope.20475.2
[2]Brinco, J., Guedes, P., Gomes da Silva, M., Mateus, E. P., & Ribeiro, A. B. (2024). Analysis of pesticide residues in soil: A review and comparison of methodologies. Microchemical
Journal, 195, 109465. https://doi.org/10.1016/j.microc.2023.109465
[3]Guedes, P., Couto, N., Almeida, J., Rodrigues, A., Mateus, E. P., & Ribeiro, A. B. (2018). Electrodialytic treatment of sewage sludge: Influence on microbiological community. International
Journal of Environmental Science and Technology, 15(5), 1103–1112. https://doi.org/10.1007/s13762-017-1459-z

Riconoscimenti

This research has received funding from the European Union through the Horizon Europe project ISLANDR (Grant agreement No. 101112889), and from Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., Portugal (FCT, I.P.) through the Research units: CENSE “Center for Environmental and Sustainability Research” under project UID/PRR/04085/2025
(https://doi.org/10.54499/UID/PRR/04085/2025), and CHANGE “Institute for Global Change and Sustainability” under project LA/P/0121/2020 (doi.org/10.54499/LA/P/0121/2020). This research is anchored at RESOLUTION LAB, an infrastructure at NOVA School of Science and Technology.

Contatti: vf.correia@fct.unl.pt; md.couto@fct.unl.pt

Soil microarthropod communities as bioindicators of soil functioning in the Sudano-Sahelian savanna of Cameroon

Léa Rosine Nde Djoussi[1], Amandine Erktan[2], Elias Nchiwan Nukenine[3], Hartmut Koehler[4]

[1,3] University of Ngaoundéré, Faculty of Science, Department of Biological Sciences, P.O. Box 454, Ngaoundéré, Cameroon
[2] Eco&Sols, University of Montpellier, IRD, INRAE, CIRAD, Institut Agro, Montpellier, France
[4] University of Bremen, UFT Centre for Environmental Research and Sustainable Technology, 28359 Bremen, Germany

Abstract

Land degradation leads to a steady degradation in soil functioning in tropical arid zones. However, we still lack reliable bioindicators of soil functioning in these areas. Focusing on contrasted land-use systems in Sudano-Sahelian region of Central Africa, this study examined soil microarthropod communities, and tested whether they can serve as bioindicators of soil degradation. Field investigations were carried out along a land-use gradient that represented increasing degradation levels from agroforestry (1), three-year fallow (2), grazed area (3), maize cultivation (4), and degraded bare soil (5). In Northern Cameroon (Mayo-Djarendi), soil samples were collected during ten field campaigns covering both the dry and wet seasons, and used to characterize soil microarthropods (Acari and Collembola) communities and soil physicochemical parameters.
Total microarthropods abundance ranged from 28.5×10^3 individuals m^{-2} in agroforestry to 10.1×10^3 m^{-2} in degraded bare soils, representing a 65% decline across the entire gradient. Microarthropod abundance differed significantly among land-use systems ($H = 27.4$, $p < 0.001$), with significantly higher abundances in conserved systems (agroforestry and fallow) than in more degraded land uses. Maize cultivation and grazed area formed an intermediate group, while degraded soils consistently exhibited the lowest abundances. Reduction in microarthropod abundances was paralleled by a decline in soil organic carbon Community composition also

shifted along the degradation gradient, with a progressive decline of predatory Gamasina and a sharp reduction of Collembola in the most degraded soils. In addition, in degraded soils we observed important seasonal variations with Collembola populations that almost entirely collapsed during the dry season. Nevertheless, agroforestry and fallow lowered this sharp decline. Thus, agroforestry and fallow enabled to sustain soil biodiversity, buffer seasonal climatic stress, and maintain soil organic carbon central to soil functioning. From a bioindicator perspective, our findings point that soil microarthropods are promising indicators to assess soil degradation/restoration in tropical soils in the semi-arid areas of central Africa.

Keywords: soil microarthropods, land degradation, soil functioning, bioindicators, nature-based solutions

Contacts: learosine_djoussinde@yahoo.com
amandine.erktan@ird.fr, ennukenine@fulbrightmail.org,
hartmut.koehler@uni-bremen.de

Deployment and Validation of an Drone-Based Methane Detection System Using Specific Sensors in Amazonian Oil and Gas Unit

***Cesar Malta-Oliveira*[1], *Sandro Souto*[1], *Eduardo Querido*[1], *Elisandra Hernandes*[1]**

[1] *Finkler Sustainable Technologies*

Abstract

Methane emissions from the oil and gas (O&G) sector contribute approximately 80 million tons of CH_4 per year to the atmosphere, with a global warming potential roughly 25 times greater than that of CO_2. Conventional leak detection and quantification techniques - such as handheld detectors and optical gas imaging - are labor-intensive, costly, and limited in spatial coverage.

To align with the OGMP 2.0 framework for transparent, measurement-based reporting (Level 5), this project aimed to test and validate an aircraft-based sensing system capable of detecting, mapping, and quantifying methane emissions over large, logistically challenging onshore facilities. The study focused on Amazonian production sites, Brazil, integrating spectroscopic and spatial datasets to generate verifiable, measurement-based methane inventories for OGMP 2.0 compliance.

A Drone with Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy (TDLAS) and LiDAR/L2 sensors, supported by GNSS RTK positioning, was deployed to conduct airborne methane concentration measurements. The TDLAS sensor was tuned to a wavelength of 1.653 µm for highspecificity CH_4 detection, while LiDAR data were used to model plume geometry and surface topography. Flight plans were developed using georeferenced facility data and local meteorological inputs. Raster and oblique flight patterns were executed below 120 m above ground level to capture vertical and lateral plume dispersion. Methane concentrations were processed using the AERMOD Gaussian dispersion model (USEPA) to estimate emission fluxes and total sitelevel outputs.

The integrated TDLAS–LiDAR–GNSS RTK approach produced accurate, repeatable, and spatially continuous measurements across large

facilities, substantially reducing field time and personnel exposure compared to conventional ground-based surveys. The method effectively captured emission heterogeneity among asset groups, enhancing inventory resolution and transparency under OGMP 2.0 Level 5 standards. Incorporating LiDAR terrain data improved plume dispersion modeling in areas with complex topography, while tropical meteorological variability underscored the importance of adaptive flight planning and real-time wind validation. The system also demonstrated operational feasibility under restrictive logistical and regulatory conditions, requiring close coordination with Brazilian's flight authorization.

Overall, this study demonstrates that aircraft-based infrared spectroscopy integrated with advanced geospatial modeling provides a scalable, reliable, and technically robust framework for methane quantification in remote onshore O&G environments, supporting transparent emission management and the decarbonization objectives of the OGMP 2.0 initiative.

Keywords: Methane emissions; Drone-based sensing; OGMP 2.0 framework; TDLAS–LiDAR integration; Oil and gas industry.

Contacts: cesar@finkler.eng.br, sandro@finkler.eng., eduardo@finkler.eng.br, elisandraf@finkler.eng.br

NOOSTASIS-DSS: operational tool for selecting regeneration scenarios under No Net Land Take

Iuliia Kozlova[1], Elisa Conticelli[1], Simona Tondelli[1], Serena Sgallari[2]

[1] University of Bologna, Department of Architecture, PhD Programme in Architecture and Design Cultures
[2] Emilia-Romagna Region, Land, City and Landscape Area, Territorial Governance and Quality Sector, Organisational Coordination and Technical Support for Urban and Social Regeneration

Abstract

The transition towards No Net Land Take requires tools capable of translating the general objective of reducing
land take into operational choices at the local scale. In many territories, the demand for housing, services, public spaces and new economic and social functions is confronted with the presence of abandoned, vacant, underused or improperly used areas. These areas represent, at the same time, an environmental, social and spatial criticality and a strategic reserve for locating new functions, regenerating already transformed soils and reducing pressure on agricultural and natural areas.
This contribution presents NOOSTASIS-DSS – No-net-land-take Oriented Operational Scenario Tool for Abandoned Sites and Strategic Intervention Selection, a decision-support tool developed for public administrations, municipal planners, urban regeneration practitioners and territorial decision-makers. The objective of this tool is to support the identification of the most appropriate transformation scenarios for each site, avoiding the search for a universal solution and instead favouring the comparison of multiple possible futures in relation to the specific conditions of the sector and its context.

The expected result is a DSS-GIS application capable of providing strategic maps, priority scenarios and families
of alternatives for each examined site, in coherence with the No Net Land Take principle. The tool makes it possible to move from the simple identification of disused areas to the reasoned selection of transformation scenarios, making the relationship between data,

criteria, constraints and public decision-making more transparent. From this perspective, abandoned areas become potential infrastructures for active regeneration: not only spaces to be recovered, but territorial resources to be oriented towards climate adaptation, the reuse of already artificialised land, the provision of ecosystem services and social functions, and thereby the achievement of sustainable development.
NOOSTASIS-DSS aims to contribute to the RemTech Expo debate by offering an operational interface between
research, planning and public policies. Its value does not lie in automating the decision, but in making different scenarios comparable, making trade-offs explicit and supporting administrations and stakeholders in choosing interventions that are more coherent with local conditions and territorial sustainability objectives.

Contatti: iuliia.kozlova2@unibo.it

Large Sustainable Tuscany Brownfield Remediation Challenges, Opportunities and Lessons Learned

George Ivey [1]

[1] Ivey International Inc..

Abstract

A former power plant in Tuscany, which was in close proximity to a sensitive environmental receptor including a river and the sea, became a brownfield in need of in-situ remediation. This was due to historical oil spills which occurred over the many decades of operations that impacting the soil and groundwater over a large area where the former large above ground oil tanks once sat. An impacted area which would requiring remediation for future redevelopment.

The primary challenges to remediating brownfield sites are often exorbitant and unpredictable cleanup costs, perpetual liability concerns, and the intricate regulatory approval processes. These complications often drive developers toward pristine "greenfield" land, leaving contaminated spaces abandoned and underutilized.

Against the considerable challenges faced by the landowner for clean-up and redevelopment of their industrial site, they wanted to employ more innovative and sustainable solutions for the remediation of impacted soil, and groundwater which included a large light non-aqueous phase liquid (LNAPL) plume covering an area of approximately four (4) hectares.

Following considerable due diligence, and multiple bench-scale studies, completed over a two (2) year period, surfactant enhanced remediation (SER), using Ivey-sol 108, was selected due to its promising potential to clean-up up the light non-aqueous phase liquid (LNAPL) which were impacting the shallow soil and groundwater regimes on-site.

This presentation will explain the early due diligence steps taken to select in-situ Ivey-sol SER process, through system design and

implementation strategy to achieve more rapid and sustainable LNAPL mass recovery toward clean-up the subject for site redevelopment, along with the challenges faces, and lessons learned along the way.

Contatti: budivey@iveyinternational.com

Lessons Learned PFAS Mass Removal From Soil Bedrock And Anthropogenic Surfaces For Improved Remediation And Decontamination

George Ivey [1]

[1] *Ivey International Inc.*

Abstract

PFOA and PFOS (types of PFAS) are per and polyfluoroalkyl synthetic compounds known as "forever chemicals" that do not easily break down and persist, which can cause harm to the environment and human health.

PFAS molecules sorb (absorb and adsorb) to soil and anthropogenic surfaces, making effective removal more challenging. Consequently, in-situ remediation methods such as pump-and-treat (P&T), multi-phase extraction (MPE), and soil vapor extraction (SVE), among others, are not cost-effective for in-situ PFAS soil, bedrock, and groundwater remediation. cleaning PFAS from soil, bedrock, or groundwater.

Environmental site investigations, remediation projects, and changes to AFFF fire systems all face similar challenges when it comes to decontaminating field equipment, as there is a need to prevent cross contamination risks.

This presentation will cover the hydro-geo-chemical properties of PFAS and key factors affecting its availability for remediation and decontamination. Electron microscope images of various anthropogenic surfaces, including glass, plastics, concrete, stainless steel, to typical soil grains, reveal the highly irregular surface characteristics to which PFAS molecules can adhere.

The presentation will also cover how selective, non-ionic surfactants, effective below the critical micelle concentration (CMC), can shrink water clusters to nanoscale sizes. This capacity enhances their penetration into microscopic soil, and anthropogenic surfaces,

improving PFAS desorption and mass removal (>99.999%), for improved physical, chemical and biological remediation, and decontamination, toward regulatory compliance.

Information from third-party applications, which includes images, tables, graphs, and 3-dimensional animations will support the practical insights gained. These resources will help develop strategies that raise anthropogenic surface decontamination, and soil and aquifer remediation to global standards.

Contatti: budivey@iveyinternational.com

Lessons Learned - Surfactant Enhanced Bioremediation Of Petroleum Contaminated Soil In Canadian Arctic and Kuwait Desert Conditions

George Ivey [1],*Miikka Tunturi*[2], *Katie Oliver*[3]

[1] *Ivey International Inc.,* [2]*Lamor Corporation,* [3]*KBL Environmental Ltd.*

Abstract

Hydrophobic organic chemicals, such as petroleum compounds in the C6 to >C50 range, have low water solubility, leading them to phase-partition onto soil surfaces. This sorption (i.e. adsorption and absorption) significantly reduces their bioavailability for microbial degradation during bioremediation.

Bioremediation professionals have conducted soil treatment in a broad range of environments, from the Canadian Arctic to the equatorial deserts of Kuwait. These regions often pose challenging conditions for bioremediation, with temperatures dropping below 50°C during Arctic winters and exceeding 50°C in desert summers. Extreme temperatures impose significant environmental stress on microbial communities, causing soil desiccation, reduced aeration, and diminished nutrient transport, all leading to a notable decline in active bacterial populations. Such factors impede bacterial bio-kinetics throughout the bioremediation process, frequently resulting in extended, multi-year timelines to achieve regulatory compliance, as much higher costs.

This presentation reviews surfactant enhanced bioremediation (SEB) as an alternative to conventional methods, including case studies from remote Canadian sites and oil contaminated soils in Kuwait after the 1990-1991 war. The current Kuwait soil remediation project, presented herein, (>100 million tons of impacted soil) is cited as; “The largest inland soil remediation project in history.”

SEB enhances bio-availability by reducing contaminant sorption, improves moisture, nutrient, and oxygen transport, and boosts bacterial populations. This enables soil bioremediation in the Arctic

within a single season (<4 months) instead of >2 to 3 years, and in Kuwait within similar time frames compared to the usual 9 to >12 months.

SEB case studies incorporate third-party data sets, figures, tables, photographs, and an overview of working conditions. These studies consistently demonstrate substantial time and cost savings, along with significantly reduced resource requirements, which contribute to sustainability and operational profitability.

Contatti: budivey@iveyinternational.com

Coupled nano-bio processes for the effective removal of complex mixtures of persistent pollutants from groundwater

***Iris Barbero*[1], *Rajandrea Sethi*[1], *Tiziana Tosco*[1], *Carlo Bianco*[2] [1]**
Politecnico di Torino (Corso Duca degli Abruzzi 24, Turin, Italy), [2] *DeltaNova S.r.l.*

Abstract
This study addresses the remediation of a contaminated aquifer at an industrial site impacted by a complex mixture of chlorinated organic compounds, including 1,2-dichloroethane (1,2-DCA), 1,2-dichloroethylene (1,2-DCE), vinyl chloride (VC), tetrachloroethylene (PCE), and other chlorinated aliphatics, occurring at concentrations of several thousand µg/L, together with chlorinated aromatics and metals such as arsenic, iron, and manganese.
Laboratory batch degradation tests were first conducted on groundwater samples to evaluate the degradation kinetics and removal efficiency. Two nano zero-valent iron (nZVI) formulations, passivated and sulfidated, were compared to assess differences in reactivity toward the target contaminants. The results confirmed the high efficacy of nZVI in removing most chlorinated contaminants, while also confirming the recalcitrance of 1,2-DCA.

These findings supported the design of an In Situ Chemical Reduction (ISCR) pilot test using *IronGEL nano/mix*, a commercial reagent developed by *DeltaNova*, consisting of a mixture of nZVI and mZVI within a biopolymers-based matrix to enhance stability, injectability and subsurface distribution, through shear-thinning behaviour. The field setup included three injection points and seven monitoring points, with each injection receiving 2000 L of suspension containing 80 kg of reactive material.

Monitoring data showed effective subsurface distribution, sustained strongly reducing conditions and substantial contaminant reductions, with total chlorinated compounds decreasing by 71-96 % within 20 weeks. Notably, the ISCR-induced conditions also stimulated in situ

biological activity, enabling synergistic interactions between abiotic and biotic degradation pathways. These synergies allowed the degradation of contaminants previously recalcitrant in laboratory nZVI tests, particularly 1,2-DCA, which exhibited reductions often exceeding 90% after 20 weeks from ISCR injection.

Motivated by these outcomes, further investigations were carried out to evaluate combined ISCR and Enhanced Biological Degradation (EBD) strategies aimed at improving in-field performance. To this end, two pilot configurations were implemented in the study area, integrating the two remediation approaches. The pilot field previusoly treated with ISCR was subsequently used to test a sequential strategy (ISCR followed by EBD), while a second pilot field was dedicated to assessing a hybrid ISCR-EBD configuration.
Monitoring data from the two pilots revealed distinct biodegradation potentials, with a markedly faster biological response in the field where ISCR had previously been applied (sequential). Both pilots achieved high removal efficacy for the main target contaminants, although with some differences. Overall, the observations demonstrate that ISCR and EBD can act synergistically, leveraging their complementary strengths and mitigating their respective limitations. In particular, ISCR enhances biological degradation by accelerating reaction kinetics and reducing the formation of toxic intermediates.

Keywords: Nanoremediation, nZVI, ISCR, EBD, Chlorinated solvents

Contacts: iris.barbero@polito.it (+39 3335642124),
rajandrea.sethi@polito.it, tiziana.tosco@polito.it,
carlo.bianco@deltanova
info@deltanova.it, https://www.deltanova.it/

Towards Strategic PFAS Management in Southeast Asia – A Regional Situational Review of Risk, Regulation and Treatment Approaches

***A/Prof. Charles Lee, Ph.D.*[1],**
***Benica Pasaporte*[2], *Mitesh Kumar*[3], *Olivier Maurer, Ph.D.*[4]**

[1]*University of Newcastle (Australia)*
[2,3] *WSP Consultancy Pte. Ltd., Singapore*
[4] *WSP France*

PFAS management in Southeast Asia (SEA) is transitioning from fragmented monitoring towards risk-based regulation and planning. This paper presents a regional situational review of PFAS risk, regulation and treatment readiness across Indonesia, Malaysia, the Philippines, Vietnam, Thailand and Singapore, using a sourcepathway-receptor perspective, considering major PFAS source areas such as aqueous film-forming foam (AFFF), industrial discharges, landfills, wastewater systems and contaminated runoff, and their potential linkages to water resources, fisheries, food-chain exposure and ecological receptors.

Across SEA, maturity remains uneven but is evolving. Indonesia and the Philippines provide opportunities to integrate PFAS into sanitation, wastewater and water investments through baseline monitoring, source inventory and treatment retrofits. Malaysia presents a case for source tracking and drinking water catchment protection, supported by reported PFAS occurrence in rivers, coastal waters and biomonitoring evidence. Vietnam has identified PFAS concerns associated with industrial discharges, while Thailand has initiated river and groundwater monitoring and is progressing policy responses. These illustrate a shift from baseline occurrence assessment towards more formalised regulatory frameworks, risk screening and exposure management strategies.

In parallel, regional programmes are broadening the understanding of PFAS exposure pathways beyond conventional water monitoring. Indonesia's involvement in studies examining PFAS and mercury in

PM2.5 across major cities highlights the need to consider atmospheric transport and urban exposure pathways. In the Philippines, PFAS detections in Laguna Lake, Metro Manila source and drinking water, the Marikina River and wastewater systems, together with contrasting river monitoring results, reinforce the importance of targeted, riskbased sampling design, compound-specific interpretation and source differentiation.

Singapore provides an advanced implementation case, supported by regulatory controls for PFAS-containing firefighting foams aligned with Stockholm Convention obligations. From 1 January 2026, Singapore's phase-out requirements for certain PFAS-containing firefighting foams are expected to drive inventory review, foam transition planning, licensed waste collection and compliant disposal. Singapore is considered as a demonstration platform for regulated PFAS transition, treatment governance and waste management.

Collectively, the reviewed cases indicate the need for an adaptive PFAS management framework integrating source inventory development, targeted monitoring, receptor prioritisation, exposure control, regulatory alignment, treatment feasibility assessment, residuals management and long-term monitoring. Practical recommendations for integrating PFAS into existing water management programs should include mapping of AFFF stocks, industrial discharges, landfill leachate, wastewater pathways and vulnerable receptors; prioritising drinking water, groundwater, fisheries and ecological systems; selecting treatment based on risk and waste characteristics; and aligning monitoring and disposal with Stockholm Convention obligations and national controls. The roadmap should also consider market maturity, identifying gaps and opportunities across technical expertise, laboratory capabilities, and solution providers.

Keywords: PFAS; Southeast Asia; AFFF; emerging contaminants; riskbased management; regulatory framework; treatment technologies.

Contacts: benica.pasaporte@wsp.com; olivier.maurer@wsp.com; charles.cc.lee@newcastle.edu.au ; mitesh.kumar@wsp.com

From Laboratory Testing to Engineering Design: Reducing Uncertainty in Full-Scale ISCO Applications

Jeroen Vandenbruwane[1], Steven De Clerck[1], James Delanoeye[1], Lionel Counet[2]

[1] Injectis NV, Toekomststraat 15, B-9890 Dikkelvenne, Belgium
[2] Injectis NV, Carrer Agricultura 17, 08320 El Masnou, Barcelona, Spain

Abstract

Successful in situ chemical oxidation (ISCO) remediation depends on both the chemical effectiveness of the selected oxidant for the given contaminant and its ability to be delivered throughout the contaminated subsurface. While laboratory studies often demonstrate contaminant degradation, the transition to full-scale implementation remains challenging, particularly in low-permeability soils where oxidant distribution is difficult to predict. Consequently, full-scale ISCO designs are frequently based on conservative assumptions rather than site-specific engineering data. This study presents an integrated methodology that combines laboratory testing with field-scale validation to develop a reliable full-scale ISCO design for pesticide-contaminated low-permeability soils.

The first step consisted of laboratory testing to assess the feasibility of chemical oxidation using sodium persulfate. Batch experiments were performed using an excess of oxidant to verify complete degradation of the target pesticides. The site-specific oxidant demand was subsequently determined, while three oxidation approaches were compared: non-activated sodium persulfate, iron-citrate activation and alkaline activation (NaOH). The laboratory programme demonstrated complete degradation of the pesticides into environmentally harmless end products (CO_2, water and phosphate). Non-activated sodium persulfate consistently showed the highest treatment efficiency, while the oxidant demand was determined to be approximately 10 g sodium persulfate per kilogram of soil.
These laboratory results formed the basis for a field pilot designed to validate the engineering parameters required for full-scale implementation. The pilot evaluated the achievable injection volume, established the relationship between injected volume and radius of

influence (ROI), and verified whether sufficient oxidant mass could be delivered under field conditions. Because of the site's very low-permeability silty geology, the SPIN® direct injection technology was selected. Oxidant distribution was monitored through electrical conductivity measurements in dedicated monitoring well clusters.

The pilot demonstrated that homogeneous and controlled injection could consistently be achieved up to approximately 250 L per metre of injection interval. The experimentally determined relationship between injection volume and ROI closely matched the design predictions, resulting in an optimal triangular injection grid with a spacing of approximately 3.5 m. Due to the maximum solubility of sodium persulfate (300 g/L), approximately 50% of the laboratory-determined oxidant demand could be delivered during a single injection campaign, confirming that two sequential campaigns would be required to achieve the target oxidant dosage.

The combination of laboratory chemistry and field-scale hydraulic validation provided all critical engineering parameters required for a reliable full-scale ISCO design, including oxidant selection, oxidant demand, injection volume, ROI and injection spacing. The resulting remediation strategy consists of two sequential campaigns using non-activated sodium persulfate (300 g/L), injected through the SPIN® technology at approximately 250 L per metre on an offset triangular grid with 3.5 m spacing. This study demonstrates that integrating laboratory characterisation with field validation substantially reduces design uncertainty and provides a transferable methodology for designing ISCO remediation systems in challenging low-permeability soils.

From Data Gaps to Decision Confidence: High-Resolution Screening Technologies for Resolving Spatial and Functional Contamination Complexity

Eugen Martac[1], Claudio Carusi[2], Elena Di Carlo[2], Marcello Pianu[3]

[1] Fugro Germany Land GmgH, [2]Mares S.r.l., [3]Eni Industrial Evolution SpA

Abstract

Selecting appropriate site investigation strategies remains a critical success factor in contaminated land management. In practice, remediation concepts are frequently developed based on incomplete subsurface understanding, leading to inefficient measures, budget overruns, and recurring rebound effects.

This contribution demonstrates how modern high-resolution screening technologies enable a step change in conceptual site model development by resolving both the spatial distribution and functional dynamics of contamination at unprecedented detail. Complex site conditions—including multiple source generations, free-phase presence versus dissolved plumes, and mixtures of conventional and emerging contaminants—are addressed through integrated in situ characterization approaches.

Case studies from across Europe highlight the application of advanced Direct Sensing technologies such as LIF-CPT and MIP-OMS. These systems provide continuous vertical profiling and compoundspecific identification of volatile and semi-volatile contaminants with detection limits down to the low ppb range, enabling rapid, high-resolution screening directly in the field.

The results demonstrate that contaminant mass distribution within both source zones and plumes is highly heterogeneous. High-resolution datasets allow the identification of previously unresolved hotspots and preferential pathways, significantly improving the quantification of source mass and mass discharge. This enhanced

resolution provides a robust basis for integrating spatial mass distribution and supports more accurate remediation design.

The presented approach shows that minimally invasive, large-scale screening can effectively guide targeted sampling and reduce uncertainty early in the project lifecycle. By improving conceptual understanding, these technologies enable more reliable risk assessments, optimized remediation strategies, and substantial cost savings, while shortening the overall decision-making process.

Keywords: High Resolution Characterization, Mass Spectrometry, Laser Fluorescence, Mass and Flux Distribution, Remediation

Contacts: e.martac@fugro.com, claudiocarusi@maresitalia.it

Valorization of fruit processing by-products into antimicrobial and plant growth stimulating compounds: a circular economy perspective

***Costanza Baldisserotto*[1], *Noura Raddadi*[2], *Anatoly P. Sobolev*[3]**

[1] Department of Environmental and Prevention Sciences - DISAP, University of Ferrara (Italy) (speaker), [2] Department of Civil, Chemical, Environmental and Materials Engineering – DICAM, University of Bologna (Italy), [3] Institute for Biological Systems - ISB, CNR, Monterotondo (Roma, Italy)

Abstract

To days, there are several challenges related to the handling of industrial fruit-processing residues, referred to as Fruit Processing Matrices (FPM). FPM are indeed underutilized and are often managed through unsustainable or costly practices such as landfilling or anaerobic digestion, despite their high content of sugars and other valuable compounds.

Within a circular bioeconomy framework, the ALBA-VITA project evaluated the potential of FPM as substrates for microbial growth and the production of compounds of interest in different sectors. In particular, aqueous extracts of apple, apricot, pear and peach FPM were prepared, chemically characterized with NMR spectroscopy, and subsequently used as nutrients for selected microalgae and bacteria. Then, the production of value-added compounds (like phenolics, antioxidant and antimicrobial compounds) both in algal/bacterial biomass and in the cell-free culture supernatants (CFS) was investigated, using advanced analytical techniques to assess both nutrient consumption and metabolic outputs. Finally, the biological activity of the obtained products was evaluated against representative fungi and bacteria affecting plants; in parallel, *in vitro* biostimulation tests like seed priming and cotyledon expansion were also approached.

Chemical analyses of FPM pulps revealed different proportions of main sugars and of other metabolites; different composition gave different ability to promote algae and bacteria growth. Among microalgae, *Neochloris oleoabundans* emerged as the most promising species,

showing significantly enhanced growth (up to 8x compared to controls), particularly in the presence of apple and pear pulp extracts. As regards bacteria, several strains, selected among a collection of extremophilic bacteria including *Bacillus* sp., were tested, showing no growth inhibition due to osmotic stress linked to sugar abundance in the substrates.

The exhausted media (i.e. CFS) and the algae or bacteria biomass extracts after cultivation were analysed. In microalgae, mixotrophic growth with pear FPM induced significant metabolic shifts, including changes in fatty acid profiles and increased production and release of organic acids such as succinic and fumaric acids. In bacteria, metabolites such as acetoin and branched short-chain fatty acids were identified, with profiles strongly dependent on both the microbial strain and the fruit substrate. Microalgal products exhibited moderate antifungal activity, particularly against *Fusarium proliferatum*, and showed biostimulant effects in plant-based assays. Bacterial CFS demonstrated antifungal (towards *F. proliferatum*) and antibacterial activities (against *Staphylococcus aureus*), as well as the ability to promote root development and seedling growth.

The results open up to new bio-based solutions for fruit by-products valorisation through microbial processes in the agronomic context on a circular economy perspective.

Acknowledgements: This work was supported through European Union Funding - NextGenerationEU - M4C2, investment 1.1. (ALBAVITA_PRIN2022), CUP F53D23005820006.

Keywords: Microalgae, bacteria, fruit by-products, NMR, circular economy

Contacts: costanza.baldisserotto@unife.it, noura.raddadi@unibo.it, anatoly.sobolev@cnr.it

High-Resolution Site Characterization for Emergency Response Interventions: Pontedera Case Study – Hydrocarbon Spill

F. Allegrini[1], V. Ercolani[1], S. Messina[1], M. Pianu[1], V. Raffaele[1], P. Angelini[2], M. De Caro[2], A. Francioli[2], M. Valagussa[2], D. Casasanta[3], F. Giarri[3], D. Passerini[3], R. Riccio[3], L. Dubbiosi[4], M. Uliano[4]

[1] Eni Industrial Evolution S.p.A., Italy; [2]HPC Italia S.r.l., Milano (MI), Italy; [3]Biochemie Lab S.r.l., Campi Bisenzio (FI), Italy; [4]Tecnoin S.r.l. Milano (MI), Italy

Abstract

On 9 April 2026, a hydrocarbon spill was reported at an underground pipeline along State Road 11 in the Municipality of Pontedera (PI), Tuscany, Italy. The event necessitated emergency environmental intervention measures to prevent contaminant propagation. To assess and evaluate recovery and containment measures, rapid determination of the spill area extent and volume of subsurface impacted by the separate phase (LNAPL – Light Non-Aqueous Phase Liquid) was critical.

Consequently, an environmental investigation approach employing high-resolution site characterization (HRSC) techniques was adopted, utilizing the Optical Image Profiler (OIP), a direct-push tool enabling real-time detection of separate-phase organic compounds via UV-induced fluorescence, combined with electrical conductivity (EC) measurements of subsurface horizons and hydraulic conductivity assessment of soil strata (HPT – Hydraulic Profiling Tool).

This case demonstrates how HRSC techniques enable, relative to traditional methods, robust reconstruction of sitespecific conceptual models and dramatically reduce response times in characterizing accidental events, providing fieldbased qualitative and quantitative data useful for guiding real-time emergency prevention and containment decisions (MISE – Messa in Sicurezza di Emergenza, Emergency Containment Measures).

HRSC investigations enabled detailed three-dimensional reconstruction of the hydrogeological conceptual model and separate-phase contamination distribution. As early as Day 3 of the investigation campaign (18 April, approximately 10 days after the event), with 19 verticals completed, the area's stratigraphic framework and NAPL contamination boundary were delineated, permitting real-time adjustment of ongoing MISE activities. By Day 20, with 46 verticals executed, contamination areal extent and volumetric estimates were defined, enabling robust drainage trench design effective in interrupting mobile free-phase propagation in the subsurface.

Multiple independent lines of evidence (OIP fluorescence, electrical conductivity, HPT hydraulic conductivity, and calibration sampling with gas chromatography analysis from both mobile and fixed laboratory) constrained the conceptual model with higher confidence than achievable through stratigraphic reconstruction alone with equivalent investigation point density. High spatial data density further reduced uncertainty in contamination extent and volume estimation.

Comparison with standard traditional methods (borehole drilling and laboratory analysis) reveals timing differences of a factor of 4–6 for preliminary site-specific conceptual model definition—available via HRSC on Day 3 versus 13–20 days required by traditional approaches. This differential, in an emergency response context, is fundamental for directing activities effectively toward preventing propagation.

With a traditional approach, MISE measures would have been implemented with qualitatively inferior data and over longer timescales, risking incomplete containment objectives. Availability of immediate spatially dense data instead permitted rapid, evidence-based intervention orientation, limiting unnecessary excavation, with substantial savings in time and deliberate management of soil volumes requiring handling and associated costs.

The Pontedera case study demonstrates that the HRSC approach represents a high-value tool in emergency environmental response contexts, capable of delivering a solid knowledge framework within timeframes compatible with emergency management and guiding containment measures with greater accuracy.

Contatti: mattia.decaro@hpc.ag

Portable X-Ray Fluorescence Analyzers: Applications to Characterize Lead in Soil

Silvia Gianetti Barber [1]

[1] *Integral Consulting Inc.*

Abstract

Lead is a naturally occurring element, but elevated concentrations in soil are often associated with historical and ongoing human activities. Major anthropogenic sources include lead-based paint, leaded gasoline, lead-acid batteries, ammunition, and fishing weights. In the United States, lead-based residential paint was banned in 1978; as a result, older buildings can remain important sources of leadcontaminated exterior soil through weathering, deterioration, and renovation activities. Leaded gasoline, introduced in the 1920s, was phased out at different times worldwide, including by 1986 in Japan, 1996 in the United States, and 2000 in much of Europe. Atmospheric deposition from vehicle emissions has left a legacy of elevated lead concentrations in soils adjacent to heavily traveled roadways. Lead continues to be used in batteries, ammunition, and fishing weights.

XRF is an established, non-destructive method for analyzing element concentrations in various media. Field portable instruments use energy dispersive XRF. X-rays excite the sample, resulting in characteristic fluorescent X-rays, captured by a detector as photon counts for a series of energy-level bins. The software transforms photon counts into concentrations. Hand-held analyzers provide a rapid and cost-effective field screening method for metals—significantly reducing the scope and cost of investigations. Accurate elemental analyses are performed with custom corrections for sitespecific matrix and moisture content, as moisture reduces the signal. Applications include both screening-level and quantitative analysis for a wide array of elements of environmental interest, such as arsenic, cadmium, copper, lead, mercury, and zinc. Integral specializes in detecting and assessing arsenic and lead in soil.

The presentation will discuss a few case studies in Hawaii to showcase the use of XRF to characterize and remediate land with elevated lead from historical human sources.

Lead Characterization at a former metal scrap yard: the County of Hawaii needed to permenantly close a metal scrapyard. High lead concentrations were detected in soil and debris. Using a portable XRF analyzer, we quantified lead concentrations in mixed soil and debris samples. XRF was also used during the subsequent land cleanup before confirmation soil samples were collected—saving the client time and reducing cost.

Lead screening in surface soil around older school buildings in Hawaii: We designed and performed a study to assess potential human health hazards in building exterior soil at many public schools. The use of a portable XRF analyzer enabled rapid results by providing preliminary indications of elevated lead in soil arund older school buildings. Portable XRF was a key tool to quickly identify which buildings and schools had high lead in surface soil.

Keywords: arsenic, XRF, lead, investigation, heavy metals

Contacts: emma.bauer@gmail.com, sbarber@integral-corp.com , cda@me.com , jeroen.dejong@outlook.com

INTECH4WATER: an integration of innovative technologies for the treatment and reuse of urban and industrial wastewater

Pierluigi Giacò[1], Michele Melis[1,x], Antonia Senatore[1,x], Tatiana Chenet[1x], Costanza Baldisserotto[1], Magda Blosi[2], Luigi Sciubba[3], Roberta Guzzinati[3], Simone Busi[3], Biagio Esposito[4], Elisabetta Carfagna[5], Simonetta Pancaldi[1,x]

[1]University of Ferrara, Department of Environmental and Prevention Sciences, Ferrara, ITALY; [2]ISSMC-CNR, Faenza RA, ITALY; [3]ENEA-LEA Laboratory for the Environmental, Bologna, Italy; [4]ProambienteS.C.r.l., Bologna, ITALY; [5]CIRI-FRAME, Department of Statistical Sciences, University of Bologna, Bologna, Italy

[x] Terra&Acqua Tech Laboratory, Technopole of Ferrara University, Via Saragat, 13, 44122 Ferrara, Italy

Abstract

The INTECH4WATER project (CUP F37G22000200003 - Fondi Europei della Regione Emilia-Romagna – PR Fesr 2021-2027) focuses on the circular economy as it relates to the municipal and industrial wastewater treatment sector, proposing the integration of technologies to overcome the obstacles preventing the full potential of recovery, recycling and reuse of municipal and industrial wastewater. Its aim is to enhance the value of water as a primary resource for irrigation, and to develop secondary raw materials derived from microalgae as recovered fertilisers for agriculture or animal feed.

As part of the INTECH4WATER project, a prototype has been developed that features an innovative integration of biological and physico-chemical methods for the treatment of wastewater characterised by high nutrient loads (N and P), emerging pollutants (bisphenols, phthalates, antibiotics, pesticides) and bacteria pathogenic to humans (e.g. E. coli). More specifically, the prototype comprises the following technologies used in series: advanced oxidation (A.O.P.), UV degradation, ceramic/photocatalytic/adsorbent filters, and microalgae.

The prototype is the final outcome of a series of experiments carried out in two successive phases: a laboratory phase, during which the

technologies were first tested individually and then integrated on the basis of the best results obtained, and a second phase involving the scale-up of the process through to fullscale testing. All phases were supported by advanced statistical analyses, which utilised machine learning and artificial intelligence, alongside detailed chemical, biological and microbiological analyses.

The integration of technologies makes it possible to optimise the treatment process, offering tailored solutions for companies with significant variations in the composition of their effluent. Thanks to this flexibility, the system ensures more effective treatment, improving the quality of the water discharged into natural ecosystems. A key feature is the final use of microalgae, which are able to absorb nitrogen and phosphorus and convert them into biomass that can be used in organic farming, thereby creating a virtuous cycle. The design, construction and validation of the prototype demonstrate the system's scalability, with the potential for the development of a pilot plant.

Compared with existing solutions, the project offers added value thanks to its ability to adapt to fluctuations in industrial effluent, improving the quality of the treated water and contributing to environmental protection and human health, thereby establishing itself as a benchmark in the water treatment technology sector.

Acknowledgements: the INTECH4WATER project (CUP F37G22000200003) has been carried out with funding from the European Union via the Emilia-Romagna Region – PR FESR 2021–2027

Keywords: wastewater treatment, circular economy, integrated technologies, prototype, microalgae biomass

Contacts: *pierluigi.giacò@unife.it, michele.melis@unife.it, antonia.senatore@unife.it, tatiana.chenet@unife.it, costanza.baldisserotto@unife.it, magda.blosi@issmc.cnr.it, luigi.sciubba@enea.it, roberta.guzzinati@enea.it, simone.busi@enea.it, b.esposito@consorzioproambiente.it, elesabetta.carfagna@unibo.it, simonetta.pancaldi@unife.it*

Dual functionality of citric acid for sustainable remediation of TCE-contaminated groundwater: antiprecipitation agent and electron donor for BRD

***Micaela Abruzzese*[1], *Laura Lorini*[1], *Bruna Matturro*[2], *Marco Petrangeli-Papini*[1]**

[1] *Sapienza University of Rome (speaker),* [2] *IRSA-CNR (Water research Institute of National Research Centre, Italy)*

Abstract

Groundwater remediation of aquifers contaminated by chlorinated solvents, particularly trichloroethylene (TCE), is traditionally based on pump-and-treat systems for plume containment and mass removal. Increasingly, sustainable remediation strategies promote groundwater recirculation technologies, such as Groundwater Circulation Wells (GCWs), which enhance groundwater circulation through low-permeability zones and improve the in situ distribution of electron donors and other amendments. Despite their operational advantages, both extraction/reinjection systems and GCWs are prone to mineral scaling caused by carbonate and sulfate precipitation, resulting in well-clogging, reduced hydraulic performance, and increased maintenance requirements. Citric acid is routinely applied as a biodegradable anti-precipitation reagent to prevent mineral precipitation and restore efficiency. However, its potential contribution to biological remediation has not been deeply explored, most of all for dechlorinating metabolisms. This study investigates the feasibility of exploiting citric acid as a dual-function amendment, combining precipitation control with the sustained delivery of reducing equivalents for Biological Reductive Dechlorination (BRD). Anaerobic batch experiments evaluated the fermentability of citric acid and its ability to sustain TCE dechlorination under conditions minimizing methanogenesis and sulfate reduction. Eight 250 mL batch reactors were operated using citric acid or lactic acid as electron donor under different buffering conditions and inoculated with a TCEacclimated enrichment culture, containing fermenters and *Dehalococcoides* spp. TCE depletion and the formation of dechlorination intermediates and end products were monitored by

headspace gas chromatography with flame ionization detection (GCFID).
Citric acid was readily fermented and effectively supported complete reductive dechlorination. Compared with lactate-amended reactors, citric acid promoted faster and more complete detoxification, achieving full conversion of TCE to ethylene within 13 days, whereas lactate-fed systems did not reach complete dechlorination during the first experimental period. Buffer composition significantly affected dechlorination kinetics and transformation endpoints, highlighting the influence of geochemical conditions on hydrogen availability and organohalide-respiring activity. These findings indicate that citric acid fermentation generates sufficient reducing power to sustain complete dechlorination by *Dehalococcoides* populations.
The proposed approach extends the conventional role of citric acid beyond well maintenance by demonstrating its potential as a sustainable indirect electron donor for BRD. Integrating antiprecipitation treatment with enhanced biodegradation may improve the operational efficiency and sustainability of groundwater remediation systems without additional consumable amendments. Ongoing microbiological and kinetic investigations will clarify the mechanisms involved and assess the long-term applicability of this integrated strategy under field-relevant conditions, conducting experiments in column flow reactors.

Keywords: Trichloroethylene (TCE), Biological Reductive Dichlorination (BRD), Citric acid, Groundwater Circulation Well (GCW) Dehalococcoides

Contacts: micaela.abruzzese@uniroma1.it, laura.lorini@uniroma1.it, bruna.matturro@cnr.it, marco.petrangelipapini@uniroma1.it

Closing the Loop on PFAS Remediation: On-Site Destruction of AFFF and PFAS-Impacted Waters Using HALT

Anderson Ellis, PhD[1], Brian Pinkard, PhD[1], Daniel Nelson, MSc[1]

[1] Aquagga, Inc.

Abstract

PFAS remediation relies on technologies that separate and concentrate PFAS from impacted matrices including groundwater, surface water, leachate, and AFFF-impacted sites. While these approaches support discharge goals, they do not destroy PFAS in the remediation-derived concentrates that remain. For site owners, airports, military installations, and professionals, this creates a need to move beyond PFAS capture alone and consider destruction options for these concentrates.

This presentation will discuss hydrothermal alkaline treatment, or HALT, as a destruction step within PFAS remediation treatment trains. HALT operates under subcritical water conditions with alkaline chemistry to destroy and mineralize PFAS in liquid waste streams, converting these toxic contaminants to benign salt products. The session will focus on field demonstrations where HALT was paired with upstream concentration technologies or applied to highly concentrated PFAS wastes, including AFFF.

Case studies include a closed-loop demonstration at an Air Force remediation site, where approximately 10,000 gallons of AFFFimpacted surface water collected in a retention pond were treated using foam fractionation and HALT. The project evaluated closedloop integration of foam fractionation and HALT systems to achieve EPA MCL discharge compliance in treated process effluent.

The presentation will also discuss an AFFF destruction demonstration at a DoD installation funded by the National Defense Center for Energy & Environment and coordinated with the U.S. Army Corps of Engineers Engineer Research and Development Center. This project evaluated HALT with a PFAS Effluent Treatment System for AFFF destruction followed by sorbent media polishing. Results showed total PFAS

reduction with a destruction and removal efficiency of 99.9996%, fluorine conversion to free fluoride, and capture of residual PFAS through secondary treatment.

A third case study highlights a centralized treatment demonstration completed with the Defense Innovation Unit. This work evaluated HALT across concentrated PFAS streams relevant to remediation and AFFF management, including foam fractionate, ion exchange brine, cyclodextrin regeneration brine, and AFFF concentrate. Results showed high PFAS destruction efficiencies across all matrices and PFAS subtypes, including PFAS precursors and short-chain PFAS. The project also evaluated how destruction technologies can support centralized or regional treatment models for PFAS-containing materials from active remediation sites.

These demonstrations will be discussed in the broader context of AFFF-impacted sites, AFFF stockpile management, and state-level takeback programs, including Aquagga's selection for Colorado's PFAS Takeback Program. A sustainability framework will also describe life cycle assessment concepts to compare on-site or regional HALT treatment with legacy off-site disposal pathways, including incineration. Analyses will evaluate the role of transportation, energy inputs, process conditions, and opportunities for system optimization as key factors that drive trade-off assessment between PFAS destruction performance, cost, and sustainability.

Attendees will gain a practical understanding of how PFAS destruction can be integrated into remediation treatment trains, how field demonstrations can inform technology evaluation, and how destruction-based approaches can support more efficient PFAS site management.

Keywords:PFAS destruction, hydrothermal alkaline treatment, AFFF, remediationderived concentrates, life cycle assessment

Contacts: anderson@aquagga.com, brian@aquagga.com, daniel@aquagga.com

Field Validation of Rapid Leaching Technology for PFAS Source-Zone Remediation in Clay-Rich Soils at a US Military Installation in Eastern North Carolina

Bryan Massa, LSP[1]*, Zeina Hinedi, PhD[2]

[1] HRP Associates Inc. (GWC HRP JV), [2] GreenWise Consulting LLC (GWC HRP JV)

Abstract

GWC HRP JV will present the results of a February 2026 field pilot study of Rapid Leaching Technology (RLT), a proprietary, patented system for remediating per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in soil. The technology uses a unique filtration system that allows soil to be fully saturated with water and then rapidly dewatered within a watertight containment cell constructed from geomembrane and geosynthetic clay liner materials. Large-bubble aeration mobilizes PFAS via air–water interfacial partitioning, generating a PFAS-enriched foam and micro-NAPL layer that is mechanically skimmed before the soil is rapidly dewatered. The resulting leachate is collected in a secondary watertight cell and pumped through an integrated wastewater treatment train, comprising cartridge filtration, foam fractionation, and mixed-media ion exchange/granular activated carbon polishing, for PFAS concentration ahead of destruction or disposal. Treated water is recycled and the process repeated as necessary. RLT is readily scalable and can be configured to manage weekly throughputs ranging from less than 100 cubic yards to more than 1,000 cubic yards.

Pre-pilot bench screening of composite soil from the pilot footprint (HRP 1:5C; ~8% clay by sieve analysis) using a Modified Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP) achieved 89% Total PFAS removal (EPA Method 1633) and 67% removal by the Total Oxidizable Precursor (TOP) Assay in a single simulated RLT cycle, consistent with prior benchtop studies documenting average per-cycle Total PFAS removal ranging from 89 to 93 percent and 94 to 100 percent removal of the five PFAS analytes currently regulated by EPA. The subsequent field-scale pilot, conducted at the study site, processed approximately five cubic yards of AFFF-impacted soil (initial Total PFAS concentration

>3.06 mg/kg). Excavation revealed substantially higher clay content, including highly plastic, sub-0.5-micron clay lenses, than the composite pre-pilot borings had indicated. This heterogeneity produced classic non-ideal transport behavior, elevated air– water interfacial trapping of PFAS within the expanded micro-pore network, colloid-facilitated transport of PFAS sorbed to suspended clay particles, and rate-limited diffusion from intraaggregate sorption sites, which initially stalled Total PFAS removal at approximately 70%. The RLT system's field adaptability proved decisive: real-time optimizations, including mechanical conditioning of the soil matrix to increase porosity, enlargement of aeration orifices, replacement of the sub-liner gravel with angular well sand to capture sub-micron particulates, and deployment of targeted flocculants to strip PFAS from suspended clay colloids, directly addressed each retention mechanism. These adjustments drove the final validated Total PFAS removal to 96%, reducing soil concentrations from >3.06 mg/kg to 0.12 mg/kg and exceeding the pilot's >90% removal benchmark. The residual fraction was concentrated in strongly sorbed, long-chain legacy PFAS (predominantly PFOS), consistent with its known affinity for clay mineral surfaces. These results demonstrate that RLT's integrated, multi-mechanism design, concurrently combining air–water interfacial mobilization, colloid capture, aggregate disruption, and rapid dewatering, provides a scalable, field-adaptable pathway for definitive PFAS source-zone treatment, including a clear path toward >99% removal at full scale through proactive test-pit characterization, integrated baseline conditioning, and surfactant- and pH-enhanced extraction.

Keywords: PFAS Remediation, Rapid Leaching Technology (RLT), Soil Washing, Clay-Rich Soils, Field Validation

Contacts: Bryan.Massa@hrpassociates.com, zhinedi@grnwise.com

Assessing industrial reconversion potential in brownfield sites: a GIS-MCDA approach for circular ecoindustrial district planning

***XXXXXX*[1]**

***Federico Pinzin*[1], *Mentore Vaccari*[1], *Laura Cutaia*[2], *Emanuela De Marco*[2]**

[1]DICATAM, University of Brescia, Via Branze 43, 25123 Brescia (speaker), [2]ENEA — National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, Via Anguillarese 301, 00123 Rome

Abstract

The transition of industrial systems towards circular eco-industrial district models is a key priority of the EU Circular Economy Action Plan and Green Deal. Brownfield sites represent a strategic opportunity: their reconversion reduces land consumption, reactivates local economies, and enables the creation of production platforms oriented towards industrial symbiosis and circular material cycles. In Italy, however, integrated brownfield management is hindered by the absence of a systematic and updated national inventory and by the lack of operational decision-support tools for identifying priority intervention areas, limiting the ability to plan coordinated actions under the National Plan for industrial symbiosis and eco-industrial districts.

This paper proposes a quantitative model for assessing the Industrial Reconversion Potential (PRI) of brownfield sites, integrating MultiCriteria Decision Analysis (MCDA) with GIS spatial processing, and producing a synthetic, comparable index for each analysed site. The PRI model is structured hierarchically across four macro-categories: Environmental Risk (contamination, SIN perimeters, hydraulic and hydrogeological hazards, proximity to water abstraction points); Productive Ecosystem & Synergies (potential integration with industrial symbiosis networks, proximity to waste/water treatment plants and AIA-authorised facilities); Accessibility & Infrastructure (distance from airports, rail freight terminals, and motorway junctions;

availability of utility networks); and Territorial Context (urban proximity, landscape constraints, site area).

The model was applied to 38 brownfield sites in the Province of Brescia, georeferenced and characterised through the integration of national public databases in GIS, including ISPRA data on National Interest Sites, PAI/PGRA hydraulic hazard maps, the AIA plant register, and provincial planning data, distributed across six Optimal Territorial Areas (ATO).

Keywords: brownfield; circular eco-industrial district; industrial symbiosis; multicriteria decision analysis (MCDA); GIS-based assessment

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

Modular treatment solutions for the elimination of short- and ultra-short-chain PFAS from contaminated groundwater

***Eleonore Morlas*[1], *Dr. Fajer Mushtaq*[2]**

[1] *Oxyle AG (speaker),* [2] *Oxyle AG*

Per- and polyfluoroalkyl substances, also known as PFAS, are a broad family of man-made fluorinated chemicals. While their heat-, water-, grease-, and oil-resistant properties have made them essential to various everyday products and industrial processes, many of these compounds are known to have negative effects on human health and the environment. While much toxicological research remains to be done, there is already strong evidence that exposure to some types of these chemicals impacts humans' thyroid, immune systems, and more[2]. A defining characteristic of PFAS is their carbon-fluorine (C-F) bond; it is one of the strongest in organic chemistry. The C-F bond gives PFAS their unique persistence and makes them resistant to natural degradation pathways. This persistence, combined with decades of use, has resulted in the widespread accumulation of PFAS in the environment[4].

Within this broad class of chemicals, PFAS vary in chain length. The length is defined by the number of carbon atoms, ranging from ultrashort (<C3) and short-chain (C4-C7) to long-chain (>C8). Each of these subgroups behaves differently. Among them, short- and ultra-shortchain PFAS pose a distinct challenge for water treatment operators. Their small size, increased mobility, and weak sorption affinity allow them to travel far beyond the original source of contamination and inhibit their removal by conventional water treatment techniques.

Until now, much research and regulatory attention has been given to long-chain PFAS such as Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) and Perfluorooctanoic acid (PFOA). However, short- and ultra-short chain PFAS, in particular Trifluoroacetic acid (TFA), have recently drawn heightened attention as new data reveals high concentrations of TFA in the environment. As regulatory frameworks expand beyond legacy

compounds to include these shorter-chain species, water treatment operators will confront technical limitations. Even as operators seek to remove these compounds from their water streams, many existing treatment systems are not designed to do so efficiently or cost-effectively.

We will present a modular treatment approach designed to address short- and ultra-short-chain PFAS across industrial wastewater and groundwater matrices. The modular treatment approach combines separation and destruction. The destructive step is driven by a photochemical reduction process, in which mediator chemicals are activated by UV light to permanently degrade and defluorinate short- and ultra-short-chain PFAS.

We will present results from a technical validation study demonstrating ~99% degradation of TFA in groundwater at an industrial site and ~99% degradation of PFBA in contaminated groundwater at a construction site. We will also examine cases where the integration of separation technologies, such as nanofiltration, can improve treatment performance and reduce energy demand, and outline results of our destruction technology at industrial scale. Overall, the findings offer a promising pathway to effectively combat short and ultra-short-chain PFAS compounds in water, helping to close an increasingly critical treatment gap.

Keywords: Groundwater Remediation, Industrial water treatment, Wastewater, PFAS, Environmental Compliance

Contacts: eleonore.morlas@oxyle.com, fajer@oxyle.ch

From cleanup cost to value creation: the business case for nature-based solutions at remediation sites

John A. Bleiler[1], Brad Koons[1], Phillipe Pouget-Abadie , Jason Weiss[1], Jen Molnar[1]

[1] AECOM

Abstract

We increasingly remediate legacy and emerging contaminants under constraints that demand more than regulatory compliance: owners expect durable performance, lower lifecycle costs, climate resilience, and visible community and ecological benefits. Conventional remedies can be energy-intensive, O&M-heavy, and vulnerable to climate and hydrologic extremes.

Nature-based solutions (NbS), interventions that use or mimic natural processes, offer a path to meet clean-up objectives while delivering co-benefits.

This paper will: (1) introduce key NbS concepts and terminology relevant to contaminated land and sediment management; (2) describe remediation-focused NBS such as monitored natural attenuation (MNA), monitored natural recovery (MNR), natural source zone depletion (NSZD), in situ bioremediation, passive bioreactors/biowalls, constructed/created wetlands, phytoremediation, biochar and organic amendments, and green-infrastructure-based source controls; (3) demonstrate how integrating ecological restoration with remediation improves protectiveness, resilience, and community outcomes; and (4) present a practical business case, articulating both tangible and intangible returns on investment, to inform portfolio-level and site-level choices.

NbS for remediation leverage intrinsic and engineered natural processes and can achieve risk reduction with lower energy and O&M intensity. Terminologies will be discussed at a high level: natural attenuation; natural source zone depletion for quantifying light non-aqueous phase liquid mass loss; in situ bioremediation; permeable reactive media; constructed/created wetlands as polishing systems; phytoremediation for plume control and rhizosphere degradation;

and soil/biomass amendments (e.g., biochar) to immobilize metals and rebuild soil function.

This presentation will discuss how restoration elevates remedy value. Vegetated covers, thin-layer placement, and living shorelines stabilize contaminants while creating habitat and reducing erosion. Riparian buffers, bioretention, and floodplain reconnection manage stormwater, extend cap life, and improve water quality. Urban greening (canopy trees, pollinator meadows) enhances biodiversity and livability, strengthening community acceptance and enabling co-funding. Designing for ecological corridors and public access can transform fenced liabilities into resilient assets, without compromising remedy performance.

The business case will be framed using economic and risk-reduction logic. Our experience indicates that NbS can meet or accelerate cleanup while lowering lifecycle cost and increasing resilience, particularly when integrated early and aligned with redevelopment goals.

A case study evaluation of increase in value of adjacent properties and tax ratables from using NbS and allowing access to a closed remediation site as a public park will be presented.

By aligning remediation performance with ecological restoration and community value, owners can secure resilient compliance, reduce lifecycle costs, access diversified funding, and strengthen project legitimacy. As climate and cost pressures intensify, NBS provide a pragmatic way to turn remediation sites into durable environmental assets.

Keywords: Remediation, Sustainable, Regenerative, Uplift

Rethinking Remediation Pathways: Comparative Performance of Conventional and Adsorptive Reactive Approaches

Lorenzo Sacchetti[1]

[1] *Carus*

The remediation of contaminated groundwater and soil is often challenged by contaminant rebound, matrix back-diffusion, and increasingly stringent cleanup criteria. Conventional remedial technologies, including In Situ Chemical Oxidation (ISCO), In Situ Chemical Reduction (ISCR), and enhanced bioremediation, are effective for contaminant mass reduction but may be limited by reagent depletion, finite treatment persistence, and reduced effectiveness in controlling rebound from residual source zones. These limitations are particularly evident at sites approaching remediation targets, where low residual contaminant concentrations can be difficult to reduce further.

Emerging adsorption and adsorption-destruction technologies offer a complementary approach by creating long-lasting reactive zones capable of sustained contaminant sequestration, degradation, and mass flux control. Their long-term persistence makes them particularly suitable for rebound mitigation, plume stabilization, and the treatment of low-concentration residual contamination. In selected settings, these technologies can also represent a costeffective alternative to conventional Pump-and-Treat systems, providing passive long-term control while supporting accelerated site closure objectives.

Special attention is given to injectable colloidal materials that combine contaminant sequestration with reactive treatment processes. These include colloidal activated carbon suspensions, activated carbon amended with zero-valent iron nanoparticles, colloidal iron oxides for metal immobilization, and Fe-zeolite systems capable of coupling adsorption and in situ oxidation. Once distributed within the aquifer matrix, these materials create long-lasting reactive zones that reduce dissolved contaminant mass flux, limit plume migration, and mitigate rebound associated with matrix diffusion and residual source release. Their application within permeable reactive barriers (PRBs) and source treatment programs is discussed as a complementary alternative to

conventional pump-and-treat systems and repeated oxidant injections.

Several field applications are presented to illustrate the performance of adsorptive-reactive remediation technologies under different site conditions. These include: (i) treatment of dissolved hydrocarbons and fuel oxygenates at an active service station in northern Italy, where colloidal activated carbon was used to achieve rapid concentration reductions; (ii) management of residual PAH contamination at a site approaching regulatory closure, demonstrating the effectiveness of adsorption-based approaches for low-level contamination and rebound control; and (iii) the use of injectable reactive media, including colloidal iron oxides and carbon–zero valent iron composites, for the treatment of inorganic contaminants such as arsenic and for the simultaneous adsorption and reductive dechlorination of chlorinated solvents. Together, these case studies highlight the versatility of adsorptive-reactive technologies for plume stabilization, long-term contaminant management, and accelerated site closure.

The presented evidence suggests that adsorptive-reactive technologies should be considered as complementary components of integrated remediation strategies rather than direct substitutes for destructive treatment processes. Their greatest value lies in plume stabilization, rebound control, mass flux reduction, management of mixed contaminant settings, and accelerated achievement of sitespecific remedial objectives. When combined with chemical oxidation, reduction, or bioremediation, these technologies can improve the overall efficiency, sustainability, and predictability of contaminated site management.

Contatti: Lorenzo.Sacchetti@carusllc.com

MIBIREM Project – Toolbox for Microbiome-based Remediation

***Pfeiffer Stefan*[1], *Donnerer David*[2], *Reichenauer Thomas*[1]**

[1] *AIT – Austrian Institute of Technology (speaker),* [2] *RTDS Association*

Abstract

Hundreds of thousands of sites across Europe are severely contaminated with organic pollutants, posing substantial risks to human health and ecosystems. Conventional remediation technologies are frequently too costly, energy-intensive, or inefficient, creating an urgent need for innovative, sustainable solutions. The EUfunded MIBIREM project addresses this challenge by developing a comprehensive MIBIREM Toolbox that harnesses the power of environmental microbiomes for highly efficient bioremediation. Microbiomes in soil and groundwater naturally produce enzymes capable of degrading a wide range of organic contaminants. Building on this potential, MIBIREM integrates advanced molecular methods, isolation and cultivation techniques, quality criteria for microbiome deposition, and targeted improvement strategies such as laboratory evolution, enrichment cultures, and microcosm testing. The Toolbox provides a complete set of tools for understanding, monitoring, optimizing, and applying microbiomes in environmental settings.

Three key use-cases drive the development and validation of the Toolbox: Degradation of cyanides; remediation of hexachlorocyclohexane (HCH); treatment of petroleum hydrocarbons (PHC).

Project activities begin with extensive sampling of contaminated sites to isolate active degrading microbiomes and generate data for a predictive decision-support tool. Promising microbiomes and individual strains are isolated, characterized, deposited, and enhanced through directed evolution. The performance of selected microbiomes is then evaluated in pilot-scale tests under real field conditions. By combining cutting-edge molecular monitoring with practical microbiome engineering and field validation, the MIBIREM Toolbox enables more efficient, cost-effective, and sustainable bioremediation solutions. This integrated approach will support site

managers, regulators, and industry stakeholders in implementing microbiome-based technologies across Europe and beyond. The presentation will showcase the main components of the MIBIREM Toolbox, highlight results from the three use-cases, and discuss pathways for broader adoption of microbiome applications in environmental remediation.

Keywords: bioremediation, microbiomes, contaminated sites, toolbox, cyanides, HCH, petroleum hydrocarbons, EU Horizon project.

Contacts: stefan.pfeiffer@ait.ac.at, donnerer@rtdsgroup.com, Thomas.reichenauer@ait.ac.at

Ozone-Based In Situ Chemical Oxidation (ISCO) for Deep PCB Source Zone Remediation: Design and Field Pilot Test at the SIN Brescia-Caffaro (Italy)

Project Manager Emilio Cucciniello,

[1] *Greenthesis Spa*

Abstract

The In Situ Chemical Oxidation (ISCO) pilot test, developed and carried out by Greenthesis S.p.A., is being implemented in the area formerly occupied by the Polychlorinated Biphenyl (PCB) production facilities at the Ex Caffaro industrial site, within the Brescia-Caffaro National Site of Priority Interest (SIN). The pilot test aims to assess the effectiveness of ozone as an oxidizing agent for the degradation of PCBs present in deep soils, in preparation for the full-scale application envisaged in the Final Design. The trial will provide essential operational parameters, including the radius of influence of the injections, operating pressures, oxidizing solution concentration, and the amount of reagent required, taking into account both adsorbed and dissolved contamination as well as reactions with the natural soil matrix. The study will also evaluate reaction rates, ozone persistence in the subsurface, and material compatibility, including the experimental verification of PVC piping.

The test area includes the installation of four 2-inch injection wells, screened between 23 and 26 m below ground level, and three monitoring piezometers extending to a depth of 32 m. The equipment used is the same as that planned for the full-scale remediation system and includes oxygen generation units, an ozone generator with a production capacity of up to 450 g/h, an ozonation system, and reinjection of ozonated water. The operational programme comprises an initial start-up phase using non-ozonated water, followed by four stages with progressively increasing flow rates and ozone concentrations. Each injection well will receive approximately 83 kg of ozone over an injection period of 23 days.

The effectiveness of the process will be assessed through a comprehensive monitoring programme conducted before, during, and after the pilot test, including groundwater level measurements, groundwater physicochemical analyses, soil gas monitoring, and

laboratory analyses of groundwater and soil samples. The results, expected by September, will verify the capability of the ISCO process to enhance PCB removal and optimize the design of the full-scale remediation, reducing design uncertainties while improving the overall effectiveness and sustainability of the planned intervention.

Keywords: In Situ Chemical Oxidation (ISCO); Ozone Remediation; Polychlorinated Biphenyls (PCBs); Contaminated Soil; Full-Scale Remediation Design.)

Contacts: emilio.cucciniello@greenthesisgroup.com (+39 3453941897),

Large-Scale Application of Thermal Conduction Heating (TCH) and in situ integrated remedation strategy: the Area Tremonti Case Study

Alessandro Principalli[1], Paola Gigli[1], Damiano Belli[1]

[1] Monti S.r.l.

Abstract

Within the National Site of Interest (SIN) of Bussi sul Tirino (Italy), Tre Monti S.r.l. is carrying out the environmental remediation of the Tre Monti Site, a 3-hectare area located at the confluence of the Pescara and Tirino rivers. The site is characterized by a complex hydrogeological setting and the presence of sensitive infrastructure, including a highway viaduct adjacent to the remediation area.

The remediation strategy is based on a progressive and integrated approach aimed at the complete environmental restoration of the site. The program includes an in situ thermal desorption pilot test using Thermal Conduction Heating (TCH), waste removal activities, site-specific investigations, and the design of full-scale remediation plans.

The initial phase involved waste removal from the southern sector of the site and execution of the TCH pilot test. More than 56,000 m³ of material, corresponding to over 100,000 tonnes of waste, were excavated and managed, with more than 85% classified as non-hazardous.

The pilot test represented a key step in validating the selected remediation technology. Results demonstrated high treatment effectiveness, achieving an average contaminant reduction of 97.5%. Residual contamination detected within specific stratigraphic horizons required additional investigations and refinement of the Site Conceptual Model (SCM), providing the basis for optimization of the full-scale design.

The final remediation strategy combines in situ TCH with diaphragm wall structures providing geotechnical, hydraulic, and environmental containment. Thermal treatment will be applied to approximately 29,600 m³ of contaminated soil over an area of 6,160 m² divided into

seven operational sectors. Treatment depths range from 10 to 15 m below ground level, depending on contaminant distribution and local stratigraphy.

To ensure complete contaminant mobilization and extraction, heating will extend from the top of contamination to approximately 1.5 m below the contaminated interval. The treatment system includes about 800 vertical elements comprising heating wells, monitoring points, and vapor extraction systems. Each heating element will be coupled with a dedicated vapor extraction point to prevent contaminant recondensation.

A diaphragm wall system, up to 200 m long and 22 m deep, will be constructed to minimize potential impacts on the adjacent highway viaduct and to enable the safe removal of an additional 72,000 m^3 of waste in the northern sector of the site.

The Tre Monti project represents a significant application of TCH technology in a challenging setting characterized by deep soil contamination (8–15 m bgl) beneath a historical waste deposit up to 7 m thick. The integration of detailed site characterization, source removal, containment structures, and thermal remediation provides an effective approach for the restoration of contaminated sites of national significance.

Summary of International Sustainable Remediation Initiatives

Fabio De Palma[1], Claudio Albano[2], Nicola Harries[3]

[1] SuRF Italy - TAUW Italia - Corresponding Author.
[2] SuRF Italy - Jacobs
[3] International Sustainable Remediation Alliance (ISRA) - CL: AIRE UK

Abstract

Sustainable Remediation has become an established component of contaminated land management in many parts of the world. However, the level of adoption, regulatory integration, and practical implementation continues to vary significantly across countries and regions. International networks have played a key role in promoting common principles, sharing lessons learned, and supporting the development of tools and frameworks that help practitioners balance environmental, social, and economic outcomes during site remediation.
The central focus of the presentation will be the findings of a new international online survey promoted by SuRF Italy with the support of ISRA and addressed to international organizations dealing with Sustainable Remediation. The survey aims to collect information about organizations' structures, membership, and different initiatives that they are working on, including experiences from Europe, North and South America, Asia-Pacific, and Africa. The session will highlight recent developments, emerging trends, and common challenges.

Based on the survey results, the presentation will provide a snapshot of the current state of Sustainable Remediation worldwide and discuss opportunities for greater alignment, collaboration, and measurable impact in support of global sustainability objectives.

Full scale project with a combined in situ surfactant enhanced flushing and chemical oxidation technology for the remediation of organic compounds

G. Piepoli [1]

[1] *A.S.T.C. Remediation srl*

Abstract

According to the Italian Environmental Law (D.Lgs. 152/06, Art. 243) it's possible to inject reagents and recirculate them, as long as the contamination is kept under control and no further pollution is generated.

We've developed a combined technique, based on the application of physical and chemical remediation approaches: • In Situ Surfactant Enhanced Flushing Technology, • In Situ Chemical Oxidation Technology.

The critical factor when undertaking an in situ remediation process, is achieving close contact between reagents and contaminants. System efficiency depends on the ability to overcome electrochemical reaction bonds and the physical constraints imposed by the soil. This solution increases soil and groundwater treatment, reduces site impact, saves time and costs and meets an inflexible remedial goal. A pre-treatment takes the recalcitrant compounds in account: hydrophobic contaminants are solubilized in water through the use of a site-specific surfactant.

Applying a microemulsion allows to extract easily the contaminants. The residual organic mass is then oxidized.

By definition, oil and water phases are immiscible. The role of the amphiphile is to reduce the miscibility gap, until the three components of surfactant-oil-water (SOW) are solubilized into a microemulsion. Across various projects, we have studied and implemented a synergistic solution as an injection and extraction system for in situ soil flushing (ISSF), utilizing Surfactant-Enhanced Oil Recovery (SEOR) technology adapted from the extractive industry.

The aqueous surfactant solution improves soil wettability while simultaneously promoting the solubilization of substances adhering to

the soil or those with low solubility, facilitating their removal via a localized extraction system. Subsequently, an in situ chemical oxidation (ISCO) process is applied to meet remediation targets. To this end, we designed, built, and patented a semi-automated system with functions that can be regulated and monitored from a remote-control station.

The site is a manufacturing facility involving mechanical operations, turning and electroplating, that require a highly skilled workforce. All equipment, systems, and machinery are numerically controlled and operate in a closed-loop system, recovering both processing waste and coolant/lubricant fluids.

The site presents a mix of different types of contamination:

- Hexavalent chromium;
- Chlorinated solvents;
- Hydrocarbons.

The Client has undertaken an ambitious and highly complex project involving both synergistic (ISCO/ISSF) and antagonistic (ISCO/ISCR) insitu processes to achieve remediation goals without disrupting production activities.

The extracted water treatment plant operates with an average efficiency of 99.95%: the influent water has a hydrocarbon content exceeding 2 g/L, whereas the post-treatment level averages 73 µg/L. The DNAPL thickness progressively decreased to a few millimeters before disappearing completely in the areas where the oxidation pilot test was conducted.

No changes in hexavalent chromium concentrations occurred during the pilot test, thanks to the dual action of source oxidation and plume reduction.

Keywords: soil and groundwater reclamation; surfactant enhanced remediation; combined physical and chemical remediation

Contacts: *guidopiepoli@astc.it*

PFAS Removal from a Highly Contaminated Groundwater Site: Pilot-Scale Performance of a Novel Adsorption Media Compared with Activated Carbon

Matteo Dei[1]*, Silvia Cattarino[3], Jamie Dawson[2], Raul Mucciolella[3], Paolo Renold[3]

[1] Geostream Iberica SL; [2]Geostream S.r.l.; [3]Puraffinity, UK: Jamie Dawson

Abstract

Granular activated carbon is currently the most widely used treatment media for PFAS-contaminated groundwater; however, its environmental footprint associated with production, transport and thermal regeneration or disposal, raises growing sustainability concerns. In this context, Geostream, in collaboration with Puraffinity, conducted pilot-scale trials to evaluate the performance of an innovative treatment media for PFAS removal (G400+) from contaminated groundwater in North-Eastern Italy, comparing its effectiveness with a conventional activated carbon blend under real operating conditions. The G400+ can operate at Empty-Bed-Contact-Times (EBCT) as low as 30 seconds, enabling PFAS treatment systems with significantly reduced media volumes and footprint vs Activated Carbon. The pilot test was performed by diverting a continuous groundwater flow upstream of an existing treatment plant into a dedicated filtration unit consisting of two filters installed in series. Following treatment, the water was returned to the main process to ensure compliance with discharge requirements and operational continuity.

Although the trial is still ongoing, its first phase was completed in April 2026, and this paper presents the results obtained and the analyses carried out to date. Preliminary data shows >99.9% removal of PFAS 4 and >92% removal of PFAS 20 after 2 months of operation: influent concentrations of 3.9–9.3 µg/L (Sum of PFAS, dominated by PFOA) were reduced to <0.10–0.32 µg/L in the effluent, with the four priority PFAS consistently below quantification limits. Short-chain compounds (primarily PFBA) showed the earliest breakthrough, a limitation common to adsorption-based technologies.

These findings are particularly relevant in the light of the evolving European regulatory framework. Directive (EU) 2020/2184 sets harmonised sum-based parameters for PFAS in drinking water ("Sum of PFAS": 0.10 µg/L; "PFAS Total": 0.50 µg/L, binding since January 2026), but national transpositions differ significantly across Member States. Spain, "Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo", monitors the sum of the 20 PFAS defined by the Directive, in line with several other European countries. Italy, driven by some of the most severe contamination cases in Europe, has adopted a multi-layered approach: an extended "Sum of PFAS" list of 30 compounds, an additional limit of 20 ng/L for the sum of four priority PFAS (PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS), a dedicated limit for TFA, and individual threshold values for groundwater within the site-remediation framework. This regulatory heterogeneity means that the performance requirements for treatment technologies, including which compounds must be targeted and to what levels, vary substantially across Europe, reinforcing the need for flexible, sustainable and effective alternatives to activated carbon for groundwater remediation.

Keywords: Geostream; Puraffinity; per- and polyfluoroalkyl substances; groundwater remediation; granular activated carbon; short-chain PFAS; EU Drinking Water Directive; pilot-scale trial

Coupled hydro-thermal model to support feasibility study of a new thermal energy plant

Giorgio Volpi[1], Elena Leale[1], Glenn Deleener[2], Joris Nackaerts[2]

[1] AECOM Italy, [2]AECOM Belgium

Abstract

An open-loop Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) system was proposed to improve the energy efficiency of an industrial site in Belgium undergoing active groundwater remediation. The preliminary design of the ATES system consisted of four doublets of geothermal wells that pump and simultaneously re-infiltrate groundwater to extract or store thermal energy in or from the subsurface by changing ground and groundwater temperature (open ATES).

The water bearing formations, predominantly sandy deposits, are generally highly permeable and have a cumulative thickness of approximately 100 m. The geothermal doublets are fully penetrating the main aquifer.

Groundwater beneath the site is affected by a plume of chlorinated organic solvents and is currently undergoing active remediation through a combination of pump-and-treat, two-phase extraction and groundwater circulation wells.

Because groundwater remediation is still ongoing, the potential interaction between the proposed ATES system, contaminant migration and remediation performance required detailed assessment. A coupled groundwater flow and heat transport model was therefore developed in FEFLOW to evaluate possible hydraulic, thermal and contaminant-related impacts and to support the optimization of the ATES design to minimize/avoid any potential impact.

To evaluate ATES system long term thermal and hydraulic impact, predictive simulations were run under transient (time-dependent) conditions over a 20-year simulation period with a weekly-based time-stepping scheme. Potential impacts were evaluated in terms of groundwater drawdown and mounding, thermal plume evolution, contaminant migration pathways, and the long-term performance of the existing groundwater remediation system.

From a hydraulic point of view, during operation of the ATES system, groundwater levels increase during reinjection and decrease during abstraction, with the highest rise of about one meter at the time of maximum injection rates (i.e. end of the winter season). Away from the ATES well field negligible hydraulic interference was predicted between the ATES system and nearby licensed groundwater abstraction wells.
From a thermal point of view, after approximately 20 years of operation, thermal conditions approached quasi-steady behaviour, indicating stabilization of the thermal plume and limited longterm thermal expansion.

The influence of the ATES system on the contamination was evaluated using forward particle tracking from plume areas based on the current contaminant distribution. Forward particle tracking indicated no hydraulic connection between the contaminated plume and the ATES capture zones. Therefore, the simulations indicate that the proposed ATES installation is compatible with the ongoing groundwater remediation activities and is not expected to significantly affect contaminant migration or remediation efficiency.
The modelling approach demonstrates the value of coupled hydro-thermal numerical simulations as a decision-support tool for the safe integration of ATES systems within contaminated industrial sites undergoing groundwater remediation.

Contatti: giorgio.volpi@aecom.com

Design and construction of a mobile soil washing plant according to the Best Available Techniques: the experience of Ecoblu S.r.l.

Francesco Girolimetto (speaker), Antonino Roncone, Antonello Della Nebbia, Michele Biscaro

[1] *Ecoblu S.r.l.*

Abstract

In recent years, the remediation market has expressed a growing demand for treatment solutions capable of combining environmental effectiveness, economic sustainability and consistency with the principles of the circular economy, within a regulatory framework that progressively restricts the dig-and-dump approach based on excavation and landfill disposal. In this context, soil washing is recognised among the Best Available Techniques (BAT) for the treatment of soils and sediments contaminated by heavy metals, hydrocarbons and other pollutants that tend to concentrate in the fine fraction of the solid matrix.

Ecoblu S.r.l. has developed a distinctive experience in the design and construction of a mobile soil washing plant, fully engineered according to the BAT reference documents and conceived for rapid, direct deployment at contaminated sites. The plant consists of modular, containerised and easily transportable units, allowing installation and start-up within a few days and flexible adaptation to site-specific constraints. The treatment train includes preliminary screening of oversize material, attrition and washing units for the mechanical disaggregation of aggregates and the transfer of contaminants to the liquid phase, wet classification by means of vibrating screens and hydrocyclones for the separation of the gravel and sand fractions, and a dedicated section for the management of residual sludge. Process water is continuously treated by a dedicated chemical-physical section and recirculated in a closed loop, minimising make-up water consumption and avoiding liquid discharges.

This configuration allows the coarse and sandy fractions, which typically represent 70–90% of the treated material, to be recovered as

clean, reusable products, limiting disposal to the residual sludge only. The on-site approach drastically reduces heavy vehicle movements, with direct benefits in terms of CO2 emissions, traffic, costs and risks associated with the off-site transport of contaminated soils. Continuous monitoring of process parameters and of the quality of the output fractions ensures the traceability and reliability of the overall performance.
The experience gained by Ecoblu S.r.l. in the engineering and construction of the plant demonstrates that mobile soil washing represents a mature, competitive and sustainable alternative to landfill disposal, fully consistent with the BAT framework and with the objectives of national and European strategies for the sustainable management of contaminated sites. The contribution will present the design criteria, the technological layout and the performance of the plant, highlighting the lessons learned and the potential for replicability across a wide range of remediation projects.

Keywords: soil washing; mobile treatment plant; Best Available Techniques (BAT); sustainable remediation; circular economy;

Contacts: Francesco Girolimetto (+39 349 8203018, speaker), Antonino Roncone (+39 329 0460692), Antonello Della Nebbia (+39 340 5028159)

Passive sampling: A useful tool in the food gathering basket

Brendon Love[1]

[1] *Australasian Land and Groundwater Association*

Abstract

Kai moana (seafood), in particular tuna (eel) is a highly prized food source for many Māori in Aotearoa New Zealand. The traditional hunting and gathering of wild food presents an opportunity for cultural knowledge to be passed from one generation to the next, bonding family members and strengthening cultural values within Māori communities. This in turn leads to better wellbeing and health outcomes within these communities.

The discharge of persistent contaminants into the environment has the potential to disrupt cultural food gathering practices. In many cases this can lead to 'rahui' or bans on gathering 'mahinga kai' due to potential contaminants. It is therefore essential to determine uptake rates of these contaminants and use this data to predict tissue concentrations to ensure human health effects are accurately assessed, and to support informed environmental management and remediation decisions.

This presentation shares two applied case studies demonstrating how passive sampling can provide a practical line of evidence for assessing contaminant bioavailability, refining conceptual site models, and supporting transparent risk communication in contaminated sediment and groundwater projects. The objective is to provide transferable technical knowledge that can support site characterisation, exposure assessment, remediation planning and stakeholder engagement.

The first case study considers dioxin-impacted sediment associated with stormwater discharges from a former sawmill that historically treated timber using pentachlorophenol (PCP). Elevated fish tissue concentrations resulted in a rāhui on fishing and created a need to better understand the relationship between sediment contamination, bioavailability, and potential uptake into aquatic species. Reducing this

uncertainty was important for both risk assessment and future management decision making.

The case study highlights a common challenge for practitioners: fish residence time, uptake rates, migration, and mortality can make it difficult to directly link total sediment concentrations with tissue concentrations and human health risk.

Sediment samples were analysed for total dioxins and total organic carbon, while SP3™ passive samplers were used to estimate freely dissolved concentrations in sediment (Cfree). The work demonstrates how passive sampling can complement conventional sediment and tissue data by providing an additional line of evidence for contaminant fate, exposure assessment, and risk communication, and for refining remediation and management strategies.

The second case study considers PFAS-impacted shallow groundwater and lakebed sediment associated with historical fire-fighting foam use. PFASsive™ passive samplers were installed at source-area and control locations to assess PFAS concentrations in sediment porewater where uptake into local mahinga kai was uncertain and of concern to the community. This example illustrates how passive sampling can support emerging contaminant investigations where conventional sampling does not fully resolve exposure pathways.

The case studies demonstrate that passive sampling can provide a practical and defensible method for assessing the bioavailable fraction of persistent contaminants where total concentrations alone may not adequately explain exposure or risk. For industry practitioners, the key value lies in using passive sampling as part of a multiple-lines-of-evidence approach to refine conceptual site models, improve exposure assumptions, and support more targeted investigation and management decisions. Key transferable lessons include:

- Passive sampling can help bridge the gap between total contaminant concentrations and the fraction that is available for uptake in water, sediment, and porewater.
- Cfree and porewater data can strengthen risk assessments by improving contaminant fate, transport, and exposure interpretation, and improve confidence in remediation or management options.
- Passive sampling can reduce uncertainty where tissue sampling is difficult, culturally sensitive, or affected by species behaviour, migration, age, residence time, or mortality.

- Clear communication of bioavailability results can support transparent decision-making with regulators, site owners, iwi/hapū, and communities where mahinga kai, rāhui, and cultural wellbeing are central to risk management.

Attendees will leave with practical guidance on the application of passive sampling to contaminated land and groundwater investigations, risk assessment, remediation planning and stakeholder communication.

Keywords: Passive sampling, bioavailability, Cfree, PFAS, dioxins, mahinga kai, contaminated sediment, groundwater, risk assessment, food-chain exposure

Contacts: blove@hailenvironmental.co.nz

edizioni
Consiglio Nazionale delle Ricerche
Pubblicato in [settembre 2026]
Prima edizione