



L'INNOVAZIONE PER LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE NELL'EPOCA DELLA MULTITRANSIZIONE

A cura di
Vito Felice Uricchio, Silvia Paparella, Marco Falconi

Con le prefazioni del Ministro
Gilberto Pichetto Fratin,
del Sottosegretario **Vannia Gava**
e del Commissario **Giuseppe Vadalà**



Società
Chimica
Italiana



**L'innovazione per la sostenibilità ambientale
nell'epoca della multitransizione**

RemTech Expo 2023
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, Cesare Ferone, Antonello Fiore, Massimiliano Lega, Michele Macaluso, Benedetto Nappi, Silvia Paparella, Fabio Pascarella, Cinzia Pasquale, Aldo Papotto, Marco Petrangeli Papini, Francesco Pirozzi, Andrea Sconocchia, Gianluca Selicato, Stefano Sorvino, Fabio Trincardi, Maria Cristina Tullio, Vito Felice Uricchio, Giuseppe Vadalà, Igor Villani, Gianluca Farinola

Direttore scientifico

Vito Felice Uricchio

Curatori

Vito Felice Uricchio, Silvia Paparella, Marco Falconi

Direttore editoriale

Sara Di Marcello

Consiglio Nazionale delle Ricerche

© Cnr Edizioni, 2023

Piazzale Aldo Moro, 7 - 00185 Roma

ISBN 978 88 8080 574 8 (edizione stampa)

ISBN 978 88 8080 575 5 (edizione elettronica)

@ Grafica di copertina: [Roberta Lamaddalena]

Finito di stampare nel mese di settembre 2023

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

Prefazioni

Il contributo scientifico e l'avanzamento tecnologico sono i perni dell'azione contro il "climate change" e le sue conseguenze sul territorio.

Nel contesto europeo e globale, che cerca di dare una risposta risoluta alle grandi questioni ambientali, il nostro Paese non è solo un attore attivo e partecipe: sta piuttosto disegnando, anche attraverso il Piano Nazionale Integrato Energia e Clima, nuovi ambiziosi modelli di azione, per un'affermazione concreta della sostenibilità come risposta di sistema alla crisi climatica.

Alla base di ogni programmazione deve esserci il confronto sul piano scientifico e l'opera sinergica per predisporre strumenti nuovi e modalità di protezione dei territori, che utilizzino proficuamente le risorse del PNRR, i fondi strutturali e tutti gli strumenti predisposti dal governo.

Non può esserci sviluppo, insomma, senza un territorio sicuro, risanato, che abbia chiuso i conti con un passato di inquinamento e di cattiva gestione dell'ecosistema.

La forza che tiene unite le nostre comunità, lo abbiamo visto ancora una volta in drammatici fatti alluvionali recenti come quelli in Emilia-Romagna, si manifesta anche nella ricerca delle soluzioni tecnologiche inedite. Tanti organismi, nell'ambito dei confini delle rispettive competenze istituzionali, possono e debbono fare la propria parte.

Il presente volume e le giornate di RemTech costituiscono, ogni anno un'importante base di ricerca, elaborazione e rappresentazione di possibili soluzioni sui temi del risanamento, della rigenerazione, della transizione ecologica.

La comunità di RemTech, che ho avuto modo di conoscere e apprezzare, si compone di straordinari professionisti pubblici e privati, che condividono riflessioni, studi, ricerche e progettualità in sede nazionale ed internazionale: un contributo non certo limitato alla sola manifestazione fieristica, ma attivo 365 giorni l'anno per dare soluzioni e importanti spunti al decisore pubblico.

Quando parliamo di multi-transizione, evochiamo dunque una trasformazione nell'innovazione chiamata innanzitutto a convergere su ambiziosi obiettivi per salvaguardare la Terra e le sue risorse, in un percorso di sostenibilità ambientale, economica e sociale.

Tra i temi su cui più abbiamo lavorato in questi mesi di governo c'è il raggiungimento dell'autonomia energetica come fattore di sicurezza per i cittadini, guardando a un futuro di fonti pulite alternative che stiamo costruendo già oggi, con un forte avanzamento nel campo delle rinnovabili.

Il tema di questa edizione ci invita a riflettere sulla centralità della multi-transizione e sul ruolo che possa svolgere per mobilitare quante più risorse per gli obiettivi di crescita sostenibile.

Senza ideologie, dobbiamo realizzare transizioni autenticamente "verdi", che abbiano solide radici nella certezza scientifica e rami proiettati verso le migliori tecnologie, traguardando a un orizzonte di responsabilità verso il nostro Paese, il Pianeta e le nuove generazioni.

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

L'importante impegno nelle multitransizioni di questo governo è evidente nell'incessante lavoro che il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica svolge nel conseguimento dei Milestones e dei Target UE previsti dal PNRR, ma anche nel sostegno ad importanti progettualità ispirate da leve d'innovazione.

Impegnativo e gravoso, ma assolutamente indispensabile, si è rivelato l'intervento sul fronte della semplificazione, che ha introdotto numerose riforme per velocizzare gli iter ed agevolare le imprese, tenendo ben saldo il principio della sinergia e del confronto costante con gli stakeholder.

Un percorso incentrato sul consolidamento e il rafforzamento dei diritti fondamentali della persona e delle imprese al fine di favorire un rilancio dell'economia basato sulla sua diversificazione e sull'apertura. Il MASE, in tale direzione, svolge un ruolo attivo rappresentando la sede di un coordinamento importante, che promuove capacità di ascolto e di mediazione nel rispetto dei diversi ruoli istituzionali, con l'obiettivo di far prevalere le esigenze di semplificazione, celerità ed efficienza nell'attuazione degli interventi.

La semplificazione costituisce il perno principale attorno al quale tutto ruota, compreso il percorso di transizione giusta, per abbattere tempi e modalità di accesso alle risorse. Gli importanti stanziamenti resi disponibili devono essere spesi in fretta in azioni concrete e strategiche; come Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza energetica stiamo lavorando intensamente anche all'accorpamento gli adempimenti in capo alle imprese.

Strategica è anche la semplificazione delle procedure per lo sviluppo delle energie rinnovabili e per l'idrogeno, elemento che è alla base della transizione energetica giusta, quella che, come sostengo da sempre, non deve penalizzare le nostre imprese ma, al contrario, deve accompagnarle nel processo di riconversione con gradualità ed in tempi congrui.

Le eccellenze nazionali della ricerca e dell'innovazione ci consentono di detenere le chiavi essenziali per promuovere ambiziosi obiettivi quali la de-carbonizzazione del pianeta, anche attraverso la produzione di energia pulita e la sua efficace distribuzione, e pigiando il tasto

dell'economia circolare, che apre nuovi e promettenti orizzonti per la produzione di quote crescenti e vitali di materie prime seconde, indispensabili per l'economia nazionale e dell'UE, oltre che per l'occupazione.

Le necessità derivanti dai mutamenti climatici devono ispirare una crescita inderogabilmente compatibile con l'ambiente e con l'equità sociale, evidenziando già oggi l'importanza dello stretto legame che intercorre tra comportamenti civili virtuosi e decisioni di governo adeguate.

L'economia circolare, la valorizzazione delle risorse, la ricerca dell'autonomia e dell'indipendenza energetica, la bonifica delle aree dismesse, la riqualificazione dei centri urbani e delle periferie, la riduzione dei materiali inquinanti, la tutela delle acque interne, dei mari e della biodiversità con l'apporto delle tecnologie più evolute, sono tutti ambiti strettamente interconnessi.

Solo tenendo insieme crescita culturale delle comunità come RemTech, progresso scientifico e scelte politiche coerenti riusciremo a realizzare un'importante multitransizione nel segno dello sviluppo, della trasparenza e della legalità, a vantaggio dei cittadini.

Viceministro al MASE
On. Vannia Gava

Nel novembre del 2019 il Parlamento europeo ha votato e ha dato mandato alla Commissione europea di assicurare e predisporre un piano affinché nel 2050 l'Europa possa essere il primo continente a impatto climatico zero; questo preciso impegno la Commissione lo ha tradotto nel piano denominato Green Deal europeo approvato dal Parlamento il 21 giugno del 2021 che prevede la riduzione entro il 2030 del 55 % delle emissioni e il raggiungimento della neutralità climatica nel 2050.

Da appena due anni quindi le politiche europee e nazionali dei singoli Stati Membri sono orientate in modo deciso verso questo traguardo che ha consentito già in ogni Paese di realizzare un ambiente più salubre per la vita degli uomini e delle donne sul Pianeta ma soprattutto di essere dei buoni antenati quindi lasciare alle generazioni future un ambiente con standard di vivibilità elevati.

Il Green New Deal è stato adottato a seguito della sottoscrizione avvenuta il 25 settembre del 2015 da parte di 193 Paesi Membri delle Nazioni Unite dell'Agenda 2030 che è costituita da 17 obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile – Sustainable Development Goals, SDGs a cui a sua volta fanno riferimento 169 target associati da raggiungere entro il 2030.

Sicuramente le vicende geopolitiche che stanno sconvolgendo l'Ucraina e coinvolgendo l'Europa e il Pianeta intero attraverso anche i mutati flussi energetici e del grano che intaccano la vita di ogni cittadino, stanno influenzando la velocità con la quale si vorrebbero raggiungere gli obiettivi del Green New Deal.

D'altra parte, cercare di raggiungere la neutralità climatica da parte dell'Europa non è solo una questione di tutela e gestione delle risorse naturali per i nostri figli ma potrebbe consentire all'Europa come nei secoli scorsi di potere conseguire un vantaggio competitivo questa volta in termini di sostenibilità ambientale, sociale e economica rispetto a altre grandi aree d'influenza del Globo che sono impegnate nello sviluppo del PIL e non del BES.

Ho ritenuto necessario proporre questa premessa per dare valore e risalto all'opera che anche quest'anno HuTTE - l'Hub per la Transizione Tecnologica Ecologica propone alla Comunità scientifica nazionale e internazionale in occasione della XVII Edizione di RemTech - Hub Tecnologico Ambientale di Ferrara Expo.

Il Green New Deal per potere essere attuato necessita di azioni e pensiero anzi di azioni ispirate da un'analisi conoscitiva dei processi da realizzare, per cui proporre ogni anno attraverso una call più ampia

possibile il meglio che la Comunità scientifica idea e sperimenta nei laboratori e divulgarlo a Ferrara nel corso della consueta tre giorni di settembre dove il fare si unisce e si cimenta con il pensiero, è un'attività e una passione che ci fa essere concreti e ci consente ogni anno di misurarci con la realtà e con i contesti dove le innovazioni devono trovare applicazione.

In questo senso i due autori sono autorevolissimi rappresentanti del fare attraverso la passione e del credo attraverso l'applicazione della Tecnologia quale strumento di trasformazione e creazione di nuovi prodotti e processi che questa volta devono servire a rendere più vivibile il nostro Pianeta e regolamentare l'uso delle risorse terrestri.

Quindi grazie al Prof. Vito Uricchio del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Bari e alla Dott.ssa Geologa Silvia Paparella, Amministratore Delegato di Ferrara Expo per questa alta opera di condivisione e disseminazione del sapere tecnologico moltiplicatrice di dibattito che rappresenta con le decine di contributi di alto valore scientifico proposti il meglio che abbiamo nel nostro Paese per potere fare sostenibilità e quindi non fermarci ma continuarci in modo più condiviso e più utile per conservare la vita sul nostro Pianeta Terra

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

Premesse

La transizione ecologica e lo sviluppo sostenibile sono concetti intimamente connessi tra loro e profondamente trasversali, che si riferiscono ad un cambiamento fondamentale nella visione della crescita economica e dello sviluppo. Al momento in cui siamo, non esiste altra possibilità che immaginare un modello di sviluppo che non sia sostenibile in un percorso trova importantissimi elementi di conferma e di ispirazione nel European Green New Deal e nell'Agenda 2030.

L'ecologia ci insegna a ragionare sulle connessioni e le relazioni. In natura tutto è connesso ed interdipendente e, per questo ragione, ha più senso parlare di multitransizione, perché la transizione ecologica, non è disgiunta da quella energetica, da quella digitale, sociale economica e culturale. Occorre anche una transizione verso una migliore efficienza di spesa, aspetto che particolarmente rilevante nell'era del PNRR e che rende imprescindibile un salto di qualità necessario, su cui, ancora troppo spesso, si registra un ritardo delle strutture burocratiche, impantanate nella babele di gestioni policentriche spesso separate e non interoperabili fra loro. In aggiunta, in alcuni contesti il divario digitale vulnera gli stessi principi di efficienza della spesa, di rapidità nelle decisioni e di accesso democratico all'informazione per una cittadinanza attiva.

La spinta all'innovazione determinata dalla ricerca scientifica e spesso raccolta dal settore privato sollecitata dagli stimoli della concorrenza e del mercato, deve utilmente trasferirsi alla Pubblica Amministrazione che ha necessità di efficientarsi e di agevolare e sostenere la multitransizione.

Gli ultimi anni hanno portato a modificare radicalmente le dimensioni di tempo e di spazio sono stati radicalmente modificate con accelerazioni sinergiche estese all'intero Globo, per fornire rapide risposte nel settore sanitario. Modello che è utile seguire anche sul versante delle multitransizioni, assegnando un ruolo di visione strategica e di facilitazione alle amministrazioni pubbliche che hanno

il compito di stimolare e catalizzare sostenendoli con piena consapevolezza degli obiettivi da raggiungere.

Ora più che mai le due parole chiave transizione e rigenerazione costituiscono una necessità anche a causa del forte incremento delle pressioni antropiche e naturali legate alle tendenze demografiche mondiali, al cambio degli stili di vita, ai cambiamenti climatici: motivazioni che inducono da accelerare le transizioni multiple in modo coordinato e sistemico anche attraverso una sistematica alimentazione delle sinergie e dei compromessi per garantire la coerenza delle politiche di sviluppo nel segno della sostenibilità.

Anche nel presente volume abbiamo adottato la formula degli abstract, risultata vincente nelle precedenti edizioni per rappresentare sinteticamente ed efficacemente la consultazione delle buone pratiche delle esperienze tecniche, dei più interessanti e promettenti esiti della ricerca scientifica e tecnologica, con riflessioni sulle più recenti normative, approcci metodologici che possano ispirare attività ed interventi di caratterizzazione, messa in sicurezza e bonifica dei siti contaminati.

I riscontri positivi che si sono succeduti nelle ultime edizioni confermano l'efficacia della sintesi scritta e verbale che costituisce un approccio, un metodo, una modalità del comunicare, una brevità intelligente, frutto di un lavoro attento di selezione e organizzazione dei contenuti, rispettoso del valore del tempo pur consentendo successivi approfondimenti.

Gli stimoli raccolti, nella presente edizione di RemTech-HuTTe ci invitano a riflettere sul potere trasformativo dell'innovazione in tutti i settori, mobilitando risorse per obiettivi di inclusione e crescita. Basti pensare alle transizioni gemelle, digitale e verde e al significato che esse assumono per una responsabile gestione dell'avvenire del Pianeta e per un modello di sviluppo equo. Una governance adeguata è uno strumento chiave per vincere le sfide globali con cui ci confrontiamo, per mete collettive di progresso. Grazie per la vostra attenzione e buona lettura.

Vito Felice Uricchio

La Terra è una risorsa insostituibile. Il nostro pianeta può essere considerato come un unico grande sistema, detto geosistema, le cui parti costitutive (acqua, aria, rocce, esseri viventi) formano dei sottosistemi (idrosfera, atmosfera, litosfera, biosfera), legati tra loro da flussi di materia e di energia. Il geosistema funziona come un sistema aperto, ricevendo gran parte dell'energia dall'irraggiamento solare, che, insieme a quello lunare e col calore interno della Terra, alimenta la circolazione della materia tra le diverse componenti del sistema.

Tale circolazione avviene secondo vari cicli, ciascuno dei quali con proprie caratteristiche. Così, per esempio, il ciclo dell'acqua, il ciclo del carbonio, che, mediante la fotosintesi clorofilliana, consente la trasformazione di elementi inorganici in sostanze organiche, e il ciclo dell'azoto, che mette in relazione l'atmosfera, il mondo vegetale e quello animale.

Le relazioni che governano il geosistema nel suo insieme, sia i suoi sottosistemi sia i suoi flussi sono d'inter-dipendenza, sicché qualsiasi cambiamento delle sue parti innesca una catena di trasformazioni che si riverbera sull'intero sistema. In altri termini, il nostro pianeta è un sistema dinamico il quale tende a mantenersi in equilibrio anche attraverso rotture e squilibri parziali o locali, come possono essere un terremoto o un'eruzione nel caso del ciclo delle rocce, oppure l'alternarsi di fasi di siccità e di alluvioni nel caso del ciclo dell'acqua.

I diversi cicli non si svolgono in maniera sincronica, ma si dispiegano su scale temporali diverse. Il ciclo delle rocce richiede, per compiersi, tempi geologici la cui durata è dell'ordine di miliardi d'anni, mentre l'evoluzione biologica comporta tempi dell'ordine di milioni d'anni. La storia dell'uomo si misura in migliaia di anni, mentre i tempi dell'agire economico come quelli della vita umana sono brevissimi.

Lo scarto cronologico tra i ritmi della natura e quelli dell'uomo è probabilmente irrilevante nella dinamica complessiva del geosistema, non lo è invece dal punto di vista della sopravvivenza della specie umana, che può essere garantita soltanto se l'uomo si dimostra capace d'inserirsi nei meccanismi del pianeta senza alterarne gli equilibri biologici in modo irreversibile.

Circa l'azione dell'uomo sull'ambiente, si osserva che l'uomo è passato dal rapporto di dipendenza dalla natura delle società di cacciatori-raccoglitori all'egemonia sulla stessa già al tempo degli agricoltori seminomadi ai quali si deve infatti la distruzione di estese aree boschive per ottenere terreni agricoli con conseguente radicale trasformazione dell'equilibrio ecologico di intere aree.

Rispetto al passato, questa odierna fase ha delle peculiarità uniche. I processi di cambiamento sono in atto già da diverso tempo, ma la recente emergenza legata alla pandemia ha inevitabilmente svolto il ruolo di acceleratore. Tre, in particolare, sono i pilastri sui quali la società contemporanea sta evolvendo, quelli che potrebbero essere definiti i traini del cambiamento: transizione digitale, transizione verde e circolare, transizione sociale ed economica. Le parole chiave che accomunano tutti questi progetti sono due: innovazione e sostenibilità.

La parola innovazione significa capacità di cambiare visione; mutare il proprio punto di vista per affrontare di volta in volta le criticità che si presentano sul percorso. Secondo diversi studi sul mondo dell'occupazione, il 30% dei lavori che saranno centrali nel 2025 oggi non esistono ancora o sono poco conosciuti. Questo gap tra domanda e offerta viene definito "skill mismatch", un problema non di poco conto. In tutto il mondo l'inefficiente allocazione delle risorse genera perdite economiche, in termini di produzione, pari a quasi due volte e mezzo il debito pubblico dell'Italia.

La ricetta per aumentare considerevolmente le possibilità di successo di ogni processo si basa principalmente su tre fattori fondamentali quali: qualità della leadership, governance (intesa come le modalità in cui avvengono i processi, qualità della cultura. Strettamente legati a questi tre fattori, ci sono altre quattro caratteristiche che non possono assolutamente mancare per la creazione di valore: innovazione continua, intelligenza diffusa, flessibilità, semplicità.

Protagonista di questa ricetta deve essere sempre la persona. Ecco perché l'innovazione, per generare effettivamente valore, va considerata nella sua doppia accezione, quella individuale, intesa

come lavoro di ciascuno su se stesso e quella collettiva poiché la crescita di un'organizzazione non è nient'altro che il frutto del cambiamento positivo di ogni suo componente.

Per tali ragioni, in occasione della XVII Edizione di RemTech Expo, con i colleghi ed Amici preziosi, Prof. Vito Felice Uricchio e Dott. Geol. Marco Falconi, con l'imprescindibile attenzione del Ministro Gilberto Pichetto Fratin, della Vice Ministra Vannia Gava e del Gen. CC Giuseppe Vadalà, abbiamo ritenuto importante ribadire il valore della multi-transizione espresso attraverso la redazione del presente Volume che celebra la conoscenza ed i tanti contributi provenienti da ricercatori, amministratori, imprenditori, professionisti che dedicano la loro vita e scelgono di impegnarsi ogni giorno per poter garantire un supporto fattivo, colto, imprescindibile al futuro del nostro Paese e dell'Europa.

Silvia Paparella

Dear participants and environmental technology enthusiasts,

It is with great enthusiasm and pride that I welcome you to the Book of Abstracts, a work that represents the beating heart of a conference that has become a benchmark in the environmental sector. As the Scientific Coordinator of Remtech Europe, it is an honour and a pleasure to introduce this extraordinary collection of contributions from over 40 countries, representing an incredible geographical spectrum spanning all six continents. The environment knows no national boundaries, and only through international collaboration can we hope to successfully address global environmental challenges.

Remtech and Remtech Europe are much more than an exhibition and a conference. They are catalysts for change, global convergence points where experts, practitioners, researchers and enthusiasts come together to share ideas, experiences and solutions aimed at challenging and solving the complex environmental issues of our time. This year, the conference takes on special significance as it coincides with the proposed Soil Monitoring Law. This initiative is of fundamental importance as it promotes sustainability in soil management and effective monitoring of this vital resource. Soil is, without doubt, one of the pillars of our existence, supporting food production, biodiversity and the water cycle. The 'Soil Monitoring Law' represents a significant step towards the protection and responsible management of this resource, and is a major topic within the discussions and insights we will have the honour of sharing during this conference.

What makes this conference a unique event is its inclusive nature and the philosophy that drives it. The conference is open to all, and access is completely free. This choice is not accidental, but the result of a deep conviction that knowledge and innovation should be accessible to anyone, anywhere, even through remote connection. This accessibility policy allows emerging countries to participate and stay aligned with technological developments and best practices in the environmental field. We believe it is essential to ensure that every nation, regardless of its economic status, has the opportunity to access knowledge and technological innovations to address environmental challenges with

the most up-to-date and effective resources available. Remtech Europe is an arena where international collaboration and knowledge sharing become the keys to a more sustainable future.

That said, for the same reason, this Book of Abstracts, a valuable collection of innovative research and practical solutions in the environmental field, is also distributed and downloadable free of charge. The abstracts contained in these pages cover a wide range of topics, from cutting-edge technologies for sustainable remediation and contaminated site management, to PFASs that are moving from emerging contaminants to priority contaminants in much of Europe, from inspiring successful projects to the challenges yet to be faced. This book is an invaluable resource for those wishing to explore the latest findings, ideas and solutions in the environmental field.

I would like to conclude by warmly thanking all those who participated in various capacities and made Remtech Europe and the creation of this Book of Abstracts possible. Your commitment and passion for environmental sustainability is what fuels the success of this conference. I encourage you to actively participate in the discussions and initiatives that will develop and we look forward to continuing this journey together, towards a greener and more prosperous future for all.

Happy reading!

*Marco Falconi
Scientific Coordinator of Remtech Europe*

Crisi idriche: interventi per la gestione e strategie di mitigazione - Audizione di Maria Chiara Carrozza, Presidente CNR, Senato della Repubblica, 4 maggio 2023

Premessa

I cambiamenti climatici in atto nell'area mediterranea e sulle Alpi, considerati ormai hotspot di rilevanza globale, stanno modificando in maniera significativa i regimi idrologici e idrogeologici con impatti negativi sugli ecosistemi, sulla disponibilità di risorse idriche e sui fabbisogni idrici (IPCC, 2019; IPCC, 2022). Nel Bacino del mediterraneo vivono 510 milioni di persone e la prospettiva per il 2050 è che la domanda di acqua sarà raddoppiata o addirittura triplicata.

Questa domanda si scontra con i vari scenari di riscaldamento globale che, ad esempio, nel caso di aumento di 2°C della temperatura globale, prevedono una riduzione della precipitazione del 15-20% e un progressivo aumento dell'intensità e della durata degli eventi siccitosi nel bacino del Mediterraneo, spesso in combinazione con disastrose ondate di calore, che tra pochi anni potrebbero portare alcune aree oltre il punto di non ritorno.

Il mediterraneo sarà inoltre caratterizzato dal paradosso di inondazioni più forti e frequenti nelle stagioni autunno/invernali e di siccità crescenti nelle stagioni estive. La riduzione della ricarica delle falde acquifere, con parallela riduzione della qualità dell'acqua dovuta all'aumento della salinità, insieme a una maggiore pressione di utilizzo comporteranno un aumento del rischio di crisi idriche che va dal 30% in Italia e Francia, ad oltre il 35% in Spagna, per superare il 40% in Marocco ed in Algeria. Tutto ciò si traduce in una diretta minaccia alla sicurezza alimentare nella regione mediterranea.

Quanto sopra pone un grosso problema di sostenibilità, non solo perché le risorse idriche destinate all'agricoltura sono costantemente sotto pressione a causa della crescente domanda di acqua per uso domestico ed industriale, ma soprattutto perché in tutte le terre semi-aride ed aride del mondo l'irrigazione si basa principalmente su fonti di acque sotterranee che si stanno riducendo drammaticamente. Bisogna ricordare, infatti, che solo il 2,5% delle risorse idriche totali del mondo sono costituite da acqua dolce; di queste riserve di acqua dolce il 70% è costituito dalle calotte polari e dai ghiacciai, il 30% da acque sotterranee e solo lo 0,3% da acque superficiali. Si stima che

oltre il 50% dell'acqua utilizzata per irrigare le colture mondiali sia fornita da fonti sotterranee.

In Italia i consumi di acqua riguardano per il 55% il settore agricolo, per il 18% gli usi civili e per il 27% a quelli industriali (Roser and Ortiz-Ospina, 2023) potabile osserviamo che il nostro Paese è al secondo posto, dietro la Grecia, consumando 155 metri. Rispetto ai prelievi di acqua per uso cubi annui per abitante (ISTAT, 2023).

Ambiti di intervento

In una situazione di crisi come quella attuale, fatte salve tutte le azioni di emergenza necessarie ad assicurare il fabbisogno idropotabile, a breve termine si possono mettere in campo azioni esclusivamente di tipo gestionale, improntate ad un risparmio della risorsa idrica in tutti i comparti. Viceversa, la sfida di lungo termine è trovare un equilibrio tra i diversi servizi ecosistemici e i sistemi di approvvigionamento, tra le necessità di sviluppo socioeconomico, le necessità di tutela ambientale e la salvaguardia delle risorse naturali per il futuro benessere dell'uomo.

Occorre, dunque, definire misure concrete che siano coerenti con alcuni degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile previsti dall'Agenda 2030 dell'Organizzazione delle Nazioni Unite (SDG 6, 13, 14, 15). Misure pensate nella volontà di adeguare le normative nazionali e regionali ai nuovi strumenti già in essere a livello EU (Regolamento EU 2020/741 sul riuso delle acque).

Bisogna anche investire in ricerca, scienza e cultura, con una visione di lungo termine per sviluppare competenze e tecnologie per affrontare il futuro. Per tale ragione, il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) si è fatto promotore di uno degli interventi più importanti del PNRR (Missione 4, Componente 2), ossia il Centro Nazionale Biodiversità, National Biodiversity Future Center, con quartier generale a Palermo, congiuntamente a 50 soci tra enti pubblici e privati, università e aziende.

1. Capacità previsionale e monitoraggio

La valutazione della vulnerabilità e resilienza dei sistemi di approvvigionamento idrico da fonti convenzionali e non, deve necessariamente adottare un approccio integrato che prenda in considerazione, in primo luogo, i regimi meteo-climatici attuali e il miglioramento della capacità di prevedere tali regimi, nel contesto di cambiamento climatico globale in atto, e la valutazione del loro

impatto sulla variabilità stagionale e inter-annuale delle risorse superficiali e sotterranee, studiati e monitorati attraverso l'integrazione di modelli globali, modelli ad alta risoluzione spaziale, rianalisi atmosferica, modelli accoppiati atmosfera oceano, osservazioni da terra, in situ e da satellite. Una stima accurata della variabilità inter-annuale di precipitazioni, temperature e ricarica è imprescindibile per permettere una gestione razionale della risorsa idrica superficiale e sotterranea e dei relativi prelievi. In tal senso, divengono di fondamentale importanza interventi quali l'utilizzo di tecnologie satellitari innovative per il monitoraggio a scala di bacino, sia delle proprietà della neve e del ghiaccio (Parajka et al., 2010) sia dello stato dei corpi idrici (Bresciani et al., 2011) allo scopo di interpretare le dinamiche del ciclo idrologico.

Essenziali per un uso sostenibile della risorsa idrica, in grado di mantenere la biodiversità e le funzioni ecosistemiche, sono altresì la realizzazione di sistemi di monitoraggio dello stato degli ecosistemi e la modellazione degli impatti in funzione degli asporti. Le aree umide – naturali o riprodotte, come nei sistemi di fitodepurazione – hanno un naturale ruolo di miglioramento della qualità delle acque (Pinardi et al., 2022). Le fasce tampone vegetate rappresentano, oltre ad un elevato valore paesaggistico, veri e propri sistemi di protezione dei corpi idrici superficiali con azione filtrante di prodotti fitosanitari e altri potenziali contaminanti.

2. Efficientamento della rete idrica e sistemi di monitoraggio e captazione

Un ulteriore ambito di intervento riguarda, senz'altro, la riqualificazione e l'efficientamento dei sistemi di approvvigionamento e di distribuzione delle risorse, il potenziamento delle attuali capacità di captazione e immagazzinamento e l'implementazione dei sistemi per il riuso delle acque, anche attraverso l'adozione di pratiche gestionali e di soluzioni "nature based", in grado di fornire un'ampia gamma di servizi ecosistemici.

Una delle prerogative più urgenti da affrontare nella gestione della rete idrica è costituita dall'identificazione e riduzione degli sprechi. In Italia, in effetti, la vetustà delle infrastrutture di captazione e distribuzione e la mancanza di manutenzione delle stesse, a cui si aggiungono anche diffusi prelievi abusivi, determinano differenze significative tra quanto viene immesso in rete e quanto viene effettivamente utilizzato. Stando ai dati Istat, le perdite di rete

ammontano a circa 10 milioni di metri cubi di acqua pari al 47,9% dell'acqua immessa (ISTAT, 2019).

Rispetto alla gestione degli invasi, segnaliamo come secondo l'ITCOLD - Comitato Nazionale Italiano delle Grandi Dighe (2021), circa 1/3 degli invasi italiani sia interessato da significativi fenomeni di interrimento con perdite dei volumi utili che ne limitano la funzionalità e l'efficienza.

Risulta essenziale, dunque, promuovere un monitoraggio adeguato per la gestione dell'interrimento degli invasi mediante l'utilizzo di tecnologie avanzate che consentano il ripristino della capacità utile del serbatoio ai fini gestionali (Matta et al., 2023).

In tal senso, il CNR supporta la volontà, espressa nell'articolo 5, di garantire l'efficiente utilizzo dei volumi degli invasi per il contrasto alla crisi idrica a scopo potabile, irriguo, industriale ed idroelettrico, condividendo altresì le intenzioni poste alla base dell'articolo 4, finalizzato a semplificare le procedure per la realizzazione, il potenziamento e l'adeguamento delle infrastrutture idriche, e a garantire la sicurezza e la gestione degli invasi.¹

In generale, riteniamo che l'innovazione tecnologica possa e debba contribuire a risolvere tale problematica, con misure quali lo sviluppo di reti di monitoraggio avanzate e la messa a sistema di tutte le infrastrutture (da quelle di gestione a quelle di ricerca nazionali e internazionali, e.g. RI ESFRI a cui il nostro Paese partecipa attivamente) in grado di aumentare la qualità e la quantità di dati per il monitoraggio, l'indagine del cambiamento e a supporto della gestione. Gli Open Data raccolti dalle infrastrutture di ricerca sono la base imprescindibile per lo sviluppo dei modelli previsionali e interpretativi di supporto alle decisioni in termini di politiche per l'acqua.

Gli investimenti necessari per un ammodernamento della rete di distribuzione che limiti in maniera significativa le perdite, favorendo quindi un recupero di risorsa, sono elevati e attualmente difficilmente sostenibili (salvo lodevoli eccezioni) dai gestori, ma potrebbero essere sostenuti e controllati in ambito PNRR. Sarebbe auspicabile un Piano Nazionale per la Ricerca delle Perdite idriche per la predisposizione,

¹ In particolare, alle procedure di progettazione e realizzazione di alcuni interventi infrastrutturali nel settore idrico vengono estese le semplificazioni in materia di affidamento dei contratti pubblici PNRR e PNC previste dall'art. 48 del decreto-legge "semplificazioni" 2021.

eventualmente in sinergia con i Gestori e le Associazioni che li rappresentano, di linee-guida per lo svolgimento di attività di ricerca delle perdite reali ed apparenti.

3. Desalinizzazione

Oltre ad aumentare la capacità di accumulo della risorsa idrica, l'attuale condizione di siccità ci impone di diminuire le pressioni sulla risorsa idropotabile prelevata da falda o da acque superficiali, creando sistemi di approvvigionamento alternativi, quali i dissalatori.

Sul tema della desalinizzazione, il CNR apprezza l'intenzione, da cui muove l'articolo 10 (Modifiche alla disciplina degli impianti di desalinizzazione), di velocizzare la realizzazione di impianti di desalinizzazione e garantire speditezza nel loro funzionamento.

Reputiamo, tuttavia, che il ricorso alla dissalazione senza un intervento sulle perdite di filiera sia incompatibile con i principi di sostenibilità imposti dal quadro normativo vigente. La realizzazione di impianti di dissalazione rappresenta l'estrema ratio della pianificazione di settore, possibile cioè solo nei casi in cui – per ragioni di fattibilità tecnica o costi sproporzionati – i vantaggi da essi derivanti non possano essere conseguiti con altri mezzi più adeguati sul piano della sostenibilità ambientale. È opportuno evidenziare che la tecnologia della dissalazione è al momento fortemente energivora e può avere un impatto considerevole sugli ecosistemi marini in caso di sversamenti puntiformi di acque ipersaline per periodi prolungati. Pertanto, i costi complessivi della gestione degli impianti di dissalazione andranno valutati in rapporto alle possibili alternative, anche in termini di consumo energetico e di emissioni di CO₂.

Le attuali competenze tecnico scientifiche possono fornire le basi per una progettazione di impianti sempre più accessibile, performante e sostenibile, grazie all'ottimizzazione delle tecnologie a membrana, dei sistemi di recupero energetico e dell'accoppiamento dei dissalatori con fonti di energia rinnovabili. A questo proposito, il CNR dispone di competenze e tecnologie innovative, come dimostrato dalle attività dell'Istituto per la Tecnologia delle Membrane con sede a Rende.

Nel campo della dissalazione appare necessario sostenere un percorso tecnico-scientifico in grado di colmare l'attuale vuoto legislativo, nell'intento di fornire una regolamentazione chiara ed univoca sulla materia degli scarichi e degli impatti dei prodotti impiegati, in grado di tutelarne le potenziali conseguenze ambientali ed investire nella

migliore valorizzazione delle scorie (la salamoia come opportunità economica).

4. Siccità e agricoltura

L'agricoltura rappresenta un settore profondamente coinvolto dalla scarsità della risorsa idrica e al tempo stesso principale protagonista nella sfida per ridurre sprechi e consumi, che necessita di interventi tempestivi, ivi inclusa una revisione del sistema di tariffazione degli usi dell'acqua basato su premialità e penalità che valorizzino le esperienze virtuose.

Com'è noto, il cambiamento climatico influisce pesantemente sulla fertilità dei suoli e sulla idoneità delle superfici alle produzioni agricole. Ciò comporta una riduzione delle aree coltivabili, con un'azione diretta dovuta al cambio dei regimi termici ed idrici, oppure indiretta in combinazione con la variabilità spaziale del suolo e delle forme del territorio.

La scarsità delle precipitazioni, ma soprattutto il diverso regime pluviometrico e la sua aumentata variabilità, richiedono l'adozione di ogni misura che renda possibile massimizzarne l'uso da parte della vegetazione. Esiste una vasta esperienza sviluppata nel corso dei secoli dagli agricoltori operanti nei paesi con clima semi-arido, che hanno usato pratiche per il *rain harvesting* allo scopo di raccogliere quanto più possibile le precipitazioni e favorirne l'immagazzinamento nell'orizzonte agrario del suolo. L'abitudine ad affidarsi all'irrigazione e ai mezzi tecnologici connessi ha spesso allontanato gli operatori dalla realizzazione di tali pratiche che vanno invece reintrodotte come forma di adattamento al cambiamento, adeguate agli specifici ambienti (scegliendo le tecniche più idonee) ed il cui uso va diffuso tra gli operatori.

Per affrontare le sfide sollevate dalla siccità e dalla crisi idrica nel settore agricolo, bisogna promuovere soluzioni e tecnologie innovative in grado di aumentare la produttività e l'efficienza dell'uso dell'acqua nel comparto agricolo e allo stesso tempo di mitigare gli impatti crescenti della siccità (Bonfante et al., 2019; Free et al., 2022). La disponibilità a basso costo di tecnologie sempre più avanzate e le potenziate capacità di interconnessione stanno permeando tutti i campi della nostra vita. Anche l'agricoltura sta subendo profonde modifiche grazie all'utilizzo sempre più diffuso delle nuove tecnologie, tanto da poter parlare di terza rivoluzione agricola (*precision agriculture*). In Italia esiste una comunità scientifica capace di

applicare le conquiste del monitoraggio da remoto (aereo da piattaforme UAV o satellitare), in grado di fornire informazioni sullo stato dei campi a differente scala, della robotica e dell'automazione quale sistemi per acquisire dati in situ e per l'implementazione di sistemi di controllo e attuazione a rateo variabile (Variable rate technology). Inoltre, è sempre più utilizzata l'intelligenza artificiale come strumento per la gestione dei dati e l'estrazione di informazioni a valore aggiunto a supporto delle decisioni nel settore dell'agricoltura di precisione. Si citano, per esempio, il Partenariato Esteso su aspetti fondamentali di Intelligenza Artificiale, Progetto FAIR, finanziato con i fondi PNRR e guidato dal CNR, ma anche "Agritech", il Centro Nazionale per lo sviluppo delle nuove tecnologie in agricoltura, che coinvolge 28 Università, 5 centri di ricerca e 18 imprese distribuite su tutto il territorio nazionale e rappresentative delle eccellenze italiane nel settore agrifood.

Le finalità di questa trasformazione agricola sono molteplici:

- sfruttare la capacità di monitoraggio e caratterizzazione dei sistemi colturali – dalla scala regionale a quella del singolo campo – fornita degli strumenti di telerivelamento UAV e satellitare per una caratterizzazione dei suoli e dello stato delle colture;
- sfruttare sistemi robotizzati per la cura del campo, quali ad esempio aratri, seminatrici e trebbiatrici a guida automatica, o sistemi robotizzati di raccolta che permettono di scartare il prodotto agricolo deteriorato, e sistemi multi-sensoriali per il monitoraggio in campo dello stato di salute e crescita delle colture;
- effettuare interventi agronomici mirati per ottimizzare i trattamenti (ad. es. irrigazione, irrorazione, concimazione) con un abbattimento dei costi di produzione e migliorare la qualità dei prodotti agricoli;
- fronteggiare le sfide climatiche che portano ad un impoverimento del suolo, che in un contesto di carenza di acqua porterebbe ad una progressiva desertificazione del territorio (intensificazione sostenibile)
- produrre nuovi genotipi/varietà selezionati e caratterizzati mediante la fenomica vegetale;

- progettare e sviluppare metodologie innovative per la fenotipizzazione ad elevato throughput mediante computer vision e deep learning.

Le componenti centrali di questa rivoluzione agricola a risparmio idrico sono costituite, in primo luogo, dal miglioramento dei sistemi irrigui, mediante un ampio utilizzo delle tecnologie di irrigazione a goccia che consentono un uso dell'acqua più efficiente, equo e rispettoso dell'ambiente. Nella sfera dell'irrigazione a risparmio idrico, il CNR ha sviluppato diverse procedure e sensori per la definizione del miglior momento e volume irriguo da realizzare: si pensi ai sensori di ultimissima generazione direttamente impiantati nelle piante, come BIORISTOR - CNR (Coppedè et al., 2017; Janni et al., 2019; Janni et al., 2021) oppure ai sensori low cost distribuiti ad hoc attraverso una caratterizzazione delle aree omogenee di coltivazione collegati a sistemi DSS in cui vengono definiti tools per ogni specifica esigenza. Un valido esempio, in tal senso, è rappresentato dalla piattaforma DSS AGROSAT (<https://www.agrosat.it/it>), che sfrutta anche osservazioni satellitari del programma Copernicus, sviluppata dal CNR IBE in collaborazione con Barilla. In relazione all'osservazione satellitare, va inoltre considerato il recente sviluppo di tecnologie iperspettrali come nel caso del sensore PRISMA di ASI per la stima quantitativa di "crop traits" (Tagliabue et al. 2022; Candiani et al 2022). Il CNR con il progetto PRISCAV fornisce supporto scientifico per la qualificazione dei dati PRISMA e lo sviluppo di soluzioni per la stima di dati biogeofisici da immagini iperspettrali quale contributo per la caratterizzazione dei sistemi naturali e agricoli (Giardino et al. 2019). Di grande rilevanza per aumentare l'efficienza della gestione idrica è la possibilità di stimare in modo accurato le caratteristiche morfo-fisiologiche delle colture e dei suoli (Polinova et al., 2019). A tal fine, le tecnologie robotiche e in particolare i veicoli agricoli robotizzati rivestono un ruolo chiave per l'acquisizione di dati di prossimità direttamente in campo e l'attuazione di metodi di farming più efficienti. Lo sviluppo di sistemi di percezione multi-sensoriali e algoritmi di data processing integrati a bordo dei veicoli, che consentano un monitoraggio continuo e non invasivo delle colture durante l'intero ciclo produttivo, è fondamentale per generare conoscenza condivisa per il supporto alle decisioni e l'uso ottimizzato delle risorse (Milella et al., 2019; Casado-García et al., 2022).

Ulteriore obiettivo da conseguire in questo settore è il miglioramento della gestione delle colture: qui un ruolo chiave è assunto dall'uso efficace dei "big data" acquisiti. Occorre migliorare tramite il machine learning e l'intelligenza artificiale la gestione analitica dei dati, i quali dovranno essere integrati con la scienza agronomica, così da dar vita all'agricoltura digitale: tecnologie dell'informazione digitale e geospaziale che integrano dati satellitari, sensoristica di campo, analisi e automazione per monitorare, valutare e gestire il suolo, i dati climatici e le risorse genetiche a scala di campo e di comprensorio (Balenzano et al., 2021).

Per fronteggiare la crisi in atto appaiono altrettanto imprescindibili i seguenti aspetti: recupero e valorizzazione di genotipi/ecotipi "resilienti al clima" in quanto evoluti in ambienti aridi; miglioramento genetico delle piante per aumentarne la resistenza alla siccità e l'efficienza dell'uso dell'acqua; fenomica vegetale per la caratterizzazione e la selezione di nuovo materiale genetico più adattabile ai cambiamenti climatici (Janni et al., 2019). Il miglioramento genetico e le biotecnologie consentono oggi di conoscere le basi dei processi biochimici e metabolici che regolano la produttività delle piante. Ma per incrementare le produzioni bisogna verificare che queste informazioni si trasferiscano dal genotipo al fenotipo, in modo da verificare l'impatto dell'ambiente sulla potenzialità genetica dell'organismo (Costa et al., 2019). Mentre oggi si sequenziano interi genomi in poco tempo e si possono creare nuovi genotipi in tempi relativamente brevi, l'analisi del fenotipo è un processo tradizionalmente lento e faticoso.

Fra gli approcci innovativi di miglioramento genetico basati sulle moderne biotecnologie, le tecniche di evoluzione assistita (TEA) o New Breeding Techniques (NBT), come per esempio la cisgenesi, il gene editing e la mutagenesi rappresentano oggi una strategia particolarmente promettente (Dal Santo et al., 2022). Mediante la cisgenesi si può trasferire un gene di resistenza in una varietà sensibile della stessa specie senza trasferire dei caratteri indesiderati, come avviene invece con l'incrocio tradizionale (Nuzzo et al., 2022). Il gene editing è una metodologia rivoluzionaria che ha portato nel 2020 all'attribuzione del premio Nobel per la chimica alle due scienziate Jennifer A. Doudna ed Emmanuelle Charpentier. Si tratta, in effetti, di uno strumento ineguagliabile per l'agricoltura del terzo millennio. Il principio innovativo su cui si basano le TEA consiste nell'andare a modificare in maniera estremamente precisa ed accurata

l'informazione genetica che controlla determinate caratteristiche di una pianta, tra cui l'adattabilità agli stress ambientali, come lo stress idrico. Nell'ambito della resilienza allo stress idrico, per esempio, sono noti alcuni geni candidati per l'applicazione dell'editing genico che possono regolare l'accumulo dell'acido abscissico (ABA, uno degli ormoni chiave nell'ambito delle risposte di difesa delle piante a stress idrico), o di sostanze antiossidanti che aiutano a mitigare gli effetti negativi dovuti alla mancanza di acqua, o che sono coinvolti nei processi di formazione degli stomi fogliari, andando quindi ad influire sulla regolazione degli scambi gassosi (assimilazione della CO₂ e traspirazione) (Haworth et al., 2021). A differenza dei metodi tradizionali di transgenesi, che prevedono il trasferimento di geni tra specie diverse, le TEA si basano quindi sulla combinazione di geni intraspecifici, e causano mutazioni che accelerano l'evoluzione della specie, contribuendo ad aumentare la biodiversità genetica e soprattutto a produrre nuovi cloni e nuovi prodotti (Maestri et al., 2022). Le piante ottenute tramite TEA non sono quindi concettualmente diverse da quelle normalmente selezionate con le tradizionali metodiche di incrocio, ma offrono l'importante vantaggio di velocizzare con un investimento economico decisamente più contenuto processi che avverrebbero comunque in modo naturale. Il miglioramento genetico convenzionale richiede infatti tempi molto lunghi (circa 10 anni a seconda della specie) e l'impiego di ingenti risorse umane ed economiche, spesso facilmente sostenibili solo dalle multinazionali.

Le piattaforme di fenotipizzazione richiedono l'utilizzo di sensoristica innovativa multiscala, come quella iperspettrale da proximal sensing (Dehkordi et al, 2022), UAV (Di Gennario et al, 2022), ed in vivo (Janni et al, 2019), interazioni di network di sensori e database (ad esempio, nuovi sensori, automazione, machine learning, big data) con le scienze biologiche ed agronomiche (integrazione della fisiologia con l'omica a diverse scale temporali e spaziali in diversi ambienti). Si stima che l'accelerazione della selezione genetica grazie alla 'fenotipizzazione' consentirà di raggiungere incrementi di produttività da parte delle piante di circa il 20% e risparmi nell'uso delle risorse, acqua in particolare, superiori al 40% (Haworth et al. 2018; Costa et al., 2019). In questo contesto, è possibile ad esempio sviluppare modelli per lo studio sia della parte aerea della pianta (Cardellicchio et al., 2023) sia di quella ipogea (Renò et al., 2021), analizzando quantitativamente i dati delle piattaforme di fenotipizzazione (Solimani et al., 2023).

Alla luce di quanto illustrato, il CNR accoglie positivamente quanto disposto dall'articolo 6 in merito alle vasche di raccolta di acque piovane per uso agricolo, e dall'articolo 7 rispetto al riutilizzo a scopi irrigui in agricoltura delle acque reflue depurate prodotte dagli impianti di depurazione (Caniani et al., 2019; Altieri et al., 2023). Pensiamo, infatti, che il riutilizzo delle acque reflue depurate debba essere fortemente supportato, non solo nell'agricoltura, ma anche nell'industria e nel comparto civile per applicazioni di tipo urbano e ricreativo. Riteniamo, tuttavia, che queste disposizioni, seppur condivisibili, non siano sufficienti a contrastare l'emergenza in atto e che debbano essere incoraggiate ulteriori azioni basate su scienza e tecnologia.

Referenze

- Altieri V.G., De Sanctis M., Barca E. & Di Iaconi C. (2023) SBBGR technology for reducing waste sludge production during plastic recycling process: Assessment of potential increase in sludge hazardousness. *Science of the Total Environment*, 880, 163388.
- Balenzano A, Mattia F, Satalino G, et al. 2021. Sentinel-1 soil moisture at 1 Km resolution: a validation study. *Remote Sensing of environment* 263, 112554.
- Bonfante A, Monaco E, Manna P, De Mascellis R, Basile A, Buonanno M, Cantilena G, Esposito A, Tedeschi A, De Michele C, Belfiore O, Catapano I, Ludeno G, Salinas K, Brook A. 2019. LCIS DSS—An irrigation supporting system for water use efficiency improvement in precision agriculture: A maize case study. *Agricultural Systems* 176: 102646. DOI: 10.1016/J.AGSY.2019.102646
- Bresciani, M., Stroppiana, D., Odermatt, D., Morabito, G., & Giardino, C. (2011). Assessing remotely sensed chlorophyll-a for the implementation of the Water Framework Directive in European perialpine lakes. *Science of the Total Environment*, 409(17), 3083-3091.
- Candiani, G., Tagliabue, G., Panigada, C., Verrelst, J., Picchi, V., Rivera Caicedo, J. P., & Boschetti, M. (2022). Evaluation of hybrid models to estimate chlorophyll and nitrogen content of maize crops in the framework of the future CHIME mission. *Remote sensing*, 14(8), 1792.
- Caniani D., Caivano M., Pascale R., Bianco G., Mancini I.M., Masi S., Mazzone G., Firouzian M. & Rosso D. (2019) CO₂ and N₂O from water resource recovery facilities: Evaluation of emissions from biological treatment, settling, disinfection, and receiving water body. *Science of the Total Environment* 648, 1130-1140.
- Cardellicchio, A., Solimani, F., Dimauro, G., Petrozza, A., Summerer, S., Cellini, F., & Renò, V. (2023). Detection of tomato plant phenotyping traits using YOLOv5-based single stage detectors. *Computers and Electronics in Agriculture*, 207, 107757.
- Casado-García, A., Heras, J., Milella, A., Marani, R. (2022) Semi-supervised deep learning and low-cost cameras for the semantic segmentation of natural images in viticulture. *Precision Agriculture* 23, 2001–2026 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09929-9>

- Coppedè N, Janni M, Bettelli M, et al. 2017. An in vivo biosensing, biomimetic electrochemical transistor with applications in plant science and precision farming. *Scientific Reports* 7, 16195.
- Costa J.M., Marques da Silva J., Pinheiro C., Barón M., Mylona P., Centritto M., Haworth M., Loreto F., Uzilday B., Turkan I. & Oliveira M.M. (2019) Opportunities and limitations of crop phenotyping in southern European countries. *Frontiers in Plant Science* 10:1125, doi: 10.3389/fpls.2019.01125.
- Dal Santo S., De Paoli E., Pagliarani C., Amato A., Celli M., Boccacci P., Zenoni S., Gambino G. & Perrone I. (2022) Stress responses and epigenomic instability mark the loss of somatic embryogenesis competence in grapevine. *Plant Physiology* 188, 490-508.
- Dehkordi, R. H., Nutini, F., Mereu, S., Candiani, G., De Peppo, M., & Boschetti, M. (2022, September). Retrieving Biophysical And Biochemical Crop Traits Using Continuum-Removed Absorption Features From Hyperspectral Proximal Sensing. In 2022 12th Workshop on Hyperspectral Imaging and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS) (pp. 1-8). IEEE.
- Free, G., Bresciani, M., Pinardi, M., Simis, S., Liu, X., Albergel, C., & Giardino, C. (2022). Investigating lake chlorophyll-a responses to the 2019 European double heatwave using satellite remote sensing. *Ecological Indicators*, 142, 109217.
- Giardino, C., Brando, V. E., Gege, P., Pinnel, N., Hochberg, E., Knaeps, E., ... & Dekker, A. (2019). Imaging spectrometry of inland and coastal waters: state of the art, achievements and perspectives. *Surveys in Geophysics*, 40, 401-429.
- Janni, M., Coppede, N., Bettelli, M., Briglia, N., Petrozza, A., Summerer, S., Vurro, F., Danzi, D., Cellini, F., Marmiroli, N., Pignone, D., Iannotta, S., & Zappettini, A. (2019). In Vivo Phenotyping for the Early Detection of Drought Stress in Tomato. *Plant Phenomics*, 2019. <https://doi.org/10.34133/2019/6168209>
- Janni, M., Coccozza, C., Brillo, F., Pignatelli, S., Vurro, F., Coppede, N., Bettelli, M., Celestani, D., Loreto, F., & Zappettini, A. (2021). Real-time monitoring of *Arundo donax* response to saline stress through the application of in vivo sensing technology. *Scientific Reports*, 11(1), 18598. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97872-6>
- Janni M, Coppede N, Bettelli M, et al. 2019. In Vivo Phenotyping for the Early Detection of Drought Stress in Tomato. *Plant Phenomics* 2019, 1–10.
- IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. High Mountain Areas [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 131–202. <https://doi.org/10.1017/9781009157964.004>
- IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844
- ISTAT. 2019. Istat water statistics.
- ISTAT. Le statistiche dell'ISTAT sull'acqua. Anni 2020-2022 (2023)
- Matta, E., Bresciani, M., Tellina, G., Schenk, K., Bauer, P., Von Trentini, F., ... & Bartosova, A. (2023). Data

- Integration for Investigating Drivers of Water Quality Variability in the Banja Reservoir Watershed. *Water*, 15(3), 607.
- Milella A, Marani R, Petitti A, Reina G (2019) In-field high throughput grapevine phenotyping with a consumer-grade depth camera, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 156, 2019, Pages 293-306, ISSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.11.026>.
- Parajka, J., Pepe, M., Rampini, A., Rossi, S., & Blöschl, G. (2010). A regional snow-line method for estimating snow cover from MODIS during cloud cover. *Journal of Hydrology*, 381(3-4), 203-212.
- Pinardi, M., Villa, P., Free, G., Giardino, C., & Bresciani, M. (2021). Evolution of Native and Alien Macrophytes in a Fluvial-wetland System Using Long-term Satellite Data. *Wetlands*, 41, 1-14.
- Polinova M, Salinas K, Bonfante A, Brook A. 2019. Irrigation Optimization Under a Limited Water Supply by the Integration of Modern Approaches into Traditional Water Management on the Cotton Fields. *Remote Sensing* 11, 2127.
- Roser M, Ortiz-Ospina E. 2023. Our World in data. <https://ourworldindata.org/>.
- Renò, V., Nitti, M., Dibari, P., Summerer, S., Petrozza, A., Cellini, F., ... & Maglietta, R. (2021, June). Automatic stitching and segmentation of roots images for the generation of labelled deep learning-ready data. In *Multimodal Sensing and Artificial Intelligence: Technologies and Applications II* (Vol. 11785, pp. 174-179). SPIE.
- Solimani, F., Cardellicchio, A., Nitti, M., Lako, A., Dimauro, G., & Renò, V. (2023). A Systematic Review of Effective Hardware and Software Factors Affecting High-Throughput Plant Phenotyping. *Information*, 14(4), 214.
- Di Gennaro, S. F., Toscano, P., Gatti, M., Poni, S., Berton, A., & Matese, A. (2022). Spectral comparison of UAV- Based hyper and multispectral cameras for precision viticulture. *Remote Sensing*, 14(3), 449.
- Tagliabue, G., Boschetti, M., Bramati, G., Candiani, G., Colombo, R., Nutini, F., ... & Panigada, C. (2022). Hybrid retrieval of crop traits from multi-temporal PRISMA hyperspectral imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 187, 362-377.

Indice

| | |
|--|-----------|
| PREFAZIONI | 6 |
| PREMESSE | 12 |
| CRISI IDRICHE: INTERVENTI PER LA GESTIONE E STRATEGIE DI MITIGAZIONE - <i>AUDIZIONE DI MARIA CHIARA CARROZZA, PRESIDENTE CNR, SENATO DELLA REPUBBLICA, 4 MAGGIO 2023</i> | 19 |
| INDICE | 32 |
| I. METODOLOGIE E TECNOLOGIE PER LA CARATTERIZZAZIONE, MESSA IN SICUREZZA E BONIFICA DI SITI INQUINATI | 43 |
| STUDIO IDROGEOLOGICO DEL SITO DI INTERESSE NAZIONALE DEL BACINO DEL FIUME SACCO: DAL DATO ALLA SINTESI | 44 |
| UTILIZZO DI NANOPARTICELLE DI TiO ₂ IN APPLICAZIONI DI FITORIMEDIO BIO-ASSISTITO PER IL RECUPERO DI SUOLI CONTAMINATI DA PCB E METALLI PESANTI..... | 46 |
| MISURARE LA SOSTENIBILITÀ DEGLI INTERVENTI DI BONIFICA: STRUMENTI QUANTITATIVI PER LA VALUTAZIONE <i>EX ANTE</i> DEGLI IMPATTI LUNGO IL CICLO DI VITA, DELLA CIRCOLARITÀ E DEGLI ASPETTI SOCIO-ECONOMICI | 48 |
| PROCEDURA SEMPLIFICATA PER LA DETERMINAZIONE DELLE PRIORITÀ INTERVENTALI IN STRUTTURE CONTENENTI AMIANTO..... | 50 |
| RILIEVI FOTOGRAFICI GEORIFERITI CON DISPOSITIVI MOBILI: DALL'ACQUISIZIONE DELLE IMMAGINI ALLA CREAZIONE DI GEODATABASE PER I PROCEDIMENTI DI BONIFICA..... | 52 |
| DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO CONCETTUALE DI RIFERIMENTO: CASO STUDIO DI APPROCCIO OLISTICO E DIACRONICO..... | 54 |
| GUIDELINE FOR THE RECOVERY OF CONTAMINATED "ORPHAN" SITES – RISK ANALYSIS AND RENEWABLE ENERGY PRODUCTION PROJECTS..... | 56 |
| SOSTENIBILITÀ DELLA BONIFICA DEI PFAS: COMPARAZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE DELL'ATTENUAZIONE POTENZIATA MEDIANTE CARBONE ATTIVO COLLOIDALE E IL PUMP & TREAT | 58 |
| IL BIORIMEDIO FITO-ASSISTITO PER PROMUOVERE LA DEGRADAZIONE DEI PCB: STATO DELL'ARTE E PROSPETTIVE FUTURE | 60 |
| EFFETTI DI DIFFERENTI DONATORI DI ELETTRONI SUL RIARRANGIAMENTO DELLA COMUNITÀ MICROBICA NATIVA DI FALDE CONTAMINATE DA CROMO ESAVALENTE | 62 |
| VALUTAZIONE DEL RISCHIO SANITARIO IN AREE AGRICOLE: CASO STUDIO DELL'AREA VASTA DI STATTE..... | 64 |
| ATTIVITÀ DI VERIFICA DEI FONDI SCAVO NELLE AREE INTERESSATE DA INTERVENTI PREVISTI DALL'AIA NELLO STABILIMENTO SIDERURGICO DI TARANTO | 66 |
| BIOSTIMOLAZIONE AEROBICA PER ABBATTIMENTO CLORURATI NELLE ACQUE DI FALDA | 68 |

| | |
|---|-----|
| L'IMPIEGO DEI DRONI DI ARTA ABRUZZO NELL'AMBITO DELLE ATTIVITÀ DI CONTROLLO SUI SITI CONTAMINATI E DISCARICHE. IL CASO STUDIO DEL SIN DI BUSSI SUL TIRINO | 71 |
| IL PIANO DELLA CARATTERIZZAZIONE DELLE AREE PUBBLICHE DEL SIN DI BUSSI SUL TIRINO (PE). NUOVE EVIDENZE E PROSPETTIVE FUTURE | 73 |
| CAMPIONAMENTO AUTOMATICO ECOSOSTENIBILE DI TERRENI CONTAMINATI MEDIANTE L'UTILIZZO DI UN ROBOT MOBILE E LA DIGITALIZZAZIONE DELLE MISSIONI DI CAMPIONAMENTO: PROGETTO DI RICERCA ROBILAUT | 75 |
| NATURE-BASED SOLUTIONS IN AMBITO URBANO E PERIURBANO: STRATEGIE ECOSOSTENIBILI PER LA RIQUALIFICAZIONE DI AREE DEGRADATE E LO SVILUPPO DI FILIERE VERDI | 77 |
| LA BONIFICA E MESSA IN SICUREZZA DI UN SITO INQUINATO CON SOLUZIONI DI TUTELA PAESAGGISTICA NELL'OTTICA DEL RECUPERO FUNZIONALE DELL'AREA | 79 |
| PROTOCOLLI ECOLOGICI E INNOVATIVI PER LA RIDUZIONE DELLA DOMANDA CHIMICA DI OSSIGENO NEL CONCENTRATO DEL PERCOLATO DI DISCARICA | 81 |
| ALGHE E MITILI: LA COMBINAZIONE EFFICACE E NATURALE PER DETOSSIFICARE LE ACQUE | 83 |
| ESEMPI DI MESSA IN SICUREZZA E MITIGAZIONE DEGLI IMPATTI DETERMINATI DA TRE CRITICITÀ AMBIENTALI | 85 |
| GAS RIDUCENTI PER LA BIOREMEDIATION DI UN ACQUIFERO CONTAMINATO DA SOLVENTI CLORURATI: CASO STUDIO CON CAMPO PROVA E TEST IN MICROCOSMO | 87 |
| APPROCCIO MULTIDISCIPLINARE PER LA DETERMINAZIONE DEL VALORE DI FONDO NATURALE DELL'ARSENICO NEI TERRENI | 90 |
| APPLICAZIONE AD AMPIA SCALA DI UNA TECNOLOGIA ISCR E ERD PER IL BIORISANAMENTO DI UN ACQUIFERO STORICAMENTE CONTAMINATO DA ALCHENI CLORURATI E CROMO ESAVALENTE IN LOMBARDIA | 92 |
| CONTROLLI E VERIFICHE DI CONFORMITÀ PROGETTUALE DELLE MISURE DI MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE DI UN SITO CONTAMINATO | 94 |
| LA GESTIONE SOSTENIBILE DEI SUOLI IN TERRITORI CON PRESENZA DI FONDO NATURALE: L'ESPERIENZA DI ARPA LOMBARDIA | 96 |
| INNOVATIVE BIOREMEDIATION OF MTBE AND ORGANICS | 98 |
| CAPPING SOTTOMARINO, DRAGAGGI E GESTIONE DEI SEDIMENTI MARINO COSTIERI ... | 100 |
| MONITORAGGIO AMBIENTALE INTEGRATO DELL'AREA PORTUALE DI TARANTO | 102 |
| LO SVILUPPO SOSTENIBILE DEL PORTO DI SALERNO | 104 |
| RADON NEGLI AMBIENTI INDOOR: IL RUOLO DELL'ESPERTO IN INTERVENTI DI RISANAMENTO GAS RADON | 106 |
| UN METODO COMPLETO DI VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ PER LA SELEZIONE DELLE TECNOLOGIE DI BONIFICA DEL SUOLO. UN CASO DI STUDIO A CONFRONTO TRA SCAVO E DESORBIMENTO TERMICO: "VALUTAZIONE DEL CONSUMO ENERGETICO DEL DESORBIMENTO TERMICO IN SITU: SPUNTI DA UN PROGETTO DI SUCCESSO A GELA, SICILIA" | 109 |
| ISCO CON OZONO PER LA BONIFICA DI UN ACQUIFERO CONTAMINATO DA IDROCARBURI ED ETERI | 111 |
| BONIFICHE SITI CONTAMINATI TRAMITE SISTEMI DI BLINDAGGIO | 114 |

| | |
|--|-----|
| FENTON MODIFICATO, CHP CATALYSED HYDROGEN PEROXIDE, PER APPLICAZIONI ISCO | 116 |
| APPROCCIO IBRIDO DI RIDUZIONE BIOTICA E ABIOTICA IN UN SITO CONTAMINATO DA MISCELE DI ETANI ED ETILENI CLORURATI: TEST DI FATTIBILITÀ IN LABORATORIO..... | 118 |
| IL TRATTAMENTO DELLE ACQUE DI FALDA IN UNO STABILIMENTO DI RECUPERO BATTERIE | 121 |
| IL PIANO REGIONALE BONIFICHE DEL VENETO: UN APPROCCIO TRASPARENTE E CONDIVISO CON GLI STAKEHOLDERS PER L'INDIVIDUAZIONE DELL'ORDINE DI PRIORITÀ DEGLI INTERVENTI..... | 123 |
| TRATTAMENTO DI TERRENI CONTAMINATI DA IDROCARBURI CON BIOSURFATTANTI OTTENUTI DA SCARTI AGRICOLI..... | 125 |
| STUDIO DEL FONDO NATURALE DI FERRO, MANGANESE E ARSENICO NEGLI ACQUIFERI DELLA PIANURA PADANA: INFLUENZA DELL'ASSETTO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E GEOCHIMICO LOCALE SUL PROCESSO DI ACQUISIZIONE E ANALISI DEI DATI | 128 |
| VERIFICA DEL MODELLO CONCETTUALE DI SITO MEDIANTE MODELLIZZAZIONE NUMERICA DELLA FALDA | 130 |
| FROM PILOT TESTING TO FULL SCALE: A SUCCESSFUL CHLORINATED SOLVENTS BIOREMEDIATION IN A HIGH FLOW AQUIFER | 133 |
| COUPLING HYDRO-STRATIGRAPHIC AND NUMERICAL 3D MODELS WITH IN SITU SENSORS TO IMPROVE THE ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF GROUNDWATER CONTAINMENT SYSTEMS AND ASSESS FULL SCALE REMEDIATION STRATEGY | 136 |
| SOLUZIONI INNOVATIVE PER LA BONIFICA..... | 138 |
| OLTRE LE BARRIERE IDRAULICHE: INTERVENTI SOSTENIBILI MIRATI ALLE SORGENTI SECONDARIE DI CONTAMINAZIONE” CON APPROFONDIMENTI SUI CASI GIÀ IN ESERCIZIO (GELA E MANFREDONIA)..... | 141 |
| ANALISI PETROFISICHE DI LABORATORIO A SUPPORTO DELLE ATTIVITÀ DI BONIFICA IN UN SITO CONTAMINATO | 144 |
| LA BONIFICA SOSTENIBILE: CRITICITÀ GESTIONE RIFIUTI DA BONIFICA E SOLUZIONI PER I CASI CONCRETI: PORTO TORRES, RAVENNA (BIORECUPERO), ISAF GELA (DISCARICA ON-SITE TENORM), LE MISP (BRINDISI)..... | 147 |
| SITO DI INTERESSE NAZIONALE DI BUSSI SUL TIRINO - INTERVENTO DI BONIFICA MEDIANTE DESORBIMENTO TERMICO IN SITU..... | 149 |
| SITO DI INTERESSE NAZIONALE DI BUSSI SUL TIRINO: AREA TREMONTI, TRA RISANAMENTO E SFIDE OPERATIVE | 151 |
| INTERVENTI PER LA RIMOZIONE DEI RIFIUTI/TERRENI CONTAMINATI IN AREA CRATERE NELLO STABILIMENTO DI MANTOVA..... | 153 |
| SUMMARY OF DESTRUCTIVE TECHNOLOGIES USED TO TREAT PFAS | 155 |
| BEST PRACTICES FOR APPLY ACTIVATED PERSULFATE | 156 |
| ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO MULTI SCENARIO PER LA MISURAZIONE DI INQUINANTI IN MATRICE AERODISPERSA MEDIANTE APPLICAZIONE DI SENSORISTICA UAV BASED | 158 |
| L'USO DI SISTEMI AEROMOBILI A PILOTAGGIO REMOTO (DRONI) NELLE BONIFICHE AMBIENTALI: TECNOLOGIE E PROCESSI INNOVATIVI PER LA CARATTERIZZAZIONE DI SITI INQUINATI | 160 |

II. LA GESTIONE EFFICIENTE DELLE RISORSE IDRICHE..... 162

| | |
|--|-----|
| REGOLAMENTO (UE) 2020/741 RECANTE PRESCRIZIONI MINIME PER IL RIUTILIZZO DELL'ACQUA A FINI IRRIGUI: UNA POSSIBILE APPLICAZIONE A LIVELLO ITALIANO | 163 |
| I CAMBIAMENTI CLIMATICI ED IL CONTROLLO AMBIENTALE DEGLI SCOLMATORI DI PIENA | 165 |
| APPROCCIO CONGIUNTO DI MODELLI NUMERICI AVANZATI PER LO STUDIO DI BACINI COSTIERI VULNERABILI: LO STUDIO DEI MARI DI TARANTO..... | 167 |
| APPROCCIO OPERATIVO PER ESTRARRE VALORE DA BIG-DATA SPAZIOTEMPORALI. APPLICAZIONE AL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DEI FITOFARMACI DEI CORPI IDRICI PUGLIESI | 169 |
| MISURE DI EFFICIENZA NELLA GESTIONE DELL'ACQUA: DALLE SINERGIE IDRICHE ALLA DIGITALIZZAZIONE DEI CONSUMI D'IMPIANTO | 171 |
| L'ACCERTAMENTO DEL DANNO AMBIENTALE: OPPORTUNITÀ PER MIGLIORARE LA TUTELA DELLA RISORSA IDRICA..... | 174 |
| VALUTAZIONE DEL BIOFILM MICROBICO COME APPROCCIO ECOLOGICO PER IL BIORISANAMENTO DEL GLIFOSATO IN UN SISTEMA LENTICO: STUDIO PRELIMINARE IN MICROCOSMO | 176 |
| VALUTAZIONE DELLA PRESENZA DI GLIFOSATE E AMPA NEI SEDIMENTI DEL FIUME OFANTO | 178 |
| RIUTILIZZO DELLE ACQUE ED OTTIMIZZAZIONE DEI SISTEMI DI GESTIONE IMPIANTISTICA | 180 |

III. LE OPPORTUNITÀ DELL'ECONOMIA CIRCOLARE ED I NUOVI PARADIGMI DI SVILUPPO 182

| | |
|--|-----|
| PRETRATTAMENTO CON ACIDO PERFORMICO PER UNA MIGLIORE DIGERIBILITÀ ENZIMATICA DI BIOMASSE OTTENUTE DA APPLICAZIONI DI BIORIMEDIO FITO-ASSISTITO: APPROCCIO GREEN PER LA SINTESI DI <i>FINE CHEMICALS</i> ED IL RECUPERO DI CONTAMINANTI | 183 |
| IL RUOLO DELL'INVENTARIO NAZIONALE DELLE STRUTTURE DI DEPOSITO DI RIFIUTI ESTRATTIVI STORICI IN RELAZIONE AL RECUPERO DI MATERIE PRIME CRITICHE..... | 185 |
| LOOK DOWN: IL RUOLO DELL'ECONOMIA CIRCOLARE NELLA VALORIZZAZIONE DEL PATRIMONIO CULTURALE COME STRATEGIA DI RIGENERAZIONE SOCIALE | 187 |
| IWAYS - INNOVATIVE WATER RECOVERY SOLUTIONS THROUGH RECYCLING OF HEAT, MATERIALS AND WATER ACROSS MULTIPLE SECTORS PER AFFRONTARE LE SFIDE AMBIENTALI E DEFINIRE NUOVI MODELLI IN OTTICA CIRCOLARE | 189 |
| GLI STANDARD INTERNAZIONALI E LA NORMATIVA EUROPEA PER I FILM DI PACCIAMATURA BIODEGRADABILI | 191 |
| NO PART OF MUSSEL IS TO BE WASTED: PRODUCTION OF A "BLUE" CALCIUM CARBONATE FROM SHELLS | 193 |
| LOTTA AGLI SPRECHI ALIMENTARI IN PUGLIA: MISURE DI GARANZIA DEL "DIRITTO AL CIBO" MEDIANTE BUONE PRATICHE DI ECO-SOSTENIBILITÀ ED ECONOMIA CIRCOLARE . | 195 |
| L'ECONOMIA CIRCOLARE TRA STANDARD DI RIFERIMENTO E CRITERI DI VAGLIO TASSONOMICI: I RIFERIMENTI PER LE AZIENDE | 197 |

| | |
|---|------------|
| STUDI PRELIMINARI SULL'IMPIEGO DI MATERIALI INNOVATIVI ECOCOMPATIBILI, FINALIZZATI ALL'ADSORBIMENTO SELETTIVO DI INQUINANTI ORGANICI IN AMBITO DI CAMPIONAMENTO E DI ANALISI IN MATRICI AMBIENTALI..... | 199 |
| WASTE TO CHEMICAL: IDROGENO E CARBURANTI A BASSO IMPATTO DA RIFIUTO | 201 |
| DESTINO DEI PFAS NEL TRATTAMENTO DEL PERCOLATO: CONFIGURAZIONI IMPIANTISTICHE A CONFRONTO E CASO STUDIO DEL CLUSTER ITALIANO NELLE CIRCULAR ECONOMY ROUTES INVESTIGATE DA PROMISCES | 204 |
| THE INDUSTRIAL SYMBIOSIS APPROACH IN A WASTE- WASTEWATER-ENERGY BIO- REFINERY: A LCA ASSESSMENT | 207 |
| GESOCV: GESTIONE SOSTENIBILE DELLE CENERI VULCANICHE PRECIPITATE SUI TERRITORI ETNEI | 210 |
| LA GESTIONE DEI RIFIUTI DA BONIFICA E LE INIZIATIVE DI RECUPERO | 213 |
| ETV COME STRUMENTO DI VERIFICA DELLE PRESTAZIONI AMBIENTALI PER FAVORIRE LA DIFFUSIONE E L'ADOZIONE DI TECNOLOGIE INNOVATIVE | 215 |
| IL PERCORSO VERSO L'ECONOMIA CIRCOLARE: MISURARE COME L'ECO-INNOVAZIONE SUPPORTA LE IMPRESE NELL'AFFRONTARE LE SFIDE DELLA SOSTENIBILITÀ..... | 218 |
| VI. INTELLIGENCE E LEGISLAZIONE AMBIENTALE..... | 220 |
| CONTRASTO AGLI ILLECITI AMBIENTALI: TECNICHE DI INTELLIGENCE..... | 221 |
| GUIDA OPERATIVA PER L'INDIVIDUAZIONE DEL RESPONSABILE DELL'EVENTO DI CONTAMINAZIONE: UN APPROCCIO SISTEMICO VERSO UNA PROPOSTA DI LINEA GUIDA | 223 |
| IL CONTRIBUTO DELLE CC.DD. "AREE INTERNE" ALLA TRANSIZIONE ENERGETICA | 225 |
| INTELLIGENCE AMBIENTALE ED IL RUOLO NEL PREVENIRE I FENOMENI DI CORRUZIONE | 227 |
| IL CREDITO DI IMPOSTA QUALE VOLANO PER UN RIORDINO DEGLI INCENTIVI FISCALI ALLE IMPRESE TRA PERDURANTI INCERTEZZE APPLICATIVE E CONTROVERSO REGIME SANZIONATORIO. QUALE TUTELA PER IL CONTRIBUENTE? | 229 |
| INTELLIGENZA ARTIFICIALE: SPUNTI DI RIFLESSIONE SUL DIFFICILE BILANCIAMENTO TRA TUTELA AMBIENTALE E DIRITTO ALLA PRIVACY | 231 |
| LE ATTIVITÀ DI INTELLIGENCE PER LA GESTIONE STRATEGICA DEI <i>CRITICAL RAW</i> <i>MATERIALS</i> : IL RUOLO DEL COMPARTO AMBIENTALE | 233 |
| PROGRAMMA STRAORDINARIO DEI CONTROLLI ALLE DISCARICHE NELLA REGIONE PUGLIA: UNA BUONA PRATICA PER LA TUTELA DEL TERRITORIO | 235 |
| LA COOPERAZIONE A FINI CONOSCITIVI TRA ENTI PUBBLICI, CONNETTERSI PER AFFRONTARE LE SFIDE DELLA MULTITRANSIZIONE | 237 |
| IN CHE MODO LA CLUSTER POLICY PUÒ INCENTIVARE LA TRANSIZIONE ECOLOGICA: IL CASO DEI DISTRETTI PRODUTTIVI PUGLIESI | 239 |
| LA TRANSIZIONE ETICA PER LA SALVAGUARDIA DEL BENE COMUNE..... | 242 |
| IL REGIME REGOLATORIO QUALE ELEMENTO DETERMINANTE PER LA TUTELA DELLE AREE STRATEGICHE DALLE INTRUSIONI DEGLI AGENTI STRANIERI | 244 |
| V. REMTECH EUROPE | 247 |
| EXAMPLES OF SECURING AND MITIGATING THE IMPACTS DETERMINED BY THREE ENVIRONMENTAL CRITICALITIES..... | 248 |

| | |
|---|-----|
| PROTECTING HEALTH THROUGH THE REDEVELOPMENT URBAN CONTAMINATED SITES | 250 |
| PFAS-CONTAMINATED SOIL MANAGEMENT :LEARNED LESSONS FROM SOIL-WASHING TREATMENT STRATEGIES IMPLEMENTED IN FRANCE AND BELGIUM..... | 253 |
| BIOREMEDIATION: A USEFUL WAY TO MITIGATE HEAVY METAL TOXICITY IN SOIL..... | 255 |
| A RISK BASED PLAN OF INSPECTIONS AT WASTE RECYCLING INSTALLATIONS: THE EXPERIENCE AT THE SARDINIAN ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY..... | 256 |
| CLAY MINERALS AS SIMULTANEOUS SORBENTS OF PFAS AND PESTICIDES | 259 |
| DESTRUCTION OF SPENT MEDIA FROM PFAS REMEDIATION USING SUPERCRITICAL WATER OXIDATION..... | 263 |
| INJECTION OF COLLOIDAL REAGENTS FOR IN SITU SOIL REMEDIATION: LESSONS LEARNED ON MORE THAN 100 PROJECTS OVER EUROPE | 266 |
| GREEN SYNTHESIS OF nZVI WITH COMMON REED AND ITS APPLICATION IN FENTON-LIKE DECOLORIZATION PROCESS..... | 268 |
| ACCURATE DISTRIBUTION AND ITS IMPORTANCE FOR THE TREATMENT OF PETROLEUM HYDROCARBONS USING COLLOIDAL ACTIVATED CARBON..... | 271 |
| USING REAL-TIME MONITORING TO UNDERSTAND THE VARIABILITY OF TCE CONCENTRATIONS IN INDOOR AIR IN A SITE IN BELGIUM..... | 273 |
| CONSTRUCTED WETLANDS AS A SUSTAINABLE ALTERNATIVE TO TRADITIONAL PUMP AND TREAT SYSTEMS | 275 |
| ADSORPTION ISOTHERMS AND KINETIC MODELS FOR REMOVAL ENDOCRINE DISRUPTORS AND FROM WASTEWATER USING ADVANCED OXIDATION PROCESSES IN MATLAB..... | 277 |
| USING TERNARY PLOTS TO EVALUATE THE INFLUENCE OF SEWER GAS IN VAPOR INTRUSION PATHWAY EVALUATIONS | 279 |
| MODELLING THE INFLUENCE OF ADVECTION ON THE SOIL GAS RADON DEFICIT TECHNIQUE FOR THE QUANTIFICATION OF LNAPL SATURATION..... | 283 |
| LANDFILL DIVERSION: REPURPOSING CONSTRUCTION & DEMOLITION WASTE & ADVANCING THE CIRCULAR ECONOMY | 286 |
| INVESTIGATING THE RELEVANCE OF DENSITY-DRIVEN TRANSPORT ON THE VAPOR INTRUSION PATHWAY FOR CHLORINATED VOCs | 290 |
| TRACING AIRBORNE MICROPLASTICS IN MODENA: RESULTS FROM THE MICROTRACES PROJECT..... | 293 |
| IMMOBILISATION: A VIABLE SOLUTION FOR LARGE VOLUMES OF DIFFUSE PFAS CONTAMINATED SOIL AT AIRPORTS | 297 |
| THE EVOLUTION OF TWO REMEDIATION METHODS: COMBINED IN SITU STABILIZATION (ISS) AND IN SITU CHEMICAL OXIDATION (ISCO) | 299 |
| SAFETY CONSIDERATIONS ABOUT BIODIGESTERS IN THE BIOGAS PRODUCTION..... | 301 |
| THE PFAS RISK MANAGEMENT STRATEGY..... | 304 |
| CONSTRUCTED WETLAND BIOREMEDIATION OF CHLORINATED ORGANIC COMPOUNDS IN A GROUNDWATER CAPTURE AND REINJECTION SYSTEM..... | 308 |
| FIELD APPLICATION OF ENDOPHYTIC FUNGI AND ALOCASIA CALIDORA FOR EFFECTIVE REMEDICATION OF HEAVY METAL CONTAMINATED LANDFILL SOIL | 310 |
| LIFE FRAC IN: ENABLING IN SITU SOIL REMEDIATION ON LOW-PERMEABILITY SITES THROUGH HYDRAULIC AND PNEUMATIC FRACTURING | 315 |

| | |
|---|-----|
| THE SOIL-OMIC FOR SOIL AND GROUNDWATER DECONTAMINATION, AN INTEGRATED CHEMICAL-PHYSICAL-BIOLOGICAL PROCESS SUPPORTED BY METABARCODING OF SOIL BACTERIAL COMMUNITIES | 320 |
| ASSESSING ORGANIC AMENDMENT’S ABILITY TO REDUCE BIOAVAILABILITY OF TRIFLURALIN | 323 |
| SYNTHESIS AND POSSIBILITY OF APPLICATION OF MAGNESIUM TITANATES BASED PHOTOCATALYSTS FOR REDUCTION OF ENVIRONMENTAL CONTAMINANTS IN SEDIMENTS | 326 |
| THE PROPOSED EU NATURE RESTORATION LAW: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES .. | 329 |
| ACTIVATION OF PERSULFATE AND PEROXYMONOSULFATE BY ZERO-VALENT IRON AND IRON-COPPER BIMETALS FOR THE CHEMICAL OXIDATION OF HALOGENATED CONTAMINANTS IN WATER..... | 333 |
| SEAR COMBINED WITH MPE TO RESOLVED RECALCITRANT NAPL AT COAL TAR BROWNFIELD SITE..... | 336 |
| HOW TO RESOLVE RISK OF CROSS CONTAMINATION TO ASTM STANDARDS. USING PFAS AND 1,4 DIOXANE FREE PRODUCTS | 338 |
| SURFACTANT ENHANCED EXTRACTION OF CARBON TETRACHLORIDE. SOURCE ZONE AT ACTIVE GRAIN ELEVATOR FACILITY | 339 |
| SURFACTANT ENHANCED EXTRACTION OF NAPL, GLOBULE, AND SORBED PHASE CONTAMINATION RESOLVING PRIMARY HYDRO-GEO-CHEMICAL LIMITATIONS | 340 |
| A FIELD PILOT STUDY DEMONSTRATING SUSTAINABLE REMEDIATION OF MERCURY-CONTAMINATED SOIL AND GROUNDWATER SOURCES USING A NOVEL AMENDMENT KNOWN AS MERCLOK™ P-640 | 342 |
| ADSORPTION PROCESS AS THE BEST AVAILABLE TREATMENT TECHNOLOGY FOR PFAS REMOVAL FROM WATER: CURRENT GAPS AND RESEARCH NEEDS | 344 |
| EFFECTIVENESS OF MICROWAVE IRRADIATION IN REGENERATING PFAS-LOADED GAC | 348 |
| UNLOCKING THE MAGIC OF PHOSPHATE SOLUBILIZING BACTERIA: AN EFFICIENT MOVE TOWARDS SUSTAINABLE CROP PRODUCTION | 352 |
| ASSESSING THE GENETIC POTENTIAL FOR NATURAL SOURCE ZONE DEPLETION AT A PETROLEUM-CONTAMINATED SITE..... | 353 |
| SCREENING AND OPTIMISATION OF THE BIODEGRADATION POTENTIAL FOR LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE) FILMS BY <i>FUSARIUM EQUISETI</i> AND <i>BREVIACILLUS PARABREVIS</i> | 355 |
| SUCCESSFUL TREATMENT OF PFAS-CONTAMINATED SOILS ON LARGE SCALE: PRACTICAL EXPERIENCE WITH IMPROVED SOIL-WASHING | 357 |
| ASSESSING A METHODOLOGY FOR ESTIMATING SOIL POLLUTION COSTS IN LUXEMBOURG | 360 |
| FIELD TEST OF A PILOT SCALE SEQUENTIAL REDUCTIVE/OXIDATIVE BIOELECTROCHEMICAL PROCESSES FOR CAHS REMOVAL FROM CONTAMINATED GROUNDWATERS | 363 |
| FATE AND EMISSION PATHWAYS OF PFAS IN FULL-SCALE PLANTS FOR LANDFILL LEACHATE TREATMENT | 366 |
| CHLORINATED SOLVENT DAUGHTER PRODUCT MANAGEMENT AND EXPEDITED REMEDIATION | 369 |

| | |
|--|-----|
| LEGACY URBAN UNDERGROUND STORAGE TANK SITE ACHIEVES SITE CLOSURE USING SURGICAL INJECTION STRATEGY | 371 |
| ASSESSING A METHODOLOGY FOR ESTIMATING SOIL POLLUTION COSTS IN LUXEMBOURG | 373 |
| WEBGIS DEI POTENZIALI SITI PFAS IN ITALIA..... | 376 |
| LCA IN THE DEVELOPMENT OF AN IN-SITU INNOVATIVE REMEDIATION TECHNOLOGY: THE CASE OF ERASE - ELECTRODE-AIDED SOIL REMEDIATION..... | 379 |
| DECONTAMINATION OF PAH-IMPACTED SOILS USING LIQUID ACTIVATED CARBON (LAC) – ENHANCED MICROWAVE TREATMENT | 383 |
| OPTIMIZING RISK MANAGEMENT PLANS FOR POLLUTANTS DISPERSION IN AQUIFERS BY USE OF INNOVATIVE MASS FLUX AND MASS DISCHARGE APPROACHES..... | 386 |
| A SUSTAINABLE APPROACH FOR DNAPLS CONTAMINATED GROUNDWATER REMEDIATION: RAW POLYHYDROXYALKANOATES (PHA) FROM ORGANIC WASTE AS ELECTRON DONOR FOR BIOLOGICAL REDUCTIVE DECHLORINATION COUPLED WITH ADSORPTION ON BIOCHAR | 389 |
| FEASIBILITY OF MYCOAUGMENTATION IN THE CLEAN-UP OF TPH-CONTAMINATED SOILS: THE LIFE MYSOIL PROJECT | 392 |
| INADEQUATE MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT AND OCCURRENCE OF PHTHALATE ESTERS IN SOIL IN SERBIA | 396 |
| INTRODUCING CONTINUOUS MONITORING OF INDIVIDUAL CONTAMINANT SPECIES..... | 398 |
| PFAS LEACHING TEST AND SOIL THRESHOLD CALCULATIONS BY MEANS OF ANALYTICAL MODELS..... | 400 |
| MULTI-LEVEL APPROACH OF THE CHARACTERIZATION OF RIVERINE SEDIMENTS AFFECTED BY UNAUTHORIZED CHEMICAL WASTES MANagements. RESULTS FROM CONTAMINATED SITE OF NATIONAL INTEREST “BUSSI SUL TIRINO” | 402 |
| IMPACT ASSESSMENT OF WGC BAT CONCLUSIONS IMPLEMENTATION ON IED PERMIT RELEASE FOR THE CHEMICAL INDUSTRY IN ITALY | 405 |
| WIDENING THE SCOPE OF THERMAL DESORPTION, EXAMPLE OF MERCURY REMOVAL. "REMIAPP"-INTEGRAL TREATMENT SYSTEM FOR THE REMEDIATION OF MINING-METALLURGICAL EFFLUENTS FOR THEIR CONVERSION INTO FARMING WATER AND DRINKING WASTEWATER" | 410 |
| IMPORTANCE OF USING BACKGROUND CONCENTRATIONS TO ASSESS ANTHROPOGENIC IMPACT ON SOIL AND GROUNDWATER. CASE: METALS IN ANDEANS SOILS | 414 |
| POSSIBILITIES AND CHALLENGES OF AI IN REMEDIATION OF MINING ENVIRONMENTAL LIABILITIES | 416 |
| DEMONSTRATING TECHNICAL IMPRACTICABILITY AT LNAPL SITES..... | 418 |
| HIGH-ENERGY IN SITU INJECTION OF A MODIFIED CLAY FOR SEQUESTRATION OF PFAS | 419 |
| USE OF GEOSTATISTICS FOR REMEDIATION TREATMENT MONITORING | 421 |
| EVALUATION OF CIRCULAR SKILLS AND CIRCULAR MIND-SET OF CONSUMERS WITH THE USE OF IT - CASE STUDY IN A SAMPLE OF CONSUMERS IN NORTHEAST BRAZIL COMPARED TO A SAMPLE OF INTERNAL STAKEHOLDERS OF AN INDUSTRY IN TRANSITION TO THE CIRCULAR ECONOMY | 423 |

| | |
|--|-----|
| CADMIUM IN COCOA BEANS OF TRINIDAD & TOBAGO AND ECUADOR: WATERSHED SCALE INITIAL APPROACH | 427 |
| A NOVEL ADSORBENT MATERIAL FOR OIL SPILLS MANAGEMENT | 429 |
| MICROBIALY MEDIATED PFAS DEGRADATION, A MICROCOSM STUDY | 432 |
| THERMAL REMEDIATION OF AF DNAPL SOURCE IN FRACTURED ROCK..... | 435 |
| LAST UPDATES FOR IN SITU APPLICATIONS, LESSONS LEARNED FROM SEVERAL FIELD CASES | 437 |
| METAGENOMICS OF A BIOREACTOR WITH POLYHYDROXYBUTYRATE (PHB) AND BIOCHAR AS BIOMATERIALS TO PROMPT REDUCTIVE DECHLORINATION..... | 438 |
| TOWARDS RAPID AND SENSITIVE BIOMONITORING TOOLS FOR BIOREMEDIATION: EXPLORING DIGITAL DROPLET PCR AS A THIRD- GENERATION QUANTIFICATION METHOD | 441 |
| COMPARISON OF SAMPLE PREPARATION METHODS FOR CHARACTERIZATION OF SOIL GEOCHEMISTRY BY HANDHELD X-RAY FLUORESCENCE | 444 |
| STRUVITE MINIMIZATION IN DOMESTIC WASTEWATER SYSTEMS: PROTOTYPING & OPTIMIZATION IN FULL-SCALE PLANTS..... | 446 |
| SECRETORY EXPRESSION OF MEMBRANE-RELATED HYPERTHERMALPHILIC ENDO-1,4-B-D, GLUCANASE OF PYROCOCOUS HORRIKOSHII IN PICHIA PASTORIS..... | 447 |
| DETERMINING THE BACKGROUND VALUES FOR SOILS AND GROUNDWATER: THE ITALIAN GUIDELINES BY SNPA..... | 449 |
| SUSTAINABLE SOIL MANAGEMENT USING GROUND PENETRATING RADAR TECHNIQUE..... | 452 |
| KUWAIT SOIL REMEDIATION | 455 |
| SURFACE ACTIVE FOAM FRACTIONATION (SAFF) IN COMBINATION WITH A PATENTED ALL NATURAL AMENDMENT TO INCREASE THE PFAS REMOVAL EFFICIENCY OF SAFF FOR COMPLEX LEACHATE | 458 |
| SURFACE ACTIVE FOAM FRACTIONATION (SAFF) TREATING PFAS CONTAMINATED SOIL WASH WATER, COUPLED WITH ELECTROCHEMICAL OXIDATION FOR DESTRUCTION OF FOAM CONCENTRATE | 461 |
| IN SITU METAL PRECIPITATION (ISMP) OF HEAVY METALS..... | 464 |
| COMPLEX GROUNDWATER FLOW AND CONTAMINANT TRANSPORT MODEL FOR GROUNDWATER MANAGEMENT OF A PFAS CONTAMINATED SITE | 466 |
| TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF PILOT TESTING PFAS REMOVAL FROM GROUNDWATER USING GAC AND SORBIX™ ION EXCHANGE RESIN AT A SWEDISH AIRPORT | 470 |
| 3D HYDROGEOPHYSICAL AND TIME-SENSITIVE MODEL FOR REMEDIATION OF A LNAPL-POLLUTED SITE | 471 |
| TECHNOLOGY FOR CONTINUOUS, IN-SITU PRODUCTION OF REACTIVE OXYGEN SPECIES | 473 |
| SIMULTANEOUS REMOVAL OF TOXIC METALLOIDS AND METALS FROM SOIL USING RESoil® TECHNOLOGY..... | 475 |
| AMERICAN PERSPECTIVE OF THE SOIL REMEDIATION MARKET | 478 |
| TREATMENT OF HYDROCARBON-CONTAMINATED SOILS WITH BIOSURFACTANTS OBTAINED FROM AGRICULTURAL WASTES | 481 |
| FROM TREE PRUNING WASTES TO SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION..... | 484 |

| | |
|--|-----|
| RADIONUCLIDE CONCENTRATION IN THE SEDIMENTS OF THE SACCA DI GORO (ITALY) | 487 |
| INTEGRATED USE OF SCREENING MATRIX, SUSTAINABILITY CRITERIA AND ENGAGEMENT FOR DESIGN REMEDIATION OF AN AGRICULTURAL SITE | 489 |
| REMEDICATION AND CLOSURE OF LNAPL CONTAMINATED SITE USING AN INNOVATIVE 3-STEP APPROACH FROM REMEDIAL DESIGN TO IN-SITU REMEDIATION | 493 |
| IN-SITU REMEDIATION OF DNAPL SOURCE AND PLUME AT AN ACTIVE INDUSTRIAL FACILITY WITH INNOVATIVE ENHANCED REDUCTIVE DICHLORINATION TECHNOLOGY | 495 |
| USE OF SUNFLOWER FOR PLANT-ASSISTED BIOREMEDIATION OF A DEGRADED SOIL MIXED WITH MARINE SEDIMENTS CONTAMINATED BY POLYCHLOROBYPHENILS..... | 497 |
| APPLICATION OF NATURAL AND MODIFIED ZEOLITES FOR WASTEWATER TREATMENT.. | 499 |
| SUSTAINABLE REMEDIATION: AN APPROACH TO REACH AND COMPLETELY DESTROY CONTAMINANT MASS IN LOW-PERMEABILITY STORAGE ZONES WITH HIGH-RESOLUTION DATA | 501 |
| SEMI-CONTINUOUS SUMMER-SEASON CULTIVATION IN A FLAT OUTDOOR PROTOTYPE OF AN AUTOCHTHONOUS MICROALGAE FOR THE PHYTOREMEDIATION OF URBAN WASTEWATERS AT THE FERRARA (ITALY) PLANT..... | 504 |
| UTILIZING DRONE TECHNOLOGY FOR MONITORING AND ESTIMATING GULLY EXPANSION IN AN ENVIRONMENTAL PROTECTION AREA IN NOVA LIMA-MG, BRAZIL..... | 508 |
| HIDDEN SOURCES OF SOIL POLLUTION: POTENTIAL IMPACT OF OPERATIONAL HEATING AND COOLING SYSTEMS ON SOIL HEALTH AND MICROBIAL DYNAMICS | 511 |
| CURRENT TRENDS AND CHINESE PERSPECTIVE OF THE SOIL REMEDIATION METHODS USING REMEDIATION TRAINS | 514 |
| ENVIRONMENTAL FORENSICS: CHALLENGES, OPPORTUNITIES AND LIMITATIONS OF SOURCE-TRACKING PFAS CONTAMINATION UNDER COMPLEX SITE CONDITIONS | 518 |
| A NEW DUO TO SUPERCHARGE YOUR SUB-SLAB CHARACTERIZATION | 521 |
| REVOLUTIONIZE YOUR SITE CHARACTERIZATION WITH OUR ANALYTICAL TECHNIQUES FOR SOIL CORE MOBILE PHASE RECOVERY AND DETERMINATION | 523 |
| IN-SITU ELIMINATION OF PFAS IN CONTAMINATED SOIL AND GROUNDWATER BY WASHING WITH PROTEIN BIO-POLYMERS AND STABILIZATION BY GAC HIGH PRESSURE INJECTION | 525 |
| WHAT IS THE ENVIRONMENTAL FOOTPRINT OF PER-AND POLYFLUOROALKYL SUBSTANCES (PFAS) TREATMENT TECHNOLOGIES FOR LIQUID AND SOLID? | 527 |
| RISK ASSESSMENT APPLIED TO BACKFILL MATERIALS NON-COMPLIANT TO LEACHING TEST AS DEFINED BY LAW NO. 108 OF JULY 29, 2021..... | 529 |
| DEVELOPMENT AND DEMONSTRATIONS OF THE PFAS EFFLUENT TREATMENT SYSTEM (PETS) AND PLANNED RESEARCH AND DEVELOPMENT EFFORTS AT THE ERDC..... | 532 |
| HIGH PFAS CONCENTRATIONS IN WATER AND ON SOLID SURFACES..... | 533 |
| 4C SYSTEM - TOOL FOR MANAGING CONTAMINATION SOURCES AT COMPLEXES SITES. | 536 |
| DEVELOPMENT AND TESTING OF AN ALGORITHM FOR THE DYNAMIC MANAGEMENT OF A MULTIPLE AND INTERFERING HYDRAULIC BARRIER SYSTEM | 539 |
| IMPLEMENTATION OF A MULTI-SENSOR PROTOCOL FOR THE EVALUATION OF DIFFUSE METHANE EMISSIONS IN LANDFILL SITES..... | 542 |

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

Studio idrogeologico del Sito di Interesse Nazionale del bacino del Fiume Sacco: dal dato alla sintesi

Chiara Fiori ¹, Luigi Marangio ¹, Roberto Mazzitelli ¹, Irene Rischia ¹

¹*Affiliazione: ISPRA – Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia - Area per la caratterizzazione e la protezione dei suoli e per i siti contaminati, Roma*

La valle del Fiume Sacco è stata interessata negli anni dallo sviluppo di un considerevole inquinamento ambientale connesso a diversi fattori di natura essenzialmente antropica rappresentati perlopiù dalle attività industriali presenti (settore chimico, bellico, industria manifatturiera, ecc.), sia in esercizio sia dismesse.

In particolare, nel 2005, in seguito al rilevamento in un campione di latte proveniente da un'azienda zootecnica situata nel comune di Gavignano (RM) del composto chimico beta-esaclorocicloesano (β -HCH), con concentrazioni superiori al livello limite di 0,003 mg/kg consentito dalla normativa comunitaria, è stato dichiarato lo stato di emergenza socio-economico-ambientale nel bacino del fiume Sacco attraverso il DPCM 19 maggio 2005.

Nel novembre 2021 è stata sottoscritta tra ISPRA, Regione Lazio, ARPA Lazio, ISS, ASL Roma e ASL Frosinone la convenzione "*Monitoraggio Acque per uso potabile irriguo e domestico*" nell'ambito dell' "*Accordo di programma tra il Ministero dell'Ambiente della Tutela del Territorio e del Mare e la Regione Lazio per la realizzazione degli interventi di messa in sicurezza e bonifica del SIN del Bacino del Fiume Sacco*". Nella suddetta convenzione sono in capo ad ISPRA le seguenti attività:

- analisi, valutazione, sistematizzazione ed implementazione di una geodatabase popolato con i dati estrapolati dalla documentazione tecnica (stratigrafie, caratteristiche tecniche dei pozzi/piezometri, ecc.) nella disponibilità dei propri archivi;
- definizione in collaborazione con Arpa Lazio del set analitico di parametri di riferimento al fine della caratterizzazione idrochimica delle acque sotterranee;
- elaborazione dello studio idrogeologico dell'area ricadente all'interno del perimetro del SIN Bacino fiume Sacco, finalizzato all'individuazione e alla descrizione degli acquiferi di interesse ai

fini del monitoraggio delle acque sotterranee, anche attraverso l'acquisizione di nuovi dati chimico-fisici.

In particolare, all'interno della prima fase di monitoraggio (allo stato conclusa), è stato redatto da ISPRA lo "*Studio idrogeologico inerente il Sito di Interesse Nazionale Bacino del Fiume Sacco (gennaio 2023)*".

Basandosi sulla documentazione tecnica presente nell'archivio dell'Istituto ed afferente all'attività istituzionale di supporto tecnico che ISPRA fornisce al Ministero dell'Ambiente e della transizione Energetica (MASE), ai sensi dell'art. 252 comma 4 del d.lgs. 152/2006, è stata organizzata una notevole mole di dati relativi a stratigrafie, descrizioni geologiche ed idrogeologiche, afferenti alle differenti aree all'interno della perimetrazione del SIN.

È stato quindi creato un data base complesso e realizzate una serie di rappresentazioni geografiche interrogabili.

Dai dati così organizzati sono stati individuati e restituiti su apposita base cartografica i principali complessi idrogeologici riconosciuti nell'area di studio, con l'attribuzione indicativa dei valori di permeabilità media, oltre che elaborata la ricostruzione della superficie freaticometrica a scala di SIN.

Parallelamente, sono state ricostruite n.15 sezioni litostratigrafiche complesse e di lunga pertinenza contenenti aspetti legati alle litologie riscontrate in differenti ambiti territoriali del SIN.

Quanto elaborato rappresenta una prima ed importante fase nell'organizzazione e nella valorizzazione dei dati ambientali prodotti nell'ambito della Parte IV Titolo V del D. Lgs 152/2006.

Keywords: Sito di Interesse Nazionale, Idrogeologia, Geodatabase, Sezioni stratigrafiche

Email: chiara.fiori@isprambiente.it

Utilizzo di nanoparticelle di TiO₂ in applicazioni di fitorimedia bio-assistito per il recupero di suoli contaminati da PCB e metalli pesanti

Valeria Ancona¹, Giorgia Aimola¹, Lucia Curri², Angela Gatto³, Anna Barra Caracciolo⁴, Roberto Comparelli⁵, Gian Luigi Garbini⁴, Daniela Losacco¹, Vito Felice Uricchio¹ and Paola Grenni⁴

¹ *Istituto di Ricerca Sulle Acque – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Bari, BA, Italia;*

² *Dipartimento di Chimica, Università of Bari, BA, Italy;*

³ *Istituto Scienze delle Produzioni Alimentari – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Bari, BA, Italia;*

⁴ *Istituto di Ricerca Sulle Acque – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, RM, Italia;*

⁵ *Istituto dei Processi chimico fisici– Consiglio Nazionale delle Ricerche, Bari, BA, Italia;*

L'inquinamento del suolo è uno dei rilevanti processi di degrado che affliggono la risorsa suolo. Recentemente, le *Nature-Based Solutions* (NBS) sono state ampiamente riconosciute come strategie di biorisanamento promettenti, redditizie e sostenibili per degradare e stabilizzare i contaminanti organici e inorganici dall'ambiente. Tra queste strategie, il fitorimedia bio-assistito, basato sull'azione sinergica instaurata tra apparato radicale e microrganismi della rizosfera del suolo, si è dimostrato efficace nel risanamento di suoli storicamente multi-contaminati. Negli ultimi anni è stato studiato l'utilizzo di nanomateriali (particelle di dimensioni 1-100 nm) in ausilio alla *phytoremediation* per il recupero dei suoli dall'inquinamento. Tra queste, le nanoparticelle di biossido di titanio (TiO₂) sono state studiate su scala di laboratorio per favorire il fitorisanamento del suolo contaminato da metalli pesanti. In questo lavoro, è stato investigato, mediante l'allestimento di microcosmi sperimentali a scala di serra, l'uso di nanoparticelle di TiO₂ per migliorare le capacità del girasole di recuperare un suolo multi-contaminato da policlorobifenili (PCB) e metalli pesanti, prelevato da un'area multi-contaminata del Sud Italia. Una serie di microcosmi di suolo (non piantati/non piantati + TiO₂) sono stati allestiti anche come campioni

di controllo. Le analisi dei principali parametri chimico-fisici del suolo (pH, EC, P assimilabile, C organico), dei contaminanti e le analisi microbiologiche (abbondanza microbica e attività deidrogenasica) sono state effettuate a diversi tempi di campionamento (0, 45, 90 giorni). Inoltre, la struttura dei principali gruppi microbiologici è stata valutata mediante indagini qPCR. Le analisi degli inquinanti sono state effettuate anche su campioni di biomassa (radici, foglie e steli). I principali risultati ottenuti nei microcosmi coltivati a girasole hanno evidenziato che la concentrazione di PCB nel suolo si è ridotta alla fine dell'esperimento (90 giorni), mostrando un riarrangiamento dei principali gruppi congeneri (*dioxine like, marker, non-dioxine like*). Le concentrazioni dei metalli pesanti nei suoli non sono variate in modo significativo dopo 90 giorni di sperimentazione. Le determinazioni dei metalli eseguite sui tessuti vegetali hanno evidenziato un elevato accumulo di Zn e Pb, rispettivamente nelle foglie e nelle radici. I più alti valori di abbondanza microbica sono stati osservati nei microcosmi di girasole trattati con TiO₂.

Keywords: nanoparticelle, TiO₂, fitorimediao bio-assistito, policlorobifenili, metalli pesanti

Email: ancona@irsa.cnr.it

Misurare la sostenibilità degli interventi di bonifica: strumenti quantitativi per la valutazione *ex ante* degli impatti lungo il ciclo di vita, della circolarità e degli aspetti socio-economici

S. A. Frisario¹, S. Breda², M. Menegaldo³, A. Bonfà², M. Carisi³, A. Zabeo³, A. Sellitri³, L. Pizzol³, P. Scanferla², A. Marcomini²

¹*Eni Rewind SpA – Eni Rewind S.p.A., Piazza M. Boldrini 1, 20097 San Donato M.se, Italy*

²*Fondazione Università Ca' Foscari - Dorsoduro 3859, 30123 Venice, Italy*

³*GreenDecision s.r.l. - Via Torino, 155, 30172 Venice, Mestre, Italy*

Le politiche europee per la sostenibilità e la multitransizione stanno creando un articolato, ma coerente quadro di iniziative volte a stabilire principi applicativi per la misura degli impatti ESG delle attività economiche, che impedisca il proliferare di valutazioni approssimative e non basate su metodi scientifici accreditati. Tali iniziative evidenziano la necessità di sviluppare strumenti decisionali per la valutazione della sostenibilità e circolarità a supporto di tutti gli attori a vario titolo coinvolti nelle filiere produttive, dagli enti di controllo agli organi di governo.

In questo contesto, le attività di bonifica e recupero di aree degradate si inseriscono come opportunità di rigenerazione urbana e industriale e necessitano di essere valutate in termini di sostenibilità a partire dalla ISO 18504:2017, che raccoglie e sistematizza quanto elaborato da più di vent'anni di ricerca applicata in questo ambito.

Coerentemente con quanto stabilito dalla ISO e sulla scorta delle metodologie più accreditate per la misurazione degli impatti, Eni Rewind e Fondazione Università Cà Foscari hanno sviluppato uno strumento di supporto alle decisioni, denominato "ASTRA" (*Advanced Sustainability Tool for Remediation Assessment*), in grado di fornire una valutazione comparativa degli scenari di gestione del sito che consenta di individuare l'alternativa più sostenibile. ASTRA si basa sull'applicazione di un'analisi decisionale multi-criteriale di tipo semi-quantitativo che prevede la valorizzazione di 24 indicatori di cui 16 quantitativi, legati alla misurazione di impatti ambientali, economici e

sociali, e 8 semi-quantitativi, riferiti ad una scala di valori numerici con descrittori predefiniti. Nove degli indicatori ambientali derivano da un'analisi del ciclo di vita predittiva (Life Cycle Assessment - LCA), effettuata mediante l'impiego del software STAR-LCA (*Simplified Tool to Assess Remediation by LCA*) che è stato sviluppato per consentire la quantificazione degli impatti ambientali lungo il ciclo di vita delle operazioni legate alla bonifica, dalla cantierizzazione, al fine vita. Tale metodologia si basa sulla modellizzazione delle tecnologie di bonifica attraverso la loro scomposizione in singole componenti (e.g. scavi) a loro volta scomposte in elementi (e.g. scavatore). A ciascun elemento sono stati associati i processi LCA corrispondenti (selezionati dalla banca dati Ecoinvent valorizzati attraverso specifici fattori di conversione e funzioni di modellizzazione sito specifica che, sulla base di pochi parametri, forniscono valori di default per tutti gli elementi delle tecnologie applicate.

L'obiettivo del presente intervento è di illustrare l'utilizzo di ASTRA e STAR-LCA attraverso l'applicazione ad un caso di studio, così da poterne indagare il funzionamento, dalla formulazione degli obiettivi ai risultati ottenuti.

Keywords: Bonifica, Sostenibilità, LCA

Email: silviaanna.frisario@enirewind.com, silvia.breda@unive.it

Procedura semplificata per la determinazione delle priorità interventali in strutture contenenti amianto

Dott. Geol. Gianluca Pirani PhD

*ISPRA: Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale,
Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia*

La mappatura svolta da INAIL [1] in convenzione con il MASE (ex MATTM) [2], tuttora in fase di completamento, al 2021 ha individuato in Italia 118.231 siti con materiali contenenti amianto (MCA), di cui 7.918 bonificati e 4.304 parzialmente bonificati [3]. I Piani Regionali di Bonifica amianto rivelano inoltre le seguenti criticità: carenza cronica di siti di stoccaggio permanente [4], esigue risorse economiche, mancata adozione di sistemi di trattamento e riciclo, uniti a lacune conoscitive. Ragion per cui gli interventi di bonifica, giocoforza devono essere contingentati e ottimizzati nell'ottica dei potenziali rischi per la popolazione mediante parametri sito specifici. Nei bandi del MATTM per la progettazione della bonifica di edifici pubblici contaminati da amianto, le graduatorie di accesso ai fondi sono conformi alla "Procedura per la determinazione delle priorità di intervento", approvata in data 29/07/2004 [5]. In assenza di dati e rilevazioni, quest'ultima può essere semplificata e adottata in via speditiva per censire ed indagare strutture virtualmente contaminate da MCA, le cui entità e relativi impatti non sono ancora noti. In *primis* le visure catastali oltre a fornire dati dimensionali e anagrafici consentono di discriminare i siti potenzialmente impattati da amianto, invero costruiti tra gli anni 50' e il 1992. Il passo successivo è la stima quantitativa e qualitativa dei MCA, unitamente ai monitoraggi ambientali, attraverso sopralluoghi. Come per i bandi ministeriali i punteggi saranno calcolati con i coefficienti di classe A÷D (friabilità, uso pubblico, accessibilità, confinamento) e classi di priorità a pericolosità crescente da 5 a 1. Gli indicatori di calcolo, ivi rinominati coefficienti di calcolo (cc1÷cc7), sono stati così razionalizzati: stima del quantitativo di MCA-cc1, concentrazione di fibre-cc2, estensione del sito-cc3, superficie esposta all'area -cc4, frequenza di utilizzo-cc5, distanza dal centro abitato-cc6 e densità della popolazione interessata-cc7. Mentre i criteri prioritari in questo ambito operativo vengono esclusi, giacché i "bersagli sensibili" sono già parametrizzati

dai succitati coefficienti, poi in quanto disciplinati da norme con lunghi *iter* e costituiti da informazioni non ancora disponibili. La formula semplificata costruita con i dati acquisiti dalle rilevazioni è la seguente: $\text{Punteggio} = [(D * (cc1 + cc3 + cc4)) + (C * (cc1 + cc5)) + (B * (cc4 + cc5 + (cc6 * cc7)) + (A * cc3))] * cc2 * \text{Coefficiente di classe di priorità}$.

I test di verifica del metodo proposto, effettuati tramite un algoritmo excel per un numero statistico rappresentativo di n. 30 casi studio reali e per vari tipologie di MCA, hanno fornito i seguenti risultati:

- i punteggi più elevati sono stati riscontrati in presenza di materiali friabili, di fibre, in comparti accessibili e di elevata frequenza di utilizzo e in subordinate da elevate superfici/volumi di MCA.
- i punteggi inferiori, in alcuni casi anche di un ordine di grandezza, sono stati registrati in presenza di MCA confinati, in buono stato di conservazione e ridotti quantitativi, in siti non accessibili.

Questo protocollo rispetto alla prassi operativa *standard*, in assenza di elementi conoscitivi consente in breve tempo e con esiguo *data set*, di pianificare interventi di bonifica dei MCA imperniati sul rischio di esposizione e conseguenti priorità operative, consentendo altresì una stima di massima dei costi da sostenere.

Keywords: bonifica amianto, valutazione del rischio, procedura di calcolo, pianificazione degli interventi.

Email: gianluca.pirani@isprambiente.it

Riferimenti e links:

[1] INAIL, Istituto Nazionale Assicurazione Infortuni sul Lavoro.

[2] MASE, Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, in precedenza MATTM, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

[3] <https://bonifichesiticontaminati.mite.gov.it/amianto-e-siti-orfani/amianto/>

[4] https://www.inail.it/cs/internet/docs/mappatura_discariche_amianto_2012-pdf.pdf

[5] <https://www.reteambiente.it/normativa/28647/decreto-direttoriale-minambiente-10-gennaio-2017/>.

Rilievi fotografici georiferiti con dispositivi mobili: dall'acquisizione delle immagini alla creazione di geodatabase per i procedimenti di bonifica

Ciro Galeone¹, Mario Manna¹, Vittorio Esposito¹

¹*Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale (ARPA)
Puglia – DAP di Taranto, 74123, C.da Rondinella, Taranto (TA)*

La gestione e l'interpolazione di dati in sistemi informativi geografici (GIS) rappresenta ormai una prassi consolidata nei procedimenti di bonifica di cui alla Parte IV - Titolo V del D.Lgs. 152/06. La conoscenza dell'esatta ubicazione di un sondaggio ambientale, piuttosto che di un fondo scavo o di un piezometro, fornisce informazioni essenziali al fine di studiare i fenomeni di contaminazione che interessano un sito inquinato o per valutare l'efficacia di misure di prevenzione, mitigazione e di progetti operativi di bonifica. Tuttavia, soprattutto per procedimenti meno recenti e per interventi di modeste dimensioni, tali informazioni non sono sempre fornite mediante file in formato editabile (*e.g.*, *.shp*, *.gpkg*, *etc.*) consultabili con i più comuni software GIS e, pertanto, queste vanno digitalizzate a partire dalla documentazione fornita all'Autorità di Competente e/o agli Enti di controllo. A tale scopo, dal 2020 il Servizio Territoriale del Dipartimento Ambientale Provinciale (DAP) di Taranto di ARPA Puglia ha iniziato a sperimentare l'utilizzo di alcune *App* per dispositivi mobili (*smartphone* e *tablet*) dedicate all'acquisizione di foto contenenti *geotag*, in modo da inserire le informazioni geografiche nei verbali stilati durante le attività di verifica e controllo, per redigere report fotografici con *output* completi di ubicazione del punto di acquisizione delle immagini. La procedura di georeferenziazione delle aree oggetto di accertamento in campo viene successivamente completata in ufficio, importando le foto scattate in loco mediante un apposito *plugin* ("ImportPhotos") dell'applicazione *desktop open source* "QGIS", per la creazione di file vettoriali puntuali a partire dalle coordinate in cui sono state acquisite le immagini. Difatti, i dispositivi mobili di uso comune consentono di effettuare foto con *geotag* anche solo utilizzando la fotocamera, una volta abilitati i servizi di

localizzazione relativi alle impostazioni dell'applicativo. Mediante lo stesso *plugin* di QGIS è poi possibile visualizzare l'immagine acquisita in campo direttamente nell'applicativo *desktop*. Questa funzione risulta utile, ad esempio, per il confronto di foto scattate in tempi diversi al fine di valutare eventuali cambiamenti occorsi al sito oggetto di valutazione. Inoltre, il fatto di utilizzare un *software open source* favorisce la possibilità di operare sullo *script* che collega l'elemento vettoriale all'apertura dell'immagine associata. Questo consente, ad esempio, di poter creare per ogni punto un *link* anche altre tipologie di file (e.g., *.pdf* e/o *.xlsx*) che possono essere così consultati operando direttamente nel progetto GIS. Operando con dati in formato vettoriale è possibile implementare i campi dei file; in questo modo possono essere successivamente inseriti i risultati analitici per ogni stazione di campionamento. Tale procedura permette la creazione di una *baseline* su cui implementare un *geodatabase* che può essere utilizzato anche per la valutazione dei fenomeni di contaminazione e/o per verificare l'efficacia delle azioni poste in essere a seguito di eventuali superamenti delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC). Infatti, mediante il *geodatabase* possono essere confrontate le risultanze prodotte nel tempo per ogni stazione di misura, favorendo una più agevole comprensione delle dinamiche a cui andranno incontro i diversi parametri ambientali investigati, ovvero i contaminanti di interesse rispetto alle CSC.

Keywords: App, GIS, geotag, open source.

Email: c.galeone@arpa.puglia.it

Definizione del modello geologico concettuale di riferimento: caso studio di approccio olistico e diacronico.

Noemi La Sorsa¹, Filomena Lacarbonara¹, Vittorio Esposito¹

¹*Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale (ARPA) Puglia – DAP di Taranto, 74123, C.da Rondinella, Taranto (TA)*

La definizione di un buon modello concettuale di sito caratterizzato da inquinamento storico e localizzato in aree fortemente antropizzate ed industriali, non può prescindere dall'analisi critica ed integrata di aspetti diacronici.

Il presente caso-studio riguarda un'area apparentemente "verde" situata nel S.I.N. di Taranto.

Sull'area estesa circa 4 ettari, piantumata ad eucalipti, insiste una masseria in "carparo", diroccata e risalente all'età moderna, impostata su precedenti insediamenti rupestri paleocristiani, accanto alla quale è ubicata una cappella. La Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, localizza l'insediamento sulla sommità di un terrazzo marino nell'unità delle calcareniti *di M.te Castiglione*. Il sito è stato caratterizzato in data anteriore all'emanazione del Dlgs 152/2006 nell'ambito di un insediamento produttivo più esteso; tuttavia, risultavano indisponibili il report stratigrafico e quello fotografico e a causa di contenziosi amministrativi il procedimento restava aperto. In prima analisi è stata fatta la verifica delle foto storiche e satellitari disponibili per apprezzare significative modifiche morfologiche: sono state utilizzate le immagini di Google Earth© disponibili e relative agli anni: 2022, 2020, 2018, 2017, 2016, 2015, 2013, 2009, 2007, 2004, 2002; le immagini Ortofoto SIT Puglia relative agli anni: 2006, 2010, 2011, 2013, 2015, 2016, 2019; foto aeree IGM anni 1954, 1972, 1974, 1987, 1989, 1996, 2003. La tecnica di *change detection* ha permesso di rilevare alcune sostanziali anomalie (in particolare durante l'ultimo decennio) che fanno presupporre la movimentazione di terre e la presenza di attività estrattiva (cave di carparo) nelle aree circostanti. Ciò è stato avvalorato dalla carta topografica IGM 1:25.000 risalente agli anni '50: essa mette in evidenza la presenza di alcune scarpate, tra cui una di forma chiusa e curva, testimonianza di un fronte di cava

ormai obliterato da riempimenti. Durante i sopralluoghi condotti, è stata rilevata la presenza di diverse infrastrutture lineari, che il proponente ha provveduto a verificare tramite indagini geoelettriche e Georadar. Tuttavia, onde evitare interferenze tra le attività di perforazione ed eventuali strutture e/o condotte, i tecnici di Agenzia ed il proponente hanno effettuato una approfondita ricerca documentale relativa alla precedente gestione. Sulla base di planimetrie relative a condotte industriali e a sezioni di progetto e stratigrafiche risalenti agli anni '60, si è dedotto che l'area risultava in parte compresa nell'impronta di una imponente galleria deputata a scarico industriale, posta a circa -10/-15 m dal p.c.: tale area, al fine di garantire le indagini in sicurezza è stata pertanto investigata tramite trincee esplorative di limitata profondità.

Gli esiti dei carotaggi eseguiti nella porzione del sito non interferente con la galleria, applicando il principio della "*sovrapposizione stratigrafica*" sono risultati discordanti: mentre a nord, al di sotto di terreno vegetale e/o riporti, è stata rilevata la presenza di calcareniti per diversi metri; nella porzione sud-est è emersa la presenza innaturale di materiale argilloso, facies grigio-verde "fuori sequenza" ovvero al di sopra delle calcareniti tirreniane che dal punto di vista stratigrafico sono più "giovani" della formazione limoso-argillosa ("Argille del Bradano"). Tale anomalia è localizzata esattamente in corrispondenza delle scarpate indicate nella carta topografica IGM del'50.

Sulla base degli elementi raccolti è possibile giungere ad un modello concettuale complesso: una cava di carparo prossima ad un insediamento storico, successivamente colmata con argille, limi argillosi e da materiale di riporto di origine industriale, oltre che rifiuti. L'affinamento del modello, tuttavia, risulterà possibile soltanto con l'implementazione di ulteriori tecniche di indagine quali la sismica a rifrazione che permette il raggiungimento di adeguate profondità di investigazione e la definizione della geometria del substrato calcarenitico.

Keywords: caratterizzazione, cava, modello

Email: n.lasorsa@arpa.puglia.it

Guideline for the recovery of contaminated “orphan” sites – Risk Analysis and Renewable Energy Production Projects

Lucina Luchetti¹, Antonella Vecchio², Scaini Federica³, Giuseppe Pignatti⁴, Sara Vergante⁴, Gianluca Pirani², Federico Silvestri², Francesca Liberi¹, Silvia De Melis¹

¹Dipartimento Governo del Territorio e Politiche Ambientali – Regione Abruzzo, Pescara, Italy.

²Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Roma, Italy.

³Dipartimento Ambiente e Salute – Istituto Superiore di Sanità (ISS), Roma, Italy.

⁴Centro di Ricerca Foreste e Legno – Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA), Roma, Italy.

The guideline aims to promote the development of new green engineering techniques, risk analysis, and monitoring systems for soil recovery that are consistent with the PNRR (National Recovery and Resilience Plan) target for the revitalization of the soil surface of orphan sites (M.D. 269/2020, L.D. 152/2006 and L. 108/21). The purpose is to reduce the environmental and health impact while promoting a sustainable recovery for the production of renewable energy and for urban forestry.

It also provides an indispensable update to the numerous simplification and technological innovation rules adopted recently by the European and Italian legislation. A smart iterative process, allowing improvement and implementation in all stages, provides the most suitable target for the specific condition of the site.

Recently, there is an increasing interest about the use of natural technologies for landfills covering using plants (phytoremediation). We suggest a phytotechnological model named Deep Rooting (DR), developed by Luchetti L. & Pignatti G. (2022).

The DR model exploits the capacity of tree rooting at the depth (3-5m) useful to intercept contaminants. The DR module for the hydraulic

barrier aims to contain and monitor the contamination plume in the deep-water table.

The phytobarrier is preferentially applied integrating the DR module with multiple vegetation species to form a barrier at each level of the soil.

Further use of the DR module is the phytocapping which puts vegetation in contact with the waste or contaminated soil before placing the closure landfill package. The analytical reporting of the site conditions is integrated with remote monitoring (Sap flow and dendrometer sensors, sUAV, and drones).

The phytocapping and phytobarriers proposed, with deep and superficial roots, can be integrated with other traditionally confining systems (es. P&T).

An innovative approach is proposed for the assessment of the human and environmental risks associated to each applicable covering and recovery solution for selecting the most appropriate according to different scenarios. Updates of the modelling for the prediction of contaminant transport from landfills and the evaluation of the exposure and associated risks in different scenarios are also presented.

Finally, this guideline for studying historical landfills, can also be applied for the use of green techniques and the production of renewable energy sources in 'controlled landfill' lots.

Keywords: PNRR (National Recovery and Resilience Plan), landfill contaminated sites, phytoremediation, risk analysis

*Email: lucina.luchetti@regione.abruzzo.it,
antonella.vecchio@isprambiente.it, federica.scaini@iss.it,
giuseppe.pignatti@crea.gov.it, sara.vergante@crea.gov.it,
gianluca.pirani@isprambiente.it, federico.silvestri@isprambiente.it,
francesca.liberi@regione.abruzzo.it,
silvia.demelis@regione.abruzzo.it*

Sostenibilità della bonifica dei PFAS: comparazione dell'impatto ambientale dell'attenuazione potenziata mediante carbone attivo colloidale e il Pump & Treat

Marcello Carboni¹, Mariangela Donati¹, Paola Gorla¹, Gareth Leonard², Jarno Laitinen³, Kristen Thoreson⁴

¹REGENESIS, Torino (Italia)

²REGENESIS, Bath (Regno Unito)

³Ramboll, Tampere (Finlandia)

⁴REGENESIS, San Clemente (USA)

Le sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS) sono contaminanti che comportano diverse problematiche per la loro bonifica nelle acque sotterranee. È noto che i PFAS sono recalcitranti ad una degradazione completa, tossici anche a basse concentrazioni, altamente mobili e spesso con sorgenti che forniscono un rilascio continuo nel tempo. Ne risultano plume ampi e persistenti che possono avere un impatto su diversi recettori a valle idrogeologico.

Le tecniche di bonifica da PFAS per le acque sotterranee includono l'attenuazione potenziata (*Enhanced Attenuation*, EA), tra cui l'applicazione in situ di carbone attivo colloidale (CAC) in falda per potenziare la ritenzione dei PFAS e ridurre il flusso di massa dei contaminanti. L'afflusso di PFAS viene adsorbito dal CAC fornendo una riduzione significativa e a lungo termine delle concentrazioni a valle. Il trattamento mediante ritenzione potenziata è progettato per durare decenni e può essere mantenuto mediante occasionali riapplicazioni o può essere sufficiente nel caso in cui venga completato anche il trattamento/rimozione della sorgente. Tale approccio è stato utilizzato su oltre trenta siti in Europa, Nord America e Medio Oriente.

Con il crescente interesse per la sostenibilità degli approcci di bonifica, è stato deciso di implementare uno studio sull'impatto ambientale di questo metodo di EA. È stato pertanto effettuato un confronto con l'approccio più comune di estrazione e filtrazione delle acque di falda per la rimozione dei PFAS.

È stato completato uno studio di analisi del ciclo di vita (LCA) sul materiale CAC per ottenere una visione complessiva degli impatti ambientali nella produzione, spedizione e applicazione del prodotto. L'analisi LCA è stata condotta "dalla culla alla tomba", ovvero considerando l'approvvigionamento della materia prima, i processi principali tra cui l'attivazione e la macinazione e i processi a valle del trasporto e dell'iniezione. L'LCA è stata condotta secondo gli standard ISO14044/ISO14025 utilizzando il software GaBi Professional al fine di soddisfare gli standard EN15804 e produrre una Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD).

Successivamente, è stato selezionato un sito su cui era stato applicato il CAC per trattare una contaminazione da PFAS. Si tratta di un aeroporto in cui l'uso di schiume antincendio aveva generato un plume PFAS in fuoriuscita dal sito che impattava un'area adiacente di interesse scientifico specifico e un fiume. La barriera permeabile reattiva iniettabile (i-PRB) di CAC è stata applicata lungo il confine del sito su una lunghezza di 110 m, immediatamente a valle dell'area di addestramento antincendio. L'intervento i-PRB è stato analizzato per determinarne l'impatto ambientale. È stato quindi progettato un sistema Pump & Treat che potrebbe fornire un trattamento alternativo delle acque sotterranee per la stessa estensione, per ottenere parametri simili per lo stesso periodo di trattamento. È stato quindi effettuato un confronto tra i due approcci, comparando le emissioni di gas serra, l'acidificazione, la formazione di ozono fotochimico, i rifiuti, il consumo di energia, i costi e il disturbo al sito.

Verrà mostrata una descrizione dell'approccio e dei risultati dell'LCA. Verranno spiegate le condizioni del sito, l'installazione dell'i-PRB e la progettazione alternativa del P&T. Verranno mostrati la metodologia e l'output di confronto e si trarranno conclusioni sulla sostenibilità relativa e sull'impatto ambientale di ciascun approccio.

Keywords: PFAS; sostenibilità; carbone attivo colloidale; in situ

Email: mcarboni@regenesi.com

Il biorimedio fito-assistito per promuovere la degradazione dei PCB: stato dell'arte e prospettive future

Valeria Ancona ¹, Luisa Friulla ²

¹ *Istituto di Ricerca Sulle Acque – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Bari, BA, Italia;*

² *Master di II livello in Caratterizzazione e Tecnologie per la bonifica dei Siti inquinati, Università La Sapienza di Roma, RM, Italia.*

I policlorobifenili (PCB) sono una serie di composti aromatici biciclici costituiti da molecole di bifenile variamente clorate. causa della loro tossicità e della tendenza a bioaccumularsi, la produzione di tali composti è stata vietata dalla fine degli anni '70. I PCB rientrano tra le 12 famiglie di composti organici clorurati inizialmente identificati come “inquinanti organici persistenti” (*Persistent organic pollutant*, POPs) dalla Convenzione di Stoccolma sugli Inquinanti Organici Persistenti del 2015. I PCB sono composti chimici molto stabili, resistenti agli acidi e agli alcali, nonché alla fotodegradazione, all'ossidazione e all'idrolisi. Perdite, incendi e scarichi illeciti, in caso di sistemi chiusi e discarica, migrazione di particelle ed emissioni in atmosfera per evaporazione, in caso di sistemi aperti, sono le principali cause di rilascio di PCB nell'ambiente, in cui tendono a persistere per lunghi periodi, in funzione della loro elevata resistenza, circolando tra aria, acqua e suolo. A causa della loro bassa affinità per l'acqua e la loro conseguente scarsa mobilità, i PCB tendono ad accumularsi nei terreni che, quindi, fungono da efficace serbatoio per questi composti.

Le *Nature-Based Solutions* hanno attratto notevole attenzione con riferimento alla degradazione di tali inquinanti, soprattutto perché sono strategie di riqualificazione a basso costo e a ridotto impatto ambientale. Tra queste, il biorimedio fito-assistito è una tecnologia verde per il recupero di aree multi-contaminate che si basa sull'utilizzo di specie vegetali che sinergicamente con le comunità microbiche della rizosfera (porzione di suolo che circonda le radici) favoriscono il recupero della qualità del suolo andando a ridurre, trasformare o degradare i contaminanti presenti.

In questo lavoro, viene descritto lo stato dell'arte sulle potenzialità del biorimedia fito-assistito nel promuovere la degradazione dei PCB fornendo un focus sulle specie vegetali più efficaci e sui principali gruppi microbici del suolo coinvolti nei processi di decontaminazione del suolo da PCB. Inoltre, particolare attenzione è rivolta agli essudati radicali, composti rilasciati dalla specie vegetali nella rizosfera, che svolgono un ruolo chiave nel veicolare le interazioni pianta-microorganismo che sono alla base dei processi di decontaminazione. In ultimo, viene fornito un approfondimento sulle prospettive future che scaturiscono dalla realizzazione di impianti di biorimedia fito-assistito per il recupero di siti contaminati da PCB. In tal senso sono valutati possibili percorsi di valorizzazione della biomassa prodotta da tali applicazioni, nel rispetto dei principi dell'economia circolare, al fine di mettere a punto strategie di riqualificazione ambientale e di creare filiere verdi produttive in grado di supportare azioni concrete di transizione ecologica.

Keywords: policlorobifenili, rizosfera, essudati radicali, comunità microbiche del suolo

Email: ancona@irsa.cnr.it

Effetti di differenti donatori di elettroni sul riarrangiamento della comunità microbica nativa di falde contaminate da cromo esavalente

Marina Tumolo¹, Domenico De Paola^{*}, Angela Volpe¹, Vito Felice Uricchio¹, Valeria Ancona^{1*}

¹ Istituto di Ricerca Sulle Acque – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Bari, BA, Italia;

² Istituto di Bioscienze e Biorisorse - Consiglio Nazionale delle Ricerche, Bari, BA, Italia

Il recupero delle acque sotterranee contaminate da cromo esavalente può essere convenientemente ottenuto attraverso la riduzione del Cr(VI) a Cr(III), chimicamente o enzimaticamente. Processi di riduzione mediati da batteri sono stati osservati in ambienti aerobici e anaerobici, in varie condizioni. È stato dimostrato che l'aggiunta di mediatori redox facilita il trasporto di elettroni extracellulari e migliora la bioconversione del Cr(VI). Il metabarcoding del DNA ambientale (eDNA) è un approccio interdisciplinare che combina l'ecologia tradizionale con metodi molecolari avanzati e strumenti computazionali. Il metabarcoding consente di valutare la biodiversità in ambienti inquinati e identificare i microrganismi putativamente coinvolti nei processi di biorisanamento. In questo lavoro, microcosmi sperimentali sono stati allestiti utilizzando acqua sotterranea addizionata con 1 mg/L di Cr(VI) per studiare l'effetto di due diversi ammendanti nel promuovere la riduzione di Cr(VI) da parte dei batteri nativi. Le prestazioni del lattato (3 mM) e dell'estratto di lievito (200 mg/L), come substrati organici e donatori di elettroni, sono state monitorate per 28 giorni in parallelo, utilizzando un controllo non ammendato. La concentrazione di Cr(VI) è stata misurata spettrofotometricamente, con il metodo della difenilcarbazide. Il riarrangiamento della struttura della comunità batterica nativa nelle linee ammendate rispetto al controllo è stato investigato mediante sequenziamento del 16S rDNA, in corrispondenza del quarto giorno di incubazione, quando sono state osservate significative differenze nel tasso di rimozione del Cr(VI) tra i trattamenti, e del quattordicesimo giorno. I risultati hanno suggerito che l'utilizzo di donatori di elettroni

ha promosso il riarrangiamento ammendante-specifico della struttura della comunità microbica, supportando la proliferazione di poche specie batteriche con conseguente diminuzione della ricchezza e dell'uniformità delle specie osservate.

Il lattato (serie LAT) ha favorito dopo 4 giorni di incubazione l'arricchimento di batteri fermentativi (*Chromobacteriaceae*, *Paludibacterium*, e *Micrococcaceae*). Successivamente, in corrispondenza del massimo tasso di rimozione del Cr(VI) osservato (14 giorni di incubazione), i *taxa* più rappresentati sono stati *Pseudarcicella* e *Azospirillum*.

L'utilizzo dell'estratto di lievito come fonte di carbonio e donatore di elettroni (serie YE), ha portato invece al significativo arricchimento di *Shewanella*, *Vogesella* e *Acinetobacter* al 4° giorno di sperimentazione, in cui è stata osservata una rimozione del Cr(VI) pari al 90% che raggiunge il 100% al 7°giorno. A 14 giorni dall'inizio della sperimentazione, l'analisi dei dati di sequenziamento evidenzia un riarrangiamento della comunità microbica e un notevole aumento dell' α -diversità.

L'approfondimento condotto nel presente lavoro sulla struttura della comunità batterica nativa nel corso del processo di decontaminazione ha consentito di ipotizzare quali microorganismi abbiano rivestito un ruolo chiave nella rimozione del Cr(VI). In particolare, nella serie LAT questa sembra esser stata favorita dal proliferare di *taxa* microbici in grado di adsorbire il Cr(VI) o di ridurlo per via aspecifica. Il più rapido tasso di decontaminazione osservato nella serie YE è stato invece presumibilmente promosso dalla proliferazione di microorganismi capaci di mediare il trasferimento extracellulare di elettroni.

Keywords: cromo esavalente, acque sotterranee, donatori di elettroni, comunità microbica nativa

Email: domenico.depaola@ibbr.cnr.it, ancona@irsa.cnr.it

Valutazione del rischio sanitario in aree agricole: caso studio dell'area vasta di Statte

Natalia Leone¹, Graziana Malizia¹, Annamaria Basile², Vito Felice Uricchio¹, Mauro Capita³, Francesco Andrioli³, Valeria Ancona^{1*}.

¹Istituto di Ricerca sulle Acque, Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRSA-CNR), Bari

²Sezione Ciclo Rifiuti e Bonifiche - Regione Puglia, Bari

³Comune di Statte, Statte (TA)

L'attività di caratterizzazione di alcune aree destinate alla produzione agro-alimentare, ubicate nell'Area Vasta di Statte (TA), condotta dall'amministrazione comunale di Statte in collaborazione con il CNR-IRSA di Bari, ha evidenziato superamenti delle CSC, di cui all'Allegato 2 al D.M. 46/2019, per il parametro microinquinanti organici (Σ PCDD+PCB *dioxin-like*) in campioni di suolo.

Pertanto, secondo le prescrizioni del suddetto D.M., si è proceduto alla Valutazione del Rischio (VdR) sanitario connessa alla contaminazione del sito, partendo dalla elaborazione del Modello Concettuale Preliminare (MCP), finalizzato ad individuare le possibili sorgenti di contaminazione, ipotizzare i meccanismi ed i processi di trasporto dei contaminanti, e identificare i bersagli e le loro modalità di esposizione alla potenziale contaminazione, consentendo di valutare le condizioni di rischio per la salute umana e l'ambiente. A tal fine, relazionando gli esiti di precedenti indagini di caratterizzazione e quelli derivanti dall'attuazione del recente Piano di Indagini (Fase I), con l'assetto geologico e idrologico del sito e l'uso del suolo delle aree indagate, si è proceduto ad analizzare gli elementi che definiscono il MCP e, quindi, a produrre una VdR sanitario e ambientale preliminare. In particolare, per valutare il rischio associato al consumo dei prodotti agroalimentari provenienti dalle aree agricole di interesse, sono stati definiti criteri di monitoraggio e specifici protocolli di campionamento della biomassa vegetale e di derrate agro-alimentari i quali, considerato l'uso del suolo prevalente, hanno riguardato vigneti e oliveti (Piano di Indagini – Fase II).

Per quanto gli inquinanti organici non presentino mobilità significativa nel suolo, essi possono entrare nella catena alimentare attraverso la deposizione atmosferica, e di conseguenza essere assorbiti dalle

foglie; inoltre, nel caso di sversamenti nelle matrici acqua e suolo, essi possono essere veicolati nelle piante attraverso gli apparati radicali ed interessare il fusto, le foglie ed i frutti.

Pertanto, per valutare i possibili processi di traslocazione e bioaccumulo dei microinquinanti organici negli organi vegetali, tali contaminanti sono stati attualmente determinati per i prodotti uva e olive e sono in corso di definizione le analisi di campioni compositi di foglie e radici e di suolo rizosferico.

Sulla base delle risultanze analitiche dei prodotti agroalimentari (uva e olive) si è quindi proceduto alla valutazione di rischio connesso al consumo degli stessi, elaborando una VdR secondo le modalità previste nell'allegato 3 del D.M., applicando la "Fase 3"; infatti, qualora non siano reperibili per il contaminante indagato parametri tossicologici di confronto, ovvero in caso di sostanze cancerogene, la valutazione del rischio sanitario si avvale dell'approccio statunitense dell'*Environmental Protection Agency (EPA)* che utilizza, come parametri tossicologici di confronto, la *Reference Dose (RfD)* per la valutazione degli effetti tossici e lo *Slope Factor (SF)* per gli effetti cancerogeni. La VdR sanitario, condotta per i campioni di uva e olive, ha evidenziato che il rischio derivante dalla presenza delle sostanze investigate è accettabile. Tali risultati preliminari sono incoraggianti e non evidenziano rischi significativi per la salute umana a seguito dell'assunzione dei suddetti prodotti agroalimentari. Inoltre, a completamento delle indagini della Fase II, si provvederà ad elaborare il MC ambientale/sanitario Definitivo e a condurre le necessarie valutazioni per la stima del rischio dei lavoratori delle aree agricole.

Keywords: aree agricole potenzialmente contaminate, protocolli di campionamento, valutazione del rischio, derrate agro-alimentari

Email: ancona@irsa.cnr.it

Attività di verifica dei fondi scavo nelle aree interessate da interventi previsti dall'AIA nello stabilimento siderurgico di Taranto

Renna Roberta¹, Lacarbonara Mina¹, Vincenzo Campanaro²

¹UOC Acqua e Suolo Direzione Scientifica, ARPA Puglia

²Direzione Scientifica, ARPA Puglia

La realizzazione di interventi ed opere all'interno di siti di interesse nazionale è assoggettata alla disciplina di cui agli art.252 e 242-ter del D.lgs. n.152/2006 o alla disciplina di cui all'art.25 del DPR n.120/2017, a seconda della tipologia di intervento ed opera e delle condizioni del sito.

Diversamente, il quadro normativo e procedurale cogente per lo Stabilimento siderurgico di Taranto prevede, nelle more dell'attuazione degli interventi di bonifica, protocolli operativi specifici di verifica dei fondi scavo che traggono origine dalla indifferibilità ed urgenza delle opere e degli interventi previsti dall'AIA e dal Piano delle misure ambientali.

In tale inquadramento normativo vengono fissate le condizioni per l'attuazione degli interventi, le procedure di campionamento previste per i materiali di fondo scavo e la loro gestione. La verifica dei fondi scavo prevede azioni differenti in funzione delle condizioni operative ed ambientali specifiche.

La verifica della conformità delle CSC sui fondi scavo nello Stabilimento è eseguita sulla matrice assimilabile a suolo naturale (s.s.) o a materiale di riporto assimilabile a suolo ai sensi dell'art.3 del DL 25/01/2012 n.2 convertito con L. 24/03/2012 n.28 ed aggiornato con DL 77/2021. Tale verifica è dirimente per decidere se lo scavo stesso è idoneo alla realizzazione degli interventi previsti dal Piano delle misure ambientali o se sarà necessario approfondirlo per rimuovere il terreno risultato contaminato.

Il campionamento del suolo superficiale, in base alla specifica norma applicabile, deve essere effettuato con le seguenti modalità:

- a) individuazione di celle uniformi per litologia di terreno;
- b) prelievo di almeno due campioni per ogni cella litologica;

- c) formazione di un unico campione composito per cella ottenuto dalla miscelazione delle aliquote;
- d) confronto della concentrazione misurata per il campione, che deve riguardare i medesimi analiti già ricercati in esecuzione del piano di caratterizzazione, con i valori di concentrazione soglia di contaminazione (CSC);
- e) conservazione di un'aliquota di campione a disposizione dell'ARPA Puglia.

Le difficoltà operative di riconoscimento dei materiali presenti all'interno del sito lasciano grande responsabilità ai tecnici che operano in campo e agli Enti di controllo.

Per tale motivo si è ritenuto necessario predisporre linee guida a supporto delle attività ed è stato predisposto uno specifico Verbale di campionamento per la caratterizzazione del suolo e matrici materiali di riporto da fondo scavo.

Il documento, messo a punto dall'ARPA nell'ambito delle attività del "Piano Taranto", nasce con l'obiettivo di definire le procedure di campionamento di materiali naturali (terreno in posto e litotipi autoctoni, terreno di riporto, stabilizzato di cava), materiali di riporto definiti ai sensi del DL 2/2012 e ss.mm. e ii. e materiale antropico (più o meno omogeneo, con/senza inclusioni).

Viene proposto un format di verbale di campionamento, redatto in conformità alla vigente normativa nazionale ed alle procedure approvate per le aree di competenza dello Stabilimento siderurgico di Taranto. Il verbale di campionamento, compilato in ogni sua parte, rappresenta lo strumento utile a fornire una guida alla esecuzione e descrizione della procedura di campionamento, alla raccolta e compilazione delle informazioni necessarie per il laboratorio incaricato delle analisi e raccoglie dati utili ai diversi soggetti coinvolti nel procedimento amministrativo.

Email di riferimento: r.renna@arpa.puglia.it

Keywords: campionamento, DL 2/2012, materiali di riporto

Biostimolazione aerobica per abbattimento clorurati nelle acque di falda

Riccardo Crespi¹, Federico Santoro²

¹*Eni Rewind*

²*Piazza Boldrini 1, San Donato Milanese (MI)*

In un sito del nord Italia sono state condotte attività di prova pilota di biostimolazione aerobica della fauna batterica. L'intervento di biostimolazione aerobica è stato presentato nell'ambito del Progetto Operativo di Bonifica delle acque di falda del sito. Tale tecnologia consiste nella stimolazione della biomassa batterica autoctona presente nel suolo saturo mediante insufflazione di aria e iniezione di una soluzione di sali inorganici micronutrienti in falda. La fattibilità dell'intervento è stata supportata dalla conferma dell'esistenza di potenziale biodegradativo in condizioni aerobiche, verificato mediante ricerca preliminare dei marcatori genici associati alla biodegradazione in situ dei contaminanti indice. Il test in-situ ha confermato che è presente il potenziale biodegradativo, che in presenza di ossigenazione le popolazioni batteriche capaci di degradare i composti di interesse si accrescono e, che aggrediscono la contaminazione. L'intervento di biostimolazione aerobica è stato presentato nell'ambito del Progetto Operativo di Bonifica delle acque di falda del sito contaminata da composti clorurati (clorobenzeni). Tale tecnologia di risanamento ambientale consiste nella stimolazione della biomassa batterica autoctona presente nel suolo saturo mediante insufflazione di aria e iniezione di una soluzione di sali inorganici micronutrienti in falda. La fattibilità dell'intervento è stata supportata dalla conferma dell'esistenza di potenziale biodegradativo in condizioni aerobiche, verificato mediante ricerca preliminare dei marcatori genici associati alla biodegradazione in situ dei contaminanti indice. A seguito dell'allestimento del campo pilota, la prova di biostimolazione aerobica ha previsto la suddivisione dell'attività in fasi operative:

- Fase 0 e 1: esecuzione di attività di indagine ambientale per la definizione della baseline ante avvio e da prove propedeutiche all'avvio dei sistemi;
- Fase 2: prova di biostimolazione aerobica con insufflazione in falda di aria in continuo e di apporto periodico di micronutrienti batterio stimolati;
- Fase 3: spegnimento del sistema e il monitoraggio post-intervento.

Le attività di allestimento del campo prova hanno riguardato:

- realizzazione di n. 12 sondaggi geognostici, campionamento terreni e allestimento di piezometri di monitoraggio/iniezione;
- allestimento e start-up degli impianti di insufflazione di aria ambiente in falda e di iniezione della soluzione di sali inorganici micronutrienti in falda.

In sintesi, si elencano i principali risultati riscontrati nel corso dei monitoraggi eseguiti e impiegati nella valutazione della tecnologia applicata:

- Idrogeologia: nel periodo di esecuzione della prova pilota si assiste ad un generale e progressivo decremento dello spessore di falda con una riduzione del 65%. Tale condizione ha caratterizzato tutta la fase di insufflazione dell'aria.
- Insufflazione dell'aria e concentrazione di ossigeno disciolto osservata in acqua: la portata d'aria insufflata nel piezometro P11 durante la Fase 2 è stata inizialmente di 9 m³/h (sulla base dei test di Fase 1), incrementato sino 16 m³/h al progressivo diminuire dello spessore di falda. Le concentrazioni di ossigeno disciolto osservate in fase 1 (prove a gradini) erano compatibili con un ambiente aerobico; nel corso della fase 2 di lunga durata della prova pilota si è ottenuto un ambiente semi-aerobico. Si è inoltre osservata una performance migliore nella parte superiore dell'acquifero.
- Raggio di influenza di ossigenazione: le valutazioni condotte sulla dispersione dell'ossigeno disciolto confermano che anche nei punti posizionati a circa 5 m dall'insufflazione si risente di quest'ultima.
- Raggio di efficacia tecnologica: la valutazione congiunta dei dati microbiologici, di ossigenazione, di diffusione della soluzione salina lasciano presupporre che i benefici della

tecnologia possono essere osservati anche a distanze maggiori rispetto il ROI.

- Efficacia in termini microbiologici: il test conferma che è presente il potenziale biodegradativo. In presenza di ossigenazione le popolazioni batteriche, ivi incluse quelle capaci di degradare i composti di interesse, si accrescono e suggeriscono che possano agire sulla contaminazione.
- Efficacia in termini di abbattimento dei contaminati: i dati raccolti nell'ambito nel monitoraggio hanno permesso di evidenziare che esiste una correlazione fra la diminuzione del livello di falda e l'aumento delle concentrazioni di contaminanti. L'avvenimento è sistematico al decrescere dello spessore di falda. In tali condizioni di contaminazione, la tecnologia testata, ha comunque evidenziato che le popolazioni nel sottosuolo riescono a sopravvivere nonostante tali condizioni e si sviluppano potenziali biodegradativi.

In conclusione, il test in-situ ha confermato che è presente il potenziale biodegradativo, che in presenza di ossigenazione le popolazioni batteriche capaci di degradare i composti di interesse si accrescono e, che aggrediscono la contaminazione.

La presenza del potenziale biodegradativo e l'incremento della popolazione aerobica sono state osservate durante la prova pilota con evidenza del consumo della contaminazione.

I dati isotopici, così come il potenziale massimo raggiungibile con la tecnologia, sono stati in parte mascherati dalla presenza di un incremento di contaminazione, generatosi in concomitanza del decremento dell'apporto di acqua da monte idrogeologico sommatosi alle estreme condizioni di mancata ricarica della falda.

Nonostante ciò, è risultato evidente come la tecnologia possa in ogni caso operare efficacemente in condizioni ottimali.

Keywords: bioremediation, batteri, clorurati, test pilota, biostimolazione aerobica

Email: riccardo.crespi@enirewind.com,
Federico.santoro@enirewind.com

L'impiego dei droni di Arta Abruzzo nell'ambito delle attività di controllo sui siti contaminati e discariche. Il caso studio del SIN di Bussi sul Tirino

Mosè Lamolinara¹, Gianluca Marinelli², Antonio Diligenti²

¹ ARTA ABRUZZO Distretto Provinciale di Chieti – Ufficio Siti Contaminati Materiali da Scavo e Discariche.

²ARTA ABRUZZO Distretto Provinciale di L'Aquila.

Il Sito di Bonifica di Interesse Nazionale di Bussi sul Tirino comprende quattro macro aree discontinue, poste lungo la vallata del Fiume Pescara, interessando 11 comuni tra le provincie di Pescara e Chieti per un tratto di 9 Km. La prima macro area include anche la discarica abusiva in località Tremonti di Bussi sul Tirino, in cui sono in corso le attività di rimozione dei rifiuti derivanti dalle produzioni storiche del vicino polo chimico di Bussi Officine. Inoltre, nell'ambito del relativo progetto di bonifica approvato, è stato realizzato un impianto pilota per valutare l'applicabilità del desorbimento termico a scala di sito, con lo scopo di operare la rimozione dei solventi clorurati e degli altri contaminanti volatili, percolati in profondità ed accumulatisi nel saturo, in un orizzonte torboso a bassa permeabilità a circa 13 - 14 metri di profondità. Il sito è inoltre oggetto di barrieramento idraulico per il contenimento delle acque di falda contaminate. Nel complesso dei controlli di competenza del Distretto Provinciale di Chieti dell'ARTA Abruzzo, in aggiunta ad attività quali i monitoraggi periodici dei soil gas, delle acque sotterranee e misurazioni delle emissioni dell'impianto mediante fotoionizzatore portatile, sono stati eseguiti anche controlli tramite un drone in dotazione attrezzato con termo camera all'infrarosso. L'utilizzo del drone ha come scopo l'individuazione di eventuali fughe laterali di vapori dall'area confinata oggetto di riscaldamento. I controlli periodici eseguiti hanno confermato la tenuta complessiva del sistema, non rilevando la presenza di zone interessate da fughe di vapori ad alta temperatura all'esterno dell'area. Tuttavia, i voli hanno contribuito all'individuazione di un flusso di COV non atteso in corrispondenza di uno degli elementi riscaldanti, prontamente risolto. L'impiego dei monitoraggi con droni è stato utilizzato in precedenza dall'Agenzia

anche in siti di discarica autorizzate al fine di individuare eventuali zone interessate da emissioni diffuse e fughe laterali di biogas oltre che per rilievi tridimensionali finalizzati anche in via sperimentale al calcolo dei volumi di rifiuti messi a dimora. La tecnica è stata utilizzata anche per la verifica dei volumi di rifiuti in ingresso ad impianti di trattamento, depositati in area di piazzale. Si presta, pertanto, ad un'ampia gamma di controlli nell'ambito della bonifica dei siti inquinati e dei monitoraggi delle discariche e impianti.

Keywords: Droni, Bonifiche, COV, discariche

Email: m.lamolinara@artaabruzzo.it, g.marinelli@artaabruzzo.it, a.diligenti@artaabruzzo.it

Il Piano della Caratterizzazione delle aree Pubbliche del Sin di Bussi sul Tirino (PE). Nuove evidenze e prospettive future

Gianluca Marinelli¹, Antonio Diligenti¹

¹ARTA ABRUZZO Distretto Provinciale di Chieti – Ufficio Siti Contaminati Materiali da Scavo e Discariche.

Il Sito di Bonifica di Interesse Nazionale di Bussi sul Tirino comprende quattro macroaree discontinue, poste lungo la vallata del Fiume Pescara, per un'estensione compressiva di 235 ettari su una lunghezza di 9 Km, interessando 11 comuni tra le provincie di Pescara e Chieti. La prima macroarea include lo stabilimento chimico di Bussi sul Tirino, le are della discarica abusiva in località Tremonti di Bussi sul Tirino ed altre aree di discarica situate nella vallata del F. Tirino. Tale settore, oltre alla problematica dei rifiuti, residui delle produzioni industriali storiche, è interessato principalmente da contaminanti volatili (tra cui mercurio e solventi clorurati) la cui diffusione nelle matrici ambientali ed in particolare nelle acque sotterranee, ha comportato la dismissione del campo pozzi utilizzato a scopo idropotabile situato a valle. La seconda macroarea include lo stabilimento chimico dismesso ex Montecatini a Bolognano. Questa area è impattata da rifiuti industriali interrati e fuori terra, tra cui ceneri di pirite, oltre che dalla presenza di vari contaminanti come Arsenico, Piombo, Rame ecc. in terreni e acque sotterranee con concentrazioni eccedenti i limiti di legge, riconducibili alle produzioni industriali svolte in sito. Più a valle, lungo il corso del fiume Pescara, sono state incluse nella perimetrazione anche le aree di sedimentazione (prese e rilasci delle captazioni operate a scopo idroelettrico). ARTA Abruzzo ha predisposto ed attuato il Piano della Caratterizzazione delle Aree Pubbliche, utilizzando un approccio basato su più linee di evidenza, nel quale le indagini tradizionali (sondaggi e trincee) sono state affiancate da analisi di soil gas, indagini di phytoscreening, nonché caratterizzazione dei sedimenti fluviali in 26 transetti di monitoraggio. Le risultanze del piano, integrate con quelle delle indagini eseguite in aree private, nelle quali è stato adottato un approccio analogo a quello delle aree pubbliche, hanno evidenziato un impatto su tutte le matrici

ambientali indagate. Inoltre, sono stati rinvenuti rifiuti industriali, anche pericolosi, sia in alveo sia in aree prossime ai centri di pericolo già noti. In aggiunta è stata riscontrata la presenza di concentrazioni misurabili di contaminanti nelle acque superficiali lungo tutta l'estensione del SIN. La contaminazione a carico delle acque sotterranee continua ad interessare l'intero settore della macroarea 1.

Inoltre, nel Fiume Tirino sono state rinvenute concentrazioni di mercurio nei sedimenti, fino ad un massimo di 7 g/kg, in un'area posta al piede del versante occupato dalle discariche, ed è stata riscontrata la presenza di rifiuti in alveo, fino alla massima profondità raggiunta dalle perforazioni (pari a 4,5 metri dal fondo), nel tratto a valle del polo chimico.

Contaminanti sono stati registrati anche negli alberi campionati, nelle acque superficiali (fino quasi alla foce del Fiume Pescara) e nei soil gas (utilizzato come ulteriore linea di evidenza in fase di indagine).

La presenza di elevate concentrazioni di contaminanti nei sedimenti oltre ai rifiuti in alveo, rendono necessaria l'adozione di adeguate misure di prevenzione. In aggiunta, al fine di indirizzare le scelte progettuali di intervento in termini di bonifica e di gestione della contaminazione, è fondamentale ampliare il dibattito sulla gestione delle problematiche riscontrate, contemplando la contaminazione anche in termini di impatto complessivo sull'ecosistema fluviale.

Keywords: SIN, COV, Sedimenti, Caratterizzazione.

Email: g.marinelli@artaabruzzo.it, a.diligenti@artaabruzzo.it

Campionamento automatico ecosostenibile di terreni contaminati mediante l'uso di un Robot mobile e la Digitalizzazione delle missioni di campionamento: progetto di ricerca ROBILAUT

C. Ferone¹, G. Mappa¹, A. Abbondanza¹, R. Amico², G. Antonelli³, F. Milano³

¹NATURA Srl - società di servizi che esegue analisi chimico-fisiche e microbiologiche su matrici ambientali, nonché servizi di ingegneria ambientale.

²OCIMA Srl - Realizzazione di macchinari e sistemi dedicati all'automazione di processi industriali

³UNICAS - Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale

Lo scenario di riferimento è quello dei campionamenti di matrici solide (terreni, rifiuti) predisposti in cumuli (es.: 3.000 m³), per i quali si rende necessario prelevare un certo numero "aliquote" di materiale contaminato, atte a costituire un "campione" finale omogeneo, significativo e rappresentativo. Quest'ultimo (2÷4 kg), viene quindi trasportato in laboratorio di analisi per la caratterizzazione e i contaminanti. Attualmente, la procedura è tipicamente svolta "manualmente" da operatori "campionatori" che procedono alla costituzione del campione mediante tecniche di "quartatura" (UNI 10802:2013), con il supporto di macchine di movimentazione terra atte a consentire un prelevamento opportunamente distribuito nell'intera massa del cumulo.

Il progetto di ricerca ROBILAUT nasce quindi dall'esigenza di automatizzare e tracciare l'intera procedura di campionamento in maniera ecosostenibile, con sensibili vantaggi in termini di ripetitività, di migliore rappresentatività del campione finale e, non ultimo, il risparmio in termini di tempi e costi.

Le società proponenti sono: NATURA Srl (capofila); OCIMA Srl e l'Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale (UNICAS).

Il Progetto ha riguardato quindi, lo studio, la progettazione e la realizzazione di un dispositivo robotico intelligente a navigazione autonoma, per il prelievo di aliquote di terreno “indisturbato”, all’interno di cumuli di terreno e la loro contestuale omogeneizzazione, per l’ottenimento di campioni rappresentativi, destinati al successivo esame e caratterizzazione analitica di laboratorio. Peraltro, detto dispositivo è in grado di ridurre drasticamente (quasi a zero) il rischio per la salute campionatori, nonché gli impatti ambientali ed economici legati all’utilizzo di mezzi meccanici di movimentazione e trasporto.

Il risultato finale (prototipo dimostrativo) ottenuto come deliverable del Progetto è quello di un dispositivo costituito da tre componenti fondamentali: 1) un sistema di digitalizzazione dei luoghi basato sull’uso di drone e di algoritmi di calcolo automatico delle coordinate dei punti di campionamento (“missione); 2) un dispositivo Robot costituito da una “Testa” campionatrice (a diverse profondità) ed una “Unità Mobile” di supporto opportunamente attrezzata; 3) un Sistema di localizzazione di posizione, di monitoraggio e di controllo della “Missione” di campionamento automatico digitalizzato.

ROBILAUT, non prevede l’intervento diretto dell’uomo e di macchine di movimentazione terra, nonché la produzione di rifiuti derivanti da procedimenti di “quartatura”.

Il Progetto di ricerca ROBILAUT ha beneficiato delle agevolazioni del Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) *a valere sull’Asse 1, azione 1.1.3. del Programma Operativo Nazionale «Imprese e Competitività» 2014-2020 FESR*; ha richiesto un tempo di realizzazione di 39 mesi (inizio 24 febbraio 2020) ed un costo complessivo di circa 3.566.437,50 €.

Keywords: Campionamento matrici solide, quartatura, Robot mobile (testa campionatrice e unità mobile), Drone, software di digitalizzazione, sistema di localizzazione e comunicazione, software di monitoraggio e controllo.

Email: c.ferone@naturasrl.it; g.mappa@naturasrl.it;
a.abbondanza@naturasrl.it; raffaele.amico@ocima.com.

Nature-Based Solutions in ambito urbano e periurbano: strategie ecosostenibili per la riqualificazione di aree degradate e lo sviluppo di filiere verdi

Valeria Ancona^{1,2}, Michelangelo Lisi³, Maria Letizia Gargano³, Carlo Pastore^{1,2}, Laura Passatore^{2,4}, Lorenzo Ferrara^{2,5}, Lucia Minutello^{2,6}, Vito Felice Uricchio¹

¹ *Istituto di Ricerca Sulle Acque – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Bari, BA, Italia;*

² *Phytotech srl, Massafra (TA), Italia;*

³ *Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti (D.I.S.S.P.A), Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari, BA, Italia;*

⁴ *Istituto degli Ecosistemi Terrestri – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, RM, Italia;*

⁵ *Socrate srl, Massafra (TA), Italia;*

⁶ *CISA SPA, Massafra (TA), Italia.*

Le potenzialità delle *Nature-based Solutions* (NBS) per la riqualificazione ambientale di aree interessate da fenomeni di degrado (contaminazione, erosione, impoverimento sostanza organica, desertificazione, ecc) sono state ampiamente dimostrate in numerosi studi di tipo applicativo. Le fitotecnologie consentono, infatti, di recuperare la qualità delle matrici ambientali degradate (suolo, acqua, aria) attraverso l'uso di specie vegetali in grado di svilupparsi in tali ecosistemi danneggiati. Con riferimento ai suoli degradati, attraverso il loro apparato radicale le piante possono modificare le proprietà chimico fisiche dei suoli (pH, porosità, aerazione) e rilasciare sostanze carboniose (zuccheri, acidi organici, amminoacidi) che promuovono la proliferazione delle comunità microbiche e influenzano l'attività delle stesse, innescando processi di biorimediazione fito-assistito per il recupero della contaminazione e/o della qualità del suolo. Inoltre, la biomassa prodotta attraverso l'applicazione delle fitotecnologie per il risanamento ambientale può essere opportunamente considerata una risorsa da destinare a virtuosi percorsi di valorizzazione energetica. In tal senso, le NBS

rappresentano una strategia verde per il recupero e lo sviluppo sostenibile di ambienti urbani e periurbani (aree marginali, ecc), in grado di rispondere sia agli obiettivi di sviluppo sostenibile (Città e comunità sostenibili, vita sulla terra, salute e benessere, energia pulita e accessibile, ecc) sia agli obiettivi della Missione 2 (Rivoluzione verde e Transizione ecologica) del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), finalizzato alla realizzazione di interventi operativi in linea con il Green Deal europeo.

Recentemente, l'area di crisi ambientale di Taranto è stata selezionata dalla Commissione Europea per destinare il Fondo "Just Transition Fund"(JTF) al ripristino del territorio e allo sviluppo di filiere green mediante applicazioni di NBS. Il JTF è uno strumento finanziario comunitario che ha l'obiettivo specifico di consentire alle regioni e alle persone di affrontare gli effetti sociali, occupazionali, economici ed ambientali della transizione verso il traguardo dell'Unione per il 2030 per l'energia e il clima e per un'economia climaticamente neutra entro il 2050, sulla base dell'Accordo di Parigi.

La progettazione di idonee NBS, adattate sulla base delle criticità territoriali dell'area di studio, consentirà di mettere in atto interventi sostenibili in grado di trasformare il volto di un'area fortemente impattata e di innescare processi di elevata produttività totalmente green conseguendo un modello trasferibile ad altre realtà territoriali parimenti degradate, diffuse nel contesto nazionale ed internazionale. In tale ambito l'IRSA-CNR, in collaborazione con l'Università di Bari, ha sviluppato la progettualità "Filiera verdi" che punta alla restituzione ai pieni usi produttivi di ampie porzioni del territorio (circa 1.000 ettari) con tecniche di biorimedia fito-assistito, ottenendo biomasse che saranno valorizzate per l'estrazione di elementi o per l'impiego diretto nel settore tessile, dei materiali per l'edilizia sostenibile, dell'*interior design* e dell'arredamento, delle imbarcazioni, della cosmesi, della carta, delle bioplastiche, delle vernici verdi, dei biocombustibili, dell'energia, etc.

Keywords: nature-based solutions, riqualificazione ambientale, filiere verdi

Email: ancona@irsa.cnr.it

La bonifica e messa in sicurezza di un sito inquinato con soluzioni di tutela paesaggistica nell'ottica del recupero funzionale dell'area

ing. Antonella Lomoro¹

¹Studio di ingegneria per l'Ambiente ing. Antonella Lomoro (Bari)

La bonifica di un sito inquinato deve necessariamente contemplare soluzioni tecnico operative che rispettino le esigenze di natura giuridica, di sostenibilità e di fattibilità tecnico ed economica.

Questo il caso dell'intervento della "Bonifica e Messa in Sicurezza Permanente dell'ex discarica comunale in località Pescorosso" sita nel comune di Sannicandro di Bari (Ba).

La principale caratteristica dell'area è la presenza del Canale Deviatore "Lama Badessa" che attraversa tutta la ex discarica e ne ha fortemente caratterizzato la progettazione.

Gli interventi sono stati ideati con lo scopo di rimuovere la fonte di contaminazione che insiste sul canale deviatore di Lama Badessa e attraverso una adeguata profilatura consentire in sicurezza le operazioni di copertura del resto del corpo rifiuti, la cui rimozione non era compatibile rispetto ad una analisi costi benefici effettuata in fase preliminare.

In questo modo è stato possibile isolare il corpo rifiuti e nel contempo riqualificare l'area restituendole una identità naturale persa nel corso degli anni.

Tutti gli interventi di ricostruzione sono stati progettati tenendo conto delle forti peculiarità paesaggistiche e del contesto naturalistico, tenendo conto delle forti peculiarità del contesto di inserimento caratterizzato da campi coltivati ad ulivo e delle specificità delle tecniche costruttive e dei materiali dei luoghi, con particolare riferimento all'utilizzo della pietra e delle tecnologie a secco. Per tale scopo per tutte le opere in pietra realizzate, quali muretti a secco, delimitazioni aree e progettazione del verde, sono state rimpiegate, nel rispetto dell'economia circolare e della normativa di settore, pietre e calcari rinvenuti durante le fasi di movimentazione del suolo.

Date le caratteristiche morfologiche e vincolistiche dell'area è stato necessario far coniugare tecniche tradizionali di intervento con opere di ingegneria naturalistica.

In considerazione della presenza della "lama" (solchi erosivi tipici del paesaggio pugliese che convogliano le acque meteoriche dall'altopiano della Murgia a carattere torrentizio stagionale verso il punto di chiusura del bacino idrografico cui appartengono) e del canale deviatore che conferiscono all'area secondo la classificazione del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) elevata pericolosità geomorfologica ed idraulica, in fase preliminare alla progettazione si è provveduto ad eseguire un rilevamento geologico-strutturale dell'ammasso roccioso affiorante nei dintorni dell'imbocco del canale, allo scopo di individuare le famiglie di fratture presenti, confrontare la loro orientazione con la giacitura degli strati e con le orientazioni delle pareti dello scavo e considerare gli opportuni interventi di consolidamento e stabilità.

Il progetto ha previsto l'esecuzione delle seguenti attività:

- rimozione e smaltimento dei rifiuti abbandonati sulla superficiali dell'area e all'interno del Canale Deviatore;
- riutilizzo dei terreni di copertura per il modellamento superficiale;
- copertura del corpo di discarica al fine di impedire il dilavamento dei rifiuti e il loro affioramento in superficie (capping);
- opere di contenimento in ingegneria naturalistica (terra armata, gabbionate, canalette deflusso acque);
- opere di gestione delle acque meteoriche;
- opere di ricostruzioni soprasuolo (opere a verde, percorsi pedonali, piantumazioni, illuminazione e video sorveglianza);
- protezione dell'area, tutela e monitoraggio.

Keywords: Bonifica, Messa in Sicurezza Permanente, MISP, Capping, ingegneria naturalistica, paesaggio, muretti a secco, recupero ambientale, inquinamento, riqualificazione, ex discarica, canale deviatore, lama, rischio geomorfologico, rischio idraulico

Email: antonella.lomoro@gmail.com

Protocolli ecologici e innovativi per la riduzione della Domanda Chimica di Ossigeno nel concentrato del percolato di discarica

Mariella Marangi¹, Federico Cangialosi², Gianluca Intini², Roberta Ragni,¹ Gianluca Maria Farinola¹ and Pietro Cotugno¹

¹Dipartimento di Chimica – Università degli studi di Bari

²Tecnologia e Ambiente, Putignano (BA)

La discarica rappresenta il sito più ricorrente in cui sversare i rifiuti solidi da smaltire. I prodotti di discarica che prevalentemente derivano da tale sversamento sono il biogas, di possibile recupero, ed il percolato derivante dalla lisciviazione dell'acqua piovana sui rifiuti depositati. Il percolato di discarica è una miscela liquida complessa, di difficile degradabilità, contenente contaminanti organici e inorganici ad alta concentrazione. L'accumulo del percolato di discarica e il suo difficile smaltimento rappresentano una problematica di grande rilievo, tenendo conto dei gravi effetti ambientali connessi alla tossicità del percolato stesso. La ricerca di metodi sostenibili per il trattamento del percolato al fine di convertirlo in un rifiuto che soddisfi le severe normative ambientali è, pertanto, di fondamentale importanza. Il parametro grazie al quale è possibile classificare l'impatto ambientale del percolato di discarica è la Chemical Oxygen Demand (COD), espressa in mg/L e definita come la quantità di ossigeno necessaria per ossidare i composti organici e inorganici presenti in un litro di percolato. La COD rappresenta quindi un parametro che, in modo indiretto, misura la quantità di Carbonio ossidabile ed è determinata con un protocollo che prevede l'uso di ossidanti forti, quali il dicromato di potassio ed il perossido di idrogeno, e specie standard come l'idrogeno ftalato di potassio.

La letteratura scientifica fornisce vari metodi di trattamento del percolato, rispettivamente basati su: (i) processi di biodegradazione a basso costo da parte di batteri che convertono la sostanza organica in anidride carbonica, acqua e biomassa, (ii) processi chimico-fisici in cui il percolato viene concentrato attraverso trattamenti di ossidazione avanzata, chiariflocculazione, adsorbimento su carbone attivo, sistemi a membrana e (iii) metodi biologici integrati con tecniche chimico-

fisiche per aumentarne le prestazioni. Ciascuno di questi processi presenta vantaggi e svantaggi.

Il percolato di discarica oggetto di questo studio è un concentrato ottenuto da un pretrattamento chimico/fisico, in particolare un processo di osmosi inversa. Il concentrato ha un valore di COD di 16000 mg/L e un pH (7.3) prossimo alla neutralità. Lo scopo della ricerca è definire un protocollo innovativo di trattamento del concentrato, con l'intento di confrontarne le prestazioni rispetto ai metodi già esistenti in letteratura. Tale protocollo prevede l'ossidazione del concentrato catalizzata da metalli di transizione quali il platino e il palladio supportati e riciclabili, derivanti essi stessi da un rifiuto rivalorizzato. Oltre all'ossidazione, è stato messo a punto un metodo eco-sostenibile, agevole e a basso costo per la determinazione della COD mediante una cromatografia a permeazione di gel (GPC) che si avvale di nuove fasi stazionarie compatibili con fasi mobili acquose in grado di eluire il percolato solubile in acqua.

Lo studio ha permesso una riduzione significativa del COD da 16000 a 1162 mg/L. Tale valore, pur essendo ancora da minimizzare rispetto ai limiti imposti dalla normativa vigente, dimostra la possibilità di definire nuove metodiche in grado di gestire il percolato di discarica convertendolo in un rifiuto smaltibile.

Keywords: Discarica, rifiuti, percolato, Domanda chimica di ossigeno (COD)

Email: mariella.marangi@uniba.it

Alghe e mitili: la combinazione efficace e naturale per detossificare le acque

Alessandro Digregorio¹, Annarita Flemma¹, Cesar Vicente-Garcia¹, Pietro Cotugno¹, Stefania Roberta Cicco², Roberta Ragni¹, Danilo Vona,¹ Gianluca Maria Farinola¹

¹ *Dipartimento di Chimica, Università degli Studi di Bari «Aldo Moro», Via Orabona 4, 70126 Bari, Italy*

² *Istituto di Chimica Organometallica, CNR-ICCOM, Via Orabona 4, 70126 Bari, Italy*

I più recenti materiali, alternativa a quelli completamente artificiali e di sintesi, sono i cosiddetti “bio-ispirati”, prodotto dell’imitazione e replicazione di processi naturali, con eccezionali prerogative di scalabilità, basso impatto ambientale, e abbattimento dei costi di produzione. Microalghe e mitili hanno attirato per decenni l’attenzione degli scienziati dei materiali, dei chimici e dei biotecnologi. Tra le microalghe, le diatomee sono un gruppo molto abbondante e variegato di microorganismi fotosintetici unicellulari, capaci di trasformare i silicati inorganici disponibili sul pianeta terra, nelle matrici terrose e nelle fonti idriche, in multiformi strutture silicee tridimensionali e nanostrutturate: i gusci o *frustuli*. Queste strutture sono essenziali per la loro sopravvivenza, crescita e riproduzione. Il gruppo del prof. Gianluca Maria Farinola del Dipartimento di Chimica di Bari ha utilizzato le diatomee come supporto vivo, ecocompatibile e in grado di riprodursi, per esplorare e potenziare la loro azione detossificante mediante l’ausilio di un altro materiale biomimetico: la polidopamina. Questa è ispirata al bisso dei mitili, quello con cui i molluschi bivalvi riescono a rimanere agganciati a scogli e superfici bagnabili. Questi polimeri biomimetici, atossici, processabili in acqua (anche di mare), assomigliano a melanine sintetiche e hanno delle proprietà intrinseche uniche: legano per loro natura chimica inquinanti metallici e idrocarburi.

Con il Polo Scientifico Tecnologico Magna Grecia a Taranto, nell’ambito del progetto regionale *AlgAmbiente* (Research For Innovation REFIN, n°87429C9C), le diatomee sono state impiegate come sistema naturale di biorisanamento da contaminazioni chimiche

di acque e sedimenti per prospettive applicazioni in campo: nel Mar Piccolo di Taranto. In questo frangente le alghe vive sono state anche decorate con enzimi detossificanti, che degradano gli inquinanti, e nanoparticelle magnetiche, grazie a sottili film di polimero organico sintetizzati *in situ* sulla superficie cellulare. In questo modo è stato permesso di affiancare alla azione di biorisanamento delle microalghe, la possibilità di essere agevolmente recuperate in modo da non perturbare le funzioni algali/biologiche e avere un impatto ecologico pressoché nullo.

Keywords: biorisanamento, chimica, inquinanti, microalghe, diatomee

*Email: alessandro.digregorio@uniba.it annarita.flemma@uniba.it
cesar.vicentegarcia@uniba.it pietro.cotugno@uniba.it
cicco@ba.iccom.cnr.it roberta.ragni@uniba.it daniilo.vona@uniba.it
gianlucamaria.farinola@uniba.it*

Esempi di messa in sicurezza e mitigazione degli impatti determinati da tre criticità ambientali

R. Pacifico¹, A. Sarni¹

*¹ ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48 - 00144 Roma - Area per le Emergenze
ambientali sulla terraferma*

L'ISPRA, con il contributo della rete operativa del SNPA (Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente per le emergenze ambientali), assicura un'attività di valutazione e monitoraggio del rischio ambientale, finalizzata all'indicazione delle prime misure di prevenzione e messa in sicurezza. Il rischio ambientale può provocare, anche nel tempo differito, un danno per l'uomo, per i beni e per l'ambiente e può essere determinato da situazioni di criticità o di emergenze ambientali. La criticità ambientale si configura quando da un evento atteso si potrebbero determinare situazioni potenzialmente pericolose per l'ambiente e che potrebbero richiedere interventi per la mitigazione del rischio potenziale. L'emergenza si configura quando un evento calamitoso determina una situazione pericolosa per le persone e per l'integrità dei beni e dell'ambiente e richiede interventi eccezionali ed urgenti per essere gestita e riportata alla normalità.

Di seguito vengono descritte tre situazioni di criticità ambientale, a seguito delle quali sono state realizzate misure di mitigazione e messa in sicurezza.

1. Incendio nell'area industriale all'interno del SIN di Porto Torres.

Problematica: Incendio di un capannone industriale adibito alla gestione di solventi e coloranti per combustibili e allo stoccaggio di rifiuti speciali pericolosi e non. Criticità ambientale: spargimento di solventi, vernici, e altri materiali combustibili ed incombustibili miscelati ad acqua di spegnimento su suoli. Interventi di messa in sicurezza e/o mitigazione degli impatti: costruzione di argini di contenimento in terra; installazione di panne assorbenti all'interno del drenaggio delle acque meteoriche; utilizzo *ad hoc* delle vasche di accumulo del

depuratore consortile per la raccolta delle acque di spegnimento; rimozione del terreno superficiale nei tratti di piazzale non pavimentati e sui suoli circostanti contaminati.

2. Contaminazione dell'acqua di mare determinata dal depuratore di San Filippo del Mela (ME).

Problematica: impianto non dotato di strumenti di misurazione, analisi dei reflui (in entrata e in uscita) e carente di attività manutentiva, con conseguente dimezzamento della sua capacità depurativa. Criticità ambientale: scarico in mare di reflui non depurati in caso di sovraccarico delle linee di depurazione. Intervento di messa in sicurezza e/o mitigazione degli impatti: attività di manutenzione e potenziamento dell'impianto; installazione di: misuratori di portata del refluo in ingresso ed in uscita, di autocampionatori, di analizzatori in continuo nel pozzetto di mandata allo scarico finale del refluo depurato.

3. Percolato nei canali di irrigazione proveniente dalla discarica Bortolotto.

Problematica: Impianto non più attivo dal 1995, sottoposto a progetto di bonifica. Criticità: fuoriuscita del percolato verso i canali irrigui esterni e contaminazione delle acque superficiali. Interventi di messa in sicurezza e/o mitigazione degli impatti: completamento della copertura superficiale della discarica e del sistema di raccolta delle acque meteoriche, implementazione del sistema di emungimento del percolato dal corpo rifiuti e del suo stoccaggio; costruzione di un sistema di contenimento laterale perimetrale; implementazione dei pozzi di captazione del percolato.

Keywords: criticità ambientali, emergenze ambientali, messa in sicurezza

Email: angela.sarni@isprambiente.it renata.pacifico@isprambiente.it

Gas riducenti per la bioremediation di un acquifero contaminato da solventi clorurati: caso studio con campo prova e test in microcosmo

Michela Peroni, Andrea Crema, Eleonora Pasinetti¹

¹ *SIAD S.p.A. - Laboratorio di Biologia e Chimica Ambientale*

² *Dipartimento di Chimica, Università Sapienza di Roma, P.le Aldo Moro 5, 00185 Rome*

La presenza di una specifica microflora batterica dechlorante in un acquifero fortemente riducente consente la rimozione dei solventi clorurati attraverso processi di dealogenazione riduttiva.

Le tecnologie di bioremediation in situ più diffuse prevedono l'iniezione in falda di composti organici (lattati, melasse, ecc...) che fermentando in condizioni riducenti liberano idrogeno (donatore di elettroni) necessario alla microflora dechlorante per promuovere la dealogenazione riduttiva dei solventi clorurati.

Il presente lavoro espone i risultati ottenuti in uno studio di ricerca condotto sia a scala di campo che di laboratorio al fine di valutare la promozione della dealogenazione riduttiva in situ attraverso la micro-diffusione di gas riducenti in un acquifero contaminato da 1,1-dicloroetilene e 1,2-dicloropropano.

I risultati ottenuti confermano la fattibilità dell'applicazione della tecnologia di micro-diffusione di gas riducenti in falda (brevetti SIAD Ground Mix®/Ground ReD®) nella promozione del processo di bioremediation anaerobica di dechlorazione riduttiva. La tecnologia testata rappresenta una soluzione sostenibile ed eco-compatibile in quanto elimina il depauperamento qualitativo della falda indotto dalla fermentazione dei composti organici iniettati.

Scopo principale del campo prova era valutare i processi di bioremediation anaerobica e il raggio di influenza sito-specifico della tecnologia di microdiffusione del gas (gas riducenti in miscela di azoto e gas traccianti) in falda. I gas riducenti hanno lo scopo di promuovere i processi di dealogenazione riduttiva dei solventi clorurati disciolti in falda. I gas traccianti (elio, neon e kripton), essendo inerti e atossici, non reagiscono né chimicamente né biologicamente con le matrici del sottosuolo, pertanto sono ideali per valutare la diffusione dei gas in

falda, al netto dei fenomeni di consumo. Il monitoraggio analitico della falda nel tempo a diverse distanze dal punto di iniezione permette di valutare la velocità di diffusione del gas e il raggio di influenza della tecnologia.

Il campo prova ha avuto una durata di 8 mesi ed è stato condotto in un'area di discarica nel Sud Italia. La miscela gassosa è stata iniettata in un pozzo profondo 60 metri (con soggiacenza di circa 47 metri dal piano campagna) intestato in un acquifero roccioso contaminato da 1,1-dicloroetilene e 1,2-dicloropropano in concentrazioni superiori alle rispettive CSC (di circa 1-2 ordini di grandezza).

I risultati di baseline mostravano un acquifero lievemente contaminato (25 µg/l di 1,1-DCE e 1,6 µg/l di 1,2-DCP), con basse concentrazioni microbiche (CBT dell'ordine di 101÷102 UFC/ml, SRB-DB dell'ordine di 102÷104 UFC/ml, gene 16S rDNA dell'ordine di 103 copie geniche/l) ed elevati valori di potenziale redox (circa +100 mV). Durante il campo prova è stato possibile rilevare una diminuzione di circa un ordine di grandezza dei contaminanti sito-specifici e un lieve aumento del CVM, un incremento delle concentrazioni di *D. mccartyi* fino a 105÷106 copie geniche/l e delle relative dealogenasi, la presenza dei gas traccianti nei tre punti di monitoraggio più vicini al pozzo di iniezione (raggio di influenza della tecnologia pari ad almeno 3 metri), la presenza di gas riducenti nell'atmosfera interna dei piezometri di monitoraggio e un lieve appesantimento del carbonio del 1,1-DCE.

L'analisi condotta un mese dopo lo spegnimento dell'impianto (T8) ha rilevato un incremento dei contaminanti sito-specifici e una diminuzione del CVM e il mantenimento dello stesso ordine di grandezza delle copie geniche specifiche.

Per quanto riguarda i test in microcosmo, il limite temporale di incubazione a disposizione per il percorso sperimentale pari a tre mesi non ha consentito di ottenere risultati significativi in merito alla fattibilità del processo di dealogenazione riduttiva.

Complessivamente l'iniezione diretta in falda di gas riducenti ha consentito alla flora microbica specifica di utilizzare direttamente i donatori di elettroni (H₂) necessari a promuovere i processi di dealogenazione riduttiva dei solventi clorurati. Questa tecnologia è stata testata sia in un campo prova che a scala di laboratorio. Il campo prova ha evidenziato la fattibilità dei processi di dealogenazione, con evidenza della riduzione delle concentrazioni dei contaminanti sito-specifici, l'incremento significativo della microflora autoctona idonea

alla dealogenazione specifica (D. mccartyi e relative dealogenasi) e l'appesantimento del carbonio del 1,1-DCE.

L'utilizzo dei gas riducenti può rappresentare una tecnologia sostenibile in quanto riduce il depauperamento qualitativo dell'acquifero indotto dalla fermentazione dei composti organici iniettati.

Keywords: bioremediation, acquifero contaminato, solventi clorurati

Email: andrea_crema@siad.eu

Approccio multidisciplinare per la determinazione del valore di fondo naturale dell'Arsenico nei terreni

Cesare De Siena¹, Federico Caldera¹, Dario Leandri¹ e Fernando Mancino²

¹Mares S.r.l., ²Esercito Italiano

A seguito del riscontro nei suoli e sottosuoli di un'area riconducibile a destinazione industriale, posta sul litorale laziale, di superamenti delle CSC per metalli pesanti di origine antropica, per i quali è in corso un procedimento di bonifica, è stata svolta un'indagine ambientale volta a stabilire l'origine naturale per l'arsenico e le condizioni per la determinazione del Valore di Fondo secondo quanto previsto nelle LL.GG. SNPA n. 08/2018.

Sono stati prelevati, con modalità sistematica, campioni di terreno all'interno e all'esterno del sito, sedimenti attuali e terrazzi antichi prelevati a monte idrografico.

Campioni selezionati sono stati sottoposti ad analisi mineralogiche mediante diffrazione a raggi X per una valutazione semi-quantitativa della composizione mineralogica.

I campioni di terreno risultati con maggior contenuto di arsenico sono stati sottoposti a estrazioni chimiche sequenziali secondo lo schema proposto da Tessier et al., 1979, allo scopo di definire se l'origine dei superamenti di As nei terreni del sito sia riconducibile a cause naturali o a condizioni antropiche.

In tutti i campioni analizzati sono presenti concentrazioni di arsenico in concentrazioni equiparabili tra lotti di prelievo. L'arricchimento in As, sia nei sedimenti a monte idrografico del sito che nei terreni del sito, è ascrivibile ad una anomalia geochimica, attribuibile a processi di erosione-trasporto- sedimentazione dei rilievi collinari costituiti da piroclastiti e lave alcalino potassiche del Pleistocene, interessati da mineralizzazioni a solfuri misti connessi con l'attività di tipo idrotermale (Ventriglia e

Camponeschi, 1988). Le analisi mineralogiche hanno mostrato che i campioni prelevati nei diversi lotti posseggono una medesima paragenesi mineralogica, costituita principalmente da quarzo, calcite e fillosilicati.

Le analisi di frazionamento sequenziale dei terreni mostrano come oltre il 98% dell'As risieda nella frazione estratta con acqua regia,

quella con potere estraente maggiore, dunque all'interno del reticolo cristallino dei minerali costituenti il terreno.

In considerazione del fatto che sono presenti superamenti delle CSC per As diffusamente distribuite nel suolo e sottosuolo del territorio in esame, che dal punto di vista mineralogico i campioni sono riconducibili alla medesima paragenesi e che l'As è contenuto per la quasi totalità nel reticolo cristallino dei costituenti mineralogici, si può affermare che si tratta di valori di fondo naturali (VFN).

È stata successivamente condotta la trattazione statistica per la definizione dei VFN secondo le LL.GG. SNPA 08/2018, le quali confermano che i valori di As determinati all'interno e all'esterno del sito sono omogenei e distribuiti secondo una curva log-normale. L'Upper Tolerance Limit con confidenza del 95% e copertura del 95%, da intendersi come VFN, per l'As è pari a 97,37 mg/kg rispetto alla CSC di 50 mg/kg per suoli e sottosuoli ad uso industriale, Tabella 1 colonna B dell'Allegato 5 Titolo V Parte Quarta del D.Lgs. 152/06.

I risultati ottenuti sono stati ritenuti condivisibili dall'Ente di Controllo, che ha provveduto a escludere l'arsenico dal procedimento di bonifica in corso sul sito.

Ringraziamenti

Si desidera ringraziare il Ten. Col. Massimo Conti del Segretariato Generale della Difesa e Direzione Nazionale degli Armamenti, I Reparto - 4° Ufficio Sezione Ambiente e il Dott. Geol. Maurizio Guerra, ISPRA - Dipartimento Difesa del Suolo, per i preziosi contributi alla revisione del documento.

Keywords: Arsenico, suoli contaminate, valori di fondo naturali

Email: cesaredesiena@maresitalia.it, federicocaldera@maresitalia.it, darioleandri@maresitalia.it, fernando.mancino@esercito.difesa.it

Applicazione ad ampia scala di una tecnologia ISCR e ERD per il biorisanamento di un acquifero storicamente contaminato da alcheni clorurati e cromo esavalente in Lombardia

Alberto Leombruni¹, Brant Smith²

¹Evonik Operations GmbH, ²Evonik Active Oxygens

L'aggiunta di un substrato organico carbonioso, nella zona satura di un acquifero, risulta una tecnica ben conosciuta per favorire le reazioni enzimatiche riduttive convenzionali. Nutrendosi del substrato in soluzione, infatti, i batteri consumano l'ossigeno disciolto e gli altri elettro-accettori, generando una riduzione del potenziale ossido-riduttivo dell'acquifero.

Il reagente EHC[®] Liquid è un prodotto per riduzione chimica in situ (ISCR) per il trattamento di acquiferi contaminati; è una formulazione solubile in acqua fredda ed appositamente ingegnerizzata per essere iniettata nell'acquifero anche attraverso piezometri esistenti, consentendo il trattamento di un'ampia gamma di contaminanti. Una volta in falda, EHC Liquid genera forti condizioni riducenti favorendo le reazioni di dechlorurazione sia biotiche che abiotiche. Il prodotto risulta essere composto da due parti, facilmente miscibili in acqua: la prima, EHC Liquid Reagent Mix, un composto organo-ferroso, e la seconda, ELSTM Microemulsion, a base di lecitina.

Metodologia

Si presenterà un recente caso applicativo italiano in cui la tecnologia EHC[®] Liquid è stata applicata con successo. In particolare, la falda sottostante un'area industriale manifatturiera in attività presentava storicamente una contaminazione elevata e diffusa da PCE, TCE ed altri composti organo-clorurati, inclusi alcuni metalli pesanti come cromo esavalente, senza mostrare alcuna evidenza di attenuazione naturale.

Risultati e conclusioni

In meno di 24 mesi dall'iniezione in falda nelle zone contaminate, le concentrazioni dei contaminanti risultano essere rapidamente scese oltre due ordini di grandezza rispetto alle concentrazioni pre-trattamento nei principali piezometri di monitoraggio presenti

nell'area, raggiungendo gli obiettivi di bonifica (CSC, D.Lgs. 152/2006) ed evidenziando anche l'instaurazione di evidenti e potenziate condizioni riducenti biotiche ed abiotiche.

Keywords: riduzione chimica in situ (ISCR), Cromo esavalente

Email: alberto.leombruni@evonik.com

Controlli e verifiche di conformità progettuale delle misure di messa in sicurezza permanente di un sito contaminato

***Massimiliano Confalonieri¹, Marco Lucchini¹, Chiara Marchisio¹,
Francesca Zanini¹***

¹ARPA Lombardia, via Ippolito Rosellini, 16, Milano

Nei procedimenti di bonifica di un sito contaminato, disciplinati dal titolo V della parte quarta del d.lgs 3 aprile 2006, n. 152 (d.lgs 152/2006), la messa in sicurezza permanente (MISP) è definita come “l'insieme degli interventi atti a isolare in modo definitivo le fonti inquinanti rispetto alle matrici ambientali circostanti e a garantire un elevato e definitivo livello di sicurezza per le persone e per l'ambiente”.

Caratteristiche principali di un intervento di MISP sono:

- l'efficacia delle opere di contenimento nel tempo, garantite attraverso manutenzioni periodiche ordinarie e straordinarie e piani di monitoraggio;
- le limitazioni d'uso che gravano sull'area.

Si tratta in ogni caso, rispetto alle più comuni e prioritarie operazioni di bonifica, di interventi “residuali”, che devono essere adottati quando non è possibile procedere alla rimozione degli inquinanti pur applicando le migliori tecnologie disponibili a costi sopportabili.

L'articolo 248 del d.lgs 152/2006 attribuisce alle ARPA la predisposizione di una relazione tecnica a supporto della competente amministrazione provinciale anche per la verifica del completamento degli interventi di MISP e della conformità degli stessi al progetto approvato.

Accanto ai tradizionali accertamenti analitici, finalizzati a verificare il raggiungimento degli obiettivi di bonifica in termini di concentrazioni residue accettabili nelle matrici suolo, sottosuolo, materiali di riporto e acque sotterranee, l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) della Lombardia ha messo a punto un sistema di verifica di conformità progettuale anche per opere di MISP. Il progetto di bonifica e MISP dei suoli nel sito in esame prevedeva espressamente

la costruzione all'interno del perimetro di un volume confinato (VC) con le caratteristiche tecniche di una discarica per rifiuti non pericolosi (ai sensi del d.lgs 36/2003), realizzato su più lotti, per conferirvi all'interno i terreni/riporti contaminati (in funzione della specifica destinazione d'uso) e di quelli non contaminanti ma non riutilizzabili in sito come riempimenti, conformi ai limiti di accettabilità per la specifica tipologia di discarica. Nell'ambito dell'istruttoria tecnica, ai fini della predisposizione della relazione tecnica ai sensi dell'articolo 248 per l'accertamento della conformità al progetto approvato, si è ritenuto ragionevole applicare le procedure operative di collaudo previste dal sistema di qualità dell'Agenzia nell'ambito delle discariche.

Sebbene il progetto del VC in esame presentasse alcune semplificazioni rispetto ai dettami del d.lgs 36/2003, le procedure di collaudo dell'Agenzia previste per le discariche sono risultate in gran parte applicabili anche alla realizzazione di quest'opera, contribuendo ad evidenziare alcune difformità che sono state prontamente sottoposte alla Direzione Lavori e ai collaudatori incaricati dal Comune per le proprie valutazioni di competenza. Inoltre, i controlli topografici hanno consentito di verificare e validare i capisaldi di riferimento, al fine di uniformare tutte le verifiche future.

Si ritiene pertanto che tale metodologia possa essere applicata anche ad altri progetti di VC, valutando di concerto con l'autorità competente del procedimento di bonifica e con la DL le operazioni di collaudo significative per ciascun caso specifico.

Keywords: MISE, controlli e verifiche di conformità progettuale

Email: m.confalonieri@arpalombardia.it.

La gestione sostenibile dei suoli in territori con presenza di fondo naturale: l'esperienza di ARPA Lombardia

***Paola Canepa¹, Giuseppe Patti¹, Massimiliano Confalonieri¹,
Maria Tarasi¹, Andrea Merri¹, Andrea Monti¹***

¹ARPA Lombardia, via Ippolito Rosellini, 16, Milano

I suoli delle aree alpine e prealpine della Lombardia sono contraddistinti, in maniera diffusa, dalla presenza di arsenico in concentrazioni superiori ai limiti di legge e, limitatamente ad alcune aree, anche di cromo e nichel (Valmalenco) e zinco (Valsassina, Valseriana, area pedecollinare di Bergamo e comuni limitrofi, “Isola bergamasca”). Al fine di gestire questi terreni in maniera sostenibile, sia dal punto di vista ambientale che economico (riducendo il volume di rifiuti altrimenti prodotti e i costi necessari al loro smaltimento e agevolando il possibile riutilizzo dei materiali nell’ottica di un’economia circolare), è necessario definire dei valori di concentrazione rappresentativi del fondo naturale, a cui riferirsi per valutarne la qualità ambientale. La normativa vigente attribuisce alle Agenzie di Protezione dell’Ambiente regionali la competenza per la definizione dei valori di fondo (decreto del Presidente della Repubblica 13 giugno 2017, n. 120, articolo 11, comma 1 e decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, articolo 242, comma 13-ter).

L’ARPA della Lombardia, a seguito delle numerose richieste di determinazione di tali valori in cantieri dell’alta Valtellina (anche in relazione ai Giochi olimpici invernali “Milano Cortina 2026”), ha avviato lo studio sistematico dei terreni di quest’area e della limitrofa Valcamonica con l’obiettivo di ridurre il numero di procedimenti avviati a seguito del riscontro di un superamento e gestire il problema in modo sistematico a scala comunale o sovracomunale. Ad oggi i valori di fondo per l’arsenico nei suoli sono stati determinati per i territori dei Comuni di Bormio e Livigno in Valtellina e per Corteno Golgi, Edolo, Sonico e Malonno in Valcamonica. La realizzazione di piani di indagine a scala comunale consente un’ottimizzazione delle risorse economiche necessarie alla loro realizzazione, fornisce un quadro conoscitivo della distribuzione dei contaminanti

maggiormente esaustivo, permette di disporre di un set analitico sufficientemente robusto per la trattazione statistica, superando le criticità connesse al confronto diretto tra valori di concentrazione misurati in campo e il singolo valore di concentrazione rappresentativo del fondo naturale.

Gli studi effettuati hanno portato alla definizione dei valori di fondo e del relativo ambito territoriale di validità, disciplinati dalle Norme Tecniche di Attuazione redatte dall'Agenzia.

L'esperienza dell'ARPA della Lombardia ha permesso di evidenziare e affrontare anche le principali criticità che si riscontrano nella gestione dei terreni in territori con valori di fondo naturale. Tali criticità riguardano le corrette modalità di campionamento, il campionamento in roccia, la porfirizzazione e la gestione dei risultati analitici.

Il progetto di studio dei suoli con valori di fondo naturale dell'Agenzia è tutt'ora in corso con l'obiettivo di fornire, nel tempo, una mappatura di tutte le aree contraddistinte da fondo naturale e di promuovere un approccio al problema che sia uniforme a livello regionale.

Email: m.confalonieri@arpalombardia.it

Innovative bioremediation of MTBE and organics

Michela De Camillis, Rogier De Waele, John Dijk, Martin Slooijer

¹ *GreenSoil International BV, Papendrecht, The Netherlands*

An industrial site in Belgium is contaminated with a variety of contaminants. Most of the contamination is difficult to reach in ATEX zones due to the infrastructure and the presence of storage tanks. A field test was conducted to investigate the feasibility of treating the different contaminants in-situ with aerobic bioremediation. Due to the mobile character of MTBE and the size of the plume, also a specific MTBE-bioreactor was applied.

Remediation approach

The field tests were performed at the site in different areas. Pilot 1 was conducted in an uncontaminated area to test the radius of influence of the biosparging system. Pilot 2 was conducted to test the feasibility of stimulated aerobic biodegradation in a contaminated area despite the anaerobic environment. Groundwater was recirculated continuously. In addition, a SVE system was installed in the vadose zone, mainly to prevent emissions due to the biosparging. A bioreactor was used to prove biological MTBE degradation. The MTBE bioreactor was fed from a groundwater extraction well and the effluent was infiltrated in an infiltration well.

Results and Discussion

In the first 6 months, the flow of the MTBE bioreactor was limited due to the high COD of the groundwater and the rather low influent concentrations (\pm 1,000 $\mu\text{g/l}$). It was found that the high COD/BOD was caused by a formerly unknown organic acid. Both MTBE and TBA were degraded with >99% efficiency in the bioreactor to concentrations below detection limit. It was observed that in-situ MTBE degradation was significantly higher (93 %) closer to the infiltration well where the effluent from the MTBE reactor was infiltrated than in the wells further away, indicating the additional effect of bioaugmentation.

The outcomes of these feasibility tests demonstrated the active biological activity in these systems which promoted the strong reduction of contaminants.

VITO is the patent owner of the bioreactor, however GreenSoil has the exclusive license on this technology in Europe, and it is the preferred partner in the rest of the world. The teamwork of the parties involved allowed a noteworthy development of the application of the bioreactor as part of in-situ and on-site MTBE bioremediation. This feasibility study manifested the importance of collaboration among research institutes, consultants and contractors to further improve existing technologies.

The fruitful collaboration resulted in the client request to develop a full-scale remediation system for this site. Therefore, a 300 m-long biobarrier has been installed on the site border to prevent further off-site migration. The biobarrier operates with a groundwater circulation system like the performed pilot test. The biobarrier is now operational and the latest results will be shown during the conference

Keywords: bioremediation, MTBE, organics

Email: m.decamillis@greensoilgroup.com,
r.dewaele@greensoilgroup.com, j.dijk@greensoilgroup.com,
m.slooijer@greensoilgroup.com

Capping sottomarino, dragaggi e gestione dei sedimenti marino costieri

Paqui Moschini¹, Marco Raspolti¹, Mattia Mannocci¹, Lorenzo Morra³

¹Ambiente SpA, ²Invitalia SpA

Invitalia, nel periodo maggio 2017 – settembre 2018, ha eseguito indagini di caratterizzazione integrative nell'area marino costiera prospiciente il sito di rilevante interesse nazionale di Napoli Bagnoli-Coroglio.

Le conclusioni dello studio ABBAcO indicano un inquinamento generalizzato dei fondali, della colmata ed in direzione nord verso l'arenile, con interesse delle componenti biologiche.

Sulla scorta di tali esiti, Invitalia SpA ha successivamente predisposto il documento "Progetto di Fattibilità Tecniche ed Economiche Bonifiche e Risanamento Ambientale del SRIN di Bagnoli-Coroglio" (PFTE).

Il PFTE è stato sottoposto a Conferenza di servizi preliminare conclusasi nell'agosto 2020 e, sulla base delle ipotesi di intervento ivi definite e dei pareri acquisiti, si è proceduto a definire le modalità operative con cui dovranno essere eseguiti i test pilota su scala reale delle tecnologie potenzialmente applicabili al contesto marino.

I test pilota previsti ed eseguiti consistono in:

-Test delle tecnologie di risanamento e gestione sedimenti contaminati presenti in aree specifiche vicine alla costa da svolgersi nell'articolato contesto del Sito di Interesse Nazionale Bagnoli-Coroglio (Sito);

-Attività pilota dimostrative di capping, con ricostruzione dell'habitat naturale finalizzate a isolare i sedimenti contaminati dalla colonna d'acqua sovrastante, impedire il contatto degli organismi scavatori con i sedimenti contaminati, evitare che i sedimenti siano interessati dai fenomeni di erosione e turbolenza al fine di prevenirne i fenomeni di dispersione in ambiente marino e permettere la ricostruzione dell'habitat marino.

La dimostrazione tecnologica testata ha lo scopo di dimostrare l'efficienza dei sistemi proposti rispetto ai seguenti obiettivi: assicurare l'efficienza dei sistemi usati rispetto agli obiettivi del risanamento e/o della messa in sicurezza, assicurare l'efficacia delle

modalità esecutive e minimizzare gli impatti delle tecnologie attuate sull'ambiente circostante.

La rimozione selettiva dei sedimenti contaminati (dragaggio) è stata realizzata adoperando tecnologie ambientali in grado di minimizzare il rischio connesso con la risospensione dei sedimenti durante le operazioni di asportazione degli stessi (D.M. 172/2016).

I materiali estratti sono stati sottoposti ad attività di campionamento ai fini della caratterizzazione ambientale di base-line ed ai fini della definizione del codice E.E.R.

Il materiale scavato è stato inviato ad idoneo impianto per l'esecuzione di cicli di trattamento, sia con semplice acqua, sia con miscele di additivi studiati per cercare di abbattere i maggiori inquinanti possibili.

Capping

In un'area operativa denominata D1 di dimensioni 50m X 50m sarà testata la tecnologia di capping composto da materiali attivi e con ricostruzione dell'habitat naturale.

In un'area operativa denominata D2 di dimensioni 50m X 50m è stata testata la tecnologia di capping composto da materiali convenzionali (passivi) con ricostruzione dell'habitat naturale.

È stata prevista per entrambe le aree la realizzazione di una cinturazione temporanea della porzione di area destinata alla dimostrazione tecnologica.

I materassini saranno infine protetti in entrambi i casi con strati sabbiosi (per protezione dall'erosione e strato di bioturbation).

Sullo strato sabbioso di entrambe le aree saranno piantumate specie di piante attualmente o storicamente presenti sui fondali delle aree marine di Bagnoli, quali la Posidonia Oceanica. Saranno individuati cinque settori quadrati di 5 m di lato, posizionati a scacchiera, secondo lo schema della quinconce. In ciascuno dei 5 settori è previsto un numero minimo di 40 talee per un totale minimo di 200 talee.

Keywords: Capping sottomarino, dragaggio, gestione dei sedimenti marino costieri

Email: pmoschini@ambientesc.it

Monitoraggio ambientale integrato dell'area portuale di Taranto

Davide Bonora¹, Francesco Buia¹, Domenico Lomagistro¹

¹Ambiente spa

Il monitoraggio ambientale integrato dell'area portuale di Taranto si configura come la realizzazione e gestione pluriennale di una rete di monitoraggio integrata, al fine di controllare, attraverso punti di misura "omogeneamente distribuiti", lo stato qualitativo complessivo del sistema terra-mare del Porto di Taranto.

L'obiettivo è quello di realizzare un monitoraggio dell'intera area portuale rilevando, in modo sistematico nel tempo, un set definito di parametri relativi alle seguenti matrici ambientali: "Acqua", "Aria", "Rumore", "Suolo", "Sedimenti marini", "Flora e Fauna", "Organismi Filtratori" e "Benthos".

In questo modo sarà possibile disporre di un quadro dello stato di qualità del sistema terra-mare, sulla base del quale validare le ipotesi in merito alle criticità legate alle attività portuali e agli interventi di infrastrutturazione in corso e previste dal Piano Regolatore Portuale, verificare gli impatti e misurare l'efficacia delle misure di mitigazione adottate.

L'attività prevede l'installazione della strumentazione che sarà mantenuta nel corso di tutto il periodo di monitoraggio.

Il controllo qualitativo del sistema terra-mare avviene attraverso:

- il servizio di campionamento delle matrici ambientali a cadenze regolari e programmate;
- il servizio di analisi delle matrici investigate;
- il servizio di ripristino dei punti di misura.

Al termine di ogni trimestre di monitoraggio è prevista la redazione di un report delle attività eseguite nel periodo considerato, nel quale vengono riportati i risultati delle analisi e dei dati rilevati dalla strumentazione installata in formato tabellare (fogli excel) e vettoriale georeferenziato (shapefile).

A seguito dell'acquisizione dei dati ambientali gli stessi vengono gestiti attraverso un sistema informativo/piattaforma dedicata alla quale hanno accesso diverse utenze (AdSPMI, enti di controllo e stakeholder

con differenti livelli di accesso ai dati) per consentire ad ognuna la consultazione dei dati rilevati in continuo e dei parametri determinati in laboratorio in ogni momento nel corso dell'esecuzione del monitoraggio.

Attraverso tale piattaforma è possibile collezionare, storicizzare ed analizzare una serie di dati misurati dai sensori ambientali attraverso diversi moduli applicativi che vanno dalla semplice acquisizione e aggregazione dei dati, alla ricerca dei dati parametrizzabili e alla gestione di alert eventualmente applicati.

A partire dai dati raccolti è prevista la creazione di modelli di simulazione tridimensionale per alcuni parametri (ad esempio la direzione della corrente marina), con finestra temporale previsionale a 48/72h.

La rete di monitoraggio è in fase di implementazione, i risultati del monitoraggio saranno riportati nella piattaforma dedicata dove, oltre ai dati in continuo provenienti dalle strumentazioni collegate in remoto, saranno sviluppati i modelli previsionali, avverrà il caricamento dei rapporti di prova delle analisi eseguite e dei report trimestrali di monitoraggio.

La presentazione del presente lavoro avverrà con il patrocinio dell'Autorità di Sistema Portuale del Mar Ionio.

Keywords: Monitoraggio, Porti, campionamenti, sensoristica

Email: dbonora@ambientesc.it

Lo sviluppo sostenibile del porto di Salerno

Elena Valentino¹

¹Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Centrale

Nel 2022 l'Ente ha completato i lavori di escavo dei fondali del Porto commerciale di Salerno e del canale di ingresso, con versamento nell'area di immersione autorizzata dal MATTM di circa 3.100.000 mc di sedimenti, ed i lavori di allargamento ed adeguamento funzionale dell'imboccatura portuale, con salpamento del tratto terminale del molo di sottoflutto per una lunghezza di 100 m e prolungamento del molo di sopraflutto per una lunghezza di 200 m.

Vengono innanzitutto sinteticamente illustrate le recenti attività espletate in relazione alla pianificazione del sistema dei porti ricompresi nelle circoscrizioni territoriali dell'Autorità di Sistema Portuale, secondo quanto stabilito dagli artt. 4bis e 5 della L.84/1994, come modificata con D.Lgs. 169/2016 e ss.mm.ii. e, da ultimo, nel 2022.

La pianificazione del sistema portuale deve essere rispettosa dei criteri di sostenibilità energetica ed ambientale, in coerenza con le politiche promosse dalle vigenti direttive europee in materia.

Vengono poi illustrate le opere da realizzare nel prossimo triennio. Il Fondo complementare al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) ha assegnato al MIMS consistenti fondi per il settore marittimo e portuale per: il rinnovo delle navi; per lo sviluppo dell'accessibilità marittima e della resilienza delle infrastrutture portuali ai cambiamenti climatici, principalmente attraverso interventi di rafforzamento e consolidamento di dighe, moli e banchine, anche per consentire l'adeguamento al crescente tonnellaggio delle navi; per l'aumento selettivo della capacità portuale, sia attraverso opere di dragaggio che con la costruzione di nuovi moli; per l'elettrificazione delle banchine (cold ironing).

Ci si sofferma infine sulla descrizione degli studi ed indagini effettuati o in corso di attuazione, propedeutici alla progettazione delle nuove opere, relativamente agli aspetti ambientali, urbanistici, viabilistici, idraulico marittimi e di sicurezza della navigazione, geologici e geotecnici, soffermandosi in particolare sugli aspetti relativi al particolare contesto in cui devono essere effettuati: rilievi batimetrici,

bonifica bellica sistematica subacquea, caratterizzazione dei fondali portuali e modalità di gestione dei sedimenti dragati, evoluzione della dinamica costiera a seguito del prolungamento del molo di sopraflutto, monitoraggio delle componenti ambientali per le attività di dragaggio, ecc.

Keywords: sviluppo sostenibile del porto, cold ironing, Salerno, PNRR

Email: e.valentino@adsptirrenocentrale.it

Radon negli ambienti indoor: il ruolo dell'esperto in interventi di risanamento gas radon

Giorgio Sforzi¹, Eugenio Capponi¹, Damiano Noce¹

¹ *HPC Italia S.r.l. - Via Francesco Ferrucci 17/A, Milano, 20145,*

Il radon è un gas naturale cancerogeno la cui presenza nei luoghi chiusi rappresenta un rischio per la salute, causando l'insorgenza di cancro polmonare. La cancerogenicità, unita al suo essere incolore, inodore e insapore, rendono questo gas la seconda causa di tumore dopo il fumo di sigaretta.

Il rischio del Gas Radon è associato a caratteristiche geologiche dell'area, alle caratteristiche costruttive degli edifici e all'utilizzo degli ambienti.

Nel 2020 in Italia è stato emanato il D.Lgs. 101 al fine di tutelare l'intera popolazione potenzialmente esposta, fissando limiti di concentrazioni più stringenti rispetto alla precedente normativa ed estendendo il campo di applicabilità non solo a tutela dei lavoratori, ma anche alle abitazioni.

Il nuovo decreto ha inoltre introdotto la figura dell'esperto in interventi di risanamento gas radon, a cui è affidato il compito di progettare e realizzare le adeguate contromisure per limitare l'infiltrazione del gas negli ambienti indoor.

Sigillatura delle vie d'ingresso, aerazione degli ambienti confinati, aspirazione dell'aria con sistemi di drenaggio, sono solo alcune delle strategie di difesa che mirano ad allontanare il gas dai locali o a impedirne l'ingresso dal terreno.

I campionamenti annuali sono stati eseguiti con rilevatori radon passivi con elemento sensibile CR-39. Ciascuna campagna annuale, ha previsto la sostituzione con cadenza semestrale dei dosimetri e la loro analisi presso apposito laboratorio accreditato.

Nell'individuazione della miglior metodologia di risanamento, è risultato indispensabile conoscere le caratteristiche strutturali e impiantistiche dell'edificio/locali in cui si sono registrati i superamenti. Durante le attività, per verificare l'efficacia degli interventi di risanamento, sono stati effettuati monitoraggi speditivi. In questo caso, accanto ai rilevatori passivi CR-39, sono stati utilizzati misuratori attivi come Nuvap e Alphaguard che consentono di effettuare

misurazioni in continuo, registrando la variazione delle concentrazioni nel tempo.

In alcuni casi, queste misurazioni speditive sono state effettuate a monte del monitoraggio annuale, al fine di individuare eventuali punti d'infiltrazione e poter quindi intervenire tempestivamente. La presenza di fessure nei punti di giunzione, la presenza nel vespaio aerato di unti non correttamente isolati, la presenza di crepe nelle condutture o rotture nella pavimentazione offrono al radon una via di accesso preferenziale all'interno dell'edificio. La sigillatura delle vie d'ingresso ha previsto l'utilizzo di apposito materiale anti-radon per coibentare e contrastare l'ingresso del gas.

Accanto a questa tipologia di intervento è risultato necessario associare altre tecniche di mitigazione. La più frequente è stata l'aerazione degli ambienti. Conoscendo le caratteristiche tecniche e di funzionamento degli impianti di aerazione, non che i volumi di ricambio dell'aria, è stata possibile la riduzione delle concentrazioni di gas indoor.

Laddove l'intervento diretto sul sistema di aspirazione non fosse possibile, o non sufficiente, è stato progettato e implementato un sistema di allontanamento forzato che, tramite ventilatori e condotte di mandata, porta i volumi estratti oltre la copertura dell'edificio. In questo modo, oltre ad allontanare il gas estratto, si impedisce che questo venga nuovamente ricaptato dagli impianti fissi già esistenti.

In caso di edificio in fase di realizzazione, una delle tecniche utilizzate per verificare la presenza e la concentrazione di radon nella zona, prevede il campionamento direttamente nel terreno. Prima della realizzazione della fondazione, si inseriscono dei dosimetri all'interno del terreno e, a seguito di analisi di laboratorio, si confrontano i risultati con i valori di letteratura. Queste misurazioni, effettuate prevalentemente con misuratori passivi, consentono di intervenire già in fase di progettazione e dimensionare adeguatamente i sistemi di isolamento e gli impianti di aerazione.

Risultati e conclusioni

Al termine dell'anno di monitoraggio, nei casi sopra citati è stato riscontrato un superamento dei limiti delle concentrazioni medie annue imposte dalla normativa. A seguito della nomina dell'esperto di risanamento, sono stati quindi progettate e realizzate strategie di difesa atte a impedire, o comunque limitare, l'ingresso del radon negli ambienti indoor.

Il primo approccio è sempre quello di verificare la presenza di potenziali punti di infiltrazione di gas dal terreno (fratture, mancanza di isolamenti, ecc.) e procedere quindi alla sigillatura con apposito materiale coibentante. Dopo un monitoraggio speditivo per accertarsi dell'efficacia della sigillatura, si procede con l'intervenire sui sistemi di aerazione, andando ad agire sulle macchine presenti in modo da garantire che i volumi dei ricambi d'aria siano idonei a ridurre le concentrazioni di radon.

Dopo aver effettuato ulteriore campagna di monitoraggi speditivi, si è proceduto con la realizzazione di un nuovo monitoraggio annuale.

In tutti gli interventi effettuati, seppur caratterizzati da diversa geologia del terreno, differenti caratteristiche strutturali e impiantistiche, al termine del secondo monitoraggio annuale si sono registrati abbattimenti delle concentrazioni di gas nell'aria e conseguentemente il rispetto dei limiti di legge.

Keywords: Radono, indoor, monitoraggio, sigillatura

*Email: Giorgio.Sforzi@hpc.ag, Eugenio.Capponi@hpc.ag,
Damiano.Noce@hpc.ag*

Un metodo completo di valutazione della sostenibilità per la selezione delle tecnologie di bonifica del suolo. Un caso di studio a confronto tra scavo e desorbimento termico: “valutazione del consumo energetico del desorbimento termico in situ: spunti da un progetto di successo a Gela, Sicilia”

Ysaline Depasse¹, Mathieu Petitjean¹, Aline Jordens¹, Hatem Saadaoui¹, Jan Haemers¹

¹Haemers Technologies

Il concetto di sostenibilità è diventato sempre più importante in tutti i settori della società, compresa la bonifica dei suoli. In linea con gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite, lo sviluppo di infrastrutture resilienti, la resilienza della gestione del territorio e il consumo sostenibile sono particolarmente rilevanti per la bonifica del suolo. Tuttavia, il concetto di sostenibilità nei metodi di bonifica è spesso inteso solo in termini di emissioni di gas serra, che rappresentano solo una frazione del quadro più ampio della sostenibilità. Inoltre, gli strumenti esistenti per stimare le emissioni equivalenti di CO₂ di diverse tecnologie possono dare risultati disparati a seconda di ipotesi e scopi non dichiarati.

Per consentire la selezione delle tecnologie più sostenibili in base ai vincoli specifici del progetto e degli inquinanti, questo studio propone un metodo di valutazione della sostenibilità. Il metodo ruota attorno a tre pilastri principali: criteri economici (ECO), ambientali (ENV) e sociali (SOC). Il criterio economico valuta i costi di bonifica, comprese le spese totali, l'incertezza e le variazioni del valore del terreno. L'indicatore sociale affronta l'impatto della bonifica sulla società e sugli individui, comprendendo aspetti quali la sicurezza, l'istruzione e le opportunità di lavoro, il coinvolgimento degli stakeholder, l'uso del territorio, le polveri, gli odori, il traffico e il rumore. Infine, il criterio ambientale valuta l'efficienza della bonifica, il rischio di contaminazione secondaria, le emissioni di gas, l'impatto sulle caratteristiche del suolo e dell'acqua e la produzione di rifiuti.

A ogni sotto criterio viene assegnato un punteggio da 0 a 10 in base alle prestazioni del rispettivo metodo di riparazione, utilizzando una

griglia di valutazione. Per gli indicatori sociali in cui le valutazioni numeriche non sono fattibili, vengono utilizzati diversi scenari per facilitare le valutazioni oggettive. Dopo l'attribuzione dei punteggi a ciascun pilastro principale, viene proposto un metodo di valutazione finale che attribuisce lo stesso peso ai criteri economici, ambientali e sociali. Un punteggio insufficiente in uno qualsiasi dei pilastri influisce significativamente sul punteggio

complessivo. Di conseguenza, il punteggio finale di sostenibilità è calcolato come la media geometrica dei tre punteggi principali, espressa come $\sqrt[3]{((ECO) \times (SOC) \times (ENV))}$.

Per illustrare la metodologia e concludere il documento, viene presentato un piccolo caso di studio che confronta la "bonifica" attraverso lo scavo (dig and dump) con il desorbimento termico. Mentre gli studi basati esclusivamente sulle emissioni equivalenti di CO2 possono favorire un metodo rispetto all'altro a causa dei rispettivi ambiti e presupposti, una valutazione completa della sostenibilità rivela le debolezze dello scavo e sottolinea l'importanza di una prospettiva più ampia nella valutazione delle tecnologie di bonifica.

Questo studio non solo mira a far luce sui vari parametri che incidono sul consumo energetico del Desorbimento Termico In Situ, ma offre anche preziose indicazioni ottenute dal completamento con successo del progetto ENI a Gela, in Sicilia. I risultati forniscono una comprensione completa dei fattori che influenzano il consumo energetico, consentendo lo sviluppo di strategie di bonifica più efficienti ed economiche. Questa ricerca contribuisce al progresso del desorbimento termico in situ come soluzione sostenibile per l'ambiente, aprendo la strada a una sua adozione diffusa in Italia e altrove.

Email: ysaline.depasse@haemers-tech.com

ISCO con ozono per la bonifica di un acquifero contaminato da idrocarburi ed eteri

Andrea Crema¹, Michela Peroni¹, Eleonora Pasinetti¹, Davide Soderino¹, Francesca Grecolini²

¹SIAD S.p.A., ²Ecotherm S.r.l.

L'utilizzo dell'ozono nel campo della bonifica dei siti contaminanti sta riscuotendo interesse grazie al suo elevato potenziale di ossidazione in grado di ossidare un'ampia gamma di contaminanti organici (anche quelli recalcitranti al processo biologico) in tempi rapidi, all'ossigeno residuo che pone le basi per la successiva bioremediation aerobica e alla possibilità di trattare simultaneamente anche la zona insatura.

Le maggiori limitazioni all'utilizzo dell'ozono riguardano il fatto che si tratta di un gas instabile che non può essere stoccato e deve essere prodotto in loco mediante un generatore in grado di trasformare una frazione di un flusso di ossigeno in ozono, la possibile formazione temporanea di cromo esavalente e la formazione di sottoprodotti di reazione.

Il presente studio riporta i risultati di un Campo Prova con tecnologia ISCO con ozono per la degradazione della contaminazione residua disciolta (idrocarburi ed eteri) riscontrata nell'acquifero in un ex PV carburanti del Nord Italia.

Il test ha previsto l'iniezione di una miscela di ossigeno e ozono in n.6 piezometri esistenti intestati in un acquifero prevalentemente limoso-sabbioso con locali intervalli limoso-argillosi. Per il test è stato utilizzato un generatore ozono PCI GL-1 con capacità nominale pari a 40 gO₃/h al 3%wt con portata massima di 1 Nm³/h e pressione di esercizio di 1 bar. Per la produzione di ozono è stato utilizzato ossigeno puro stoccato in bombola. Al fine di monitorare la concentrazione di ozono nel flusso gassoso iniettato nei piezometri e nello sfiato degli stessi sono stati utilizzati n.2 analizzatori BMT 964 C e BMT 964 OG collegati in linea. L'ozono è stato iniettato tramite un diffusore poroso posto alla base di ciascun piezometro, mentre in testa-pozzo è stata posizionata una idonea flangia a chiusura del piezometro stesso.

Ciascuna iniezione ha avuto una durata variabile di 3÷4 h, per un volume complessivo di gas iniettato pari a circa 17 Nm³ e una massa totale di ozono dosata nel sottosuolo di circa 640 gO₃.

Le analisi di baseline mostravano la presenza diffusa di MtBE ed EtBE (valori medi pari rispettivamente a 200 e 120 µg/l), mentre BTEX (essenzialmente p-Xilene) e Idrocarburi Totali erano principalmente localizzati nel pozzo P1 in concentrazioni rispettivamente pari a circa 40 e 800 µg/l.

A distanza di un mese dalle iniezioni è stato osservato un generale aumento della contaminazione disciolta, con particolare riferimento alla zona di valle idrogeologica, con tutta probabilità a causa del repentino abbassamento del livello piezometrico (valore medio di circa 50 cm su tutto il sito nell'arco di un mese) e del probabile effetto di desorbimento chimico-fisico delle sostanze organiche dal suolo saturo, indotto dall'iniezione del gas. A distanza di 3 mesi i livelli di contaminazione hanno mostrato una significativa riduzione, ulteriormente confermata nel monitoraggio eseguito a distanza di 6 mesi dalle iniezioni. Al tempo T6 è stato possibile calcolare una resa di rimozione pari a circa l'80% di tutti i contaminanti organici. Inoltre, nel PoC non sono più stati rilevati superamenti dei limiti normativi di riferimento.

Il trend decrescente è correlabile al processo di biorisanamento attivato a seguito dell'iniezione di ozono e ossigeno. L'ozono ha la capacità di desorbire la contaminazione dal suolo saturo e di ossidare i composti recalcitranti formando CO₂ e H₂O o molecole più semplici e biodisponibili. Oltre all'azione dell'ozono, l'ossigeno rilasciato nell'acquifero ha poi favorito il biorisanamento aerobico/anossico dei composti organici residui.

Dal punto di vista chimico-fisico la situazione iniziale mostrava un acquifero in condizioni riducenti (ORP medio pari a -80 mV), con concentrazioni di ossigeno disciolto molto basse (<1 mgO₂/l). Dopo le iniezioni l'ORP medio è aumentato fino a +50 mV in 6 mesi, mostrando l'effetto del rilascio di ossigeno e la conseguente rimozione dei contaminanti.

Le analisi microbiologiche hanno mostrato l'aumento della CBT aerobica a 22°C da una media di 10⁴ UFC/ml ad una media di 10⁵ UFC/ml in 15 giorni, dopo una iniziale flessione rilevata nei primi giorni a seguito del trattamento. Le analisi dei batteri ossidanti specifici hanno mostrato l'aumento delle concentrazioni di batteri esano e MtBE ossidanti da una media di 10¹-10² MPN/ml a una media di quasi 10³ MPN/ml. I risultati analitici hanno mostrato l'attivazione della flora microbica autoctona indicando che il processo ossidativo non ha determinato la formazione di sostanze inibenti il processo biologico.

L'iniezione di ozono ha determinato la formazione di cromo esavalente fino a concentrazioni comprese tra 10÷30 µg/l che nell'arco di 15-30 giorni si sono completamente degradate al di sotto del limite normativo (5 µg/l).

Infine, per quanto riguarda la zona insatura, durante le iniezioni è stato possibile rilevare la variazione della percentuale di ossigeno e ozono in alcune sonde soil-gas esistenti poste in prossimità dei punti di iniezione, nonché la variazione delle concentrazioni di VOC. In una sonda soil-gas situata nella zona di monte idrogeologico (vicino ai pozzi P3÷P6, dove i punti di iniezione erano spazialmente ravvicinati tra loro) i VOC sono diminuiti da 200÷300 ppm prima delle iniezioni a 50÷100 ppm alla fine delle iniezioni, indicando che una parte dell'ozono è stata utilmente trasferita anche nella zona insatura.

I risultati del test di campo hanno portato alla approvazione da parte degli Enti di Controllo della tecnologia ISCO con ozono come Variante al Progetto di Bonifica del sito, il quale prevedrà cicli di iniezioni periodiche di ozono per rimuovere la contaminazione organica disciolta residua nell'arco di 8 mesi.

Keywords: ISCO, ozono, idrocarburi, eteri

Email: andrea_crema@siad.eu

Bonifiche siti contaminati tramite sistemi di blindaggio

Renato Tornimbeni e Matteo Savriè

Releo srl ed Elto srl

Un contributo per contrastare l'effetto del dissesto idrogeologico e per perfezionare la qualità delle bonifiche è dato dall'uso dei palancolati.

Si tratta di elementi costruttivi che una volta infisse nel suolo ad una determinata profondità vengono utilizzate con funzione idraulica e di sostegno del terreno per attuare strutture provvisorie o eventualmente permanenti.

Fra le diverse tipologie di palancole esistenti trattiamo quelle in acciaio e in composito; le palancole in acciaio sono unità versatili e di semplice posa per essere utilizzate come opere di sostegno per scavi grazie alla loro impermeabilità e peso contenuto.

Le palancole in composito sono, invece, realizzate incorporando tessuti e feltri di fibra rinforzata in combinazione con una resina ad alta resistenza.

Queste ultime hanno un peso più contenuto rispetto a quelle in acciaio e hanno la caratteristica di essere resistenti alla corrosione e ai raggi UV, non c'è conduttività termica né elettrica e sono garantite 50 anni. I metodi di installazione prevedono l'utilizzo di un vibratore che può essere: sospeso ad una gru cingolata, applicato sul braccio di un escavatore o montato su di una slitta in grado di correre lungo un braccio fisso.

La tecnica del palancolato è un intervento consigliabile per ottimizzare tempi, spazi di lavoro e inoltre si possono adattare ad alcuni sistemi di blindaggio per effettuare bonifiche di suoli situati in zone urbane.

Releo S.r.l ed Elto S.r.l sono a tal proposito le imprese rivolte all'installazione di soluzioni per le bonifiche dei terreni e il relativo riutilizzo delle aree in ambito residenziale-urbanistico

Le tipologie di intervento si basano sulla movimentazione e rimozione dei materiali fuori dal sito inquinato.

Il sistema più utilizzato riguarda il blindaggio con cassero per palancole KKP-KRINGS VERBAU; si tratta di un'opera provvisoria e non prevede l'utilizzo della vibro-infissione in quanto le palancole utilizzate

si inseriscono nelle apposite guide tramite una semplice spinta seguendo progressivamente la quota di scavo stabilita dal relativo progetto. Successivamente si procede con la suddivisione in “n pozzetti” dell’area oggetto di bonifica e si decide l’ordine di esecuzione degli stessi.

Ogni pozzetto verrà eseguito seguendo il susseguente iter: pre-scavo di profondità 1 m con inserimento dei pannelli per auto-fondazione fino alla quota di progetto, intervento di isolamento dei pozzetti con estrazione delle palancole, rimozione blindaggio e mantenimento delle pareti dello scavo, riempimento e compattazione piano di campagna.

Attraverso l’utilizzo dei sistemi di blindaggio siamo in grado di preservare gli scavi; soluzione rapida, economica e di semplice applicabilità in ambito urbano, essendo un metodo non invasivo per l’ambiente circostante grazie, anche, all’assenza di vibrazioni, soprattutto in quei casi dove sono presenti tubi e cavi che attraversano lo scavo stesso.

Keywords: Blindaggio, vibro-infissione, palancole

Email: commerciale@releo.it , matteo.savrie@releo.it

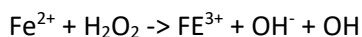
Fenton modificato, CHP Catalysed Hydrogen Peroxide, per applicazioni ISCO

Lorenzo Sacchetti¹

¹Carus Europe SL - Calle Rosal 4, 33009 Oviedo, Spain.

Le reazioni di Fenton, denominate altresì Catalysed Hydrogen Peroxide reactions, sono utilizzate da decenni in ambito industriale, anche per il trattamento di acque reflue mentre l'applicazione per il risanamento del sottosuolo ha avuto uno sviluppo più recente con i primi studi di Watts, Pignatello e Baehr nei primi anni 90 del secolo scorso che hanno investigato il suolo della mineralogia e di differenti catalizzatori. Nonostante gli studi condotti rimangono ancora alcuni punti non chiari e sono tuttora aperti campi di ricerca.

Nel 1894 Henry John Horstman Fenton (1854-1929) scoprì che sali di Fe(II) solubili potevano agire da catalizzatori con perossido di idrogeno diluito in condizioni debolmente acide (pH 3-5) generando una reazione di ossidazione potente dell'acido tartarico (1894 "Oxydation of tartaric acid in presence of iron" J Chem Soc Trans 65:899-910). Tale reazione produce radicali idrossilici secondo la reazione seguente comunemente conosciuta come reazione di Fenton:



Tale processo è stato applicato al trattamento delle acque di scarico sin dal 1955 ed è stato adattato anche al trattamento di suoli ed acque di falda (ISCO) sin dagli anni 90 del 1900. Tale applicazione nell'ambiente sotterraneo risulta però estremamente complessa per la presenza di altri catalizzatori e radicali presenti nei suoli ma non previsti nella reazione originale.

Il perossido di idrogeno ha un elevato potenziale di ossidoriduzione (E° 1,776 V) potenzialmente sufficiente all'ossidazione di numerosi contaminanti ma con cinetica molto lenta; di converso è molto reattivo con i metalli presenti nel sottosuolo generando numerosi radicali. Per questo motivo si considera che l'ossidazione nel sottosuolo sia dovuta in massima parte all'azione dei radicali e non all'ossidazione diretta. Il perossido di idrogeno può anche avere effetto riducente a basso pH, ad esempio, con la riduzione di biossido di manganese Mn(IV) a manganese solubile Mn(II).

I radicali che si formano durante la CHP sono molto reattivi e con vita brevissima (emivita di secondi o millisecondi) per cui è estremamente difficile individuarne la presenza con metodi analitici tradizionali. In alternativa si possono usare metodi indiretti osservando la degradazione di sostanze che possono essere modificate solo da uno specifico radicale.

Uno dei limiti più significativi della reazione di Fenton tradizionale che prevede pH basso e presenza di Fe(II) è la rapidità della reazione del perossido di idrogeno con il catalizzatore (sia il Fe(II) aggiunto che i metalli di transizione presenti nella matrice suolo). Tali reazioni sono fortemente esotermiche e generano elevati volumi di gas/vapori che consentono il desorbimento e l'evaporazione dei contaminati (anche i più densi e viscosi) in tempi rapidi. Di converso le reazioni si esauriscono in pochi minuti/ore limitando la possibilità di distribuire i reagenti in matrici difficili e richiedendo il recupero/trattamento dei vapori emessi. Di importanza determinante è anche l'aspetto di sicurezza per i lavoratori e le persone presenti in zona a causa di potenziali reazioni incontrollate che possono portare ad esplosioni ed incendi anche nelle fognature in presenza di fase libera (fognature oleose di raffineria o fognature con infiltrazione di LNAPL).

Oxygelplus è una miscela preparata in campo tra un gel a base di perossido di idrogeno in matrice inorganica con un catalizzatore a base di biossido di Manganese in gel. La miscela ottenuta viene diluita in acqua ed iniettata nel sottosuolo attraverso pozzi o con metodi direct push/tubi valvolati. Nel sottosuolo il gel rilascia H₂O₂ nel tempo (persistenza di 2-4 mesi in funzione dell'idrochimica e idrodinamica) che reagendo con il biossido di manganese dà origine a reazioni Fenton con produzione di radicali. Il processo non richiede controllo del pH.

Alcune Fe-Zeoliti modificate presentano siti attivi in cui il Fe riesce a reagire con perossido di idrogeno per dare reazioni di tipo Fenton. Oltre a tale possibilità le zeoliti in generale hanno un'elevata superficie specifica e una buona capacità di adsorbire sostanza organica in modo simile all'azione dei carboni attivi. Sono stati sviluppati alcuni test di laboratorio e prove pilota in campo per applicare una soluzione che prevede l'iniziale iniezione di Fe-Zeoliti micrometriche e la successiva iniezione di perossido di idrogeno per ottenere reazioni Fenton like di superficie.

Keywords: Fenton, CHP- Catalysed Hydrogen Peroxide, ISCO

Email: lorenzo.sacchetti@carusllc.com

Approccio ibrido di Riduzione Biotica e Abiotica in un sito contaminato da miscele di Etani ed Etileni clorurati: test di fattibilità in laboratorio

Giovanna Carpani¹, Ilaria Pietrini¹, Massimiliano Baric¹, Carlo Bianco², Alessandra De Folly D'Auris¹, Alessandro Conte¹, Andrea Pacini¹, Rajandrea Sethi²

¹*Eni S.p.A., Environmental and Biological Laboratories*

²*Politecnico di Torino*

La contemporanea presenza di miscele di inquinanti in un sito contaminato costituisce una delle maggiori sfide per la bonifica in situ dei sistemi acquiferi. Spesso questa condizione pone notevoli problemi, sia nel caso di approcci chimico-fisici che nel caso di un approccio di tipo biologico. Infatti, alcuni composti chimici risultano particolarmente recalcitranti alle tecniche di rimozione di tipo chimico-fisico, mentre a livello di biodegradazione sono noti gli effetti inibitori sulla microflora dealogenante da parte di miscele complesse di inquinanti. I trattamenti a base di Ferro zerovalente (ZVI) sono sempre più applicati in quanto consentono un'efficace rimozione dei solventi clorurati; tuttavia, alcuni tra questi, come il clorometano (CM) e l'1,2-dicloroetano (1,2-DCA), risultano essere recalcitranti a questo trattamento. Questi stessi contaminanti sono invece soggetti a biodegradazione da parte di molte specie microbiche [4]. Nel caso allo studio, la contemporanea presenza di cloroetileni e cloroetani, ove in particolare l'1,2-dicloroetano è presente in alcuni punti a concentrazioni prossime ai limiti di solubilità, è stata affrontata tramite un approccio misto che prevede l'utilizzo di ZVI e ammendante (Lattato di sodio). I risultati indicano la possibilità di un'applicazione integrata di ISCR (In Situ Chemical Reduction) ed ENA (Enhanced Natural Attenuation) in campo, nella fase pilota.

Il trattamento di ISCR prevede l'applicazione di agenti chimici riducenti, quali il ferro zerovalente (zerovalent iron, ZVI), noto per la sua efficacia nella rimozione di numerosi composti organici recalcitranti. La stimolazione dell'attività microbica presente nelle acque oggetto della sperimentazione è stata ottenuta tramite aggiunta di Lattato di Sodio quale ammendante. Sono state allestite

colture in microcosmo, per testare sia il solo meccanismo di biodegradazione (solo Lattato), sia per valutare il contributo del Ferro zerovalente (Lattato + ZVI). L'allestimento ha previsto l'utilizzo di acque contaminate provenienti da tre diversi punti (A, B, C) dello stesso sito, che presentavano caratteristiche differenti in termini di miscele di contaminanti (prevalentemente cloroetani e cloroetileni) e che sono state caratterizzate a livello di struttura delle comunità microbiche presenti (analisi NGS, Next Generation Sequencing). Le colture sono state allestite in modalità sacrificale e in triplicato per ogni condizione da testare, allestendo quindi 180 colture per un totale di 5 tempi di prelievo.

I tre diversi campioni di acque testati hanno mostrato comportamenti piuttosto differenti, che correlano con le concentrazioni dei contaminanti presenti e con la composizione dei batteri in esse identificati. Le acque provenienti dal punto A, che presenta la più elevata concentrazione di 1,2-DCA (circa 60000 ppb), mostrano un'elevata attività batterica nei confronti di questo contaminante, che viene completamente degradato (in condizioni di ENA) dopo 28 giorni di trattamento. Nella condizione mista, la presenza degli etileni clorurati viene notevolmente ridotta, mentre si nota un rallentamento della biodegradazione dell'1,2-DCA, degradato solo a partire dal 14mo giorno di incubazione e fino al 50% circa rispetto alla concentrazione iniziale. Tale comportamento è stato attribuito all'azione dello ZVI che ha determinato condizioni di pH iniziali (misurate, intorno a 9 – 10) sfavorevoli all'attività dei batteri presenti.

Le acque prelevate dal punto B, relativamente vicino al primo, avevano fatto rilevare concentrazioni molto simili di PCE (percloroetilene) e TCE (tricloroetilene) (7000 – 8000 ppb), a fronte di una presenza di 1,2-DCA inferiore di un ordine di grandezza (circa 3000 ppb) rispetto al punto A. In questo punto, benché si noti la riduzione complessiva degli etileni e degli etani clorurati in condizioni di ENA, apparentemente l'attività batterica evidenziata dai marcatori molecolari selezionati non sembra seguirne l'andamento, suggerendo la possibile presenza di altri pathways degradativi. Nel trattamento misto si nota un dimezzamento delle concentrazioni di tutti i cloroetileni, mentre l'1,2-dicloroetano comincia ad essere degradato dopo il 14mo giorno di sperimentazione, analogamente a quanto riscontrato per il primo punto analizzato.

Infine, le acque del punto C, localizzato in un'area piuttosto distante dai precedenti, mostra una contaminazione dominata dalla presenza

di TCE, CVM e soprattutto cis1,2-DCE (2000, 4000 e 40000 ppb rispettivamente). In questo punto si osservano trend completamente diversi da quelli che caratterizzano i due precedenti. È stata confermata l'azione dello ZVI nella condizione sperimentale mista, mentre non si notano effetti positivi a livello di ENA, nemmeno a carico dei marcatori molecolari, che tuttavia sono rilevabili nelle acque di partenza.

I risultati sono indicativi della possibilità di applicazione di una combinazione di trattamenti (ENA + ISCR) in campo, che potrebbe essere contemporanea oppure sequenziale a seconda della zona scelta per il trattamento. Gli effetti parzialmente inibenti legati all'innalzamento del pH indotto dal ZVI, potrebbero essere mitigati dal sistema aperto della falda, consentendo alle popolazioni batteriche presenti un'azione degradativa contemporanea a quella imputabile al ferro zerovalente.

Keywords: Riduzione Biotica, Riduzione Abiotica, Etani, Etileni clorurati

Email: giovanna.carpani@eni.com

Il trattamento delle acque di falda in uno stabilimento di recupero batterie

Loredana Pascarella¹, Giuseppina Merola¹

¹ARPAC - Dipartimento di Caserta

Nell'ambito delle tecnologie di bonifica dei siti contaminati la scelta del tipo di intervento è funzione di numerosi fattori, tra cui: caratteristiche del sito e della matrice, estensione della contaminazione, presenza di vincoli e/o recettori sensibili. Nel corso degli ultimi anni tra le tecnologie classificate quali "ex situ" e "in situ", si è rivelata particolarmente efficace quella del "pump and treat" che consiste nel prelievo delle sostanze contaminanti dalle acque di falda, che verranno sottoposte a trattamento senza movimentazione dal loro sito naturale, ovvero in impianti localizzati altrove. Ai fini del successivo trattamento, notevole sviluppo ha avuto la tecnologia della nanofiltrazione, processo di separazione a membrana, particolarmente efficace rispetto ad altri processi di depurazione di tipo fisico, laddove sia necessario operare una rimozione selettiva dei contaminanti dal mezzo acquoso. Il presente studio è finalizzato a fornire un quadro degli esiti dei monitoraggi delle acque di falda, effettuati nel corso del 2022 e del 2023 presso lo stabilimento Ecobat S.r.l., munito di Autorizzazione Integrata Ambientale (A.I.A.) ubicato in Provincia di Caserta, specializzato nella produzione di piombo secondario da operazioni di recupero di batterie esauste. Presso detto insediamento è attivo dal 2015 un impianto di nanofiltrazione per la bonifica delle acque di falda, a seguito della caratterizzazione intrapresa nel 2011, con la presenza del Dipartimento ARPAC di Caserta per l'esecuzione dei campionamenti in contraddittorio, che ha evidenziato il superamento per i limiti delle CSC (concentrazioni soglia di contaminazione) per i parametri Antimonio, Arsenico, Piombo, Selenio e Solfati. L'impianto di nanofiltrazione effettua il trattamento delle acque di falda superficiale, provenienti dalla barriera idraulica costituita da sette pozzi installati lungo il confine sud dello stabilimento; le pompe di emungimento sono a circa 10 metri e i rilievi freaticometrici evidenziano la presenza di pelo libero a 7-8 mt. Detto impianto è collegato all'impianto di depurazione delle acque reflue con scarico finale che si immette in pubblica fognatura (Fig. 1). L'azienda effettua il monitoraggio delle acque costituite dal percolato in eccesso proveniente dall'impianto di nanofiltrazione, acque di falda

relative a due pozzi (monte e valle idrogeologico), e due piezometri, con la frequenza per la verifica del rispetto dei limiti fissati dal Piano di Monitoraggio e Controllo (2022 e 2023, con frequenza mensile).

Nel corso dello studio, si è scelto di portare l'attenzione su Antimonio, Arsenico, Piombo, Selenio e Solfati, evidenziando per il 2022 che, nelle acque dei pozzi in ingresso all'impianto, le concentrazioni per Piombo e Antimonio sono risultate sempre inferiori al limite di rivelabilità strumentale pari a 5 µg/l, dunque, inferiore al valore di 10 µg/l che rappresenta la CSC; per Arsenico, Selenio e Solfati superiori alla CSC nella quasi totalità dei casi. L'andamento di Arsenico e Selenio è risultato piuttosto stabile, mentre valori fluttuanti si sono riscontrati per i Solfati (Fig. 2). Per quanto riguarda il monitoraggio effettuato sul permeato in eccesso, in uscita dall'impianto di nanofiltrazione, si evidenzia una percentuale di abbattimento del 40 % per l'Arsenico, del 90 % per il Selenio e del 33 % per i Solfati.

Relativamente ai monitoraggi effettuati dalla Ecobat Srl nel corso del 2023, per le acque di falda in ingresso all'impianto si confermano concentrazioni per Piombo e Antimonio inferiori alla CSC; le concentrazioni rilevate per Arsenico e Selenio, pur superiori alle CSC, hanno mostrato valori decrescenti rispetto al 2022, mentre per i Solfati sono stati rilevati valori comparabili con l'anno precedente. Per quanto riguarda il monitoraggio effettuato sul permeato in eccesso, si evidenzia una percentuale di abbattimento del 60 % per l'Arsenico, del 100 % per il Selenio e del 90 % per i Solfati, dunque maggiore di quanto riscontrato nel 2022. Se l'andamento dei monitoraggi effettuati dall'azienda sulle acque di falda nei primi 5 mesi del 2023 dovesse essere confermato, si evidenzerebbe una riduzione della contaminazione con riferimento ad alcuni metalli, confermando dunque la validità del pump and treat quale tecnologia di bonifica della falda. Inoltre, il netto incremento dell'efficienza di abbattimento dell'impianto di nanofiltrazione rispetto a quanto osservato nel 2022, ne dimostra l'efficacia ai fini della rimozione dei contaminanti delle acque di falda, in particolare metalli e molecole di piccolissime dimensioni o ioni da soluzioni molto diluite, rispetto ad altri trattamenti di tipo esclusivamente chimico (precipitazione, ossidazione, chiariflocculazione, ecc) ovvero dagli altri processi a membrana riportati in letteratura.

Keywords: pump and treat, bonifica falda, stabilimento di recupero batterie

Email: l.pascarella@arpacampania.it, g.merola@arpacampania.it

Il piano regionale bonifiche del Veneto: un approccio trasparente e condiviso con gli stakeholders per l'individuazione dell'ordine di priorità degli interventi

Gianpaolo Bottacin¹, Chiara D'Alpaos², Paolo Giandon³, Claudia Brancati⁴, Loris Tomiato⁵, Paolo Zilli⁵

¹Regione del Veneto – Assessore all'Ambiente, Clima, Protezione Civile, Dissesto idrogeologico

²Dipartimento ICEA – Università degli Studi di Padova

³Regione del Veneto – Direzione Ambiente e Transizione Ecologica,

⁴Regione del Veneto – Direzione Progetti Speciali per Venezia

⁵ARPAV

Secondo il dettato normativo, lo strumento chiave per la definizione dell'ordine di priorità da includere nei PRB è rappresentato sostanzialmente dalla procedura di analisi di rischio relativa, ovvero una valutazione semplificata della pericolosità associata alla contaminazione, certa o potenziale, di un determinato sito nell'ambito di un confronto tra più siti. Si tratta, in altre parole, di un'analisi qualitativa che, basandosi su criteri predeterminati ai quali vengono assegnati dei pesi, valuta il grado di pericolosità di un sito rispetto ad altri (relativo), assegnando a ciascun sito un punteggio totale, Indice di Rischio Relativo (I.R.R.), che risulta significativo solo se paragonato al punteggio assegnato agli altri siti, purché tutti valutati con lo stesso modello e, possibilmente, con lo stesso livello informativo.

Per identificare le priorità di intervento è stato sviluppato e implementato un modello di analisi gerarchica di tipo assoluto basato sul confronto a coppie secondo l'approccio dell'Analytic Hierarchy Process (AHP), proposto da Saaty alla fine degli anni Settanta (Saaty, 1977; Saaty, 1980; Saaty, 1990; Saaty, 2000). L'approccio gerarchico di Saaty consente di valutare famiglie di criteri, criteri, sotto-criteri e alternative, utilizzando la medesima scala di preferenze, e di decomporre il problema decisionale iniziale in sub-problemi (approccio top-down) di dimensione più piccola la cui risoluzione comporta un minore sforzo cognitivo e di riaggregare, infine, i giudizi degli esperti secondo una procedura bottom-up. Al vertice della gerarchia è posto l'obiettivo del problema decisionale (ovvero

l'ordinamento dei siti da bonificare in termini di priorità di intervento), mentre i criteri e i sotto-criteri sono collocati a livelli gerarchici inferiori. Alla base della gerarchia sono collocati i rating relativi a ciascun criterio.

I 14 criteri di valutazione definiti dalla DGR 988/2022 sono stati organizzati in tre famiglie: sorgenti di contaminazione, contesto territoriale e ambientale e aspetti procedurali. Una volta individuato il gruppo di esperti (costituito da tecnici esperti di ARPAV e della Regione del Veneto), per ciascuno dei 14 criteri sono stati identificati, discussi e validati i rating e le rispettive metriche (Figura 1). Successivamente, è stato implementato un processo di indagine di tipo Delphi per elicitarne l'importanza relativa attribuita a ciascun elemento della gerarchia rispetto al nodo genitore e al goal. I giudizi verbali espressi dagli esperti sull'importanza relativa degli elementi della gerarchia posti a confronto sono stati convertiti in valori numerici secondo la scala semantica di Saaty (1980), in cui la preferenza relativa di un elemento della gerarchia rispetto ad un altro è espressa mediante numeri interi che vanno da 1 (uguale importanza), a 9 (estrema importanza) con la possibilità di considerare anche i valori intermedi 2,4,6,8 e i rispettivi reciproci.

Validati i pesi e il modello di valutazione preliminare nel suo complesso attraverso sessioni di brainstorming e discussione dinamica con gli esperti, sono stati organizzati una serie di workshop con i principali stakeholder (rappresentanti di Aziende Sanitarie, Province, Comuni, Ordini Professionali e Università), per la co-costruzione e la condivisione del modello di valutazione e la creazione di consenso rispetto al processo decisionale e al sistema di pesi globali finale da utilizzare nella determinazione del ranking dei siti contaminati da finanziare nell'ambito degli interventi ex artt. 242, 245 e 250 del D. Lgs.152/06. Per ottenere i giudizi rappresentativi dell'intero gruppo dei soggetti intervistati, le preferenze espresse sono state aggregate implementando tecniche consolidate di group decision making e basate sul calcolo di medie geometriche. Per validare e testare il sistema finale dei pesi, il modello di valutazione è stato implementato su cinque casi di studio reali e su due casi di studio fittizi.

Keywords: Priorità interventi, Piano Bonifiche, stakeholders

Email: chiara.dalpaos@unipd.it, ambiente@regione.veneto.it, progettispecialivenezia@regione.veneto.it, dg@arpa.veneto.it, ats@arpa.veneto.it

Trattamento di terreni contaminati da idrocarburi con biosurfattanti ottenuti da scarti agricoli

Teklit Ambaye¹, Andrea Franzetti², Mentore Vaccari¹

¹University of Brescia, Dep. of Civil, Environmental, Architectural Engineering and of Mathematics

²University of Milano-Bicocca, Dept. of Earth, and Environmental Sciences -DISAT

Gli idrocarburi del petrolio (PHC) sono una miscela tossica di componenti paraffinici, alifatici e aromatici e sono diventati un grave problema ambientale a causa della loro capacità di inquinare il suolo e l'acqua. Per rimuovere gli idrocarburi dall'ambiente vengono utilizzate diverse tecniche biologiche attraverso il metabolismo di batteri o altri microrganismi; tuttavia, questi processi presentano alcune limitazioni, come la scarsa disponibilità biologica e la bassa solubilità in acqua dei PHC.

I biosurfattanti stanno attualmente acquisendo una notevole importanza perché sono generati da processi biologici e, rispetto ai tensioattivi chimici, presentano molti vantaggi, quali l'elevata selettività, la biodegradabilità, la biocompatibilità, la biodisponibilità e un minore impatto ambientale, nonché una maggiore efficacia in condizioni di temperatura e concentrazione salina estreme. I biosurfattanti sono applicati con successo nei prodotti farmaceutici, nei cosmetici, nel trattamento delle acque reflue e dei fanghi. L'applicazione dei biosurfattanti consente di aumentare la biodisponibilità degli idrocarburi nel suolo, incrementando i tassi di biodegradazione microbica. Questo fenomeno dipende dalla capacità dei biosurfattanti di potenziare le interazioni idrofobiche e idrofile nel ridurre la tensione superficiale, favorendo così la mobilizzazione dell'olio e la formazione di micelle. Tuttavia, a causa dei costi più elevati, l'applicazione dei biosurfattanti rispetto a quelli chimici è ancora in ritardo. Pertanto, per la produzione su larga scala di biosurfattanti, è necessario utilizzare substrati più economici e più ampiamente disponibili. A questo proposito, recentemente è stata prestata molta attenzione alla produzione di biosurfattanti da rifiuti agroindustriali. Tra gli scarti maggiormente prodotti in Italia, vi sono quelli ceralicoli, che sono composti da emicellulosa, cellulosa e

zuccheri, e che possono essere utilizzati per la produzione di biosurfattanti a costi contenuti. Il presente articolo riassume i risultati preliminari ottenuti a scala di laboratorio nel trattamento di suoli contaminati da PHC utilizzando processi biologici in cui è avvenuto il dosaggio di biosurfattanti prodotti da rifiuti cerealicoli.

Per studiare la degradazione sono stati utilizzati test a scala di mesocosmo. Le prove sono durate 20 giorni.

Sono state testate le seguenti condizioni operative: (i) Controllo = 2 kg di terreno; (ii) Ramnolipide (RH) = terreno contaminato (2 kg) + brodo RH (50 mg/kg); (iii) Ramnolipide (RH) = terreno contaminato (2 kg) + brodo RH (100 mg/kg); (iv) Ramnolipide (RH) = terreno contaminato (2 kg) + brodo RH (150 mg/kg); (v) Surfattina (SF) = Terreno contaminato (2 kg) + brodo SF (10 mg/kg); (vi) Surfattina (SF) = Terreno contaminato (2 kg) + brodo SF (25 mg/kg); Surfattina (SF) = Terreno contaminato (2 kg) + brodo SF (50 mg/kg). L'aggiunta di biosurfattanti per la degradazione degli idrocarburi di petrolio è stata misurata mediante gascromatografia GC FID.

I MET sono stati preparati in cilindri di vetro a scatola rettangolare (altezza 46 cm, diametro 7 cm e capacità 2.000 cm³) con elettrodi di grafite granulare come anodo e catodo. I cilindri sono stati riempiti a fondo con il suolo inquinato con idrocarburi di petrolio fino a un'altezza di 37,5 cm, corrispondente a una capacità di 2 L. In tutti gli esperimenti, al MET è stato applicato un potenziale A di 0,8 mV. L'effetto della concentrazione di biosurfattanti sull'efficienza di degradazione degli idrocarburi petroliferi nel MET è stato studiato utilizzando i ramnolipidi e surfattina in tre diverse concentrazioni del brodo di coltura: ramnolipidi 50, 100 e 150 mg/kg, surfattina 10, 25 e 50 mg/kg. Oltre al controllo abiotico, è stato previsto anche un altro controllo negativo con le stesse condizioni dei sistemi biotici, ma senza l'uso di biosurfattanti. L'aggiunta di biosurfattanti per la degradazione degli idrocarburi di petrolio è stata misurata mediante gascromatografia GC FID.

L'aggiunta di varie dosi di ramnolipidi ha migliorato i rendimenti di rimozione degli idrocarburi rispetto al controllo. Tra le varie dosi, l'efficienza massima di degradazione del PHC, pari al 62%, è stata raggiunta con l'aggiunta di 50 mg/kg di ramnolipide, grazie all'aumento della biodisponibilità dell'inquinante da parte del biosurfattante (Figura 1). L'ulteriore aggiunta di tensioattivi non ha aumentato la biodegradazione degli idrocarburi. Ciò suggerisce che il

tensioattivo ha causato una qualche forma di inibizione della biodegradazione nei mesocosmi.

L'aggiunta di biosurfattanti per la degradazione degli idrocarburi petroliferi durante il processo MET a doppia camera per 20 giorni porta a un'efficienza massima di degradazione dei PHC del 78% con l'aggiunta di 50 mg/kg di ram nolipidi, 20 volte più efficiente rispetto a quella di controllo (4%), mentre l'aggiunta di surfactina non ha migliorato la biodegradazione degli idrocarburi, come mostrato nella Fig. 2. Ciò dimostra che l'aggiunta di ramnolipidi al MET è significativamente migliorata, il che implica un aumento della biodisponibilità degli idrocarburi, mentre la surfactina ha causato una forma di inibizione probabilmente a causa della sua natura tossica.

In breve, i primi risultati degli esperimenti a scala di laboratorio dimostrano che l'aggiunta di ramnolipidi aumenta significativamente la rimozione degli idrocarburi dai suoli contaminati sia nel processo landfarming sia in quello bioelettrochimico (MET).

Keywords: biosurfattanti, scarti agricoli, idrocarburi

Email: mentore.vaccari@unibs.it, teklit.ambaye@unibs.it,
Andrea.franzetti@unimib.it

Studio del fondo naturale di ferro, manganese e arsenico negli acquiferi della pianura padana: influenza dell'assetto geologico, idrogeologico e geochemico locale sul processo di acquisizione e analisi dei dati

Luca Navone¹
¹WSP Italia S.r.l.

Negli acquiferi della Pianura Padana, le caratteristiche geochemiche dei depositi determinano spesso arricchimenti naturali di ferro, manganese e arsenico tali da determinare concentrazioni disciolte superiori ai limiti di riferimento previsti dalla normativa per le acque sotterranee.

Tale circostanza causa, in molti casi, un impatto sui tempi di gestione e chiusura di procedimenti ambientali ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i..

Il presente lavoro è frutto della disamina di circa dieci studi dei valori di fondo di ferro, manganese e arsenico nelle acque sotterranee della Pianura Padana e ha lo scopo di presentare i principali fattori legati all'assetto geologico, idrogeologico e geochemico che possono influenzare il corretto svolgimento di tale tipologia di studio.

È stata eseguita una disamina dei diversi studi dei valori di fondo con lo scopo di individuare, per ciascuna delle fasi sopra elencate, gli aspetti di carattere tecnico e operativo da tenere in considerazione, in un contesto quale quello della Pianura Padana, per garantirne il corretto sviluppo.

Nello specifico, è stata valutata l'influenza esercitata dalla presenza di depositi fini (fluviali distali, lacustri, palustri, lagunari) contenenti torba sull'arricchimento dei metalli sopra elencati in soluzione. Inoltre, è stata valutata l'influenza esercitata dalla presenza di alcune fasi minerali specifiche (es. pirite) che spesso sono associate alla torba. Riguardo l'assetto idrogeologico è stata valutata l'influenza esercitata dal grado di accuratezza con cui è definito l'assetto idrogeologico locale, in termini di definizione della direzione di flusso prevalente e selezione dei punti di monitoraggio rappresentati del background naturale e dell'inquadramento del Sito rispetto ai corpi idrici sotterranei significativi definiti a livello regionale.

Riguardo le fasi di “Analisi dei dati” e “Determinazione del valore di fondo” sono stati evidenziati gli aspetti dell’analisi statistica dei dati che più di frequente occorre gestire nel quadro di studi relativi alla presenza di ferro, manganese e arsenico in soluzione quali, ad esempio, l’elevata variabilità dei dati e la presenza di popolazioni statistiche multiple.

La disamina degli studi eseguiti ha messo in luce diversi aspetti comuni, caratteristici del contesto (gli acquiferi della Pianura Padana) e degli analiti oggetto di studio (ferro, manganese e arsenico). Per quanto concerne l’assetto geologico e geochimico, lo studio ha evidenziato l’importanza di investigare la presenza e la distribuzione di torba nell’acquifero, al fine di costruire un modello concettuale robusto e interpretare i dati in modo a esso coerente. Riguardo l’assetto idrogeologico, la comprensione della situazione locale e il suo inquadramento a livello regionale sono fondamentali per selezionare punti di monitoraggio adeguati e per un corretto confronto tra i dati sito-specifici ed eventuali dati o valori di fondo definiti a scala regionale dagli Enti pubblici.

Gli studi dei valori di fondo eseguiti hanno evidenziato che le concentrazioni di ferro, manganese e arsenico in soluzione mostrano spesso una grande variabilità temporale e spaziale nei siti indagati, probabilmente a causa dell’effetto localizzato esercitato dalla presenza di torba e della sensibilità di alcuni di questi parametri alle variazioni di pH e potenziale di ossidoriduzione nell’acquifero.

In molti casi, tale variabilità determina la presenza di popolazioni statistiche multiple, la cui gestione richiede un’elaborazione statistica dedicata e comporta la creazione di subset di dati che spesso possono presentare una ridotta numerosità campionaria, con tutte le problematiche che conseguono a livello di analisi statistica e definizione dei valori di fondo.

La presentazione mostrerà un’analisi dei principali aspetti sopra descritti soprattutto nell’ottica dell’applicazione della Linea Guida SNPA 08/2018 e del rapporto con gli Enti di controllo.

Keywords: Valori di fondo, Fe, Mn, assetto geologico, idrogeologico e geochimico locale

Email: luca.navone@wsp.com

Verifica del modello concettuale di sito mediante modellizzazione numerica della falda

***Arianna Veratelli¹, Lorenzo Savigni¹, Vito Bretti², Roberto Gaveglio²,
Gianpiero Zaccone²***

¹Herambiente S.p.A., ²WSP Italia S.r.l.

Nell'ambito di uno studio volto alla definizione dei valori di fondo per le acque sotterranee soggiacenti una discarica esaurita, per la quale è attivo un procedimento ambientale ai sensi dell'art. 244 Parte IV Titolo V del D.Lgs 152/06 e s.m.i (DLgs152/06), si è reso necessario approfondire le conoscenze in merito al modello concettuale del sottosuolo per chiarire la presenza di alcune anomalie nelle acque di falda. In particolare, la modellizzazione numerica della falda ha permesso di appurare le motivazioni per le quali tali anomalie si riscontrano in una porzione delimitata dell'acquifero.

In primo luogo, è stato ricostruito l'assetto stratigrafico ed idrogeologico del sito al fine di controllare eventuali interazioni tra la discarica e l'ambiente circostante e sono stati sistematizzati gli esiti del monitoraggio idrochimico effettuato a partire dal 2009 fino al 2022. Successivamente sono stati eseguiti i test idraulici (slug test) ed infine è stata effettuata la modellizzazione idrogeologica del sito.

Per l'interpretazione degli slug test è stato utilizzato il modello matematico sviluppato da Bouwer e Rice (Bouwer and Rice, 1976) per acquiferi non confinati.

La modellazione numerica del flusso idrico sotterraneo è stata eseguita secondo il protocollo di modellazione proposto in Applied Groundwater Modeling (Anderson e Woessner 1992) articolato nelle seguenti fasi:

- selezione del codice di calcolo più adatto a modellizzare le condizioni specifiche del sito;
- costruzione del modello numerico;
- calibrazione del modello numerico;
- uso del modello numerico per soddisfare gli obiettivi dello studio.

L'impianto di discarica è in regime di gestione post chiusura e lungo il perimetro del Sito è stato realizzato un diaframma plastico in cemento-bentonite, immerso nel primo strato di terreno argilloso. La posa del diaframma è finalizzata ad isolare idraulicamente

dall'esterno l'acquifero non confinato superficiale. Il diaframma plastico ha quindi funzione di impedire che vi siano diffusioni di contaminanti al di fuori del perimetro confinato. Con riferimento ai parametri più direttamente riconducibili a potenziali fenomeni di contaminazione derivati dal percolato prodotto dall'impianto di smaltimento, lo stato chimico-ambientale delle acque circolanti nell'acquifero non confinato superficiale evidenzia condizioni di specifica criticità per i parametri azoto ammoniacale e COD. Per entrambi gli analiti, le maggiori concentrazioni sono state rilevate in corrispondenza della porzione ovest-sudovest esterna all'area cinturata, in accordo con la direzione prevalente del deflusso idrico sotterraneo storicamente evidenziata.

Considerando l'isolamento del corpo discarica determinato dal diaframma e l'assetto stratigrafico del sottosuolo (costituito prevalentemente da limo sabbioso argilloso con presenza di torbe) è stato ipotizzato che le anomalie localizzate esclusivamente nella porzione sud-occidentale del sito, in posizione esterna al diaframma, siano riferibili a potenziali interferenze avvenute prima dell'installazione del diaframma stesso. Tale anomalia, quindi, coinciderebbe con un'area di stagnazione della falda e sarebbe coerente con la direzione di flusso della falda che in quel settore sarebbe "in ombra" rispetto al diaframma stesso.

L'area in esame è stata oggetto di test idraulici (slug test) condotti sulla rete di monitoraggio presente, propedeutici per la modellizzazione idrogeologica dello stesso, con l'obiettivo di stimare la variabilità della conducibilità idraulica (K) della porzione superficiale di acquifero sottostante il sito oggetto di studio. I risultati ottenuti indicano che la conducibilità idraulica della formazione satura investigata è compresa nel range $5,75 \times 10^{-5}$ m/s – $1,68 \times 10^{-4}$ m/s.

La modellazione numerica del flusso idrico sotterraneo è stata eseguita usando il codice FEFLOW (Versione 7.3) sviluppato dalla DHI-WASY. Una volta costruito, sono state assegnate le condizioni al contorno di carico costante e di infiltrazione efficace. Inoltre, i risultati degli slug test sono stato utilizzati al fine di ottenere, per interpolazione, una distribuzione di conducibilità idraulica in tutto il dominio di modellazione.

Successivamente il modello è stato calibrato, per valutarne l'idoneità a riprodurre valori di carico idraulico misurati in campo. Durante la calibrazione i valori delle condizioni al contorno assegnati inizialmente

nel modello sono stati fatti variare per minimizzare la differenza fra i risultati del modello numerico ed i dati registrati in campo.

Una volta calibrato, il modello è stato utilizzato per valutare all'interno del dominio di calcolo, la velocità di falda e valutare se nella porzione ad ovest della discarica si presentano condizioni tali da evidenziare il ristagno delle acque sotterranee. La velocità della falda è stata rappresentata graficamente mediante la velocità di Darcy in ogni nodo del dominio di modellazione.

Dal modello si evince come la velocità della falda sia molto bassa in tutta l'area, con velocità massime di 0,1 m/d. Nei pressi del diaframma a monte idrogeologico il flusso diverge modificando la propria direzione verso nord e verso sud, per poi convergere a valle idrogeologica. Il contributo delle direzioni opposte del flusso di falda nelle aree in cui converge e diverge contribuisce ad abbassare le velocità di falda, fino alla stagnazione delle acque sotterranee, con valori prossimi a 0 m/d.

Si presentano due zone in cui localmente la velocità di falda è pressoché nulla, nella porzione ad est, monte idrogeologico, e nella porzione ad ovest della discarica a valle idrogeologica.

Keywords: Valori di fondo, modellizzazione numerica,

Email: gianpiero.zaccone@wsp.com , roberto.gaveglio@wsp.com

From pilot testing to full scale: a successful chlorinated solvents bioremediation in a high flow aquifer

Anna De Fina¹, Simone De Fazio¹, Corrado Thea¹, Luna Maldì¹, Jean Pierre Davit¹

¹WSP Italia Srl

Con Bioremediation si intende l'uso di microrganismi per convertire i contaminanti in composti meno nocivi, per la bonifica dei siti contaminati. I processi biologici avvengono ad opera di gruppi di batteri naturalmente presenti negli acquiferi; tuttavia, essi possono avvenire in tempistiche o intensità non compatibili con le necessità progettuali. La Bioremediation può comportare, quindi, solo il monitoraggio della biodegradazione naturale intrinseca (Monitored Natural Attenuation) o può prevedere di migliorare e rafforzare tali processi, aggiungendo nutrienti e/o fonti energetiche, alterando l'ambiente del sottosuolo per aumentare l'attività dei batteri (Enhanced Bioremediation) o aumentandone il numero mediante inoculi mirati.

L'Enhanced Bioremediation è risultata efficace anche per i composti recalcitranti come i solventi clorurati e, negli ultimi 10 anni, il biorisanamento ingegnerizzato in situ è diventato l'approccio più diffuso per bonificare i solventi clorurati nel sottosuolo, in quanto si è dimostrato più efficace, dal punto di vista economico, ambientale e di sostenibilità, rispetto ad altre tecnologie di bonifica tradizionali (ad es. Pump & Treat).

Tuttavia, la Bioremediation in situ di solventi clorurati può essere ancora difficoltosa, soprattutto in contesti ambientali specifici, che non favoriscono la dechlorazione riduttiva, come gli acquiferi caratterizzati da alte velocità di flusso, che sono naturalmente ossigenate e con un contenuto elevato di accettori di elettroni che implicano una elevata richiesta di un donatore di elettroni.

In questo lavoro vengono presentati i risultati del biorisanamento di un acquifero ad alto flusso, impattato da tetracloroetene (PCE) e che si estende per circa 200 m dall'area sorgente. L'azione di risanamento, condotta mediante la Enhanced Bioremediation, è risultata vincente,

grazie ad un approccio graduale che ha compreso una caratterizzazione dettagliata, un test pilota con diversi prodotti ingegnerizzati, che hanno permesso di ottimizzare la progettazione e bonifica a scala reale. Il processo ha previsto inoltre un continuo monitoraggio dell'evoluzione dei parametri indicatori delle caratteristiche chimico-fisiche dell'acquifero, delle popolazioni batteriche attive e delle concentrazioni di contaminanti presenti.

Il progetto è stato sviluppato dopo precedenti tentativi di bonifica mediante altre tecnologie, risultati non pienamente efficaci. La bonifica ha compreso, oltre al biorisanamento delle acque sotterranee, anche azioni mirate di Soil Vapor Extraction (SVE) e di mitigazione dell'intrusione di vapore per favorire la riqualificazione dell'ex stabilimento industriale.

Attualmente, il progetto è giunto alle fasi conclusive per quanto concerne la matrice acque sotterranee, con ottimi risultati ottenuti dopo circa cinque anni dal primo test pilota e quattro dall'inizio della bonifica con prima iniezione dei substrati organici.

Sul sito di studio, la tecnologia di bonifica basata sulla stimolazione della biodegradazione in ambiente anaerobico dei solventi clorurati, mediante l'iniezione nell'acquifero di sostanze organiche non tossiche e biodegradabili ha permesso, in un orizzonte temporale di circa quattro anni, una riduzione di massa dei clorurati disciolti comprese tra il 92% e il 99%. Nel processo di biodegradazione, i solventi clorurati si riducono in quanto accettori degli elettroni messi a disposizione dalla reazione di ossidazione del substrato primario organico, che si comporta come donatore di elettroni. Il processo comporta la riduzione dei solventi più complessi come il PCE e il TCE (Tricloroetilene) in DCE (Dicloroetilene), CV (cloruro di vinile) ed infine etilene, attraverso una serie di reazioni sequenziali. Il prodotto finale della dealogenazione o declorazione riduttiva è l'etene, un composto innocuo che non comporta rischi ambientali o sanitari. Dopo circa due anni e mezzo dalla prima campagna di iniezioni, i monitoraggi hanno evidenziato un incremento delle concentrazioni di cloruro di vinile, indice di un progressivo esaurimento della sostanza organica. Specifiche analisi hanno mostrato l'esaurimento degli acidi grassi maggiormente utilizzati dalle colonie batteriche. Una seconda iniezione di sostanza organica, unitamente al supporto di nuovo inoculo batterico, ha permesso l'inversione della tendenza al rallentamento dei processi di declorazione osservata.

Dopo circa quattro anni dall'avvio delle operazioni di bonifica, il campionamento di collaudo delle acque sotterranee ha mostrato concentrazioni di PCE conformi agli obiettivi di bonifica in tutti i pozzi di monitoraggio. Alcuni prodotti della sequenza di dechlorazione (CV, 1,2 DCE, TCE e PCE) sono ancora presenti nei pozzi interni al Sito con concentrazioni eccedenti le CSC ma per le quali l'Analisi di Rischio ha indicato l'accettabilità del rischio residuo associato. Nei pozzi di monitoraggio che rappresentano i Punti di Conformità (POC) al confine del Sito, risulta la totale conformità agli obiettivi di bonifica per i solventi clorurati. In questi pozzi di monitoraggio, come conseguenza dell'instaurarsi di un ambiente riducente nell'acquifero, alcuni metalli, tra cui particolarmente ferro e manganese sono passati in soluzione, determinando concentrazioni in acqua superiori alle CSC, ma aventi, allo stato attuale, un trend decrescente.

Keywords: Bioremediation in situ, solventi clorurati, PCE e il TCE (Tricloroetilene) in DCE (Dicloroetilene), CV (cloruro di vinile), Etilene

Email: simone.defazio@wsp.com

Coupling hydro-stratigraphic and numerical 3d models with in situ sensors to improve the environmental sustainability of groundwater containment systems and assess full scale remediation strategy

*F.Canova¹, G. Prassede¹, D. Caragnini¹, P. Frattini¹,
G.Buongiovanni¹, M. Pellegrini¹, G. Bonfedi¹*

¹Eni Rewind

Eni Rewind, the environmental company of Eni, is managing groundwater remediation activities at 25 decommissioned and active industrial sites in Italy. The company has developed an integrated, consistent, and dynamic approach to improve the environmental sustainability of groundwater containment systems and the effectiveness of remediation activities.

The methodology envisages:

- Building a database, including all groundwater monitoring data (depth to groundwater, physical and chemical parameters, contaminant concentrations, pumping test results) and a database including all stratigraphic data;
- Development of a 3-D hydro-stratigraphic model, using borehole data collected since site characterisation and borehole data at the regional scale;
- Development of a numerical model to simulate groundwater flow and assess optimal pumping rates of the Pump & Treat system hydraulic barriers considering seasonal fluctuations;
- Installation of depth to groundwater dataloggers with real time data transmission to continuously adapt pumping rates;
- Application of a specific monitoring plan to check hydraulic containment efficiency in the field;
- Groundwater remediation pilot testing;
- Development and calibration (based on pilot test results) of a contaminant fate and reactive transport numerical model to assess full scale remediation strategy.

The method was developed starting from a specific case study: a dismissed industrial site located in Tuscany where a Pump and Treat system is active and remediation activity pilot tests are currently under development. The site is located on an alluvial fan at the foothill

of the Apuan Alps, and the site conceptual model can be summarised as follows: a highly permeable, phreatic, gravelly and sandy aquifer locally divided in two sub-units by a silty aquitard. Seasonal groundwater fluctuations can happen suddenly and with significant amplitude.

A 3-D hydro-stratigraphic model was developed using more than 300 borehole data collected at the site and at the regional scale, using the software Leapfrog Works. This model can be dynamically updated as new data are collected, keeping the conceptual model up to date. Using this tool, the complex stratigraphic boundaries of the different units were represented in detail.

The geological surfaces created in the hydro-stratigraphic model were used to build a 3d finite elements groundwater flow model with the software Feflow. The model was calibrated under different seasonal conditions and used to write an algorithm which allows defining individual pumping rates according to groundwater levels.

A specific monitoring plan was applied to check the efficiency of the hydraulic barrier in the field, and water level data loggers with real-time transmission are being installed at the site to continuously adapt pumping rates to changing groundwater heads.

This approach allowed saving over 500K m³ of water in 12 months keeping the effectiveness of the hydraulic containment unaltered and dramatically reducing overpumping.

The project will progress in the next years to also include the development of a reactive transport numerical model, which will be calibrated with the results of Enhanced Bioremediation pilot testing. Subsequently, the model will be used to support decision making during the full-scale remediation process and predict the advancement of remediation activities.

The method developed has proven to be efficient and dynamic so far, providing an effective support to containment systems management and - in the future - remediation activities design and decision making. Based on collected results it will be applied to other sites where remediation activities are being tested or carried out and where pump and treat systems must be kept running to prevent contaminants from migrating offsite.

Keywords: hydro-stratigraphic numerical 3d models, situ sensors, groundwater

Email: fabio.canova@enirewind.com

Soluzioni innovative per la bonifica

Raffaella Salamone¹, Tommaso Baldarelli¹, Guido Bonfedi¹

Eni Rewind¹

Eni Rewind è la società ambientale di Eni che opera da più di vent'anni nel settore delle bonifiche in Italia con progetti volti al recupero ed alla valorizzazione di terreni, acque e rifiuti.

In virtù dell'esperienza acquisita quale global contractor ambientale per tutte le linee di business Eni, gestendo i procedimenti ambientali e le attività di remediation per ca. 4.000 ettari di aree di proprietà, Eni Rewind dal 2020, ha avviato l'erogazione di servizi ambientali anche a terzi, con l'obiettivo di una progressiva trasformazione da service company per il Gruppo Eni ad operatore di mercato.

Nel corso degli anni, inoltre, Eni Rewind ha perseguito, ed oggi consolidato, un'importante evoluzione relativa all'approccio alle bonifiche, passando da progetti di bonifica 'stand alone' indirizzati al mero rispetto delle norme, a progetti di bonifica che, grazie anche ad una costante interlocuzione e collaborazione con gli stakeholder locali, si inseriscono e vanno ad integrarsi nella riqualificazione complessiva dei Territori, creando valore e sviluppo.

In questo processo di trasformazione ed evoluzione, lo sviluppo di tecnologie innovative per la bonifica ha giocato un ruolo fondamentale.

Oggetto dell'intervento è illustrare le principali tecnologie innovative che Eni Rewind ha sviluppato, mostrando esempi della loro applicazione nei progetti di risanamento in corso.

Metodologia

Alcune tra le principali nuove tecnologie applicate alla bonifica che stanno portando rilevanti vantaggi in termini di sostenibilità ambientale, consentendo al contempo riduzione di tempi e costi, sono:

- E-hyrec (Eni hydrocarbon recovery)
- E-limina (Eni Linking Isotopic and Microbial Investigations and Natural Attenuation)
- Pozzi a ricircolo
- Campionamento passivo su film di polietilene

L'e-hyrec® è un dispositivo automatico che, posizionato all'interno dei pozzi per la bonifica della falda, consente la rimozione selettiva di idrocarburi (LNAPL - Light Non-Aqueous Phase Liquid o surnatante) dalle acque sotterranee. Il cuore della tecnologia è un filtro idrofobico (brevettato da Eni) in grado di separare ed estrarre dalla falda solo la quota di contaminante oleoso, con una forte riduzione dei quantitativi di acqua e rifiuti inviati a smaltimento. Rispetto ai sistemi tradizionali, che unitamente al prodotto in fase libera estraggono fino al 70-80% di acqua, il dispositivo e-hyrec® garantisce una più veloce, efficace ed efficiente bonifica della falda, dando un importante contributo alla tutela e preservazione della risorsa idrica. Finora, grazie ai quasi 50 dispositivi installati su tutto il territorio nazionale, sono stati recuperati circa 550.000 litri di olio surnatante in tempi nettamente minori rispetto alle tecnologie tradizionali, evitando di smaltire oltre 2.000 tonnellate di rifiuto equivalente. L'illustrazione di uno dei case study più rappresentativi presso il sito di Gela, mostra la comprovata efficacia della tecnologia e i vantaggi della stessa.

La metodologia e-limina®, nata dalla ricerca Eni, consiste nell'associazione di diversi sistemi di monitoraggio della falda – microbiologico, molecolare e isotopico – al fine di stabilire lo stato di biodegradazione dei contaminanti in atto e valutare l'opportunità di un trattamento biologico. Inoltre, consente di individuare le migliori condizioni microbiologiche che possono favorire il processo di abbattimento della contaminazione da parte dei batteri autoctoni direttamente nella matrice ambientale, riducendo così l'estrazione delle risorse suolo e acqua. L'applicazione del metodo monitoraggio integrato e-limina nella bonifica di un acquifero contaminato da cloroetileni e cloroetani evidenzia chiaramente i punti di forza della metodologia.

I pozzi a ricircolo sono una tecnologia per la bonifica degli acquiferi nota da tempo ma fino a pochi anni fa poco utilizzata in Italia. Eni Rewind a valle di approfonditi studi e test pilota, condivisi con le pubbliche amministrazioni, ha implementato la tecnologia nel sito Eni Rewind di Manfredonia ubicato fronte mare e caratterizzato da un complesso acquifero fratturato. L'obiettivo dei pozzi a ricircolo è quello, al contrario dei sistemi di P&T, di mobilizzare la contaminazione attraverso l'estrazione di acqua di falda contaminata, trattarla in impianti dedicati, rendendola conforme ai limiti, e reiniettarla nell'acquifero, garantendo così, oltre alla bonifica della falda ed al contenimento del plume di contaminazione, anche la ricarica

dell'acquifero ed il mantenimento dell'equilibrio del cuneo salino, evitando il depauperamento della risorsa idrica. L'applicazione del sistema pozzi a ricircolo presso il sito di Manfredonia mostra i vantaggi di questo approccio di risanamento ambientalmente sostenibile.

La metodologia di monitoraggio e caratterizzazione di campionamento passivo su film di polietilene sviluppata in collaborazione con la ricerca Eni e università nazionali e internazionali, come l'Università di Roma Tor Vergata e il Massachusetts Institute of Technology, consente di valutare la lisciviazione dal suolo alle acque sotterranee dei contaminanti e la loro volatilizzazione dal suolo alla superficie (soil gas) attraverso l'impiego di fogli di pellicola di polietilene (LDPE). In questo modo è possibile determinare accuratamente la presenza, distribuzione e biodisponibilità dei contaminanti nelle matrici ambientali (suoli e falda), e quindi definire gli interventi di bonifica efficacemente mirati all'effettiva necessità di risanamento. Il case study relativo all'applicazione di tale metodologia presso il sito Eni Rewind di Gela ha comprovato sia l'efficacia che le potenzialità della tecnologia medesima.

Attraverso case studies reali viene mostrato l'impegno di Eni Rewind nella ricerca di nuove ed innovative tecnologie per una bonifica sostenibile e mirata alla riqualificazione e sviluppo dei territori in cui i siti contaminati da bonificare sono inseriti.

Keywords: E-hyrec, E-limina, Pozzi a ricircolo, Campionamento passivo su film di polietilene

Email: Raffaella.Salamone@enirewind.com

Oltre le barriere idrauliche: interventi sostenibili mirati alle sorgenti secondarie di contaminazione” con approfondimenti sui casi già in esercizio (Gela e Manfredonia)

Roberto Pecoraro¹, Riccardo Caria¹, Erika Cascelli¹, Laura Conti¹, Manlio Rossini¹, Marco Petrangeli Papini², Paolo Ciampi², Damiano Feraud²

¹Eni Rewind, ²Dipartimento di Chimica, Sapienza Università di Roma

Gli interventi di risanamento delle acque sotterranee richiedono un’approfondita valutazione dello stato di contaminazione delle matrici ambientali, restituita dalla ricostruzione del modello concettuale, nonché la progettazione e l’attuazione di strategie di bonifica mirate ed adattate alle peculiarità idrogeochimiche e fisiche sito-specifiche. Il modello concettuale del sito delinea sia le sorgenti che il plume di contaminazione, le cui geometrie risultano fortemente influenzate dalla idrogeologia del sito, dalla mobilità e dalle caratteristiche fisico-chimiche dei contaminanti (solubilità, ripartizione tra le diverse fasi e eventuale presenza in forma “residuale”). Molto spesso, per limitare la migrazione della contaminazione disciolta in falda all’esterno del sito, tutelando il contesto al contorno, vengono adottati degli interventi di sbarramento e contenimento del pennacchio di contaminazione, impiegando sistemi di estrazione e trattamento delle acque di falda secondo l’approccio “pump & treat” (P&T). Questa tecnica si caratterizza di una serie di pozzi di emungimento delle acque sotterranee, che assume la configurazione di un sistema di barriera idraulico. I pozzi di estrazione fisica tradizionale sono collegati ad una unità di trattamento acque emunte, la quale rimuove i contaminanti presenti e ne consente il rilascio in ambiente nel rispetto dei limiti autorizzati. I sistemi di contenimento idraulico, se regolarmente eserciti e monitorati, assicurano l’obiettivo di contenimento della contaminazione, ma non consentono di raggiungere in tempi certi l’obiettivo di risanamento della matrice ambientale contaminata.

A quasi vent'anni dall'approvazione dei progetti di bonifica della falda per i principali SIN italiani e dopo oltre 15 anni di funzionamento dei sistemi P&T, è possibile tranne un bilancio sia qualitativo sia quantitativo dei risultati ottenuti e delle problematiche connesse con un approccio di estrazione e trattamento convenzionale. Questo, infatti, può indurre pronunciati effetti di desaturazione dell'orizzonte acquifero, comportando il consumo e/o il depauperamento della risorsa idrica e fenomeni di subsidenza e intrusione salina. Inoltre, il P&T implica notevoli consumi energetici e il prolungato impegno di risorse operative e materiali. Tutti gli elementi di cui sopra, evidenziano la necessità di cambiamento nell'approccio alla bonifica delle acque sotterranee contaminate, che implichi evidentemente l'aggressione della sorgente piuttosto che il contenimento del plume. Un possibile approccio innovativo per "attaccare" le sorgenti inserite in un particolare contesto geologico, accelerare sia il risanamento che l'esaurimento delle sorgenti secondarie di contaminazione vede l'applicazione dei pozzi a ricircolazione delle acque sotterranee (Ground Circulation Well-GCW).

La tecnologia dei GCW è costituita da un pozzo verticale multifenestrato. Le acque sotterranee sono emunte in corrispondenza di una sezione fenestrata del pozzo, inviate ad un impianto di trattamento esterno e reimmesse in falda, a valle del trattamento, in una sezione filtrante diversa del pozzo multifenestrato. L'impianto di trattamento esterno è modulato sulla base del contaminante da trattare e consente la reimmissione in falda di acqua con una concentrazione di contaminanti significativamente inferiore a quella misurata nelle acque emunte. La continua estrazione/reimmissione delle acque in sezioni filtranti diverse del pozzo verticale genera delle celle di ricircolazione ellissoidica forzata delle acque sotterranee, in grado di mobilitare i contaminanti adsorbiti alla matrice fine dell'acquifero, i quali costituiscono una sorgente secondaria di contaminazione notoriamente poco influenzata dai sistemi di estrazione fisica tradizionale. Il flusso ellissoidico indotto dal GCW genera significativi gradienti verticali che agiscono dinamicamente sulle matrici contaminate e favoriscono la rimozione dei contaminanti in contesti geologici eterogenei.

Questa tecnologia è stata adottata alla scala pilota in due siti storicamente contaminati da arsenico e caratterizzati da contesti geologici eterogenei. L'intervento illustra i risultati operativi dei primi impianti GCW installati e gestiti da Eni Rewind e progettati con la

collaborazione dell'Università La Sapienza di Roma per i Siti di Gela e Manfredonia, i cui impianti di P&T sono operativi rispettivamente dal 2007 e dal 2006. I risultati acquisiti svelano la dinamica e i meccanismi di decontaminazione che caratterizzano i GCW e il P&T in diversi contesti geologici, evidenziando anche le limitazioni dei tradizionali sistemi di estrazione delle acque sotterranee nell'impattare sorgenti di contaminazione invecchiate. I GCW, applicati in area sorgente sulla base dell'accurata ricostruzione di un modello concettuale 3D, accelerano il tasso di rimozione degli inquinanti, mobilitano i contaminanti adsorbiti su strati a bassa permeabilità e riducono i tempi di bonifica sia in terreni granulari che in rocce fratturate. I pozzi a ricircolazione, inoltre, limitano il consumo della risorsa idrica sotterranea che caratterizza i sistemi convenzionali di emungimento delle acque sotterranee. I risultati finora ottenuti hanno gettato le basi per una bonifica delle acque sotterranee più efficace e sostenibile utilizzando i GCW rispetto al P&T. Inoltre, il passaggio da un approccio di contenimento del pennacchio a uno di aggressione della sorgente risulta evidentemente un punto di svolta cruciale nella bonifica delle acque sotterranee contaminate.

Keywords: Arsenico, Gela, Manfredonia, pozzi a ricircolazione

Email: roberto.pecoraro@enirewind.com,
marco.petrangelipapini@uniroma1.it

Analisi petrofisiche di laboratorio a supporto delle attività di bonifica in un sito contaminato

Mauro Barompriori¹, Michele Arcangeli¹, Federico Villani¹, Daniele D'Emilio¹, Nicola Bona², Antonella Bersani²

¹Eni Rewind, ²Eni

Lo studio è stato condotto da Eni Rewind in collaborazione con i Laboratori di Ingegneria del Petrolio di Eni con lo scopo di verificare che le tecniche innovative utilizzate solitamente per la caratterizzazione di giacimenti di idrocarburi possano essere utilizzate con successo anche per la completa caratterizzazione di un orizzonte litostratigrafico in un sito contaminato, così da avere a disposizione una serie completa e affidabile di dati per sviluppare efficacemente i progetti di bonifica o di messa in sicurezza dello stesso oppure, nel caso di siti con interventi già completati (come nel caso di studio in esame), per confermare la fondatezza e l'efficacia delle opere realizzate.

Nei giacimenti petroliferi flussi e pressioni vengono descritti dalle equazioni differenziali (di continuità e di Darcy), mentre per gli acquiferi i parametri cruciali sono la porosità, la conducibilità idraulica e la comprimibilità del sistema (attraverso cui si definisce la dipendenza della porosità e della conducibilità idraulica dalla pressione dell'acqua). Per studiare correttamente le zone insature di un acquifero servono anche la curva di pressione capillare (che stabilisce in ogni punto la relazione tra la pressione dell'acqua e la saturazione in acqua del terreno) e la curva di permeabilità relativa all'acqua (che stabilisce come varia la conducibilità effettiva dell'acqua al variare della saturazione).

I laboratori ENI hanno a disposizione setup sperimentali che permettono di ottenere tutti i suddetti parametri, sia attraverso metodologie classiche che con metodologie innovative come le tecniche di immagine, mediante cui è possibile visualizzare in 3D e con elevate risoluzioni la distribuzione dell'acqua all'interno dello spazio poroso del campione di terreno esaminato, come essa si muove e, mediante l'impiego di opportuni traccianti, quali sono i possibili meccanismi di propagazione all'interno della fase acquosa di una sostanza che si desidera tracciare, come ad esempio un contaminante.

Partendo da una serie di carote prelevate in un sito Eni Rewind, nell'ambito dello studio in oggetto sono state in particolare eseguite le seguenti prove di laboratorio:

□ imaging x-ray statico delle intere carote, che avvalendosi anche del supporto delle tecniche tomografiche offre una immagine tridimensionale della carota, evidenziandone le eterogeneità litologiche e fornendo un importante supporto per la comprensione dei sistemi di fratturazione presenti e della loro origine;

analisi mineralogiche e chimiche, al fine di verificare le caratteristiche litologiche/composizionali e individuare loro eventuali variazioni, eventualmente correlabili alle proprietà petrofisiche delle rocce;

- routine core analysis (RCA), ovvero lavaggio dei campioni con solventi per rimuovere eventuali fluidi all'interno dello spazio poroso, e successiva determinazione della densità della matrice solida (grain density), della porosità e della permeabilità assoluta;
- mercury injection capillary pressure (MICP), per la determinazione delle curve di distribuzione delle dimensioni dei pori della roccia e delle curve di pressione capillare;
- special core analysis (SCAL), per la misurazione della permeabilità all'acqua e all'aria in condizioni insature;
- imaging X-ray dinamico dell'infiltrazione (imbibizione spontanea) dell'acqua sui campioni su cui precedentemente erano state effettuate le prove SCAL.

Gli approfondimenti condotti con tecniche innovative presso i Laboratori Eni di Bolgiano hanno permesso di raccogliere importanti dati sull'orizzonte litostratigrafico di base di uno dei siti Eni Rewind oggetto di messa in sicurezza permanente (MISP).

Le prove, in particolare, hanno evidenziato l'assenza di fratturazione naturale diffusa, confermando la compattezza del substrato che costituisce la base impermeabile della MISP.

Per quanto riguarda i parametri caratteristici dell'ammasso roccioso, inoltre, lo studio ha permesso di determinare valori medi di porosità di circa il 10% e conducibilità idrauliche dell'ordine di 10^{-11} ÷ 10^{-12} m/s, con caratteristiche migliori di quelle medie utilizzate come valori di progetto, a riprova della bassissima permeabilità dell'orizzonte stesso.

I buoni risultati dello studio hanno evidenziato l'opportunità di estendere il know-how maturato da Eni nel campo dei giacimenti petroliferi anche alla caratterizzazione dei siti oggetto di interventi di risanamento ambientale, permettendo una migliore e più dettagliata conoscenza dei parametri idrogeologici e dei possibili meccanismi di propagazione di eventuali contaminanti.

Keywords: Analisi petrofisiche

Email: mauro.barompriori@enirewind.com, nicola.bona@eni.com

La bonifica sostenibile: criticità gestione rifiuti da bonifica e soluzioni per i casi concreti: Porto Torres, Ravenna (Biorecupero), Isaf Gela (Discarica On-Site Tenorm), le Misp (Brindisi)

Manlio Rossini¹, Andrea Battistelli¹, Laura Livia Bretti¹, Riccardo Caria¹, Laura Conti¹

¹Eni Rewind

Gli interventi di risanamento ambientale dei siti contaminati comportano una approfondita valutazione dello stato di contaminazione delle matrici ambientali e lo studio ed elaborazione di una strategia di bonifica volta alla massima sostenibilità degli interventi, nel rispetto degli iter istruttori e delle prescrizioni previste dagli enti interessati. Uno dei requisiti fondamentali per la sostenibilità degli interventi di risanamento ambientale è la riduzione della produzione e trasporto di rifiuti da collocare in discarica e la massimizzazione delle quote destinabili al riciclaggio o recupero (art.1 del D.Lgs.121/2020).

Lo studio fornisce alcuni esempi di iter progettuali, amministrativi ed operativi svolti da Eni Rewind nei propri Siti di Brindisi, Gela, Porto Torres e Ravenna e mirati alla risoluzione della complessa tematica della gestione sostenibile dei rifiuti derivanti dalle attività di bonifica, comprendendo la tematica delle discariche per rifiuti contaminati da amianto e da radionuclidi di origine naturale (NORM/TENORM), quella del recupero dei terreni contaminati con tecniche di biorisanamento, della progettazione realizzazione autorizzazione ed esercizio delle piattaforme/impianti on-site dedicati per il trattamento e/o messa a dimora definitiva dei rifiuti da bonifica nel perimetro dei siti contaminati (MISP e discariche di scopo).

Gli esempi progettuali ed operativi degli interventi di bonifica sostenibile già realizzati ed in esercizio o in istruttoria autorizzativa, sono descritti focalizzando il contesto sito specifico e le scelte progettuali di Eni Rewind volte alla massimizzazione degli obiettivi di sostenibilità. Un primo esempio è dedicato alla carenza strutturale in Italia (ed Unione Europea) di siti idonei alla ricezione di rifiuti contaminati da amianto e NORM/TENORM (Radionuclidi di origine naturale) e alla soluzione progettuale autorizzata e realizzata c/o il SIN

Gela dove, all'interno del perimetro della discarica di fosfogessi ISAF, dal 28 dicembre 2022 è in esercizio la prima discarica di scopo - dedicata ai rifiuti originati dal decommissioning ISAF- ed autorizzata al conferimento di rifiuti contenenti NORM/TENORM comprendente una cella monodedicata per rifiuti contenenti sia amianto sia NORM/TENORM. È quindi illustrato l'impianto di biorecupero di terreni contaminati (trattamento biologico con la tecnica delle biopile) previsto nella piattaforma di trattamento integrata di Ravenna Ponticelle (attualmente in istruttoria PAUR). Ulteriori esempi di strategie di bonifica sostenibile riguardano i siti di Brindisi e di Porto Torres per i quali, rispettivamente, sono illustrate le varie tipologie di sistemi di Messa in Sicurezza Permanente che hanno consentito di mantenere in sito i rifiuti originati dalle attività di bonifica, e la Piattaforma Nuraghe per il trattamento e recupero dei terreni derivanti dalle attività di bonifica del SIN di Porto Torres e le relative discariche di scopo realizzate in prossimità della piattaforma e dedicate alla messa a dimora definitiva dei rifiuti non recuperabili. Gli interventi progettati, autorizzati, realizzati ed in esercizio, dimostrano che un approccio sostenibile alla bonifica dei siti contaminati è possibile. Il risultato è stato conseguito (ed è conseguibile, per gli interventi attualmente in istruttoria) grazie ad una attenta valutazione tecnica e amministrativa del contesto sito specifico oggetto degli interventi da progettare e attraverso un dialogo continuo, sia nelle sedi tecniche "informali" sia nelle sedi istituzionali, con gli Enti e con gli organi tecnici chiamati ad istruire valutare ed autorizzare i progetti presentati.

Keywords: criticità gestionali, buone pratiche

Email: manlio.rossini@enirewind.com

Sito di interesse nazionale di Bussi sul Tirino - intervento di bonifica mediante desorbimento termico in situ

Christian Gambelli¹, Paola Gigli²

¹Greenthesis S.p.A., ²Tre Monti s.r.l.

L'obiettivo del nostro intervento al Remtech di quest'anno è di condividere la nostra esperienza fin qui vissuta, nell'area Tremonti - SIN Bussi sul Tirino, relativamente all'intervento pilota di desorbimento termico in situ propedeutico alla progettazione ed installazione di un sistema "full".

L'area Tremonti, all'interno della quale è stato installato il modulo pilota, si colloca nel Comune di Bussi sul Tirino in sinistra idrografica del Fiume Pescara ed è compresa nel Sito di Interesse Nazionale di Bussi sul Tirino a partire da Maggio 2008 con Decreto Ministeriale. L'area occupa una superficie di circa 30.000 mq ed è caratterizzata dalla presenza di rifiuti interrati di diversa origine, in particolare scarti di produzione industriali frammisti a rifiuti di demolizione edili e riporti vari. I rifiuti sono stati abbancati direttamente sul suolo senza alcun sistema di impermeabilizzazione, contenimento o copertura. Il fondo della discarica corrisponde al vecchio piano campagna. Tale discarica presenta spessori variabili da 2,50 m a 6,50m ed il volume stimato complessivo è di circa 113.000mc.

L'area di cantiere oggetto di intervento in situ è risultata, sulla base delle indagini ambientali condotte, interessata da contaminazione, in concentrazioni superiori ai valori limite definiti dalla Tab1, Colonna A del D.lgs. 152/06, per gli alifatici clorurati. La tecnologia di intervento di desorbimento termico in situ (ISTT), tramite un sistema di riscaldamento del terreno costituito da elementi riscaldanti in acciaio posti in profondità, permette di far evaporare e aspirare le sostanze organiche volatili e semi-volatili presenti nel sottosuolo.

L'intervento di bonifica mediante desorbimento termico in situ si basa sul cambio di stato degli inquinanti ottenuto mediante un innalzamento della temperatura del terreno saturo e/o insaturo fino al punto di volatilizzazione dei contaminanti. I contaminanti in forma gassosa e liquida vengono quindi captati ed aspirati da una serie di

pozzi di estrazione installati in punti intermedi per essere poi trattati tramite vari processi (condensazione, catalisi, foto-ossidazione, lavaggio, carbone attivo, ecc.) in

base alla loro natura e alla loro concentrazione iniziale. Nello specifico, sulla base dello studio dei seguenti specifici parametri chiave:

- tipologia di contaminati presenti (principalmente solventi clorurati);
- obiettivi di bonifica restrittivi;
- presenza di orizzonti saturi in lenti isolate a bassa permeabilità;
- stratigrafia articolata, nella porzione oggetto di intervento la stratigrafia dominante è composta da limi argillosi localmente sabbiosi;

hanno permesso di stabilire che la migliore tipologia di desorbimento termico in situ da utilizzare sia quella conduttiva di tipo elettrico (TCH). Sulla base delle informazioni acquisite durante i vari mesi di monitoraggio e conduzione del sistema pilota, gli Scriventi dichiarano che quanto ottenuto risulterà fondamentale per permettere una corretta e puntuale progettazione di un sistema “full scale” di desorbimento termico esteso ad un’area molto più estesa (ca. 6.000 m²) di quella oggetto di test.

Keywords: Bussi sul Tirino, desorbimento termico in situ,

*Email: christian.gambelli@greenthesisgroup.com,
paola.gigli@tremontisrl.it*

Sito di interesse nazionale di Bussi sul Tirino: area Tremonti, tra risanamento e sfide operative

Damiano Belli¹, Paola Gigli¹, Alessandro Princigalli¹

¹Tre Monti s.r.l

La visione di Tre Monti è quella di rappresentare un modello paradigmatico per la gestione e positiva risoluzione dei casi di contaminazioni storiche. L'obiettivo del nostro intervento al Remtech di quest'anno è condividere la nostra esperienza fin qui vissuta. Le attività principali si sviluppano a Bussi sul Tirino per l'esecuzione di interventi di Bonifica e rimozione rifiuti.

L'area Tremonti, ove si situa la "discarica abusiva", si colloca nel Comune di Bussi sul Tirino in sinistra idrografica del Fiume Pescara ed è compresa nel Sito di Interesse Nazionale di Bussi sul Tirino a partire da Maggio 2008 con Decreto Ministeriale. L'area occupa una superficie di circa 30.000 mq ed è caratterizzata dalla presenza di rifiuti interrati di diversa origine, in particolare scarti di produzione industriali frammisti a rifiuti di demolizione edili e riporti vari. I rifiuti sono stati abbancati direttamente sul suolo senza alcun sistema di impermeabilizzazione, contenimento o copertura. Il fondo della discarica corrisponde al vecchio piano campagna. Tale discarica presenta spessori variabili da 2,50 m a 6,50m ed il volume stimato complessivo è di circa 112.000mc.

L'area Tremonti è stata oggetto di alcuni interventi di:

- MISE attraverso una palancolatura eseguite dal Commissario nel 2014 nel lato occidentale e meridionale del sito;
- MiPre della falda tramite una barriera idraulica con pozzi di emungimento ubicati lungo il confine settentrionale ed un impianto di trattamento acque di falda (TAF);
- Ventilazione forzata su tutta l'area ricoperta da capping e impianto trattamento vapori.

Gli interventi di bonifica e di rimozione rifiuti sono stati progettati ed in corso di esecuzione per fasi al fine di consentire un corretto dimensionamento degli interventi e contenere allo stesso tempo i tempi di realizzazione (tempi attesi 4 anni).

Le macro-fasi di intervento sono così sintetizzate:

- Fase Ia: esecuzione primo modulo di bonifica dei terreni naturali tramite desorbimento termico nella sezione settentrionale del sito.
- Fase Ib: rimozione dei rifiuti presenti nella porzione meridionale del sito (38.000mc) e contestualmente recupero morfologico.
- Fase II: esecuzione dell'intervento di bonifica "full scale" delle matrici ambientali nella porzione settentrionale del sito; collaudo e certificazione finale.
- Fase III: rimozione dei rifiuti presenti nella porzione settentrionale del sito (74.000mc) e contestuale recupero morfologico.
- Fase IV: completamento interventi di ripristino morfologico.

Affiancate alle attività di bonifica e rimozione rifiuti in sito si eseguono i monitoraggi sia per la matrice aria sia per la matrice acqua sotterranea e precisamente dal 2019 ad oggi il programma di monitoraggio è rappresentato da:

-matrice aria ambiente (cadenza trimestrale):

- monitoraggio Polveri;
- monitoraggio della Qualità dell'Aria;
- monitoraggio Vapori;
- monitoraggio Soil Gas.
- monitoraggio parametri meteorologici

- matrice acqua sotterranea con cadenze mensili e trimestrali. (Protocollo analitico: metalli, inorganici, solventi aromatici, aromatici policiclici, alifatici clorurati, alifatici alogenati, clorobenzeni, idrocarburi e Piombo tetraetile)

Risultati e conclusioni

A due anni dalla sua nascita, la società Tre Monti analizza e condivide la sua esperienza nella gestione, esecuzione, comunicazione delle attività ambientali quali la bonifica, la rimozione rifiuti, le caratterizzazioni e i monitoraggi delle matrici ambientali, la gestione e la condivisione delle informazioni, gli aspetti relativi alla sicurezza. Sulla base delle informazioni acquisite, in relazione alle attività fino ad oggi svolte, crediamo sia un valore aggiunto partire dalle sfide operative emerse per giungere alla condivisione di un approccio integrato alla rigenerazione del territorio.

Keywords: Bussi sul Tirino

Email: paola.gigli@tremontisrl.it

Interventi per la rimozione dei rifiuti/terreni contaminati in area cratere nello stabilimento di Mantova

Federico Ogliari¹

¹*Greenthesi S.p.A.*

L'Area Collina si colloca all'estremità sud-orientale dello stabilimento Versalis S.p.A. di Mantova.

L'area Cratere R1c, parte dell'Area Collina, costituisce il nucleo della discarica dello stabilimento di Mantova, esercitata sino agli anni Ottanta, in cui si rileva la presenza di:

- Residui di lavorazione solido-palabili con consistenza gommosa (resine stireniche e prepolimeri stirenici), di composizione prevalentemente organica, con presenza di solventi aromatici;
- Fanghi da demercurizzazione acque, solido-palabili, di composizione prevalentemente inorganica, con presenza di mercurio.

L'impraticabilità dell'area ha richiesto lo sviluppo di una progettazione esecutiva che tenesse in considerazione le seguenti indicazioni e prescrizioni:

- Messa in opera di strutture provvisorie che possano meglio adattarsi alle condizioni dell'Area Cratere R1c ed alle peculiarità (in parte ancora ignote) dei rifiuti in esso contenuti, come la presenza di eventuali trovanti sulla fase di infissione di tubi e palancole; *Suddivisione dell'area in celle di scavo da 15 m x 15 m, conterminata da pareti combinate.*
- Garantire la celere e lineare esecuzione degli interventi, salvaguardando lo schema del progetto approvato e minimizzando gli aspetti di rischio operativo indotte dalla movimentazione degli impalcati inizialmente previsti; *Confinamento celle di scavo (scavo, verifica fondo scavo e rinterro) con tendostrutture interamente sollevabili e movimentabili.*

- Disporre di una configurazione impiantistica e di un'organizzazione del lavoro che consenta un'efficiente e sicura gestione dei rifiuti estratti dal cratere, fino al caricamento sui mezzi destinati al conferimento off-site; *Scavo attraverso mezzi d'opera radiocomandati dall'esterno ed allestiti con sensoristica ATEX di esplosività.*
- Veloce, efficiente e flessibile progressione degli svincoli delle singole aree lavorate; *Caratterizzazione in banco dei rifiuti e verifica finale dell'asportazione degli stessi, in contraddittorio con gli enti di controllo.*
- Ingressi/uscite dei mezzi dall'ambiente confinato attraverso chiuse d'aria a tenuta; *Aspirazione e filtrazione dell'aria attraverso impianto a carboni attivi da 36.000 Nm³/h, autorizzato dalla Provincia di Mantova.*
- Rinterro delle celle verificate da eseguirsi in ambito confinato.

A maggio 2023 sono stati rimossi e smaltiti i rifiuti dalle prime 3 celle di scavo, raggiungendo più di 8 m di profondità. Le suddette sono state verificate in contraddittorio con gli enti di controllo con materiale inerte naturale approvvigionate da cave esterne.

Keywords: Fanghi da demercurizzazione, solventi aromatici

Email: federico.ogliari@greenthesisgroup.com

Summary of Destructive Technologies used to Treat PFAS

Brant Smith¹, Alberto Leombruni²

¹Evonik Active Oxygens, USA, ²Evonik Operations GmbH, Italy

Per- and Polyfluorinated Substances (PFAS) are a new genre of contamination that have thus far proven to be more recalcitrant to remediation than other types of contamination such as chlorinated solvents or petroleum hydrocarbons. This presentation will review PFAS, why PFAS is proving to be more difficult than other compounds to remediate, and technical approaches being used.

In addition to the recalcitrance to remediation with conventional technologies, PFAS is further a challenge to remediate due to it often being found in large dilute plumes with remedial goals often set to very low levels. To address these primary challenges and based on site needs, technologies are being used to help remove PFAS from soils, physically separate PFAS from water, concentrated PFAS to aide remediation, and then use high energy destructive technologies.

As in situ destructive technologies have not yet been identified, mobilizing PFAS from soils and into the aqueous stream has been tested so that the PFAS can be treated ex situ. This has been accomplished using oxidants, which oxidize the sorption sites, and well as surfactants. Once PFAS have been extracted from the subsurface, they often undergo a concentration step. This can be a sorption based technology such as such as activated carbon or ion exchange, reverse osmosis, or foam fractionation which takes advantages of many PFAS moles surfactant tendencies. Once concentrated, the PFAS are typically treated ex situ using technologies such as pyrolysis, sonolysis, UV reduction, plasma, or electrochemical oxidation. In addition, in some cases, sorption based technologies are being used in situ to attempt to halt the progress of the PFAS compounds. This approach, as well as how PFAS may not behave the same as chlorinated solvents or petroleum hydrocarbons in terms of partitioning will also be discussed.

Keywords: PFAS

Email: brant.smith@evonik.com, alberto.leombruni@evonik.com

Best Practices for Apply Activated Persulfate

Brant Smith¹, Alberto Leombruni²

¹Evonik Active Oxygens, USA, ²Evonik Operations GmbH, Italy

In situ chemical oxidation (ISCO) has been used to treat organic contaminants of concern (COCs) at thousands of sites around the world. This technology originated in the 1980's with the application of unstabilized hydrogen peroxide. Over time ISCO has evolved to include several different chemistries including those based on hydrogen peroxide, ozone, sodium and potassium permanganate and sodium and potassium persulfate. As ISCO has become a standard tool used to remediate contaminated sites much effort has been put into learning and optimizing the technologies with the chemistries, design strategies, application methods, and monitoring programs have all evolved in the past decades.

Current best practices consider key site and/or contaminant characteristics, remedial objectives and how each of those interact with the selection of the proper ISCO chemistry and application method. Best practices have matured beyond only treatment efficacy but also evaluate proper dose, rate of release of the oxidant, best methods for establishing contact, application method and monitoring programs.

Key points of evolution include:

- Identification of reductive pathway with activated persulfate and hydrogen peroxide chemistries that were attributed to the superoxide radical allowing ISCO technologies to be used to treat even completely oxidized compounds such as carbon tetrachloride.
- The use of low solubility oxidants for extended release allowing for treatment over a longer period (extended release)
- Understanding of key contaminant characteristics such as solubility and partitioning and how they relate to availability for treatment
- Strategies for low permeable matrixes

- The use of solid slurry emplacement to inject the extended-release oxidants.
- Updates in injection strategies including injecting into a larger percentage of an effective pore volume.
- The use of soil mixing to overcome issues with site heterogeneity issues including site geology and contaminant distribution.
- Combined remedies including ISCO with bioremediation and ISCO with ISS

This session will incorporate these key evolution points and discuss the current best practices for matching oxidant characteristics with contaminant/site, design strategy, application methods, interpretation of monitoring results, and combining ISCO with other technologies in a combined remedy. Several site-specific examples illustrating how these concepts were used to optimize remediation at the site will be provided.

Keywords: Persolfato, buone pratiche, ISCO

Email: brant.smith@evonik.com, alberto.leombruni@evonik.com

Attività di monitoraggio multi scenario per la misurazione di inquinanti in matrice aerodispersa mediante applicazione di sensoristica UAV based

¹Bruno Notarnicola, ¹Pietro Alexander Renzulli, ¹Maurizio De Molfetta, ¹Rosa Di Capua, ¹Gianfranco Spizzirri, ¹Francesco Astuto

¹Dipartimento Jonico, Università degli Studi di Bari Aldo Moro

Come è noto, determinate tipologie di processi sia industriali che civili, quali ad esempio il trattamento dei reflui civili collettati dal sistema fognario, o l'attività di coltivazione di una discarica RSU oppure il semplice traffico veicolare presente in corrispondenza di arterie stradali ad alto scorrimento, possano configurarsi come fonti emissive non trascurabili. I plume di inquinanti emessi dalle suddette fonti e da tante altre tipologie di attività, si propagano con ampia spazialità, arrivando a coprire ampie aree.

Risulta quindi di fondamentale importanza, mettere in atto un continuo e costante processo di innovazione tecnologica per fornire strumenti di misurazione e rilievo sempre più performanti. Il gruppo di ricerca del Dipartimento Jonico ha sperimentato l'applicazione di sensoristica innovativa abbinata a piattaforme UAV per la misurazione delle emissioni diffuse derivanti principalmente da quattro tipologie di scenari: impianti di depurazione per reflui civili, discariche RSU, tracciati autostradale, ed agglomerati urbano. Ciascuno scenario di intervento ha comportato uno specifico set up strumentale ed un workflow di rilievo progettato in maniera dedicata per la tipologia di sito oggetto di monitoraggio. Talvolta l'analisi condotta tramite UAV è stata integrata con altre tipologie di sistemi presenti quali centraline di monitoraggio posizionate in maniera fissa, camere di flusso per la quantificazione dei soil gas, modelli diffusionali ed altri.

Nel presente lavoro si descrivono le quattro esperienze su menzionate, ricostruendo una timeline operativa che parte dalla progettazione dell'intervento passando per l'esecuzione, l'elaborazione dati, l'interpretazione degli stessi e l'analisi funzionale utile alla produzione degli indicatori richiesti. Ciascuna tipologia di monitoraggio è basata su misurazioni effettuate avendo ben chiari in premessa i relativi scopi e l'utilità dei dati prodotti.

I plus valori derivanti dall'applicazione di sistemi sensoristici ed UAV sono vari, e comprendono la flessibilità di intervento, l'ampia risoluzione spaziale, la rapidità di monitoraggio, la ripetibilità dello stesso con ampi margini di sovrapposibilità temporale. L'applicazione delle piattaforme UAV in ambito di misurazione degli inquinanti aerodispersi di certo coniuga la libertà di movimento spaziale del drone con la tipologia di diffusione che i plume di inquinanti aerodispersi talvolta mostrano, a seconda di specifici parametri quali tipologia di composto, classi climatiche persistenti, orografia del suolo e quant'altro.

Di contro però si rileva come, allo stato attuale, la maggior difficoltà riscontrata nell'effettuare attività di monitoraggio ambientale via drone, specialmente in ambito di inquinanti aerodispersi, si ritrovi nella totale mancanza di un adeguato quadro normativo di riferimento. Si ritiene di preminente importanza la predisposizione di norme tecniche di riferimento che vadano a regolamentare sia la parte strumentale che la parte operativa di tali attività. Poter usufruire di disciplinari tecnici in base ai quali progettare gli interventi sarebbe un supporto prezioso all'operatività, come anche poter avere dei benchmark normativi per la comparazione e l'analisi dei dati ricavati via UAV. Attualmente, infatti, quando si verificano esigenze di confronto per interpretazione dei dati, si è spesso costretti a ricorrere a comparazioni non totalmente appropriate con riferimento normativi non dedicati.

Keywords: UAV, inquinanti aerodispersi, monitoraggio ambientale, sensori, normativa, siti industriali, inquinamento

Email: bruno.notarnicola@uniba.it; maurizio.demolfetta@uniba.it;

L'uso di sistemi aeromobili a pilotaggio remoto (droni) nelle bonifiche ambientali: tecnologie e processi innovativi per la caratterizzazione di siti inquinati

Giuseppe Tassielli¹

¹Dipartimento Jonico in Sistemi giuridici ed economici del Mediterraneo – Società, ambiente, culture – Università degli Studi di Bari “Aldo Moro”, Bari

Ogni bonifica ambientale rappresenta un'importante sfida organizzativa, normativa e soprattutto tecnologica, che richiede la messa in campo di tutti gli strumenti e le pratiche disponibili per il raggiungimento degli obiettivi di risanamento.

Fra gli strumenti tecnologici che al giorno d'oggi si stanno ritagliando sempre più spazio in svariati campi di impiego troviamo sicuramente i sistemi aeromobili a pilotaggio remoto, anche detti droni, e a questa tendenza non è escluso il settore delle bonifiche ambientali.

La principale possibilità di impiego dei droni nel campo delle bonifiche riguarda prevalentemente la fase di caratterizzazione dei siti inquinati, dove si rende necessario acquisire tutte le informazioni e i dati utili a rappresentare la situazione emissiva per poter meglio progettare i successivi interventi. In questo senso i droni rappresentano oggi una tecnologia assolutamente d'avanguardia nella raccolta di informazioni poiché ogni intervento restituisce una mole notevole di dati in un lasso di tempo molto ridotto. Si pensi, a titolo esemplificativo, che la scansione con sensore metano di un sito di discarica della superficie di 10 ha si effettua in circa due ore con la raccolta di circa 50.000 punti di misura.

Tuttavia, l'impiego dei droni in questo campo necessita della definizione puntuale sia degli aspetti più squisitamente tecnici della strumentazione da utilizzare, con particolare riferimento ai sensori più adeguati, sia dell'approccio all'indagine sul campo che richiede specifici metodi di ricerca oltre che protocolli gestionali.

La messa a punto di tali elementi richiede una profonda fase di ricerca e di studio che sono alla base di un rilievo eseguito con rigore e

correttezza affinché tali strumenti possano essere effettivamente d'ausilio nella caratterizzazione dei siti inquinati.

Sebbene i droni, equipaggiati con appositi sensori, possano essere ritenuti una soluzione tecnologica innovativa nel campo delle bonifiche, pur tuttavia le applicazioni mature in questo settore appaiono ancora piuttosto limitate.

La sfida che ha colto il gruppo di ricerca del Dipartimento Jonico riguarda proprio lo studio delle possibilità di impiego dei droni nella caratterizzazione della matrice aria, con la definizione dei protocolli di intervento sia nell'uso di sensori metano, che di quelli cosiddetti "multigas", contenenti apparati selettivi verso specifiche sostanze.

La ricerca attuale è indirizzata verso la definizione di sistemi non transitori, come quelli che prevedono l'impiego delle strumentazioni terrestri semplicemente trasportate in aria dal drone, ma che possano risultare soluzioni innovative del futuro sia in termini di sensori utilizzati che di protocolli di intervento sul campo, entrambi necessari per realizzare sistemi utilizzabili nella pratica.

Keywords: droni, SAPR, caratterizzazione, metano

Email: giuseppe.tassielli@uniba.it

II. La gestione efficiente delle risorse idriche

Regolamento (UE) 2020/741 recante prescrizioni minime per il riutilizzo dell'acqua a fini irrigui: una possibile applicazione a livello italiano

Lucia Fiumi¹, Cristina Simoncini¹, Isabella Bonamini¹

¹ Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, Firenze

Il Regolamento recante prescrizioni minime per il riutilizzo dell'acqua a fini irrigui è stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea in data 25 giugno 2020 ed inizierà a produrre i suoi effetti a partire dal 26 giugno 2023. Con l'approvazione di tale disposto normativo il legislatore si è posto l'obiettivo di incentivare pratiche di riutilizzo delle acque reflue "affinate" (sottoposte a successive fasi di trattamento dopo la depurazione) attraverso la definizione di norme armonizzate a livello dell'Unione, al fine di fornire uno strumento normativo che possa supportare l'adattamento ai crescenti fenomeni di siccità ed evitare, al contempo, che diversi requisiti presenti negli Stati membri causino ostacoli al buon funzionamento del mercato interno. Sostanzialmente il nuovo approccio prevede che ai fini della produzione, dell'erogazione e dell'utilizzo di acque affinate, l'autorità competente provveda a che venga definito un piano di gestione dei rischi connessi al riutilizzo dell'acqua, sulla base di specifici monitoraggi di validazione e di un'analisi di rischio sito specifica. Lo schema introdotto è molto simile al *Water Safety Plan* di cui alla nuova Direttiva Acque Potabili già validato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità e si fonda su una premessa che è - conditio sine qua non - la piena conformità, alla vigente normativa dell'Unione in materia di risorse idriche. Elemento sostanziale è che il regolamento fissa solamente requisiti minimi e demanda ad un atto di esecuzione successivo l'integrazione di ulteriori parametri.

La principale novità, per quanto attiene all'applicazione nell'ordinamento italiano, è il passaggio dall'approccio parametrico definito nel D. M. giugno 2003, n. 185, ad un metodo basato sulla gestione del rischio sito specifica associata ad un numero esiguo di parametri comuni fissati a livello europeo. Difatti, in Italia la pratica del riutilizzo a fini irrigui delle acque reflue depurate è disciplinata dal

decreto del MATTM n. 185 del 12 giugno 2003 in ottemperanza all'art. 99, comma 1 del D. Lgs. 152/2006. Attualmente, al fine di poter giungere ad una armonizzazione applicativa sono in corso di consultazione ovvero di conversione in legge due proposte normative.

Una prima ipotesi applicativa nel Distretto dell'Appennino Settentrionale.

Il Piano di gestione delle Acque del Distretto dell'Appennino Settentrionale 2021-2027 di cui alla Direttiva 2000/60/CE, prevede una KTM (Key Type of Measure) per l'efficienza degli utilizzi idrici ed il riuso delle acque reflue a fini irrigui. In tale ambito è stato pianificato un intervento sito specifico per soddisfare il fabbisogno irriguo del comparto florovivaistico pistoiese procedendo con l'applicazione delle disposizioni del Regolamento in parola. La realizzazione di questo intervento apporterà un contributo sostanziale alla gestione integrata delle risorse idriche nel bacino anche in un'ottica di economia circolare. I benefici stimati sono relativi alla riduzione dei prelievi da acque sotterranee e superficiali e degli impatti degli scarichi con il conseguente miglioramento della qualità dei corpi idrici a scala di sottobacino assicurando, al contempo, una costante ed affidabile fornitura di acque affinate a servizio di un'attività economica fondamentale nell'area pistoiese.

Keywords: gestione integrata risorse idriche, riutilizzo acque reflue, economia circolare

Email: l.fiumi@appenninosettentrionale.it; c.simoncini@appenninosettentrionale.it; j.bonamini@appenninosettentrionale.it

I cambiamenti climatici ed il controllo ambientale degli scolmatori di piena

Elvira Armenio, Adele Dell'Erba, Vittorio Esposito

Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale (ARPA) Puglia - Dipartimento di Taranto (TA), Italia

Ai sensi dell'art. 103 c.1 lett. b) del *D.lgs. 152/06 e s.m.i.*, è consentito lo scarico sul suolo o negli strati superficiali del sottosuolo degli scolmatori di piena a servizio delle reti fognarie. Tali dispositivi sono generalmente inseriti nelle reti fognarie, separate o miste, al fine di immettere, durante gli eventi meteorici che superano un prefissato limite, le portate diluite in esubero nel corpo idrico ricettore. Gli scolmatori possono quindi considerarsi efficacemente funzionanti se si attivano in concomitanza di fenomeni piovosi tali da provocare un anomalo ingresso di acque bianche nella rete fognaria, ovvero nel caso di piogge intense. Al contrario, ossia nel caso di attivazione in assenza di precipitazioni, verrebbe meno la funzione di sistema di emergenza idraulica ad attivazione eccezionale.

Il problema quali-quantitativo delle acque di sfioro degli scolmatori e del loro potenziale impatto sull'ambiente è un tema attuale destinato a crescere in vista dei cambiamenti climatici. Dai più recenti report IPCC emerge l'aumento nell'area mediterranea di eventi meteorici brevi ed intensi che generano le *flash floods* (fenomeni alluvionali caratterizzati da una forte intensità e una breve durata). Ne consegue un atteso incremento della frequenza di attivazione degli scolmatori e quindi dei potenziali impatti sul corpo recettore. Nell'ottica dell'avvicinarsi di eventi meteorologici estremi, diviene ancor più rilevante l'attività di controllo e protezione ambientale necessaria ad indirizzare e verificare le condizioni di resilienza, sicurezza ambientale, gestione razionale e sostenibile delle risorse idriche in coerenza anche con gli indirizzi e i principi del recente *D.L. 14 aprile 2023, n. 39 "Decreto siccità"*. L'adeguatezza del controllo ambientale assume un ruolo strategico in quanto deve essere in grado di valutare anche approcci avanzati e non tradizionali connessi con la progettazione e gestione dei manufatti scolmatori, fornendo indirizzi validi per migliorarne le condizioni di affidabilità e sostenibilità ambientale. A tal fine, ad esempio, i progetti potranno prevedere delle vasche di prima

pioggia ed interventi per ridurre l'impatto sulla qualità delle acque dei recettori o valutando anche soluzioni di drenaggio urbano sostenibile con l'impiego di invasi, trattamenti delle acque meteoriche e interventi di tipo estensivo (fitodepurazione) che consentano, oltre al miglioramento della qualità, anche una più ampia capacità di laminazione.

L'ARPA Puglia nell'ambito dei vari pareri resi, in relazione anche a quanto disposto dal R.R. Puglia 13/2017, ha posto molta attenzione alla rispondenza dell'attivazione degli scolmatori sia ad esigenze idrauliche, legate all'efficienza ai vari regimi di funzionamento, e sia ambientali, volte ad assicurare che gli scarichi delle acque sfiorate non si traducano in fonti di inquinamento non sostenibili per il corpo recettore. Inoltre, l'Agenzia nella crescente consapevolezza dei potenziali effetti degli eventi meteorici estremi sugli scolmatori, ha ravvisato la necessità di porre attenzione sulla garanzia di l'integrità e funzionamento ottimale degli stessi mediante un'efficace manutenzione, verificando l'adeguamento delle opere idrauliche ad essi connesse (ad es. fossi, caditoie, fognature) e valutando le frequenze di attivazione previste in funzione degli eventi meteorici anche, e soprattutto, in virtù dei cambiamenti climatici attesi.

Keywords: scolmatore di piena, cambiamenti climatici, drenaggio urbano, controllo ambientale

Email: elvira.armenio@arpa.puglia.it

Approccio congiunto di modelli numerici avanzati per lo studio di bacini costieri vulnerabili: lo studio dei mari di Taranto

Elvira Armenio¹, Francesca Fedele², Andrea Tateo², Nicola Ungaro³

¹Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale (ARPA) Puglia - Dipartimento di Taranto (TA), Italia

²Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Puglia (ARPA Puglia) – Direzione Scientifica -Servizio Agenti fisici, Bari (BA), Italia

³Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Puglia (ARPA Puglia) – Centro Regionale Mare, Bari (BA), Italia

Il Mar Piccolo e il Mar Grande di Taranto sono due bacini semichiusi e connessi tra loro su cui si affaccia la città di Taranto. Nel corso degli anni, lungo le loro coste si sono sviluppate diverse attività umane, tra cui l'arsenale militare, il porto, le industrie e la zona urbana, che hanno reso l'area marina vulnerabile e fortemente antropizzata. Tuttavia, i mari di Taranto racchiudono un patrimonio naturalistico rilevante.

Data l'alta vulnerabilità dei bacini costieri rispetto a quelli che sono i rischi sia naturali che antropici, è di fondamentale importanza conoscere approfonditamente tali realtà al fine di poterne valutare l'evoluzione e poter così intervenire con appropriate azioni di protezione e conservazione sia rispetto ai nuovi insediamenti umani che agli ormai accertati cambiamenti climatici. Per quanto detto, la conoscenza completa e dettagliata dei bacini costieri è la base primaria per qualsiasi piano di gestione e processo decisionale. Per soddisfare questa esigenza, negli ultimi decenni le normative hanno commissionato programmi di monitoraggio pluriennali per studiare i parametri ambientali in situ. I sistemi di monitoraggio classici spesso prevedono, all'interno del bacino, misure puntuali nel tempo (ad esempio campionamenti con sonde multiparametriche per determinare i parametri fisico-chimici e i correntometri per rilevare la velocità e la direzione delle correnti lungo la colonna d'acqua). In questo modo, si ottengono, per i diversi parametri, serie temporali riferite ai singoli punti/transetti di misura. Ciò nonostante, il semplice utilizzo del monitoraggio in situ, benché di fondamentale importanza, non garantisce da solo la completa conoscenza di un bacino costiero.

Negli ultimi anni, l'evoluzione informatica e la maggiore disponibilità della potenza di calcolo ha permesso lo sviluppo dei modelli numerici, il cui compito è proprio quello, e non solo, di completare le misure in situ con dati previsionali nello spazio e nel tempo. I moderni sistemi di modellizzazione possono essere utilizzati per condurre analisi dalla scala oceanica a quella costiera in modalità "nested". In tale contesto, l'ARPA Puglia ha eseguito una modellazione numerica idrodinamica avanzata mediante il modello MIKE 3 della Danish Hydraulic Institute (DHI). Il dominio considerato nel codice comprende l'intera area del Mar Piccolo e del Mar Grande. Il modello è stato implementato in downscaling da *Copernicus Marine Service* (<https://marine.copernicus.eu/>). Sono state effettuate differenti simulazioni: (a) senza forzante meteorologica, (b) con forzante meteorologica uniforme su tutta l'aria di interesse basata sui valori misurati in un punto, (c) con forzante meteorologica variante nel dominio del tempo e dello spazio ed estrapolata col modello atmosferico Weather Research and Forecasting model (WRF) in uso in Arpa Puglia.

I risultati hanno consentito l'identificazione dei flussi (3D) di movimentazione delle masse d'acqua e hanno evidenziato la variabilità delle correnti marine in funzione del tipo di forzante meteo impiegata, dimostrando come l'approccio congiunto dei due modelli ad alta risoluzione sia funzionale alla conoscenza approfondita delle fenomenologie tipiche dei bacini analizzati, quale elemento di supporto per le funzioni di valutazione, monitoraggio e controllo del territorio anche in caso di emergenza ambientale.

Keywords: modellistica numerica, idrodinamica, modellistica meteorologica, WRF, modello MIKE 3

Email: elvira.armenio@arpa.puglia.it

Approccio operativo per estrarre valore da big-data spaziotemporali. Applicazione al programma di monitoraggio dei fitofarmaci dei corpi idrici pugliesi

Carmine Massarelli¹, Claudia Cimpanale¹, Mariangela Triozzi¹, Maria Silvia Binetti¹, Vito Felice Uricchio¹

¹Istituto di Ricerca sulle Acque-Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRSA-CNR)

In Regione Puglia, è stato implementato un complesso monitoraggio a scala regionale per analizzare la presenza di residui di pesticidi nei corpi idrici superficiali e sotterranei. Il processo decisionale su cui si basa il programma di monitoraggio prende in considerazione vari aspetti, tra i quali valutazioni ambientali sito-specifiche per ogni punto della rete. Ne consegue che i protocolli analitici sono differenti per ogni stazione di monitoraggio, poiché ciascuna di esse è circondata da caratteristiche ambientali sito-specifiche differenti ed attentamente valutate attraverso un'approfondita analisi della distribuzione delle colture prevalenti nei singoli Bacini e sub-Bacini Idrografici.

Scopo del presente lavoro è fornire un metodo utilizzabile agli Amministratori del territorio al fine di comprendere e capitalizzare i risultati complessi ottenuti dal programma di monitoraggio con l'obiettivo di implementare una politica ambientale sostenibile.

Il risultato è raggiunto facendo ricorso ad un approccio operativo per la valutazione di big-data dotati di componente geografica e temporale. Sono state applicate metodologie statistiche basate su data mining per individuare, ad esempio, le miscele prevalenti di pesticidi a scala regionale riscontrate in diversi punti della rete di monitoraggio ed in diversi periodi correlando tali risultati ai possibili fattori causanti.

L'approccio operativo può essere utilizzato da chiunque debba prendere decisioni a valle della realizzazione di complessi programmi di monitoraggio delle matrici ambientali.

Keywords: data mining, programmi di monitoraggio, inquinanti

Email : carmine.massarelli@ba.irsa.cnr.it,
mariangela.triozzi@ba.irsa.cnr.it,
claudia.campanale@ba.irsa.cnr.it,
mariasilvia.binetti@ba.irsa.cnr.it, vito.uricchio@ba.irsa.cnr.it

Misure di efficienza nella gestione dell'acqua: dalle sinergie idriche alla digitalizzazione dei consumi d'impianto

Giovanna Mennella, Antonino Patania, Giorgio Bianchi, Francesco Massimo Manglaviti, Gianluca D'Aquila¹

¹Eni Rewind SpA

Introduzione e obiettivi di studio

L'obiettivo di dar origine ad una gestione completamente sostenibile della risorsa idrica, che metta in pratica l'Agenda 2030, diventa più prontamente perseguibile con l'adozione di un approccio integrato a più livelli, che consiste, in senso lato, di rafforzare le cooperazioni e gli interscambi di diverse realtà civili e industriali e, in senso stretto, nell'innovare e digitalizzare i processi di trattamento delle acque per ottenere misure di efficienza sempre più puntuali.

Da sempre impegnata nel massimizzare i benefici del recupero delle acque a valle dei propri processi di trattamento, Eni Rewind ha esteso l'attenzione al di fuori dei confini degli impianti in cui opera alla ricerca di altre esigenze di riutilizzo, immaginando, così, di creare sinergie idriche interconnesse che privilegiano un uso congiunto della risorsa acqua alla base dei diversi processi produttivi. Un approccio che comporta l'applicazione concreta di una visione più ampia della risorsa idrica.

Per la creazione di una siffatta rete di sostenibilità ampia e diffusa, diventa imprescindibile innovare i propri processi di trattamento affinché inglobino tutti gli aspetti ambientali e restituiscano specifici valori di consumo idrico. La frontiera diventa digitalizzare in maniera sempre più affinata i processi di trattamento delle acque, che si ampliano a più elementi ambientali, così da programmare azioni di efficienza puntuali e ottimizzate.

Per perseguire un più ampio riutilizzo delle acque, laddove saturata la domanda delle aree limitrofe dei propri impianti, Eni Rewind ha valutato la gestione di stream acquosi e il relativo riutilizzo al di fuori dei propri stabilimenti tenendo in considerazione i diversi aspetti ambientali coinvolti, quali la tutela delle riserve idriche, il consumo

energetico e l'impatto emissivo. Ne è un esempio il progetto di gestione delle acque di produzione presso una piattaforma di trattamento, realizzato nel corso del 2022 e descritto nel paragrafo seguente.

Inoltre, per implementare misure che massimizassero l'efficienza dei trattamenti di depurazione, Eni Rewind ha avviato lo studio di bilanci idrici integrati per ciascun impianto, che andranno ad implementare la piattaforma digitale "e-portal TAF" già esistente, restituendo *on-line* il valore del consumo idrico. I bilanci idrici integrati si estendono a tutte le componenti, acquose e non, che caratterizzano un impianto di trattamento, inglobando tutti gli elementi ambientali coinvolti.

Eni Rewind ha studiato una gestione maggiormente sostenibile delle acque di produzione, associate all'estrazione del petrolio dal sottosuolo, del Centro Olio Val d'Agri Eni di Viggiano.

Dopo la progettazione del «Viggiano Blue Water», un impianto con tecnologia proprietaria che tratterà le acque di produzione allo scopo di reintegrarle nel ciclo prodotto in sostituzione dei prelievi di acqua dolce (oggi in fase autorizzativa), Eni Rewind ha stilato un accordo con una piattaforma di trattamento rifiuti liquidi, per la realizzazione di una specifica linea di trattamento dedicata a tali acque. La realizzazione di una linea ad hoc consente il totale riutilizzo delle acque oggetto di trattamento presso la zona industriale, dove sorge l'impianto medesimo, limitando il depauperamento di nuova risorsa idrica.

Il riutilizzo di tali acque risulta ancora più significativo se si considera che il territorio in questione ricade nelle aree a stress idrico (con livello estremamente elevato), individuate dal World Resources Institute. In chiave di bilancio di sostenibilità, l'impatto energetico ed emissivo, connesso allo spostamento dello stream, risulta minoritario per la vicinanza geografica del sito di produzione rispetto al polo industriale di destino, creando sinergie idriche ambientalmente sostenibile.

Inoltre, i Bilanci Idrici Integrati, oggetto di analisi, non si limitano alla mappatura dei principali stream in ingresso e in uscita all'impianto, ma restituiscono misure di dettaglio anche sulle altre componenti minori e non necessariamente in fase acquosa, quali, ad esempio: il contenuto di umidità presente nei fanghi, la componente acquosa dei chemicals, il vapore, le acque di seconda pioggia.

Dai Bilanci Idrici Integrati, digitalizzati nella piattaforma informatica già attualmente in uso, si avrà il valore di consumo idrico istantaneo, ottenuto dalle misurazioni dirette e dai dati d'esercizio.

La piattaforma diventerà uno strumento per restare sempre connessi sui dati dei propri consumi e indirizzare misure di mitigazioni mirate ed efficaci.

Keywords: riutilizzo acque reflue, scopi industriali, sinergie idriche, bilanci, consumi

Email: Giovanna.Mennella@enirewind.com,
Antonino.Patania@enirewind.com, Giorgio.Bianchi@enirewind.com,
gianluca.d.aquila@enirewind.com,
Francesco.Manglaviti@enirewind.com

L'accertamento del danno ambientale: opportunità per migliorare la tutela della risorsa idrica

Paolo Rinaldi¹

¹ *Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione dell'ambiente (ISPRA), Roma*

La Direttiva 2004/35/CE del Parlamento europeo e del Consiglio sulla responsabilità ambientale in materia di prevenzione e riparazione del danno ambientale, recepita in Italia nella Parte VI del TUA, rappresenta uno strumento ancora poco noto ma potenzialmente molto efficace per la prevenzione e la tutela delle principali matrici ambientali da inquinamenti di fonte antropica. Si pensi ad esempio alle acque interne: la disciplina del danno ambientale non solo tutela i corpi idrici sotterranei ma anche quelli superficiali ampliando di fatto il campo di tutela rispetto alla disciplina sulle bonifiche dei siti contaminati (Parte IV del TUA). Altro elemento di interesse è il fatto che la disciplina sul danno ambientale tiene conto di un numero di potenziali "contaminanti" ben più ampio rispetto all'elenco contenuto nelle tabelle delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione della parte IV del TUA: questo è dovuto al fatto che il danno ambientale è riconosciuto allorché lo stato qualitativo della risorsa è compromesso richiamando l'attenzione su parametri ulteriori rispetto alla CSC. Tuttavia, le attività di accertamento svolte in ambito SNPA hanno evidenziato l'opportunità di adeguamento delle reti di monitoraggio ideate e realizzate ai sensi della Parte III del TUA in applicazione della Direttiva Acque (2000/60/CE) al fine di ottimizzare il flusso informativo utile alla definizione dello scadimento, anche a livello locale, dei corpi idrici (superficiali e sotterranei) nell'ottica dell'accertamento del danno ambientale.

Oltre a ciò, occorre tenere conto che la disciplina del danno ambientale contempla un altro strumento potente: la minaccia di danno ambientale. Si tratta di uno strumento di prevenzione che si concretizza con la "possibilità", meglio "l'obbligo", per l'operatore di intervenire anche nel caso in cui la matrice ambientale esposta non sia ancora stata effettivamente compromessa ma vi è la ragionevole possibilità che tale effetto si manifesti nell'imminente futuro. È chiaro che tale strumento offre una maggiore tutela per le matrici suolo e acque sotterranee rispetto alla disciplina delle bonifiche in quanto

rappresenta uno strumento di prevenzione. La disciplina della Parte VI del TUA prevede che in presenza di una minaccia di danno ambientale, il Ministero dell'Ambiente possa intervenire in qualsiasi momento per ordinare all'operatore l'adozione di misure di tutela o addirittura possa intervenire direttamente con misure di prevenzione adeguate. La conoscenza della disciplina del danno ambientale e degli strumenti utili all'accertamento del danno o della minaccia di danno, può contribuire ad una maggiore tutela delle matrici ambientali rispetto a quella ottenuta in applicazione di altri ambiti normativi: tale obiettivo può essere raggiunto se i principi fondamentali del danno ambientale vengono integrati con le altre discipline (es. bonifiche e tutela delle acque).

Le attività svolte negli ultimi anni dall'Area per l'accertamento, la valutazione e riparazione del danno ambientale (CRE-DAN) di ISPRA hanno fornito un'ampia panoramica in merito alle situazioni nelle quali una più attenta pianificazione dei monitoraggi delle acque sotterranee e una visione più ampia delle problematiche relative alla contaminazione del suolo e della falda si sono rilevati strumenti utili per la tutela della risorsa.

Keywords: danno ambientale, acque superficiali, bonifiche, prevenzione.

Email: paolo.rinaldi@isprambiente.it

Valutazione del biofilm microbico come approccio ecologico per il biorisanamento del Glifosato in un sistema lentico: studio preliminare in microcosmo

***Mariangela Triozzi¹, Claudia Campanale¹, Daniela Losacco¹,
Carmine Massarelli¹, Vito Felice Uricchio¹***

¹Istituto di Ricerca sulle Acque – Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRSA-CNR) Bari, (BA)

Un'adeguata gestione delle erbe infestanti rappresenta una condizione importante ai fini di una produttività agricola ottimale. Il Glifosato è l'erbicida per eccellenza utilizzato su scala mondiale per i suoi benefici nel controllo delle malerbe. Poiché l'uso estensivo di questo erbicida pone rilevanti preoccupazioni ambientali, la ricerca tende costantemente ad approfondire gli aspetti relativi alla sua degradazione, abiotica e biotica. Diversi studi sottolineano l'importanza della biodegradazione come metodo più efficace, ecologico e sostenibile; infatti, i microrganismi usano spesso la molecola come fonte di energia rilasciando AMPA, sarcosina e acetilglifosato come prodotti del metabolismo. Il Glifosato rilasciato nell'ambiente può raggiungere i corpi idrici superficiali, la colonna d'acqua e sedimentare. Se la molecola adsorbe sui sedimenti, può interagire con i microrganismi autoctoni, presenti anche sotto forma di biofilm, i quali hanno un ruolo nei processi di assorbimento attivo e passivo dei contaminanti grazie alla loro natura complessa che può facilitarne l'accumulo.

Nell'ambito del progetto M.I.A. Rete Natura 2000, è stato allestito uno studio in microcosmo che simula sperimentalmente uno scenario di contaminazione da Glifosato di un sistema lentico glifosato-free, per valutare la degradazione del pesticida ad opera di complesse aggregazioni microbiche.

Per valutare le potenzialità del biofilm, è stato allestito un set di 21 microcosmi partendo da una contaminazione artificiale di 2.5 µg/L di Glifosato. La biodegradazione è stata valutata in sei tempi (da T0 a T6) per un totale di 18 giorni, in presenza di matrici acquose naturali arricchite (tesi biofilm) e non (tesi controllo biotico e abiotico) di un biofilm precedentemente sviluppato su un'apposita superficie

collocata nel corpo idrico. A tempi prestabiliti sono stati rilevati con una sonda multiparametrica i parametri chimico-fisici della fase acquosa. Simultaneamente, acqua e sedimento (costituito da una matrice inerte) sono stati campionati da ogni tesi sperimentale per il dosaggio del fosforo con il metodo Olsen e la determinazione del Glifosato e dell'AMPA, mediante derivatizzazione con FMOC-Cl (9-fluorenylmethyl chloroformate) accoppiata a cromatografia liquida ad alte prestazioni con spettrometria di massa (UHPLC-MS/MS). Inoltre, per valutare l'abbondanza microbica in risposta al decremento erbicida, i campioni sono stati sottoposti a estrazione del eDNA mediante DNeasy® PowerSoil® Pro Kit - QIAGEN e successiva quantificazione mediante Qubit dsDNA HS Assay Kit.

I risultati mostrano una repentina riduzione della molecola sia in acqua che nel sedimento nelle tesi con biofilm rispetto al controllo abiotico (con acqua sterile), dal T0 al T4. Il controllo biotico (con acqua di lago) osserva un andamento simile ai microcosmi con biofilm ma con una maggiore variabilità nella velocità di degradazione. Il controllo abiotico evidenzia un decremento nella quantità di Glifosato al T5, probabilmente associato a un processo di fotodegradazione.

Poiché la presenza di AMPA non è stata mai rilevata, si ipotizza che il pool microbico non abbia scelto la principale via di degradazione che porta alla sua formazione. Ulteriori studi saranno condotti in futuro per individuare il pathway di degradazione prevalente e l'identificazione delle specie microbiche coinvolte.

Il decremento dell'erbicida nei microcosmi biotici risulta essere inversamente proporzionale all'abbondanza microbica che invece aumenta in risposta alla riduzione erbicida nei microcosmi con biofilm, rispetto al controllo. Non sono state individuate delle relazioni significative con i parametri chimico-fisici. In generale, lo studio evidenzia le potenzialità del biofilm nel degradare una molecola nota per i suoi impatti negativi sulla salubrità degli ecosistemi idrici e pone le basi per lo sviluppo di metodologie ecologiche di biorimediazione, nei programmi di gestione sostenibile dei corpi idrici.

Keywords: Glifosato, Biofilm, Biorimediazione, Corpi Idrici Superficiali

Email: mariangela.triozzi@ba.irsas.cnr.it,
cludia.campanale@ba.irsas.cnr.it, daniela.losacco@ba.irsas.cnr.it,
carmine.massarelli@ba.irsas.cnr.it, vito.uricchio@ba.irsas.cnr.it

Valutazione della presenza di glifosate e AMPA nei sedimenti del fiume Ofanto

Claudia Campanale¹, Mariangela Triozzi¹, Annamaria Ragonese¹, Carmine Massarelli¹

¹Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR-IRSA), Bari

Il crescente utilizzo di pesticidi negli agroecosistemi sta portando nel tempo ad un arricchimento delle risorse idriche di determinati residui di prodotti fitosanitari.

Tra questi, particolare attenzione è rivolta al glifosate (e al suo metabolita acido aminometilfosfonico, AMPA). Il glifosate rappresenta ad oggi, il principio attivo più utilizzato in agricoltura su scala mondiale a causa della sua rapida azione ed efficacia contro le erbe infestanti. Si tratta di un erbicida organofosforoso non selettivo, ad ampio spettro, applicato di routine per controllare le erbe infestanti in aree sia coltivate che non coltivate.

A causa dei suoi effetti negativi riconosciuti per la salute umana e per l'ambiente e, della sua elevata diffusione nei corpi idrici superficiali italiani e di tutto il mondo, il monitoraggio sistematico di tale prodotto e del suo metabolita nei comparti ambientali risulta essenziale. Il glifosate può essere trasportato dal deflusso superficiale dei sistemi agricoli ai sistemi acquatici circostanti, dove può persistere, biodegradarsi o accumularsi nei sedimenti.

A tal fine, il presente lavoro mira a studiare la presenza del glifosate e del suo metabolita AMPA nei sedimenti del tratto terminale dell'asta fluviale del fiume Ofanto (Sud Italia, Regione Puglia), valutandone il trasporto dalla foce al mare. Il campionamento è stato effettuato selezionando cinque stazioni di campionamento di cui, due in mare, una alla foce del fiume e due a 4 km dalla foce. Ogni campione di sedimento superficiale è stato raccolto in triplicato due volte, durante la bassa e l'alta marea, per un totale di 17 campioni di sedimenti analizzati. I pesticidi sono stati estratti con una soluzione tampone e gli estratti sono stati derivatizzati con FMOC-Cl e analizzati con UHPLC-ESI-MS/MS. I risultati hanno mostrato una presenza di glifosate compresa tra 0.8 e 4 µg/kg nei campioni di sedimenti fluviali e valori inferiori al limite di rilevazione in quelli marini. Particolarmente

rilevante è stata la presenza di AMPA che varia da 0.5 a 43 µg/kg nei sedimenti fluviali, con valori apprezzabili rilevati anche nei campioni marini. In generale, sono state osservate quantità più rilevanti di entrambi i pesticidi durante l'alta marea. Mediamente la presenza di glifosate e AMPA è stata ritrovata in concentrazioni di circa 1.6 volte superiori durante l'alta marea rispetto alla bassa marea

Durante la bassa marea glifosate e AMPA sono stati quantificati rispettivamente nel 35.29 e 70.59 % dei campioni mentre durante l'alta marea nel 47.06 e 88.24 % dei campioni.

I nostri risultati sottolineano un uso eccessivo del glifosate, indicando la necessità di un monitoraggio continuo delle matrici ambientali e l'attuazione di piani d'azione, compresa l'indagine dei comparti del suolo e dei sedimenti, che probabilmente rappresentano l'effettivo bacino di questi pesticidi.

È bene sottolineare inoltre che, per i sedimenti fluviali non è, al momento, disponibile una normativa specifica di riferimento. Per sopperire alla mancanza di legislazione in materia di inquinamento dei sedimenti fluviali, nel giugno 2009 l'ISPRA ha pubblicato la "Proposta per la valutazione dello stato qualitativo dei sedimenti fluviali nel sito di interesse nazionale Fiumi Saline e Alento", che introduce i livelli chimici di riferimento (LCR), definiti come concentrazioni di riferimento non sito specifiche per ogni singolo contaminante. Tuttavia, tra i contaminanti indicati non vengono indicati valori di riferimento per il glifosate.

Keywords: monitoraggio, Ofanto, pesticidi, corpi idrici

Email: claudia.campanale@ba.irsra.cnr.it

Riutilizzo delle acque ed ottimizzazione dei sistemi di gestione impiantistica

Giuseppe Giaramida¹, Stefano Bolzanella¹, Massimo Paglia¹

¹Eni Rewind

Eni Rewind (ER) gestisce 43 impianti di trattamento acque distribuiti sul territorio nazionale che, nel corso del 2022, hanno garantito il risanamento di 35,5 milioni di metri cubi di acque falda, reflui civili ed industriali.

Nel corso degli anni l'approccio aziendale alla gestione delle acque si è via via evoluto, considerando l'acqua non solo una matrice ambientale da risanare ma una risorsa da tutelare e valorizzare; ER è stata quindi in grado, nell'ultimo quadriennio, di raddoppiare i volumi di acqua riutilizzata per scopi industriali/ambientali dopo il trattamento, passando dai 5 milioni di metri cubi del 2019 ai 10 del 2022.

Nell'ambito della valorizzazione/ottimizzazione continua dei propri asset e del miglioramento del proprio modello operativo gestionale, ER ha realizzato e sta realizzando molti progetti volti alla semplificazione ed automazione del controllo degli impianti. Gli asset aziendali vengono rinnovati e/o realizzati con elevati standard di automazione e digitalizzazione, in modo da renderli adeguati ad una gestione da remoto. Il modello operativo adottato dalla società si fonda anche sul ruolo centrale della Sala Controllo di San Donato Milanese, dalla quale viene assicurato il telecontrollo H24 degli impianti, attraverso sistemi e framework allo stato dell'arte.

I dati operativi sono gestiti attraverso il Green Data Center Eni, consentendo così l'utilizzo di controllori avanzati di processo e la standardizzazione dei KPI, in aggiunta ai comuni processi di controllo e gestione.

Grazie a questo modello è possibile migliorare la flessibilità organizzativa, l'efficienza e l'efficacia delle operazioni, riducendo i costi complessivi dei progetti di bonifica dei siti. Inoltre, la digitalizzazione delle barriere idrauliche e degli impianti di trattamento migliora le performance societarie nel controllo e nella mitigazione dei rischi per la salute, la sicurezza e l'ambiente.

L'obiettivo di Eni Rewind è l'applicazione di questo approccio ottimizzato a tutti i propri impianti e progetti, nei prossimi anni, per fornire servizi di trattamento acque efficienti sia in ambito Eni che per il mercato.

Keywords: riutilizzo acque reflue civili ed industriali

Email: giuseppe.giaramida@enirewind.com

III. Le opportunità dell'economia circolare ed i nuovi paradigmi di sviluppo

Pretrattamento con acido performico per una migliore digeribilità enzimatica di biomasse ottenute da applicazioni di biorimediazione fito-assistita: approccio green per la sintesi di *fine chemicals* ed il recupero di contaminanti

Carlo Pastore^{1,2}, Antonella Angelini¹, Enrico Scelsi¹, Giorgia Aimola¹, Valeria Ancona^{1,2}

¹ *Istituto di Ricerca Sulle Acque – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Bari, BA, Italia;*

² *Phytotech srl, Massafra (TA), Italia*

Il biorimediazione fito-assistita (*Plant-Assisted BioRemediation* – PABR) è una tecnologia verde per il recupero di aree multi-contaminate che si basa sull'azione sinergica che viene ad instaurarsi tra le radici delle piante ed i microrganismi della rizosfera per rimuovere, contenere, trasformare gli inquinanti del suolo.

Le biomasse ottenute dalle PABR per la riqualificazione di aree inquinate possono rappresentare una nuova preziosa materia prima per l'ottenimento di *fine chemicals* e/o combustibili liquidi di nuova generazione. In questo lavoro viene descritta una filiera sostenibile di tecnologie per il recupero di sostanze chimiche da biomassa di pioppo ottenuta da impianti PABR realizzati per il recupero di un sito multi-contaminato del sud Italia. Per il presente studio è stato progettato e testato un pre-trattamento basato sull'uso di acido performico (generato in situ da acido formico e perossido di idrogeno). L'effetto di questo pretrattamento è stato misurato in termini di delignificazione, aumento della digeribilità enzimatica dei residui solidi e destinazione finale dei componenti minerali inizialmente presenti nella biomassa di pioppo. Dopo trattamento con acido performico a 1,75, 3,5 e 7 M, il contenuto di lignina nelle biomasse residue risulta significativamente ridotto: il 28,5, 92,8 e 100% di lignina iniziale è stato rispettivamente rimosso e disciolto. Dopo questo pretrattamento, la maggior parte dei minerali inizialmente presenti nella biomassa di pioppo sono stati dissolti nella fase acquosa generata. In concomitanza si è sciolta anche gran parte dello xilosio iniziale. I residui solidi ottenuti dalla fase di pretrattamento sono stati

quindi sottoposti ad idrolisi enzimatica attraverso una cellulasi commerciale (da *Trichoderma reesei*). La digeribilità enzimatica si è dimostrata già efficace su campioni pretrattati con acido performico 3,5 M a 55 °C. Infatti, anche quando la lignina non è stata completamente rimossa (>75%), la cellulosa nelle biomasse residue è stata completamente idrolizzata in glucosio. Infine, la soluzione acquosa ottenuta dall'idrolisi enzimatica è stata efficacemente fatta reagire in presenza di $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (1%) e acido solforico (0,5%) a 150 °C per 45 min. La resa finale ottenuta è stata pari al 68,2% per l'acido levulinico e pari al 4,8% per l'idrossimetilfurfurale. Attraverso questo processo, non solo la maggior parte dei metalli provenienti dalla strategia di biorimedio fito-assistito è stata confinata in una soluzione acquosa, ma anche le biomasse residue di pioppo, sono state valorizzate generando molecole piattaforma che potrebbero trovare applicazioni nella sintesi di vari *fine-chemicals*.

Keywords: biorimedio fito-assistito, biomassa vegetale, acido performico, idrolisi enzimatica, valorizzazione lignocellulosica della biomassa, acido levulinico

Email: carlo.pastore@ba.irsacnr.it, ancona@irsacnr.it;

Il ruolo dell'inventario nazionale delle strutture di deposito di rifiuti estrattivi storici in relazione al recupero di materie prime critiche

Maria Gabriella Andrisani, Monica Serra

Dipartimento per il Servizio Geologico - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Roma

Le materie prime critiche (CRM - Critical Raw Materials) sono definite dall'Unione Europea come quei minerali e terre rare considerate più importanti dal punto di vista economico (fondamentali per garantire la transizione energetica e digitale) ma con un elevato rischio di approvvigionamento (l'Europa dipende in modo rilevante dalle importazioni).

Sulla base di tali aspetti la Commissione Europea ha individuato nel 2011 l'elenco delle CRM che aggiorna ogni tre anni. Con la recente proposta di regolamento europeo sulle materie prime (Critical Raw Materials Act), l'elenco viene ampliato a ben 34 CRM e, per la prima volta, viene definito un quadro normativo per garantire un approvvigionamento sostenibile e promuovere la circolarità. Tra le misure proposte in termini di circolarità, ci sono quelle relative al possibile recupero di materie prime essenziali dai rifiuti di estrazione sia nelle attività minerarie attive sia nei siti minerari storici (miniere chiuse e/o abbandonate).

L'attenzione alla gestione di rifiuti estrattivi (di cave e miniere) viene posta dall'Europa a partire dalla direttiva 2006/21/CE. Infatti, in molti paesi europei, i materiali di risulta delle attività estrattive, scartati ed abbancati in cumuli o in bacini di decantazione, rappresentavano (e probabilmente rappresentano ancora) la più grande fonte di rifiuti, creando enormi rischi per l'uomo e l'ambiente, come confermato dal verificarsi di molti disastri ambientali. Con la direttiva, quindi, si regola la gestione dei rifiuti estrattivi con la finalità di ridurne al minimo l'incidenza, e gestirne il trattamento, il recupero e lo smaltimento nel rispetto dello sviluppo sostenibile.

La direttiva, inoltre, si preoccupa anche dei rifiuti estrattivi storici, riconducibili alle attività già chiuse e/o abbandonate, con gravi

ripercussioni negative per la salute umana e l'ambiente. Per tale motivo dispone, per ciascuno Stato membro, la realizzazione, ed il periodico aggiornamento, dell'inventario delle strutture di deposito di rifiuti estrattivi (cumuli e/o bacini) di categoria A, considerati sorgenti di pericolo per la salute umana e per l'ambiente.

In Italia, la direttiva europea viene recepita con il D.Lgs. 117/2008 che individua l'ISPRA (già APAT) come soggetto per la realizzazione e la pubblicazione dell'inventario nazionale di tali strutture, attraverso il coinvolgimento degli Enti territorialmente competenti.

L'inventario nazionale, oltre a contenere le informazioni sulle valutazioni di Rischio ecologico (ambientale)- sanitario e statico-strutturale (secondo le indicazioni del DM 16 aprile 2013), raccoglie anche le informazioni, ove disponibili per ciascuna struttura di deposito censita, sul contenuto mineralogico dei rifiuti estrattivi presenti (sostanza inquinante riscontrata e relativa concentrazione).

Le strutture di deposito, chiuse e abbandonate, censite nell'ultimo aggiornamento 2022 (Rapporto ISPRA 378/2002), non presentano una situazione particolarmente preoccupante sotto l'aspetto statico-strutturale ma costituiscono, in circa metà dei casi, un Rischio sanitario-ambientale da medio-alto ad alto, a causa delle sostanze inquinanti presenti nei minerali contenuti negli scarti di lavorazione.

Il recupero di tali minerali, che possono essere identificati in molti casi come CRM, non solo favorirebbe le politiche del riciclo ma contribuirebbe a ridurre l'impatto ambientale, in accordo alla nuova strategia europea delle materie prime critiche.

Keywords: Rifiuti estrattivi, Critical Raw materials, Inventario delle strutture di deposito di rifiuti minerali chiuse.

Email: mariagabriella.andrisani@isprambiente.it,
monica.serra@isprambiente.it

Look Down: il ruolo dell'economia circolare nella valorizzazione del patrimonio culturale come strategia di rigenerazione sociale

Paola C.D. De Pascalis¹

¹Dipartimento di Economia e Finanza – Università degli Studi di Bari, Aldo Moro

La circolarità caratterizza l'esistenza umana fin dalle sue origini e all'interno di questa forma geometrica si può identificare il nesso tra economia circolare e patrimonio culturale: due fenomeni apparentemente lontani ma intrinsecamente connessi perché entrambi, profondamente umani. Nel settore fiscale, l'economia circolare non riguarda solo il ciclo dei rifiuti e i singoli procedimenti industriali bensì è la moderna luce verde che si insinua tra le diverse attività produttive, i sistemi territoriali ed il patrimonio/paessaggio culturale. Oggi l'economia circolare si qualifica come fonte rigenerativa delle risorse sociali, ponendo al centro di questo sviluppo l'uomo, inteso in un'accezione nuova e scevra da individualismi. Come scrive Yuval Noah Harari, ci caratterizza la capacità non solo "di immaginare le cose, ma di farle collettivamente." Pertanto, l'attenzione ad uno sviluppo che parta dall'essere umano, conferisce un ruolo di prim'ordine alla cultura nel progetto della sostenibilità. Infatti, i valori legati all'identità culturale rendono l'uomo maggiormente consapevole della sua coesistenza con il prossimo, stimolando e rafforzando in tal modo anche il suo senso di responsabilità e di collettività. L'esempio del mecenatismo e la sua evoluzione dimostrano come il valore possa generare valore nel corso del tempo, attraverso la bellezza, la conoscenza e la condivisione. Oggi l'eco del passato si riscontra nell'Art Bonus: uno strumento che necessita, tuttavia, di un restauro per raggiungere il suo effettivo potenziale, partendo dall'introduzione di nuovi modelli di gestione pubblico-privata del patrimonio culturale. Tale tema si intreccia con l'attuale concetto di "città circolare". Infatti la rigenerazione urbana è un passaggio essenziale nell'evoluzione dell'economia circolare, legato anche alla valorizzazione del patrimonio culturale. In molte città italiane, lo stato di abbandono e la mancanza di una

manutenzione costante degli edifici, alle volte persino rientranti nel patrimonio culturale nazionale, influenzano la percezione dei luoghi e dei contesti sociali direttamente coinvolti. A fronte di tali problematiche, l'economia circolare si pone quale paradigma di nuovi valori sociali. Nel contesto post-pandemico, al cui interno si è compreso come la società sia caratterizzata da una forte debolezza valoriale oltre che economica, l'introduzione di nuovi modelli di gestione del patrimonio culturale prospetta una strategia di rigenerazione sociale, oltre che urbana. L'opera *Look Down* di Jago, tramite la rappresentazione di un neonato abbandonato in catene, invita gli osservatori a distaccarsi dall'indifferenza attualmente dilagante e a riflettere in merito alle disuguaglianze, fonti dei maggiori ostacoli allo sviluppo sostenibile. Dunque, è urgente individuare modelli operativi che garantiscano una gestione del patrimonio culturale resiliente, che assicurino la reattività dei paesaggi urbani alle sfide del futuro, che trasformino l'attuale sistema economico orientandolo verso una circolarità piena dal punto di vista economico, ambientale e valoriale con l'intento esclusivo di migliorare le condizioni e le sorti dell'attività nazionale.

Keywords: Economia circolare, patrimonio culturale, rigenerazione sociale

Email: paola.depascalis@uniba.it

iWAYS - Innovative WATER recoverY Solutions through recycling of heat, materials and water across multiple sectors per affrontare le sfide ambientali e definire nuovi modelli in ottica circolare

***Maria Grazia Ascì¹, Daniele Matteucci¹, Davide Carlini¹,
Luca Montorsi², Hussam Jouhara³, Gustavo Jacomelli⁴***

¹SIMAM S.p.A. – Gruppo Acea, Senigallia (Italia)

²Università degli studi di Modena e Reggio Emilia, Modena (Italia)

³Brunel University London, Londra (Regno Unito)

⁴European Science Communication Institute, Oldenburg (Germania)

Il progetto europeo iWAYS, finanziato nell'ambito di Horizon 2020, si propone di creare un nuovo paradigma industriale e tecnologico sviluppando un modello di economia circolare in tre differenti settori industriali. Il progetto, avviato nel Dicembre 2020, sta definendo una serie di tecnologie concentrate sulle sfide ambientali globali in grado di recuperare energia ed acqua dai fumi emessi da vari processi industriali. Con riferimento al recupero della risorsa idrica, il progetto punta ad apportare una riduzione nel consumo di acqua dolce che va dal 30 % al 64 %. Le soluzioni studiate e sviluppate in iWAYS consentiranno anche il recupero di materiali aggiuntivi da gas di combustione quali acidi o particolati preziosi laddove presenti nei fumi trattati, riducendo al contempo le emissioni dannose per l'ambiente.

Nell'ambito di iWAYS, SIMAM S.p.A. – Gruppo Acea ha il ruolo di technology provider avendo in carico la definizione e realizzazione dei dimostratori per il trattamento e il recupero del condensato proveniente dal nuovo sistema HPCE (Heat Pipe Condenser Economizer) in due casi studio: uno rappresentativo del settore ceramico (DC#1 –Ceramiche Atlas Concorde S.p.A., Italia) e l'altro del settore chimico (DC#2 – Alufluor, Svezia).

I sistemi di trattamento sviluppati da SIMAM sono quindi finalizzati al recupero del condensato derivante dal trattamento dei fumi, unitamente ad altre acque di scarico prodotte nei processi produttivi

investigati, con conseguente riduzione dei consumi delle risorse idriche che sono oggi al centro delle principali problematiche ambientali sia nazionali che globali. Il processo è stato studiato in modo da integrare il sistema di trattamento iWAYS nel sistema di trattamento generale già esistente negli stabilimenti. Ciò al fine di realizzare un sistema a ciclo chiuso caratterizzato dall'assenza di rifiuti aggiuntivi da gestire.

Nel primo caso studio (DC#1), il recupero della risorsa idrica è raggiunto tramite un sistema composto da Ultrafiltrazione e Nanofiltrazione che tratta acqua carica di COD, TSS e altri composti tipici del settore ceramico. La soluzione ideata consente di ottenere, con la Nanofiltrazione, una portata di permeato pari a 2.000 l/h e una portata di concentrato pari a 2.000 lt/h, entrambi riutilizzabili all'interno del processo produttivo.

Nel secondo caso studio (DC#2) il prototipo ideato è progettato per rendere fattibile il recupero di ben 10.000 lt/h di acqua (ad oggi gestiti come scarico idrico) a partire dal trattamento di un flusso caratterizzato da un'elevata temperatura media (55°C) e con alti carichi di calcio e fluoruri. La soluzione definita prevede un filtro a sabbia, specificatamente dimensionato per rimuovere la presenza di fluoruro di calcio e relativi TSS generati, e in serie un sistema di addolcimento con lo scopo di rimuovere totalmente la durezza calcica e consentire di riutilizzare l'acqua trattata all'interno dell'esistente scrubber dello stabilimento, lavorando a condizioni sfidanti e non convenzionali per le tecnologie selezionate.

La combinazione delle tecnologie sviluppate nell'ambito di iWAYS, con riferimento sia al HPCE che ai sistemi di trattamento delle condense, ha tutto il potenziale per supportare i settori industriali investigati, nonché altri settori in cui l'intero sistema può essere replicabile, nel raggiungere gli obiettivi ambientali previsti dal Green Deal Europeo e quelli di sviluppo sostenibile dell'Agenza 2030 (Sustainable Development Goals, SDGs).

Keywords: tecnologie innovative, recupero di energia e risorse, trattamento e riutilizzo delle acque, economia circolare

Email: m.asci@simamspa.it, luca.montorsi@unimore.it

Gli standard internazionali e la normativa europea per i film di pacciamatura biodegradabili

Claudia Campanale¹, Vito Felice Uricchio¹

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR-IRSA), Bari

I metodi di prova internazionali per valutare la biodegradabilità o la disintegrazione dei manufatti in plastica sono definiti dalle specifiche dell'Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione (ISO). In particolare, i test sono definiti dalle norme ISO 17556: 2019 e ISO 14855: 2013. Il primo test rappresenta un metodo generico di prova per determinare la biodegradabilità aerobica delle plastiche nel suolo, misurando la richiesta di ossigeno in un respirometro o la quantità di anidride carbonica evoluta. Il metodo è progettato per produrre un tasso di biodegradazione ottimale regolando l'umidità del sito di prova. Se si utilizza come inoculo un terreno non modificato, il test simula i processi di biodegradazione che avvengono nell'ambiente naturale del suolo; se si utilizza un terreno pre-adattato, il metodo può essere utilizzato per studiare il potenziale di biodegradabilità del materiale in esame. Il secondo test fornisce le specifiche per determinare la biodegradabilità aerobica finale delle materie plastiche in condizioni di compostaggio controllato misurando la quantità di anidride carbonica sviluppata e il grado di disintegrazione del materiale plastico al termine del test. Il compostaggio avviene in un ambiente con temperatura, ventilazione e umidità controllate e rigorosamente monitorate. Il metodo di prova fornisce la percentuale di conversione in anidride carbonica del carbonio contenuto nella sostanza analizzata e il tasso di degradazione.

Attualmente, i film per pacciamatura biodegradabili possono essere commercializzati e successivamente incorporati nel terreno solo se soddisfano i requisiti della norma EN 17033: 2018.

La specifica europea EN 17033: 2018 "*Plastics-Biodegradable Mulch Films for Use in Agriculture and Horticulture-Requirements and Test Methods*", paragonabile a quella italiana (UNI 11495) e francese (NF U52-001), identifica i requisiti e i metodi di prova per definire i film

pacciamanti biodegradabili per il suolo da utilizzare per applicazioni agricole e orticole. La norma segue in larga misura il test di biodegradazione del suolo riportato nella norma ISO 17556. Infatti, la norma EN 17033: 2018 considera l'anidride carbonica evoluta come indicatore di biodegradazione. La biodegradazione intrinseca viene calcolata confrontando la CO₂ evoluta registrata in un materiale di riferimento (cellulosa) con la CO₂ evoluta del materiale di prova; la CO₂ del materiale di riferimento viene sottratta da quella del materiale di prova e i suoi livelli di CO₂ devono essere entro il 20 % del valore del materiale di riferimento. Il test è considerato valido se si raggiunge il 90% di biodegradazione rispetto alla cellulosa di riferimento entro sei mesi o, in termini assoluti, entro 24.

Tuttavia, a livello scientifico, è necessario specificare che i risultati della biodegradabilità si basano su test di laboratorio condotti in condizioni di temperatura costante e umidità standardizzata (ad esempio, entro $\pm 2^{\circ}\text{C}$ nell'intervallo 20-28°C, preferibilmente 25°C).

Attualmente, tuttavia, nessuno studio confronta e conferma direttamente la degradazione biologica riscontrata in laboratorio con quella che si verifica in condizioni di suolo agricolo. Secondo gli studi, le proprietà specifiche del suolo e dell'ambiente influenzano il tasso di degradazione dei film.

Le specifiche attuali non sono in grado di simulare il reale processo di biodegradazione che avviene nell'ambiente naturale, poiché esso è funzione di diverse variabili, come il clima e la posizione geografica. Il numero di esperimenti a lungo termine "in loco" dovrebbe essere aumentato per valutare la biodegradabilità dei film in ambienti aperti.

Keywords: plastica, compostabile, teli, agricoltura

Email: claudia.campanale@ba.irsra.cnr.it

No part of mussel is to be wasted: production of a “blue” calcium carbonate from shells

Antonella Petrocelli¹, Lucia Spada¹, Francesco Falcone², Santina Giandomenico¹

¹Istituto di Ricerca sulle Acque – Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRSA-CNR), Taranto

²Il Guscio srl società benefit, Taranto

Even though bivalve mollusk farming could be considered one of the food sources with less environmental impact, the noticeable accumulation of several thousand tons shells deriving from transformation and consumption of these organisms is a pressing constrain to its sustainable growth. Indeed, shells deriving from farming activities are worldwide considered a scrap to be disposed in landfill; however, due to the high costs of disposal, farmers commonly prefer abandoning them on the sea-bottom or along the sea-shore, causing a considerable environmental and landscaping harm. Up to 75% of bivalve mollusks is made by shell and 95% of shell is made by calcium carbonate (CaCO_3). Based on this, the recovery of shells deriving from bivalve mollusk farming would make them a potential new “blue” source of CaCO_3 , a material of very wide industrial use, which is currently quarried. This could also help to respond to the goal #14 “Life below water” of 2030 Agenda for Sustainable Development, which aims to the sustainable use of the sea and its resources.

Taranto (Ionian Sea, southern Italy) is one of the main bivalve mollusk production site in Italy, mainly mussels (about 29×10^3 tons in 2019). A considerable import activity, including mussels, oysters and clams, is carried out too. Here, the urgent need for a solution to the “shells” problem arose from some mussel farmers, who complained both of the lack of land-based structures for their deposition after the handling of the product, and the unsustainable high costs for their disposal. In order to find a solution to this problem, a few dozen kilos of shells were recovered from a local production firm and brought to the laboratory, where they were rinsed with fresh water to clean them from salt and sediments. Afterwards, a part of these shells were coarsely crushed and a first characterization of their ultrastructure was performed

through the analysis SEM/EDX. Some fragments were fixed on aluminum stubs through a bi-adhesive of graphite and covered with an ultra-thin metal layer to have a conductive surface. The SEM generated picture clearly displayed three shell layers: the periostrac, the outermost organic layer made by proteic materials, the mesostracum, an intermediate layer made of calcitic crystals perpendicular to the surface, the nacreous inner layer made of aragonite lamellas. The EDX analysis gave information about the elemental composition of each layer. The periostrac showed the prevalence of organic substances; in the mesostracum the prevalence of calcite prisms was evident; the nacreous layer showed a clear peak corresponding to CaCO_3 as aragonite. The remaining part of cleaned shells were put into a muffle to break down the residual organic matter and obtain the mineral shell component. Burnt shells were powdered into a professional mill, obtaining a “blue” CaCO_3 with different grain size.

Although “blue” CaCO_3 from bivalve mollusk shells could be produced in limited quantities compared to those obtained from quarries, it can be produced in a continuous cycle. So, shells represent a full-fledged renewable secondary raw material. Some experimental activities were performed in different countries to evaluate the possibility of exploiting mollusk shells, either crushed or pulverized, in the building sector, where it proved unsustainable due to the big quantities required. Therefore, to make “blue” CaCO_3 a sustainable resource its use in fringe industrial productions could be advisable.

Keywords: calcium carbonate, circular economy, mussel shell, sustainability

Email: antonella.petrocelli@cnr.it, lucia.spada@cnr.it, info@francescofalcone.com, santina.giandomenico@cnr.it

Lotta agli sprechi alimentari in Puglia: misure di garanzia del “diritto al cibo” mediante buone pratiche di eco-sostenibilità ed economia circolare

Maria Grazia Nacci¹, Cecilia Pannacciulli²

¹Università degli Studi di Bari ‘Aldo Moro’, Dipartimento di Scienze Politiche

² Università degli Studi di Bari ‘Aldo Moro’, Dipartimento di Giurisprudenza

Lo spreco alimentare rappresenta una vera e propria emergenza mondiale, alla quale da alcuni anni le maggiori organizzazioni internazionali (ONU, FAO, Commissione Europea) dedicano particolare attenzione, anche per la connessa produzione di rifiuti alimentari che esercitano una indebita pressione sull’ambiente. Dunque, tale fenomeno assume una rilevanza non solo sul piano economico e sociale, ma anche su quello sanitario e ambientale. Si pensi ai problemi che lo spreco alimentare genera sul piano della eco-sostenibilità: l’impronta in termini di CO₂ e di emissioni di gas a effetto serra, la deforestazione e degradazione del suolo, il cattivo uso di risorse idriche, le minacce alla biodiversità (v. *Rapporto ISPRA sullo spreco alimentare 2018*). Nell’ottica, invece, dell’economia circolare gli sprechi e le perdite alimentari possono essere reimpiegati in altri processi come “materia prima seconda”, riducendo così il consumo di risorse e materie prime, gli impatti e i costi legati allo smaltimento dei rifiuti, la dipendenza dalle importazioni.

Su questo sfondo si colloca l’interessante esperienza pugliese che ha coniugato la lotta allo spreco alimentare con interventi di innovazione sociale, puntando su iniziative di partenariato pubblico-privato che vedono coinvolto il livello di governo comunale insieme agli Enti del Terzo settore. La Puglia si è, infatti, dotata di una legge *ad hoc* sul recupero e riutilizzo delle eccedenze alimentari (l. r. n. 13/2017), implementando da anni misure mirate a sollecitare e sostenere, in sinergia con Comuni e Terzo settore, lo sviluppo e la diffusione di modelli virtuosi di recupero e redistribuzione delle eccedenze, quale strumento di lotta alla povertà e di garanzia del diritto al nutrimento, nonché di riduzione degli impatti ambientali negativi associati allo

spreco alimentare. A rendere operativa tale legge sono, appunto, associazioni quali Caritas, Banco alimentare e Banco delle opere di carità, Croce rossa, Emporio solidale del consorzio Emmanuel di Lecce, l'Abs Farina 080 titolare del progetto Avanzi popolo 2.0 di Bari, l'Abs Equo evento, Cibiamoci (e tante altre), che hanno sottoscritto il Protocollo di intesa con la Regione Puglia, recante la definizione di una serie di impegni congiunti e reciproci tra tutti gli attori del partenariato istituzionale e socioeconomico per dare corso al perseguimento degli obiettivi della stessa legge. Ai Comuni il compito di gestire i rapporti tra chi produce eccedenze e chi ne deve beneficiare. Peraltro, non sono coinvolte nel progetto solo le associazioni, ma anche i singoli privati da cui può partire il risparmio: per questo è stato ideato il 'frigo solidale' dove ogni condominio può conservare le eccedenze da distribuire. Parallelamente all'attività di recupero di cibo su larga scala, è stata realizzata anche una piattaforma web che, per la prima volta in Puglia, permette di testare il *foodsharing*, una pratica assai diffusa in Europa, che offre uno strumento rapido e innovativo a chiunque abbia voglia di donare il cibo in una logica *one-to-one*.

Si tratta di esperienze di collaborazione tra settore pubblico, privato e *no-profit* idonee a trasformarsi in una forma più matura di sussidiarietà orizzontale che, nel valorizzare anche i doveri di solidarietà attraverso il contributo di tutti gli attori sociali - dal mondo delle imprese fino ai singoli cittadini - possono aiutare a definire ed implementare efficaci politiche urbane di tutela del 'diritto al cibo' e all'ambiente salubre nonché buone pratiche di economia circolare.

Keywords: spreco alimentare, economia circolare, eco-sostenibilità, partenariato pubblico-privato.

Email: mariagrazia.nacci@uniba.it, cecilia.pannacciulli@uniba.it

L’Economia Circolare tra standard di riferimento e criteri di vaglio tassonomici: i riferimenti per le aziende

David Giraldi¹, Patrizia Vianello¹

¹ ambiente s.p.a. c/o ambiente s.p.a – Via Frassina 21 Carrara (MS) - 0585 855624

L’economia circolare costituisce un elemento imprescindibile dei percorsi di sostenibilità di Aziende e Paesi. Tra gli altri, l’Unione Europea riconosce l’economia circolare come strumento essenziale per garantire il successo dei piani di contrasto al cambiamento climatico. Per questo negli ultimi anni si sono accentuate le esigenze delle diverse Organizzazioni di programmare, gestire e condividere le diverse iniziative in materia di economia circolare. E di conseguenza si sono moltiplicate le proposte sia istituzionali che private di strumenti e protocolli per supportare queste nuove esigenze.

In ambiente s.p.a. abbiamo da sempre promosso la sperimentazione, il confronto ed il dialogo sui principali standard di riferimento per lo sviluppo dei progetti di economia circolare, organizzando webinar, partecipando ai vari tavoli di lavoro istituzionali sull’argomento (UNI, ICESP) e supportando l’implementazione e la prima certificazione in Europa di un sistema di gestione dei progetti di economia circolare secondo la norma AFNOR XP-X30-901. Forte di questa esperienza, abbiamo analizzato le correlazioni, sia in termini di principi che di applicazioni operative, dei principali standard di riferimento per l’economia circolare:

- BS 8001:2017 – Quadro di riferimento per implementare i principi dell’economia circolare nelle organizzazioni [1]
- AFNOR XP X30-901 - Sistema di Gestione dei Progetti di Economia Circolare [2]
- UNI/TS 11820 - Misurazione della circolarità - Metodi ed indicatori per la misurazione dei processi circolari nelle organizzazioni [3]
- Criteri di vaglio tecnico della Tassonomia Europea [4]

I risultati dell’analisi hanno permesso di individuare i migliori strumenti operativi per le diverse esigenze aziendali, sulla base sia del

livello di maturità con cui viene approcciato il tema, sia delle finalità organizzative e di comunicazione che costituiscono il principale driver di scelta.

Bibliografia

[1] BS 8001:2017 – Quadro di riferimento per implementare i principi dell'economia circolare nelle organizzazioni

[2] AFNOR XP X30-901 - Sistema di Gestione dei Progetti di Economia Circolare

[3] UNI/TS 11820 - Misurazione della circolarità - Metodi ed indicatori per la misurazione dei processi circolari nelle organizzazioni

[4]https://finance.ec.europa.eu/regulation-and-supervision/financial-services-legislation/implementing-and-delegated-acts/taxonomy-regulation_en (ultimo accesso 26/04/2023)

Keywords: Economia Circolare, Tassonomia, Circolarità

Email: dgiraldi@ambientesc.it

Studi preliminari sull'impiego di materiali innovativi ecocompatibili, finalizzati all'adsorbimento selettivo di inquinanti organici in ambito di campionamento e di analisi in matrici ambientali

M.R.Martina¹, R.Ragni¹, P.Cotugno¹, A. Fornaro², G.M.Farinola¹

*¹Dipartimento di chimica – Università degli studi Aldo Moro, Bari (BA)
– via Edoardo Orabona 4*

²Lab Service Analytica S.R.L. – Anzola dell'Emilia (BO) – via Emilia 51/C

Gli inquinanti organici persistenti (POPs) PCB, Diossine e Furani sono una classe di contaminanti ambientali noti per le loro capacità di bioaccumulo nell'ambiente e per le loro attività cancerogene nei confronti dell'essere umano.

I protocolli analitici di queste sostanze inquinanti sono stati fondati sull'impiego di fasi stazionarie ottimizzati nel corso degli ultimi decenni e che risultano ben collaudati come confermato dai metodi normati EPA, ormai attivi da alcuni decenni. Tali procedure di work-up sono basate sull'utilizzo di colonne di silice (acida, basica, neutra). Fluorisil, Silice funzionalizzate C18, allumina e con Carboxapok.

D'altra parte, i composti perfluorurati PFAS e Interferenti Endocrini, inquinanti annoverati come classe emergente, non hanno ancora protocolli di preparazione ed analisi ben definiti mentre di contro le normative di riferimento richiedono limiti di quantificazione sempre più stringenti.

Nella platea di sostanze nocive per l'uomo, in continuo aumento, risulta necessario il costante monitoraggio introdotto dall'innovativo lavoro dei chimici.

Lo studio di fasi stazionarie selettive nei confronti di specifici inquinanti emergenti è una parte centrale dell'innovazione in quanto consentirebbe di aumentare le selettività, ottimizzare le prestazioni analitiche complessive del protocollo preservando il consumo di solventi e di impatto sull'ambiente.

In generale lo studio che è stato effettuato dalle grandi industrie nei confronti della problematica degli inquinanti di nuova generazione è fondato sull'utilizzo di metodi noti e sulle loro comprovate *performance* nei confronti delle vecchie famiglie di inquinanti.

Metodi innovativi, ma ancora soggetto di studio, prevedono l'utilizzo di fasi stazionarie rappresentate dai *Molecularly Imprinted Polymers* (MIP).

Vari esempi sono stati proposti: fasi stazionarie MIP sintetizzate per composti perfluorurati e fasi stazionarie selettive per interferenti endocrini ottenute mediante procedure di sintesi con impiego di reattivi e solventi nella maggior parte dei casi dannosi per la salute dell'uomo e dell'ambiente.

Un esempio virtuoso è basato sull'utilizzo delle ciclodestrine, macromolecole che si sono mostrate selettive nei confronti dell'assorbimento di inquinanti, il cui impiego risulta essere molto interessante in questo ambito applicativo.

Dagli inizi del 2010 molti studi si sono concentrati anche sull'impiego del biochar: un carbone di origine vegetale che presenta proprietà utilizzate riguardo l'adsorbimento selettivo di inquinanti simili al grafenossido, ma senza gli onerosi costi di sintesi.

Nello studio di nuove metodologie di adsorbimento con maggiore carattere di ecocompatibilità, lo studio di messa a punto è rivolto di diverse tipologie di fasi stazionarie innovative per il campionamento ed analisi, anche impiegabili per il trattamento su larga scala di inquinanti.

La nostra ricerca è attualmente indirizzata sullo studio di diversi materiali e fasi stazionarie di origine naturale o di natura sintetica.

Fra i composti naturali la lignina, materiale ottenuto come scarto dell'industria cartiera, e quindi a basso costo, è stata studiata per l'adsorbimento di alcuni inquinanti con risultati preliminari incoraggianti.

Keywords: stationary phases, EPA methods, lignin

Email: matteo.r.martina.97@gmail.com, pietro.cotugno@uniba.it

Waste to chemical: idrogeno e carburanti a basso impatto da rifiuto

Giacomo Rispoli¹

¹*NextChem SpA*

Uno dei motivi principali alla base del problema del cambiamento climatico è la disparità tra il tempo caratteristico del consumo di carbonio da parte delle attività antropiche ed il tempo caratteristico dei processi naturali di assorbimento del carbonio. In sintesi, il carbonio segue un flusso circolare in natura ben bilanciato che viene sbilanciato da un consumo rapido delle riserve (fonti fossili) create nel corso dei secoli. Questa condizione di squilibrio porta quindi ad un aumento del contenuto di CO₂ nell'atmosfera fino a 420 ppm [1]. Per ribilanciare il sistema carbonio l'idea vincente è proprio riprendere i sistemi della natura stessa e promuovere quindi la circolarità del carbonio, e non solo. Il processo waste to chemical rappresenta perfettamente una tecnologia ready-to-business e una soluzione economicamente sostenibile in grado di promuovere la circolarità anche nel settore della produzione di idrogeno [2,3,4]. Generalmente, la tecnologia waste to chemical è in grado di produrre combustibile con una minore impronta di carbonio sfruttando una fonte di carbonio e idrogeno che viene comunemente smaltita: i rifiuti. La tecnologia proposta è in grado di convertire il carbonio e l'idrogeno contenuti nei rifiuti più difficili da recuperare o riciclare:

- Combustibile derivato dai rifiuti (CDR), proveniente dai trattamenti meccanici e biologici dei rifiuti solidi urbani (RSU);
- Plasmix, che è la frazione residua del trattamento di riciclaggio della plastica differenziata (circa il 40% in volume) [5]. Questa tecnologia è inoltre in grado di convertire anche quei rifiuti già mandati in discarica, permettendo di svuotare le stesse.

Il processo di trasformazione dei rifiuti è composto da cinque sezioni principali.

1. Gassificazione ad alta temperatura. Questo passaggio è il nucleo del processo complessivo. Mentre la frazione combustibile dei rifiuti viene convertita in syngas, la frazione inerte del rifiuto viene fusa – grazie all'alta temperatura raggiunta – e raccolta come materiale granulato vetrificato.

2. Pulizia e stoccaggio del syngas. Il syngas in uscita dal reattore di gassificazione viene bruscamente raffreddato da 1100°C a 90°C per congelare la composizione ed evitare la formazione di composti tossici. Il syngas freddo viene inviato a due scrubber e un filtro elettrostatico per eseguire una pulizia preliminare. Il syngas pulito viene inviato a un serbatoio di gas per controllare la potenziale fluttuazione della portata.
3. Compressione e purificazione del syngas. Il syngas proveniente dal serbatoio del gas viene compresso e purificato attraverso diverse fasi, tra cui letti adsorbenti, idrolisi e rimozione dello zolfo, al fine di ottenere un syngas di lucidatura profonda che non può contaminare i catalizzatori della fase successiva.
4. Condizionamento del syngas. In base al prodotto finale, la composizione desiderata del syngas deve essere regolata per soddisfare i requisiti di sintesi.
5. Sintesi finale, il syngas può essere separato per ottenere:
 - idrogeno;
 - metanolo, per sintesi catalitica;
 - etanolo, per fermentazione biologica, può essere prodotto.

La tecnologia Waste to Chemical può convertire diversi tipi di alimentazione. Il suo punto di forza è la valorizzazione della frazione di rifiuti solidi urbani (RSU) non riciclabile, e di tutte quelle cariche caratterizzate da una struttura chimica complessa, con l'obiettivo di recuperare il quantitativo di carbonio presente.

In particolare, un esempio rilevante sono le plastiche da mare che, nonostante il loro alto contenuto di cloro, risultano comunque adatte al processo di conversione chimica. Infatti, questa tecnologia ha le peculiarità di riuscire a degradare le diossine che eventualmente si formano nel corso del processo: l'elevata quantità di cloro contenuta non risulta quindi essere un problema.

Una tipica carica per il processo di gassificazione è il CDR, come precedentemente menzionato, ottenuto attraverso trattamenti meccanici biologici dalla frazione non riciclabile dei rifiuti solidi urbani. L'usuale destinazione di questo prodotto di scarto è l'accumulo in discarica. Tale soluzione risulta essere una questione di complessa gestione, proprio perché le discariche sono ormai sfruttate oltre la loro capacità. Da questo punto di vista, la tecnologia di gassificazione si propone come una valida alternativa.

La grande flessibilità sulla capacità di conversione rende la tecnologia applicabile anche per la conversione del residuo esistente in discarica. Ciò permetterebbe la possibilità di svuotare le stesse riutilizzando gli elementi chimici invece inutilizzati (approccio in linea con il più grande concetto di urbani minig).

Il syngas prodotto attraverso la tecnologia Waste to Chemical ha diverse applicazioni. La prima è la produzione di idrogeno. Per impianti industriali di grande taglia, a partire da una feedstock di 200 kta è possibile ottenere una produzione di 18 kta di idrogeno. Laddove si intende incentivare lo sviluppo dei sistemi che utilizzano idrogeno a basso impatto ambientale, ad esempio per la mobilità sostenibile, tramite la creazione di hydrogen valley, un'opzione è optare per gli schemi di coproduzione di idrogeno e metanolo o idrogeno ed etanolo.

Il vantaggio offerto dai processi waste-to-chemical è duplice: da un lato, costituisce un'alternativa alla produzione convenzionale di combustibili da fonti fossili; dall'altro risolve in maniera efficiente e circolare il problema dello smaltimento dei rifiuti.

Questa duplice caratteristica si riflette nell'economicità dello schema. La tariffa di ingresso derivante dallo smaltimento dei rifiuti compensa i costi aggiuntivi derivanti da un sistema innovativo, sofisticato e rispettoso dell'ambiente rendendo il costo finale competitivo in confronto a quello dei prodotti convenzionali.

Keywords: Idrogeno e carburanti da rifiuto, waste-to-chemical, syngas

Email: g.rispoli@myrechemical.it

Destino dei PFAS nel trattamento del percolato: configurazioni impiantistiche a confronto e caso studio del cluster italiano nelle circular economy routes investigate da promiscues

***Maria Grazia Ascì¹, Paolo Crocetti¹, Nicola Lancioni², Elisa
Blumenthal², Massimiliano Sgroi², Anna Laura Eusebi², Marco
Lazzazzara³, Alessandro Frugis³, Daniele Matteucci¹, Francesco
Fatone², Giancarlo Cecchini^{1,3}***

¹SIMAM S.p.A., gruppo Acea S.p.A., ²Department of Science and Engineering of Materials, Environment and Urban Planning-SIMAU, Marche Polytechnic University (UNIVPM), ³Acea Elaborasi, gruppo Acea

Le sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS) sono un gruppo di sostanze persistenti, mobili e potenzialmente tossiche per la salute umana, considerate uno dei principali ostacoli allo sviluppo dell'economia circolare in quanto il riutilizzo di materiali di scarto potrebbe favorirne la diffusione nell'ambiente. Il progetto PROMISCES (Preventing Recalcitrant Organic Mobile Industrial chemicals for Circular Economy in the Soil-sediment-water system), finanziato nell'ambito di Horizon 2020, mira ad identificare tecnologie e processi innovativi per prevenire l'inquinamento da PFAS nell'ambiente (ad es. acqua di superficie e acqua potabile), nonché nelle risorse recuperate (ad es. fanghi, acque reflue e sedimenti). PROMISCES vuole contribuire alla sfida europea di poter arrivare ad un ambiente "toxic free" e "zero pollution", garantendo la protezione della salute umana nell'attuazione delle pratiche di economia circolare. Il cluster italiano di PROMISCES, costituito da UNIVPM e dalle aziende SIMAM S.p.A. e Acea Elaborasi sta concentrando l'attività di ricerca sulla valutazione del destino dei PFAS nelle linee di trattamento del percolato di discarica e sullo studio di tecnologie sostenibili per la separazione e la distruzione dei PFAS sia dal percolato che dai fanghi di depurazione. Le discariche sono infatti una delle principali fonti di contaminazione da PFAS in ambiente poiché i rifiuti a base di PFAS possono rilasciare questi composti nel percolato e persino nell'aria. È prassi comune scaricare il percolato di discarica, dopo trattamento iniziale, negli impianti di trattamento delle acque reflue civili. Gli impianti convenzionali si sono

dimostrati inefficaci per la rimozione dei PFAS, mentre la presenza di composti precursori nell'influente può portare ad un aumento delle concentrazioni di PFAS nell'effluente dopo il trattamento biologico. Pertanto, i PFAS contenuti nel percolato possono essere rilasciati nell'ambiente acquatico attraverso gli effluenti o essere adsorbiti nei fanghi di depurazione civili limitandone il riutilizzo agronomico.

In Italia sono state effettuate campagne di campionamento in tre impianti di trattamento del percolato al fine di valutare il destino dei PFAS lungo la filiera di trattamento. È stata sviluppata una metodologia per la determinazione di trenta PFAS presenti in matrici complesse, come percolato, concentrato delle membrane e fanghi.

Il primo impianto monitorato è costituito da trattamento convenzionale con chiariflocculazione, trattamento biologico e membrane di ultrafiltrazione. Il secondo impianto è un impianto convenzionale di trattamento del percolato, composto da reattore biologico con aerazione intermittente, i fanghi di scarico subiscono processi di digestione e disidratazione insieme a quelli civili dell'impianto di trattamento delle acque reflue. L'ultimo impianto monitorato comprende diversi trattamenti preliminari: i) sezioni di pretrattamento con flottazione e filtro a sabbia, ii) osmosi inversa a doppio passo e iii) osmosi inversa per il trattamento del concentrato.

È programmato di effettuare un quarto monitoraggio tramite campagna di campionamento effettuata durante la marcia di impianto pilota, realizzato da SIMAM nell'ambito di PROMISCES, alimentato con l'effluente dell'impianto convenzionale N°1. Tale pilota comprende un primo skid di nanofiltrazione (utilizzabile anche come osmosi inversa sostituendo le membrane) e un secondo skid di osmosi inversa. Sono presenti sensori per il monitoraggio in continuo di conducibilità, temperatura e pH nel flusso di alimentazione, permeato e concentrato da cui ottenere correlazioni con i corrispondenti risultati analitici sulla quantificazione dei PFAS.

Nell'impianto di trattamento del percolato N°1, sono stati rilevati nella matrice liquida solo i composti PFBA, PFPeA, PFHxA, PFBS e PFOA. I bilanci di massa hanno mostrato una rimozione quasi nulla dei PFAS nel percolato di scarico. Le concentrazioni di PFAS osservate sono generalmente aumentate dall'influente all'effluente dell'impianto, suggerendo la possibilità che queste sostanze siano state rilasciate dai fanghi o attraverso la trasformazione dei precursori. Per PFBA, PFPeA e PFHxA le concentrazioni aumentano rispettivamente da 2,5 µg/L a 3,8 µg/L, da 2 a 2,5 µg/L e da 0,9 a 1,5 µg/L, mentre le concentrazioni

di PFBS e PFOA hanno mostrato lievi incrementi (PFBS da 3,6 a 4,1 µg/L, PFOA da 2,2 a 2,4 µg/L). Nei campioni di fanghi dell'impianto di trattamento N°1 sono stati trovati PFBS, PFOA e PFOS. In particolare, i PFOS non sono stati rilevati nella fase liquida, pertanto possono essere stati assorbiti in precedenza dai fanghi o prodotti dalla trasformazione dei precursori. Tuttavia, il rilascio di questo composto nella matrice liquida non è stato osservato a una concentrazione superiore del LOQ. Nell'impianto di trattamento del percolato N°2, PFBA, PFHxA e PFBS sono stati trovati nella fase liquida del percolato con concentrazione pari rispettivamente a 3,7, 1,5 e 1,7 µg/L. In questo impianto i fanghi di scarico vengono trattati insieme ai fanghi di depurazione civili. In tali fanghi è stato rilevato solo PFBA ad una concentrazione di 11 µg/kg. L'impianto di trattamento del percolato N° 3, basato sull'osmosi inversa, ha ottenuto un flusso di permeato in cui nessuno dei trenta PFAS analizzati è stato rilevato (LOQ = 15 ng/L). Tuttavia, il concentrato ha mostrato concentrazioni relativamente elevate di ΣPFAS (97,7 µg/L) e la linea di trattamento del concentrato ha rimosso solo parzialmente PFAS dal flusso (39,8 µg/L). I bilanci di massa dei PFAS evidenziano che la linea di trattamento del concentrato ha annullato la completa rimozione delle sostanze perfluoroalchiliche ottenute tramite osmosi inversa.

Gli impianti convenzionali di trattamento del percolato hanno quindi dimostrato una scarsa capacità di rimuovere i PFAS dal percolato di scarica. Tecnologie di trattamento avanzate, come l'osmosi inversa, possono fornire un permeato "privo di PFAS".

La versatilità del pilota PROMISCES consentirà l'analisi di due diverse configurazioni di processo (doppio passo e doppio stadio), in tal modo sarà possibile monitorare il destino dei PFAS nelle matrici trattate valutando l'efficienza di rimozione di ciascuna configurazione. Tuttavia, le elevate concentrazioni di PFAS che si trovano nel concentrato di RO possono portare alla contaminazione dei media ambientali da parte di questi composti. Lo sviluppo di ulteriori tecnologie per la distruzione dei PFAS in matrici concentrate è quindi necessario per raggiungere l'obiettivo "zero pollution".

Keywords: PFAS, economia circolare

Email: m.asci@simamspa.it , p.crocetti@simamspa.it

The Industrial Symbiosis approach in a waste-wastewater-energy bio-refinery: a LCA assessment

G. Mancini¹, L. Lombardi², A. Luciano³, D. Fino⁴

*¹Electric, Electronics and Computer Engineering Department, The University of Catania; ²Niccolò Cusano University
³ENEA; ⁴Department of Applied Science and Technology (DISAT), Poytechnical University of Turin,*

The purpose of this work is to propose a new model of industrial symbiosis (IS) intended as a modern bio-refinery process that can close the loop between waste, wastewater and energy from a sustainable point of view.

Three different scenarios, applied to a reference metropolitan area in a Southern Mediterranean region, have been investigated in this study with the aim of comparing different approaches, starting from the current scenario, for the future management of waste, wastewater and the associated energy recovery systems in perspective of Industrial Symbiosis with the aim of shifting from the current linear approach in waste and wastewater management to a completely circular management through a holistic approach fully exploiting the water-waste-energy nexus. Through this approach a large savings should be obtained in terms of new resources, energy, as well as a significant reduction in greenhouse gas (GHG) emissions and toxic substances.

In this context three different scenarios are considered:

- The current scenario with a low percentage of separate collection high recourse to landfilling and no Waste to Energy (WtE) application.
- The expected scenario (2030) with higher percentage of separate collection and material recovery but still with a linear management (landfill disposal) od sludge from wastewater treatment plant and residual waste.
- The expected scenario (2030) with higher percentage of separate collection and material recovery but also with energy recovery through the symbiotic utilization of the energy (electricity and heat) and material (combustion residues) from the WtE plant.

The methodological approach consists of a preliminary study of all the mass and energy balances of the three systems involved in the

Industrial Symbiosis: the wastewater treatment plant (WWTP), the WtE plant and the anaerobic digestion (AD) plant [1]. Subsequently the system was evaluated by Life Cycle Assessment (LCA), focusing on the climate change (CC) indicator, accounting for all the equivalent emissions of CO₂. Within the system boundary direct emissions from the considered processes were included, as well as indirect emissions from upstream processes to produce chemicals, energy and other inputs to the studied processes. While main function of the studied system is to properly treat wastewater and waste (i.e. the functional unit is the overall amount of wastewater and waste entering the system), several co-products are also produced as electricity, heat, biomethane, compost, recovered materials (plastics, metals, paper, etc. from separate collection; inert and metals from WtE combustion residues). To account for these co-products, the avoided effects – in terms of avoided equivalent CO₂ emissions - caused by substitution of products from conventional processes were accounted for..

Positive contributions are dominated by landfill and wastewater treatment. This last process is actually relevant for the impacts on Eutrophication freshwater (Ef) and Eutrophication marine (Em), accounting for the emissions of nutrients released into the environment by the wastewater treatment. Negative contributions are mainly dominated by the recovery of the materials from separate collection.

Additional savings are provided in the future symbiosis scenario by the WtE energy recovery and by the recovery of the OF energy by AD and biomethane production (here the avoided impacts of natural gas are accounted for). The indicator “Water use” is prevalently contributed by the reuse of water into the environment, after the enhanced wastewater treatment.

The LCA showed important reduction of the impact of MSW provided by the introduction of the energy recovery (by anaerobic digestion and Waste-to-Energy) and its symbiotic use to support the processes of anaerobic digestion, the total recovery of enhanced (+30%) biogas production for biomethane upgrade or hydrogen production, the total wastewater reuse (full recovery and ZERO wastewater discharge) and the full recovery of WWTP sludge, energy and bottom ashes metals and inert content. In addition, material recovery is increased also thanks to the recovery of phosphorus from the ashes with a significant reduction of disposal in landfill in line with the EU 2035 target (< 10%).

The proposed symbiotic model should be intended as a modern bio-refinery process, able to provide electricity, heat, and biomethane to industrial districts and surrounding cities, to significantly increase circularity and favouring a significant rapprochement toward the New Green Deal promoted by the European Union in these regions, which are clearly lagging behind.

The indicators “Climate Change”; “Ecotoxicity freshwater”, “Resource Use, mineral and metals” and “Resource Use,

Keywords: LCA assessment, wastewater-energy bio-refinery

Email: giuseppe.mancini@unict.it, lidia.lombardi@unicusano.it,
antonella.luciano@enea.it, debora.fino@polito.it

GESOCEV: Gestione Sostenibile delle Ceneri Vulcaniche precipitate sui territori etnei

**G. Mancini¹, M. Coltelli², D. Bonanno¹, F. Palmeri³, A. Luciano⁴, D.
Fino⁵**

¹Electric, Electronics and Computer Engineering Department, The University of Catania

*²Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Etno
3 Cisma-Ambiente*

4 ENEA

5 Department of Applied Science and Technology (DISAT), Polytechnical University of Turin

Il presente lavoro si inquadra nell'ambito di una problematica che ha provocato gravi impatti ambientali ed economici in seguito ad attività emissiva di ceneri vulcaniche ricadute al suolo sui territori etnei. Le attività di ricerca si sono focalizzate sullo studio di tale risorsa e sullo sviluppo di un protocollo atto a supportare una gestione sostenibile delle ceneri vulcaniche e a consentire un destino certo di tale risorsa in piena ottica di un'economia circolare sostenibile sotto tutti i profili. Sulla base dell'analisi di letteratura scientifica consolidata, si è infatti riscontrato che, nonostante siano stati proposti diversi usi possibili dal punto di vista strettamente tecnico/scientifico, come per esempio nel campo edilizio e geotecnico o nella realizzazione di geopolimeri, questi risultano avere forti limitazioni nell'applicazione industriale per le caratteristiche intrinseche al fenomeno eruttivo che non consentono di pianificare un utilizzo certo, in disponibilità e quantità, per come richiesto da qualunque ciclo industriale complesso. L'approccio seguito, si è quindi indirizzato ai possibili impieghi in ambito agricolo e/o di risanamento ambientale paesaggistico con l'idea principale di restituire al suolo, come avviene da millenni, le ceneri del vulcano, possibilmente aumentandone i già noti benefici. In particolare, si è previsto di potenziare alcune caratteristiche intrinseche delle ceneri quali il rilascio sul lungo periodo di microelementi utili al suolo agricolo e l'assorbimento di CO₂, favorendo il ripristino del contenuto organico del suolo e contrastando il cambiamento climatico.

Inizialmente l'attività si è focalizzata sulla caratterizzazione chimico-fisica delle ceneri vulcaniche che sono state campionate secondo la

normativa 10802:2013. E' stato possibile distinguere diverse tipologie di ceneri, sia in base alla loro provenienza (spazzamento stradale, raccolta da parte di privati, provenienza mista) - e quindi diversa potenziale contaminazione - sia in base alle susseguenti modalità di conservazione durante lo stoccaggio provvisorio (in sacchetti, materiale sfuso, materiale sfuso ma sotto copertura).

Per avere dei parametri di riferimento, le ceneri vulcaniche sono state analizzate seguendo l'allegato 3 del DM 05-02-1998, dove sono individuati i criteri da rispettare per il recupero dei rifiuti con procedura semplificata. Inoltre, attraverso un'attenta analisi della letteratura scientifica consolidata, sono state valutate varie proposte di utilizzi delle ceneri vulcaniche in diversi cicli produttivi considerando come prioritaria l'esigenza, in ottica di sostenibilità, di individuare quei percorsi di utilizzo che ne garantiscano un impiego pressoché totale, rispetto a soluzioni che invece ne consentono un parziale riutilizzo (es. settore delle costruzioni). Tra le alternative che soddisfano tale criterio l'utilizzo in ambito agricolo è stato considerato quello più sostenibile. Sono stati quindi misurati alcuni metalli lisciviabili dalle ceneri vulcaniche, utili alla crescita e alla salute delle piante e delle coltivazioni. Sono state preparate quindi diverse miscele di ceneri vulcaniche con due tipologie di terreno dell'Etna (sabbioso e argilloso) con diverse proporzioni: 10/90, 30/70, 50/50. Sono state svolte le analisi sempre seguendo l'allegato 3 del DM 05-02-98 [13], sia per i due terreni singolarmente che per tutte le miscele.

Successivamente alla caratterizzazione l'attenzione è stata concentrata sulla stesura di un protocollo di gestione/riutilizzo, sufficientemente olistico per una gestione sostenibile nel pieno rispetto del quadro normativo vigente. Tale protocollo prevede in grande sintesi due distinti percorsi: il primo rappresenta la gestione delle ceneri vulcaniche come rifiuto, il secondo invece come non rifiuto.

Dalle analisi condotte sulle ceneri durante il presente studio risulta evidente che le stesse rientrano sostanzialmente nei limiti previsti dall'allegato 3 del DM 05/02/98. Pertanto, qualora non sia applicabile il DL Semplificazioni 2021, le ceneri vulcaniche potrebbero comunque venire recuperate e reimmesse in un ciclo produttivo anche seguendo la filiera dell'End-of-Waste sotto opportuna autorizzazione da parte della Regione. Poiché i rifiuti vulcanici derivano dalla pulizia delle strade e dagli spazi pubblici si poteva supporre che le stesse potessero risultare contaminate da idrocarburi ed altre impurità/contaminanti

(es.metalli) in grado di pregiudicare o limitare il loro destino per il recupero. Le analisi effettuate in questo studio non individuano concentrazioni significative di idrocarburi, né di PCB (policlorobifenili) e PCT (policlorotrifenili), né IPA (idrocarburi policiclici aromatici). Inoltre, si evince che le ceneri vulcaniche non hanno assorbito quantità rilevanti di contaminanti ed il loro rilascio non pare dipendere dai meccanismi di precipitazione sul suolo e successiva raccolta. Si può stimare che il contenuto in metalli fra i vari campioni risulta globalmente in linea con i requisiti di legge, risultato che fa presupporre un possibile e sicuro utilizzo delle ceneri. In aggiunta, dalle analisi effettuate, alcuni metalli in piccola parte lisciviabili dalle ceneri vulcaniche potrebbero risultare utili per l'agricoltura; tra questi l'alluminio, il ferro e il fosforo (in maggior quantità), ma anche magnesio, sodio, calcio e manganese (in minor quantità).

Per quanto riguarda le sperimentazioni sulle miscele, i risultati confermano che tutti i parametri rientrano entro i limiti dell'allegato 3 del DM 05/02/98. Di interesse è il comportamento del pH delle miscele e del terreno, che non mostrano differenze significative confermando che la miscelazione delle ceneri con entrambi i terreni non modifica gli equilibri geochimici.

In sintesi, i vantaggi evidenziati all'impiego delle ceneri vulcaniche dell'Etna in agricoltura sono i seguenti:

- Possono avere una diversa granulometria rispetto a quella del terreno e questo porta a migliori caratteristiche strutturali del terreno miscelato.
- Sono capaci di rilasciare microelementi come alluminio, ferro e fosforo.
- Hanno la capacità di assorbire CO₂ dall'atmosfera e quindi contribuiscono alla lotta contro il cambiamento climatico.

Keywords: Ceneri Vulcaniche, economia circolare

Email : giuseppe.mancini@unict.it, mauro.coltelli@ingv.it,
labsiram@gmail.com, antonella.luciano@enea.it,
debora.fino@polito.it

La gestione dei rifiuti da bonifica e le iniziative di recupero

Monica Burgio¹, Antonello Carlomagno¹

¹Eni Rewind – Waste Integrated Logistics Management

Eni Rewind è la società ambientale di Eni che da vent'anni è impegnata nella valorizzazione dei terreni, delle acque e dei rifiuti attraverso progetti di risanamento e di recupero sostenibili. Con circa 1.000 dipendenti, Eni Rewind è global contractor ambientale per tutte le linee di business Eni, dall'upstream alla rete delle stazioni di servizio, e dà supporto a Eni nella progettazione di interventi ambientali all'estero. Dal 2020, con l'obiettivo di una progressiva evoluzione a operatore di mercato, offre i propri servizi ambientali anche a committenti terzi pubblici e privati

Per quanto riguarda il Waste Management, Eni Rewind gestisce l'intero ciclo dei rifiuti derivanti da attività industriali, di risanamento e decommissioning delle strutture dismesse, in linea con le normative vigenti e le best practice del settore. Il recupero dei rifiuti e dei reflui industriali è un obiettivo importante dell'economia circolare che Eni Rewind intende perseguire a supporto di un modello di sviluppo più sostenibile.

Nel 2022 abbiamo gestito circa 2 milioni di tonnellate di rifiuti, di cui circa l'84% per conto di Eni, e avviato a recupero oltre il 70% di quelli recuperabili.

La trasformazione digitale e l'innovazione tecnologica sono pilastri fondamentali per una crescita di valore volta a rendere il business sempre più integrato e resiliente. Tale approccio ottimizza l'efficienza e la qualità degli interventi ambientali, contribuisce a ridurre i rischi oltre a migliorare la sicurezza fisica delle persone e l'integrità degli asset.

Il modello di gestione rifiuti di Eni Rewind adotta le migliori soluzioni tecnologiche disponibili sul mercato e ottimizza la distanza tra il sito di origine e gli impianti di conferimento, consentendo di minimizzare gli impatti ambientali. Nel 2021 Eni Rewind ha realizzato una piattaforma digitale integrata «Waste Management Center» (WMC),

al fine di consentire la completa digitalizzazione e di potenziare la tracciabilità del processo in tutte le sue fasi.

La gestione dei Rifiuti Pericolosi in Italia è pari a circa 10 Mton/anno (circa 6% del totale dei rifiuti speciali). Le maggiori criticità nella loro gestione si riscontrano nell'ambito di quanto di seguito citato:

- capacità residua delle discariche per la ricezione di rifiuti pericolosi, in particolari per rifiuti contaminati da amianto e contenenti NORM/TENORM;
- limitata capacità di termovalorizzazione rispetto alle taglie medie degli impianti presenti sul territorio europeo;
- progressive restrizioni al conferimento presso impianti al di fuori del perimetro nazionale.

Sulla base di quanto sopra, al fine di ovviare alle carenze impiantistiche strutturali presenti sul territorio nazionale, Eni Rewind ha posto in essere una serie di progetti ambientali, volti all'applicazione di tecnologie/soluzioni in-situ/on-site, attraverso i quali minimizzare il trasferimento di rifiuti, in particolare sui siti di Porto Torres, Gela, Pieve Vergonte.

Eni Rewind ha inoltre posto in essere una serie di progetti rilevanti e tecnologie finalizzati al trattamento dei rifiuti, tra i quali:

- WTE – Porto Marghera;
- Centro di trattamento integrato “Ponticelle” - Ravenna;
- Piattaforma polifunzionale “Nuraghe” – Porto Torres;
- Tecnologia Blue Water – Viggiano.

Keywords: Bonifica e gestione rifiuti, recupero materiali

ETV come strumento di verifica delle prestazioni ambientali per favorire la diffusione e l'adozione di tecnologie innovative

Emanuela De Marco¹, Erika Mancuso¹, Silvia Sbaffoni¹

¹ENEA, Laboratorio Valorizzazione delle Risorse nei Sistemi Produttivi e Territoriali RISE

La crescente domanda di innovazioni verdi derivante dagli obiettivi del Nuovo Green Deal dell'UE ha ampliato il divario tra gli obiettivi ambientali e climatici e la realtà delle prestazioni delle tecnologie attualmente presenti sul mercato. Allo stesso tempo, ha creato un ampio spazio per l'innovazione e nuove opportunità per gli sviluppatori e gli utilizzatori delle tecnologie. È pertanto necessario promuovere strumenti in grado di commercializzare su vasta scala le nuove tecnologie ambientali per la transizione verde, potenziandone l'accettazione ed il riconoscimento da parte del mercato.

Le innovazioni verdi forniscono nuove soluzioni tecniche necessarie per la transizione verso l'economia circolare, per il miglioramento dell'efficienza energetica, per la riduzione dell'inquinamento e degli impatti ambientali negativi generati dai processi di produzione. Affinché queste innovazioni possano beneficiare del loro valore aggiunto ambientale, deve essere assicurata una diffusione su larga scala opportunamente affiancata da informazioni credibili ed obiettive sulle reali prestazioni e dunque sui vantaggi generati dalla loro applicazione.

ETV (Environmental Technology Verification) è uno schema di verifica volontario delle tecnologie verdi, finalizzato a confermare le prestazioni ambientali in modo imparziale e credibile e di conseguenza ad acquisire attrattività sul mercato molto più rapidamente.

In questo contesto il progetto LIFEproETV (<https://lifeproetv.eu/>), nell'ambito del programma LIFE, promuove, sviluppa conoscenze e crea un contesto politico favorevole all'accettazione di ETV come schema volontario a supporto della diffusione e dell'accettazione sul mercato delle tecnologie ambientali innovative.

ETV fornisce un'attestazione di verifica gestita da terze parti delle prestazioni ambientali dichiarate da un fornitore di tecnologia, sulla

base di dati controllati e garantiti relativi ai test di performance della tecnologia stessa. La verifica consiste nell'evidenza oggettiva che il progetto tecnico di una tecnologia ambientale consente di ottenere una prestazione dichiarata (tecnico/funzionale) e nella definizione dei conseguenti benefici ambientali derivanti dalla sua applicazione specifica in condizioni operative definite. Questo consente di dimostrare l'efficacia di una nuova soluzione rispetto ad un problema ambientale e la sua capacità di riduzione dell'impatto ambientale rispetto alle attuali tecnologie, con lo stesso scopo, disponibili sul mercato.

Nel panorama delle sfide ambientali generate dalla transizione verso l'economia circolare, numerose sono le opportunità che l'adozione dello schema di verifica ETV potrebbe offrire per superare barriere di diversa natura, normative, tecnologiche, culturali e di mercato. In particolare:

- La disponibilità di informazioni che la verifica ETV mette a disposizione concorre a rafforzare la fiducia degli utenti nelle tecnologie innovative, generando dinamiche vantaggiose per la competitività delle tecnologie stesse sul mercato. Inoltre, le aziende che acquistano tecnologie verificate nell'ambito dell'ETV possono utilizzare le informazioni come prova delle loro prestazioni ambientali attraverso la dichiarazione di verifica dell'ETV (Statement of Verification);
- I fornitori e gli acquirenti della tecnologia possono beneficiare dell'ETV come sistema complementare utile fornire dati sulle prestazioni funzionali dei prodotti e delle tecnologie con applicazioni B2B che soddisfino i criteri della direttiva Eco-design;
- Fornire una valutazione indipendente prima che la tecnologia venga integrata nel processo di upscaling aiuterebbe a creare le condizioni per rendere le nuove tecnologie applicabili su scala industriale in tutti i settori legati agli aspetti ambientali;
- ETV potrebbe supportare l'istituzione di incentivi appropriati e d'impatto per i produttori/fornitori/acquirenti/utilizzatori di tecnologie verificate nell'ETV, accelerando in modo significativo il loro utilizzo, applicazione e sviluppo nonché la diffusione sul mercato.

Le strategie da attuare per valorizzare ETV e rafforzarne il valore in termini di attrattività del mercato sono delineate in un Roadmap, un documento che definisce i percorsi da intraprendere per il potenziamento dei benefici ed il raggiungimento degli obiettivi dettati dalle sfide specifiche e settoriali su questioni ambientali in relazione ai contesti Nazionali peculiari dei paesi partner del progetto LIFEproETV (Polonia, Ungheria, Spagna, Italia e Slovenia)

La sfida italiana è la definizione di ETV come strumento di supporto alle politiche nazionali, volto a sostenere gli obiettivi definiti dalla Strategia Nazionale sull'Economia Circolare.

L'obiettivo è dunque quello di identificare una serie di azioni tangibili all'interno di una visione di sistema a supporto dell'ecosistema dell'innovazione dell'UE e definire gli asset necessari affinché ETV possa svolgere efficacemente il ruolo di booster nella diffusione delle innovazioni verdi.

Keywords: Environmental Technology Verification, ETV

Email: emanuela.demarco@enea.it

Il percorso verso l'Economia Circolare: misurare come l'Eco-Innovazione supporta le imprese nell'affrontare le sfide della Sostenibilità

Stefano Brogi¹, Tamara Menichini²

¹Consiglio Nazionale delle Ricerche (USRG-CNR), Roma

²Ingegneria Economico-gestionale – Università di Roma “Niccolò Cusano”

Gli obiettivi globali di sostenibilità fissati dall'Agenda 2030 delle Nazioni Unite evidenziano la necessità di disaccoppiare lo sviluppo economico dall'esaurimento delle risorse naturali. Paradigmi sostenibili di sviluppo implicano un'integrazione equilibrata di resilienza ambientale, prestazioni economiche e inclusione sociale a beneficio delle generazioni attuali e future.

L'Economia Circolare (CE), concepita come un sistema industriale che consente ai prodotti e alle risorse di mantenere, recuperare e conservare il valore, affrontando contemporaneamente la sfida della scarsità di risorse, dell'impatto ambientale e della garanzia dei benefici economici, sta emergendo come un nuovo paradigma per la sostenibilità dello sviluppo economico.

Per guidare il passaggio alla CE, le imprese hanno un ruolo chiave da svolgere. In particolare, tale transizione rende cruciale per le aziende identificare strategie e pratiche alternative al fine di coniugare la crescita del business con le sfide della sostenibilità. Da una prospettiva manageriale, la sfida principale è quella di ripensare i modelli di business esistenti al fine di fornire una maggiore creazione di valore con un consumo minimo di risorse. I modelli di business circolari (CBMs) garantiscono che un'impresa crei, fornisca e catturi valore rallentando, chiudendo o riducendo i flussi di energia e materiali.

L'Eco-Innovazione (EI), forma di innovazione che combina innovazioni tecnologiche e non-tecnologiche al fine di fornire soluzioni socio-tecniche che proteggono l'ambiente riducendo l'uso delle risorse o recuperando il valore delle risorse già utilizzate, è ampiamente riconosciuta come principale driver per il passaggio ai CBMs. Pertanto, le aziende sono chiamate a progettare e implementare soluzioni eco-innovative per riconfigurare l'intera catena del valore, riducendo gli

sprechi e chiudendo o rallentando i loop di prodotti, materiali ed energia, cambiando il modo in cui i consumatori interagiscono con i prodotti.

Ciononostante, sebbene sia ampiamente riconosciuta l'importanza dell'EI per la transizione verso la CE, la letteratura evidenzia la mancanza di metriche e metodi standardizzati per monitorare i progressi e l'efficacia delle strategie circolari, soprattutto a livello aziendale.

Su questa base, si presentano metodi di assessment per misurare il contributo delle soluzioni eco-innovative in ottica di valore circolare, a supporto di processi decisionali strategici aziendali e di politica di sviluppo industriale.

Tali metodi si basano su metodi di analisi multi-criteriale (MCDM) integrati con logica fuzzy, e analisi qualitativa di contenuto (QCA) e considerano l'intero ciclo di produzione, consumo e smaltimento.

Keywords: Circular Economy (CE), Eco-Innovation (EI), Sustainability, EI and CE assessment

Email: stefano.brogi@cnr.it, tamara.menichini@unicusano.it

VI. Intelligence e legislazione ambientale

Contrasto agli illeciti ambientali: Tecniche di Intelligence

*Andrea Spitale*¹

¹ *Università della Calabria – Master in Intelligence: estratto elaborato finale di tesi*

Il presente studio ha come obiettivo quello di avvicinare il variegato ecosistema preposto alla tutela ambientale al tema dell'intelligence, nell'intento di far comprendere il valore aggiunto che le tecniche di raccolta, elaborazione, analisi e fruizione delle informazioni possono fornire al contrasto degli illeciti ambientali.

L'importanza di tutelare l'ambiente è sempre più al centro delle politiche internazionali poiché gli effetti della sua compromissione determinerebbe infauste conseguenze su scala planetaria, con ripercussioni in ambito sociale ed economico; pertanto, il nostro Paese deve prendere ancora più coscienza che la sicurezza nazionale postula anche dalla tutela dell'ambiente.

In relazione alla peculiarità della materia è stata ricercata un'esposizione semplice al fine di stimolare nei lettori un cambio di paradigma mentale per future azioni di contrasto agli illeciti ambientali condotte anche grazie ad adduzioni informative.

Si è preso abbrivio anzitutto dalle definizioni, dalle parole e segnatamente dal loro peso in campo sociale e giuridico, illustrando la loro evoluzione armonicamente al *sentiment* delle popolazioni. L'ambiente pertanto è inteso come tutto ciò che ci circonda ed al contempo anche come settore appetibile per la criminalità organizzata, poiché la sua gestione determina giri d'affari caratterizzati da ingenti flussi di denaro.

Sono state tratteggiate alcune delle risorse ambientali maggiormente colpite dagli illeciti, argomentandone significati e benefici senza dimenticare la sfera culturale, economica e storica, non scevra da considerazioni sul futuro, con dei casi studio.

Realizzare asimmetria informativa a favore degli addetti al contrasto degli illeciti ambientali è la stella polare che porterebbe verso una maggiore capacità predittiva, foriera di successo nelle indagini.

Un'intelligence quindi rivolta all'ambiente, un filone ove non ci si è concentrati e formati adeguatamente.

Nel capitolo dedicato alle tecniche di intelligence è più volte delineata la definizione di informazione ambientale, da ritenersi in generale assolutamente accessibile a chiunque, attesa la trasversalità della materia.

Poiché la complessità del sistema ambiente necessita di un approccio analitico commisurato al diverso grado di complicità dei fenomeni che ci prefiggiamo di mitigare, nel testo il lettore sarà più volte invitato a superare un approccio *prontualistico*, poiché denotato da superficialità.

Allo studio è aggiunta un'intervista alla dott.ssa Emanuela Somalvico analista investigativo ambientale membro della task force del Commissario unico alla bonifica dei siti contaminati, che sostanzialmente: introduce il tema della connessione tra i crimini ambientali e riciclo di denaro che la criminalità organizzata reinveste in altri settori criminali, conferma l'importanza della formazione del personale che deve necessariamente possedere *approfondite conoscenze degli scenari geopolitici e regionali* e ribadisce l'utilità di applicare un metodo di analisi interdisciplinare per contrastare i crimini ambientali, specie se connessi alla criminalità organizzata e/o terrorismo.

In definitiva, sulla scorta delle specifiche formazioni accademiche, tecniche e di ricerca scientifica di coloro che hanno aderito alla realizzazione del lavoro, questo documento vuole essere l'ennesimo invito a ricercare una maggiore efficacia nei controlli ambientali, attraverso le tecniche tipiche dell'intelligence.

Keywords: Intelligence, Ambiente, Informazione, Dati.

E-mail: andreaspitale@hotmail.com

Guida operativa per l'individuazione del responsabile dell'evento di contaminazione: un approccio sistemico verso una proposta di linea guida

Luigi Marangio¹, Chiara Fiori¹, Maurizio Guerra¹, Roberto Mazzitelli¹, Eugenia Bartolucci¹, Giovanni Reina¹

¹ISPRA- Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia – Area Protezione del Suolo e Siti contaminati

Nell'ambito di una specifica convenzione tra l'ISPRA e la Città Metropolitana di Roma Capitale (CMRC), è stata redatta una proposta di linea guida (PLG) con la finalità di fornire alla CMRC uno strumento di supporto alle decisioni durante il complesso iter amministrativo, procedurale e tecnico volto all'identificazione del responsabile della contaminazione.

La PLG non ha la pretesa di identificare il responsabile oltre ogni ragionevole dubbio ma si pone, tra gli obiettivi principali, quello di suggerire un percorso tecnico/amministrativo che permetta di redigere una istruttoria tecnica sulla ricerca ed individuazione del responsabile della contaminazione sufficientemente "robusta", attraverso le seguenti azioni:

- strutturare il processo di indagine, che deve essere necessariamente avviato, mettendo a sistema sia le informazioni già disponibili ed acquisite sia le ricerche documentali che la CMRC deve effettuare sull'area vasta nell'intorno del sito notificato;
- proporre un metodo di calcolo sulla base del quale sia possibile stabilire un ragionevole livello di probabilità con il quale una situazione di contaminazione possa essere connessa ad ogni singola potenziale sorgente di contaminazione presente nell'intorno del sito oggetto del procedimento amministrativo e in grado quindi di supportare l'Amministrazione competente nel processo decisionale per la ricerca del responsabile della contaminazione nella accezione giuridica del "*più probabile che non*".

Il documento è strutturato secondo diversi livelli conoscitivi e presuppone che vi siano condizioni limitanti sulla possibilità di

effettuare in modo diretto indagini tecniche specificamente dedicate alla ricerca del responsabile della contaminazione in capo alla Pubblica Amministrazione. L'obiettivo è quello di far emergere e mettere a sistema tutte le informazioni sia di carattere amministrativo sia tecnico già esistenti anche in virtù della vigenza di altre norme (norme specifiche di settore, autorizzazioni, buone pratiche certificate, etc) e permettere, attraverso una apposita procedura guidata, di indirizzare l'istruttoria prevista dagli artt. 244 e 245 del Testo unico Ambientale (T.U.A.) in capo alla CMRC.

La procedura proposta è articolata in tre fasi. Nelle prime due (Fase 0 e Fase 1) sono descritte le procedure di carattere tecnico amministrativo per la richiesta ai soggetti notificati della documentazione amministrativa e tecnica necessaria ad avviare l'istruttoria e le successive indagini di cui agli artt. 244 e 245 del d.lgs. 152/2006 nonché la sistematizzazione delle informazioni raccolte.

La Fase 2 prevede l'elaborazione di una specifica sequenza di istruzioni che coniugano le informazioni di carattere geografico e spaziale (tramite strumenti GIS opensource) e quelle di tipo tecnico e amministrativo organizzate in fogli elettronici. Tale procedura permetterà, tramite l'assegnazione di opportuni indici e pesi acquisiti nelle fasi precedenti, di supportare l'Amministrazione competente nella ricerca del responsabile della contaminazione restituendo come output un valore di probabilità sulla responsabilità della contaminazione connessa ad una specifica sostanza e ad ogni singola potenziale sorgente presente nell'intorno del sito oggetto di indagine.

Keywords: Responsabile della contaminazione, indagini artt. 244 e 245 D.Lgs. 152/2006, istruttoria tecnica

Email : luigi.marangio@isprambiente.it

Il contributo delle cc.dd. “aree interne” alla transizione energetica

Maria Grazia Nacci¹, Cecilia Pannacciulli²

¹Università degli Studi di Bari ‘Aldo Moro’, Dipartimento di Scienze Politiche

²Università degli Studi di Bari ‘Aldo Moro’, Dipartimento di Giurisprudenza

Le “aree interne”, in quanto territori marginalizzati rispetto all’offerta di un livello adeguato di servizi di cittadinanza, sono protagoniste di una specifica strategia di valorizzazione della gestione sostenibile del territorio. Si tratta della c.d. SNAI (“Strategia Nazionale delle Aree Interne”), una politica innovativa di sviluppo e coesione territoriale, avviata nel 2012, che mira a favorire un miglioramento delle tendenze demografiche sia stimolando la capacità di queste aree di concorrere ai processi di crescita e coesione nazionale, sia implementando percorsi di sviluppo locale centrati sulla valorizzazione delle risorse specifiche dei luoghi. A questo proposito la SNAI individua diversi ambiti rilevanti tra i quali spicca l’attivazione di filiere delle energie rinnovabili nella prospettiva della sostenibilità ambientale e della transizione ecologica. Ben si comprende, infatti, come investire sulle aree interne significhi anche proteggere e valorizzare l’ambiente specifico dei territori in cui esse insistono anche attraverso l’adozione di un modello di *green economy* che sia basato sull’utilizzo di sistemi di produzione sostenibili, sul rispetto delle risorse ambientali, sull’impiego di energie rinnovabili (v. *Strategia nazionale delle Green Community*, elaborata presso il Dipartimento per gli affari regionali e le autonomie in attuazione dell’art. 72 della l. n. 221 del 2015 (Collegato ambientale 2016) nonché Ciclo di programmazione dei Fondi di coesione 2014-2020 e successivi aggiornamenti). Anche il PNRR dedica ampio spazio alla SNAI riconoscendo e promuovendo l’intersezione dello “sguardo nazionale” con lo “sguardo locale” nella formulazione della strategia di sviluppo economico e di coesione sociale del Paese (politiche *place-based*, ovvero “rivolte ai luoghi”). Peraltro, ripensare i servizi offerti ai cittadini in un’ottica di ribilanciamento territoriale implica la necessità di ricorrere a nuove

soluzioni di *governance*, capaci di coinvolgere volta per volta i diversi attori, i presidi territoriali e gli Enti locali competenti nelle specifiche materie di riferimento. Si pensi al contributo dei GAL (Gruppi di Azione Locale: organizzazioni, solitamente di natura consortile, composte da soggetti pubblici e privati che si propongono di favorire lo sviluppo e contrastare lo spopolamento di aree rurali e montane attraverso progettualità e interventi finanziati dalle risorse dei Fondi strutturali europei) che, durante la Programmazione 2014-2020 hanno potuto sviluppare progettualità inerenti diversi ambiti di interesse, tra i quali cura e tutela del paesaggio, valorizzazione e gestione delle risorse ambientali e naturali, sviluppo della filiera dell'energia rinnovabile. Con riguardo a quest'ultimo ambito, deve segnalarsi la recentissima esperienza pugliese dell'Area interna dei Monti Dauni che, attraverso il coinvolgimento di cittadini, imprese e numerose altre realtà del territorio (tra le quali merita menzione il GAL Meridaunia) si propone, non senza difficoltà, di produrre, consumare e scambiare energia in un'ottica di transizione energetica, economia circolare, oil free zone e avvio di una vera e propria CER (Comunità energetica rinnovabile).

Gli effetti allarmanti dell'emergenza climatica hanno, infatti, reso necessario delineare forme e modelli alternativi per la produzione dell'energia e, tra questi, le CER si fanno apprezzare come strumenti di promozione di una diversa concezione dei legami sociali e comunitari, ma anche come possibile soluzione degli impatti ambientali negativi (v. *il Clean Energy for all Europeans Package* del 2019, in cui viene previsto un importante allargamento del bacino di soggetti giuridici che possono giocare un ruolo attivo all'interno del processo di transizione ecologica, in vista del raggiungimento degli obiettivi definiti dall'*European Green Deal*). Fondate sulla cittadinanza attiva e sulla partecipazione di diversi attori sociali, e orientate alla produzione di fonti rinnovabili, le comunità energetiche possono rappresentare importanti acceleratori di una transizione ecologica/energetica sostenibile e, se attivate in territori marginalizzati come le aree interne del Paese, contribuire a valorizzare le culture locali e territoriali.

Keywords: aree interne, transizione energetica, GAL, comunità energetica rinnovabile (CER).

Email: mariagrazia.nacci@uniba.it, cecilia.pannacciulli@uniba.it

Intelligence ambientale ed il ruolo nel prevenire i fenomeni di corruzione

Vincenzo Piscitelli¹, Emanuela Fiucci² Laura Di Giovanni³

¹ Istituto di Ricerca Sulle Acque - Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRSA-CNR), Sede Secondaria di Bari

² Istituto di Ingegneria del Mare – Consiglio Nazionale delle Ricerche (INM-CNR), Sede di Roma

³ Ufficio Contratti e Partnership – Direzione Centrale Gestione delle Risorse

L'intelligence ambientale (Aml o in inglese "Ambient intelligence"), concetto coniato dall'ISTAG, "Information Society Technologies Advisory Group", gruppo di consulenza della direzione generale Società dell'informazione e mezzi di comunicazione della Commissione europea, è uno strumento previsto dalla normativa sulla tutela ambientale che fa uso di tecnologie informativa e telematica, quali le immagini satellitari, e non solo, per studiare i cambiamenti ambientali a seguito di un'emergenza, a tutela della sicurezza dell'ambiente e per la prevenzione di rischi.

All'intelligence è richiesto di valutare i rischi per la sicurezza che, nel nuovo secolo, si traducono in mancata prevenzione del rischio e della corretta valutazione dell'interazione tra uomo e ambiente.

L'attuale contesto post-pandemico e, in particolare, le difficoltà economiche delle imprese, derivanti dallo smaltimento dei residui delle lavorazioni è un terreno fertile al proliferare dei fenomeni corruttivi.

Un ruolo fondamentale di contrasto ai fenomeni corruttivi è legato al controllo del territorio, ai rapporti con la politica e con le così dette mafie imprenditrici, o "ecomafie", cioè organizzazioni mafiose dedite al traffico e allo smaltimento illegale dei rifiuti, attive nei crimini contro l'ambiente e contro il patrimonio artistico-culturale di un territorio. Oggi il ciclo illegale dei rifiuti è una delle voci più redditizie, se non la più redditizia, dell'economia criminale.

In questo contesto entra in campo l'intelligence ambientale, quale branca dell'intelligence che si occupa di illeciti e crimini ambientali, anche detti eco-crimini.

Fino al 2015 in Italia non esisteva una vera e propria legislazione ambientale, esistevano norme poco chiare che sanzionavano il reato ambientale solo con pene di tipo amministrativo/civilistico. A partire dal 2015, grazie anche al prezioso lavoro di indagine dei servizi segreti, è stata emanata la Legge n. 68/15 dal titolo "Disposizioni in materia di delitti contro l'ambiente" volta a tutelare le istituzioni non solo prevenendo i crimini nell'ambito ambientale, ma anche strutturando un impianto informativo a tale scopo.

L'intelligence si colloca nell'ambito degli studi strategici e in questo quadro ogni problema, compreso quello ambientale, va inserito in un'ottica globale al fine di instaurare un sistema di sicurezza che dovrà servire a valutare e a dare alle forze dell'ordine uno scenario di vulnerabilità oltre alla possibilità di prendere decisioni che saranno in grado, di connettere i diversi punti ed elementi della conoscenza, oltre che favorire un modello di analisi e di previsione non-lineare, nel raggiungere nuove fonti di analisi e di valutazione della minaccia.

L'interazione tra uomo e ambiente è, da sempre, un elemento portante della sicurezza di uno Stato e oggi diventa addirittura centrale nel valutare adeguatamente i rischi sistemici e la capacità di promuovere uno sviluppo umano, economico e civile che non comprometta la sopravvivenza delle generazioni future.

Il prof. Antonio Felice Uricchio, docente e giurista, in un intervento ad un Master sull'Intelligence, ha specificato che: "L'intelligence ambientale va condivisa come bene universale perché anticipa catastrofi e pandemie. Gli Stati non devono dipendere dai privati per possedere le informazioni pregiate". "L'uomo per molti secoli ha subito l'ambiente mentre oggi lo sta trasformando in modo sempre più rapido. L'intelligence ha riguardato per molto tempo solo gli aspetti militari legati alla guerra invece oggi rappresenta una strategia del futuro".

Keywords: intelligence ambientale, corruzione, ecomafie

Email: vincenzo.piscitelli@ba.irsas.cnr.it, emanuela.fiucci@cnr.it,
laura.digiovanni@cnr.it

Il credito di imposta quale volano per un riordino degli incentivi fiscali alle imprese tra perduranti incertezze applicative e controverso regime sanzionatorio. Quale tutela per il contribuente?

Lucrezia Valentina Caramia

Dottore di ricerca in Diritto Tributario presso l'Università degli studi di Bari Aldo Moro, Dipartimento di Giurisprudenza. Assegnista di ricerca.

Il panorama nazionale degli incentivi diretti alle imprese comprende un vasto ed eterogeneo sistema di strumenti di sostegno: nel 2021 i dati evidenziano un rilevante incremento delle agevolazioni concesse e degli investimenti agevolati principalmente come risposta alle trasversali crisi indotte dalla pandemia e dall'aumento dei prezzi dell'energia.

I dati appena menzionati assumono particolare rilievo se si considerano le misure promozionali in ambito fiscale degli ultimi anni dedicate al sostegno della ricerca industriale e dell'innovazione quali fattori decisivi per la crescita della competitività e per l'instaurazione di un clima favorevole allo spirito d'impresa; il riferimento è relativo alle diversificate misure normative volte, appunto, a sostenere gli investimenti in innovazione tecnologica e specializzazione intelligente: tra queste, hanno assunto un ruolo significativo la disciplina del *Patent box*, il credito d'imposta per la ricerca e lo sviluppo e la disciplina dell'iper-ammortamento.

Le agevolazioni fiscali assumono, in questa prospettiva, la qualifica di *tax expenditures*, ovvero di spese del tutto assimilabili alle sovvenzioni che lo Stato concede per il perseguimento di importanti interessi economici e sociali di rilievo costituzionale. Esse concorrono, dunque, con l'insieme degli incentivi finanziari a realizzare il contesto di riferimento del sistema imprenditoriale incline a potenziare gli investimenti in ricerca e sviluppo. Tale contesto può tuttavia risultare più o meno attrattivo in funzione di elementi che vengono spesso trascurati dalle politiche fiscali, quali la loro stabilità nel tempo e, sul versante procedurale, la chiarezza e affidabilità dei meccanismi di accesso e fruizione di ciascuna misura, unitamente alla prevedibilità e accettabilità del trattamento sanzionatorio.

Ciò premesso, nell'ambito del disegno di legge delega per la revisione del sistema degli incentivi alle imprese il legislatore dovrà confermare e rafforzare la disciplina dei crediti di imposta per gli investimenti in attività di ricerca e sviluppo, innovazione e design, attualmente previsti con un orizzonte temporale al 2031 (ricerca e sviluppo) e 2025 (innovazione e design). Siffatto intendimento risulta confermato se si considera la recentissima introduzione, con il nuovo art. 7-quater del Decreto c.d. "bollette" (D.L. n. 34/2023) convertito in legge (Legge n. 56/2023), di un 'nuovo' credito d'imposta per le start up innovative. In particolare, si riconosce alle start-up innovative, costituite a partire dal 1° gennaio 2020, operanti nei settori dell'ambiente, delle energie rinnovabili e della sanità, nel limite complessivo di 2 milioni di euro per l'anno 2023, un contributo, sotto forma di credito d'imposta, fino ad un importo massimo di 200.000 euro, in misura non superiore al 20% delle spese sostenute per attività di ricerca e sviluppo.

Apparirebbe, quindi, opportuno rendere il credito di imposta seppure in vario modo declinato, strumento incentivante strutturale, che però non trascuri ed anzi affronti le principali criticità legate alla fruizione del *bonus*.

Muovendo da tali premesse ci si propone, in questo scritto, di verificare l'*appeal* e la concreta capacità d'incidenza dell'istituto del credito di imposta per attività di ricerca e sviluppo sul contesto imprenditoriale alla luce delle alterne interpretazioni giurisprudenziali e di prassi accertative che determinano le condizioni e i rischi correlati alla fruizione dell'agevolazione in esame, soffermandosi in modo particolare sul versante sanzionatorio che, negli ultimi mesi, costituisce probabilmente il profilo più spinoso in punto di tutela del contribuente.

Keywords: incentivi fiscali alle imprese, credito di imposta, tutela del contribuente

Email: caramialucrezia@gmail.com

Intelligenza artificiale: spunti di riflessione sul difficile bilanciamento tra tutela ambientale e diritto alla privacy

Elisabetta Maria Frisari

Nel corso dei secoli l'uomo ha sfruttato varie forme di intelligenza per realizzare la propria evoluzione intesa, in senso darwiniano, come capacità di adattamento all'ambiente.

Agli inizi degli anni '50 del secolo scorso, compare per la prima volta il concetto di Intelligenza Artificiale (AI) come proiezione sul futuro della tecnologia.

Il termine si riferisce, in via generale, a impostazioni elettroniche "consapevoli", "reattive" e "non invadenti" in grado di rilevare e anticipare i bisogni umani attraverso l'uso delle informazioni nascoste all'interno della rete.

Più tardi, ovvero verso la fine degli anni '90, l'Intelligenza Artificiale trova applicazione in campo ambientale c.d. "Aml o Intelligene Ambientale".

Il termine, recepito dal Legislatore italiano con L. n. 68 /2015 "Disposizioni in materia di delitti contro l'ambiente", è riferito a quella branca dell'intelligence che si occupa di illeciti e crimini ambientali e include ogni strumento di indagine che, facendo uso di tecnologie e partendo dall'analisi delle potenziali minacce, sviluppa adeguate misure di risposta.

In questa prospettiva senza dubbio vantaggiosa, l'Intelligenza Artificiale rappresenta una grande opportunità per la collettività: permette di dare un grosso contributo alla protezione dell'ambiente in cui viviamo e previene la commissione di illeciti ambientali attraverso specifiche valutazioni di impatto ambientale.

L'impiego dell'AI in materia ambientale ha, tuttavia, sollevato interrogativi riguardo al coordinamento tra le forme di tutela dell'ambiente e il regime giuridico dei dati personali.

Non poche polemiche sono sorte soprattutto in tema di rispetto del diritto alla riservatezza nell'utilizzo di sistemi di rilevazione delle immagini (si pensi al c.d. fototrappolaggio).

Sulla dibattuta questione è intervenuto il Garante della Privacy dettando disposizioni chiare e precise successivamente recepite nelle *“Linee guida 3/2019 della European Data Protection Board”*.

Il Garante chiarisce che la rilevazione attraverso i sistemi di intelligence deve sempre avvenire nel rispetto del diritto fondamentale alla privacy, delle norme civili e penali.

Dunque, è sempre obbligatorio dimostrare la necessità del sistema di videosorveglianza sulla base del presupposto che vi è un interesse legittimo reale ed attuale da tutelare.

Inoltre, i dati trattati devono sempre essere pertinenti e mai eccedenti rispetto alle finalità.

Infine, il Titolare del trattamento deve mettere in atto, secondo il principio di *accountability*, tutte le misure tecniche e organizzative al fine di prevenire il trattamento illecito di dati.

L'intelligenza artificiale può assumere un ruolo fondamentale per molti aspetti: può dare un concreto aiuto nella realizzazione di progetti per il miglioramento dell'efficienza energetica, della riduzione delle emissioni di gas serra, nella prevenzione della deforestazione, nella protezione della biodiversità.

Ma vi sono una serie di rischi anche sociali e culturali legati all'utilizzo massiccio di dispositivi collegati alla rete.

Un uso incontrollato di queste tecnologie può provocare un concreto pericolo di ingerenze ingiustificate nella vita del singolo.

Il coinvolgimento delle autorità garanti nell'evoluzione normativa può migliorare la regolamentazione assicurando un bilanciamento tra tutela ambientale e diritto alla privacy.

Keywords: Intelligence Ambientale, Intelligenza artificiale, Legge 22 maggio 2015, n. 68, Garante Privacy, diritto alla privacy.

Email: elisabetta.frisari@hotmail.it

Le attività di intelligence per la gestione strategica dei *critical raw materials*: il ruolo del comparto ambientale

Emanuela Somalvico¹

¹ Componente task force di governo del Commissario Unico Bonifiche – Arma dei Carabinieri - Direttore Scientifico del Master Executive Environmental Crime and Terrorism Intelligence - Responsabile Monitoraggio Politiche per la Legalità Osservatorio O.S.I.S.Na. del CISINT (Centro Italiano di Strategia e Intelligence)

La tutela del territorio e dell'ambiente sono strettamente connessi all'efficienza nella gestione dei rifiuti. Ciò implica un ricorso sempre più esteso a recupero e riciclo, un aumento della capacità di ricezione degli impianti di recupero, il minor ricorso possibile alle discariche, e non soltanto perché previsto ed imposto dalle normative, ma per un'acquisita e condivisa consapevolezza sull'inestimabile valore del patrimonio naturale e delle correlazioni della sicurezza ambientale con la salute pubblica. Tale constatazione assume ancora più pregnanza in considerazione della transizione ecologica di cui siamo protagonisti, che prevede l'utilizzo dei cosiddetti *critical raw materials* (CRM) il cui apporto è determinante per lo sviluppo delle tecnologie indispensabili per raggiungere la neutralità climatica. Si tratta di materie prime definite "critiche", economicamente e strategicamente fondamentali, ad oggi individuate dall'UE in 34 elementi, divenute tanto indispensabili quanto risulta problematico il loro procedimento estrattivo e di produzione finale. Oggi, per quanto riguarda l'Italia, il 38% del PIL dipende dall'importazione di CRM da Paesi terzi che spesso detengono il monopolio di estrazione e lavorazione. Proprio per questo motivo la Commissione UE ha disposto che il 15% delle CRM debba provenire dal riciclo, incentivando il recupero di materie prime critiche dai rifiuti. Garantire la capacità di incrementare le nostre catene di approvvigionamento diventa quindi un obiettivo strettamente connesso con la sicurezza energetica nazionale e con la capacità di raggiungere maggiore autonomia. Ciò impatta pesantemente con i dati di raccolta dei RAEE, i più recenti risalenti al

30 giugno 2022 e confermati nel primo trimestre 2023, il cui tasso si attesta in calo rispetto agli anni precedenti e distante oltre 30 punti percentuali dal target europeo. Le cause di tale criticità vanno ricercate nella irregolare gestione del materiale elettronico, che vengono intercettati dalla criminalità per cannibalizzare i componenti di valore, alimentando i flussi paralleli ed i traffici internazionali di rifiuti. Inoltre, le conseguenze inquinanti della gestione irregolare di tale tipologia di rifiuti assumono dimensioni gravissime in Italia e all'estero. Ecco dunque delinearsi con estrema chiarezza come modalità fraudolente di gestione dei rifiuti ed il relativo mancato recupero di materiali vadano ad impattare sulla sicurezza ed autonomia energetica e, di conseguenza, sulla sicurezza nazionale. Tale evidenza ed esigenza richiedono fiducia e collaborazione tra pubblico e privato, al fine di perseguire con vigore e senso di corresponsabilità il raggiungimento degli obiettivi previsti dal New Green Deal. Al fine di prevenire ed intercettare i flussi illegali è determinante l'apporto degli apparati di intelligence, che anche in forza delle previsioni normative, possono prevedere forme di collaborazione con tutte le pubbliche amministrazioni che erogano servizi di pubblica utilità, fondamentale nel settore dei servizi ambientali, per attivare procedure di monitoraggio preventivo e strategico per tutelare aspetti che coinvolgono anche la sicurezza della Nazione.

Keywords: Intelligence, critical raw materials, New Green Deal

Email: emanuelasomalvico@yahoo.it

Programma Straordinario dei Controlli alle Discariche nella Regione Puglia: una buona pratica per la tutela del territorio

Francesco Busseti¹, Filomena Lacarbonara¹, Vincenzo Campanaro², Vito Bruno²

¹UOC Acqua e Suolo Direzione Scientifica, ARPA Puglia

²Direzione ARPA Puglia

La gestione delle discariche è regolamentata dalla Direttiva 1999/31/CE, recepita in Italia dal D.Lgs 36/03. Il controllo delle discariche ricade generalmente all'interno della disciplina AIA, con ispezioni periodiche basate su una programmazione annuale. La grande maggioranza delle discariche, infatti, rientra nella categoria 5.4 dell'All. VIII alla Parte II del D.LGS 152/06. Tuttavia, nel territorio esistono molti siti di discarica non in esercizio, che non sono più inclusi nella programmazione AIA per vari motivi, tra cui il fallimento della società di gestione e l'invalidità del titolo autorizzativo per scadenza o per revoca. Nella gran parte dei casi non è stato possibile fare affidamento alle garanzie finanziarie per sopperire alla fase di gestione post operativa. In mancanza di procedure autorizzative ordinarie anche i controlli non possono essere ordinariamente effettuati.

Pertanto, ARPA Puglia ha inserito tra gli obiettivi operativi del Piano Performance 2021 il Programma Straordinario dei Controlli alle Discariche (PSD) e, nell'ambito delle attività di vigilanza e controllo ad essa attribuite, sono stati ispezionati 20 siti nel 2021 e 4 siti nel 2022.

Il PSD ha coinvolto tutti i Dipartimenti provinciali dell'Agenzia (DAP) e la Direzione Scientifica (DS). Al fine di semplificare e omogeneizzare le attività di controllo sul territorio è stata predisposta una check-list da utilizzare durante i sopralluoghi che contiene una parte generale d'inquadramento autorizzativo del sito e la descrizione dello stato dei luoghi, con particolare riferimento ai presidi ambientali. I DAP hanno individuato le discariche da controllare, previa condivisione con la DS, considerando in via prioritaria quelle non gestite dai soggetti

autorizzati ed escluse delle normali procedure autorizzative e di controllo. Gli esiti sono stati inviati agli Enti interessati.

La maggior parte delle discariche controllate nel 2021, 16/20, è destinata allo smaltimento dei RU, mentre solo 4 ai RS. Per 11 discariche è stato possibile effettuare campionamenti, prelevando 27 campioni di falda e 7 di percolato. Nel 2022 il PSD ha previsto ulteriori 4 controlli. Nella maggior parte dei casi sono in corso procedimenti ai sensi dell'art.242 del D.Lgs 152/06, ma le Misure di Messa in Sicurezza, di Emergenza o Permanente, non sono conclusi. Tra le maggiori criticità riscontrate vi è l'assenza di copertura impermeabile, la presenza di profili di abbancamento irregolari, il degrado di attrezzature e impianti, la perdita di funzionalità dei presidi di monitoraggio e soprattutto l'inadeguata gestione del percolato, che in alcuni casi ha prodotto fenomeni di ristagno e tracimazioni.

Pertanto, le attività eseguite con il PSD si sono rivelate una buona pratica che ha messo in evidenza criticità ambientali e ha permesso di fornire un quadro aggiornato dello stato di fatto per Autorità Competenti (AC) e Comuni.

A seguito delle attività, le AC hanno riaperto i procedimenti di chiusura di alcune discariche. Inoltre, la Regione ha avviato nel 2023, la ricognizione dei siti di discarica per RU sul territorio regionale, in cui risulti necessario attuare procedure sostitutive per l'esecuzione di interventi di messa in sicurezza e chiusura definitiva. È stato quindi creato un Gruppo di Lavoro per definire i criteri per la determinazione dei siti su cui agire prioritariamente con risorse pubbliche.

In considerazione degli esiti il PSD prosegue con un piano annuale dei controlli.

Keywords: discariche non gestite, controlli ambientali, potenziale contaminazione, messa in sicurezza.

Email: f.busseti@arpa.puglia.it

La cooperazione a fini conoscitivi tra enti pubblici, connettersi per affrontare le sfide della multitransizione

Michele Chieco¹

*¹Consiglio regionale della Puglia - Sezione Studio e Supporto alla
Legislazione e alle Politiche di Garanzia, Bari*

In un contesto quanto mai trasformativo, con assetti geopolitici in mutamento, cambiamenti climatici in atto, risorse naturali in situazioni critiche di disponibilità, i decisori devono poter attingere alle migliori conoscenze e competenze per disegnare ed attuare politiche basate sull'evidenza. Da parte loro, invece, i detentori di conoscenze e competenze devono sforzarsi di trovare modalità e linguaggi in grado di veicolare le loro acquisizioni ai decisori, rispettando i tempi necessari alla decisione e prendendo consapevolezza di un ruolo decisivo nell'accompagnare la multitransizione. Essa infatti, con grande complessità, si declina in tutti i settori dell'interazione umana: uomo-ambiente ed uomo-uomo, comprendendo anche aspetti ecologici ed etici e di responsabilità intergenerazionale; gestione delle risorse e prevenzione dei conflitti ad esse legati (energia, acqua, suolo, materie prime critiche); transizione digitale, intelligenza artificiale e protezione dalle minacce emergenti; riduzione delle risorse economiche disponibili in rapporto alla popolazione e loro gestione equa ed efficiente per compensare le tendenze all'impoverimento di fasce significative di popolazione.

Tutti questi aspetti vengono progressivamente fatti oggetto di azioni legislative e non legislative ad ogni livello territoriale. La missione istituzionale delle Pubbliche Amministrazioni è la creazione di Valore Pubblico, ovvero benessere economico, sociale, ambientale e sanitario delle comunità. I Consigli regionali contribuiscono a creare Valore Pubblico a favore dei cittadini rappresentandone le istanze, legiferando nelle materie di competenza regionale, indirizzando le politiche regionali e valutando i risultati di tali politiche, partecipando alla formazione delle iniziative eurounitarie. Tutte attività che richiedono di essere fondate su adeguata conoscenza.

Gli obiettivi dell'Agenda ONU 2030 (SDGs) e i domini del Benessere Equo e Sostenibile rendono conto di stato e tendenze della qualità

della vita delle comunità e sono pertanto quadro di riferimento comune di tutte le azioni istituzionali. In questo contesto, sin dal 2016, il Consiglio regionale della Puglia ha costruito un proprio modello di supporto conoscitivo alla azione istituzionale: si è dotato di una struttura di studio e documentazione a supporto delle politiche, pensata per raccordarsi con le competenze più elevate disponibili, in particolare nel territorio pugliese. La struttura, che attualmente supporta anche le funzioni dei Garanti regionali nella tutela delle fragilità, opera attraverso accordi generali di collaborazione che progressivamente hanno coinvolto e connesso con il Consiglio tutti gli Atenei pubblici pugliesi, il CNR, l'ARTI Puglia, l'AQP, ISTAT, Unioncamere e la stessa Giunta Regionale, abbracciando tutte le materie di competenza consiliare e declinandosi in attività specifiche a seconda del settore di riferimento di ogni ente.

Spesso ricorre l'erronea impressione che le politiche, in particolare di derivazione europea, siano "calate dall'alto", tuttavia il quadro di riferimento sopra delineato richiede pensiero globale connesso con azione locale. Il patrimonio relazionale costituito dal network di competenze contribuisce a questo paradigma, avvicina espressioni diverse delle istituzioni, accomunate dal pubblico interesse della propria azione ed aiuta a gestire la complessità. Ne deriva anche un'azione di "spinta gentile", verso i soggetti coinvolti, orientata a contribuire alla formazione delle iniziative europee attraverso tutti gli spazi di partecipazione, che vengono attivati sin dalle fasi più embrionali della costruzione delle politiche. In tal modo si integra la dimensione locale e vengono veicolate competenze e istanze dal territorio regionale verso i centri decisionali europei. In diversi casi sono stati ad esempio elaborati dossier informativi e svolte audizioni consiliari che hanno condotto alla formazione di una posizione regionale su specifiche iniziative legislative o non legislative. La documentazione prodotta nel corso degli studi condotti in cooperazione è destinata a supportare l'azione istituzionale ma viene anche resa disponibile attraverso una specifica sezione del sito web del Consiglio regionale della Puglia:

<https://www.consiglio.puglia.it/web/guest/studi-e-documentazione>

Keywords: Partnership, Politiche basate sull'evidenza, Agenda 2030, BES

Email: chieco.michele@consiglio.puglia.it

In che modo la cluster policy può incentivare la transizione ecologica: il caso dei distretti produttivi pugliesi

Giorgio Ampolo¹, Michele Chieco², Annamaria Fiore¹, Giuseppe Musicco²

¹Agenzia Regionale per la Tecnologia e l'Innovazione, Bari.

²Consiglio Regionale della Puglia - Sezione Studio e Supporto alla Legislazione e alle Politiche di Garanzia

Le aggregazioni di impresa sono attori in grado di favorire la produttività delle imprese, l'innovazione e lo sviluppo economico nei territori in cui operano [Porter, M. E. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. Harvard Business Review]. Ciò è confermato da numerosi studi che osservano come in molte regioni europee la presenza di queste organizzazioni contribuisce a rafforzare gli ecosistemi dell'innovazione [Delgado M., Porter M., Stern S. (2010). *Clusters and entrepreneurship*, in *Journal of Economic Geography*, 10 (4), 495–518]. Per questo motivo, in numerose realtà i governi locali coinvolgono le aggregazioni, anche tramite la legislazione, nella definizione e, in alcuni casi, nell'implementazione delle politiche di sviluppo, a partire proprio dalle Strategie di Specializzazione Intelligente.

Uno dei principali punti di forza di queste aggregazioni è infatti la possibilità di poter promuovere la nascita di modelli di business innovativi, che tengano conto della responsabilità sociale delle imprese rispetto al territorio in cui operano, secondo il concetto di "creazione del valore condiviso" [Porter E. M., Kramer M. R. (2011) "Creating Shared Value" in *Harvard Business Review*]. Tale peculiarità ha infatti comportato una evoluzione del modello di innovazione della tripla elica giungendo alla definizione del modello a quintupla elica che coinvolge proprio le componenti sociali e ambientali [Carayannis, E.G., Barth, T.D. & Campbell, D.F. *The Quintuple Helix innovation model: global warming as a challenge and driver for innovation*. *J Innov Entrep* 1, 2 (2012)]. Non a caso gli esperti dello *European Expert Group on Clusters* sostengono che le aggregazioni di impresa rappresentano il luogo ideale in cui stimolare la riconversione dei processi produttivi

[Commissione Europea (2021). European Expert Group on Clusters - Recommendation Report].

In virtù di tali potenzialità, i distretti produttivi pugliesi (disciplinati dalla legge regionale n. 23/2007, «Promozione e riconoscimento dei distretti produttivi») possono svolgere un ruolo rilevante nella concreta attuazione delle politiche che favoriscono la transizione ecologica comunicando, divulgando e sensibilizzando gli attori coinvolti (industria, accademia, società civile) rispetto alle sfide poste dalla transizione ecologica. Infatti, l'attività di ascolto dei distretti pugliesi condotta tra il 2018 il 2022 in collaborazione tra il Consiglio Regionale della Puglia

[<https://www.consiglio.puglia.it/web/guest/studi-e-documentazione>] e l'Agenzia Regionale per la Tecnologia e l'Innovazione della Regione Puglia

[<https://www.arti.puglia.it/knowledge-hub/distretti-produttivi>]

ha fatto emergere una serie di indicazioni rispetto alla capacità di questi attori di incidere nella realizzazione della transizione ecologica. I distretti, per via della loro composizione, possono da un lato, rappresentare le esigenze dei settori in cui operano e dall'altro lato, tradurre in azioni operative quelli che sono gli obiettivi delle policy regionali. Inoltre, vi sono delle peculiarità che contraddistinguono il caso pugliese; infatti, in alcuni comparti come quello agricolo, lapideo ed edilizio, si rileva la presenza di maestranze che operano con tecniche e materiali tradizionali e locali e che acquisiscono un rinnovato valore in termini di sostenibilità ambientale e circolarità delle filiere.

Ciò nondimeno, per attuare la transizione ecologica saranno necessarie nuove competenze e figure professionali dedicate, e i distretti potrebbero svolgere il ruolo di "antenne" del territorio al fine di intercettare:

- ambiti di potenziale innovazione;
- fabbisogni occupazionali delle imprese e trarre indicazioni su come meglio modulare l'offerta di istruzione e formazione regionale;
- promuovere l'innovazione verde sul territorio attraverso la collaborazione tra imprese ed enti di ricerca che mirino alla realizzazione di attività orientate allo sviluppo, alla sperimentazione e all'applicazione di tecnologie verdi.

In conclusione, i distretti produttivi pugliesi potrebbero favorire l'implementazione della transizione ecologica attraverso l'individuazione ed attribuzione di un preciso ruolo all'interno dell'ecosistema dell'innovazione regionale, tenendo in conto l'importanza di un coordinamento attraverso la legislazione regionale e le politiche di attuazione.

Parole chiave: Cluster policy, Consiglio Regione Puglia, distretti produttivi, transizione ecologica

*Email: g.ampolo@arti.puglia.it; chieco.michele@consiglio.puglia.it;
a.fiore@arti.puglia.it; musicco.giuseppe@consiglio.puglia.it*

La transizione etica per la salvaguardia del bene comune

Angela Tavani¹

¹Università degli Studi di Bari "Aldo Moro" Dipartimento di Giurisprudenza

In un'ottica di collaborazione tra i differenti ambiti di azione finalizzati alla ricerca, allo sviluppo tecnologico ed all'aspetto normativo dello sviluppo sostenibile in tema di tutela dell'ambiente appare opportuno evidenziare il nesso inscindibile e affatto trascurabile tra fattore religioso e ambiente: l'ecologia umana e l'ecologia ambientale camminano insieme (papa Francesco).

Trattasi di un percorso interdisciplinare teso alla ricerca di un'etica ambientale condivisa, che coinvolge tanto la dimensione spirituale dell'essere umano quanto le sue convinzioni religiose o filosofiche e riverbera nella coscienza ecologica per il bene comune.

L'economia di profitto, che ha segnato i nostri tempi, ha prodotto riverberi dannosi sul pianeta; come non ricordare l'urgente questione dello smaltimento illecito dei rifiuti tossici e dei rifiuti pericolosi e il riconnesso, indifferibile obiettivo di contrastare tale abuso.

Certamente il fattore religioso assume un ruolo determinante nell'individuazione di comuni valori etico-religiosi a favore della tutela del Creato.

Anzi, le religioni possono rappresentare un efficace veicolo attraverso cui far transitare valori comuni che possano condurre all'obiettivo della realizzazione di una comune coscienza etica.

Una volta valorizzata la dimensione etica, sarà più agevole normare ed esigere il rispetto e la tutela dell'ambiente non solo sul piano morale ma anche su quello fattuale e, quindi, legislativo.

Va ricordato che le religioni hanno un comune denominatore: pur nella differenza delle rispettive posizioni, sono concordi nel considerare la giustizia, la carità, la libertà, la solidarietà in correlazione alla tutela dell'ambiente. Pur appartenendo ad epoche differenti Gandhi e papa Francesco sono concordi nell'affermare che il sogno di un pianeta migliore può realizzarsi soltanto quando si comincia a migliorare sé stessi.

Il dialogo ecumenico sulla ricerca scientifica e le conseguenze delle sue applicazioni sull'ambiente, possono condurre a scelte consapevoli e condivise nell'ottica di uno sviluppo sostenibile. Papa Francesco ammonisce: non si tratta solo di una questione che tocca la sfera dell'economia, ma anche l'etica e l'antropologia.

Anche la visione islamica, ebraica, la tradizione Vaishnava, il concetto di Karma e di Deep Ecology, oppure quello dell'ahimsa conducono all'opportunità di una maggiore coscienza ecologica verso una vera e propria conversione ecologica, attraverso la tolleranza verso le altre fedi, tutte fonte di arricchimento e di insegnamento.

La sfida dei nostri giorni consiste nel saper coniugare l'innovazione ecologica con il valore della trascendenza, che ritengo sommamente irrinunciabile, soprattutto nel riuscire a trovare le regole generali di comportamento per il bene comune, nell'ottica delle transizioni ispirate dalla Commissione Europea.

L'operosa convergenza per il bene comune tra Stati e comunità religiose potrà rappresentare il giusto approccio della trasformazione delle coscienze, presupposto per l'elaborazione di norme sulla salvaguardia dell'ambiente e sullo sviluppo sostenibile.

Keywords: dialogo interreligioso, ecologia umana, etica ambientale, bene comune

Email: angelapatriziatavani@uniba.it

Il regime regolatorio quale elemento determinante per la tutela delle aree strategiche dalle intrusioni degli agenti stranieri

Giovanni Uricchio

Il record di cyber-attacchi che si sono manifestati negli ultimi mesi del corrente anno, determina la necessità di porre in campo approcci normativi efficaci in grado di tutelare opportunamente ambiti strategici istituzionali e dell'industria privata che fanno riferimento a settori tecnologici emergenti, in cui la posta in gioco è potenzialmente maggiore per garantire la sicurezza economica e nazionale.

La significativa recrudescenza dei crimini informatici, segnalata anche da un recente report curato dal Federal Bureau of Investigation (Fbi), dal National Counterintelligence and Security Center (Ncsc) e dall'Air Force Office of Special Investigations (Afos), trova puntuali riscontri anche in Italia dove, negli ultimi mesi e più che in altre parti del mondo, sono stati assestati numerosi attacchi informatici.

I più recenti dati, diffusi dai principali Osservatori italiani sulla Cyber Security, confermano il trend in crescita di crimini informatici, che costituiscono la principale minaccia per la sicurezza in rete in Italia, anche se le capacità di reazione, specie nella Pubblica Amministrazione, hanno portato ad una riduzione degli incidenti, mediante il potenziamento dei sistemi di difesa antihacker.

In particolare, gli ambiti pubblico/privati in cui concentrare e rafforzare i sistemi di difesa sono: il settore dello Spazio, dell'Intelligenza artificiale, della quantistica, dei semiconduttori e del recupero di materiali critici. Naturalmente il settore strategico della ricerca e dell'innovazione è trasversale a tutti e riveste particolare rilevanza. Alla luce delle considerazioni suddette, sarebbe pertanto opportuno investire nel settore della formazione e dell'informazione al fine di coniugare la formazione etica con l'educazione relativa alla sicurezza. Una tale scelta consentirebbe di creare un ambiente inclusivo per studenti e docenti di rilevanza nazionale e internazionale nel campo della ricerca e dello sviluppo.

Inoltre un'adeguata evoluzione del quadro normativo può risultare determinante in questa prospettiva, con l'obiettivo di promuovere un ecosistema di ricerca che, pur ponendo enfasi sulla collaborazione e

sull'apertura, attribuisca tuttavia prioritaria importanza all'integrità e alla sicurezza, al fine di salvaguardare gli interessi della comunità accademica e scientifica da possibili fenomeni di plagio, furto e uso improprio ed evitando così di cedere il controllo sul governo e sull'orientamento delle innovazioni scientifiche. È imperativo che tali misure non pregiudichino le carriere degli studiosi. L'attuale contesto socio-economico internazionale impone una maggiore vigilanza nei confronti di possibili minacce, espresse in forma più o meno implicita, che deve estendersi a tutti gli attori operanti in questo ambito, compresi operatori, ricercatori, dirigenti e non solo limitatamente agli amministratori di reti e al personale informatico e di sicurezza. Le risorse umane costituiscono infatti uno dei principali strumenti per la tutela della sicurezza nazionale, con la responsabilità di segnalare qualsiasi comportamento sospetto, anche se proveniente da colleghi, che potrebbe mettere a rischio la sicurezza di informazioni sensibili. In questa direzione, è necessario sviluppare specifici e puntuali strumenti normativi, volti a garantire una protezione adeguata per chi effettua tali segnalazioni, al fine di agevolare la raccolta di informazioni critiche in modo sicuro e efficace.

In tal senso nel dicembre 2020, la Commissione europea e il Servizio europeo per l'azione esterna (SEAE) hanno presentato una strategia dell'UE sulla cybersicurezza, il cui obiettivo principale è aumentare la resilienza dell'Europa alle minacce informatiche e garantire servizi digitali affidabili per cittadini e imprese. Tale strategia comprende numerose proposte normative volte a garantire un equilibrio tra la crittografia robusta e le esigenze delle autorità di contrasto. Infatti l'UE da sempre promuove un ciberspazio aperto e sicuro, basato sui diritti umani e che garantisca lo stato di diritto. Nel novembre 2022, la Commissione e il SEAE hanno adottato una politica di cyberdifesa per rafforzare le capacità dell'UE di difendersi dalle minacce informatiche esterne, prevedendo sanzioni a persone o entità, responsabili di attacchi informatici o tentati attacchi informatici, o che forniscono sostegno finanziario, tecnico o materiale per tali attacchi o che sono altrimenti coinvolte. Tali sanzioni costituiscono delle vere e proprie misure interdittive come il divieto di viaggio verso l'UE per i soggetti responsabili e/o il congelamento dei beni. I recenti interventi normativi a livello comunitario appaiono tuttavia ancora inadeguati e insufficienti per fronteggiare efficacemente il fenomeno del cybercrimine. In effetti, nel maggio 2023, il Consiglio Europeo ha evidenziato l'importanza di ulteriori sforzi, volti a potenziare la

capacità di resilienza dell'Unione Europea nei confronti delle minacce informatiche. Tali sforzi devono prevedere la stipulazione di accordi internazionali, la promozione della cooperazione, l'instaurazione di un dialogo costruttivo e l'adozione di sanzioni preventive uniformi e certe da irrogare a livello comunitario.

Keywords: intelligence, tecnologie emergenti, hacker, interventi normativi

Email: gjo.uricchio@gmail.com

V. RemTech Europe

Examples of securing and mitigating the impacts determined by three environmental criticalities

R. Pacifico¹, A. Sarni¹

*¹ ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48 - 00144 Roma - Area per le Emergenze
ambientali sulla terraferma*

ISPRA, with the contribution of the SNPA (National System for the Protection of the Environment for environmental emergencies) operational network, ensures environmental risk assessment and monitoring activity, aimed at indicating the first prevention and safety measures. Environmental risk can cause, even in deferred time, damage to humans, property and environment and can be determined by environmental criticalities or emergencies situations. Environmental criticality occurs when an expected event could lead to potentially dangerous situations for the environment and could require interventions to mitigate the potential risk. Environmental emergency occurs when a calamitous event causes a dangerous situation for people and for property and environment integrity and requires exceptional and urgent interventions to be managed and brought back to normal.

Three environmental criticalities are described below as well as the mitigation and safety measures taken in each case.

1. Fire in the industrial area within the SIN of Porto Torres.

Problem: Fire in an industrial storage of solvents, dyes for fuels, hazardous and non-hazardous special waste. Environmental criticality: spreading of solvents, paints, and other burnt and unburned materials mixed with extinguishing water on the ground. Safety measures and/or impact mitigation: containment embankments construction; installation of absorbent booms in the rainwater drainage; use of accumulation tanks for extinguishing water storage; removal of topsoil in unpaved sections of the yard and on the surrounding contaminated soils.

2. Sea water contamination determined by San Filippo del Mela's purifier malfunction.

Problem: plant not equipped with measuring instruments, analysis of wastewater (incoming and outgoing) and lack of maintenance activities, with consequent purification capacity halving. Environmental criticality: untreated waste discharge into the sea in purification lines overloading events. Safety measures and/or impact mitigation: plant maintenance and reinforcement; installation of flow meters of the incoming and outgoing wastewater, autosamplers, continuous analyzers in the delivery sump to the final discharge of the purified wastewater.

3. Leachate in the irrigation channels from the Bortolotto landfill.

Problem: Plant no longer active since 1995, object of a reclamation project. Environmental criticality: leachate leakage into external irrigation channels and contamination of surface waters. Safety measures and/or impact mitigation: completion of landfill covering and the rainwater collection system, implementation of the leachate pumping system and leachate storage; construction of a perimeter lateral containment system; implementation of leachate catchment wells.

Keywords: environmental criticalities, environmental emergencies, safety measures

Email: angela.sarni@isprambiente.it renata.pacifico@isprambiente.it

Protecting health through the redevelopment urban contaminated sites

Braubach Matthias¹

WHO European Centre for Environment and Health

Introduction and study objectives

Across the WHO European Region, the urban population is growing steadily and demand for land is rapidly increasing. Revitalizing and/or remediating industrial sites and contaminated land presents an opportunity for sustainable urban development. Such actions can also help in reducing the pressure on undisturbed land resources. However, redevelopment of contaminated sites may cause continued environmental and health consequences if contamination risks are not properly managed or remediated. The presented WHO report summarizes the lessons learned across Europe on the redevelopment of contaminated sites as a part of urban planning and renewal [1,2].

Materials and methods

The WHO Planning brief on protecting health through the redevelopment urban contaminated sites is based on a) an evidence review of contaminated site remediation and redevelopment examples and their health impacts, b) a European case study compilation on local interventions and the related lessons learned, and c) a review of impact assessment procedures and their effectiveness in supporting decision-making on contaminated site redevelopment.

Results and Discussion

The adequate redevelopment of contaminated sites requires careful planning and coordination - if well managed it is a promising public health intervention. A detailed site investigation, leading to a good understanding of the contamination and site characteristics, is essential to develop effective remediation strategies and ensure healthy and sustainable site redevelopment. Multiple public agencies need to collaborate effectively across the entire process, and harmonize their objectives, processes and legal frameworks. Therefore, effective and transparent coordination and communication is a key requirement between all stakeholders,

including local authorities, subcontracted service providers, and the public. Site diversity must be acknowledged and tailored responses found, reflecting local conditions and challenges for environment and health.

The redevelopment of contaminated sites is not a daily routine for most local authorities. Standard operating procedures often do not exist and legal frameworks vary from country to country. Networking across cities on relevant experiences and examples of local interventions is therefore an essential approach to learn and save time and resources. In addition, national structures and frameworks need to be established and strengthened, as they are essential to support local authorities.

Conclusions

The remediation and redevelopment of contaminated sites are complex and challenging, but can have significant benefits for environment and health. The conversion of contaminated sites requires careful management to ensure that potential removal of contaminants does not lead to risks in other places. Public health considerations should be fundamental for all negotiations on site interventions, and the compliance with environmental and health standards should be a prerequisites for all discussions with site owners, investors and other stakeholders.

Practical key messages derived from this project reflect the need to:

- Anticipate closure of still active contaminated sites and plan future functions and redevelopments early, also considering the economic aspects of redevelopment.
- Assess environmental contamination immediately after site closure and in relation to land sales and changing ownership to make the polluter accountable for required clean-up interventions.
- Ensure that records on contaminated sites and their contamination history are archived properly (in digitalized format).
- Act quickly on abandoned sites and avoid longer time periods of stagnation (potentially implementing interim site management during periods of nonaction).

- Establish local capacities and/or seek competent partners and national schemes that can support the assessment and management of remediation and redevelopment of contaminated sites.

References

[1] WHO Regional Office for Europe (2021). Urban redevelopment of contaminated sites: a review of scientific evidence and practical knowledge on environmental and health issues. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe (<https://apps.who.int/iris/handle/10665/340944>).

[2] WHO Regional Office for Europe (2021). Protecting health through urban redevelopment of contaminated sites: planning brief. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe (<https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289056342>).

Email: braubachm@who.int

PFAS-contaminated soil management :Learned lessons from soil-washing treatment strategies implemented in France and Belgium

Bennici Vincenzo¹, Sibourg Olivier¹, Devic-Bassaget Boris¹, Imberti Patrice¹

¹SARPI REMEDIATION

Introduction and study objectives

Perfluorinated alkyls constitute a large chemical class characterized by the total or partial substitution of hydrogen atoms with fluorine atoms around the carbon. It is estimated that there are over 9,000 substances belonging to this chemical class, all of which are of anthropogenic origin. These chemicals have been synthesized since the end of the 1940s and are used in more than 200 industrial and domestic applications (waterproofing of textiles, leather and packaging, fire-retardant foams, electronics industry, synthesis of fluorinated polymers, etc.).

Among perfluorinated alkyls, two sub-families have recently attracted the scientific community's attention: carboxylates (PFCA) and sulfonates (PFAS). These substances have been found in many environmental compartments (biota, sediments, soils, atmosphere, rainfall, water, etc.). This ubiquitous presence arises from 1) the direct use of these compounds; 2) the biological or chemical degradation of other perfluorinated alkyls (also called precursors), which are their ultimate metabolites.

As part of a French contaminated site rehabilitation project, SARPI Remediation implemented a soil-washing treatment for more than 6,000 m³ of soil impacted by PFOS.

A feasibility and dimensioning step was conducted by the internal laboratory and the on-site implementation was scheduled immediately after that.

At its soil treatment platform in Grimbergen, Belgium, in 2022, SARPI Remediation treated over 20,000 m³ of soil contaminated with PFAS by soil washing."

The aim of this presentation is to share our feedback and experience on the soil washing of PFAS and particularly on the washing water treatment. Our presentation will show the results of a study

conducted on 30 different media (GAC, resins, clay..) and the behavior of long and short chain PFAS for each media tested. On top of this, we also assess the impact of TOC (Total Organic Carbon) concentration and origin on the sorption efficiency of selected media.

Results & discussion

The presentation will show the different trials carried out for the on-site implementation:

- Laboratory feasibility test: soil washing, stabilization, solidification
- Test and comparison of 30 different supports (activated carbon, clay, resins) in order to evaluate the best support for wash water loop treatment.
- The Total Organic Carbon (TOC) effect on the activated carbon adsorption capacity in the wash water.

Bioremediation: a useful way to mitigate heavy metal toxicity in soil

Muneeb Ur Rehman¹, Naseer Ahmad², Aziz Ullah¹, Sapana Parajuli¹

¹Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Samsun, Türkiye

²Department of Agronomy, Faculty of Crop Production Sciences, University of Agriculture Peshawar, Pakistan

Toxic heavy metal pollution is regarded as one of the most serious environmental challenges, and it has increased considerably due to expanding industrial activity. Anthropogenic sources and natural events such as hurricanes and volcanic eruptions produce these pollutants. Hazardous metals may build up in agricultural soils and infiltrate the food chain, seriously threatening food security. Conventional and physical procedures are costly and ineffectual in places with minimal metal toxicity. Bioremediation is thus an environmentally acceptable and effective approach to recovering heavy metal-contaminated areas by utilizing the intrinsic biological mechanisms of microbes and plants to eliminate harmful toxins. This paper goes into depth on heavy metal pollution in agricultural soil and the development of research into heavy metal bioremediation using biological techniques. It also gives a comprehensive review of the role of microorganisms in heavy metal bioremediation in contaminated areas. *Pseudomonas*, *Sphingomonas*, *Rhodococcus*, *Alcaligenes*, and *Mycobacterium* are naturally occurring microbes used in bioremediation. Bioremediation generally requires little effort, is less labor demanding, inexpensive, eco-friendly, sustainable, and reasonably simple to apply. The main drawbacks of bioremediation are its slowness and time consumption; also, biodegradation products might be more harmful than the original molecule. A bioremediation performance evaluation may be challenging since there is no acceptable endpoint. Further research is needed to improve bioremediation methods and identify new biological solutions for the bioremediation of heavy metal pollution in various environmental systems.

Email: rehmanmuneeb@yahoo.com

A risk based Plan of inspections at waste recycling installations: the experience at the Sardinian Environmental Protection Agency

Romano Ruggeri¹, Lorenzo Cau¹, Simonetta Fanni, Mauro Iacuzzi, Veronica Lecca¹.

¹*Sardinian Regional Environmental Protection Agency (ARPAS)*

Introduction and study objectives

The Sardinian Regional Plan on waste management focuses attention on the promotion of material recovery activities, to be developed as far as possible on the regional territory. Waste recovery will have to be the process through which to maximize the re-entry of special waste into the economic cycle and promote the development of a regional "green economy", providing a boost to the productive economic system with a view to sustainable development, under the banner of innovation and modernization.

Within this line of activity, the Sardinian Regional Plan on waste management provides for technical and administrative control actions on the recycling chain, in order to verify the correctness of the management of the material recovery plants. In particular, it assigns specific annual inspections to the Sardinian Environmental Protection Agency in order to check:

- compliance with the rules that identify the characteristics of recycled materials and products;
- compliance with the waste hierarchy on treatment waste.

The control activity must also have the purpose of inducing continuous improvement in the authorized parties. Recommendation 331/2001/EC indicates the minimum criteria for environmental inspections in the Member States. It specifies that the Member States must ensure the planning of environmental inspection activities, identifying the minimum contents of the Environmental Inspection Plans which must be accessible to the public.

According to art. 34 of the Directive 2008/98/EC, "Establishments or undertakings which carry out waste treatment operations [...] shall be subject to appropriate periodic inspections by the competent

authorities". As far as waste recycling installations are concerned, according to the Recital 17 of the Directive 2018/851, "In order to provide operators in markets for secondary raw materials with more certainty as to the waste or non waste status of substances or objects and to promote a level playing field, it is important that Member States take appropriate measures to ensure that waste that has undergone a recovery operation is considered to have ceased to be waste. Such measures should include enforcement provisions to verify that waste that is considered to have ceased to be waste as a result of a recovery operation complies with the law of the Union on waste, chemicals and products, in particular prioritizing waste streams that pose a higher risk to human health and the environment due to the nature and volume of those waste streams, waste that is subject to innovative recovery processes or waste that is recovered for subsequent further use in other Member States.

The drafting of the Plan stems from a new approach based on the integration between inspection activities and planning and prevention activities and from the awareness that an effective and efficient inspection system can derive exclusively from strategic planning which defines the reference context, the priorities, the objectives and available resources. A high quality of the inspection activity can be achieved through the definition of coherent instructions, working methodologies, control mechanisms and performance indicators.

Materials and methods

The Plan moves from the content of the IMPEL "Guidance for regulators on enabling innovations for the circular economy (prevention and recycling of waste", which includes practical tools related to the assessment and inspections of waste recycling processes (End-of-waste). One of the main issue of the inspection planning step is risk assessment.

Within the scope of the Plan, the IRAM tool (previously developed within the EasyTool IMPEL Project) for the risk assessment has been adapted to the planning of environmental inspections at waste recycling installations, defining a new standard set of risk criteria. The results of the risk assessment will be included in the Inspection Plan at waste recycling installations, as also described in the "Step by step guidance book for planning of environmental inspection" developed by the "Doing The Right Things" project (DTRT).

Risk is always defined as a function of the severity of the consequence (effect) and the probability that this consequence will occur: Risk = f (effect, probability).

The effect depends on the source (how impactful is it?) and on the receptor (how vulnerable is it?), and is represented in the IRAM methodology by the impact criteria, which measure the impact of the source on the receptor.

Probability is considered a function of the level of management and regulatory compliance and is factored into the methodology through the operator's performance criteria.

In the IRAM methodology, therefore, a distinction is made between impact criteria, performance or probability criteria and risk category. Impact criteria scores are directly related to the risk category and therefore to the inspection frequencies. The highest inspection frequency is correlated with a certain number of maximum scores achieved in the impact criteria, the value of which is previously defined by the planner. The result of the risk assessment defines the frequency of the inspection.

The Plan identifies the available number of inspectors and qualifications and introduce different tools as part of an overall inspection strategy. Input, output and outcome indicators are also included as well as a monitoring system.

Conclusion

The risk based Plan of inspections at waste recycling installations is a tool which allows to guarantee transparency in the inspection activities of the Inspection Authority; at the same time it guarantees to achieve higher level of efficiency, addressing resources on the most critical installations.

Performance monitoring is essential to assess the degree of achievement of the objectives established in the Plan and is also important in communicating with the stakeholders (Provinces, Regions, Municipalities, the public, etc.).

The inspection program will be shared with other inspection Authorities and also with the REACH Control Authority to avoid overlapping of inspection visits and establish forms of collaboration.

The public must have access to information about environmental inspections conducted and the performance of the enforcement authority.

Email: rruggeri@arpa.sardegna.it

Clay minerals as simultaneous sorbents of PFAS and pesticides

Eleni Gianni¹, Daniel Moreno-Rodríguez², Pavlos Tyrologou¹, Nazaré Couto³, Eva Scholtzová², Miroslav Pospíšil⁴, Dimitrios Papoulis⁵, Nikolaos Koukouzas¹

¹Chemical Process & Energy Resources Institute, Centre for Research & Technology Hellas (CERTH),

²Institute of Inorganic Chemistry, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovakia,

³Center for Environmental and Sustainability Research & Global Change and Sustainability Institute, NOVA University Lisbon, Portugal

⁴Charles University, Faculty of Mathematics and Physics, Prague, Czech Republic,

⁵Department of Geology, University of Patras, Greece

The growth of industrialization, novel agricultural procedures, and technological development leads to increased global consumption of organic compounds, that when released into the environment can affect water bodies, soils, aquatic life, and human health. Known toxic organic pollutants mainly belong to drugs, dyes, pesticides, and perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFAS).

PFAS are more than 12000 anthropogenic chemical substances that are extensively used in various industries. Due to their strong carbon-fluorine bond, PFAS considered very stable substances and toxic materials with a high negative impact on human health. In addition to diffuse contamination sources of PFAS, when aqueous solutions are stored in plastic containers containing PFAS (e.g., cleaners, solvents, fuels, and pesticides) perfluoroalkyl carboxylic acids (PFCAs) can also be released. U.S. EPA reported that when water or methanol interacts with directly fluorinated containers, parts-per-billion concentrations could be released after one week of exposure, while the released concentrations increase over time. The environmental impact can be even bigger if PFCAs are released into the environment through the release of the stored aqueous media. PFAS are persistent environmental contaminants characterised by high mobility in both water and soil.

Pesticides could kill, obstruct, or manage the growth of a range of organisms that can damage a crop. Due to global population growth, the increase in agricultural yields was mandatory and led to the overuse of pesticides. Pesticides can spread in the environment by direct crop application or leaching processes, affecting groundwater or surface water. Pesticides may also be considered persistent contaminants with half-lives ranging from, e.g., 72 days (atrazine) to 302 days (diuron). Moreover, they pose a concern for human health due to carcinogenic, mutagenic, neurotoxic, and teratogenic effects. Clay minerals interact with many organic compounds with different characteristics, with main interactions developed between the organic compounds and the silicate clay layers, inorganic cations, water, and organic molecules that clay minerals may naturally include in their structures. As pesticides are frequently stored in the form of aqueous solutions in fluorinated containers, potentially releasing PFCAs, the main objective of this work is to evaluate the efficiency of clay minerals to simultaneously immobilize a mixture of PFCAs and pesticides, avoiding their spreading to other environmental compartments. This can be perceived as a risk-management procedure if the conditions are adequate (e.g., soil texture, clay minerals type), with clay minerals acting as natural sorbents in the case of non-sustainable agricultural practices, avoiding the spread of contamination to other environmental compartments. The time the contaminant will be retained in the clay minerals, or the exchange ratio was not tested in this work.

Common techniques for organic pollutants removal

Most of the conventional remediation processes are ineffective for PFAS removal due to the high stability of C-F bond, which combined with their high hydrophilicity, may represent a severe threat for dispersion and persistence in different environmental compartments (soil, groundwater, surface water). A characteristic example is the limitation of biological treatment that causes a break to the C-C bonds leading to the transformation of short-chain PFAS instead of complete degradation.

Depending on different factors such as future land use or risk assessment, contamination can be immobilized, should the contaminants remain sorbed and not become available/mobile. Adsorption is an option, with benefits associated with cost or operational simplicity.

Clay minerals from kaolinite, smectite, vermiculite, illite, and fibrous clay minerals groups are frequently used as sorbents. Due to their natural origin, their use does not cause harmful effects on the environment. Additionally, they have been reported as having comparable efficiency for organic pollutants removal as commercial adsorbents.

Proposed perspective

This work is built on previous findings by a part of the team that nanotubular clay minerals are efficient sorbents for the neutral charged atrazine and diuron molecules. Based on theoretical investigations the minerals/pesticides complexes enriched a high structural stability via strong electrostatic interactions, i.e. H-bonding, between the components. Despite montmorillonite and kaolinite have been studied for PFCAs adsorption, at least to our knowledge, there is no information on the immobilization effect of mixed organic pollution composed of pesticides and PFCAs.

From molecular perspective, as most clay minerals are negatively charged, they can create strong interactions with organic cations or acids such as the PFCAs. The linkage between the negatively charged silicate surface and the organic pollutants is mainly electrostatic, while physically non-coulombic forces enhance the sorption. Moreover, hydrogen bonds could be developed between the sorbent and sorbate, especially at the edges and surface sites of the minerals. These interactions consume less energy than Coulomb interactions, albeit essential for large molecules such as PFCAs. Van der Waals interactions are also present in such kinds of systems while they increase with increasing sorbate's molecular weight.

Based on the aforementioned, the negatively charged clay minerals could simultaneously remove PFCAs mixed with positively or neutral charged pesticides via several binding mechanisms. In the case of negatively charged pesticides, the halloysite clay mineral belonging to the kaolinite group minerals could be used for the simultaneous removal of PFCAs and such pesticides as it exhibits a spiral shape nanotubular morphology with positively charged octahedral sheet ($\text{Al}(\text{OH})_3$) of the inner surface and a negatively charged tetrahedral sheet (SiO_2) of the outer surface.

Conclusions

Clay minerals are abundant, low-cost natural materials that can interact with a wide range of unwanted substances. Current research indicates that clay minerals can be used as effective sorbents to avoid

contamination spread, especially in the case of persistent and highly or relatively mobile contaminants,. Depending on environmental circumstances and the unique characteristics of contaminants (e.g. charge of pollutant and molecular weight) different clay minerals can be selected as suitable for efficiently removing PFCA/pesticides mixtures. Experimental data and theoretical investigations using effective computational methods are required for the specification of the optimum clay mineral with respect to the main pesticide/PFCAs groups from a molecular structure aspect.

Acknowledgments

This research is supported by the Information-based Strategies for LAND Remediation (ISLANDR) project of the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101112889. NC also acknowledges FCT I.P. for CEECIND/04210/2017. ES and DMR is grateful for the financial support from the Scientific Grant Agency VEGA (Grant 2/0026/23).

Email: e.gianni@certh.gr

Destruction of spent media from PFAS remediation using Supercritical Water Oxidation

Tali Harif¹, Sudhakar Viswanathan¹, Marc Deshusses²

*¹Water Inc., 3710 Shanon R. #51877, Durham, NC 27717,
Water Inc., 3710 Shanon R. #51877, Durham, NC 27717,
Email contact: th@374water.com*

²Water Inc., 3710 Shanon R. #51877, Durham, NC 27717 and Duke University, Department of Civil and Environmental Engineering, Box 90287, Durham NC 27708,

Introduction and study objectives

With increased public concerns over the impact of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) on human health and the environment PFAS limits in water continue to decrease globally. Separation technologies that capture PFAS onto a solid-phase media have been the most widely used methods, predominantly granular activated carbon (GAC), anion exchange resin (AIX) . The use of these technologies results in residual wastes, in the form of spent media saturated with PFAS that require disposal. Various thermal technologies appear in the USEPA PFAS thermal treatment database; however, they cannot necessarily be optimized for destruction of PFAS saturated spent media, including complete PFAS destruction.

In December 2020, the USEPA issued interim guidance on the destruction and disposal of certain PFAS-containing wastes, while it continues to evaluate options for PFAS disposal. In March 2022 a Department of Defense (DoD) memorandum instructed the DoD to temporarily ban incineration of PFAS materials generated at DoD installations after April 26, 2022. Reports on actual PFAS destruction efficiency via incineration are limited, but it is known that it can vary. Therefore, the demand is increasing for effective destructive treatment to protect from secondary PFAS pollution of the environment and associated liabilities.

SCWO is a physical-thermal process that relies on the unique properties of water above its critical point (374 °C and 218 atm). In supercritical water conditions, organics and oxygen are fully soluble. With the addition of oxygen, a highly effective oxidation reaction occurs that rapidly and completely mineralizes any organic molecules

to carbon dioxide, clean water, and converts inorganic compounds into insoluble salts. The oxidation reaction is exothermic, releasing energy in the form of heat that can be utilized. Typical reaction times are in the order of 5-40 seconds, resulting in SCWO systems that are compact compared to other destruction technologies.

This is the first study to investigate the potential of SCWO to be an effective destruction method for PFAS-laden spent media. The results from treatment of GAC and AIX media from three PFAS treatment systems, using AirSCWOTM technology are reported and discussed.

Materials and Methods

One sample of spent GAC and one sample of spent AIX samples were collected from the groundwater remediation system at former Wurtsmith Air Force Base (WAFB). A second sample of spent AIX was collected from the groundwater treatment system Marine Corps Air Station Miramar (MCAS Miramar). All samples for SCWO treatment were collected from the bottom section of the lead vessel, containerized in 20-liter (L) plastic buckets and shipped to Durham, North Carolina for SCWO testing. The AIX samples were used as received for feedstock preparation, whereas the GAC sample was dried in a vacuum oven at 60 °C for 24 hours to allow for grinding into a powder (particle size <1 mm).

All treatment runs were conducted in a SCWO system which can continuously process up to 1 m³ of wet feedstock per day. The system consists of a tubular reactor, air compressor, tanks, pumps, heat exchangers, etc. and ancillary valves and sensors.

Two separate runs were conducted: the two AIX in one day and the GAC on another day. During these runs, the system went through its routine startup protocol, then brought to a steady state with a starter feedstock (10% v/v isopropyl alcohol in water), after which the GAC or AIX slurry was introduced as feedstock replacing the starter materials. During steady state, grab samples of the liquid effluent were collected for analysis. The effluent samples were analyzed for 40 PFAS compounds using Draft EPA Method 1633. The feedstock slurry samples were analyzed for the same set of PFAS using procedures modified from Draft EPA 1633 Method.

Results and Discussion

Chemical Oxygen Demand (COD) elimination was above 99.9% for all runs. For the GAC spent media, destruction efficiencies were all greater than 80% for the detected PFAS compounds, except PFBS, and PFPeS.

Generally, the PFCA and PFSA removal increased with the carbon chain lengths but still attaining total removal of 88.7% for shorter chain PFAS.

The results demonstrate that supercritical water oxidation can effectively destroy GAC and AIX PFAS-laden spent media, offering a solution for PFAS containing waste streams derived from treatment applications. The reasons that this type of process is able to mineralize PFAS so efficiently is derived from the unique conditions in the reactor: (1) supercritical water is a highly dense medium, 350-1000 greater than that of gas in an incinerator for example, creating conditions for high frequency collisions between PFAS molecules and reactive species (2) The medium yields efficient oxidant conversion to high-reactivity radicals (e.g. hydroxyl radical or hydroperoxy radicals) (3) PFAS, oxygen, and reactive species form a homogenous phase (4) The presence of water favorably influences the reactions (e.g., hydrolysis of COF₂). Further optimization of the process can be attained by changing the temperature and reactor residence times.

Conclusions

SCWO is a leading emerging technology for the treatment of diverse recalcitrant wastes and is able to offer a robust and sustainable waste treatment solution to a gap in both the PFAS and wider emerging contaminant space.

Acknowledgements

The authors would like to thank WSP USA and Dr. Dora Chiang for collaborating on this project.

Email: th@374water.com 2374, sv@374water.com,
md@374water.com

Injection of colloidal reagents for in situ soil remediation: lessons learned on more than 100 projects over Europe

Jeroen Vandenbruwane¹, Lionel Counet², Bram Vandekerhove³

^{1,3} *Injectis Belgium,*

² *Injectis Spain,*

^{1,3} *Tinjectis, Toekomstraat 15 B9890 Dikkevenne*

Introduction and study objectives

In the last decades, in situ soil remediation with injection of reagents became more and more accepted and applied as a sustainable and efficient remediation technique. Different injection techniques are suitable for the injection of soluble and liquid reagents depending on the geology of the site; injection wells and recirculation systems are ideal for homogeneous sandy aquifers, whereas soil mixing and direct injection techniques suit best in heterogeneous and low permeability aquifers or soil layers. For these kind of reagents, the injection pressure (IP) is the key parameter to be controlled. The injection of colloidal or emulsified reagents, on the other hand, needs more knowledge and understanding to achieve a homogeneous distribution within the aquifer material. In recent years, Injectis performed multiple injection projects with colloidal or emulsified reagents using the patented SPIN[®] injection technology and bundled these experiences in order to optimize their injection working procedures.

Materials and methods

The field experiences on multiple sites and with different colloidal reagents (CR) were used as most valuable input to develop a decision tree for the working procedures as a manual for the injection of this type of reagents.

Results and Discussion

Injection of colloidal or particulate reagents in different aquifer materials resulted in varying findings:

- Fast precipitation of particles in mixing and pumping equipment ;
- Abrasion of pumping and injection equipment ;

- Gradual increase in injection pressure at a certain point with increasing volumes injected ;
- High injection pressures needed, frequently approaching or exceeding fracturing pressures ;
- Non-homogeneous distribution of reagents within the aquifer material ;
- Flushing out of the colloidal reagents in coarser soil textures.

The precipitation of particles can be overcome by thorough mixing, high flow and pumping rates and/or addition of a thickening agent to increase the viscosity of the mixture. These high flow rates and thorough mixing of the colloidal mixtures makes them act as the perfect "scouring powder", resulting in abrasion of all equipment in contact. The abrasion severity is function of the size and hardness of the particles and the sensitivity of the materials. The gradual increase in IP with increasing volume injected clearly seemed to be a result of the sieving/filtering out of the particles near the injection point. This filtering effect gives rise to clogging of the natural porosity of the aquifer material resulting in a significantly lowered hydraulic conductivity. To maintain the injection flow rate, IP increases. In most cases, higher IP were needed to inject colloidal mixtures, partly due to this clogging effect and/or the use of a thickening agent. These higher IP frequently resulted in a unintended exceedance of the fracturing pressure. This unintended (micro-)fracturing gives rise to arrival of the reagents in artificial fractures/cavities in the aquifer and hence not in homogeneous distribution in the natural soil porosity. For some reagents, this might not be an issue, but for reagents stimulating a reaction (e.g. sorption) where physical contact between reagent and pollution is crucial, this fracturing might be problematic.

In another case, it was observed that the CR was flushed out from the injection zone within a relatively short period of time. Groundwater velocity in combination with the ratio particle size/pore size seemed to be on the basis of this phenomenon.

Conclusions

The principal cause of most of the above experienced problems/limitations find its origin in a bad (or no) matching of the particle size of the reagents with the pore size distribution of the aquifer material. Additionally, the use of a thickening agent should be kept to a minimum.

Email: jeroen@injectis.com; bram@injectis.com; lionel@injectis.com

Green synthesis of nZVI with common reed and its application in Fenton-like decolorization process

Nataša Slijepčević¹, Aleksandra Kulić Mandić¹, Đurđa Kerkez¹, Anita Leovac Maćerak¹, Dunja Rađenović¹, Milena Bečelić-Tomin¹, Dragana Tomašević Pilipović¹

¹University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection

Introduction and study objectives

The use of nano zero-valent iron nanoparticles (nZVI) is gaining popularity, particularly in the remediation of wastewater. The PAL-nZVI (Phragmites australis-nano zero-valent iron) was synthesized in this study using a common reed leaves-mediated single-step method with Fe³⁺ as precursors, indicating an environmentally friendly approach. The eco-friendly solvents like polyphenols in plant extracts act as the main precursors for formation and stability of nanoparticles. It has also been demonstrated that nZVI combined with an advanced oxidation process is an effective wastewater treatment. In this case, nZVI is Fenton-like catalyst that activates hydrogen peroxide (H₂O₂) during the oxidation process. Newly formed, highly reactive radicals (•OH) are capable of degrading various organic contaminants into carbon dioxide, water, and inorganic salts. The aim of this study was to evaluate applicability of PAL-nZVI solution for dye decolorization process. Three synthetic dyes were selected: Methylene blue (MB, thiazine dye), Reactive Blue 4 (RB4, anthraquinone dye) and Reactive Red 120 (RR120, azo dye).

Materials and methods

PAL-nZVI synthesis was as follow: the common reed (lat. Phragmites australis) leaves were collected from coastal area around Great Bačka Canal, Serbia. Upon receiving, the leaves were washed (deionized water) to remove dust and other impurities and dried for 72h at 70°C. The fine leaves powder (60g/L [2]) was placed in deionized water and heated to boiling for 1h. After cooling, the extract was filtered and added drop wise to iron(III) solution (ratio 3:1) and mixed on a magnetic stirrer for 30min. The black solution appearance was a sign of the nZVI formation. The pH value of extract and nZVI was determined using the pH meter inoLabpH/ION 735 (WTW GmbH,

Germany). The antioxidant capacity of the extract was determined using the (FRAP) method [4] and the total phenol content was determined using the Folin-Ciocalteu method [5]. UV-Vis spectra of PAL extract and PAL-nZVI ($\lambda=200-700\text{nm}$) was measured (UV-1800, Shimadzu, Japan).

Fenton process decolorization of three different dyes (MB, RB4 and RR120) was as follow [6]: 100mL of [50mg/L] dye solution was measured; PAL-nZVI was added to achieve concentration of 42.5mg/L; pH value was observed (~ 3); 2mM H₂O₂ was added to initiate Fenton reaction and medium was mixed at 150rpm for 60min. Sample was filtrated (0.45 μm filter) to remove PAL-nZVI and immediately after UV-Vis absorption spectra was measured to determine decolorization efficiency. Dye mineralization was obtained as the total organic carbon (LiquiTOC Elementar II, Japan).

Results and Discussion

The evaluation of PAL leaves viability to produce extract which is capable of reducing Fe³⁺ in aqueous solution was determined using FRAP method and total phenols. Results for total phenols (10 \pm 0.9 mg GA/1g bm) and antioxidant capacity (6 \pm 0.7mg AA/1g bm) shows good correlation with previous studies . pH value of PAL-nZVI solution was acidic (2.96) which exactly corresponds to the conditions for Fenton reaction to take place, thus reducing the use of additional solutions for pH adjustment. Formation of two characteristic signals at 268nm and 330nm for PAL extract (dark brown color) were associated with rings of the polyphenols structures. Absorption peaks in the Fe³⁺ spectra were observed at 203 and 295nm. Furthermore, experimental data revealed that the three times higher adition of PAL extract used for production of PAL-nZVI leads to high absorption peaks in range 200-300nm. This happened because the extract's polyphenols concentration increased while the iron(III) remained unchanged [8]. As a result, there was an abundance of unreacted polyphenolic compounds, which will be considered in further research, as well as other characterization confirmation methods.

Preliminary determination of PAL-nZVI activity was done by its implementation as a catalyst in the decolorization process of three synthetic dyes.

The structural difference between selected dyes can be easily seen on the graphs, for all three dyes characteristic chromophore peaks were detected at higher wavelengths (530-650nm). PAL-nZVI was effective in removing color of anionic, anthraquinone RB4 dye (92.3%) and

complex RR120 azo dye (93.0%). Having in mind differences in chemical structure of model pollutants, PAL-nZVI may be considered as an active, non-selective catalyst. The obtained decolorization and mineralization efficiencies present large difference between the two parameters. The mineralization of PAL-nZVI solution was 38.2%, while for three dyes 37.4, 32.4, 37.5% respectively. According to presented results, it may be concluded that selected and structurally different synthetic dyes were successfully degraded in the nano-Fenton-system (PAL-nZVI/H₂O₂).

Conclusions

Use of natural reducing agent derived from common reed-leaf extract was implemented in the simple synthesis steps. Obtained nano-catalyst was introduced to the Fenton reaction, to investigate its activity in the removal of three structurally different non-biodegradable dyes. Preliminary characterization study showed effective reduction of Fe³⁺ by polyphenols, while they are present in abundance. This condition further affected determination of dye mineralization, but on the other hand, decolorization efficiency was high and easily detected by simple UV-Vis apparatus. All three chromophores were degraded, with obtained high decolorization efficiencies above 92%. Therefore, PAL-nZVI is considered an active and non-selective nano-catalyst with high potential in removal of complex textile dyes.

Acknowledgement: The authors gratefully acknowledge the financial support of the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (Grant No. 451-03-47/2023-01/200125).

Email: : aleksandra.kulic@dh.uns.ac.rs; [djurdja.kerkez@dh.uns.ac.rs](mailto:djurджа.kerkez@dh.uns.ac.rs);
anita.leovac@dh.uns.ac.rs; dunja.radjenovic@dh.uns.ac.rs;
milena.becelic-tomin@dh.uns.ac.rs;
dragana.tomasevic@dh.uns.ac.rs;

Accurate distribution and its importance for the treatment of petroleum hydrocarbons using colloidal activated carbon

Todd Herrington¹, Mariangela Donati², Marcello Carboni²

¹REGENESIS USA, ²REGENESIS Italy

Introduction and study objectives

The use of activated carbon for in situ remediation is on the rise. However, the effectiveness of its distribution within a contaminated aquifer heavily depends on the size of its particles. Granular activated carbon (GAC) and powdered activated carbon (PAC) particles are too large or, when mixed with water, too viscous to distribute without high-pressure fracturing, which can have drawbacks. To overcome the challenges associated with in situ distribution, colloidal activated carbon (CAC) was developed. CAC distributes more homogeneously in situ and is excellent for removing hydrocarbons from the dissolved phase. Once hydrocarbons are adsorbed, stimulated biodegradation can destroy contaminants and extend the material's lifespan. In this talk, we demonstrate the ability of CAC to distribute through soils in a laboratory flow-through microcosm experiment. We also present field research showing the homogenous distribution of injected CAC with 94.4% detection rates in soil cores compared to 42.4% for PAC in adjacent locations.

A CAC formulation with embedded soluble electron acceptors (commercially known as PetroFix) has been used today in approximately 170 petroleum hydrocarbon sites in Europe and in over 760 sites globally. The approach and unique delivery properties have rapidly helped reduce dissolved phase contamination and achieve stable and low concentrations upon a single injection in Italy, Europe and globally. An example is given by an application in an Italian site, where heavy hydrocarbon contamination has been recently treated by a PetroFix permeable reactive barrier at the site boundary, achieving stringent target levels since the first monitoring campaigns (graphs below).

The presentation will provide evidence of the delivery properties of the CAC into the subsurface and will provide several case study examples to highlight the performance of the injectable substrate.

Keywords: In situ remediation; aquifer; petroleum hydrocarbons; injections; ISSB; in situ sorption and biodegradation; activated carbon, colloidal carbon.

*Email:*therrington@regenesi.com,
mcarboni@regenesi.com

mtonati@regenesi.com,

Using real-time monitoring to understand the variability of TCE concentrations in indoor air in a site in Belgium

Paulo Valle¹, Elena Marino¹

¹ERM

Introduction and Study Objectives

In a former manufacturing Site located in Belgium, soil and groundwater investigations performed as part of a Site closure process identified Trichloroethene (TCE) impacts in the shallow soils underneath the main building. The TCE impacts in soil were associated with historical degreasing activities performed at the Site, and the remedial strategy included excavating the shallow soils and installing a vapor extraction system in the areas where residual soil contamination would remain (i.e. impacted areas that could not be excavated due to Site constraints). As part of the delineation campaign, a Vapor Intrusion (VI) assessment was performed to investigate the potential human-health inhalation risk for future workers at the Site. The VI assessment included collecting paired indoor air and sub-slab samples at multiple locations across the Site, an approach commonly used in Belgium and generally well accepted by the regulators. In addition to the VI assessment, during the due diligence process to sell the Site, an additional indoor air and sub-slab sampling round was performed by a potential buyer. The results of the samples collected by the potential buyer differed considerably of the VI assessment results, halting the negotiations and bringing into question the TCE concentrations measured in indoor air during the VI assessment. This study shall summarize the results of the VI sampling campaigns performed at the Site and discuss the efforts performed to understand the different TCE concentrations measured in the indoor air samples collected at the Site.

Materials and Methods

In order to investigate the variability in concentrations of TCE in indoor air, a SRI 8610 Gas Chromatograph (GC) was used to perform indoor air and soil gas real-time monitoring in target locations across the Site. The equipment was fitted with multiple sampling channels and

performed repeated measurements over time in different building rooms located within the impacted area. Discrete samples were collected at potential vapor entry points to investigate the influx of TCE via these points, and the sub-slab differential pressure and the atmospheric conditions were continuously recorded during the real-time monitoring campaign. During the real-time monitoring, indoor air samples were collected with Summa canisters equipped with 8-hour flow regulators to ensure that the real-time results accurately measured the TCE impacts in indoor air.

Results and Discussion

The analytical results obtained during the real-time monitoring campaign correlated well with the summa-canister results and confirmed that TCE concentrations in the different building compartments can vary considerably over time. Both the atmospheric pressure and the differential pressure measurements showed a clear correlation between increased concentrations of TCE in indoor air in the building and periods of positive sub-slab differential pressure. This correlation was also observed in vapor entry points located in the warehouse as well as in the office area, where a higher contaminant flux was observed in moments where a positive sub-slab differential pressure was measured.

Conclusions

This assessment demonstrates the importance of monitoring and understanding the building conditions during indoor air sampling events, and raises questions on the approach commonly applied in many countries across Europe where indoor air and slab samples are collected without the monitoring of the sub-slab differential pressure. Since Vapor Intrusion guidelines in Belgium as well as many other European countries do not require the monitoring of the building conditions during sampling, the indoor air sampling results obtained in many project Sites across Europe may not be representative of the actual vapor intrusion risks occurring at the investigated properties.

Email: elena.marino@erm.com

Constructed wetlands as a sustainable alternative to traditional pump and treat systems

*Olga Vounaki¹, Charline Kaplan¹, Mattias Verbeeck¹, Paulo Valle¹,
Joshua Both²*

¹ERM, ²HMVT

Introduction and Study Objectives

At an active industrial plant in Belgium, a multi-faceted remedial strategy has been developed to address a complex mixture of impacts present in both soil and groundwater. Contaminants of Concern (CoC's) included chlorinated solvents, chlorobenzenes, chlorotoluenes, nickel and PFAS (Per- and Polyfluoroalkyl Substances). Following assessment of the site in the context of the local regulatory requirements, remediation is required to mitigate groundwater off-site migration. The initial remedial strategy consisted of (i) installing a hydraulic containment barrier (Pump & Treat system) at the down gradient site border to limit off-site contaminant migration, and (ii) a phased approach to remediate the major source zones in line with the BATNEEC (Best Available Technique Not Entailing Excessive Costs) principles.

To improve climate resilience at the site, such as promoting rainwater infiltration, and as part of the Belgian Water code incentivizing stakeholders to opt for a comprehensive and integrated water cycle management system, the remedial strategy was re-evaluated. To develop an integrated water resources management solution, the design was re-assessed considering nature-based alternatives that treat the contaminated groundwater extracted through the hydraulic containment barrier, facilitate the infiltration of rainwater and participates in maintaining local biodiversity.

Materials and Methods

A constructed wetlands is a nature-based substitute for traditional pump and treat systems offering a low maintenance, low energy (the pumps would be solar powered) and low-cost solution with a high climate change resilience and high biodiversity preservation and restoration.

A small scale, container-based pilot test is currently ongoing on site, simulating the flow of water as in a full extent wetland. It is composed of three different compartments, varying in layers of soil matrix and on presence of water at the surface, to best assess the future full-scale architecture. Physico-chemical parameters are monitored bi-monthly, whereas water samples are collected monthly at the influent and effluents of all compartments and analyzed on CoC's and indicators of the microbial activity. The analytical data, as well as on field measurements such as weather data, will allow a thorough evaluation of the degradation rates of the CoC's, the viable treatment efficiencies and gather specific design information to size up a constructed wetlands housed in a container to large design.

Results and Discussion

Data gathered during the constructed wetland pilot test will be evaluated to assess the feasibility of replacing the ongoing traditional pump and treat by a nature-based solution and performing a BATNEEC analysis. First pilot test results are promising, indicating excellent removal efficiencies of all CoC's even though the seasonal effects of the winter (less sunlight, lower temperatures) work to its disadvantage. Improvements to be made to a full scale Constructed Wetland are already identified, such the conceptual design, oxygenation, or the water supply system.

Conclusions

Data gathered in the ongoing pilot test shows promising results and area of improvements, even though precaution is key to an objective assessment. It will be running until late summer 2023 to maximally assess the impact of external factors.

Email: paulo.valle@erm.com

Adsorption isotherms and kinetic models for removal endocrine disruptors and from wastewater using advanced oxidation processes in MATLAB

Ould Brahim Insaf¹, Chaouch Saad², Belgacem Ahmed³

¹Laboratory of Transfer Phenomena, Faculty of Mechanical and Processes Engineering,

²Research Center in industrial technologies CRTI 2

Introduction and study objectives

Endocrine disruptors in water, such as food colorings and pharmaceuticals, have become a public health issue in recent years. In recent years for their presence in the environment and their consequences for animals and humans. Food dyes are of particular concern due to their potential to disrupt the endocrine system in humans. The search for alternative methods to ensure a significant elimination of the latter is essential; advanced oxidation processes such as photocatalysis and sonocatalysis are promising alternative processes for the elimination of the latter in order to transform the initial compound into products inert for the endocrine system. These are promising methods using nanomaterials. Perturbator endocryniens was degraded by the advanced oxidation systems. In the present studies, the simulation work on the study the kinetic study of the sonocatalytic and photocatalytic reaction of endocrine disruptors. Before that, the data obtained by adsorption process were simulated by isotherm and kinetic models. Four adsorption isotherms models and thres kinetic models were studied (Langmuir, Freundlich, Dubinin and Tempkin) and (first order, second order and Weber and Morris). Average relative error was calculated to identify the best switable model of adsorption isotherm and kinetic model for adsorption Endocrine disruptors using commercial ZnO. Kinetic studies suggest that the pseudo-second order best fits the kinetic data for adsorption process.

A Langmuir-Hinshelwood kinetic model has been proposed to determine the heterogeneous photodegradation behavior with ZnO of endocrine disruptors at the laboratory scale. Kinetic expressions

were expressed in terms of ADMI color number. Simulation model has been done using Matalab version (R2014a).

Materials and methods

Materials used are listed in the next Table1. For the photocatalytic experiments, the main emission length used is $\lambda=254$ nm. For the sonocatalytic experiments, the experiments were conducted at ultrasound wave of 37 kHz frequency.

Results and Discussion

The value of the coefficient of determination is greater than 0.87 in all cases, which confirms that the values calculated by the models are close to the experimental results.

Conclusions

he results obtained by the MATLAB model are in agreement with the experimental results

Email: iouldbrahim@gmail.com , ouldbrahimpubli@gmail.com, iouldbrahim@usthb.dz

Using Ternary Plots to Evaluate the Influence of Sewer Gas in Vapor Intrusion Pathway Evaluations

Craig A. Cox, CPG

Cox-Colvin & Associates, Inc., Plain City, OH

Introduction

In general, vapor intrusion (VI) assessments evaluate vapor data from three contributing sources: soil gas, indoor or ambient air, and vapors associated with preferential pathways. Most assessment efforts (and modeling) have focused on understanding the contributions from soil gas and from indoor or ambient air. Until recently, contributions from preferential pathways have rarely been evaluated in any rigorous manner. However, the focus on understanding and evaluating preferential pathways is gaining traction, particularly in regard to sanitary sewers.

Sanitary sewers provide a direct vapor pathway into nearly every inhabited building. As a result, they often are the primary preferential pathway of concern. Failure to understand this pathway can lead to a misdiagnosis of the issues and implementation of ineffective mitigation efforts. In a recent study completed by Cox-Colvin & Associates, Inc., sewer gas was determined to be the primary pathway of VI at more than half of the buildings evaluated within a large residential neighborhood.

Materials and Methods

To assess the nature of sewer gas, samples of the gas are collected from manholes, sewer cleanouts, vent stacks, and within restrooms. In addition to the typical COCs (e.g., chlorinated VOCs) associated with suspected contaminant sources, VI assessments should account for compounds typically found in sanitary sewer gas as a result of the use and breakdown of household and industrial cleansers and municipal water treatment (e.g., chloroform, bromoform, bromodichloromethane, and tetrahydrofuran). These compounds can be detected using the same analytical instrumentation and methods used to obtain the concentrations of the COCs.

In restrooms, samples should be collected as part of the VI investigation using the same equipment and analytical methods used in other area of the indoor space. However, you should consider

running the ventilation fan with the door shut to induce VI conditions within the restroom during sampling. This should be discussed with the regulatory body prior to sampling.

Data Evaluation Techniques

The evaluation of VI data is a complicated process because of the various potential sources (soil gas, indoor and ambient air, and sewer gas) that must be considered simultaneously. To help with the interpretation, visual evaluation methods should be employed as part of the analysis. Some of the methods that should be considered include:

- Sewer line integrity mapping based on camera studies and inspections.
- Plotting the ratios of COCs and the sewer gas indicators on maps to look for trends with respect to neighborhoods, groundwater plumes, and sewer line integrity.
- Preparing building specific bar charts of the relative and absolute concentrations of COCs based on the potential migration pathways from soil-gas-to-indoor-air and sewer-gas-to-indoor-air to see if trends in both the presence and concentration profile of COCs and sewer gas indicators in indoor air can be explained by a soil gas source, an indoor or ambient air source, a sewer gas source, or a combination of sources.
- Preparing study area wide ternary diagrams of two key COCs against the totaled concentration of sewer gas indicators. Construct these plots for various sample types (sewer gas, soil gas, indoor air, and ambient air) to evaluate if a sewer gas signature is present in the other sampled media (soil gas, indoor, and ambient air).
- Plotting both the ratios of the relative and absolute concentrations of COCs and sewer gas indicators on CSMs for individual buildings. This exercise can reveal migration pathways in a profound way.

Existing Data Review

To evaluate the potential effect that the sanitary sewer preferential pathway may have on typical VI assessments, a data review was conducted. The primary question for the review was: “Is there

evidence within our existing data sets of influence associated with the sanitary sewer preferential pathway?” To answer this question, we used a data set that contained both a consistent set of COCs, and compounds that could be considered sewer gas indicators.

The dataset consists of 179 samples of: indoor air (69 samples), soil gas (100 samples), and sewer gas (10 samples). These samples are associated with nine VI assessment sites in Ohio collected by Cox-Colvin personnel between March 2014 and December 2019. The primary COCs for these sites were tetrachloroethene (PCE) and trichloroethene (TCE). In addition, the data set included analyses for some of the sewer gas indicators (bromodichloromethane, bromomethane, chloroform, and chloromethane).

Ternary Plot Evaluation

As noted above, ternary plots are useful in the evaluation of data when seeking to understand the relative abundance of three analytes (or groups of analytes) within a dataset of various sample types. For the data set used in our sewer pathway evaluation, we chose to plot the relative concentrations of PCE, TCE, and the combined total of bromodichloromethane, bromomethane, chloroform, and chloromethane against one another. We used the combined total of the sewer gas indicators “boost” the sewer gas signal because their individual concentrations were generally much lower than the those of PCE and TCE.

Inspection of the ternary plot reveals three regions dominated by their end members, PCE, TCE, and Sewer Gas Indicators. Data points falling within each region indicate that the relative concentration of the three end members exceeds 50% for that specific end member. For instance, only four samples (three soil gas and one indoor air) fall within the TCE dominant region of the plot.

Turning our attention to the region of the plot dominated by sewer gas indicators, we see some interesting trends. The first is that all the sewer gas samples fall within this region. This is important because it demonstrates that the use of the combined total concentrations of bromodichloromethane, bromomethane, chloroform, and chloromethane, in this instance, is a good representative value of the influence of sewer gas. The second is that at least four of our sewer gas samples contain appreciable amounts of PCE and TCE.

However, what is perhaps the most important trend is that approximately 35% of the indoor air samples, and approximately 25% of the soil gas samples fall within the region dominated by sewer gas indicators. In other words, influences from the sewer gas preferential pathways may be significantly affecting our soil gas and indoor air samples. This can mean that there are sewer line or lateral line disruptions beneath many slabs, or similar defects within the plumbing that services the building.

The influence of the sewer gas preferential pathway on VI pathway assessments appears to be more profound than we once thought. Potential influence from this pathway could have affected our understanding of VI, and our understanding and interpretation of attenuation factors.

Conclusion

Sanitary sewers represent a significant preferential pathway that should be considered during the development of the CSM and throughout the VI assessment process. To produce robust data sets, sewer gas indicator compounds should be included alongside the list of COCs. In addition, consideration should be given to the collection of sewer gas samples from manholes, sewer cleanouts, vent stacks and restrooms. Accounting for the sewer gas preferential pathway in the CSM provides additional insight into potential sources as well as appropriate means of mitigation.

Email: craig_cox@coxcovin.com

Modelling the influence of advection on the soil gas Radon deficit technique for the quantification of LNAPL saturation

***Alessandra Cecconi¹, Iason Verginelli¹, Fernando Barrio-Parra²,
Eduardo De Miguel², Renato Baciocchi¹***

¹Laboratory of Environmental Engineering, Department of Civil Engineering and Computer Science Engineering, University of Rome Tor Vergata

²Prospecting & Environment Laboratory (PROMEDIAM), ETS de Ingenieros de Minas y Energía, Universidad Politécnica de Madrid,

Introduction and study objectives

Petroleum hydrocarbon contamination in the form of light non-aqueous phase liquids (LNAPL) accumulations in the subsurface is a widespread and studied environmental issue. Identifying and quantifying the extent of this contamination is essential for effective site characterisation, monitoring and remediation, but traditional techniques can neither provide detailed information on the distribution of the product in the subsurface nor quantify the residual LNAPL phase. Several alternative techniques have been proposed in the last decades to address this limitation. This work focuses on the use of the naturally occurring soil gas radon (Rn) as a natural tracer for LNAPL in the subsurface. Due to its preferential partitioning into organic phases, Rn concentration in soil gas decreases in the areas impacted by LNAPL, creating a measurable Rn deficit compared to background concentrations. The application of the technique is therefore based on the behaviour of Rn gas in the subsurface and its transport in the soil gas. Although soil gas migration is typically dominated by diffusion, pressure-driven advection may also be significant under certain conditions. Since advection, compared to diffusion alone, can transfer Rn over a wide range of distances, it is crucial to consider this phenomenon in this context. The present work aims to assess the impact of the occurrence of local advective fluxes on Rn transport for the application of the soil gas Rn deficit technique.

Methods

The influence of advection was studied through a steady-state 1-D analytical model simulating the diffusive-advective transport of Rn in a two-layer domain, representative of the LNAPL source zone and the overlying uncontaminated soil. The analytical solution was obtained assuming homogeneous soil, constant diffusion coefficient and advective velocity and uniform emanation of Rn from the solid matrix. It was also assumed that Rn decay is the only reaction to occur and that Rn partitioning among the soil phases (solid phase, gas, water and LNAPL) is instantaneous and described by linear equilibrium partitioning constants. The analytical solution developed was used to calculate the vertical Rn concentration profiles under different scenarios : a rising water table creating an advective flux toward the surface, a falling water table creating an advective downward flux, and the case of the presence of fresh LNAPL, with an advective upward flux in the zone with LNAPL due to methanogenesis processes and a downward flux in the overlying area of methane oxidation. A full description of the model is available in the literature.

Results and Discussion

The Rn profiles obtained with the analytical solution were compared with those obtained using a numerical model available in the literature, adjusted to account for advective transport. The results of the two models showed good agreement, confirming the validity of the proposed analytical solution.

The Rn profiles were calculated for each scenario in the NAPL zone and the background area not impacted by LNAPL. From the ratio of these two concentration profiles, the expected Rn deficit profiles under the specific conditions of each case were derived. From these results, it was possible to obtain NAPL saturation – Rn deficit curves for a fixed distance between the Rn measurement point and the groundwater table, considering a sandy soil and a diesel-contaminated site.

The curves presented in Figure 2 show that a rising water table (with local advective fluxes in the same direction as diffusive fluxes) can lead to a higher Rn deficit than expected when gas transport is dominated by diffusion and when equilibrium conditions (traditional Rn deficit technique) are assumed. Therefore, in these cases, neglecting advection in the interpretation of Rn data can result in an underestimation of LNAPL saturation. Conversely, for a falling water table, the occurrence of local advective fluxes in the opposite direction of diffusive fluxes can lead to a lower Rn deficit than expected in the

presence of diffusion-dominated transport, resulting in an overestimation of LNAPL saturation if advection is neglected. If equilibrium conditions are considered, also in this case it would lead to an underestimation of LNAPL saturation. In the case of the occurrence of methanogenesis processes, local advection can be expected only in the LNAPL-impacted zone and not in the adjacent areas used as Rn background values. In these cases, such significant differences in Rn profiles can be observed, that the Rn deficit can even become greater than 1, leading to a complete misinterpretation of Rn monitoring data if soil gas Rn measurements are not performed close to the LNAPL source zone (within about 1 m from the water table). However, it was also observed that, in each scenario, the possible error in estimating LNAPL saturation in the presence of advective phenomena is significantly reduced by approaching the Rn measurement point in the soil gas to the LNAPL source zone.

Conclusions

The analytical model presented in this work highlights the importance of considering advective transport in the application of the soil gas Rn deficit technique for the estimation of LNAPL saturation in the subsurface and outlines the potential errors that may arise from neglecting it. It was also found the confounding effects induced by advection can be significantly reduced if soil gas Rn measurements are performed in the proximity of the LNAPL source and thus at greater depths compared to typical soil gas analysis (usually not exceeding 1 - 2 m), using, for example, the headspace of groundwater monitoring wells, typically screened across the smear zone in LNAPL impacted sites. In this view, future research could focus on incorporating additional data sources to more accurately simulate the pressure gradients that can occur in the subsurface, and on simultaneously defining alternative configurations for applying the Rn-deficit technique at greater depths.

Email: cecconi@ing.uniroma2.it

Landfill diversion: Repurposing Construction & Demolition waste & advancing the circular economy

Jelena Hercegovac¹

¹*Repurposelt Pty Ltd*

Introduction and study objectives

Repurpose It Pty Ltd (Repurpose It) is a waste to resource business that holds the fundamental belief that all waste can be converted to valuable resources. It has a vision that to be 100% zero to landfill across its waste portfolio.

The mission is to eliminate waste and pollution through closed loop resource recovery and it is believed that closed loop waste systems are essential if society is to preserve our resources for the next generations.

The company's goal was to seek for alternatives and novel solutions in Australia to further divert Construction and Demolition (C&D) waste from landfill. There's been a big push to transition away from traditional methods where so much of our waste ends up in landfill, a move which has been supported by many government initiatives and Victoria Environment Protection Authority (EPA). As such, the main objective was to find an alternative to traditional landfill disposal that would also help to reduce emissions in the construction and demolition waste field, supporting government and regulatory initiatives. The solution was investing in the worlds most advanced waste processing technologies in order to achieve its goal, which included our washing-plant, the key focus of our presentation.

Repurpose It developed a resource recovery washing, designed to process waste soils into high value clay, sand, and aggregate engineering materials. The treated product materials were to be re-used for building and construction purposes, typically in submerged road corridors and ancillary infrastructure (such as pipe bedding) or blended for pavement use. The project started with researching of available technologies overseas to process contaminated soils and other types of C&D waste. After this, a laboratory trial took place, simulating the wash plant environment (considering limitations). The objective of the trial was to emulate the separation of different fractions in soil and potential contamination which would take place in the wash plant. Further information is summarised below.

Materials and methods

Pilot and field scale work scenarios:

Prior to this technology being implemented at Repurpose It, the technology had already been used in other countries such as England, Ireland and Norway.

In order to understand potential removal of soil contaminants, using a wash plant for the first time in Australia, an initial laboratory assessment took place. Repurpose It was not able to retrieve specific data regarding processing of materials in existing plants, and therefore started a plant trial with the objective of understanding effectiveness and viability.

In order to maximise the potential for success and show proactiveness and transparency, Repurpose It hired experts in different areas (including environment, mechanical and materials engineering), as to create tailored processes that adapted to a new scenario in Victoria. Since there was no technical data regarding results in other facilities, Repurpose It created a system that would allow to get relevant results while operating. This element is quite important, as the associated risk was to potentially not be able to operate in the desired way, requiring iterations or the interruption of the activity. "We were operating without really knowing what the final outcome would be in the Victorian scenario, considering not only a different legislation but also the different materials chemistry and naturally occurring chemicals, if compared to other countries and states, which could alter the process and results" to put it in a summarised way.

Repurpose It also had the advantage of a privileged location that helped to shape the business. Located in a special interest area for waste management and with an extensive footprint and very few potential impact receptors, the site was ideal for the intended activities.

Repurpose It had to comply with the general regulatory requirements that apply to most businesses, but also provide results regarding process efficiency due to the novelty of the solution. After 8 trials and 9 months of operations, Repurpose It provided EPA Victoria with a report which detailed findings, challenges and achievements. EPA Victoria was satisfied with the activities and report, which led to Repurpose It establishing and commencing full scale operations of accepting and processing contaminated and non-contaminated C&D industry waste and spoil.

Wash plant process summary:

The waste material is fed into the plant using an excavator and then initially screened to remove oversize rocks etc. greater than 100 mm. The material less than 100 mm then enters the washing process. The first step involves adding water to create a slurry, which assists to screen and scrub the material. The material then enters the next phase, to scrub clay and contaminants from the sand and aggregate particles. The material is then discharged onto vibrating screens with different mesh sizes, to separate the material according to dimensions. The vibrating screens are fitted with high pressure spray nozzles, forcing high pressure water at the material to remove residual contaminants. The sands are then washed using cyclone technology. The sand is triple washed to remove contaminants such as organics and clays. The sands are dewatered using high frequency screens. The treated material exits the plant via conveyor belts and is then stockpiled for testing. The environmental and technical teams proceed to test the materials to assess potential presence of contaminants and potential applications.

Results and Discussion

Repurpose It started processing contaminated and non-contaminated soils in March 2019. Since then, a very detailed process for data collection and understanding of the process efficiency was implemented.

In order to understand the successful removal of contaminants, potential uses and compliance, the following was implemented:

- 1 – A strict approval process to allow only materials ranging in the Category C soils contamination thresholds or lower.
- 2 – Revision of reports and environmental assessments of the received materials.
- 3 – Internal testing of the received materials.
- 4 – Testing of the process water before and after treatment of soils.
- 5 – Testing of end products, in order to understand composition, and potential risks to the environment and human health, if any.
- 6 – Testing and documentation revision for the establishment of potential uses, from a technical and engineering perspective.
- 7 – Constant communication with EPA Victoria and other critical stakeholders for the transparency of the project development, compliance and establishment of opportunities.

8 – Technical solutions in order to process materials which posed a challenge due to the composition

The data collection has proven that Repurpose It's technology allows to recover valuable resources with applications in various fields such as roads construction, building materials, landfill capping and others. Repurpose It continues looking for opportunities and different uses for the materials.

There is an extensive set of data and classification reports (including risk assessments) which prove that materials can be used for engineering purposes, considering potential risks for the environment and human health.

Conclusions

Repurpose It has developed a resource recovery washing plant, the first of it's kind in Australia, designed to process waste soils into high value clay, sand, and aggregate engineering materials. This has diverted Construction and Demolition (C&D) waste and spoil from landfill, resulting in valuable treated product materials that could be typically re-used for building and construction purposes. The project started with researching of best-practice available technologies overseas, followed by pilot and field scale trials. The success of the trials has led to Repurpose It establishing and commencing full scale operations of processing contaminated and non-contaminated C&D industry waste and spoil and becoming one of the market leaders in supporting the circular economy paradigm.

Email: jelena.hercgovac@repurposeit.com.au

Investigating the relevance of density-driven transport on the vapor intrusion pathway for chlorinated VOCs

Clarissa Settimi¹, Iason Verginelli¹, Daniela Zingaretti¹, Renato Baciocchi¹

¹Laboratory of Environmental Engineering, Department of Civil Engineering and Computer Science Engineering, University of Rome Tor Vergata, Rome

Introduction and study objectives

Chlorinated volatile organic compound (CVOCs), such as trichloroethylene (TCE) or tetrachloroethylene (PCE), present in the surface may cause the vapor intrusion (VI) into overlying buildings with consequent potential long-term risks to the health of the residents. VI is considered a key issue for CVOCs, due to their low biodegradability which does not allow an attenuation during the upward transport of contaminated vapors. In many regulatory programs, to assess potential indoor air risks, VI screening levels (VISLs) are calculated using attenuation factors (AFs), defined as the ratio of indoor air and sub-slab or soil vapor concentrations. When AFs are used for VISLs calculations, they are often based on U.S. EPA empirical findings and U.S. EPA VI guidance (2015) recommends the use of default values of AFs for VI assessment, which are considered independent from the source concentration. In the case of chlorinated compounds, in which no attenuation due to biodegradation is expected, the AFs are assumed to be constant with the source concentration [4]. However, Lahvis and Ettinger, and Abbasi et al., collected data of TCE and PCE concentrations to investigate AFs from a large sample of buildings in California observing a dependence of the attenuation factor from the subsurface concentration. In particular, increasing the contaminants subsurface concentration they observed a decrease of the AFs. In general, there is evidence in literature that for heavy chlorinated compounds (i.e. denser than water vapors) and high permeability soils, density-driven transport (i.e. advection transport by density gradients) could be relevant. Typically, density-driven transport is not considered for evaluating VI even for heavy

chlorinated compounds. However, many buildings in USA are constructed by posing the foundations on a high permeability layer useful for capillary break (i.e. to avoid humidity intrusion) in which density-driven transport could be relevant. In this study we investigate the role of density-driven transport on vapor intrusion by CVOCs in such scenarios. To this aim, a two-layer 1-D analytical model at steady state was developed to simulate the vapor intrusion pathway considering diffusion and density-driven transport for several CVOCs. To validate the model, column tests were performed in laboratory using TCE as target compound. Next, the model was applied to assess the expected AFs in the presence of a density-driven transport and the results were compared with the field observations available in the literature.

Materials and Methods

The 1-D analytical model was developed at steady state conditions considering two layers of soil at different permeabilities. In this way it was possible to simulate a scenario in which building foundations were constructed on a drain layer. The volatilization of chlorinated VOCs from the groundwater source through the two layers was considered affected by diffusion and opposite density-driven transport. The indoor AF was evaluated by using the model from the source of contamination to the sub-slab and by setting 0.03 from the sub-slab to building. Diffusion tests of TCE vapors were performed in laboratory, filling glass columns with different porous media (i.e. sand and gravel) to investigate the vertical soil gas concentration using different permeabilities.

Results and Conclusions

In the column tests performed, the TCE concentration profiles were found lower than the ones expected assuming a diffusion-dominated transport. Conversely, the observed profiles well fitted the concentrations expected by the developed model assuming density-driven transport. Similar outcomes were also found by comparing the indoor AFs expected by the developed model with the ones observed by Lahvis and Ettinger, from field concentration data for TCE and PCE, as a function of the source concentration. In particular, Lahvis and Ettinger, AFs data were well fitted by the trends expected using the developed model considering a density-driven transport in the layer under the building foundations with soil permeabilities values in the

order of 10⁻⁷-10⁻¹⁰ m² (i.e. gravel range), thus simulating the scenario in which a drain layer for capillary break is present under the building foundations. Thus, the obtained results suggest that density-driven transport could be relevant for chlorinated vapor intrusion, especially in the presence of high permeability layers.

Email: settimi@ing.uniroma2.it

Tracing Airborne Microplastics in Modena: results from the MicroTRACES project

Giorgio Veratti¹, Alessandro Bigi², Sergio Teggi², Valentina Ferrari¹, Marco Scaramelli¹, Sara Righi¹, Roberto Simonini¹, Daniela Prevedelli¹, Elisa Bergami¹, Grazia Ghermandi²

¹*Department of Life Sciences, University of Modena and Reggio Emilia;*

²*Department of Engineering “Enzo Ferrari”, University of Modena and Reggio Emilia*

Introduction and study objectives

Microplastics (MPs) are plastic particles smaller than 5 mm, resulting from the mismanagement of plastic products and waste as well as from the fragmentation of larger plastic products. They are ubiquitous in all environmental compartments, from the deepest ocean depths to the highest mountain peaks. Due to their diverse nature, small size, and hydrophobic properties, MPs can easily adsorb contaminants, release harmful chemicals, and enter the food chain, posing significant environmental threats to human health. Recent studies have shown that MPs can accumulate in human tissues and organs, potentially leading to oxidative stress and inflammation. Moreover, some MPs contain toxic chemicals that can be released into the body, raising concerns about their potential long-term health effects. Despite this, little research has been conducted on the presence of MPs in the atmosphere, and data on airborne MP levels in urban outdoor environments are limited to reports from few megalopolises worldwide.

The latest studies indicate that densely populated areas largely contribute to MP contamination, with tire wear abrasion being an abundant source of emission in these environments. Within this framework, the MicroTRACES project (“Microplastics: Tracing sources of Airborne Contamination and Ecotoxicity on Soil”), started on November 2022, aims at investigating the occurrence, small-scale transport and environmental impacts of airborne MPs in Modena, a mid-sized city located in the Po Valley (Italy). To reach this goal, MicroTRACES adopts a multidisciplinary approach covering different aspects of MP contamination, from field monitoring, analytical detection and physico-chemical characterization to atmospheric

dispersion modeling and ecotoxicity testing. Alongside its scientific activities, the project incorporates a dissemination program that seeks to engage stakeholders and increase public awareness about MP contamination, its sources and impacts, and potential mitigation actions.

Materials and methods

To evaluate the airborne MP contamination in Modena, samples were collected at two distinct air quality monitoring stations, one located in close proximity to a busy street with heavy traffic, and the other situated within a public park representing urban background conditions. Daily measurements were taken during wintertime, from January 13th to 19th, 2023, using low volume active pumped samplers featured with quartz fiber filters and an inlet size cut-off of 10 μm . Passive deposition samples were also collected at both locations using aluminum funnels with glass bottles. After 7-14 days, upon collection, the funnels were extensively washed in filtered ultrapure water and samples were concentrated onto membrane filters through vacuum filtration. If needed, passive samples underwent an oxidative treatment and MPs were collected by density separation to minimize matrix effects. Finally, samples were concentrated onto membrane filters. Both active and passive filter samples were examined under an optical fluorescent microscope to determine the number, shape and size of the MP candidates, which were stained with Nile Red, a lipophilic dye that facilitates MP identification. Sub-samples were further analyzed by Raman microscopy (μRaman) to identify their polymeric composition.

Concurrent with the MP identification analysis, atmospheric dispersion simulations of tire, brake and surface wear were conducted at the city scale to estimate the spatial distribution of MP concentrations and deposition. Emissions were estimated using firm technical vehicle characteristics (i.e., speed-dependent emission factors), activity data (measured and modeled traffic fluxes of light and duty vehicles), and local fleet composition. On the other hand, dispersion simulations were conducted during the same periods of the sampling campaigns, using the Lagrangian modeling suite GRAMM-GRAL, which offers a spatial resolution of 4 x 4 m² and is able to account for the presence of buildings in the flow-field reconstruction. As outreach activity, citizens from Modena area were engaged in MicroTRACES through an online survey released during November-December 2022. The questionnaire was developed to characterize

public perception of MP pollution and individuals' actions that may enhance their exposure to MPs. A variety of respondents from public and private ethical organizations and local companies was involved, aiming at investigating people attitude, risk perception and willingness to address environmental issues effectively. Besides, a hundred of students from a scientific high school took part to the educational project "Taking MPs into the class". Their early level of knowledge about plastic pollution was assessed through a first brief cognitive questionnaire related to the project topics, followed by a formative meeting held in the high school. Then, their potential raising of awareness was verified with a second questionnaire. A class was also directly involved in a hands-on laboratory activity focused on the classification of litter items.

Results and Discussion

Preliminary analyses of active and passive filter samples showed that MPs were present in all the processed samples, and petro-chemical-based polymers associated to together with textile natural-based and synthetic fibers represented the great majority of MPs. Further analyses are ongoing to estimate MP deposition rates and abundances at the two sites characterize the physico-chemical properties of polymers and assess their toxicity on soil fauna through bench-scale chronic toxicity tests.

The feedbacks of the questionnaire survey shared with Modena citizens are under elaboration. At an initial assessment of the responses collected, people's perception of plastic pollution emerged as a public issue of concern. Indeed, most of the respondents (93.9%) would support initiatives to raise awareness and monitor plastic contamination in their city. Citizens were concerned or very concerned (92.8%) about the impacts of plastic pollution on the environment and human health. The 96% of the participants had already heard of MP, mainly through social media channels and television, but the questionnaire showed a general lack of knowledge about the main sources of MP in urban environments, their dispersion in the atmosphere and pathways of human exposure. Likewise, almost all high school students (95.2%) stated they will pay more attention to how their habits can affect the environment and human health. After the formative meeting, at least 70% of them were properly informed about MP classification, sources, impacts and routes of exposure.

Conclusions

Plastic pollution is emerging as an enhanced concern topic among citizens. Although massive campaigns have provided a general education about MP widespread distribution and threat for biological communities, public awareness on people's exposure from urban areas is still limited. The preliminary results achieved within the MicroTRACES project support that tyre and road wear may constitute a potentially important source of MP in urban ecosystems. Considering citizens' high interest and awareness towards this topic, the participation of the public in citizen science and student-driven projects could result effective in monitoring MP pollution in indoor and outdoor environments and pursuing a greater understanding of their impacts on the environment and human health.

Email: giorgio.veratti@unimore.it, valentina.ferrari@unimore.it,
marco.scaramelli@unimore.it, sara.righi@unimore.it,
roberto.simonini@unimore.it, daniela.prevedelli@unimore.it,
elisa.bergami@unimore.it, alessandro.biggi@unimore.it,
sergio.teggi@unimore.it, grazia.ghermandi@unimore.it

Immobilisation: a viable solution for large volumes of diffuse PFAS contaminated soil at airports

Dr Matthew Askeland¹, Dr Richard Stewart², Nick Walker³, Mubiana Matakala⁴, Thomas Hanley⁵, Nial Finegan⁵, Alison Price⁶

¹ADE Consulting Group, Australia; ²RemBind

³Australia Pacific Airports Melbourne (APAM)

⁴ADE Consulting Group

⁵EDCORP Project Solutions

⁶SoilCyclers, alison@soilcyclers.com.au

Introduction and study objectives

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are emerging contaminants of concern due to their persistent nature and potential adverse health effects [1]. PFAS contamination at airports is widespread and represented by two key modes, source zone contamination with high concentrations of PFAS related to firefighting activities [2], and more diffuse contamination broadly spread across airport sites. The larger proportion of PFAS mass is in the source zone soils, with the diffuse impacted soil represented by a significant volume of material capable of delivering a sustained PFAS mass flow to receptors.

A sustainable approach is needed to manage high volumes of relatively low PFAS concentration soils where landfill disposal is considered both cost prohibitive and unsustainable and thermal destruction is not feasible. A large-scale trial was commissioned at Melbourne Airport to assess whether immobilisation was a viable alternative for the treatment of diffuse PFAS contaminated soil.

Materials and methods

A novel sorbent testing approach known as the Standardised Sorbent Qualities Measure (SSQM), which assesses the PFAS sorption/desorption capacity of sorbents under standard conditions, was used to select the commercial sorbent RemBind® as the preferred sorbent for the treatment works based on its SSQM score.

Soil treatment involved the addition of 1-2% RemBind® to stockpiled soil using three different blending methods to assess their ability to apply the sorbent evenly and efficiently; an excavator with sieve bucket, a pug mill, a portable Trommel screen.

The Sorbent Application Uniformity Test (SAUT), a novel dye-based method, was used to assess the accuracy and precision of the mixing processes by assessing the mass of sorbent and its distribution throughout the material.

In total, more than 500 soil samples were collected from 24 stockpiles including 50 Quality Control and Quality Assurance (QAQC) samples to enable high resolution assessment, equating to 1 sample per 32 tonnes of material before and after treatment. Samples were assessed for Total (methanol extractable PFAS) and leachable PFAS using the Australian Standard Leaching Procedure (ASLP) at both pH 5 and pH 7.

Results and Discussion

The validation of the soil blending quality for each tested soil blending technology was conducted using total and leachable PFAS assessment and demonstrated PFAS leachability was reduced from Sum PFAS ranging from 0.052 -2.346 ug/L to less than the limit of detection (0.001 ug/L), with a maximum of 0.094 ug/L, equating to greater than 99% reduction in leachable fraction. PFAS leachability reduction was noted for shorter as well as long chain congeners. The reduction in PFAS leachable fractions for PFOS + PFHxS was found to be capable of yielding a >99 % reduction in leachable fraction.

The SAUT method was found to be suitable as a QA/QC method to be used in tandem with PFAS analysis and demonstrated that adequate sorbent-soil blending was achieved with all of the mixing technologies assessed.

Conclusions

This large-scale pilot trial demonstrates that immobilisation with 1% to 2% RemBind® sorbent is a viable, sustainable, and cost-effective solution for the treatment of diffuse PFAS contaminated soil at airport sites. The significant reductions in PFAS leachability achieved by the treatment process were adequate to allow the sustainable reuse of the soils at the airport site, and the novel validation techniques used to assess the quality of the soil blending processes demonstrated the effectiveness and scalability of the overall treatment process.

Email: matthew.askeland@ade.group,
richard.stewart@rembind.com, nick.walker@melair.com.au,
mubiana.matakala@ade.group, tom@edcorpprojectsolutions.com,
nial@edcorpprojectsolutions.com

The evolution of two remediation methods: combined In Situ Stabilization (ISS) and in Situ Chemical Oxidation (ISCO)

Brant Smith¹, Josephine Molin¹, Alberto Leombruni²

¹Evonik Active Oxygens,

²Evonik Operations GmbH

Introduction and study objectives

In situ stabilization (ISS) and in situ chemical oxidation (ISCO) are well-established remediation technologies that have been used to treat contaminated sites since the late 1990s. ISS reduces the spread and leachability of contaminants by reducing the soil's hydraulic conductivity, decreasing pore space, and binding some contaminants while provided the desired soil stability. Potential disadvantages of ISS as a remediation method are that the contamination is left in place maintaining environmental liability and that the addition of binders can cause soils to swell (increase in volume), which requires treatment or disposal. Alternatively, ISCO works by reacting with and breaking down organic pollutants and attacks in the first stage more mobile and easily soluble compounds but can be costly at very high contamination levels combined with strict remedial goals. In recent years, a combination of these two technologies has increased in popularity for heavily contaminated after showing a more complete and cost-effective solution as opposed to applying either technology alone.

Materials and methods

ISCO/ISS has been evaluated in a series of bench and pilot-scale tests 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 provide a history of the development of the two technologies, review scientific theory and discuss the limitations of each technology. Data from 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 and Discussion

Data from sites in Italy and elsewhere will be presented. Data show that addition of the oxidizing agent sodium persulfate can make an ISS application more efficient by reducing the total amount of additives (binder + oxidizing agent). This 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. Addition of sodium persulfate has also resulted in lower hydraulic conductivity and higher strength compared to soils treated with cement only at a similar dose of cement. Data from field trials will illustrate a reduction in the contaminant concentration of more mobile substances such as benzene, naphthalene, and other lighter petroleum products to under exposed action targets, while remaining heavier hydrocarbons were bound with the addition of binders and achieved the targets for reduced leachability.

Email: brant.smith@evonik.com

Safety considerations about biodigesters in the biogas production

Romualdo Marrazzo¹, Cosetta Mazini²

¹ISPRA; ²ARPAE

Introduction and study objectives

In recent years, the production of energy from renewable sources has experienced a marked increase, also thanks to incentive policies specifically aimed at strengthening national production, in order to achieve the objectives set by the EU in terms of climate change and the reduction of emissions. Furthermore, the implementation of the Recovery and Resilience national Plan is going to increase the capability of existing amount of establishments that produce biogas and to allow the construction of new ones. The number of this type of establishments will increase in the coming years in Italy.

Although these establishments are standardised and are characterized by a relative low plant complexity, they may be subject to the Seveso III Directive 2012/18/EU, implemented in Italy by the D.Lgs. 105/2015, aimed at the prevention of major accidents. The D.Lgs. 105/2015 covers establishments where dangerous substances may be present (e.g. during processing or storage) in quantities exceeding certain thresholds. Operators of the establishments are obliged to take all necessary measures to prevent major accidents and to limit their consequences for human health and the environment. Depending on the amount of dangerous substances present, establishments are categorised in lower and upper tier, with different obligations.

Materials and methods

Biogas plants are available in various types of layouts, capacities and versions. Despite the different types, the principle of installations remains the same. Biogas and biomethane are both energy sources for heat and/or power production, for industrial and household applications as well as for the transport sector under bio-fuel forms.

A typical plant for biogas consists of: storage tanks; supply and discharge pipelines; any compression stations and gas decompression cabins; control, operation and safety equipment; ancillary systems. In this regard, the following are considered dangerous elements of the installation: tanks (such as digesters); compression stations and

decompression cabins; any other element presenting a risk of explosion or fire under normal operating conditions, including the transfer point, components and fixed piping.

Sometimes it is possible to find (temporary) biogas storage for which gas recirculations are used. The biogas produced usually feeds directly into a gas engine to generate electricity (and heat). It is also possible to make changes to the composition of the biogas, through an intermediate phase with natural gas, so that it can be fed directly into the natural gas network.

Typical bio-digesters consist of a tank (agricultural and zootechnical waste, animal manure, organic fraction of municipal waste,) covered by a special sheet to collect the biogas produced.

It is therefore necessary to clarify how the gas mixture contained within the bio-digesters, retained by the covers of the digester tanks, any post-digesters and digestate storage tanks should be classified, for the application of the D.Lgs. 105/2015. For the implementation of the decree, the biogas is classified flammable gas, Category 1 with thresholds range of 10-50 tons, as reported in hazard category "P2 FLAMMABLE GASES" of Part 1 of Annex 1 of the D.Lgs. 105/2015.

This thresholds range is more restrictive than thresholds range applied to upgraded biogas. In fact, the Note 19 of the Part 2 of Annex 1 reports that upgraded biogas may be classified under entry 18 of Part 2 of Annex I, with threshold range of 50-200 tons, where it has been processed in accordance with applicable standards for purified and upgraded biogas ensuring a quality equivalent to that of natural gas, including the content of Methane, and which has a maximum of 1 % Oxygen. Consequently, purified and upgraded biogas, also referred to as biomethane, is equivalent to natural gas if it meets these requirements.

Results and Discussion

The biogas upgrading and purification process takes place downstream of the digestion tanks and therefore the gas retained by the tank covers is not to be considered purified or upgraded. The gases present in the bio-digesters are in fact characterized by a methane content equal to an average of 60%, an inert gas content (carbon dioxide and nitrogen) equal to an average of approximately 39% and, for the remainder part - approximately 1%, by impurities whose nature depends on factors such as the origin of the materials entering

the digester, operating conditions of the process, etc. which may have, in some limited cases, dangerous characteristics.

For the reasons stated above, the conditions required by Note 19 of Annex 1 of the D.Lgs.105/2015 are not met for the biogas before the upgrade. It is important to underline that, based on note 2 of Annex 1 of the D.Lgs. 105/2015, for which *“Mixtures shall be treated in the same way as pure substances provided they remain within concentration limits set according to their properties under Regulation (EC) No 1272/2008...”*, for the purposes of classifying and quantifying bio-digestion gas, it is necessary to consider the quantity of gas in the state in which it is present in the bio-digesters and not just the methane component. Furthermore, according to article 11 point 1 of the aforementioned regulation [6] *“Where a substance contains another substance, itself classified as hazardous, whether in the form of an identified impurity, additive or individual constituent, this shall be taken into account for the purposes of classification, if the concentration of the identified impurity, additive or individual constituent is equal to, or greater than, the applicable cut-off value in accordance with paragraph 3”*.

Finally, it should be noted that the quantity to be considered is the maximum quantity present in the plant, consisting of the sum of the free volume of the plant biodigester/post digester designed to contain the biogas (net of the volume used to contain the biomass in the digestion phase or the digestate) and from the hold up of pipes/equipment used to contain and transfer the biogas.

Conclusions

The gas mixture contained within biodigesters/post digesters serving biogas production plants must be classified according to the CLP regulation, taking into account the hazard characteristics of the components of the mixture, not of the methane component only and considering the total quantity of biogas present in the plant (the free volume of the biodigesters/post digesters - net of the volume used to contain the biomass), also considering all the hold up of pipes/equipment used to contain and transfer the biogas. Only upgraded biogas can be classified with less restrictive thresholds range, as it is treated in compliance with the standards applicable to purified and upgraded biogas which ensure a quality equivalent to that of the natural.

Email: romualdo.marrazzo@isprambiente.it; cmazzini@arpae.it

The PFAS Risk Management Strategy

Caron Koll¹

¹*Antea Group USA*

Introduction

Per and polyfluoroalkyl substances (PFAS) Risk Management is a new topic that is becoming ever increasingly a concern for all stakeholders including suppliers, customers, insurers, and investors as regulations and bans on PFAS develop. All stakeholders have a risk relating to brand, product, operations, and legacy liability and could result in significant unexpected capital expense. Regulations are driving PFAS obsolescence in the market. There is a push for PFAS-free products, however, it may take years for research and development to find alternatives that meet the required performance standards. Performance standards that people have come to rely on for safety, avert climate change, and energy reduction will be difficult to meet. Especially, when it took over 50 years to develop the societal benefits that some PFAS brings. Regulations are driving many PFAS into obsolescence in the market.

A PFAS Risk Management Strategic Plan for Business

To say that an abrupt change on the availability of certain products will have a ripple effect to the supply chain is an understatement, maybe more like a tidal wave or tsunami. The products you come to depend on your processing may no longer be available. The replacement products will have a high demand and fewer producers. Stakeholders in a business will have their unique risk and influence on PFAS on the supply chain including the suppliers, the customer. What can you do? This talk will discuss the steps to a development of PFAS Risk Management Strategic Plan.

Step 1 - Desktop PFAS Screening toolbox

Conducting a desktop PFAS screening audit is an excellent way to establish a baseline of PFAS risk within the organization. The baseline risk looks for risk to an organization's brand, operations, product, and environmental liability.

The first thing to do is to send out a consistent questionnaire to each of the organizations, facilities, or business lines in an organization to ensure all PFAS risk factors at every location have been considered.

Each facility assembles, safety data sheets (SDS) and/or supply chain information.

Once the products, components, or suppliers that imply a risk, have been identified, it is time to work with a PFAS subject matter expert (SME) to review organization safety data sheets (SDS) and supply chain. Although SDS, will have inherent data gaps because of reporting rules, significant information can be garnered from an SDS on PFAS risks. An SME can differentiate between the polymers (lower risk) and the non-polymers types of PFAS. When an SDS does provide a PFAS chemical name and case number, these chemicals can be compared to regulatory lists and toxicological studies to further evaluate risks. These PFAS are intentionally added to a product to meet a performance standard.

Set aside the SDSs, a risk screening can be done without SDS. There are several sources of PFAS that are unintentional. There are a number of products that never intended to contain PFAS, but PFAS ends up in the product through several sources, such as packaging, water source, use of biosolids and uptake into foods, and more.

By processing this data through a central desktop PFAS screening tool, the organization can get a clear picture of high-risk areas within its corporate ecosystem that need to be addressed.

Step 2 - Supply Chain Vendor Collaboration

Removing non-essential PFAS from the supply chain – including subcontractor use – is a good first step in reducing PFAS contamination risk. After ensuring the SDS database is up to date with the latest versions from the manufacturers, the organization should consider finding alternative solutions that are PFAS-free.

One roadblock to be aware of is the use of “trade secret” listings to obfuscate the actual composition of a product that may contain PFAS. This is why working with SMEs and doing due diligence to confirm the presence of PFAS is important.

If the organization does eliminate PFAS from its supply chain or operations, equipment must thoroughly clean to eliminate all remaining PFAS. It is important to evaluate and make adjustments to your machinery and process to ensure the replacement product works properly.

Step 3 - Responding to Regulations

Compliance is a moving target when it comes to PFAS. Not only are PFAS regulations becoming more stringent with lower standards but increasing more focused on mixtures rather than individual PFAS. Different regulations occur for PFAS from state to state, country to country, and even region to region. That can make it hard for industry and business to maintain compliance without established uniform clear-cut regulations around these forever chemicals. Different organizations all have their own regulations around PFAS, too. There are also differences around the world in how countries handle PFAS. Australia has the strongest restrictions and environmental cleanup processes. On the other hand, the Europe and United State are not as far along as Australia, but their regulations are ramping up now. Asia is just beginning to evaluate PFAS and their regulation of it. South American countries have PFAS on the radar. With respect to use and import, some members of the European Union are proposing the most stringent ban on PFAS in history.

Step 4 – Research and Development

Regulations may drive the obsolescence of certain PFAS in the market. The use of replacement products could be costly for three reasons.

- 1) investment research and development,
 - 2) Potential process redesign
 - 3) Supply chain shortages for replacement or alternative chemistry
- Research, and development with your process engineering are essential in this step to ensure the replacement meets three criteria:
- 1) replacement chemicals achieve the same or better performance standards,
 - 2) replacement meets a regulated performance standard, and
 - 3) replacement chemicals are not hazardous and/or can be controlled, contained, or recycled.

Raw materials and process aids are typically integral in the design of process equipment and machinery. A minor change in an expected performance standard may require an expensive process redesign, and/or result in an increase in energy demand.

New replacement chemicals might not be as readily available and shortages of the additional to the supply chain could result in higher costs.

Conclusions

Organizations that do take a proactive approach to confront PFAS in their supply and production chains, as well as remediating past environmental impact, reduce their risk of potential PFAS-related litigation, supply chain shortages, negative brand recognition, operational interruptions, and product performance issues.

The rate of litigation has increased in recent years as regulations tighten and more is learned about the long-term impact of these chemicals. Even corporations that don't manufacture PFAS are at risk if they handle and dispose of PFAS-containing products.

Those that don't take action may be scrambling to make a sudden adjustment to processing changes or have their product rejected at borders that have banned PFAS. Because PFAS have been used in a wide spectrum of applications across multiple industries, it is advisable for organizations to proactively assess their risk level for PFAS.

Email: caron.koll@anteagroup.us

Constructed wetland bioremediation of chlorinated organic compounds in a groundwater capture and reinjection system

William Pepe¹, Richard Sellen¹, Scott Wallace², Edward Kolodziej³

¹Stantec, ²Naturally Wallace, ³General Electric

Introduction and study objectives

Control and treatment of a mixed inorganic and chlorinated VOC groundwater plume emanating from a historical unlined waste storage lagoon was required as part of an overall Site strategy to remediate a complex mixture of dissolved chemicals in an alluvial aquifer with sands and silts. Constituents requiring treatment included nitrate (>1,000 mg/l), sulfate (>350 mg/l), tetrachloroethylene (PCE) (~21,000 µg/l), carbon tetrachloride (CT) (~4,700 µg/l), cyanide (CN) (~1,400 µg/l), and molybdenum (Mo) (~10 µg/l). Previous operations to treat the groundwater through conventional ex-situ, while successful, were found to be costly. Therefore, one of the primary objectives was to develop a system to treat this complex array of constituents in a cost-effective manner and to manage long term operation and maintenance (O&M) costs. Factors such as groundwater conservation and sustainability also factored into the decision-making process.

Materials and methods

Based on the results of a technology screening it was decided to utilize hydraulic control with upgradient reinjection as the primary means to control plume migration. An evaluation of treatment methods for the extracted water identified biological treatment utilizing constructed wetlands as a viable treatment alternative to conventional methods. The design included an anaerobic horizontal subsurface flow (HSSF) wetland to function as a bioreactor to remove nitrate, sulfate, Mo, PCE and CT followed by an aerobic vertical flow (VF) wetland to remove ammonia, cyanide, and reduce biological oxygen demand prior to filtration and reinjection to the aquifer. The HSSF wetland was filled with a layer of approximately 2m of locally-sourced wood chips to provide a carbon source and create reducing conditions. Water level is maintained just below the top of the wood chips as it moves laterally through the HSSF wetland. The VF wetland includes an approximately

1.5m thick sand layer with an underlying gravel drainage layer. Water is introduced at the top of the sand and moves downward via unsaturated flow. Both the HSSF and VF wetlands are topped with 0.5m of peat and indigenous wetland plants. Parameters including mass loading, temperature variation, degradation rates, evapotranspiration and the rate of carbon release from the wood chips were used to determine the HSSF wetland bioreactor volumes.

Results and Discussion

Reducing conditions were quickly created in the HSSF wetland after being filled with extracted groundwater and have been consistently maintained throughout the HSSF wetland with only minor addition of biologically available carbon in the colder months. Nitrate and sulfate reduction greater than 99% and 75%, respectively, is observed, and effluent concentrations for all parameters continue to be less than discharge limits. After approximately 6 months of operation and data collection, it has been observed that reductive dechlorination of PCE and CT commenced without the addition of cultured dehalococoides and initial PCE concentrations of greater than 12 mg/L are consistently reduced by more than 99% in the effluent of the HSSF wetland. Monitoring points within the HSSF wetland indicate that nitrate and sulfate are reduced within the first 25 percent of the wetland. This supports the reductive dehalogenation of PCE to vinyl chloride, degradation of CT and CN, and removal of Mo through the remainder of the wetland. The VF wetland has been successful in reducing BOD (75%) and vinyl chloride (88%),

Conclusions

Design objectives were met for the stage I phase of the remediation process with nitrate removal exceeding expectations. Complete dechlorination of carbon tetrachloride was achieved with no residual intermediates. Dechlorination of perchloroethylene, was almost completed with some dichloroethane and volatile compounds residuals. A constant removal rate of composite molybdenum was determined. The experiment did not require any bioaugmentation and peat was effective for odor control. The treated groundwater met requirement for reinjection in the aquifer. The constructed wetland also created the basis to generate ecosystem services.

Email: william.pepe@stantec.com;

richard.sellen@stantec.com;scott.wallace@naturallywallace.com

Field application of endophytic fungi and *Alocasia Calidora* for effective remediation of heavy metal contaminated landfill soil

Auwalu Hassan^{1,2,3}, Fauziah Shahul Hamid^{1,2}. Agamuthu Pariatamby⁴.

¹*Institute of Biological Sciences, Faculty of Science, University of Malaya, Malaysia*

²*Center for Research in Waste Management, Faculty of Science, University of Malaya, Malaysia*

³*Department of Biological Sciences, Faculty of Science, Federal University of Kashere, Nigeria.*

⁴*Jeffrey Sachs Center on Sustainable Development, Sunway University, Sunway, Malaysia*

Introduction and study objectives

Endophytic fungi can enhance phytoremediation through changes in availability, solubility, nutrients, and heavy metal transport via the release of chelators, organic acids, and redox changes (Banik et al., 2014). Mandal et al. (2016) reported that 2-gluconic acids and 5-ketogluconic acids are solely the cause for mobilising and solubilising insoluble $Zn_3(PO_4)_2$, ZnO, and ZnCO₃. Similarly, plant-associated microorganisms produced organic acids that enhanced the dissolution of Zn and Cd and subsequently improved their absorption by the root of plants (Li et al., 2010). Low molecular weight iron chelators (siderophores) serve as agents for solubilisation of iron organic compounds or minerals to improve their effectiveness of uptake under limited conditions of iron (Asad et al., 2019; Banik et al., 2014). Several endophytes that produce siderophores from different plants have been revealed (Ali et al., 2019; Bilal et al., 2018; Shin et al., 2012). Phytoremediation achieved through bioaugmentation with fungi is promising in the decontamination of metal-polluted soil (Bilal et al., 2020). The research is therefore aimed to demonstrate the combined influence of *Alocasia calidora* and a consortium of fungi on the remediation of heavy metal polluted landfill soil under field condition.

Materials and methods

Five fresh young plants of *A. calidora*, each for treatment and control plots were collected from the field and transported to the demarcated

zone for transplanting. The initial measured heights of the plants were recorded. The plants were planted in the already dug holes within the designated plots (1M x 1M). The plants were allowed to remain for 7 days before the fungal application into the soil. After 7 days, 6.5 litres of the prepared fungal inoculum were introduced into the soil. The introduction of the inoculum was carried out by spraying the inoculum on the soil surface, while some portion (2 litres) was introduced into the already inserted (30 cm deep inside the soil) polyvinyl pipe. This was to enable for better penetration of the fungal inoculum into the soil to come in contact with the roots of the plants. This introduction of the fungal isolates into the soil marks the beginning of the experiment. The experiment was set for 120 days, and the supplementation of the fungal inoculum was carried out at Day 0 (initial), Day 30, Day 60, and Day 90. On Day 120, the plants' heights were measured and recorded. The plants were subsequently uprooted and taken to the laboratory for analysis. Some of the analysed parameters include metal accumulation, growth parameters, mycorrhizal colonization, enzyme activity, and presence of metabolites. Meanwhile, the residual concentrations in the soil were also measured.

Results and discussion

Enhanced growth was realised in the shoots and roots of fungi inoculated *A. calidora*. On a pairwise comparison, the results of the metal accumulation revealed high concentrations of As (12.67 mg/kg) and Cu (142.77 mg/kg) in the shoots of fungi inoculated *A. calidora* relative to the uninoculated one. However, in most cases, the differences between the inoculated and uninoculated were not significant ($P > 0.05$). Meanwhile, only Fe (1301.09 mg/kg) and Cr (242.36 mg/kg) were substantially retained in the shoot of uninoculated *A. calidora* ($P < 0.05$). In the case of root accumulation, Fe (306.04 mg/kg) and Cu (111.26 mg/kg) were accumulated in the roots of fungi amended *A. calidora* relative to the unamended one ($P < 0.05$). On the other hand, Cr (158.12 mg/kg) was better accumulated in the uninoculated roots ($P < 0.05$). However, the concentrations of As in the roots showed no significant variation between the inoculated and uninoculated *A. calidora* ($P > 0.05$). The values of the translocation factor revealed that As (2.37) and Cu (3.83) were better accumulated in the shoots of the treated plant, while Cr (0.55) and Fe (0.10) were more accumulated in the roots of the treated plant. The results

indicated that the interaction of the fungal consortium with the *A. calidora* might have alleviated the metal induced stress and enhanced their accumulation in the plant. The significant accumulation of As and Cu in the roots and the subsequent transfer to the above-ground parts were in conformity with Yihui et al. (2017) who also reported a significant uptake of Pb by *Zea mays* L. inoculated with endophytic *Gaeumannomyces cylindrosporus*. On the other hand, the inoculation of the fungal consortium to the roots of *A. calidora* might have significantly reduced the uptake and translocation of Cr and Fe relative to the control *A. calidora*. This can be attributed to a defence strategy by the endophytic fungi which coincides with the other findings where the application of endophytic fungi to plants has reportedly ameliorated adverse effects of metal stress (Ma et al., 2016). It was noted that the residual concentrations in the fungi supplemented soil were lower than those in the control soil. On the other hand, various compounds such as S-(4-Nitrobenzyl) glutathione, Tryptophan, Indole-acrylic acid, 5,2-Dihydroxy flavone, 5,7,2',3'-Tetrahydroflavone, and various tripeptides such as Lys-Gln-Ile, Val-Lys-Met, Ser-Pro-Arg, Asp-Pro-Ser, Arg-Thr-Glu, His-His-Arg, Thr-Ser-Asn, Arg-Arg-Gln which might have improved the tolerance, metal accumulation, and growth were detected in both the treated and untreated *A. calidora*.

Conclusions

It is believed that the inoculated fungal organisms improved the tolerance, metal accumulation, and growth of *A. calidora*. Thus, blended fungal organisms with plants can be employed in the treatment of heavy metal contaminated soil.

Email: auwalhssn@gmail.com

Life Narmena: nature-based remediation techniques for heavy metals in sediment - constructed wetlands

Mineur Axelle¹, De Vos Jan¹, Kuijk Froukje², Viaene Karel³, Dubin Dirk⁴

¹ ABO nv, Belgium, +32

² OVAM, Mechelen, Belgium

³ ARCHE, Ghent, Belgium

⁴ bio2clean BV, Hasselt, Belgium

Introduction and study objectives

The industrial legacy of western Europe has caused several problems with contamination. One particular issue that will be targeted in the LIFE NARMENA project is contamination with heavy metals in small watercourses that flow through nature reserves. While the source activities are often no longer present, the contamination remains in the sediment and on the banks of the stream. The sediment and banks act as secondary source zones, gradually causing further spreading of the stored contamination, exacerbating the problems caused by this heavy metal contamination. Beside human exposure, ecological exposure is an important issue not only in the streams itself but also in nature reserves through which they flow. Traditional remediation techniques for contaminated sediment typically rely on the removal of contaminated material. While this might be an effective technique in residential or agricultural settings, it is often not desirable in areas with a high nature value as significant ecological damage can be caused by such conventional techniques.

The objective of the LIFE NARMENA project, is to demonstrate less intrusive, nature-based remediation techniques to manage heavy metal contamination in flood-prone watercourses.

Materials and methods

The remediation concept will be aligned with the general water and nature management and requires an integrated approach to deal not only with the environmental issues but also the economic and social implications. To facilitate this, the LIFE NARMENA project brings together a diverse consortium of stakeholders: relevant public organizations, nature NGO's and technical partners.

The project consists of three test sites where different nature-based remediation concepts will be demonstrated.

Two of the sites will be used to demonstrate the use of free water surface constructed wetlands. Both sites are primarily contaminated with cadmium, and additionally contain lower traces of other metals (mainly mercury and arsenic). The contamination on both sites was caused by a combination of historical sediment deposition on the banks and significant seasonal flooding. The remediation concept consists of controlled inundation of the sites, hereby altering the geochemical conditions in the top of the soil/sediment, which results in a decrease in bioavailability and overall mobility of the contaminants.

Two of the sites will be used to demonstrate the use of free water surface constructed wetlands. Both sites are primarily contaminated with cadmium, and additionally contain lower traces of other metals (mainly mercury and arsenic). The contamination on both sites was caused by a combination of historical sediment deposition on the banks and significant seasonal flooding. The remediation concept consists of controlled inundation of the sites, hereby altering the geochemical conditions in the top of the soil/sediment, which results in a decrease in bioavailability and overall mobility of the contaminants.

Results and Discussion

For one of these two cadmium-contaminated sites, called the “Winterbeek”, the works started in the fall of 2022 and the constructed wetland will be finished in 2023.

Conclusions

The project started in autumn 2019. At the conference we will be able to share more details on the design of the nature-based remediation technologies, as well as results from the baseline measurements before and monitoring results from after the construction of the constructed wetland. We will also share information about how design decisions were made, especially with regards to bioavailability and ecotoxicological modeling.

Email: axelle.mineur@abo-group.eu, Jan.DeVos@abo-group.eu,
froukje.kuijk@ovam.be, karel.viaene@arche-consulting.be,
dirk@bio2clean.be

Life FRAC IN: enabling in situ soil remediation on low-permeability sites through hydraulic and pneumatic fracturing

Decru Stijn¹, Mineur Axelle¹, De Vos Jan¹, Ondřej Lhotský²

¹*ABO nv, Derbystraat 55, Belgium,*

²*Dekonta as*

Introduction and study objectives

The pattern of ground remediation practices is altering from traditional excavation and 'ex-situ' treatment toward in-situ treatment technologies. This shift is caused by increased regulatory control of landfill operations and associated rising costs, combined with the requirements on sustainability and the ongoing improvement of in-situ ground remediation techniques. In the case of in situ chemical or biological treatments (ISCO, ISCR, biodegradation, stabilization, sorption, etc.), different remediation agents are injected into the soil for contaminant removal/breakdown. Successful treatment of the soil depends on direct contact between the remediation agents and the contaminant. Therefore, proper distribution of the remediation agents into the contaminated matrices is crucial.

Direct push (DP) is an innovative delivery method used for injection of soil remediation agents in situ, while omitting the need for permanent wells. This reduces material and operational costs and makes it possible to achieve higher treatment efficacies. A variety of remediation agents (oxidants, reduction agents, nutrients etc.,) both in liquid and solid (suspension) form can be injected via DP. The main limitation of DP is poor applicability for sites with a low permeability (permeability below 10⁻⁵ m/s). While proven successful for highly permeable soils, this limitation is currently hampering the application of in situ chemical or biological treatment in low permeable soils.

Materials and methods

The problem of minimal spreading of injected remedial agents in low permeability soils can be overcome through soil fracturing (hydraulic, pneumatic or blasting). However, the existing fracturing technology is not suitable for a remediating agents' injection without the

installation of special wells. The FRAC-IN technology combines Direct-Push drilling with pneumatic and hydraulic fracturing to inject remediation agents in low permeable contaminated soils, thus enabling in situ treatment. The injected suspension consists of a water-sand-guar gum mixture, containing tailor-made remediation agents such as coarse milled iron filings (recycled waste material) and/or other chemical reductants or oxidants, and carbon/oxygen sources to enhance bacterial activity.

Several contaminated sites (5 in Belgium, 2 in Czechia) have been selected for pilot testing of the FRAC-IN technology. Thus a wide range of geological and contamination conditions are represented. On 1 Belgian site, Cr(VI) contamination is present in the banks of a motorway, due to waste from a chromate plant. A direct push injection pilot failed because of the low permeability of the sandy clay soil. At another Belgian site, chlorinated solvents are present in groundwater due to historical metal works activities (degreasing). The soil consists of sandy and loamy clays and hence is poorly permeable, limiting the available remediation solutions. Overall, 12 to 36 injections will be performed per site with various remediation agents injected at regular intervals.

Results and Discussion

The objective of the proposed LIFE project is to validate the FRAC-IN technology in different field conditions and soil types, to provide a list of reference projects for potential customers and to speed up the wider implementation of the technology for full scale applications. Verifying the optimal operating conditions, the vertical working ranges and the compatibility of FRAC-IN with established remediation agents will result in operational guidelines. The first pilot tests were initiated in 2018.

Conclusions

At the conference, the application of the FRAC-IN technology at several pilot test sites, as well as the achieved clean-up of each encountered contaminant, will be presented.

Email: stijn.decru@abo-group.eu, axelle.mineur@abo-group.eu, Jan.DeVos@abo-group.eu, ondrej.lhotsky@dekonta.cz

The influence of low molecular weight organic acids on the bioavailability of heavy metals in sediments

Nina Đukanović¹, Jelena Beljin¹, Tijana Zeremski², Marijana Kragulj Isakovski¹, Srđan Rončević¹, Nadežda Stojanov², Snežana Maletić¹

¹University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department for Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Novi Sad, Serbia;

²Institute of Field and Vegetable Crops Novi Sad, Serbia.

Introduction and study objectives

Heavy metals are known as contaminants present in the environment as a consequence of industrialization and other human activities. When present in an aquatic and terrestrial environment they could cause harmful effects on plants, animals, and humans. Cleaning sediment contaminated with heavy metals and other groups of pollutants is a big challenge. Numerous in-situ and ex-situ remediation techniques are known, but few of them have proven to be sustainable and easy to implement. In order to remediate soils and sediments contaminated with heavy metals, phytoremediation has gained great interest from researchers, as an efficient, environmentally friendly and cost-effective remediation method that is easily applied. Phytoremediation is based on the unique and selective abilities of plants to absorb metals primarily through the root system, and then translocate and metabolize them throughout the plant body.

One of the ways to improve the efficiency of phytoremediation is to increase the bioavailability of heavy metals, where the addition of low molecular weight organic acids (LMWOAs), which form soluble complexes with metals and thus increase their bioavailability, has a significant effect.

The research aimed to investigate the effectiveness of a low molecular weight organic acid (citric acid) in increasing the bioavailability of metals. Previous research was focused on testing the potential of rapeseed for phytoremediation of polluted sediment. The results showed that rapeseed as an energy plant has a high potential for phytoremediation, but the limiting factor was the low bioavailability of heavy metals, which rapeseed did not increase.

Materials and methods

The sediment used is contaminated sediment from the Begej canal near the Serbian-Romanian border. Based on the results of previous tests, it was concluded that the sediment contains high concentrations of Cu, Cr, Cd and Zn. Contaminated sediment was dredged from the Begej canal and placed on a previously prepared landfill, where it was mixed with uncontaminated soil. Contaminated soil/sediment from the landfill was manually mixed and homogenized before being placed in the pots.

POT experiments were performed in the open air under natural weather conditions. Energy crop selected for POT trials was rapeseed (*Brassica napus*). 18 metal POTs were filled with 5 kg of polluted sediment. The rapeseed was sown in the last week of April. 6 treatments were set, including 1 control (CK) (rapeseed in those POTs was not treated until the end of the experiment) and 5 treatments amended with different concentrations of citric acid. Next treatment were applied:

1. Citric acid in concentrations 10, 20 and 40 mmol/kg (CA 10, CA 20, CA 40).

2. Citric acid in concentrations 20 and 40 mmol/kg, added successively, 10+10 mmol/kg, and 10+10+20 mmol/kg, with an interval of 7 days between additions (CA 10+10, CA 10+10+20).

Each treatment was replicated for three times, and first amendments was added five weeks after sowing. Sediment samples were collected at the beginning of the experiment and from each POT after the all plants were collected. After collection, the samples were dried and ground and subjected to sequential extraction (BCR). The content of the heavy metal of each fraction was analyzed on ICP-MS.

Results and Discussion

Based on the obtained results of BCR, the bioavailable fraction of Cr after all treatments is less than 5%, Cu less than 35% and Zn less than 50%. In the case of Cd, a large amount of available fractions was observed in all treatments, over 60%. No great difference in efficacy was observed between different doses or between successive acid additions. In CK, the bioavailable fraction of all metals is higher than in SS, which is not the case in the sediments after treatment, so after some treatments, the bioavailable metal fractions decreased compared to SS. The previous mentioned facts about the formation of soluble complexes between metals and organic acids, which are more

easily absorbed and transported by plants, the BCR results from this study cannot be confirmed, considering that after treatment with citric acid, the bioavailable fraction of all analyzed metals becomes lower in comparison to the concentration in SS. This shows that the effect of organic acid on the distribution of metal fractions is complex and depends on a number of different factors. In addition to directly affecting metal bioavailability by lowering pH and forming soluble complexes, citric acid can interact with soil microbes and modify root growth. Also, the influence of the acid largely depends on the plant species used for phytoremediation.

Conclusion

Based on the obtained results, the bioavailable fraction of the metals is very low, and most of the metal content is distributed in the residual fractions (non-bioavailable fraction). BCR results showed that the bioavailable metal fraction did not increase with the use of citric acid, nor were significant differences observed between different doses and successive additions, indicating that the effect of LMWOAs on metal distribution is much more complex than the formation of soluble complexes that are more easily absorbed by plants.

*Email: nina.djukanovic@dh.uns.ac.rs, jelena.beljin@dh.uns.ac.rs;
tijana.zeremski@ifvcns.ns.ac.rs; marijana.kragulj@dh.uns.ac.rs;
srdjan.roncevic@dh.uns.ac.rs; nadezda.stojanov@ifvcns.ns.ac.rs;
snezana.maletic@dh.uns.ac.rs*

The soil-omic for soil and groundwater decontamination, an integrated chemical-physical-biological process supported by metabarcoding of soil bacterial communities

Alessandro Gentini¹, Simone Becarelli², Serena Doni³, Carlos Garcia Izquierdo⁴, Simona Di Gregorio²

¹Teseco Bonifiche srl, Pisa, Italy,

²BIOUNUPI, University of Pisa, Italy;

³CNR-IRET, Pisa, Italy;

⁴CEBAS-CSIS, Murcia, Spain.

This work is part of the POSIDON project that received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement n°776838

Introduction and study objectives

The consortium formed by TESECO BONIFICHE, BIOUNUPI, CNR-IRET, CEBAS-CSIC has awarded the POSIDON PCP contract and developed an innovative technology for soil and groundwater decontamination, which is based on an integrated chemical-physical-biological process (Soil-Omic) and the use of a plant specially designed for its application in situ (Bio-flushing).

Soil-Omic process is an innovative protocol that uses combined biological and chemical-physical processes, based on the integration of metagenomics and environmental engineering, and aimed at the decontamination of soils and groundwater from organic and inorganic pollutants.

Bio-flushing technology targets the depletion of recalcitrant organic environmental contaminants deriving from industrial activities:

- Hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), polychlorinated biphenyls (PCB), chlorinated volatile compounds and BTEX -benzene, toluene, ethylbenzene and xylene, organochlorine compounds (lindane and other pesticides)

as well as on metals and metalloids:

- Lead, Cadmium, Copper, Chrome, Zinc, Nickel, Arsenic.

The technology has been designed to operate on both the unsaturated and saturated phases of the soil, and decontaminates the

groundwater, which is used as a medium for biological and chemical flushing.

Soil-Omic employs a physical-chemical-microbiological conceptual model of the site.

The innovation to the site conceptual model design consists in the microbiological dimension of the latter, supported by a multi-parametric analysis, surveying the taxonomical study of the microbial communities autochthonous to the contaminated matrix.

The study of the soil and groundwater also takes place through detailed chemical, physical and mineralogical analyzes, which involve all the natural components and contaminations.

Soil-omic consists in the integration of consolidated physical-chemical approach with metagenomics and culturomics, to assess and govern the process of decontamination of organic and inorganic pollution.

Next generation sequencing methods is adopted to investigate the entire complement of organisms in the matrices of interest. The sequencing methods applied (NGS) requires advanced bioinformatic instruments for handling huge amounts of data, offering meaningful biological interpretations of the same.

At the same time, Soil-omic adopts a culturomic approach to select microbial candidates that perform the metabolic functions required to achieve the goal: 1) the degradation of organic contamination, 2) the increase of the bio-available portion of the contamination.

In parallel, through sequential extraction protocols developed directly on site-specific matrices, our technology allows the production of chemical solutions suitable for the desorption, transformation and solubilization of inorganic contaminants.

The Soil-Omic procedure is applied in situ through the operating technology of Bioflushing, an original technological system that purifies contaminated groundwater and establishes a circulation of specific biological and chemical-physical solutions in the subsoil for the degradation of organic contaminants and removal of inorganic contaminants.

Specialized biomass and chemical treatment solutions therefore find application in in situ Bio-flushing.

Bio-flushing combines biological and chemical treatment cycles.

CYCLE 1) soil improvement, biostimulation and bioaugmentation of the autochthonous microbial community for the degradation of the organic contamination



CYCLE 2) chemical flushing by leaching solutions.



Bio-flushing plant is designed to perform the following operations in situ:

1. soil conditioning and hydro-chemical-microfracturing, to improve permeability and facilitate the spread of treatment fluids;
2. bio-stimulation and improvement of soil by solutions enriched by oxygen, nitrogen and selected soil improvers;
3. bio-augmentation of the matrices to be treated with inocula of the biomass selected for degradation (fungi and bacteria);
4. chemical flushing of inorganic contaminants;
5. extraction of contaminated groundwater and purification by physical chemical treatment and filtration.

Email: serena.doni@cnr.it

Assessing organic amendment's ability to reduce bioavailability of Trifluralin

Jelena Beljin¹, Marijana Kragulj Isakovski¹, Nina Đukanović¹, Jelena Molnar Jazić¹, Tamara Apostolović¹, Srđan Rončević¹, Snežana Maletić¹

¹University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Trg Dositeja Obradovica 3, 21000, Novi Sad, Serbia

Introduction and study objectives

Trifluralin belongs to the di-nitroaniline group of herbicides used in the fight against weeds, which has an aniline structure in its base, and NO₂- functional groups at the 2nd and 6th or 3rd and 5th positions of the benzene ring. It has been used in agriculture since 1963, but since 2007, according to directive 2007/629/EC, the use, import and circulation of trifluralin has been prohibited on the territory of the European Union. One of the main characteristics of trifluralin is its persistence resulting from poor mobility, which can affect crops in the following season in the crop rotation. It is generally known that natural organic matter present in the sediments or soil affects the reduction of the bioavailable fraction of organic pollutants, ie. they affect the sequestration/stabilization of these compounds. This natural sequestration of pollutants in the sediment can be significantly increased by the addition of produced carbon-rich sorption agents. Activated charcoal (AC) is commonly used to protect plants from herbicide damage in soil. The success of AC amendments as a rehabilitation technique for different herbicide residues varies, frequently leading in the herbicide-impacted agricultural area being left alone or alternative crops being planted until the herbicide residues have evaporated. Biochars are relatively novel additions that are also being utilized to reduce possible off-site transfer or for clean-up [5]. The overall goal of this research is to investigate the potential of applying carbon-rich agents, with the aim of local change of geochemical properties of the sediment for the purpose of immobilization and sequestration of selected organic pollutants in the sediment from the aspect of selecting carbon sorption agents (activated carbon and biochar); determining the optimal amount of

material; testing the long-term and short-term effects of the addition of these agents on the bioavailability of trifluralin in order to examine the effect of aging and toxicity of the resulting mixtures.

Materials and methods

Characterization of sediment. Sediment was collected from Jegrička River in Autonomous Province of Vojvodina (Republic of Serbia). Sediment was air dried in the dark at room temperature, ground, sieved and analysed. Characterization of sorbents. As expected, activated carbon compared to biochar had the highest value of total organic carbon (83.3%), which reflects the high hydrophobicity and purity of the applied carbon sorbent. On the other hand, the values of total organic carbon for biochar are significantly lower (54.7% for total organic carbon and 81.0% for carbon, respectively) indicating that this applied carbon sorbents are more polar than active carbon. In addition, the specific surface area and porosity of biochar is lower compared to activated charcoal. Thus, activated carbon has the highest specific surface area and porosity, several times higher than the specific surface area and porosity of the examined biochar. T-test showed that there are no micropores in the sample of biochar hale the volume of micropores was 0.18 cm³/g for activated carbon. However, additional evaluations using the HK method showed the presence of micropores in all tested materials. Based on the obtained results, it is concluded that activated carbon has a microporous structure, while biochar consists mainly of mesopores.

Results and Discussion

The evaluation of the efficiency of the added sorption agents on the immobilization of trifluralin was performed based on the total desorbed amount of the compound through multi-stage desorption with XAD-4 resin and the estimation of the bioavailable fraction. The effectiveness of the immobilizations was monitored over a long-time interval for four different equilibration times (0, 14, 30, 90 and 180 days), and the impact of sediment aging with sorption agents on the desorption rate, i.e., the bioavailability of selected compounds, was analysed, which can provide further insight. into the sorption mechanism. The addition of activated carbon and biochar in three different concentrations, as well as the amount of desorbed trifluralin. The bioavailable fraction of compounds in the sediment without treatment was 67.1%. However, after treatment, it is observed that in

all treated samples the bioavailable fractions of compounds were below 15%. The cause of this phenomenon may be the structure of trifluralin and its functional groups that interact with the surface of sorption agents.

Conclusions

The potential of sediment remediation with the addition of carbonaceous materials was examined from an aspect selection of carbon sorption agents (activated carbon and biochar); determination of optimal quantities of materials; examining the long-term and short-term effects of the addition of these agents on bioavailability of trifluralin to examine the effect of aging and toxicity obtained mixtures. The results of pollutant stabilization in sediment show that: (1) Increasing the dose of all three sorption agents leads to an increase in immobilization efficiency and reduction of the bioavailable fraction of selected organic compounds. Optimal dose of the sorption agent is 1% for activated charcoal and 5% for biochar, whereby the lowest bioavailable fractions of compounds using activated carbon; (2) Aging of the mixture of sediment and sorbents leads to a further decrease in the bioavailable fraction. For activated carbon during the first 90 days after which there is no further change bioavailable fractions. In the case of biochar, after 90 days there is an insignificant increasing the bioavailable fraction, which should be investigated further.

*Email: jelena.beljin@dh.uns.ac.rs, marijana.kragulj@dh.uns.ac.rs;
nina.djukanovic@dh.uns.ac.rs; jelena.molnar@dh.uns.ac.rs;
tamara.apostolovic@dh.uns.ac.rs; srdjan.roncevic@dh.uns.ac.rs;
snezana.maletic@dh.uns.ac.rs*

Synthesis and possibility of application of magnesium titanates based photocatalysts for reduction of environmental contaminants in sediments

Jelena Beljin¹, Iryna Matsukevich², Nina Đukanović¹, Nataša Slijepčević¹, Tamara Apostolović¹, Marijana Kragulj Isakovski¹, Snežana Maletić¹

¹University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Novi Sad, Serbia

²Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Introduction and study objectives

Nanocomposite materials based on metal oxides are interesting from the point of view of their application for reducing the negative impact of human economic activity on the environment, preventing air, water, and soil pollution. Thus, many modern works have shown the effectiveness of nanocomposites based on oxides and metal nanoparticles as a catalyst in the synthesis of methanol from carbon dioxide, a sorbent of toxic impurities from aqueous media, a photocatalyst in processes in the processes of photodegradation of antibiotic solutions. Such materials can find application both for solving one of the listed problems and for a complex of similar problems, for example, for the restoration of areas simultaneously contaminated with heavy metal ions and dyes. Magnesium titanates have unique optical, electrical, and antibacterial properties, which leads to increased interest in the study of these objects. There is practically no information in the literature on the study of these materials as photocatalysts and sorbents, which determines the scientific novelty of the proposed project. The attention of the world community of scientists is concentrated mainly on the luminescent, optical, and electrical properties of magnesium titanate. However, recent works demonstrate high photocatalytic activity of composites based on magnesium titanates in the processes of photodegradation of organic impurities under the action of visible light.

Materials and methods

For the synthesis of magnesium titanates and nanocomposites of the MgO–TiO₂ system, sol-gel, citrate, hydrothermal methods, precipitation method and glycine-citrate-nitrate synthesis (Pechini method) are used. Among these methods, glycine-citrate-nitrate synthesis has advantages associated with the ability to obtain a solid material with a small particle size (up to 10 nm) from chemically homogeneous precursors. In addition, the advantages of the method include simplicity and a rather low temperature of thermal treatment of precursors to obtain target complex oxide systems. After synthesis all materials were characterised.

Results and Discussion

The general formula for the crystal structure of spinel is AB₂O₄, however, the Mg₂TiO₄ compound can also be assigned to the spinel family. The crystal structure of Mg₂TiO₄ is commonly referred to as modified spinel or reversed spinel. Spinel containing tetra- and divalent elements are always reversed. Oxygen ions are densely packed in four planes of the cell, which contains both octahedral and tetrahedral voids connected by vertices. The perovskite crystal structure is characterized by the general formula ABO₃. Based on the general formula, it can be precisely determined that MgTiO₃ has a given structure. The structure of perovskite is the densest packing of oxygen ions and cations A and B, where cations B populate octahedrons formed by oxygen ions. The MgTi₂O₅ compound can be attributed to the crystal structure of pseudobrookite. The crystal structure of brookite consists of octahedral TiO₆ groups located between the planes of the closest hexagonal packing, connected through common edges into zigzag chains, which, in turn, are connected through common vertices to chains of neighboring layers. The difference between brookite and pseudobrookite is that pseudobrookite is characterized by a strong distortion of cation centres, which causes anisotropy of the thermal expansion of the structure. X-ray patterns of TiO₂-MgO composites obtained by the glycine-citrate-nitrate method from aqueous solutions after finishing heat treatment. The main components are the MgTiO₃ MgTi₂O₅ phases; some samples are characterized by the presence of an impurity TiO₂ phase. According to the data of thermal analysis of xerogels obtained by heat treatment of a glycine-citrate-nitrate mixture during the synthesis of the TiO₂ x MgO composite at 300°C,

the decomposition of the xerogel proceeds in three stages. At the first stage (from room temperature to 250 – 300°C), free and bound water is released, the content of which in this precursor reaches 13%. The weight loss at the second stage (300 – 600°C) is approximately 41% and is accompanied by a pronounced exothermic effect due to the oxidation of organic components by atmospheric oxygen. A slight weight loss (about 6%) at the third stage can be associated with the oxidation of residual organic components, and the accompanying weak exothermic peak at temperatures of 688°C is probably associated with the improvement of the structure and an increase in the phase purity of MgTiO₃.

Conclusions

Based on the characteristics of the obtained materials, it can be assumed that their application to remove inorganic and organic pollutants would be effective. A matrix such as sediment is challenging in terms of interactions and different factors involved in the mechanisms of pollutant removal from it. There is a need for focused research on the relationship between sediment organisms, organic matter content and other sediment characteristic and photodegradation.

*Email: jelena.beljin@dh.uns.ac.rs, irinavas.k1975@gmail.com;
nina.djukanovic@dh.uns.ac.rs; natasa.slijepcevic@dh.uns.ac.rs;
tamara.apostolovic@dh.uns.ac.rs; marijana.kragulj@dh.uns.ac.rs;
snezana.maletic@dh.uns.ac.rs*

The proposed EU Nature restoration law: challenges and opportunities

Luigi Servadei¹

¹CREA - Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Roma

Introduction and study objectives

The European Green Deal aims to conserve and improve the European Union's natural capital and protect the health and well-being of citizens from the risks and impacts of climate change. As part of the European Green Deal, the European Commission (EC) has adopted the Biodiversity Strategy for 2030, which sets priorities and actions to halt the loss of biodiversity and protect and restore nature.

In particular, among the priority actions of the Strategy, the definition of an ambitious nature restoration plan is envisaged, based on legally binding objectives, aimed at restoring degraded habitats and ecosystems and keeping them in good conservation status. In this regard, on June 22, 2022 the EC presented the proposal for nature conservation law aimed at contributing to the long-term recovery of biodiversity and nature in all terrestrial and marine areas of the European Union (EU).

The research carried out analyzes the challenges, opportunities, and possible impacts of the proposal for a regulation on nature restoration that is currently under discussion by the EU Council and the European Parliament.

Materials and methods

The nature restoration proposal sets binding restoration objectives and obligations for a wide range of terrestrial (forests, agricultural land, freshwater and urban ecosystems) and marine ecosystems. Priority is given to ecosystems with the greatest potential for carbon removal and storage, and for preventing or reducing natural disasters. The aim of the proposed regulation is to implement nature restoration measures on at least 20% of EU terrestrial and marine areas by 2030, and on all ecosystems that need to be restored by 2050. Another objective of the legislative proposal is to reverse the decline in pollinator populations by 2030 and subsequently ensure their increase.

The regulation establishes restoration objectives and obligations for the habitats protected by the 92/43/EEC "Habitats" Directive, but also for specific ecosystems that do not fall within the scope of application of this directive.

Nature restoration interventions must ensure the protection and maintenance of ecosystems, guaranteeing their non-deterioration before or after restoration. These interventions must also take into account the need to improve connectivity between different habitats and the ecological requirements of species.

The nature restoration law will be implemented through national nature restoration plans to be prepared by the EU member states.

The EU member states will prepare national restoration plans and carry out appropriate monitoring and preliminary research to identify areas requiring intervention and restoration measures necessary to achieve the objectives and meet the obligations of the regulation.

The regulation proposal will integrate the "Birds" and "Habitat" Directives, setting deadlines for achieving the objectives and requiring the restoration of ecosystems even outside Natura 2000 areas, the Water Framework Directive, and the Marine Strategy Framework Directive.

Results and Discussion

The regulation will contribute to stopping the loss of biodiversity, avoiding the deterioration of habitats and ecosystems, and significantly improving their conservation status. The improvement of the conservation status of ecosystems will lead to a significant increase in their ability to provide various benefits, such as mitigating climate changes and improving the quality of water, soil, and air.

The restoration of nature has positive effects on improving the natural and cultural heritage, the health of citizens, as well as the quality and safety of food. The regulation may also have a positive impact on the main economic sectors, particularly those that heavily depend on natural resources and ecosystem services, such as agriculture, fisheries and aquaculture, forestry, and tourism. However, it will be necessary to accompany the ecological transition of these productive sectors by incentivizing restoration interventions through adequate economic support.

The restoration of nature has also proven to be cost-effective. In fact, the impact assessment of the proposed regulation carried out by the EC indicates that for every euro spent on nature restoration, there is

a return on investment ranging from 10 to 40 euros depending on the ecosystem concerned.

Restoring wetlands, forests, heaths and shrubs, grasslands, rivers, lakes, and wetlands, for example, produces health, economic resilience, and well-being benefits estimated at over 1.8 trillion euros compared to approximately 150 billion euros in costs.

The fundamental tool for implementing the regulation will be national restoration plans, which must identify the areas to be restored and define the restoration measures to be adopted or already implemented, as well as measures to ensure the non-deterioration of habitats and ecosystems.

To support EU member states in adopting national restoration plans and to promote the timely start of restoration activities, the EC will develop strategic guidelines on restoration measures and management practices to be implemented.

Although restoring an entire ecosystem typically takes several years, some actions may already have positive and observable consequences within a few years.

The EC will monitor the implementation of restoration plans by EU member states through the restoration measures adopted to ensure the recovery of ecosystems and the conservation status of ecosystems at the national level, with its trend compared to the reference scenario.

National restoration plans must also define funding needs, in relation to the economic support that must be recognized for those affected by restoration measures, and identify public or private funding to be used for plan implementation. In this regard, the regulation proposal highlights how EU programming funds for 2021/2027, such as the ERDF, EAFRD, LIFE, Horizon Europe, and the Next Generation EU, can significantly contribute to the implementation of restoration plans.

The LIFE 2021/2027 program, for example, could support the adoption and implementation of national nature restoration plans through strategic nature protection projects.

For Italy the National Recovery and Resilience Plan (PNRR) can certainly represent an additional source of funding for the implementation of interventions for the protection and restoration of biodiversity and ecosystems. For example, consider the River Po Renaturation Project, which is currently the largest ongoing nature restoration project in our country.

Conclusions

The proposal for a nature restoration law represents a great opportunity, but at the same time it presents us with new challenges to face.

The nature restoration law aims to restore nature throughout the EU, to repair 80% of European habitats that are in a poor state of conservation, and to bring nature back into all terrestrial, freshwater, and marine ecosystems.

The regulation proposal, through restoration plans, will take to a higher level the experiences gained so far in the field of nature restoration measures, such as renaturation, reforestation, and the elimination of sources of pollution.

The most important challenge proposed by the nature restoration law will probably be to accompany and support the ecological transition of productive sectors. Nature restoration activities do not preclude economic activities, as they do not involve their cessation in the affected ecosystems. Rather, it is a matter of living and producing in harmony with nature in a more environmentally friendly way.

However, the introduction of legally binding ecosystem restoration objectives and obligations will require investments that imply financial costs and opportunity costs for land and natural resource managers that should be compensated by public or private incentives.

After the approval of the regulation, expected by the end of 2023 or the beginning of 2024, it will probably be necessary to provide, at the national level, a specific rule that defines the modalities of its implementation and eventually to provide a specific financial allocation for its application.

Ecosystem restoration closely involves and benefits all components of society, must be carried out in an inclusive process, and has a positive impact on those who directly depend on healthy nature for their sustenance.

Email: l.servadei@masaf.gov.it

Activation of persulfate and Peroxymonosulfate by zero-valent iron and iron-copper bimetals for the chemical oxidation of halogenated contaminants in water

Giovanni Scaggiante¹, Alicia Checa-Fernandez², Daniela Zingaretti¹, Carmen Maria Dominguez², Aurora Santos², Renato Baciocchi¹

¹Laboratory of Environmental Engineering, Department of Civil Engineering and Computer Science Engineering, University of Rome Tor Vergata, Rome, Italy

²Chemical Engineering and Materials Department, University Complutense of Madrid, Spain

Introduction and study objectives

Advanced oxidation processes (AOPs) have been successfully applied for the remediation of recalcitrant organic contaminants present in soil and water systems. Persulfate (PS) and peroxymonosulfate (PMS) have been widely investigated in recent years because they can be activated to produce highly reactive sulfate radicals SO_4 that may overcome some limitations of more conventional AOPs based on hydrogen peroxide (H_2O_2), such as the acidic pH range and the instability of the oxidant. Among the different ways to activate PS and PMS, those relying on iron are particularly appreciated because more sustainable, since they are cost-effective, environmentally friendly, and non-toxic. In particular, zero-valent iron (ZVI) is considered a promising alternative to the commonly used ferrous iron (Fe^{2+}) because it can better control the activation of PS and PMS by slowly releasing Fe^{2+} during its corrosion. To achieve a higher reactivity, iron-based bimetallic materials were also tested and proved to overcome some limitations of ZVI, reducing surface passivation and promoting a more efficient electron transfer. Bimetal properties depend on the different synthesizing methods, usually chemical, such as chemical deposition, or physical, such as ball milling. In this context, further research is needed to assess the mechanisms of activation of PS and PMS by bimetals. This study investigates the activation of PS and PMS by different ZVI and ZVI-Cu bimetals prepared by disc milling for the chemical oxidation of halogenated compounds in water. To our knowledge, this is the first time that disc milling has been used as a

technique to produce bimetallic activators in the field of AOPs. To assess the performances of the different activators, 4-chlorophenol (4-CP) was chosen as a model compound of halogenated contaminants because it is highly resistant to chemical and biological treatments.

Materials and methods

Batch tests in lab-scale PTFE reactors were performed to compare the efficiency of ZVI (particle size < 63 μm) and ZVI-Cu bimetals in the activation of PS and PMS for the removal of 4-CP in water. ZVI-Cu bimetals were synthesized by the physical method of disc milling at different weight percentages of Cu in the activator (1%, 5% and 50%). The performances of ZVI and ZVI-Cu bimetals as activators were compared to the ones of Fe^{2+} and evaluated in terms of 4-CP removal rate, 4-CP degradation efficiency and oxidant consumption at the end of the reaction time interval considered (i.e., 120 min). Different concentrations of oxidant and activator were tested to find the best operating conditions for the removal of 4-CP. The effect of ball milling was also investigated by comparing ZVI-Cu bimetals with a mixture of ZVI and Cu powders at the same weight percentage of the respective bimetal. Furthermore, tests with different radicals' quenchers (e.g., methanol, tert-butyl alcohol, chloroform, and sodium azide) were carried out to identify the contribution to 4-CP removal of the main reactive species produced by the activation of PS and PMS through ZVI and ZVI-Cu bimetals. The concentrations of Fe and Cu ions in water were measured to address the metal leaching. The corroded activators at the end of the test were analyzed by SEM and XRD and compared to the initial material, to understand the activation mechanisms. Lastly, the 4-CP oxidation intermediates were analyzed to find the possible degradation pathway.

Results and Conclusions

ZVI and ZVI-Cu bimetals as activators of PS and PMS performed better than Fe^{2+} in terms of 4-CP removal rates and final removal. In particular, the highest 4-CP removal rates were obtained by using ZVI-Cu bimetals as activators for both PS and PMS. The highest 4-CP final removals were obtained by using ZVI as activator for PS and ZVI-Cu bimetals for PMS, suggesting a better synergy of ZVI-Cu bimetals with PMS rather than PS. Quenching tests confirmed the production of $\text{SO}_4\bullet$ radicals for both PS and PMS. This study showed that the disc

milling method can be used to easily synthesize ZVI-Cu bimetal that can activate PS and PMS to remove 4-CP in water. In conclusion, ZVI-Cu bimetal emerged as promising activators, especially in combination with PMS, for an effective remediation of halogenated contaminants in water systems.

Email: scaggiante@ing.uniroma2.it

SEAR Combined With MPE To Resolved Recalcitrant NAPL At Coal Tar Brownfield Site

George A. Ivey¹, Daniel Hirth²

¹Ivey International Inc., Vancouver, BC, Canada

²BlueSphere Environmental Pty Ltd

Background and Objective

The former Bacchus Marsh gasworks (Ca. 1889 to 1973) is located within a wide alluvial plain of the Werribee River, Victoria, Australia. Shallow groundwater on the alluvial plain occurs in an upper alluvial aquifer and is highly utilized for irrigation and rationed through the auctioning of water shares. The presence of coal tar NAPL (and associated dissolved phase groundwater impacts) emanating from former gasholders and tar and liquor disposal wells into the upper alluvial aquifer impinges further on upper alluvial aquifer utilization. This presentation focusses on remediation of two coal tar NAPL plumes that was conducted in-situ attempting to meet Victorian EPA and client sustainability goals.

Methodology

After extensive review of possible sustainable remediation options, surfactant enhanced aquifer remediation (SEAR) was selected to address the coal tar NAPL in the aquifer at the site. The surfactant selected was a non-ionic surfactant engineered to dissolve long-chain petroleum hydrocarbons. The surfactant was used in a variety of push-pull and recirculation methods to enhance coal tar recovery. The majority of coal tar NAPL was slightly denser than water (1.03 SG), had low viscosity at 15 degrees Celsius and rested within the poorly sorted clayey, sandy gravel lenses of the upper alluvial aquifer. After initial push-pull applications of SEAR, recirculation was established between the injection well, and an average of three (3) extraction wells. Approximately seven (7) different injection wells were utilized in each of the two (2) coal tar NAPL plumes.

Results

The mobilized NAPL and micro-emulsified hydrocarbons (below CMC) were removed using multiphase extraction (MPE) technologies. Wastewater was treated on-site and reinjected under permit from the

regulatory agency to the extent that was practicable. ReInjection of the water was conducted in a manner to optimize the surfactant plume behavior while it was being extracted.

SEAR remedial efforts are ongoing and have resulted in the extraction of coal tar LNAPL and DNAPL, while extracting dissolved contaminants (benzene, naphthalene, ammonia, cyanide) on to activated carbon and resin filters. Most extracted groundwater was returned to maintain/restore aquifer capacity, thereby meeting the EPA's and the client's sustainability goals.

Conclusion

SEAR is a viable method of groundwater remediation to reduce recalcitrant hydrocarbon and chlorinated solvent mass, and decrease overall plume lifespan in unconsolidated aquifers in ~120 days, to achieve site closure.

Email: budivey@iveyinternational.com

How To Resolve Risk of Cross Contamination to ASTM Standards. Using PFAS and 1,4 Dioxane Free Products

George A. Ivey¹

¹*Ivey International Inc., Vancouver, BC, Canada*

Purpose/Overview

The ASTM D5088 Standards, like similar international standards of practice, for the decontamination of environmental monitoring, spill response, drilling, geophysics, and equipment used at waste sites, established the minimum due diligence for environmental consultants, and related contractors, to manage the risks associated with potential cross contamination at environmental project sites relating to PFOA, PFOS, 1,4 Dioxane, chlorinated solvents, and petroleum hydrocarbons

Methodology/Results

This presentation will provide a detailed explanation of the ASTM standard, and how it can be incorporated into routine environmental investigation, monitoring, and remediation practices. This standard remains the hallmark for industry best practices to minimize the ever-increasing risk for cross contamination, due to emerging contaminants of concern (COC) with very low regulatory limits, and to safeguard the occupational health and safety of environmental workers.

Significance/Conclusion

There has been a mounting concern regarding the presence of regulated impurities (1,4 Dioxane, PFOA, PFAS, etc.) in several commercially available decontamination products globally. The presentation will also detail a head-to-head comparison of the most commonly used decontamination products, indicating the COC concentration-ranges observed, based on published documentation. The optimal surface decontamination procedures, to comply with the ASTM D5088 standards is also provided. Lastly, the presentation will provide an over view on a new class of decontamination products, which use of ultrapure processing and packaging, with third-party purity verification, that meet European (REACH), and North America EPA and ASTM regulatory standards.

Email: budivey@iveyinternational.com

Surfactant Enhanced Extraction of Carbon Tetrachloride. Source Zone At Active Grain Elevator Facility

George A. Ivey¹, Eric Dulle²

¹Ivey International Inc., Vancouver, BC, Canada

²Burns & McDonnell, St. Louis, Missouri, USA

Background/Objectives

A grain-elevator facility, located in Kansas City entered the Voluntary Cleanup and Property Redevelopment Program (VCPRP) in 2000 following observed soil and groundwater contamination, including diesel, and carbon tetrachloride (CT), both in measurable NAPL phases, from an AST spill. In 2007 a dual-phase vacuum extraction (DPVE) was implemented to remediate the source area. Geology consists of well sorted, loose, silty-sand to depths ranging from approximately 4m to 5.2m, with shallow groundwater at 1.8m to 2.1m. After 6 to 7 years of DPVE operation over 9,000 pounds of VOC were recovered, however significant DNAPL and LNAPL mass contamination remained sorbed to soils on-site, no longer effectively recoverable by the dual phase vapor extraction (DPVE) system.

Approach

To enhance the DPVE system, a pilot, then full-scale surfactant enhanced extraction (SEE) was implemented, to promote NAPL mass desorption, and lower groundwater surface and interfacial tensions, to increase the efficiency of the DPVE to realized greater measurable VOC, dissolved and NAPL mass removal.

Results

The pilot (4) and full-scale (5) applications included single-well "Push-Pull" tests and multi-well "Sweep" SEE applications, using 1% to 2% solutions of a biodegradable surfactant. Direct comparison of pre SEE to post SEE pilot, and then full scale SEE applications, the groundwater quality confirmed the SEE applications resulted in CT concentration reductions of up to 99% percent, or more, in addition to elimination of the diesel LNAPL plume, with site closure realized soon after.

Email: budivey@iveyinternational.com

Surfactant Enhanced Extraction of NAPL, Globule, and Sorbed Phase Contamination Resolving Primary Hydro-Geo-Chemical Limitations

George A. Ivey¹

¹*Ivey International Inc., Vancouver, BC, Canada*

Background/Objectives

This applied presentation will explain hydro-geo-chemical fundamentals of hydrophobic organic chemical (HOC) behavior including: petroleum hydrocarbons, chlorinated solvents, PFAS, 1,4 Dioxane, and pesticides, in saturated and unsaturated regimes. This encompasses their physical chemistry characteristics, what drives their tendency to phase partitioning from aqueous phases, what drives sorption (i.e. absorb and adsorb), the consequences of interfacial tension between NAPL and aqueous phases, and how these kinetically limit the 'availability' of contaminants for physical, biological and chemical remediation. To specifically show how the application of selective, sub CMC, surfactant enhanced extraction (SEE) can overcome the limitation of sorption, phase partitioning and interfacial tension to measurably, and sustainably, enhance contaminant phase-desorption of VOC, SVOC, sorbed, globule and NAPL for enhanced in-situ remediation.

Approach/Activities

SEE remediation case studies are presented explaining the hydro-geochemical conditions of each site which were hindering effective vapor, soil and groundwater remediation, through the clients' in-situ SEE integration strategy, evidence based monitoring, with statistically evaluation to quantify the measurable benefits realized at each site, when coupling SEE with multi-phase extraction (MPE) and/or aggressive fluid vapor recovery (AFVR) strategies, which significantly truncated duration of remediation, compared to the predictive models, to achieve regulatory objectives, and/or risk based closure for the involved sites.

The presentation will be technically underpinned by established scientific principles, supported by site data, figures, tables, and three-

dimensional computer models for improve audience conceptual command of SEE for sustainable remediation.

Results/Lessons Learned

In-situ SEE remediation can be employed to overcome the principle hydro-geochemical constrain the availability of NAPL, globule (ganglia), and sorbed phase contamination for most physical, biological, and chemical remediation strategies, compared to when combined with SEE to realize synergistic benefits. Additional benefits included resolution of measurable and mobile LNAPL and DNAPL, significant project life-cycle time and cost savings to achieve regulatory and/or risk-based site specific clean-up objectives.

Email: budivey@iveyinternationacom

A field pilot study demonstrating sustainable remediation of mercury- contaminated soil and groundwater sources using a novel amendment known as Merclok TM P-640

Jon Miller¹, Kim Pingree¹, Peter Martus²

¹Albemarle

²AECOM

MercLokTM P-640, a novel amendment, has been developed by Albemarle to sustainably address soil and groundwater impacts from mercury contamination. The product is a powder-based amendment for the in-situ remediation of mercury-contaminated mining, chlor-alkali, munitions and other manufacturing sites. Rapid sequestration and long- term stabilization of mercury were validated using MercLok P-640 in bench and field studies in a wide range of soils and subsurface conditions. Multiple species of mercury such as ionic, elemental, and methylmercury were present in the studies, and MercLok P-640 showed a high level of efficacy to capture and sequester all species tested.

To validate the product on a large application scale, a mercury-contaminated legacy munitions site in Europe was identified for a field-scale in-situ pilot study. An initial on-site investigation was performed to collect a range of contaminated soil and groundwater samples for evaluation. Laboratory tests were performed, including, but not limited to, total mercury, leachable mercury, and sequential extraction testing to optimize the amendment loading rates. The laboratory test results showed a reduction of greater than 99% in leachable mercury from the treated soil at the highest dosage.

The laboratory results were utilized to design and implement a multi-faceted pilot study. Objectives of the pilot were to 1) further demonstrate field-scale efficacy at a site containing high levels of elemental mercury in the soil; and 2) determine methods for applying the amendment into the subsurface. The application techniques of shallow soil mixing (SSM) and direct-push injection (DPI) were selected to provide amendment contact with the mercury-contaminated media.

MercLok P-640 was applied to a portion of highly contaminated soil in a 9 square meter area to a depth of 3 meters below ground surface (bgs) using a SSM technique.

DPI was utilized to emplace the amendment as a slurry into another section of the unsaturated soil from 1 meter bgs to 3 meters bgs. DPI was also used to emplace the amendment into the groundwater-saturated soil zone up to 9 meters bgs to form a permeable reactive barrier (PRB) for the reduction of mercury in the groundwater.

Baseline conditions were established before installation of the pilot and a performance monitoring program was initiated to collect data from the pilot study areas. The performance monitoring program included a significant number of parameters to provide robust data-driven insights on leachability, soil gas, and groundwater concentration reductions, durability of the in-situ treatments, as well as evidence to support full-scale remediation activities at the site.

Several lessons were learned from the bench studies and active pilot-scale project, such as gaining a greater understanding of various delivery methods, the performance consistencies across varying soil conditions located on-site, the influence of loading rates on performance, and the resultant efficacy for elemental mercury and methylmercury.

Results of the pilot study showed greater than 99% reduction of mercury in groundwater, 87% reduction in leachable mercury from soil, and greater than 93% reduction in mercury gas escaping from the elemental mercury contaminated hotspot.

Mercury in the groundwater and mercury soil gas continues to be monitored. After more than one year, testing results continue to show greater than 99% reduction in mercury in groundwater and a greater than 93% reduction in mercury soil gas.

Email: jon.miller@albemarle.com, kim.pingree@albemarle.com,
peter.martus@aecom.com

Adsorption process as the best available treatment technology for PFAS removal from water: current gaps and research needs

Erica Gagliano¹, Massimiliano Sgroi², Pietro P. Falciglia³, Federico G.A. Vagliasindi³, and Paolo Roccaro³

¹University of Genoa, ²Polytechnic University of Marche, ³University of Catania

Introduction

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are a large group of anthropogenic compounds that are receiving particular attention due to their widespread detection in environmental compartments, potential bioaccumulation, persistence, and toxicity. Manufactured by the 1940s, PFAS have been used globally for many decades in a variety of formulations such as surfactants, fire-fighting foams, grease-proof coatings for food packaging. The widespread use of PFAS is ascribed to their unique properties, such as chemical-thermal stability and hydrophobic-lipophilic nature, mainly imparted by the C-F bond, the strongest in organic chemistry. Nicknamed “forever chemicals”, PFAS detection in the urban water cycle (including wastewater, rivers, lakes, drinking water, stormwater, and groundwater) is the result of consumer products degradation, firefighting activities and discharges from fluorochemical manufacturing facilities.

The recalcitrant behaviour of PFAS along with their chemical properties poses challenges on conventional water and wastewater treatment processes. Furthermore, existing water treatment plants have to comply with the new established limits (e.g., European Drinking Water Directive EU 2020/2184).

Among advanced treatment technologies for PFAS removal, destructive based technologies such as plasma treatment, photolysis/photochemical oxidation are in early stage due to the high energy requirement and the strong dependence on operational conditions (such as pH, temperature, reagent type, light source).

Conversely, the separation/concentration technologies are conventionally employed ahead of the destruction technologies in order to minimize treatment volumes and overall energy demand. To date, the adsorption process is the most extensively implemented

technology for PFAS removal at full-scale treatment plants, and it can be applied as a stand-alone treatment or as a step in a treatment train. Specifically, PFAS adsorption onto granular activated carbon (GAC) or anion exchange resin (AER) is a field-proven technology. However, several limitations of prior conducted researches dealing with adsorption processes should be highlighted. First, lab-scale experiments have been mainly performed at high PFAS concentration (single spiked compound) dosing high amount of adsorbents, which are neither representative of PFAS environmentally relevant occurrence neither reflecting real water treatment plants. Indeed, most adsorption studies are restricted to batch conditions evaluating the adsorption capacity and kinetics of adsorbents.

Aim of this work is to summarize the current knowledge on adsorption process as the best available treatment technology for PFAS removal emphasizing the main criticisms. Specifically, the advantages and the limitations of currently available adsorbent materials (both commercialized and synthesized) are presented by comparing the state of development and their efficiency in PFAS removal. The main statements here provided point out a roadmap for the next research projects in this topic.

Performance of adsorbents in removing PFAS

Considering the recent environmental concerns and interest in PFAS remediation, a variety of existing and newly developed adsorbents have been investigated at different scales (from lab to field test demonstrations).

Firstly, the current literature reveals that the efficiency of adsorption depends on PFAS chain length and functional group as well as on adsorbents properties. Indeed, due to different structure and hydrophobicity, the adsorption mechanisms of short- and long-chain PFAS are different. Specifically, short chain PFAS are more hydrophilic and tend to be less adsorbed than long chain ones. While, at the same chain length, perfluoroalkyl sulfonic acids (PFASs) are removed better than perfluoroalkyl carboxylic acids (PFCAs). Furthermore, the acrylic resins are more effective for PFAS removal than styrenic resins, while macroporous resins exhibit better uptake than gel resins. Similarly, macro- and meso-porous GAC exhibited better long-chain PFAS removal. Despite similar properties, biochar exhibits lower adsorption capacity than AC. Similarly, other experimental batch studies have demonstrated a lower adsorption capacity of zeolites than GACs [2].

Alternative to commercialized adsorbents (mainly AC and AER), innovative adsorbents have been conveniently synthesized in order to obtain higher affinity and selectivity with PFAS. For instance, metal organic frameworks (MOFs) have emerged as novel synthesized materials for PFAS removal, showing a higher affinity with PFAS compared to carbonaceous materials. However, a comparison with conventional adsorbents (e.g., GAC and AER) is barely feasible due to the extreme conditions tested (such as high dose of adsorbent and/or PFAS concentrations). Lastly, the adsorption capacities of synthesized materials like MOFs strongly depends on synthesis procedure which is often not a standardized procedure making their application at large-scale very limited.

Role of organic matter during adsorption process

During adsorption processes, organic matter (e.g., natural organic matter, NOM), could interact with PFAS through electrostatic and/or hydrophobic interactions, affecting the adsorption efficiency of adsorbent materials. Indeed, OM may dominate active sites on adsorbents leading to repulsive electrostatic interactions with PFAS anion head, while it could with perfluoroalkyl tail through hydrophobic interactions enhancing PFAS adsorption. The former might be mainly established in the presence of short-chain compounds, while the latter can be mainly ascribed to PFAS having longer chain length [4]. Based on limited available data, the co-existed OM negatively affected short-chain PFAS adsorption due to active sites competition, whereas the effect of OM seems less relevant during long-chain PFAS adsorption. However, further research is advised to fill the knowledge gaps of adsorption processes especially at full-scale treatment plant.

Regeneration of PFAS-saturated adsorbents

Despite the widespread application of adsorption processes, the regeneration of PFAS-saturated adsorbents is often overlooked. However, it is essential to renew the adsorption capacity and to recover adsorbate PFAS, avoiding harmful secondary pollution. Indeed, a remarkable shortcoming of adsorption process is the rapid breakthrough of PFAS, especially short-chain ones, which causes a shorter service life of adsorbent filters. Experimental studies pointed out that a mixture of sodium salts and organic solvents is required to effectively regenerate AER. Conversely, a relevant knowledge gap

regarding thermal regeneration techniques for PFAS-saturated GAC should be highlighted. Indeed, ongoing research is aimed to investigate the effectiveness of thermal regeneration based on conventional conductive heating or innovative microwave (MW) irradiation.

Conclusions and final remarks

To sum up, AERs are more effective than activated carbon for both long- and short-chain PFAS removal. Regardless of the adsorbent used, the adsorption capacity of short-chain PFAS is lower than that observed for long-chain ones. Therefore, short-chain PFAS removal is more challenging. Moreover, in order to avoid the uneconomic solution of adsorbents single use, extensive research efforts should be devoted to the investigation of effective regeneration techniques. Lastly, the environmental impacts and trade-offs of adsorption process as well as regeneration technologies should be systematically investigated.

Email: erica.gagliano@unige.it; paolo.roccaro@unict.it

Effectiveness of microwave irradiation in regenerating PFAS-loaded GAC

Erica Gagliano¹, Pietro P. Falciglia², Jeakub Zaker³, Tanju Karanfil³, Paolo Roccaro²

¹University of Genoa, ²University of Catania, ³Clemson University

Introduction and study objectives

Per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS) have been widely used in every-day consumer products such as non-stick cookware, food packaging, carpets, waterproof fabrics, masking tape, pesticides, and firefighting foams. These manmade chemicals have recently drawn great attention due to their global occurrence and harmful impact on human health and ecosystems. Among PFAS family, perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) are the most detected in surface water, groundwater, drinking water and wastewater.

Several regulations have been recently introduced, which restrict both the manufacture and use of PFAS, however their occurrence in the environment is ubiquitous. Recently, the European Drinking Water Directive (EU 2020/2184) has come into force setting a limit value of 100 ng L⁻¹ for the sum of twenty PFAS (including both long- and short-chain compounds) and U.S. EPA is proposing the first-ever national standard to limit PFAS in drinking water. Consequently, the need for efficient PFAS removal from contaminated water is a growing need because of the increasing regulatory attention and the general concern regarding the exposure effects. To date, adsorption through granular activated carbon (GAC) is considered a well-established treatment for PFAS removal from contaminated water. However, a rapid breakthrough of some PFAS was highlighted involving the periodic GAC replacement. Landfilling or incineration of PFAS-saturated GACs are both uneconomic approaches with potential secondary contamination risks. Whereas chemical or biological regeneration techniques are energy-consuming and/or partial effective due to the unique properties of PFAS. Microwave (MW) irradiation is a promising alternative to conventional thermal heating that has been proposed as an innovative technique for regenerating GACs saturated with dyes and pharmaceutical compounds. High

heating rates, shorter treatment times, and potential energy saving are some key factors of MW regeneration.

The present study is aimed at exploring the effectiveness of MW irradiation in regenerating PFOA- and PFOS-loaded GAC, assessing the regeneration efficiency, GAC weight loss and changes in porous structure also throughout five consecutive adsorption/regeneration cycles.

Materials and methods

Calgon Filtrasorb 400 GAC was selected to perform PFAS adsorption and MW regeneration experiments. GAC samples were loaded with a high concentrated solution of PFOS (CAS n. 1763-23-1, $\geq 96\%$ purity) or PFOA (CAS n. 335-67-1, $\geq 96\%$ purity) in deionized water (500 mg L⁻¹). After 24 h, aqueous samples were withdrawn and analyzed for PFOA and PFOS concentrations through LC-MS/MS. The regeneration of PFOA- or PFOS-loaded GAC samples was performed in a 2.45 GHz MW oven. Two different combinations of power applied and irradiation time (125 W x 12 min, 500 W x 3 min) were tested in order to evaluate the best operation conditions in terms of GAC temperature reached. A type-k thermocouple was used for recording GAC temperature. The regeneration efficiency (RE, %), as the ratio between the adsorption capacity of regenerated GAC samples and that of virgin one, and the weight loss percentage of GAC (WL, %) were evaluated to assess the efficiency of MW irradiation for regenerating PFOA- and PFOS-loaded GACs. Changes in GAC textural properties (before and after MW irradiation) were examined through N₂ adsorption isotherms. The potential release of PFOS or PFOA and their related shorter chain compounds (as degradation products) in deionized water was assessed by soaking MW-regenerated samples in 200 mL of deionized water (PFAS free solution) for 48 h. Lastly, five successive adsorption/regeneration cycles were performed at the best MW irradiation conditions (power applied and irradiation time).

Results and Discussion

The temperatures reached by GAC samples due to MW irradiation performed at two different combination of irradiation power and time (125 W x 12 min and 500 W x 3 min) are shown in Fig. 1a. GACs loaded with PFOA or PFOS reached almost same temperatures when irradiated at same condition. Specifically, the highest temperatures were reached for both PFOA- and PFOS-loaded GAC at the power of

500 W applied for 3 min (~620 °C). At those temperatures, negligible amounts of PFOA and PFOS were released in DW from MW-regenerated samples, and the concentrations of shorter compounds (i.e., PFHpA, PFHxA, PFPeA, PFBA, PFHpS, PFHxS, PFPeS, PFBS) were under the detection limit (0.4 µg L⁻¹).

The irradiation power of 125 W applied for 12 min led to temperatures lower than 300 °C and it might not be effective for regenerating PFOA- or PFOS-saturated GACs resulting in low RE values (< 30%). Contrary, the temperatures reached after MW irradiation at 500 W for 3 min were suitable to desorb PFOA and PFOS from GAC leading to higher RE. Indeed, the limited data available on thermal behaviour of PFAS claimed that temperatures in the range of 500-700 °C are eligible to desorb PFAS (including PFOA and PFOS) from contaminated soils and GACs [6]. Furthermore, the stripping mechanism linked to the evaporation of GAC interstitial water can contribute to PFOA and PFOS desorption enhancing the efficiency of MW regeneration.

Based on the above, the operational condition of 500 W x 3 min was selected to perform the five consecutive adsorption/MW regeneration cycles. The RE of PFOA-loaded GAC increased until the 3rd cycle (~95%), then the successive cycles led to a gradual decrease in regeneration efficiency, which resulted ~65% after the 5th cycle. Otherwise, the RE of PFOS-loaded GAC was the highest after the 1st cycle, then it gradually decreased to 63% at the end of the 5th cycle. GAC weight loss increased almost linearly with regeneration cycles in both PFOA- and PFOS-saturated GAC samples. After the 1st cycle, the highest WL was recorded ~4% and at the end of the 5th cycle the total WL was lower than 7%. These values corroborate the advantage of MW regeneration over conventional thermal regeneration in which the WL percentages ranging between 5 and 15% at each regeneration cycle.

After the 3rd cycle, the physical properties of regenerated GAC in terms of BET area, pore volume and pore size did not noticeably differ from the virgin ones (variation ≤ 20%). Whereas, after the 5th adsorption/regeneration cycle a decrease in mesopore volume was observed causing the decrease in the adsorption capacity of regenerated GAC, as demonstrated by the lower RE obtained after the 5th cycle.

Conclusions and final remarks

The obtained findings demonstrated that MW irradiation could effectively be applied as an effective regeneration technique for PFAS-loaded GACs. The effectiveness of MW irradiation is corroborated by the high RE (95-65 %) and low WL (< 7%) obtained also throughout five consecutive cycles.

Current investigations are underway to investigate the regeneration of real field PFAS-loaded GACs in order to deeply explore the efficiency of MW regeneration in the co-presence of short-, long-chain PFAS and other water constitutes.

Email: erica.gagliano@unige.it; paolo.roccaro@unict.it

Unlocking the Magic of Phosphate Solubilizing Bacteria: an efficient move towards sustainable crop production

Prof. Dr. Amanullah¹

¹Department of Agronomy, The University of Agriculture Peshawar, Pakistan

Under semiarid climate and calcareous soils, the higher soil pH and alkalinity decline phosphorus (P) availability and P-use efficiency (PUE) thereby increasing P-cost of production and reducing crop yield per unit area. The higher P-costs further restrict small holders to apply the required amount of P to their field crops. The imbalanced use and low rate of P-fertilizers application reduce crop productivity and growers income which leads to a food security issue. Application of beneficial microbes (biofertilizers) under these conditions could increase P-availability, increase PUE, crop productivity and profitability. Different beneficial microbes (BMO) were evaluated along with different sources and rates of P-fertilizers under cereal based system viz. wheat-maize and maize-wheat cropping systems. The results confirmed the potential benefits of BMO (biofertilizers) especially phosphate solubilizing bacteria (PSB) in terms of significantly ($P \leq 0.05$) higher P availability & uptake, PUE, higher productivity and grower's income. Therefore, unlocking the potential (magic) of PSB is an efficient move towards reducing cost of production, and improving crop productivity, profitability and sustainability (LISA)-low inputs sustainable agriculture.

Email: amanullah@aup.edu.pk

Assessing the Genetic Potential for Natural Source Zone Depletion at a Petroleum-Contaminated Site

Rosolina Sam¹, Taggart Dora¹

¹Microbial Insights, Inc, USA

Introduction and study objectives

As researchers continue to identify the impact that natural source zone depletion (NSZD) has on site cleanup timeframes, there is a growing need for methods and tools that provide microbial-based metrics to aid in conceptual site modelling. Through the identification and quantification of microorganisms and functional genes related to NSZD at hydrocarbon release sites, project managers are better able to: 1) identify the potential for NSZD, 2) improve site-specific models, and 3) provide direct microbial data to regulatory bodies as proof of NSZD potential. QuantArray[®]-NSZD is an advanced qPCR method that quantifies a broad spectrum of microorganisms and functional genes associated with NSZD processes in a single analysis for a comprehensive and cost-effective evaluation of bioremediation potential. Similarly, QuantArray[®]-Petro quantifies a suite of functional genes involved in aerobic and anaerobic biodegradation of BTEX, PAHs, and other petroleum hydrocarbons. Both QuantArray[®] analyses include over 20 assays performed on a single sample. By incorporating these molecular biological tools into baseline sampling and routine monitoring the subsurface microbiome will no longer be an unknown. In this study, QuantArray[®]-NSZD was employed to identify the presence of key gene targets related to NSZD at a petroleum hydrocarbon-impacted site.

Materials and methods

QuantArray[®] is a hybrid technology that combines the highly parallel detection of DNA microarrays with the accurate and precise quantification of qPCR into a single platform. The approach employs nanoliter fluidics for low volume, solution phase qPCR allowing simultaneous quantification of different gene targets and therefore more comprehensive sample assessment. QuantArray[®]-NSZD is used to quantify 21 different taxonomic and functional gene targets related to NSZD. Examples of target microbial groups and functional genes

include acetogens, fermenters, methanogens, acetoclastic methanogens, biosurfactant production-based genes, and metal reducing bacteria. Other methods like multiplex qPCR have been described that achieve some level of parallel quantification, but unlike multiplex qPCR, QuantArray® employs discrete through-holes for individual qPCR reactions so reaction kinetics are not compromised. A petroleum hydrocarbon-impacted site suspected to be undergoing NSZD was analyzed via chemical and geochemical techniques as well as QuantArray®-NSZD. The goals of this study were to determine if NSZD was occurring and to identify correlations between chemical parameters and the measured microbial gene targets.

Results and Discussion

As demonstrated within this presentation, the bulk of NSZD processes rely on microbial activity. Although the final products (CO₂ and CH₄) of NSZD can be measured using traditional analyses, only the microbial data can provide insights into the actual functions taking place. At the study site, QuantArray®-NSZD data were used to determine that key NSZD gene targets were present, and that methane production could be correlated to a specific target. Often, three lines of evidence are recommended for a clearer understanding of the activity occurring in the subsurface of a contaminated site: chemical, geochemical, and microbiological. The results from this study will not only highlight the necessity for multiple lines of evidence but will illustrate that microbiology is the only line of evidence that can truly connect the other two lines of evidence during processes like NSZD.

Email: dtaggart@microbe.com

Screening and Optimisation of the Biodegradation Potential for Low Density Polyethylene (LDPE) Films by *Fusarium Equiseti* and *Brevibacillus Parabrevis*

Sally A. Ali¹, Shima Zakarya² and Shima Khaled²

¹Botany and Microbiology Department, Faculty of Science, Helwan University, Cairo, Egypt.

²Chemistry Department, Faculty of Science, Helwan University, Cairo, Egypt.

The accumulation of low density polyethylene, used extensively in packaging for industrial and agricultural applications, in the ecosystem is a great threat. This study focuses on the isolation of micro-biota from the plastic polluted sites to screen and optimise their potential for low density polyethylene (LDPE) film biodegradation. Firstly, the plastic samples from soil dumping plastic debris and plastic polluted water were collected; then fungi and bacteria were isolated using potato dextrose agar media and nutrient agar media, respectively, while screening low density polyethylene film biodegradation performed on mineral salt media (MSM) using the isolated micro-biota. The measurement of the potential biodegradation was assessed by visual observation. The most microbial colonization for low density polyethylene films was identifying molecular which was then utilized for optimisation of the biodegradation processes with different parameters such as media type, inoculum size, shaking speed, different incubation temperature and pH at different incubation time. Then the weight loss in the LDPE films percentage was calculated measuring dry mycelium weight and bacterial absorbance. The results revealed that, among the isolated micro-biota fifteen, the most colonization was *Fusarium equiseti* and *Brevibacillus parabrevis* depending on the scanning electron microscope (SEM) and Fourier transform infrared (FTIR) analysis, in addition to optimum media, inoculum size, shaking speed, incubation temperature, pH, MSM, 2 disks and 2 ml, 30° C and 35°C, pH5 and pH7 for 30:20 days for *Equiseti* and *B.parabrevis*, respectively. The overall results confirmed that *Equiseti* and *B.parabrevis* from the plastic polluted sites play an essential role in low density polyethylene films biodegradation.

Keywords: Biodegradation; Low density polyethylene films; Optimisation; Potential.

Email: sally_ali@science.helwan.edu.eg

Successful treatment of PFAS-contaminated soils on large scale: practical experience with improved soil-washing

Benjamin Faigle¹, Bernhard Volz¹, Hans-Georg Edel¹, Simone Alberio¹

¹Zueblin Umwelttechnik GmbH

Introduction and study objectives

The method of soil washing was used the last decades for a variety of contaminants and sites. The method typically involves breaking up and classifying contaminated soil, separating the fine and coarse fractions, treating the sludge, and filtering the clear water through sand and activated carbon. While the expertise of soil washing for various contaminants is widely available, only few projects employed the method for soil with PFAS beyond the scale of lab or field trials. The strategy of soil washing for PFAS remediation is introduced, highlighting the key technical adjustments to be made and areas of optimization necessary to yield washing results suitable for the low target values for PFAS. Also, the challenges and future developments in PFAS soil washing are discussed, including the need for improved treatment methods and ongoing research in the field. Overall, it is shown that soil washing is a viable method for treating PFAS-contaminated soils on a project scale with several hundreds of thousand tons of material.

Materials and methods

In general, the method of soil washing follows two processes:

1. Separation of the fines from the coarse material: due to the large surface area of the fine constituents in relation to their volume, classification into two or more fractions of different particle sizes is one key element of soil washing. After classification, each fraction receives further treatment for cleaning or for disposal;
2. Physical and chemical treatment of the soil with the washing agent, typically water, such that the pollutants get removed from the solid particles. The fine fraction in the form of sludge needs to be separated from the washing agent in a subsequent step. A broad variety technologies and machinery exist for attrition (i.e. scrubbing,

agitation, fining), classification (i.e. sieving, cyclones, upstream classifier), as well as for sludge treatment and purification of the washing fluid.

While soil washing for contaminants such as hydrocarbons is well understood on the large scale, soil contamination with PFAS differs significantly. Positively, PFAS offer better solubility in water compared with many other contaminants, although the target values are magnitudes lower. On scale, the challenge is to assure constant and consistent output quality given the low target values and variety of individual substances present in most PFAS-contaminations. Preliminary results showed that by optimization and improved design, the washing fluid serves as the mayor contaminant sink, which means that the fine fraction could get successfully cleaned as well. The treatment costs are in the range of 50 €/t.

The first large-scale experience with soil washing for PFAS contaminated soils was made in the remediation project of a former oil refinery in the city of Ingolstadt in southern Germany (Brutscher et. al, 2020). There, a soil washing plant, that successfully treated over 360.000t of soil loaded with petroleum hydrocarbons, was employed additionally for over 70.000t of soil contaminated with PFAS.

As a tailored strategy for PFAS contaminated soils, the method of soil-washing was therefore reinvented as a cost-efficient and potent scheme to treat and reuse large quantities of soils. This optimized treatment strategy is currently employed on a site in northern Germany for several hundreds of thousand tons of soil contaminated with PFAS.

The treatment process goes through the following treatment steps:

1. Classification: the input material is fed into the soil-washing plant via encased conveyer belts to prevent dust emissions. Sand and fines are separated in an upstream classifier to be washed separately. The application of process or fresh water as pre-treatment, through spray nozzle during the screening, is necessary to break up loamy bulbs to foster contact of the contaminants and the washing fluid.
2. Sand washing: the sand goes through washing stages, where the operational settings (solid input and discharge, fluid flow...) need to balance the requirements for separation and removing PFAS from the soils, which are both strongly dependent on the type and contaminant load of the current input fed. Under thoroughly optimized operation, no additional washing supplements are required to successfully wash the PFAS-contaminated soils.

3. Sludge treatment: the fines form the PFAS-loaden sludge, which is purified in a sludge treatment plant with a flow of several hundreds of cubic meters per hour (fine content of around 10%). A site-specific combination of coagulant and flocculation agents are dosed in adaptive concentrations, dependent on process measurements, to thicken the sludge. As the residing washing water in the sludge holds relevant quantities of PFAS, the sludge is dewatered by several fully automated filter presses.
4. Water treatment: resulting from the sludge treatment is transferred via large buffer basins to its final treatment step, the water treatment plant, where it is filtered through sand and activated carbon. The washing fluid is hence recirculated in a closed cycle, which is both environmentally friendly and cost-saving.
5. Backfilling: washed soil, together with the filter cake resulting from the sludge treatment if its target values are met, is reused as backfill soil on the site.

Results and Discussion

As a tailored strategy for PFAS contaminated soils, the method of soil-washing has been rediscovered as a cost-efficient and potent scheme to treat and reuse large quantities of soils. In the first months of regular operation of this project, over 50.000t of soils were successfully washed without exceeding the limit values for backfilling, and a good share of the filter cake could be reused as well. Moreover, an environmental impact analysis of the already completed project in the South of Germany showed that soil washing technology for PFAS removal allowed to save the production of about 25.000t CO₂, compared with the traditional dig and dump strategy.

Conclusions

Further improvements along the complete treatment sequence (soil washing / solid treatment, sludge treatment & de-watering) might further improve the washing results for the fine fractions. Especially for input soils with significant organic content (topsoil), this remains a challenging task and a field of ongoing research and potential for improvement. Further research will show whether for such kind of material, additional treatment steps become necessary or if different treatment strategies can be employed.

Email: umwelttechnik-it@zueblin.de

Assessing a methodology for estimating soil pollution costs in Luxembourg

Anna Espinoza¹, Gaëtan Fourvel², Pol Tock², Arno Biber¹

¹*Luxembourg Institute of Science and Technology,*

²*Administration de l'environnement*

Introduction and study objectives

Soil is a three-dimensional system characterized by chemical, physical and biological properties that provide several vital ecosystem services, such as food provision and water purification, among others, through a multitude of soil functions (e.g. biomass production, water filtering). From an economic point of view, most of the soil-provided ecosystem services produce indirect use value, meaning the benefit that people receive indirectly from soils through ecosystem services, such as the benefits from the regulation of water cycle and climate. However, provisioning ecosystem services provides also direct use value, meaning the value that humans receive directly from soils via different land uses, such as agriculture, forestry or settlement space and which confers a direct monetary value to land. In this case, soil can be considered as a production factor. Finally, soil-provided ecosystem services can also produce non-use value that is the patrimonial value associated to soil by a society. Soil pollution, as defined by FAO as “the presence of a chemical substance out of place and/or present at a higher-than-normal concentration that has adverse effects on any non-targeted organism” modifies directly or indirectly part of the soil properties, leading to an impairment of the soil functions. This can lead to the degradation of ecosystem services that can be expressed as an economic cost for the society. Direct exposure to soil pollution not only poses health risks to individuals but also has the potential to impose economic costs on society as a whole. The most severe pollutions of soil are often caused by industrial activities thereby generating polluted sites, which can have a direct cost due to the need for remediation and the loss of property value. The negative effects of soil pollution on society can be translated into monetary values that can be used by policy authorities to determine how land management can be improved in order to minimise these costs. The aim of this study is to (i) establish the parameters and indicators associated with

soil pollution, (ii) develop a methodology that enables the quantification of the economic impact of soil pollution in Luxembourg, iii) identify the indicators necessary for the economic valuation of polluted sites in Luxembourg. By determining the relevant indicators, we can accurately evaluate the economic value of contaminated areas. In the subsequent phase of this project, the established methodology will be put into practice, and the costs associated with industrially polluted soils will be assessed. This practical application will provide valuable data and insights into the economic implications of polluted sites in Luxembourg.

Materials and methods

In order to assess the cost of the soil pollution in Luxembourg, the methodology defined by Görlach et al. was followed with some modifications and/or integrations. This methodology takes into account five different types of cost). The study focused specifically on industrial polluted sites in heavily human-influenced areas of Luxembourg, excluding the analysis of soil pollution caused by high anthropogenic background concentrations not directly linked to specific emission sources, in order to overcome the lack of comprehensive data on the economic impact of soil pollution. For this, eight industrial polluted sites were selected among those recorded into the national database on polluted or potentially polluted sites, and the methodology was applied.

Results and Discussion

The modified methodology proposed by Görlach et al. was applied to eight polluted sites. The choice of these case studies was made based on different factors (e.g. type of industrial activity, frequency in the database, impact on the soil and groundwater, type of pollutants) to be as representative of the Luxembourgish context as possible. Theoretically, an assessment of the cost of soil pollution at the national level should take into account the impact of pollution on the direct use value provided by soils (i.e. on-site use value supplied by land uses of the soils thanks to the ecosystem service of support of human activities), the impact of pollution on the indirect use value provided by soils (i.e. off-site use value supplied by the other ecosystem services), and the impact on the non-use value of the soil (i.e. patrimonial value). However, due to a lack of data and information in the literature on the economic valuation of the soil-

provided ecosystem services and on the quantitative links between soil pollution and ecosystem services, our study only focused on five types of costs. While our economic estimations may underestimate the overall costs of soil pollution, they provide a reliable assessment of the direct costs associated with polluted sites. However, it's important to approach the methodology's results with caution due to inherent uncertainties arising from factors like the selection of representative case studies and the extrapolation to a national level when assessing the costs of local soil pollution in Luxembourg. This study allowed the application of a simplified methodology to a very complex economic assessment, putting the bases for recurrent re-evaluation of the costs of polluted sites in Luxembourg.

Conclusions

The present study is the first attempt to define a systematic methodology to assess the costs of local soil pollution in Luxembourg. The methodology described has been developed basing on a literature study on soil pollution costs in Europe and worldwide. The results of the literature review showed very few studies on the subject, and finally approached outlined in the report „Assessing the Economic Impacts of Soil Degradation” [7] mandated by the European Commission in 2004 has been followed with some modifications. The application of this methodology leads to a detailed picture of the costs of local soil pollution for site owners and for policy actors. The result of the economic valuation of soil pollution in Luxembourg will allow public authorities to define a scientific-based strategy to improve the management of polluted sites.

Email: anna.espinoza@list.lu Gaetan.Fourvel@aev.etat.lu,
Pol.Tock@aev.etat.lu, arno.biwer@list.lu

Field test of a pilot scale sequential reductive/oxidative bioelectrochemical processes for CAHs removal from contaminated groundwaters

Edoardo Dell'Armi¹, Marco Zeppilli¹, Paolo Ciampi², Marco Petrangeli Papini¹

¹*Department of Chemistry, "La Sapienza" University of Rome*

²*Department of Earth Sciences, research Center for Prediction, Prevention and Control of Geological Hazards, "La Sapienza" University of Rome*

Introduction and study objectives

Chlorinated aliphatic hydrocarbons (CAHs) are common groundwater contaminant due to their improper use in the past. In recent years, more sustainable remediation and cost-effective technologies involves groundwater's indigenous microorganism such as the Dehalorespiring microorganisms. Dehalorespiring microorganisms can reduce CAHs as perchloroethylene (PCE) and tetrachloroethane (TeCA) to ethylene via reductive dechlorination (RD) while aerobic dechlorinating microorganisms oxidized low chlorinated compound such as cis-dichloroethylene (cDCE) and vinyl chloride (VC) into non harmful products. The integration of reductive dechlorination and aerobic dechlorination results an efficient approach for the complete mineralization of high chlorinated compounds, which usually led to a build-up of VC. A sequential reductive/oxidative environment can be easily created by a bioelectrochemical systems (BES) which allow to the control of dechlorinating microorganisms activity simply by an electrochemical device. The BES avoid the use fermentable substrates or other chemicals in groundwater to stimulate the RD and it can be used to support both reductive and oxidative dichlorination reaction. The study presents the development of a pilot scale sequential reductive/oxidative bioelectrochemical process in which four microbial electrolysis cells (MECs). In the first two MECs, named reductive reactors, a graphite granular cathode has been used as working electrode while in the second two oxidative MECs, a titanium MMO anode was used as working electrode. In the reductive reactors, the cathode chamber supplies the reducing power necessary to the dechlorinating biomass to perform the reductive dechlorination

reaction while in the oxidative reactors, the titanium-metal mixed oxides anode ensured the oxygen evolution necessary for the aerobic dechlorination. Both reactors were equipped with a graphite internal counterelectrode which allowed for a simple, flexible and cost-effective configuration of the process. The sequential bioelectrochemical process has been fed by a CAHs contaminated groundwater. The reductive reactor, that perform reductive dechlorination, produced low chlorinated by products, the outlet of the reductive reactor, that consist in oxidative inlet, endures the aerobic dechlorination. The hydraulic retention time has an important effect on both the steps and is critical to ensure the removal of the CAHs produced by the reductive step. The process has been characterized by the evaluation of the dechlorination rates, the energy consumption, and the coulombic efficiencies, which represents the amount of electricity directly involved in the reductive and oxidative dechlorination.

Materials and methods

The CAHs, Ethylene, Ethane and Methane were detected using a Dani Master Gas chromatograph equipped with a flame ionization detector (FID). The sulphate and nitrate were analyzed using an ion chromatograph (Dionex ICS-1000 IC, Sunnyvale, California) equipped with a conductivity detector. The reactors consisted in 4 polyethylene columns with an empty volume of 100 L. Three sampling ports allowed for the insertion of the Ag/AgCl reference electrode and the electric connections for the working and counter-electrode. The working electrode of the reactor was the external chamber filled with granular graphite which constituted the cathode, while the internal counter electrode chamber was made by a tubular PVC structure containing granular graphite. The two concentric chambers were electrical separated by the utilization of a non-woven membrane which allowed the electrolyte diffusion.

After the start-up period and the activations of GCW the most abundant contaminant found in the Rho groundwater was Tetrachloroethane (TeCA). TeCA follows different reductive dechlorination pathways and can also be an inhibitor for the microorganism that perform other biological reactions. The first experimental period was conducted by polarizing the reductive reactors (RED1 and RED2) at -450 mV vs SHE while the two oxidative units (OXI1 and OXI2) were polarized using a fixed current of +30 mA.

During the first operating period, an average flow rate of 471 ± 61 L/d was maintained that corresponding to an overall (net volume of reactor 420 L) hydraulic retention time (HRT) of 0.89 d. As reported in figure 1, in which the average concentrations of CAHs species in the inlet and the outlet of the reactors are reported, the accumulation of cDCE suggests the TeCA removal through the biological beta dechlorination pathway, the TeCA removal rate was 1.36 ± 0.2 mg/Ld. The flowing current in the RED1 reactor was -148 ± 13 mA while RED2 -122 ± 16 mA and led to a coulombic efficiency of $0.83 \pm 0.05\%$ and $0.05 \pm 0.01\%$. In the oxidative units, only cDCE and vinyl chloride were removed with a rate of 0.0037 ± 0.007 mg/Ld and 0.0004 ± 0.0002 mg/Ld, respectively.

Conclusions

The pilot plant project, realization and operation were successfully reached during the last year of the project. The pilot plant in our best knowledge represents the largest attempt to scale up a bioelectrochemical process for chlorinated aliphatic hydrocarbons and one of the largest considering the active electrodic area. Despite the good removal performances observed over three years of experimentation and by the validation with the real groundwater of the sequential reductive/oxidative bioelectrochemical process, the pilot plant performances resulted considerably lower. Indeed, during three different operating periods, despite the good TeCA removal rates, which are in line with the target of 1g/m3d removal (for PCE), however, the system was not able to efficiently remove the different lower chlorinated by-products including the VC. The main reason that affected the pilot plant performance is the evolution of groundwater quality during the overall experimentation in the site, indeed, during the previous sampling campaign, no TeCA was observed, while, after the drilling activities necessary for the installation of the GCW the TeCA was re-mobilized in the aquifer.

Email: edoardo.dellarmi@uniroma1.it, marco.zepilli@uniroma1.it; paolo.ciampi@uniroma1.it; marco.petrangelipapini@uniroma1.it

Fate and emission pathways of PFAS in full-scale plants for landfill leachate treatment

Nicola Lancioni¹, Elisa Blumenthal¹, Massimiliano Sgroi¹, Anna Laura Eusebi¹, Giancarlo Cecchini², Alessandro Frugis², Marco Lazzazzara², Paolo Crocetti³, Maria Grazia Asci³, Daniele Matteucci³, Francesco Fatone¹.

¹*Department of Science and Engineering of Materials, Environment and Urban Planning-SIMAU, Marche Polytechnic University (UNIVPM),*

²*Acea Elabori, gruppo Acea S.p.A., , 00189 Roma, Italy*

³*SIMAM S.p.A., gruppo Acea S.p.A., Italy*

Introduction and study objectives

Per- and poly- fluoroalkyl substances (PFAS), are a group of substances, persistent and mobile in environmental medias, potentially toxic (PM(T)) for human health. They are considered as one of the main obstacles to the development of the circular economy, as the reuse of materials from waste could promote their spread in the environment. The project Horizon2020 PROMISCES (Preventing Recalcitrant Organic Mobile Industrial chemicalS for Circular Economy in the Soil-sediment-water system) aims to provide innovative technologies to prevent PFAS pollution in the environment (e.g. surface water and drinking water) as well as in recovered resources (e.g. sludge, wastewater and sediments). PROMISCES is willing to contribute to the European ambition of a “toxic free” environment with “Zero Pollution” for ensuring the protection of human health during the implementation of circular economy practices. The Italian team partners of the PROMISCES project (UNIVPM, Acea Elabori and Simam) are focusing their research activities on the assessment of PFAS pathways in full-scale landfill leachate treatment as well as on the development of sustainable technologies for the separation and destruction of PFAS from sewage sludge and leachate. Landfills are one of the major sources of PFAS contamination in the environment. PFAS-based waste in landfills can release these compounds in the leachate and even in the air . It is common practice to discharge landfill leachate, after initial treatment, into municipal wastewater treatment plants (WWTPs). Conventional WWTPs have demonstrated to be ineffective for PFAS removal and the presence of precursors in the

influent may lead to an increase of PFAS concentrations in the effluent after biological transformation. Thus, PFAS in landfill leachate may either be released into the aquatic environment through WWTPs effluents or be adsorbed into municipal sewage sludge limiting its agronomic reutilization.

Materials and methods

Sampling campaigns of three full-scale leachate treatment plants were carried out in Italy, in order to assess the fate of PFASs along the treatment chains. A robust and cost-effective methodology for the determination of thirty target PFAS in complex matrixes, such as leachate, membrane concentrate, and sludge, was developed.

The first monitored plant includes a conventional treatment with clariflocculation, biologic reactor and ultrafiltration membrane. The second plant is a conventional leachate treatment plant, it is composed of a biologic reactor with intermittent aeration (IA), the waste sludge is digested and dewatered together with municipal sludge of the wastewater treatment plant (WWTP). The last monitored leachate treatment plant includes several advance treatments: i) pre-treatment sections with flotation and sand filter, ii) double-pass reverse osmosis (RO), and iii) RO concentrate treatment line.

Results and Discussion

In the leachate treatment plant 1, only the compounds PFBA, PFPeA, PFHxA, PFBS and PFOA were detected in the liquid matrix. The mass balances of PFAS compounds showed an almost null removal of PFAS from landfill leachate. The observed PFAS concentrations usually increased from the inlet to the outlet of the plant suggesting possible release of these substances from sludge or transformation of precursors. The PFAS concentration increases from 2.5 µg/L to 3.8 µg/L, from 2 to 2.5 µg/L, and from 0.9 to 1.5 µg/L, respectively, for PFBA, PFPeA and PFHxA. On the other side, the PFBS and PFOA concentrations showed slightly increments (PFBS from 3.6 to 4.1 µg/L, PFOA from 2.2 to 2.4 µg/L). In the sludge samples of treatment plant 1 were detected PFBS, PFOA and PFOS. Particularly, PFOS was not detected in the liquid phase. Hence, PFOS may have been absorbed previously in sludge or produced by transformation products. However, release of this compound in the liquid matrix was not observed at the concentration higher than the LOQ.

In the leachate treatment plant 2, PFBA, PFHxA and PFBS were found in the liquid phase of the leachate at concentration of 3.7, 1.5 and 1.7 $\mu\text{g/L}$, respectively. In this plant, waste sludges are treated along with the municipal sewage sludge. In this mix of sludge only PFBA was detected at concentration of 11 $\mu\text{g/kg}$.

The Advanced leachate treatment plant (N°3), which utilize RO treatment, was able to obtain a permeate flux where none of the thirty target PFAS was detected (LOQ = 15 ng/L). However, the obtained RO concentrate showed a relatively high concentrations of ΣPFAS (97.7 $\mu\text{g/L}$) and, the implemented concentrate treatment line only partially removed PFAS from the flux (39.8 $\mu\text{g/L}$). The treated RO concentrate is then discharged into the sewage system together with the RO permeate. PFAS mass balances highlight that the flux from the concentrate treatment line nullified the complete removal of per- and poly- fluoroalkyl substances obtained by the RO filtration.

Conclusions

Conventional leachate treatment plants have demonstrated low ability to remove PFAS from landfill leachate. Advanced treatment technologies as reverse osmosis (RO) may provide a permeate “PFAS-free”. However, high concentrations of PFAS are found in the treated RO concentrate and in the waste sludges, which may lead to the contamination of the environment medias by these compounds. Therefore, the development of further technologies for the destruction of PFAS in concentrated matrixes is needed in order to reach the aim of “Zero Pollution”.

Email: n.lancioni@pm.univpm.it ; m.sgroi@staff.univpm.it

Chlorinated solvent daughter product management and expedited remediation

Michael Mazzaresse

AST Environmental, Inc., USA

Introduction and study objectives

Chlorinated solvent degradation products, also known as daughter products, are generated at most remediation sites where an electron donor is introduced or where sufficient natural organic carbon is present in the aquifer. For sites where either perchloroethylene (PCE) or trichloroethylene (TCE) is the parent compound, the degradation products are primarily cis-1,2-dichloroethylene (DCE) and/or vinyl chloride (VC). Where source areas exist (e.g. mg/L concentrations of parent compounds), significant daughter product concentrations can be generated and can persist for extended periods of time, even decades.

Materials and methods

This presentation will review two project sites where activated carbon impregnated with metallic iron, a complex carbohydrate, a facultative microbial consortium designed to degrade chlorinated solvents, and a second microbial consortia designed to breakdown the polymeric carbohydrate to monomeric fragments were mixed and applied via in situ injection. This synergistic combination has been shown to generate significantly less daughter products and to degrade parent and daughter products completely to ethylene in an expedited timeframe compared to traditional enhanced reductive dechlorination (ERD) approaches.

Results and Discussion

Site 1. A combined remedial strategy was implemented to treat elevated levels of TCE in a shallow fine-grained aquifer at a former large industrial facility. This remediation effort was comprised of 1) in situ chemical oxidation to treat the shallow, mostly unsaturated soil mass, 2) a metallic iron-impregnated activated carbon PRB was installed downgradient of the source to manage the flux of dissolved mass offsite, and 3) the source area was treated with the above-mentioned combination of technologies and microbial consortia.

Within the source area, total chlorinated ethylene (TCE+DCE+VC) concentrations in the source area have been reduced by 99.9% in less than three years. The initial TCE concentration was 47,800 ppb and is currently 2 ppb. DCE and VC concentrations peaked approximately six months post application and have since declined to 21 ppb and 9.4 ppb, respectively.

Site 2. A multi-year phased approach was utilized to remediate a comingled plume at a former chemical plant that stored, repackaged, and distributed a multitude of chemicals, including hydrogen peroxide, methylisobutyl carbinol (MIBC), PCE, acetone, ethanol, and diesel fuel. The first phase was a combination of ex situ and in situ remediation methods that were selected to achieve the site clean-up goals in specific plume areas of immediate concern. The initial total chlorinated ethylene (PCE+TCE+DCE+VC) concentrations were over 213,000 ppb with much of the mass as DCE (72%). After one-and-a-half years of source area treatment, the total concentration was 354 ppb with 25% being DCE and the balance as VC. After demonstrating over nine years of mass flux control with a PRB, and significant groundwater mass reductions in the source area, managed closure status has been requested by the consultant and is pending approval from the regulatory agency.

Conclusions

The innovative combination of activated carbon, impregnated reactive iron, an electron donor, nutrients and bacteria was shown to generate significantly less daughter products and to degrade parent and daughter products completely to ethylene in an expedited timeframe compared to traditional ERD approaches at each of the two subject sites.

Email: mmazzarese@astenv.com

Legacy urban underground storage tank site achieves site closure using surgical injection strategy

Michael Mazzaresse

AST Environmental, Inc., Golden, CO, USA USA

Introduction and study objectives

The subject site is located in a densely populated area of New York City. Several technologies were attempted at the site with mixed results (Figure 1). After six rounds of in situ chemical oxidation (ISCO), a Membrane Interface Probe (MIP) study and high density soil and groundwater sampling were performed to revise the conceptual site model (CSM). It was determined that petroleum hydrocarbon mass was present under the road; a technology was needed that could remediate the mass onsite but also manage mass from migrating back onsite from under the road. In addition, traditional direct push technology (DPT) could not be used due to the presence of a gravel layer that was located at approximately 12 meters (m) below ground surface (bgs) that caused DPT refusal. Baseline total benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene (BTEX) concentrations ranged from approximately 1,000 to 10,000 µg/L. The objective for each BTEX constituent was 5 µg/L.

Materials and methods

Based on the revised CSM, an injection remedy that included powder activated carbon, terminal electron acceptors, nutrients, and hydrocarbon degrading bacteria (commercially known as BOS 200®) was developed. Sonic drilling was used to pre-drill each injection location to 12 m bgs. Every location was then backfilled with hydrated bentonite. After the bentonite had cured for a minimum of 24 hours, DPT was used to advance the drill rods and injection tip to the shallowest injection intervals (ranged from 13 to 14.5 m bgs). Injections proceeded in the top-down manner to the terminal depth of 18.3 m bgs. BOS 200® slurry was applied within an approximate 370 m² area through 42 pre-drill injection locations (approximate 3 m spacing).

Results and Discussion

The maximum baseline concentrations for the target contaminants were 34 µg/l, 5,710 µg/l, and 7,250 µg/l for toluene, ethylbenzene,

and xylenes respectively (benzene was generally below detection limits). Four (4) of the 5 monitoring wells within the treatment footprint achieved the project objective of 5 µg/l for toluene, ethylbenzene, and xylenes. The fifth well achieved approximately 50% reductions for the target contaminants of concern. Data from select wells are presented in Figure 1. A No Further Action (NFA) was issued and the property has since been converted from a vacant lot to six story mixed commercial/residential building.

Conclusions

High resolution sampling and innovative “pre-drill” injection technique of an activated carbon based amendment combined to achieve site closure and allow redevelopment of a vacant lot in a dense urban setting.

Email: mmazzarese@astenv.com

Assessing a methodology for estimating soil pollution costs in Luxembourg

Anna Espinoza¹, Gaëtan Fourvel², Pol Tock², Arno Biwer¹

¹Luxembourg Institute of Science and Technology

²Administration de l'environnement

Introduction and study objectives

Soil is a three-dimensional system characterized by chemical, physical and biological properties that provide several vital ecosystem services, such as food provision and water purification, among others, through a multitude of soil functions (e.g. biomass production, water filtering). From an economic point of view, most of the soil-provided ecosystem services produce indirect use value, meaning the benefit that people receive indirectly from soils through ecosystem services, such as the benefits from the regulation of water cycle and climate. However, provisioning ecosystem services provides also direct use value, meaning the value that humans receive directly from soils via different land uses, such as agriculture, forestry or settlement space and which confers a direct monetary value to land. In this case, soil can be considered as a production factor. Finally, soil-provided ecosystem services can also produce non-use value that is the patrimonial value associated to soil by a society. Soil pollution, as defined by FAO as “the presence of a chemical substance out of place and/or present at a higher-than-normal concentration that has adverse effects on any non-targeted organism” modifies directly or indirectly part of the soil properties, leading to an impairment of the soil functions. This can lead to the degradation of ecosystem services that can be expressed as an economic cost for the society. Direct exposure to soil pollution not only poses health risks to individuals but also has the potential to impose economic costs on society as a whole. The most severe pollutions of soil are often caused by industrial activities thereby generating polluted sites, which can have a direct cost due to the need for remediation and the loss of property value. The negative effects of soil pollution on society can be translated into monetary values that can be used by policy authorities to determine how land management can be improved in order to minimise these costs. The aim of this study is to (i) establish the parameters and indicators associated with soil pollution, (ii) develop a methodology that enables the

quantification of the economic impact of soil pollution in Luxembourg, iii) identify the indicators necessary for the economic valuation of polluted sites in Luxembourg. By determining the relevant indicators, we can accurately evaluate the economic value of contaminated areas. In the subsequent phase of this project, the established methodology will be put into practice, and the costs associated with industrially polluted soils will be assessed. This practical application will provide valuable data and insights into the economic implications of polluted sites in Luxembourg.

Materials and methods

In order to assess the cost of the soil pollution in Luxembourg, the methodology defined by Görlach et al. was followed with some modifications and/or integrations. This methodology takes into account five different types of cost. The study focused specifically on industrial polluted sites in heavily human-influenced areas of Luxembourg, excluding the analysis of soil pollution caused by high anthropogenic background concentrations not directly linked to specific emission sources, in order to overcome the lack of comprehensive data on the economic impact of soil pollution. For this, eight industrial polluted sites were selected among those recorded into the national database on polluted or potentially polluted sites, and the methodology was applied.

Results and Discussion

The modified methodology proposed by Görlach et al. was applied to eight polluted sites. The choice of these case studies was made based on different factors (e.g. type of industrial activity, frequency in the database, impact on the soil and groundwater, type of pollutants) to be as representative of the Luxembourgish context as possible. Theoretically, an assessment of the cost of soil pollution at the national level should take into account the impact of pollution on the direct use value provided by soils (i.e. on-site use value supplied by land uses of the soils thanks to the ecosystem service of support of human activities), the impact of pollution on the indirect use value provided by soils (i.e. off-site use value supplied by the other ecosystem services), and the impact on the non-use value of the soil (i.e. patrimonial value). However, due to a lack of data and information in the literature on the economic valuation of the soil-provided ecosystem services and on the quantitative links between

soil pollution and ecosystem services, our study only focused on five types of costs. While our economic estimations may underestimate the overall costs of soil pollution, they provide a reliable assessment of the direct costs associated with polluted sites. However, it's important to approach the methodology's results with caution due to inherent uncertainties arising from factors like the selection of representative case studies and the extrapolation to a national level when assessing the costs of local soil pollution in Luxembourg. This study allowed the application of a simplified methodology to a very complex economic assessment, putting the bases for recurrent re-evaluation of the costs of polluted sites in Luxembourg.

Conclusions

The present study is the first attempt to define a systematic methodology to assess the costs of local soil pollution in Luxembourg. The methodology described has been developed basing on a literature study on soil pollution costs in Europe and worldwide. The results of the literature review showed very few studies on the subject, and finally approached outlined in the report „Assessing the Economic Impacts of Soil Degradation” mandated by the European Commission in 2004 has been followed with some modifications. The application of this methodology leads to a detailed picture of the costs of local soil pollution for site owners and for policy actors. The result of the economic valuation of soil pollution in Luxembourg will allow public authorities to define a scientific-based strategy to improve the management of polluted sites.

Email: anna.espinoza@list.lu, Gaetan.Fourvel@aev.etat.lu,
Pol.Tock@aev.etat.lu, arno.biwler@list.lu

WEBGIS dei potenziali siti PFAS in Italia

Valerio Caroselli, Stefania Annicchiarico

IPTSAT srl

Premessa

I PFAS (acronimo che sta per PerFluorinated Alkylated Substances) sono una famiglia di sostanze chimiche altamente persistenti e bioaccumulative che sono diventate una preoccupazione globale per la loro presenza nell'ambiente e sulla salute umana. Queste sostanze sono state utilizzate per decenni in una varietà di prodotti, tra cui teflon, antiaderenti, schiuma antincendio e materiali resistenti all'acqua. L'indagine "The Forever Pollution Project" rivela oltre 21.000 presunti siti di contaminazione dovuti ad attività industriali in corso o passate. Una raccolta di dati su una scala senza precedenti, pubblicata dal quotidiano francese "Le Monde", illustra la diffusa contaminazione data dai Pfas in Europa, sostanze tossiche e persistenti. La "Forever pollution map", creata dalla testata accanto a ben 17 partner, è parte del "Forever pollution project", progetto grazie al quale è stato possibile mostrare la contaminazione di "sostanze chimiche che accompagneranno l'umanità per centinaia di anni, forse anche migliaia", viene anticipato nello studio.

In Italia, come in molti altri paesi, i PFAS sono stati rilevati in acqua potabile, suolo e aria. Le aree industriali e i siti di smaltimento dei rifiuti sono spesso i maggiori responsabili della contaminazione da PFAS.

Uno studio condotto nel 2020 dall'Istituto Superiore di Sanità ha mostrato che il 90% dei campioni di acqua potabile prelevati in Italia conteneva quantità di PFAS superiori al limite di rilevabilità. Inoltre, la presenza di queste sostanze chimiche è stata rilevata anche nei prodotti alimentari, come frutta, verdura e carne.

Gli effetti sulla salute umana dell'esposizione a lungo termine ai PFAS non sono ancora del tutto chiari, ma sono stati associati a problemi di salute come il cancro, le malattie del fegato e del sistema immunitario, nonché problemi di sviluppo e riproduzione.

In risposta a questa crescente preoccupazione, il governo italiano ha adottato regolamenti più rigorosi sulla gestione dei PFAS. Ad esempio, l'Italia ha stabilito il limite massimo di 50 ng/L per la somma di PFOS

(perfluorottansolfonato) e PFOA (acido perfluorottanoico) nell'acqua potabile, che è inferiore al limite stabilito dall'Unione Europea.

Tuttavia, la rimozione dei PFAS dall'ambiente e dalle forniture di acqua richiederà anni, se non decenni, a causa della loro alta persistenza. Pertanto, il controllo dell'uso dei PFAS è visto come la chiave per limitare i rischi per la salute umana e l'ambiente.

In sintesi, i PFAS in Italia sono un problema serio e in crescita che richiede l'attenzione e la collaborazione di tutti i settori della società per proteggere la salute umana e l'ambiente. Sono necessarie misure rigorose per controllare l'uso e la diffusione delle sostanze chimiche PFAS e assicurarsi che le forniture di acqua potabile e gli alimenti siano sicuri per il consumo umano.

Obiettivo dello studio

Così come sono stati pubblicati i dati del progetto "The Forever Pollution Project" sono poco incisivi, per questo abbiamo voluto predisporre un webgis con solamente i dati nazionali, arricchito da ulteriori dati geografici per fornire valore aggiunto in grado di arricchire la visualizzazione e la comprensione del fenomeno e passare quindi dal concetto di "dato" al concetto di "informazione" e porre le basi per una valutazione più completa del problema potendo fare analisi per Regione, per tipo di impatto, per vicinanza...

Materiali e metodi

Come menzionato nell'articolo di Lemonde.fr , i dati del progetto sono liberamente disponibili per il download. Pertanto abbiamo ritenuto interessante confrontare tale fonte con altri database di particolare interesse del nostro territorio:

- Database Hydro and water basin 2022 (geodatabase con le risorse idriche nazionali)
- Database World Protected Area 2022 (geodatabase delle aree protette)
- Database Italy Population Map (geodatabase della popolazione residente)

Il gruppo di lavoro ha dapprima scaricato, normalizzato e omogeneizzato i dati dalle diverse sorgenti, estratto i dati per il territorio Italiano ed importato gli stessi su un db geografico per poter procedere con analisi spaziali di tipo complesso, al fine di verificare gli impatti dei PFAS sul territorio e sulla popolazione.

In ultimo i dati sono stati pubblicati tramite servizi REST per poter essere rappresentati e interrogati su un webgis e, in un secondo momento, anche di una dashboard come da esempio in basso.

Tramite applicativi Dashboard di tipo user friendly, è possibile visionare molteplici dati e confrontarli in modo intuitivo anche per un utente non esperto del mondo GIS, associare quindi l'informazione geografica su mappa a grafici e contatori statistici su indicatori ambientali, indicatori di popolazione e di biodiversità.

Inoltre la control room dotata di appositi filtri quale ad esempio i limiti amministrativi, permette tramite semplice scelta di una determinata Regione, di valutare velocemente, i valori inquinanti e rapportarli ad altri territori. Questo dispositivo di tipo dinamico, rende l'utilizzatore finale parte attiva dell'esposizione dei dati.

Con l'arricchimento di questi dati, un utente maggiormente esperto sulla tematica è in grado di fare valutazioni più complesse e produrre report sullo stato di una determinata area di interesse in tempi rapidi.

Email: val.caroselli@iptsat.com, s.annichiarico@iptsat.com

LCA in the development of an in-situ innovative remediation technology: the case of ERASE - ElectRode-Aided Soil rEmediation

Gabriele Beretta¹, Elena Sezenna¹, Giovanni Dolci¹, Lucia Rigamonti¹, Sabrina Saponaro¹, Claudio Carnabuci², Daniele Vezzoli²

¹Politecnico di Milano, Department of Civil and Environmental Engineering; ²HPC Italia

Introduction

Economic and social development has caused impacts on the quality of soil and groundwater. Soil is a non-renewable resource and, together with groundwater, needs to be preserved for the next generations and eventually restored from negative impacts through appropriate remedial measures and interventions.

While the primary goal of remediation is to address contamination and effectively reduce or control risks in a safe and timely manner, it is crucial to consider the potential environmental, economic, and social impacts that can arise from remediation activities themselves and maximize the overall benefits of soil reclamation. A major challenge today is identifying innovative and sustainable in-situ remediation technologies capable of facing historical and heterogeneous contamination to recover brownfield sites. Within the Polluted Site Decontamination pre-commercial procurement (POSIDON PCP), the Consortium led by HPC ITALIA srl, as the main contractor, and Politecnico di Milano as the academic partner via Fondazione Politecnico di Milano, proposed and developed, from the lab proof of concept up to field testing, an innovative in-situ remediation solution. The proposed technology, named ERASE (ElectRode-Aided Soil rEmediation), is an in-situ remediation approach integrating the physical, chemical, and biological mechanisms induced by powering at least a couple of electrodes installed into the porous medium (Fig 1). One of the major innovative aspects of the proposed solution is the integration, tuning, and concurrent exploitation of these different processes into an in-situ flexible platform for addressing various organic and inorganic pollutants and co-

contaminations in heterogeneous soil/back-filling materials, either in unsaturated or saturated conditions.

Direct current (DC) electric fields promote electrokinetic-induced mechanisms (electromigration, electroosmosis, and electrophoresis), causing mass transport towards either the cathode or the anode, with the advantage of promoting the distribution of any chemical compound (oxidants/reductants, substrates, nutrients, etc.) to support the degradation of organic pollutants and/or the recovery of inorganic pollutants. Alternating current (AC) powering promotes soil heating up to 35° - 40° C (Joule effect), useful to increase the bio- and/or chemical degradation rate of organic pollutants and for the thermal activation of persulfate, a chemical that can oxidize many organic compounds. Close to the electrodes, electrochemical reactions also occur, such as a) pollutant electro-oxidation/reduction, caused by hydrogen peroxide (H₂O₂) or high-energy free radicals (O₂• or •OH) production; b) water hydrolysis, which modifies the pH and can increase the availability of oxygen or hydrogen, favoring aerobic or anaerobic biodegradation, respectively.

The experimental work was carried out in a stepwise approach, from lab scale tests performed on contaminated soil from polluted sites in the Milan (IT) metropolitan area, up to the design and execution of field pilot tests at two highly polluted sites (Trieste – IT and Bilbao – ES), affected by Total Petroleum Hydrocarbons (TPHs), Polycyclic Aromatics Hydrocarbons (PAHs), and heavy metals (Arsenic, Lead, Zinc, Copper).

Each test and its experimental conditions were defined with the purpose to investigate the most relevant aspects and issues of the technology, potential limitations, and corrective actions to be considered in defining the next experimental step and the scale-up strategy. In this process, together with the efficiency and effectiveness towards the contaminants of concern, costs and time required to meet remedial targets, and how soil characteristics, setting, and operational conditions might affect the treatment, a Life Cycle Assessment (LCA) of the proposed solution was performed to evaluate its potential environmental impacts. The LCA allowed to compare the innovative approach to the traditional soil dig and disposal and, more important, to identify the aspects responsible for the greatest environmental impacts, to proactively drive future efforts in the development of an effective but also sustainable plant.

LCA procedure and main results

The LCA was performed according to the ISO 14040 and 14044 standards. The first scenario included in the assessment was based on the preliminary design of the field pilot tests defined on the outcomes of the lab tests and prototyping. In a second step, at the end of the field pilot testing, the assessment was updated accounting for the actual plant equipment and operating data (e.g., electric power consumption, use of chemicals, generated waste, etc.). The analysis was performed for both sites. Among the impact indicators included in the Environmental Footprint 2.0 method, sixteen midpoint impact categories on the environment and human health were assessed. The functional unit was defined as each overall pilot test (including the preliminary activities, the operational activities, and the decommissioning). The modeling was performed with the support of the ecoinvent database (version 3.8) and SimaPro software (9.3 version). This approach let to identify the choices most affecting the environmental impacts. At both sites, the most relevant burden was related to the electrodes (production, installation, decommissioning, and end-of-life), with a contribution in the range 19% - 68%, and chemicals (production and use), with a contribution between 11% and 53%. The electricity consumption contribution to the different impact categories for the tested operational conditions was in the range 1% - 40%. Nevertheless, should the site-specific conditions require an increase in current or voltage gradient, the contribution of electricity consumption would be much greater; for example, an increase in overall consumption by a factor of 8, would make the electricity consumption the most relevant burden, with contributions varying between 28% and 95% for the examined impact categories.

Conclusions

The LCA allowed to identify the key elements that should be improved to reduce the environmental impacts and to increase the environmental sustainability of the ERASE technology, since from the earlier stage of development. In detail, “Production, installation, decommissioning, and end-of-life of electrodes”, “Production and use of chemicals”, and “Electricity consumption” can be considered as the key elements to the impact of ERASE technology. By comparing different plant configurations and operational conditions, useful suggestions resulted, for instance, for the selection of the electrode material, the electrical energy source (e.g., renewable sources), and working conditions.

This work is part of the POSIDON project that received funding from the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Programme (under grant agreement N. 776838).

Email: gabriele.beretta@polimi.it

Decontamination of PAH-impacted soils using Liquid Activated Carbon (LAC) – enhanced microwave treatment

Pietro P. Falciglia¹, Guido De Guidi², Fabiana Vento², Monica Granetto³, Tiziana Tosco³, Rajandrea Sethi³ and Federico G.A. Vagliasindi¹

¹University of Catania - DICAr, ²University of Catania - DSC, ³Politecnico di Torino - DIATI

Introduction and study objectives

Soils contaminated with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) is a very important concern worldwide due to contaminant high environmental persistence and strong affinity with solid particles. PAH carcinogenic nature represents a threat to human health. This makes essential the search for cost-effective remedial techniques.

Microwave (MW) heating has recently been demonstrated relatively effective for the removal of persistence organics from soils, because MW heating process is heavily limited by the poor dielectric features of the irradiated media. Literature demonstrated that MW heating ability can be improved by adding specific MW enhancers to the contaminated soil. Several solid enhancers have been largely investigated [3]. One of the most used is the activated carbon (AC), however, its granular nature limits the enhanced-MW heating treatment only to the ex-situ applications (soil excavation requirement). In the continuous search for liquid enhancing agents, Liquid Activated Carbon (LAC) is a novel non-hazardous material that could represent a very favorable alternative to granular forms. LAC use in enhanced-MW treatments, still unexplored, would allow to combine the high dielectric properties of solid AC jointly with the potential of in situ applications. However, studies usually report a high LAC mobility in the porous medium, on average higher than other nano- or micro-materials typically applied for in-situ remediation. If an extremely high mobility can be potentially a concern when applied in groundwater, this characteristic represents a positive factor in view of their possible application in soils.

In the present study, a novel liquid activated carbon-enhanced MW treatment was investigated at the lab-scale to remediate PAH-contaminated soils. Transport tests were also performed in order to

assess the potential mobility of LAC suspensions in unsaturated porous media under the effect of gravity.

Materials and methods

A model sandy soil was artificially contaminated with different PAHs. For the MW experiments, different doses (2.5 – 10.0%) of commercial LAC were mixed with the soil before irradiation. MW and LAC-MW heating treatments were simulated using a custom-made bench-scale oven, irradiating 15 g of PAH-contaminated soil samples (with or without LAC addition) for a maximum time of 5 min (Power range = 440 – 1000 W). Soil temperature (T) profiles and PAH-residual concentrations (C) were assessed. Residual PAHs were recovered with dichloromethane (DCM) applying the EPA method 3540C.

The mobility of LAC in unsaturated porous media was investigated in column transport tests. Deionized water or tap water were used, depending on the test. A vertical plexiglass column (inner diameter 1.6 cm) was wet-packed with 60 g of silica sand to a length of 18 cm. the LAC transport was studied applying a 113 g/L LAC suspension in deionized water on top of the column and let drain through it under gravity. The effluent was collected at a frequency of 10 s. The volume of each sample was measured to determine the effluent discharge, and the samples were then analysed with UV-vis spectrophotometry to determine the LAC particle breakthrough curve. At the end of the test, the column was extruded and dissected in 9 or 10 aliquots to determine the profile of retained LAC particles.

Results and Discussion

The soil temperature profiles show an almost increasing linear trend due to the progressive rise in MW energy absorbed by the irradiated samples over the time. Specifically, the LAC addition resulted in maximum T values in the 400 - ~1100 °C range. The highest temperature value was achieved for the 440 – LAC 10 (440 W – LAC 10% w/w) treatment after just 2 min. This is attributable to the increased dielectric properties of medium given by LAC, which in turns sharply increase its capability in concerting the MW electric field into heat (max heating rate = 370 °C min⁻¹). On the other hand, temperatures lower than 100 °C were found in absence of LAC even applying the power of 1000 W. This results in a decrease in PAH-concentration with irradiation time with a rapidity depending on the conditions investigated. LAC-enhanced treatment allows the

achievement of severe Italian regulatory limit (L.D. 152/2006) for total PAHs of 10 mg kg⁻¹ in just 5 min also when the minimal power was applied (270 – LAC 10). Shorter times of 4.4 or 4.2 min can be sufficient for higher powers and lower LAC doses (300 – LAC 7.5 or 440 LAC, respectively). The shortest time of 1.4 min is achievable when the maximum power and dose are applied. From literature, it is clear that available PAH-contaminated soil clean-up approaches cannot lead to a similar rapid and total decontamination result.

From the columns leaching test under gravity, LAC resulted to be highly mobile when dispersed both in deionized and tap water. LAC concentration at the outlet of the column equalled in less than 100s the one entering the system, with a cumulative mass recovered of 63% and 69% in DiW and TapW respectively. Vertical profiles determined at the end of the tests showed a linear increasing trend with depth in the first 5 cm, with a subsequent constant retained mass up to 16 cm. Due to LAC density and column outlet typology (i.e., without the application of any suction), a higher particles amount was detected in the sample collected at the bottom of both columns. From the shape of vertical profiles, it was possible to exclude a mechanical filtration and/or ripening interaction mechanism of LAC with sand since neither exponential nor hyper-exponential profiles were obtained. On the contrary, blocking seemed to be the controlling interaction mechanism.

Conclusions and final remarks

The obtained findings demonstrated that the addition of liquid activated carbon (LAC) in soil largely increase the heating capacity of the irradiated media and, consequently, the very rapid and effective PAH removal from soils. The good LAC mobility observed in column transport tests opens optimistic perspectives for an effective delivery via gravity of the LAC suspensions, at least in permeable soils.

Email: pietro.falciiglia@unict.it

Optimizing risk management plans for pollutants dispersion in aquifers by use of innovative mass flux and mass discharge approaches

Jamin Pierre^{1,2}, Evrard Maxime¹

¹Nagaré Hydro SRL, Belgium, ²University of Liège, Belgium

Introduction and study objectives

The dispersion risk of a pollution does not depend solely on a concentration but rather on the dose to which a receptor is likely to be exposed. Said dose is thus a combination of the pollutant concentration but also, and above all, of the groundwater flux, which is the actual driving force behind pollutant dispersion in aquifers and to receptors. Traditional aquifer pollution management plans based only on concentration thresholds can sometimes fail to properly assess the dispersion risk and can lead to disproportionate management plans. Flux-based risk assessment is scientifically more relevant.

Nagaré's technology has been carried out at an industrial site bordered by a river. The alluvial aquifer is contaminated with heavy metals and poses dispersion risk to the river. An innovative risk assessment approach has been used to directly quantify the discharge of heavy metals to the threatened river.

Materials and methods

Nagaré is able to directly measure and monitor live groundwater flux in existing wells. The technology consists in a single-well tracer dilution test based on a continuous tracer injection. It delivers the groundwater flux (Darcy's flux) on the whole length of the screen interval for both one-off measurements and continuous monitoring of dynamic groundwater flow.

Nagaré's technology has been carried out at an industrial site bordered by a river in the Brussel area, Belgium. The alluvial aquifer is contaminated with 8 heavy metals and poses a dispersion risk to the river. Since the concentration-based risk assessment failed to precisely quantify the discharge risk to the river, a cumbersome and costly risk management plan consisting of 43 monitoring wells sampled twice a year and for another 21 years was implemented.

In collaboration with the consulting company Geolys, Nagaré suggested an advanced risk assessment methodology based on groundwater fluxes measurement and monitoring, and dissolved metal mass flux and mass discharge quantification.

Results and Discussion

Groundwater flux measurement were performed on 43 monitoring wells, spread as a control plane along the limit of the site and screened at three different depths. It allowed to characterize the spatial heterogeneity of groundwater discharge and quantify the total groundwater flow rate through the site limit, feeding the river.

Heavy metal mass fluxes and mass discharges were calculated based on measured groundwater fluxes and metal concentrations obtained from the monitoring campaign carried out by Geolys. Use of mass discharge allowed to directly assess the dispersion risk of heavy metals through two innovative approaches.

Representative average concentration

Since no threshold values are specified in terms of mass discharge by the regulator, the concept of Representative Average Concentration has been introduced. It is obtained by dividing the total mass discharge of a pollutant by the total discharge of groundwater. It can be considered that as a flux-weighted average concentration that is representative of the dispersion risk.

For the Brussels case, out the 8 heavy metals present in the groundwater at concentrations higher than the threshold values, 4 could be proved not to be at risk of dispersion using the Representative Average Concentration approach. In other words, even if, locally, pollutant concentrations are above the threshold values and even if specific discharge points can be identified, the total metal discharge for these 4 metals was not sufficient to pose a dispersion risk.

Direct calculation of impact on surface water

Mass discharge approach also enable the calculation of simple mass balance to calculate the metal concentrations in the river resulting from the discharge via the groundwater. Ultimately, and under reasonable assumptions, the discharge of 3 additional metals was not sufficient to cause a significant increase in metal concentration in the river.

Conclusions

For the first time using concepts of Representative Average Concentration and pollutant mass balance between groundwater and surface water, it was possible to demonstrate no dispersion risk for 7 of the 8 potentially problematic heavy metals. Representing the heterogeneity of the metal mass discharge on the control plane showed zones of preferential discharge in groundwater that were prioritized for the optimization of the existing monitoring plan (70% saving on the costs). Trend analysis on metal mass discharge time series has also been proved very robust in the evaluation of discharge aggravation study. It allowed to show that the discharge of pollutants has been stable or decreasing for the last 8 years, a conclusion never reached so far from concentration time series analysis.

Mass flux and mass discharge concepts remain underused for groundwater pollution management due to the lack of considerations of fluxes in legislations, thresholds values and guidelines. Nevertheless, proving the environmental relevance and the economic efficiency of mass flux-based approaches will eventually lead to a better management of groundwater resources.

Email: p.jamin@nagare.tech; m.evrard@nagare.tech

A sustainable approach for DNAPLS contaminated groundwater remediation: raw Polyhydroxyalkanoates (PHA) from organic waste as electron donor for biological reductive dechlorination coupled with adsorption on biochar

Laura Lorini¹, Lorenzo Gianni¹, Bruna Matturro², Marco Petrangeli Papini¹

¹Department of Chemistry, University of Rome La Sapienza, Italy,

²Water Research Institute, IRSA-CNR, Italy

Introduction and study objectives

In anaerobic conditions, an organic fermentable substrate can be oxidized, providing the eligible electron donor (H₂) for the biological reductive dechlorination (BRD) of highly chlorinated compounds. Recent field application studies in Italy have shown the effectiveness of combining the immobilization of chlorinated solvents and the biostimulation, allowing the quick reduction of dissolved contaminant levels and promoting the RD kinetics. In compliance with sustainability and circular economy principles, the current research interest is focused on alternative materials such as long-lasting electron donors and possible growth support for biofilm as adsorbents. Previous studies showed the potentialities of bio-based materials for bioremediation purposes, including polyhydroxybutyrate (PHB), a biodegradable microbial polyester tested as a fermentable source of slow-release electron donor. On the other hand, a low-cost biobased material, biochar (BC), also used as sorbent, has recently been proposed to accelerate reductive microbial dehalogenation. Here we proposed a Coupled Adsorption and Biodegradation (CAB) process for trichloroethylene (TCE) removal in a mini-pilot-scale reactor filled with a raw PHA produced from mixed microbial cultures (MMC) and fermented organic waste (as feedstock) and pinewood BC. This work aimed to evaluate the performance of the CAB process with particular regard to the effectiveness of the BC in sustaining the biofilm, mostly enriched by *Dehalococcoides mccartyi* (Dhc).

Materials and methods

The Reactor was carried out in a column of 150 x 10 cm, in which the dechlorinating biofilm was supported by pinewood biochar (4% wt) mixed with sand for the entire length of the reactor. Moreover, in the first half of the column, from the bottom, called the "fermentation zone", a dry raw PHA-rich biomass (35 %wt of PHA) in powder form was added. The reactor was equipped with 13 gates for lateral sampling. The start-up was carried out with an active TCE-to-Ethylene consortium. After the tracer test, the flow rate was maintained at 2.9 ± 0.6 L d⁻¹ on average, with 35 hours as Hydraulic Retention Time (HRT). The feed solution consisted of contaminated tap water, resulting in a final TCE concentration of 100 μ M. The monitoring of volatile fatty acids (VFA) and Chlorinated compounds was carried out through regular sampling of the side doors of the column. Samples were stored for microbiological analysis.

Results and Discussion

During the first two months of operation, the reactor has treated 180 Liter of contaminated water (10.5 ± 1.7 mg L⁻¹ was the average of TCE IN) removing 2.6 g of TCE. The PHA compartment yielded a very high concentration of total VFA at the beginning of the experiment (1.3 g L⁻¹ of VFA during the first week, at the outlet), decreasing progressively until a constant concentration of 6 mg L⁻¹ from day 118 to 160. After 160 days of operation, a complete conversion of TCE to cis-dichloroethylene and the following daughter product vinyl chloride was observed in the fermentative zone, while the final product, ethylene, was detected only in outlet. A slow and constant release of Acetate from the PHA compartment and the high flow rate used are interesting conditions for field applications. This configuration also allowed the treatment of high contaminant load at high solution feed rate (30.6 mg TCE day⁻¹; 1.5 m day⁻¹). The promising results open doors to the circular economy concept where a by-product of biomass thermal treatment and a biopolymer could support specific dechlorinating biofilm for bioremediation application.

Conclusions

Recent field application studies in Italy have shown the effectiveness of combining the immobilization of chlorinated solvents and the biostimulation, allowing the quick reduction of dissolved contaminant levels and promoting the BRD kinetics. In compliance with

sustainability and circular economy principles, the current research interest is focused on alternative materials such as long-lasting electron donors and possible growth support for biofilm as adsorbents. This study is particularly relevant for possible field application, indeed the tubular reactor configuration could be applied on a larger scale for an ex situ treatment of a contaminated groundwater. On the other hand, the same technology could be involved in a PRB configuration.

Email: laura.lorini@uniroma1.it, lorenzo.gianni@uniroma1.it,
matturro@irsa.cnr.it, marco.petrangelipapini@uniroma1.it

Feasibility of mycoaugmentation in the clean-up of TPH-contaminated soils: the life mysoil project

F. Bagnato¹, G. Bonfedi¹, R. Ciacciarelli¹, S. Crognale², A. D'Annibale², A. Firrincieli², D. Lelli², M. Petruccioli², F. Villani¹

¹Eni Rewind Spa, Piazza Boldrini 1, San Donato Milanese (Italia)

²University of Tuscia - DIBAF - Department for Innovation in Biological, Agro- food and Forest Systems, Viterbo (Italia)

Introduction and study objectives

Pollution poses a significant threat to the health of soil ecosystems in Europe, where there are an estimated 2.8 million potentially contaminated sites, 650,000 of which have already been identified for remediation (Paya and Rodriguez, 2018). Recent estimates note that mineral oils and polycyclic aromatic hydrocarbons, also commonly referred to as Total Petroleum Hydrocarbons (TPH), amount to an estimated average value of 35% among all contaminants detected in European soils. Soil remediation technologies currently available on the market mainly include landfilling (30% on average), physical treatments such as thermal desorption (50% on average) and conventional bioremediation (5-40%). The first two approaches are expensive and energy consuming, while bioremediation is a more sustainable procedure that can be performed either "in situ" or "ex situ" on excavated soils arranged in biopiles, installations designed to stimulate microbial activity and enhance biodegradation. This remediation technology is an environmentally friendly solution as it consumes little energy and does not negatively impact soil functions. The use of biopiles is fully compatible with mycoremediation, a technique based on the use of fungal inocula in-house produced or derived from edible mushroom production waste (spent compost). Although the effectiveness of mycoremediation has been demonstrated on a wide range of organic pollutants, there are still few experiences on pre-pilot or pilot plants. The main objective of the 3-year LIFE MySOIL project is to demonstrate the feasibility of pilot-scale mycoremediation technology for TPH removal through the implementation of 3 pilot plants located in different areas in the European territory (Italy, Spain and France).

This project received funding from the European Union's LIFE Program (LIFE20 ENV/ES/000416).

Characterization of the contaminated matrix

In Italy, soil for both the biotreatability test at the lab-scale and the intermediate upscaling test (1.0 m³) was taken from around the tank removal area by an Eni petrol station with an ongoing remediation process and located in the municipality of Borgo Faiti (LT). According to the USDA textural classification, it is a clay soil with pH of 7.8 and 37% water-holding capacity. The contamination profile showed that the concentrations of C<12 and C12-C40 hydrocarbon fractions were 825 and 6,990 mg/kg, respectively. Hydrocarbon speciation by MADEP protocol showed that the most abundant fraction of aliphatics was in the C13-C18 range followed by the C19-C36 range. Although culturable bacteria are known to represent only a minor fraction of the soil microbiota, culture techniques still provide elements for assessing matrix biotreatability (heterotroph density > 10³ CFU/g) according to EPA guidelines (2017). Although the count of heterotrophic bacteria in Borgo Faiti soil met the EPA requirement, the bacterial density was very low. The density of hydrocarbonoclastic bacteria was higher for PAH degraders than aliphatic-degrading bacteria. The determination of two enzymatic microbial activity markers confirmed the soil's low microbial abundance in the soil.

Biotreatability test

The experimental design of the biotreatability test involved setting up seven types of mycoaugmented microcosms plus an amended but non-inoculated incubation control and sampling at three times (zero, 3 and 6 months). Preliminary experiments enabled the choice of fungal strains, most of them belonging to *Pleurotus ostreatus* species (P24, P72, P73, P80 and DIBAF92), bulking agent (BA) and soil: BA ratio (12:1 m/m). . Fig. 1A shows a generalized time-dependent increase in D-glucosamine content in all microcosms, probably due to the stimulatory action of mycobiota by the lignocellulosic soil amendment. enumeration of cultivable fungi (Fig. 1B) also confirmed their proliferation, with density values increased by more than three orders of magnitude in the microcosms after six months compared with time zero. Figure 1C shows that after three months of incubation, 18S rRNA gene copy number increased by orders of magnitude between 1 and 2, while at the endpoint, no significant changes took place in most microcosms with the only exceptions being *P. ostreatus* DIBAF92 and *P. eryngii* MUT6224. The dynamics of the bacterial biota,

inferred from the 16S rRNA gene copy number and the heterotrophic and hydrocarbonclastic counts, also showed strong increases in those parameters in the intermediate sampling, followed by reaching a plateau in the subsequent sampling (data not shown).

Although the overall treatment time was extended to 6 months, especially given the highly clayey nature of the Borgo Faiti soil, the extended treatment time did not result in significant increases in target contaminant removal levels.

Mesocosm test (mycopiles)

The design of the upscaling tests involved the set-up of eight mesocosms (8 mycopiles with a volume of 1 m³ each, see Figure 2) incubated inside cylindrical shaped polyethylene and steel reactors, with a diameter of 1.5 m and a height of 1.4 m, each connected to a ventilation, humidification and excess water removal system.

After preliminary operations of homogenization, quartering, removal of pebbles and disintegration of cohesive parts, all the soil, including that intended for the control mycopile, was enriched with bulking agent (straw) to increase porosity and aeration of the matrix and then deposited inside the reactors on top of a bed of gravel. During loading operations, layers of soil were arranged alternating with wheat straw and millet seed, both enriched with fungal inocula of *P. ostreatus* selected by the University of Tuscia at the biotreatment stage or with Spent Mushroom Substrate (SMS) from a local mushroom producer. Two different configurations (1- single or sandwich layer; 2- multilayer) and different dosages of inoculated soil amendment were planned to be tested. In each case, the weight ratio between total soil amendment used (non-inoculated straw/inoculated straw/SMS) and treated soil was always kept below 12% w/w.

Mycopiles are maintained in optimal process conditions by the presence of sensors for continuous monitoring of parameters and subsequent adjustment of humidification and heating. Water is delivered according to soil moisture. For temperature maintenance, each mycopile is housed in an insulated container and maintained at a constant temperature through an electrical tracking system. Ventilation air for each mycopile comes from the atmosphere and passes through the pile from top to bottom: the mycopile thus results in a slight depression. At the bottom of the pile is a slotted pipe within the drainage layer for the passage of air. A pipe connects the mycopile

to a blower, unique for all piles, equipped with an activated carbon treatment system before release to the atmosphere.

The monitoring of the intervention, with a total duration of 6 months, involves continuous measurement of temperature, humidity, CO₂, O₂, CH₄ and VOCs for each mycopile and in/out of the air treatment filter; measurement of flow rates and depressions at the blower; visual verification of fungal growth; and chemical and microbiological analyses on the soil at times 0, 3 and 6 months, similar to those conducted in the biotreatment phase, to identify the most productive condition to be tested in the final phase of the project, a pilot plant of 50 m³ volume.

Email: fiora.bagnato@enirewind.com

Inadequate municipal solid waste management and occurrence of phthalate esters in soil in Serbia

**Dragana Vidojević¹, Nataša Stojić², Mira Pucarević², Dunja Prokić²,
Ljiljana Ćurčić²**

¹*Serbian Environmental Protection Agency, Ministry for Environmental Protection, Belgrade, Republic of Serbia*

²*University Educons, Sremska Kamenica, Republic of Serbia*

Introduction and study objectives

An increase in urban population and the rising demand for food and other essentials, perpetuate a rise in the amount of waste being generated daily by each household. In the Republic of Serbia, landfilling is the principal action for the municipal solid waste disposal. Landfills receive plenty of plastic waste generated from daily usage. Municipal solid waste in landfills may act as a reservoir of microplastics (MPs) and related pollutants such as phthalate esters (PAEs) into surrounding environment.

This study illustrated considerable PAEs levels from an uncontrolled landfill without adequate protection, possibly contributing to their release into the environment in the Republic of Serbia.

Results and Discussion

According to the Law on Soil Protection, the Cadastre of Contaminated Sites is a set of relevant data on endangered, polluted, and degraded soil. The main purpose of the Cadastre is to provide systematic data on sources of pollution such as the type, quantities, methods, and location of discharges of pollutants into the soil, in order to implement preventive or remediation measures. Serbian Environmental Protection Agency has been constantly working to improve the national methodology for collection, analysis and assessment of data on contaminated sites. In 2020, 213 potentially contaminated and contaminated sites have been identified and recorded on the territory of the Republic of Serbia. The largest share in the identified sites belongs to waste disposal sites - 71.83%, within which there are also unsanitary landfills, which are managed by local self-governments (Vidojevic et al, 2021). Phthalate esters (PAEs) as the main plasticizers group are applied to plastics, personal care products, building materials, lubricating oils, and insect repellents. PAEs release into the

environment throughout manufacture, application, and disposal of various commercial products (Mohammadi et al., 2023).

In the area of AP Vojvodina, the Provincial Secretariat for Urban Planning and Environmental Protection in 2020 investigated the soil quality of non-agricultural land in the area of 30 municipalities and cities, at 113 illegal landfills. A total of 1,130 soil samples were analyzed. An average of 5 soil samples was taken from each landfill (one from the central point of the landfill and 4 around the perimeter of the landfill). The analysis of the content of PAEs shows that in 319 out of a total of 1,130 samples the content of PAEs is higher than the remediation value.

Conclusions

The PAEs levels in soil samples gathered from the illegal landfills were quantified in this study. The finding suggested that waste disposal sites adversely affect soil in the study area. Continuous landfills control and monitoring is highly recommended to prevent further environmental pollution.

Acknowledgements

This research was supported by the European Union's Horizon Europe Project GREENLand - Twinning Microplastic-free Environment under grant agreement number 101079267.

Email: dragana.vidojevic@sepa.gov.rs;
natasa.stojic@educons.edu.rs; mira.pucarevic@educons.edu.rs;
dunjaprokic@educons.edu.rs; ljiljanacurcic@educons.edu.rs

Introducing continuous monitoring of individual contaminant species

Eugen Martac¹, Claudio Carusi²

¹Fugro Germany Land, Berlin,

²Mares, Rome, Italy

Introduction and study objectives

Building homes without encroaching on greenland is a critical requirement and leads frequently to the need to redevelop brownfields. Choosing the right technology is the key to generate reliable images of the contaminant body and to address the particular issue of each individual site.

Mares and Fugro have been working in partnership in Italy since 2016, and they keep on applying HRSC technologies extensively on contaminated sites focused to define the framework of contamination core for the purpose of an effective and sustainable remediation design.

In fact, experience shows that traditional investigations often do not allow for the correct definition of a conceptual site model adequate for the project design, so high-resolution technologies sometimes become an essential support. The recent developments made by Fugro now allow to obtain even more accurate and specific information, useful in a preliminary phase too.

Materials and methods

Volatile contaminants such as fuels or solvents are detected by the Membrane Interface Probe. Along with Hydraulic Profiling, this quick screening method provides in only one push a high-resolution structuring of the underground to determine contamination, hydraulic, lithology and geotechnical parameters.

Fugro recently coupled the standard system with a high-end lab-analyser to develop a field equipment able to provide a continuous screening of the contaminant cocktail in terms of composition and concentration of each individual compound.

Results and Discussion

The application of high-resolution technologies by Mares and Fugro shows how often the bulk of the contaminant mass is concentrated in

rather small volumes of soil, sometimes even located in different positions with respect to those identified by traditional methods. Therefore, this tool makes it possible to redirect economic resources towards projects with a greater degree of effectiveness and sustainability.

Now, besides the typical MIP signals, Fugro's developments give the ability to identify even individual compounds and provide their concentrations with high vertical resolution. This development enables fast, very reliable and cost-effective data collection directly on the field, both during the screening phase and for the remediation design purposes.

Conclusions

High-resolution technologies have today proved to be a very useful tool in the remediation design phase. The above described method further-development illustrates the usefulness of reliable initial screening methods for effective site investigation at any type and size of contaminated sites. Especially for large-scale applications, low-invasive initial screening can be valuable in directing and focusing the subsequent, more expensive soil and groundwater sampling. Either way, these tools offer an added value as they shorten the overall decision chain with associated budget savings.

Email: e.martac@fugro.com, claudiocarusi@maresitalia.it

PFAS leaching test and soil threshold calculations by means of analytical models

Francesca Motta¹, Stefania Verdelocco¹, Giorgio Volpi¹

¹AECOM

Introduction and study objectives

A study was carried out to quantify per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) leaching from the vadose zone to groundwater. The approach is based on the application of the Leaching Environmental Assessment Framework (LEAF), developed by the US Environmental Protection Agency (EPA). The objective of this work was the definition of a methodology to derive site-specific soil clean up levels in order to protect groundwater and achieve the downgradient groundwater quality standard (at the site boundary). The groundwater quality standard was set equal to 50 ng/L Toxic Equivalent Quantity (TEQ) based on Relative Potency Factors (RPFs) as defined in the RIVM Report 2018-0070, National Institute for Public Health and the Environment, The Netherlands.

Materials and methods

Soil investigations were performed at a site where significant groundwater PFAS contamination was detected. Source areas impacted by PFAS were identified based on the historical uses of the site and confirmed by soil investigations and groundwater monitoring studies. The investigation included the collection of unsaturated soil samples submitted for leaching tests and to determine site specific parameters (i.e., pH, organic carbon content, particle size distribution), laboratory percolation column tests (EPA method 1314), and the equilibrium-based leaching test (EPA method 1316) at three test source areas. Leaching tests were also conducted with water (L/S = 2) throughout the entire site. Analysis of the leaching test results allowed for the identification of the most significant constituent of the mixture (i.e., PFOS) and the partitioning coefficient. The leachate concentrations were used in an analytical transport model from the unsaturated zone to groundwater to calculate the expected PFAS concentrations in groundwater at monitoring wells located in the source areas. The modelled concentrations were compared to measured concentrations at monitoring wells located in the source

areas. The migration pathway in the groundwater was estimated with the Domenico transport analytical model to the Point of Compliance (POC), located at the site downgradient boundary. The concentration of PFOS modelled at the POC were validated with the use of a finite elements numerical model (Feeflow® code) calibrated in 2021 for the most representative source area and compared with concentrations calculated with the numerical model. Given the good agreement of the analytical and numerical model estimated concentrations, the target PFAS concentrations in the source area both in the leachate and in soil (dry matter) could then be back-calculated with site-specific partitioning coefficients and compared with the concentrations detected in the leachate, for the identification of impacted soil that may be subject to remediation.

Results and Discussion

Based on the experimental leachate concentrations, partitioning equations, site-specific geological parameters, and PFOS chemical properties gathered from international sources, the site-specific PFOS Log Koc was calculated. The value agrees with the median values derived from laboratory sorption experiments published in international studies. Despite many conservative assumptions and uncertainties embedded in the analytical model, the modelled concentrations in groundwater at the POC showed a high correlation with the average PFAS concentrations measured in groundwater between 2020 and 2022. The analytical model matches also with the predicted numerical model concentration of PFOS at the POC.

Conclusions

The described methodology based on leaching test performed with EPA Method 1314 and 1316 could be used to define soil target concentrations to reach acceptable concentrations in groundwater at the site's downgradient boundary.

Email: francesca.motta@aecom.com;
stefania.verdelocco@aecom.com, giorgio.volpi@aecom.com

Multi-level approach of the characterization of riverine sediments affected by unauthorized chemical wastes managements. Results from Contaminated Site of National Interest “Bussi sul Tirino”

Diligenti Antonio & Marinelli Gianluca
ARTA Abruzzo, District of Chieti, Chieti, Italy

Introduction

In 2014, in compliance with the subscribed program agreement, the Italian Environmental Ministry designated the Chieti District of ARTA Abruzzo (Regional Environmental Protection Agency), to carry out the environmental characterisation of the public areas of the Contaminated Site of National Interest (SIN) called “Bussi sul Tirino”, which also includes parts of three different rivers (Tirino river, Pescara river and Orta river). Starting from the town of Bussi sul Tirino, the SIN is extended to the north towards the coastline, for over 9 km, covering 235 hectares distributed over four different macro areas. The SIN was formally established after two main contaminated areas had been detected. The first area was impacted of chlorinated solvents, which were found in the groundwater used for drinking purposes, and the second was the unauthorized landfill of industrial waste. In the following abstract, a multi-level approach for the environmental characterization of riverine sediments will be presented.

Materials and methods

For the geognostic survey, 51 drilled holes were made into the riverbed, at a maximum depth of 1.7 m, collecting 148 sediment samples at three depths, 0-0.3 m, 0.3-0.7 m and 1.4-1.7 m. The holes were perforated in correspondence of the two river banks, left and right, located on an imaginary perpendicular line that encompasses the river, along which, several investigations were made, such as phytoscreening and river water sampling. Each sample collected was tested with granulometric, chemical and eco-toxicological analysis, performing over 13000 analytical determinations. Granulometric analysis was executed with laser diffractometry, as indicated in the method ISO 13320:2020, resulting in the following classes: Gravel,

Sand, Silt and Clay. Considering the heavy chemical impact on the environmental matrixes of the studied area, chemical analysis was performed by searching compounds that are mostly connected to the production activities of the chemical factory presents in the area, in addition to the nature and characteristics of the industrial waste that have been surveyed in the abusive landfills. In particular, chlorinated organic compounds such as tetrachloroethylene, trichloroethylene, hexachloroethane, etc., aromatic hydrocarbons, heavy metals, dioxins, pesticides, polycyclic aromatic hydrocarbons and others chemical species of interest were determined with the analysis. With the aim to evaluate the impact on the biological matrix and establish the need of further potential remedial activities, eco-toxicological analysis was executed on over 75 samples that are randomly selected for the analysis. Following ARTA experiences in the site of regional interest (SIR) called "Saline Alento", the analysis for assessing the toxicity was made by testing the growing inhibition of the *Heterocypris incongruens* and *Pseudokirchneriella subcapitata*, and the immobilisation test of *Daphnia magna*.

Results and Discussion

The results from granulometric analysis show that, in general, the classes are distributed following the anisotropic nature of the river environment itself. Nevertheless, distribution retraces the different geological domains. In fact, it is possible to verify that the Tirino river sector and final part of the Pescara 1 sector are more gravel dominant, whereas the Pescara 2 sector shows a more abundant silt composition. These differences are probably related to the fact that the Tirino and Pescara flow with high energy into the carbonate substrate until the Popoli gorge whereas the Pescara 2 is the lower energy part of the river, which forms a pond in the domain of the "Diga di Alanno" dam.

The stratigraphy of the drilled terrains revealed that industrial waste was present in correspondence of the transects made near the external perimeter of the chemical factory. In addition, with the aim to verify the chemical stress that is burdening this environmental matrix, two different approaches were adopted. Firstly, we used the ISPRA document which defined chemical limits of interest (CLI) in order to establish the degree of contamination. Secondly, in the absence of CLI, the stress was quantified by evaluating the presence or absence of the chemical compounds, in other words, when

concentrations were above or below their detection limits. The presence of compounds above the detection limits and concentrations exceeding the CLI, when present, were found in several sediments samples at diverse depth investigated. As aforementioned, eco-toxicological tests were performed using the methods and taxa mentioned in, that has allowed to define several findings of environmental stresses mostly for the growing inhibition of *Heterocypris incongruens*, whereas the other two taxa have shown more resilience.

Conclusions

All the collected data, obtained through the investigations made for the environmental characterization, have allowed to better define the anthropogenic stresses that are burdening public areas. In particular, here we have presented the earliest results of that pressure on riverine sediments. They show that future activities are needed both for improving characterization and for remedial activities planning.

Email: a.diligenti@artaabruzzo.it, g.marinelli@artaabruzzo.it

Impact Assessment of WGC BAT Conclusions Implementation on IED Permit Release for the Chemical Industry in Italy

Davide Iaria¹

¹ISPRA,

Articles 14 to 16 of the IED Directive (Directive 2010/75/EU) require that the BAT conclusions, adopted in a Commission Implementing Decision, are considered as the reference for setting permit conditions and provide that the emission limit values do not exceed the associated emission levels (BAT-AELs) using all the best techniques available.

On December 2022, the commission's implementing decision, establishing the best available techniques (BAT) conclusions for common waste gas management and treatment systems in the chemical sector, was published [2]. The BAT conclusions (BATC) are included within the WGC Bref document, which concerns the chemical industry and covers the management and treatment of channeled and diffuse emissions to air arising from a variety of sources associated with chemical production processes listed in points 4.1 to 4.6 of Annex I to the Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (IED). The aim of this paper is to illustrate the main outcomes of the WGC Bref document and to understand its applicability to assess the expected impact of the BATC on permit release for the chemical industry in Italy.

The WGC BRef

Many reference documents have been published for the chemical industry. Some of them are vertical BRefs, specifically designed for specific production processes, such as LVIC for the production of inorganic compounds, LVOC for the production of organic compounds, or CAK for the production of chloro-alkali chemicals. Other reference documents, so-called horizontals, cover a broader range of production processes, focusing their scope on common topics among the chemical sector. i.e., the CWW Bref concerning all the activities specified in Sections 4 and 6.11 of Annex I to Directive 2010/75/EU.

WGC BRef covers all the installations included in point 4 of Annex 1 to Directive 2010/75/EU, focusing on emissions to air from the aforementioned activity. Although with some exceptions, the BRef does not concern productions of specific chemical products covered by other BRefs, such as CAK (Production of chloro-alkali), LVOC (Large Volumes Organic Compounds) and LVIC (Large Volumes Inorganic Compounds). Moreover, the BRef does not cover activities that have been covered by other vertical or horizontal BRefs, such as WI (Waste Incineration), CLM (Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide), EFS (Emissions from Storage), ICS (Industrial cooling Systems) and LCP (Large Combustion Plants).

WGC BRef is somehow complementary to CWW BRef (Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector), which provides a number of generic BAT conclusions concerning emissions to air that are relevant for the whole chemical sector. However, channeled emissions to air are BAT AELs are not covered by the CWW BREF. Moreover, the CWW BREF does not cover diffuse emissions to air other than VOCs. These are important emissions (e.g. of dust) that have been included in the scope of the WGC BREF. More considerations about the scope of the BRef and its applicability are discussed in the paper.

Impact of the WGC BAT Conclusions on the Chemical Industry in Italy
WGC BRef includes 36 best available techniques. As usually happens for BATs conclusions, the first BATs concern general aspects, such as, establishing and implementing an environmental management system with certain given characteristics that must include an inventory of channeled emissions and a risk-based other than normal operating conditions management plan. The following best available techniques deal with channeled and diffuse emissions in relation to general aspects valid for all the production processes covered by the BRef. Similarly to channeled emissions, diffuse emissions are considered in the BAT conclusions, giving specifics about, the emission management systems, monitoring techniques, and frequencies, as well as COV-associated emission levels. The subsequent BATs cover specific production processes, namely: polyolefins, polyvinyl chloride (PVC), synthetic rubbers, and the production of viscose using CS₂.

A deep analysis of the best available techniques is presented in the paper and each BAT is contextualised in the Italian chemical industry. BAT associated emission levels for the main pollutants are presented

and compared to emission data from national reporting documents and E-PRTR database .

Permit Release Assessment

BAT-AELs must be applied within 4 years of the publication of the BAT-C containing them. As for the CWW, the Ministry of the Environment and Energy Safety is reviewing all installations within the IED directive under state jurisdiction affected by the WGC. For some productions (i.e. polymers), it is clear that it will be an overall review to be closed within 4 years since the BATC-WGC are exhaustive. For other productions, it will be necessary to evaluate whether to limit oneself to a partial review pending the last chemical BREF (LVIC) or in consideration of the fact that the main aspects have already been subject to an overall review (i.e., in the review following the CWW). Also in these cases, the closure of the review is foreseen well before 4 years (150 days), by national legislation.

The WGC BRef covers many production processes in many different ways; hence, it is not straight-forward to calculate the number of installations affected by it. Nevertheless, using E-PRTR data [3], it is possible to estimate that more than 230 installations in Italy will be subject to major review due to the reference document release.

More conclusions about permit release are drawn in the paper and each sector is analysed accurately considering also technological aspects.

Conclusions

In this paper, an impact assessment of the new WGC BRef on the Italian chemical industry permit release was performed. First, an overview of the chemical industry reference document was presented. Subsequently, the main BAT presented in the WGC BRef has been outlined and contextualized in the Italian chemical industry sector. Finally, the impact of the new best available techniques on permit release in Italy has been assessed.

Email: davide.aria@isprambiente.it

Widening the scope of Thermal desorption, example of mercury removal

Laurent Thannberger¹, Matthieu Sangely¹

¹VALGO, PORTEY sur GARONNE, France

Introduction and study objectives

Thermal desorption (TD) is a remediation technique aiming to remove the pollutant from the matrix. Formerly applied in specialized centers, VALGO participated in the development of a portable technique, able to be implemented on site or in situ, to prevent excessive transport of hazardous material, and giving better carbon balance than expected. From lab assays to full scale application, we will present here the different steps allowing VALGO to manage this powerful technique, with the highest level of security, for people, equipment and environment. The case study synthesizes lab assays and implementation on field.

Materials and methods

Energy consumption is one of the key factors to success in a thermal remediation realization and VALGO already demonstrated its ability to secure the costs of the full scale remediation, by a strong procedure, involving several steps.

Once the heating is properly handled, it is well known that vapors of pollutants, and especially mercury, are very harmful. Thus, we came back to lab assays to develop and test a chain of treatments of the vapors (downstream of the heating device), that was able to secure health and environment around a TD aiming the removal of mercury. We created a dedicated steel box, able to confine the vapors and to be heated. An air stream, driven by a vacuum network, allowed to apply a depressure inside the heated box, continuously renewing the air space of the sample and preventing all vapors to disperse in the heater nor in the room. To reinforce the health protection of the operators, when turning off the system and/or opening the door of the oven, all experiments were conducted into a lab hood.

The treatment process included several steps of cold traps, aiming to condensate the mercury and other pollutants, and a special treated active carbon to polish the concentration of mercury in the outlet to undetectable level.

Results

In each trap, the beads of mercury were collected and weighed, to estimate the mass balance of the removal and the collected amounts. The concentrations in filters were also measured at the end of the experiment.

The mass balance assay was run with 2 kg of soil, with 2 types of polluted soils. For each condition, the recovered mass of mercury in the traps overwhelmed the amount of mercury calculated upon the concentration measures from the raw samples. More than 99% of the mercury was recovered in the cold traps.

Discussion and Conclusion

This experimental step was combined with our knowledge in applying the same level of temperature to heavy quantities of soils and to other on-site or in-situ field experience, showing that our process isn't emitting any toxic vapors in the ambient air; this point was formerly proven with a pilot for the TD of PCBs under a tent.

This complete procedure, from lab tests to on-field full scale, is proving that we are able to ensure the complete removal of toxic pollutants up to the calculated thresholds for the security of environment and humans. In the coming weeks, we'll start a full scale application of this technique, to remediate thousands of cubic meters of soils, polluted with mercury.

Managing the TD is providing a high level of security in the remediation actions, that is completing the good carbon foot print, compared to excavation, that we demonstrated when doing in situ TD.

Email: laurent.thannberger@valgo.com

"REMEDIAPP"-integral treatment system for the remediation of mining-metallurgical effluents for their conversion into farming water and drinking wastewater"

Silvana Flores¹, Edison Zegarra¹

¹Green Metallurgy Technologies, Barranco, Lima-Perú,

Introduction and study objectives

In the world, there is a lot of pollution from mining-metallurgical effluents that affects the environmental quality of bodies of water such as: rivers, lakes, lagoons, and that once they are impacted by the mining industry, the socioeconomic development of the population is affected of the communities that sustain their economy in the agricultural and livestock sectors (agriculture and livestock) and fish farming.

In this sense, the project is aimed mainly at the different agricultural and fish farming productive sectors of all Latin American countries that use green technologies within the cleaner production approach according to the United Nations program on the scientific basis of a proposal of 20 years of research, development and continuous technological innovation to decontaminate and/or remedy industrial effluents, mainly from the mining-metallurgical sector in order to reduce the concentration of heavy metals according to the environmental regulation established by the Environmental Water Quality Standard (ECA AGUA) for Categories I and III to achieve its reuse as "treated industrial wastewater" for recycling in the mining industry and/or as irrigation water for agriculture, livestock and/or fish farming; among other sectors that produce contaminated industrial water.

In this way, REMEDIAPP is a comprehensive decontamination treatment system for mining-metallurgical effluents whose purpose is to remedy by using remedial agents in order to reduce the load of heavy metals dissolved in mining-metallurgical effluents, which allows detecting, predicting, simulating and remediating mining-metallurgical effluents with high metal load and achieve their reduction to values below the concentration of inorganic parameters regulated by Environmental Legislation of the Environmental

Management Indicators of the Environmental Water Quality Standard (ECA AGUA) such as: Cu, As, Cd, Hg, Pb, Ba, Fe; which makes it possible to ensure its reuse for use as "treated effluent" for recycling as treated industrial water and/or water for agriculture, livestock and/or fish farming, which ensures its environmental sustainability against the mining industry, agriculture and/or fish farming, demonstrating that coexistence between mining and agriculture is possible.

In this sense, the "remedial agent" called: "REMEDIAPP", represents an evolution for mining because it allows more efficient remediation processes of mining-metallurgical effluents and acid mine water, achieving the reduction of environmental impact, which was developed and produced by "GREEN METALLURGY TECHNOLOGIES" because it offers advantages far superior to other neutralizing agents that have appeared in recent years in mine water decontamination treatments. Likewise, it should be noted that the decontamination benefits of the technological innovation called: "REMEDIAPP" allow a comprehensive decontamination service to be provided for mining-metallurgical effluents and/or bodies of water contaminated by said effluents in order to comply with the ECA AGUA for categories: I, and III.

Materials and methods

The Project Methodology includes stages of Office Work, Field Work, Laboratory Remediation Methodology, which involves the Characterization Tests of the Study at the Laboratory level and the effluents Remediation Treatment for obtaining remediated effluents which are employed like water for mining industry, farming and drinking water, which are detailed below.

Work in cabinet.

The Cabinet Work involves the Search for Theoretical and Experimental Information that involves the Theoretical Framework of the Previous Studies of the Research or Background of the Study; as well as, the Search for Information on Technical Background of Clean Technologies for Treatment of Mining effluents which involves the State of the Art of Technologies Used for the treatment of metallurgical effluents, the State of the Art of Technologies for Environmental Mining with Unsolicited Public Domain Patents in Peru, the State of the Art of Technologies for environmental mining with public domain invention patents requested in Peru, the State of the Art of the Technological Search for the Base of Invention Patents

related to the "Treatment of Neutralization of effluents" and the State of the Art of Technologies for the Treatment of Neutralization developed by the Company: "GREEN METALLURGY TECHNOLOGIES S.R.L."

Conclusion

The Project proposes the treatment of remediation of metallurgical effluents with remedial agents called "REMEDIAPP" which allows the high efficiency of removals of heavy metals according to the Environmental Quality Standards (ECA) for Water with the SUPREME DECRET No. 004-2017-MINAM according to the Category 1 which is related Population and Recreational and the Subcategory A: Surface waters used for the production of drinking water with A2: Water which can be made drinkable with conventional treatment and A3: waters which can be made drinkable with advanced treatment.

The Project proposes the treatment of remediation of metallurgical effluents with remedial agents called "REMEDIAPP" which allows the high efficiency of removals of heavy metals according to the Environmental Quality Standards (ECA) for Water with the SUPREME DECRET No. 004-2017-MINAM according to the Category 3 which is related to Vegetable watering and animal drinking and the Subcategory D1: Irrigation of vegetables.

The Technical-Economic Feasibility of the Study was determined based on the remediation method mentioned above, is a technique used in metallurgical effluents with the purpose of minimizing the concentration of heavy metals such as: barium, cadmium, copper, iron, antimony and zinc, which are the heavy metals called the inorganic parameters which are regulated from the Environmental Quality Standards (ECA) for Water with the SUPREME DECRET No. 004-2017-MINAM according to the Category 1 which is related Population and Recreational and the Subcategory A: Surface waters used for the production of drinking water with A2: Water which can be made drinkable with conventional treatment and A3: waters which can be made drinkable with advanced treatment and the Category 3 which is related to Vegetable watering and animal drinking and the Subcategory D1: Irrigation of vegetables.

The Contribution of REMEDIAPP to the sustainable development related to the positive environmental impacts which are detailed below:

The Project proposes the reuse of treated mining-metallurgical effluents to be used as water for the mining industry, agriculture, livestock and/or fish farming, which is characterized by the use of 04 remediation green patents that allow them to comply with the regulation of the concentration of the Inorganic Parameters of heavy metals based on the Maximum Permissible Limits of the Environmental Water Quality Standard (ECA AGUA).

Treatment of a Clean Technology based on the Tailings Remediation methodology through the implementation of a "TECHNOLOGICAL KIT" called: "CLEAN TECHNOLOGY FOR THE INTEGRAL TREATMENT OF MINING-METALLURGICAL EFFLUENT REMEDIATION BASED ON THE USE OF REMEDYING AGENTS" which allows the Treatment Comprehensive Neutralization of mining-metallurgical effluents based on the use of "remedial agents" that generate and ensure the reuse of a "treated effluent" that comply with ECA AGUA, which will contribute to improving the quality of life for a "Sustainable and Sustainable Local Development".

The Positive social impacts of using REMEDIAPP are based on the reuse of "treated effluents" which complying with high removal efficiency of heavy metals percentages whose value is higher than 90%, complying with the ECA AGUA, which gives added value for economic activities of agriculture and livestock, which contributes to the sustainable development of communities impacted by mining.

The Positive or negative economic impacts of using REMEDIAPP determines The Technical-Economic Feasibility of the Study will be determined based on the method of remediation of mining-metallurgical effluents in order to minimize the concentration of heavy metals, which are the metals that constitute the inorganic parameters, whose concentration must be below the values of the Maximum Permissible Limits (LMP) of the Environmental Water Quality Standard (ECA AGUA).

Email: greenmetallurgytechnologies@gmail.com

Importance of using background concentrations to assess anthropogenic impact on soil and groundwater. Case: Metals in Andean soils

Alejandra, Romero¹, Maria Villalobos¹

¹Novambientti Soluciones Ambientales

Introduction and study objectives

Background level investigations aim to identify the typical concentrations of any substance in different environmental matrices, hence its main objective is to determine the range of natural concentrations of a particular substance that characterizes a specific study area.

Metals have as typical particularity that their presence in soil and water resources is linked to natural activities, such as erosive processes from volcanic rocks, as well as anthropogenic effects left by constant and diffuse emission of vapors with content of metals into the atmosphere through several static or mobile sources (e.g. chimneys and vehicles), resulting in the dispersion of metals at regional scales, followed by their precipitation onto soil and water.

Thus, the knowledge of metal background concentrations from an area of study is a strong scientific input to assess the negative impacts that the subsurface has sustained. Given that background concentrations are a reference that aligns with the conditions characterizing the area, a more accurate assessment of the impact due to historical anthropogenic processes under an area of study could be ascertain, a level of impact estimated and a under/over estimation could be avoid.

In the case of Colombia, background levels should be an input of considerable importance to develop environmental site assessments to identify possible contaminated areas by metals, since local researches usually use as international references which are very conservative for regions like the Andes, a region characterized by the abundance of metals in the subsurface due to its volcanic origin and where most of the nation's population and industrial development are assembled in.

Methods

Novambientti has adopted strategies for obtaining background levels from researches carried out worldwide, which have been relevant in the assessment of the presence of metals in major cities of Colombia. These strategies include, analyzing historical information, defining data quality objectives, acquiring soil samples within and outside areas with local anthropogenic activities, classifying samples into comparable groups, statistically analysis of the data, calculating background levels in terms of Background Threshold Value (BTV), and estimating impact levels.

The following scheme shows an example of procedure applied in a background level investigation developed in the soil of an andean zone in Colombia which had as main goal to identify if current industrial activity have changed the typical conditions of a particula metal in the soil.

Results and Discussion

The following graph shows the BTV obtained for the two groups of soils differentiated in our case of study. By comparing the BTV with background levels around the world it is observed the similarities and how inferior is to the EPA reference value (near to 40 mg/kg), hence, if the impact is assessed based on this EPA reference value, the impact could be underestimated.

The results obtained in the researches executed by Novambientti have not only improved the quality of environmental assessments but have also enhanced the understanding of the country's subsurface and its environmental dynamics.

Email: aromero@novambientti.com, mjvillalobos@novambientti.com

Possibilities and challenges of AI in remediation of mining environmental liabilities

Ysmael Ormeño Zender

Gerente de Operaciones AMSAC

The article addresses the problem of mining environmental liabilities (PAM) in Peru and worldwide, highlighting its negative impact on the environment and human health. The remediation of these liabilities, focused on achieving physical, geochemical and hydrological stability, is a complex process due to several factors, such as the difficulty to identify and characterize environmental damage, the presence of multiple contaminants, geological complexity, high costs economics and the intervention of multiple actors. This represents uncertain and complex aspects that require prediction and simulation in order to make informed decisions.

Artificial intelligence (AI) is introduced as a possible tool to address this problem. It is mentioned that AI focuses on the development of systems and algorithms that can simulate human intelligence in areas such as learning, decision making and problem solving. It highlights the advancement of machine learning and deep learning, subsets of AI that use neural networks to learn from data.

The main objective of the study is to evaluate the feasibility of using AI in PAM remediation processes in Peru. Specific objectives are set that include examining previous studies, identifying current limitations, proposing strategies to overcome limitations, and establishing future lines of research.

The possible applications of AI in the different PAM remediation processes are explored, such as the identification and characterization of contaminants, dispersion and transport modeling, optimization of remediation alternatives, cost estimation, execution of remediation activities, etc. remediation, monitoring and follow-up data analysis, social management, environmental compliance and knowledge management.

Challenges for the implementation of AI in PAM remediation are mentioned, such as the scarcity of structured data. The successful application of artificial intelligence may require large amounts of accurate and reliable data. In this case, the collection can be expensive and complex due to the variety of contaminants, the heterogeneity of

the sites and the lack of historical records. Also, the quality of existing data can be variable, making it difficult to use in AI models.

Likewise, the need to design an adequate data architecture, establish data governance policies, promote data exchange, train personnel, and the participation of academia in the generation of solutions is highlighted.

It is essential to foster collaboration between the academic, industrial, and governmental sectors to promote research and development of artificial intelligence applied to the remediation of mining environmental liabilities. This may include creating strategic alliances, promoting joint research programs and sharing knowledge and best practices.

It is important to invest in training and training professionals in the use of artificial intelligence and associated technologies. This will ensure that there are trained and competent staff to use and apply AI tools effectively in remediation processes.

It is concluded that AI has significant potential to improve the efficiency and effectiveness of PAM remediation, but its implementation requires overcoming challenges and considering social and environmental impact. It highlights the importance of strong data, proper data architecture, and governance policies to harness the full potential of AI in PAM remediation. The need to generate lines of research and evaluate the cost- benefit of AI in this field is highlighted.

Email: oscar.ormeno@amsac.pe

Demonstrating technical impracticability at LNAPL sites

Raj Mahadevaiah,

Environmental International Corporation (EIC), USA

Introduction

Using bailers or other traditional extraction tools to evaluate technical impracticability (TI) results in water-tainted LNAPL data. Conventional methods for TI require using such data in obscure Darcy-based computations that assume LNAPL fluid flow occurs in homogeneous and isotropic media. Most sites, however, do not fit such unrealistic site conditions. Consequently, regulators do not accept TI evaluations as a basis to terminate remediation— even if active LNAPL recovery is TI. Therefore, responsible parties (RP) get entangled in perpetual cleanup programs with escalating lifecycle costs.

Technical Approach

To demonstrate TI, EIC utilizes a unique tool known as NETTM to perform recovery potential tests (RPT) that provides empirical data for a simple graphical representation of the LNAPL recovery potential – rather than complex computations. Notably, the data from the RPT is not affected by water-induced errors. If the RPT data indicates poor recharge conditions, LNAPL recovery would be TI justifying termination or using a low-cost LNAPL management strategy as a long-term remedy. However, if the data indicates sustainable recovery, the recovery and recharge data is used to calculate optimal design recovery rates to reach remedial endpoints at the lowest lifecycle costs and in a record time frame.

Conclusions

EIC has applied this unique approach at numerous sites in the US and Europe – in various geologic formations. At one site, EIC discovered that the LNAPL recovery rate was a dismal 1/2 gallon per week! This finding led to the termination of weekly vacuum-extraction events that primarily produced contaminated water at relatively high lifecycle costs rather than LNAPL. EIC's approach can therefore eliminate unnecessary, perpetual, and costly remedial programs.

Email: ajmahadevaiah@eicusa.com

High-energy in situ injection of a modified clay for sequestration of PFAS

Michael Mazzaresse

AST Environmental, Inc. Golden, CO, USA

Introduction and study objectives

Use of common adsorbents for the remediation of per- and polyfluorinated substances (PFAS) in situ has generally been limited to granular activated carbon (GAC), colloidal activated carbon (CAC), biochar, or conventional pump and treat systems (ex situ treatment). FLUORO-SORB[®], manufactured by CETCO, is a novel product that can be injected in situ using high energy installation techniques which have been refined for 20 years using similar or larger particle products (e.g., zero valent iron (ZVI) or GAC)).

Most sorbents are not adequate to capture the total contaminant mass present due to limits in total effective sorption capacity, competitive adsorption with other contaminants, and mobility of the product in the subsurface pore space. Further, conventional emplacement techniques of these other technologies can have ineffective distribution within certain overburden and regolith mediums. Until recently, due to product size and chemical composition, it was believed that FLUORO-SORB was not deployable without using conventional soil mixing or civil construction techniques. However, overburden injection of FLUORO-SORB has recently been demonstrated using direct-push technology (DPT) and highly specialized slurry batching and injection equipment. In situ deployment of FLUORO-SORB and other specialized sorbents – with mechanisms for abiotic or biotic degradation of chlorinated volatile organic compounds (CVOs) and petroleum hydrocarbons (PHCs) and emerging contaminants – can be achieved through multi-stage injection designs or combined remedies.

Materials and methods

FLUORO-SORB is manufactured by modifying bentonite clay with a proprietary process. The final product has high sorption kinetics, significant sorption capacity, can be effective across a wide range of PFAS concentrations, and can be used with other reactants and reagents in the subsurface. In most cases, this is done without detrimental interaction or competitive adsorption for PFAS

contaminants. These statements have been verified by independent university laboratory testing where FLUORO-SORB was comparatively assessed with ion exchange resin (IX), GAC, and biochar. Also, competitive adsorption was tested with co-contaminants such as chlorinated volatile organic compounds (CVOCs) and petroleum hydrocarbons (PHCs). Relevant sorption and kinetics data will be presented.

Results and Discussion

This presentation summarizes the deployment of FLUORO-SORB in a demonstration to prove the injectability of the technology in a theoretical source area setting, as part of a successful field-scale in situ installation of FLUORO-SORB (conducted in September 2022) and illustrates the development of a focused, surgical in-situ remediation design layout.

A discussion of quantified high density, remedial design characterization (RDC) activities necessary to construct this concise design and plan for injection success in the field will be included, plus a comparison of conventional and recently improved techniques for in-situ remediation of overburden, transition zone/saprolite, and consolidated lithologies. This includes the use of adaptable overburden remediation injection units (high energy/high flow trailer systems) combined with unique downhole tooling and field installation protocols to allow expert installation of FLUOR-SORB injectate in a variety of unconsolidated and consolidated geologic settings.

Email: mmazzarese@astenv.com

Use of geostatistics for remediation treatment monitoring

Juliette Chastanet¹, Eve Dujardin¹, Jacques Villemagne¹

¹GINGER BURGEAP

Introduction and study objectives

In France, priority is given to the remediation of contamination source zone even when there is no human health risks or off-site environmental impacts. As there is no official guideline values on soil, the remediation objective is chosen specifically for each contaminated site. It can consists in (among others) the decrease of soil concentration below a pre-defined threshold, the absence of LNAPL or the shrinking of the global contamination mass.

Our case study is a former industrial site contaminated with hydrocarbons and polychlorinated biphenyls (PCBs). Two main source zones with high groundwater, soil gas and soil concentrations as well as free NAPL has been characterized but neither human health risk or environmental impacts outside of the site have been identified. On this site, an in-situ thermal desorption treatment was implemented and designed to decrease the global contamination mass of at least 80%. After 2 years of treatment, a soil sampling campaign was conducted in order to assess the remaining mass and check wether (or not) the objective was fulfilled.

In this work, hydrocarbons and PCBs masses in the two source zones are computed with three different methods (kriging, nearest neighbor interpolation and a fully geostatistic approach) and compared to the measured extracted mass.

Materials and methods

The mass assessment is based on hydrocarbons and PCBs soil concentrations issued from :

- Before treatment, 275 boreholes for a total of 730 soil sampling all over the site (520 samplings in the source zones)
- After treatment, 37 boreholes for a total of 150 soil sampling located in the source zone only

Kartotrak, a software developed by Geovariances, was used for the computation of mass before and after the treatment. Regularization was formely applied to the data set in order to homogenize the

sampling sizes and avoid the introduction of bias into the data analysis and interpolation. Then three methods were used to assess the contamination mass before and after the treatment :

- Nearest neighbour interpolations
- Ordinary kriging interpolations
- Geostatistical method

Computed mass were then compared to the extracted mass monitored at the output of the treatment system.

Results and Discussion

The comparison of the resulting contamination mass highlights the main following items :

- The computed masses vary twofold among methods
- The proportion of extracted mass vary among methods. For example on the second zone, it is between 70% (NN interpolation and Geostatistical approach) and 90% (kriging)
- Ordinary kriging fails to describe the highly heterogeneity of the contamination distribution
- Based on risk analysis, the geostatistical approach allow to fit the computed mass to the measured mass whereas other methods may lead to inconsistency (the measured extracted mass is greater than the initial mass computed by kriging) or mislead the conclusion (measured extracted mass represents more than 80% of the initial mass computed by NN interpolation)

Conclusions

In this study, the mass of contaminant in source zone before and after an in-situ treatment was assessed with three different methods. The comparison with treatment monitored data showed the importance to take into account the uncertainties of soil contamination distribution in order to avoid inconsistency or misled conclusion. In some cases, the only method that drives to consistent assessment of contamination mass in source zone is the geostatistical method.

Email: j.chastanet@groupeginger.com,
e.dujardin@groupeginger.com, j.villemagne@groupeginger.com

Evaluation of circular skills and circular mind-set of consumers with the use of it - Case Study in a Sample of Consumers in Northeast Brazil compared to a Sample of Internal Stakeholders of an Industry in Transition to the Circular Economy

Celene Brito¹

¹Instituto Mentalidade Ecológica-Brazil -UCES-Universidade de Ciências Sociais e Empresariais- Argentina.

Introduction and study objectives

The work reported here identifies mental and cultural barriers that can generate various obstacles to the development of the Circular Economy, whether evaluating who produces or who consumes products, services, as well as adopts processes resulting from the application of the circular economy concept. When researching mentality, culture and skills for the Circular Economy, there are several possibilities to contribute to the construction of knowledge applied to the reality of companies, carrying out pilot studies in groups of internet consumers and carrying out comparative studies with the strategies used in industries . This method was expressly created, developed and oriented towards the “integrated assessment of skills”, with the aim of supporting decision-making, initiating and operationalizing the circular economy, consisting of identifying psychological profiles and mentality in the context of the circular economy. This method reported here is also inserted in a broader context, the author's research, in a doctoral thesis. As an information platform tool, FlashPlayHR® software (www.flashplayhr.com.br/#). The platform was developed with the aim of helping leaders, employees, consumers and all stakeholders of a circular innovation ecosystem to better understand the complex systems developed through the application of the Circular Economy concept, based on the assessment of the mindset, as well as on the the identification of competences for a group of consumers in Northeast Brazil. The study establishes circular guidelines based on the mindset referring to Brito's (2019) method, generating data for systemic, tactical and operational planning, with interaction between technology and humans. The method delivered the mapping/diagnosis of each stakeholder, defining the steps of the process “from linear to circular”,

generating content for carrying out an assessment of how the groups are positioned from the Linear to Circular perspective. For a better conclusion of the study, focusing on the consumer's mentality, the data obtained from the sample of consumers were compared with the results obtained from the sample of managers and employees of an industry in transition to the Circular Economy. The method/software was applied in two different environments, trying to understand people's positioning, interest and soft skills through the concept of Circular Economy. The main sample of the study was randomly identified on the internet, with consumers curious about the circular economy topic.

Objective

Mapping the circular skills and mind-set of consumers comparing with the results obtained, in previous studies, in internal stakeholders of an industry in transition to the circular economy in order to begin understanding about the interrelationships caused by EC.

Materials and methods

The methodology was based on three main stages: (i) Definition of the samples to be evaluated; (ii) Application of the methodological tool in the samples identified in a group of internet consumers; (iii) Analysis of sample results compared to previous results obtained in an assessment in an industry in transition. The method created by Brito (2019) and transformed into software (Brito, 2021) - the flashplayHR platform -, which allows an assessment of both soft skills and hard skills, although the study was directed towards the specific assessment of soft skills. In the business world, the use of the word "mind-set" has become commonplace. The platform (Brito, 2021) is based on the study of the mindset, a FlashPlayHR® tool to assist in the design and operation in the context of the circular economy, ESG and circular and complex systems. Biomimetics, the science that studies nature to create innovations, the psychology of symbols and systems thinking were approaches used. These approaches were associated with images, shapes and a scale that came to define three types of basic mental models and 12 subprofiles. In the reported study, two types of sampling were observed from the perspective of "linear to circular and systemic": 1- Sample of 80 people, leaders and employees of an Industry in transition to the Circular Economy; 2- Sample of 80 people, randomly selected among consumers of internet products. An

industry transitioning to the circular economy was chosen for this comparative study. The software/quiz was developed through Startup EcoRecitec (<https://eco-recitec.com.br>) and presented questions related to soft and hard skills. It was applied to industry leaders and internal stakeholders to identify mindset models around the Circular Economy, Circular Models and ESG. The FlashPlayHR® platform carried out the assessment of soft skills. The tests were associated with a systemic perspective and were applied to 80 sector employees through the platform. For the selection of the group of 80 internet users to be evaluated, a campaign was launched offering a free online test to identify the profile in the circular economy.

Results and Discussion

Industry and user case studies were evaluated for their circular soft skills, related to socio-emotional aspects and experiences. The main results of the application of the soft skills test by the FlashPlayHR® platform were obtained in a sample made up of employees from an Electronic Recovery Industry. The industry selected in this study had an organizational culture centered on the circular economy. Most employees (56%) were focused on the developmental(ii) and adaptive(ii) profile”, considered a predominant profile of companies that move from the “linear to circular” perspective, referring to the Brito Model (2019). The second group of internet users did not know very well the meaning of the concept "circular economy". A random sample was defined to carry out the study on skills and mindset in the said group, in comparison with the study already carried out in the transition industry.

Results

Comparing the Industry samples with the random sample of internet users, it appears that in the industry sample group, the adaptive and developing profile prevailed, and in the profiles of Internet users, the linear, Cartesian profile prevailed, a result that also reinforces the importance of theoretical knowledge to learn about managing circular systems. Increasingly complex systems will require business leaders, CEOs and founders to develop skills and competencies related to circular models, ESG and the Circular Economy. The comparison between the external group of internet users and the industry's internal ones opened possibilities for a comparative evaluation of these competences. The amount of data and content generated will

be able to subsidize several analyses, evaluations and conclusions in the companies. The "Circular MindSet and Skills"/software www.flashplayhr.com.br/#/ method was not used in all its functionalities in the case study reported here, thus identifying one of the limitations of the study. Thus, future studies can address the specific knowledge and skills competencies of stakeholders and consumers, as well as apply the instrument across the innovation ecosystem for Circular Economy and ESG. The tool used (FlashPlayHR®) proved to be useful to identify the mindset of leaders, employees and Internet users. In this perspective, the results defined new circularity indicators, related to the planning and management of the circular economy. The next studies will be carried out in other industries and schools, considering the peculiar culture of companies and educational institutions. Emphasizing that the data from this case study are part of a broader context of the Doctoral Thesis in Psychology (in progress).

Email: celene.recitec@donaverde.com.br

Cadmium in cocoa beans of Trinidad & Tobago and Ecuador: watershed scale initial approach

Sasha Hart¹, Lucia Buvé², Sergejus Ustinov³, Sander Eskes¹, Natalia Rodríguez Eugenio³, Olivier Maurer², Luciana Ferreira¹, Ana Moeri¹

¹Instituto Ekos Brasil and NICOLE Latin America, ²NICOLE Foundation, ³FAO/UN

Introduction and study objectives

The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO/UN) has retained Instituto Ekos Brasil, NICOLE Latin America and NICOLE Europe to support the development and implementation of tools and guidelines for the prevention and remediation of soil pollution. More specifically, the aim is to assess and propose mitigation measures for the presence of cadmium (Cd) in cocoa beans based on conceptual models developed for the Eastern Lowlands of Trinidad & Tobago and in the State of Manabí of Ecuador. The main objective of this project is to contribute with FAO to implement actions of the agenda set for the GSOP18 “Be the solution to soil pollution” by understanding the mechanisms of heavy metals impacting the crop quality in agricultural areas and by proposing measures to mitigate the uptake. The focus on Cd in cacao was triggered by the EU Regulation 488/2014, setting maximum levels for cadmium in chocolate and cacao powder (up to 0.8 mg/kg).

Materials and methods

This study was developed based on methodologies that included the following activities: meetings and decision support, identification of research references, site interviews, and watershed conceptual models building.

Results and Discussion

The integrated understanding of the situation and needs allowed the development of initial watershed conceptual models, with identified sources, pathways and receptors.

Several solutions have been identified for various stages of the process, including from soil to final product. Additionally, Blommaert et al. (2022) conducted isotopic studies, with possible intervention options developed and recommended for further evaluation. These options span from watershed to soil scale and may be tested in pilot field projects.

Conclusions

FAO, EKOS, NICOLE Latam and NICOLE EU understand that the applied watershed scale approach was considered useful to support a clear and holistic understanding of the pollution and solutions. The two studied pilot test regions can be classified as Complex Areas (⁴ITRC, 2017) as they present technical and non-technical challenges that require long-term solutions. In such cases, an Adaptive Management strategy is recommended (including the definition of intermediate objectives, periodic monitoring and conceptual model update). The continuation of the project is recommended in order to further support FAO in the assessment, prevention and minimization of soil pollution. The next work phase may include the following items:

- Evaluate the effectiveness of the proposed interventions, through field data collection, possibly in combination with related programs on Climate Change, Carbon Sequestration, Biodiversity, Social Development and Laboratory Quality.
- Update the watershed conceptual models in the selected field pilot areas and other areas of these countries based on a risk assessment approach.
- Apply the project to other pilot test areas in Latin America and, possibly, other regions. Care should, however, be taken to use and apply the results of research since important differences may exist depending on the area.
- Consider expanding the project to include other crops and metals, based on a review of the data and the potential for adapting the methodology.
- Identify and stimulate knowledge exchange opportunities between relevant institutions in different countries.
- Develop Road Maps with Action Plans and complementary guidelines to promote knowledge and foster action about the evolving situation of Cd in Cocoa.
- Make sure that the results/outcome of all investigations/research reaches the appropriate decision makers to take the various actions that are proposed and that have demonstrated effectiveness in reducing Cd in the cacao products that are grown for consumption, be it locally or for export.

Email: sashartom@gmail.com

A Novel Adsorbent Material for Oil Spills Management

Alessandra de Folly D'Auris¹, Francesca Rubertelli², Alessandro Taini³, Marco Vocciante⁴

¹Eni S.p.A., Environmental & Biological Laboratories, Italy.

²Eni S.p.A., Renewable, New Energies and Material Science Research Center Italy.

³Test1 SB S.r.l., Via Brescia 275, 25075 Nave (BS), Italy.

⁴Department of Chemistry and Industrial Chemistry, University of Genova, Via Dodecaneso 31, 16146 Genova, Genova, Italy.

Introduction

Oil spills are a major environmental threat that can have devastating effects on marine ecosystems and human health. In recent years, there has been growing interest in developing new materials and technologies to improve oil spill response and cleanup efforts.

One promising material is FoamFlex200 (FF200), an innovative open-cell polyurethane foam that has shown great potential for removing different types of oils from water. In this study, we present the results of laboratory and tank tests evaluating the efficiency of FF200 in removing diesel, and crude oil from water, as well as its ability to be reused after regeneration via manual squeezing or suitable equipment. Our findings suggest that FF200 is highly effective at retaining oil, with absorption kinetics increasing significantly when exposed to waves with an intensity equal to 0.5 Hz. Moreover, FF200 is a cost-effective and environmentally friendly alternative to traditional materials like polypropylene flakes due to its greater absorbency and potential for reuse. This research provides valuable insights into the performance of FF200 as an oil spill response material and highlights its potential for improving environmental protection efforts worldwide.

Materials and methods

The tests were carried out using diesel and crude oil, selected for their different chemical-physical properties, in static and dynamic conditions. The study included laboratory and tank tests to compare the performance of FoamFlex200 with that of polypropylene flakes, the material currently most used to cope with spill accidents. The

possibility of reusing FoamFlex200 after regeneration via manual squeezing or suitable equipment was also evaluated.

Laboratory tests (comparative FoamFlex vs PP flakes specimens)

The specimens (FF and PP) are placed inside the crystallizer containing a known amount of water and oil present in the separate phase and left in contact until visual saturation. After adsorption, the specimen (absorbed oil + adsorbent) is weighed, then the oil released after 5 minutes of draining on the mesh grid (oil drain suspension) is weighed, and finally the specimen after wringing is weighed. To evaluate the possible reuse of the sorbent material, the product is squeezed manually after saturation of the same and placed again in contact with the oil; for each test, this operation was carried out in sequence several times, up to 4 adsorption- regeneration cycles.

Conclusions

FoamFlex200 is highly effective in removing diesel and crude oil from water. The material's ability to retain oil was found to be directly proportional to the viscosity of the oil. Comparison with polypropylene shows generally superior performance of the FF200 both as regards the absorption capacity and as regards the possibility of reusing the material after squeezing. The study found that FoamFlex200 can be reused after regeneration via manual squeezing or suitable equipment. The wringing process, even if carried out manually, almost completely restores the initial properties of the FF200 allowing a capacity to retain constant oil as the cycles pass.

Preliminary economic considerations, based on the tests obtained in the laboratory, also show some advantage in economic terms, related not only to the greater absorbency, but especially to the possibility of reusing the adsorbent material by squeezing (potentially up to 200 times), and recovering the spilled product unaltered. This leads to the dual benefit of a considerable reduction in the quantity of product to be disposed of and the possibility of economically valorising the recovered oil.

Disposable polypropylene barriers currently used in the field are in general for single use. On the contrary, FF200 is designed to be reused numerous times. Based on this considerations, Figure 16 shows the cost to be incurred per kg of oil removed, evaluated considering a single use for PP and multiple uses for FF200. The values are obtained starting from a cost of 13€ / kg for PP and 250€ / kg for FF200 as declared by TEST-1 and from the absorption values obtained from

laboratory tests for the tested oils, considering an average adsorptive capacity of 90% of the original value for uses of the material after the first one. As it appears evident, the advantage in using the FF200 is obtained after just a dozen regeneration cycles for crude oil and diesel, whereas it takes 20 reuses to even out the cost per liter of using PP. If the cost for disposal is also taken into account, equal to about € 0.60 / kg, the advantage in using FlexFoam200 further increases, having to consider in the case of PP larger amounts of adsorbent material to be disposed of including all the adsorbed oil, which is not recoverable. Moreover, if the economic valorization of the recovered spilled product is also included in such evaluations, the costs of using FF200 fall below PP as early as 4 reuses and are fully covered between 10 and 20 cycles of material reuse, resulting in even relevant potential profit according to the market prices of the recovered oil.

This feature makes FoamFlex200 a cost-effective and environmentally friendly alternative to traditional sorbent materials for oil spill cleanup. Overall, the study provides valuable insights into the performance of FoamFlex200 and its potential as a practical solution for oil spill cleanup.

Email: marco.vocciante@unige.it,
Alessandra.De.Folly.Dauris@eni.com, Francesca.Rubertelli@eni.com,
Alessandro.taini@test1srl.com

Microbially mediated PFAS degradation, a microcosm study

Patrizia Pretto¹, Massimo Carmagnani², Carla Indorato², Francesca Bruni³, Andrea Negroni³, Giulio Zanaroli³

¹Biosearch Ambiente, ²Gestore del servizio idrico integrato Acque Veronesi, ³Università di Bologna,

Introduction and study objectives

Due to their toxicity and extensive ambient diffusion, PFAS are contaminants posing a major concern for the environment and human health. Since the fluorine - carbon bond is the strongest in the organic chemistry, they are considered forever chemical. Up to now, the most commonly applied technique to reduce groundwater PFAS concentration is activated carbon barrier while low-temperature chemical mineralization has been only recently demonstrated on bench scale. PFAS microbially mediated degradation is also in its infancy. Polyfluorinated molecules (i.e. telomers) are susceptible to microbial activity as well as unsaturated ones with the C=C double bond playing a pivotal role in reductive transformation. Saturated perfluorinated PFAS, like PFOA and PFOS, demonstrate instead an outstanding stability and convincing results on their biodegradation have been reported by Peter Jaffé's team studying a chemolithotrophic iron respiring microorganism named *Acidimicrobium* sp. strain A6. In this project, we tested different anaerobic metabolisms of autochthonous microbes inhabiting a PFAS tainted groundwater. The presence of C4 to C12 carboxylic and sulfonic acids PFAS was investigated. Analysis of linear and branched PFOA and PFOS isomers was also performed.

Materials and methods

Anaerobic microcosms have been set up in serum vials closed with butyl rubber stopper and aluminium ring starting from PFAS polluted water. The total volume of each culture was 150 mL while head space was 165 mL. Based on different electron donors and acceptors, a total number of 9 tests in triplicate were prepared, plus the biotic and abiotic (autoclaved) controls where no amendments were added. Each microcosm represented a different anaerobic metabolism (both chemolithotrophic and organotrophic): 1- ammonium and iron oxides

(autotrophic iron respiration); 2- hydrogen and iron oxides (autotrophic iron respiration); 3-acetate and iron oxide (organotrophic iron respiration); 4- acetate and manganese oxide (organotrophic manganese respiration); 5- acetate and nitrate (organotrophic nitrate respiration); 6- lactate and sulfate (organotrophic sulfate respiration); 7-hydrogen and sulfate (autotrophic sulfate respiration); 8- methanogenesis in presence of acetate (organotrophic methanogenesis); 9- methanogenesis in presence of hydrogen and carbonate (autotrophic methanogenesis). All microcosms were insufflated with N₂ to facilitate anaerobic condition and incubated in the dark at 30 °C for about 90 days. PFAS concentrations (C4 -C12 carboxylic and sulfonic acids) were measured at T0 (before nutrients amendment) and after 90 days of incubation through HPLC-MS/MS. Contaminant's concentration decrease was considered significant after a t-student statistical test.

Results and Discussion

Perfluorinated carboxylic acids were assessed to be about 20 times more concentrated than sulfonic acids (Fig.1). PFAS from C4 to C8 were found, C9 to C12 were not present. Significant degradation occurred prevalently under chemolithotrophic iron respiration (in presence of both ammonium and hydrogen as electron donors), and organotrophic nitrate respiration while a less extensive process was observed under organotrophic iron and sulfate respiration (Fig.1). A decreased concentration of C6-C8 carboxylic and sulfonic acids was detected (PFHxA, PFHpA, PFHxS, PFOA and PFOS) (Tab.1). A total (100%) degradation, starting from 38 ng/L, was witnessed for PFOS in NH₄⁺/Fe, H₂/Fe and acetate/NO₃⁻ while maximum PFOA disappearance was 46 % in NH₄⁺/Fe shifting from 708 ng/L to about 326 ng/L.

Conclusions

While Peter Jaffé's team isolated *Acidimicrobium* A6 capable of ammonium oxidation under iron reducing condition from a forest soil where the presence of PFAS was not assessed [12], at the best of our knowledge this is the first evidence of microbially mediated PFAS degradation in a polluted groundwater. Acknowledging the fact that we did not measure fluorine and acetate release as a proof of perfluorinated molecules catabolism and more evidence need to be provided, as *Acidimicrobium* A6 the microbial communities active in

our experiment are able of PFOA, PFOS and PFHxS degradation while respiring ferrous iron and oxidizing inorganic reduced molecules [10,13]. We are also not aware of other nitrate and sulfate respiring organisms described in the literature able of PFAS degradation.

Email:info@biosearchambiente.it;
massimo.carmagnani@acqueveronesi.it;
carla.indorato@acqueveronesi.it; andrea.negroni4@unibo.it;
giulio.zanaroli@unibo.it

Thermal remediation of a DNAPL source in fractured rock

Niels Ploug¹, Jesper Holm², Fredrik Engelcke³

¹Kröger A/S Gladsaxevej, ²Kröger A/S Denmark, ³Relement AB, Sweden

Introduction and study objectives

Thermal remediation has been used with success in soils and sedimentary bedrock but has been evaluated unlikely to succeed in igneous and metamorphic bedrock settings in published evaluations [1]. With a thermal conductivity of granite in the range of 1,73 - 3,98 W/mK it is possible to transfer heat through the rock if the heating technology is based on Thermal Conductive Heating (TCH). Thereby it should also be possible to address DNAPL sources in a fracture network consisting of micro fractures, blind end fractures where remediation technologies based on hydraulic contact will hardly succeed. This presentation showcases a 50 m deep source zone in granite treated thermally using conductive heating. The presentation will highlight some of the investigation results, the design and more than 3 years follow up post treatment. Materials and methods

The site is located in Varberg, Sweden and was treated thermally from January 2020 - July 2020. The site is 40.000 m³ and 50 m deep (World's deepest thermal granite remedy). The geology on site consists of 5 m of soil then approximately 5 m of more fractured granite before it becomes a more competent rock with very little porosity. Porosity was estimated to an average of 0,5 %. Groundwater table was found at 2 m.

The site was polluted by former industrial activities where a sludge pit was established right on top of the bedrock with no containment in the bottom. The contamination happened more than 45 years ago. The consulting company in charge of the site investigation used Fluteliners to visually document DNAPL in fractures as deep as 45 m below surface.

Based on the site investigation a thermal design was prepared and implemented consisting of 76 heating pipes installed down to 52 m. Passive extraction was installed on all heater wells and a double venting system was utilized to capture the CVOC's and upcoming groundwater. The subsurface temperature was monitored in more than 600 locations throughout the treatment zone. Off gas concentrations were measured also online together with flow, steam

and condensate production. Groundwater concentrations were monitored in 15 screens throughout the treatment zone during and continuously after treatment.

Results and Discussion

After ~150 days of heating a total of 3.000 kg of CVOC's were extracted. Remedial goal was met groundwater concentrations were decreased from an average of 319 mg/l to 1,2 mg/l. One year later groundwater temperatures were between 40 - 60 °C and CVOC's and groundwater concentrations keep decreasing in both the former source zone and downgradient now three years later. At the presentation we

will show the groundwater concentration behavior over a period of three years post treatment in both the treatment zone and the surroundings.

Conclusions

This thermal remedy has proven that it has the effectiveness to heat fractured rock and in that way it has the possibility to reach all fractures and treat them even with DNAPL present. The extraction method must be considered carefully especially on deep sites with shallow water tables. It is also recommendable to make a hydraulic test on the borings in order to clarify if any has fractures that need certain focus for extraction. Lastly, we have done two more sites in igneous rock and all three sites show the same decreasing trend in concentrations over time after the thermal remedy is completed.

Email: nip@kruger.dk, jsh@kruger.dk, fredric.engelke@relement.se

Last updates for in situ applications, lessons learned from several field cases

Laurent Thannberger¹, Matthieu Sangely¹

¹VALGO, PORTET sur GARONNE, France

Introduction and works objectives

In situ Chemical Reduction (ISCR) or In situ Chemical Oxidation (ISCO) are techniques for soil remediation, consisting in the injection of reagents into the groundwater, allowing to remediate several targeted pollutants, without digging the soil.

ISCR is targeting the decay of chlorinated compounds, from the short chloroethanes, to the heaviest pesticides, as chlordecone. With the proper chemical environment, some metals could also be immobilized into very insoluble forms.

ISCO is available for light hydrocarbons, including BTEX, naphthalene and numerous substituted molecules, when using the proper oxidant. The limits of those techniques appear regarding the stoichiometry of the reaction, the kinetic, the correspondance between pollutant plume and injection pattern, and so on.

Recent upgrades allowed VALGO to go higher in the efficient management of the application of in situ technique.

Feed backs

Due to the opacity of soils, the correlation between expected results, based upon lab experiments, and the facts in the real world, are sometimes difficult to assess.

This presentation will present the combinations of tools that VALGO uses to ensure a better overview of what happens under our feet when we inject reagent in the subsoil, and moreover in a deep groundwater.

Tools of geophysics, coming from civil engineering studies or forensic, for example, are useful to draw a better 3D map of an aquifer where the pollutant is present. Recent works allow them also to bring a dynamic image of the injection(see fig 1), to ensure a better overlap of the reagent's plume with the pollutant's one.

During the presentation, data will come from our up-to-date set of works, including field assays and full scale treatments. We need to assess the tools of survey, for each case, depending of the soil matrix, the pattern of pollutant and the chemicals to be used.

Email: laurent.thannberger@valgo.com

Metagenomics of a bioreactor with polyhydroxybutyrate (phb) and biochar as biomaterials to prompt reductive dechlorination

B Maturro¹, ML Di Franca¹, S Rossetti¹, L Lorini², M Rossi², M Petrangeli Papini²

¹Water Research Institute - National Research Council (IRSA-CNR), Rome, Italy

²Sapienza University of Rome, Rome, Italy

Introduction and study objectives

The development of biotechnologies for remediating chlorinated solvent- contaminated sites has garnered significant research attention, especially when considering the use of bio-based materials. Bio-based materials have the potential to stimulate and support biological reductive dechlorination (RD), offering promising opportunities for developing innovative bioremediation strategies within the circular economy framework. Previous studies have demonstrated the effectiveness of polyhydroxybutyrate (PHB), a biologically synthesized biodegradable polyester, as a slow-release electron donor, capable of sustaining RD even in situ bioengineering applications. Organic waste-derived biochar (BC), a carbon-rich biomaterial produced through biomass pyrolysis, has also gained interest for its ability to enhance electron transfer in various bioprocesses. BC is commonly used for contaminant adsorption and has recently shown promise in facilitating electron transfer during contaminant biotransformation processes. Bioreactors employing PHB for remediation purposes have been tested at both laboratory and field scales, while BC has been examined in laboratory-scale column tests for coupling TCE adsorption and biodegradation. However, little is known about the composition and functions of microbial communities established when PHB or BC are utilized in biosystems for RD. In this study, we investigate the composition, dynamics, and metabolic characteristics of the microbial community established in a column bioreactor that combines PHB and BC as bio-based materials to promote RD in TCE-contaminated groundwater. Over the course of reactor operation, the dynamics of key biomarkers of RD, such as *Dehalococcoides mccartyi* and reductive dehalogenase genes (*tceA*, *bvcA*, *vcrA*) involved in various dechlorination steps, were

monitored. The PHB and BC reactive zones were characterized through 16S rRNA gene amplicon sequencing and metagenome sequencing to elucidate the central mechanisms occurring within the biofilm growing on the biomaterials used in the system. In addition to system performance, we deciphered the functional roles of the main bacterial players involved in utilizing PHB as a source of electron donors for RD, as well as the contribution of organohalide-respiring bacteria (OHRB), within this promising mini-pilot scale system for in situ bioremediation purposes.

Materials and methods

The system was initiated by inoculating a TCE-to-ethene dechlorinating consortium exclusively into the BC zone. Subsequently, three feeding conditions were implemented in the mini-pilot scale column system: i) contaminated tap water (T1), ii) recirculation of effluent from the biochar to the PHB zone (T2), and iii) anaerobic mineral medium (T3). Over a period of 250 days, TCE degradation and volatile fatty acid (VFA) concentrations were monitored. Samples for biomolecular analysis were collected after T1, T2, and T3. Digital droplet PCR (ddPCR) was employed to quantify *D. mccartyi* and reductive dehalogenase genes as the main biomarkers of TCE biodegradation. Microbial community characterization was conducted through 16S rRNA gene amplicon sequencing, and metagenomic analysis was performed to identify the main functional features within the PHB and BC reactive zones. Genome bins were extracted based on metagenome annotations, and each genome was screened for gene sequences encoding enzymes involved in PHB depolymerization, hydrogenation, and β -oxidation, which produce butyrate, acetate, and H₂ as electron donors for RD.

Results and Discussion

In all tested conditions, we observed successful TCE dechlorination, accompanied by the production of butyrate and acetate. The reactor's kinetic performance was consistent with these observations, as *D. mccartyi* established in both the PHB (1.46E+06 16S rRNA gene copies/g) and BC (5.51E+08 16S rRNA gene copies/g) reactive zones. Specifically, *D. mccartyi* colonization occurred in the PHB zone following tap water recirculation (T2) and further increased after anaerobic mineral medium feeding (T3). Conversely, in the BC zone, *D. mccartyi* colonization was immediate but declined after both T2

and T3. Among the fermentative microorganisms identified in the PHB/BC column system, the most abundant were members of Firmicutes_Clostridium sensu stricto 7 and Actinobacteria_Cutibacterium while D. mccartyi was the most relevant TCE-dechlorinating microorganism.

Metagenomic analysis performed on the reactor provided valuable insights into the functional roles of key players involved in the bioprocesses occurring in the system. We extracted 10 genome bins, and for each bin, we screened functional genes associated with PHB depolymerization, 3-HB hydrogenation, β -oxidation, and reductive dehalogenation. Notably, the most relevant fermentative bacteria containing all the genes involved in PHB degradation belonged to the Syntrophomonas species, which can syntrophically metabolize fatty acids in association with hydrogen/formate-utilizing microorganisms. Other genome bins from the metagenome analysis exhibited fermentative features and were affiliated with Clostridium, Lampropedia, and Thauera. In addition to D. mccartyi, we also extracted genome bins of dechlorinating bacteria from the metagenome, which included Geobacter, Desulfovibrio, and Sulfurospirillum.

Conclusions

In conclusion, this study presents a novel PHB/BC mini-pilot scale reactor for TCE dechlorination, demonstrating its potential as a sustainable bioremediation technology in line with the principles of a circular economy. Our research embraced a circular experimental design, taking into account both the kinetic and biological characteristics of the system. Utilizing a metagenomic approach, we conducted extensive screening of functional genes involved in key bioprocesses, including PHB fermentation and RD, providing insights into the metabolic network and microbial interactions within the PHB/BC mini-pilot scale reactor. Further insights into the reactor's performance and specific microbial-mediated metabolic pathways will be presented and discussed during the conference.

Email: bruna.matturro@irsa.cnr.it

Towards rapid and sensitive biomonitoring tools for bioremediation: exploring digital droplet PCR as a third-generation quantification method

B Matturro¹, ML Di Franca¹, S Rossetti¹

¹Water Research Institute - National Research Council (IRSA-CNR), Rome, Italy

Introduction and study objectives

Molecular biological tools (MBTs) play a crucial role in bioremediation, offering various applications such as biomonitoring of contaminated sites to evaluate biodegradation potential, development of new biotechnologies, and studies on biodegradative consortia culturing. Among the environmental -omics tools, the quantification of biomarkers for specific biodegradative processes has proven effective. Real-Time PCR (qPCR) has been widely optimized, validated, and successfully applied in quantifying biomarkers involved in biodegradation and biotransformation processes [1]. However, limitations in qPCR, including detection limits, the necessity of standard curves, and time-consuming triplicate reactions, can yield misleading results, particularly when biomarkers are present at abundances $\leq 1E+03$ gene copies/reaction. To overcome these limitations, we propose a novel quantitative PCR-based biomonitoring approach called Digital Droplet PCR (ddPCR). While ddPCR has been widely used in medical/clinical applications, its utilization in environmental and biodegradation monitoring is limited [2].

In this study, we present the first application of ddPCR assays targeting biomarkers for chlorinated hydrocarbon biodegradation. Quantitative data within specific range values of these biomarkers offer valuable insights into the bioremediation potential of chlorinated solvent-contaminated sites, thereby guiding the selection of an appropriate and effective remediation strategy.

Based on our extensive experience analyzing a large number of contaminated samples (≥ 3 thousand in the last ten years) including groundwater, soil, sediments, and microbial consortia, we have observed that although qPCR is a valid MBT for quantifying dechlorinating biomarkers, its sensitivity, accuracy, and precision decrease at low abundances (i.e., $\leq 1E+04$ or $1E+03$ gene copies/L).

Therefore, a detection limit of $1\text{E}+03$ gene copies/L is crucial, and values below this threshold should be interpreted with caution. This is particularly important when analyzing contaminated environmental samples with low Dhc abundance, as it can lead to erroneous evaluations of the bioremediation potential of the site. Consequently, the aim of this study was to develop novel assays for rapid and accurate biomonitoring, even at low abundances of the targeted genes. This advancement will facilitate informed decision-making in the selection of the most suitable and efficient bioremediation strategies.

Materials and methods

In our study, we employed the Digital Droplet PCR (ddPCR) technique, which involves partitioning the DNA within the reaction mixture into numerous nanoliter-sized droplets. Subsequently, a PCR is performed on a thermal cycler, and the resulting droplets are individually assessed well by well. By counting the positive and negative droplets, we obtain absolute quantification of the target biomarkers. Specifically, we developed a ddPCR protocol for quantifying the 16S rRNA gene of *D. mccartyi* involved in the reductive dechlorination of chlorinated hydrocarbons, as well as reductive dehalogenase genes (such as *tceA*, *bvcA*, and *vcrA*) and other functional genes serving as biomarkers for oxidative dechlorination (such as *etnE* and *etnC*). This ddPCR protocol was rigorously tested on various samples, including dechlorinating consortia, environmental samples, and long amplicons commonly employed as qPCR standards. To assess the performance of ddPCR, we compared the quantitative data obtained using this technique with the results obtained from qPCR within the same concentration range (ranging from $1\text{E}+10$ to 1 gene copy/reaction).

Results and Discussion

The quantitative data obtained through ddPCR demonstrated exceptional precision, sensitivity, efficiency, and reduced susceptibility to PCR inhibitors across all tested samples. Notably, ddPCR exhibited greater reliability and reproducibility of quantitative data compared to qPCR when gene copy numbers were below $1\text{E}+06$ copies/reaction, extending down to 1 gene copy/reaction. Conversely, within the range of $1\text{E}+10$ to $1\text{E}+06$ gene copies/reaction, ddPCR quantification reached a plateau due to the presence of excessive target concentrations, necessitating sample dilution. In contrast, qPCR

results obtained from the same samples proved unreliable below the threshold of $1E+03$ or $1E+02$ gene copies/ reaction.

Conclusions

This study aimed to compare ddPCR with qPCR for the quantification of biomarkers associated with biodegradation processes, specifically focusing on reductive and oxidative dechlorination. The results demonstrated that ddPCR exhibited a dynamic range spanning from $1E+06$ gene copies/reaction to 1 gene copy/reaction, indicating superior sensitivity compared to qPCR. Several advantages of ddPCR were identified, including heightened sensitivity, enhanced precision for low target concentrations, and improved reliability and reproducibility across a wide concentration range, particularly at low target abundances. These findings highlight the considerable potential of ddPCR for biomonitoring purposes.

Email: bruna.matturro@irsa.cnr.it

Comparison of sample preparation methods for characterization of soil geochemistry by handheld x-ray fluorescence

Robert Szabo¹, Iustina Boaja^{1,2}, Ana Maria Turculeț^{1,2}, Adrian Tătaru¹

¹Geological Institute of Romania, ²Politehnica University of Bucharest

Introduction and study objectives

Handheld X-ray fluorescence (hXRF), is a rapid, mobile and potentially cost-effective determination of the total elemental concentration in soils that may provide in valuable help at the reconnaissance stage of a site diagnosis. The hXRF is often considered a superior alternative to wet chemistry, but a range of factors may lead to elementally dependent disparities affecting the accuracy and precision of the investigation. In spite of the apparent simplicity, given the complex nature of soils, the information obtained depend almost totally upon the level of sample preparation. The aim of this study was to identify the optimal solution for sample preparation of different soil types of Europe for a reliable hXRF analysis.

Materials and methods

The study envisaged investigation of five major soil types of Europe that are also common in Romania (podzol, cambisol, chernozem, luvisol and vertisol) through different methods of sample preparation. After removing the main debris (rocks, pebbles, leaves, vegetation, roots) the Olympus Innov-X Delta hXRF device was used: i) in-situ directly on the soil surface; ii) in-situ on levelled and brushed surface; iii) in-situ on pressed surface; iv) ex-situ in plastic bag; v) ex-situ dried, sieved and compacted in polyethylene sample cups. For each type of soil measurements were performed in corners and in the middle of a square surface of 25x25cm. The duration of measurement was 60, 90, 120, 180 and 240 seconds, respectively.

The soils were also sampled, acid digested and analysed through atomic absorption spectrometry in order to identify the optimal sample preparation method for hXRF investigation.

Results and Discussion

The main factors affecting soil hXRF investigations are organic matter content, moisture, heterogeneity, sample geometry, duration of

measurement and matrix interferences. The measurements performed on soils with high organic matter showed a lower precision. The field-moist hXRF scans generally underestimated element concentrations, thus the values decrease as the moisture content of soil increases due to the stronger X-ray absorption by soil water than by air in soil pores. Compression of dried and sieved powders may artificially inflate hXRF elemental readings by accelerating the number of atoms per unit. The optimal results were obtained after 120 seconds of measurement. Moreover, the repeated measurements lead to increased accuracy and diminished matrix and heterogeneity effects.

Conclusions

Despite the limitations, hXRF remains a powerful tool for rapid and cost-effective soil investigations. The precision depends on soil type and moisture, thus, the optimal sample preparation method is drying and sieving followed by compressing to a bulk density approaching field conditions.

Email: iustinapopescu@yahoo.com,
robert21szabo@gmail.com, anamaria_turculet@yahoo.com,
adriantataru@live.com

Struvite Minimization in Domestic Wastewater Systems: Prototyping & Optimization in Full-Scale Plants

Engr. Ma. Cleofas O. Maceda, Pme, Mmbm, Msene

Vice President, Association of Water & Wastewater Mechanical Systems Specialists, Inc - Past President, PSIM 2022

The formation of struvite in domestic wastewater facilities has always been a problem; the design of a wastewater treatment plant that practically eliminates struvite with nature based bacteria and without the use of inorganic chemicals becomes a cost-effective solution for a cleaner environment. Struvite is magnesium ammonium phosphate (MgNH_4PO_4), and forms a hard crystalline deposit when the molar ratio $\text{Mg}:\text{NH}_4:\text{PO}_4$ is greater than 1:1:1. This struvite formation provides a pathways for nitrogen and phosphorous removal, thus, at the end, is complying the new effluent regulations, as per DAO 2016-08 and DAO 2021-19. The main objective of the study is to explore the recovery of struvite from domestic wastewater, by presenting an improved design prototype of a full-scale wastewater treatment plant based on retrofitting of old designs; given emphasis will be the design of a plant using nature based natural bacteria inherent in the system to take out phosphorous and nitrogen from the wastewater and convert it to sludge and nitrous oxide gas, the former by physically taking it out as solid waste, and the latter allowed to be disposed as a more manageable gas. The process flow design formulated has resulted of resource efficient wastewater treatment with less chemical and energy consumption and nutrient removal. Proper struvite elimination in the domestic wastewater treatment has been a sustainable wastewater treatment system as well as nutrient and water recovery, thus adopting circular economy in wastewater treatment, by promoting recycle and reuse.

Keywords: Struvite, nitrogen, phosphorous, stp retrofitting, systems performance, circular economy, resource efficient wastewater treatment

Email: momaceda@up.edu.ph; mcmaceda@young-moon.org , cleofas.maceda@robinsonsland.com

Secretory Expression of membrane-related hyperthermophilic endo-1,4- β -D-glucanase of *pyrococcus horrikoshii* in *pichia pastoris*

Hyacinth wong (Qiuli Wang)¹, Name Surname², Name Surname³

¹*Aquatic Technology Center , Bureau of Farming and Live Stock Management of Shi Zui Shan, Ning Xia, China*

²*Zhengzhou nonferrous metal research institute, Zheng Zhou, China.*

³*Shang Hai Bioscience biotechnology co., LTD., Shanghai City, China*

Introduction and study objectives

Endo-1,4- β -D-glucanase of *pyrococcus horikoshii*(EGph)is hyperthermophilic cellulase with C- terminal signal anchor. In this study in silico analysis showed that: EGph had and a type I N-terminal signal sequence which generally would be cleavage d by type I signal peptides. To investigate how EGph's archaea origin N- and C-terminal signal peptides affect expression of rEGph in *Pichia pastoris* secretory expression system, what is the subsequent effect on cellulase activity, four kinds of recombination EGph(rEgph): rEgph1- rEgph4 with different N-terminal signal peptide or C-terminal modification were constructed and heterologous expressed by *Pichia pastoris* X33.

Reports about secretory expression of recombination EGph were limited to N- and C- terminal signal sequence truncated recombination EGph. There was no detailed reports about secretion expression of full length recombinant EGph. Yasuhiro KASHIMA constructed secretoryly expressed N-, and C-terminal truncated rEGph, using expression-secretion vector pNU226 and gram positive bacterial type heterologous host *B. brevis* HPD31, concentration of the Secretly expressed enzyme was about 100 mg per liter supernatant. Using fungal *Talaromyces cellulolyticus*(formerly known as *Acremonium cellulolyticus*) and vector, Seiichiro Kishishita secretly expressed signal peptides truncated recombination hyper-thermophilic EGph.

We previously briefly report Secretory expression of recombination EGph with eukaryotic host methanol-tropic yeast *pichia patoris* X33. In this investigation, We tried to find some clues about how the eukaryotic type protein translocation system of pp X33 reacted to archaea type signal peptides of EGph and what is the subsequent effect on cellulase activity, protein structure, and thermo stability of

recombination EGph. In this investigation, using *Pichia pastoris* X33 expression system We tried to constructed and expressed four kinds of recombination Egphs with different N-terminal signal or C-terminal modification. Secretly expression of full length rEGph with native N-terminal peptide and C-terminal signal anchor using eukaryotic host pichia patoris X33 was elaborately report. We also tried to verify whether the eukaryotic type signal peptidase of pichia patoris X33 cleavage the archaea originated type I N- terminal signal sequences of EGph in this study .

Conclusions

This investigation revealed, the archaea originated C-terminal signal anchor prevented rEGph (rEGph1 and rEGph3) from being secreted outside *Pichia pastoris* cell, while, poly-histidine tag and c- myc epitope modification to C-terminal signal anchor decrease the membrane anchoring effect and increased secreting of rEGph2 and rEGph4 to a high level above 100mg/l. rEGph2 used chimeric N-terminal signal peptide to guide secretory, the chimeric signal was composed of Kex2 -ste13 cleavage sites lacked α -factor mating pheromone and native N-terminal signal peptide of EGph. secretory expressed rEGph2 had cellulase activity below 50 centigrade, it lost activity after 60 centigrade 30 minutes pre-treatment. rEGph4 had native signal peptide of EGph truncated and used full length *S. cerevisiae* α -factor mating pheromone as secretory signal. Secretly expressed rEGph4 was a hyperthermophilic cellulase, it was thermostable and hydrolyzed CMC at 100 Centigrade. In this study, the eukaryotic type signal peptidases of *Pichia pastoris* X33 did not cleavage archaea originated type I signal peptide of rEGph.

Determining the background values for soils and groundwater: the Italian Guidelines by SNPA

Maurizio Guerra¹

¹ISPRA, Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia

Introduction and study objectives

The determination of the background values (BV) is a significant issue in the Italian environmental legislation, as they can constitute the reference values for managing environmental matrices (soil, groundwater):

- excavated earth and rocks
- contaminated sites
- diffuse pollution management plans
- protection of groundwater bodies from pollution and deterioration

The methodology for determining the BV have been addressed in numerous Italian publications and/or guidelines, and abroad (e.g. APAT-ISS, Province of Milan, CNR-IRSA). However, the main objectives and peculiarities of SNPA "Guidelines for the determination of background values for soils and groundwater" are:

- harmonizing, at the level of the national agency system, the definitions and identify the criteria for the acquisition, processing and management of data aimed at determining the background values for soils and groundwater, according to the specific purposes;
- dealing with the different topics in which the theme of the background is referred to, each according to its own peculiarities;
- highlighting the central role of the conceptual model which is the basis of each procedure for defining the BV;
- introducing a greater flexibility, for the definition and management of BV. This means that, in the face of particular conditions, ad hoc solutions are required;
- proposing a series of case studies and fact sheets, the result of the agencies' experience in the field, on topics relevant to the determination and management of core values;
- proposing an online system for sharing and updating the experiences of the agency system on background case studies, also for the purpose of setting up a georeferenced database for the areas/bodies of water for which the background value has been defined (so-called Atlas of the natural background and anthropic).

The structure of the SNPA Guidelines

The SNPA Guidelines are divided into the following sections:

- Definitions and critical issues. The definitions of the relevant terms for the characterization of the environmental matrices aimed at the evaluation of the background are completed by insights that highlight some critical issues, both semantic or related to the meaning of terms used with different nuances in different contexts, and operational, related to the recognition in the field of sources of contamination and more generally to the development of a reliable conceptual model;
- Areas of application. The main characteristics of the regulatory areas (contaminated sites, excavated earth and rocks, diffuse pollution (pollution from widespread activities with no one discrete source), protection of underground water bodies) within which the definition of background values may be required are briefly described;
- Procedure for the determination and management of background values. A methodological path is proposed for the determination of the background values; it includes the main elements necessary for the development of the conceptual model, for the organization and treatment of the data, for the determination of the basic values and the management of the results.

The "Guidelines for the determination of background values for soils and groundwater" are completed by three annexes:

- Annex A, " Characterization of the matrices " concerning the ways to investigate the environmental matrices aimed at acquiring the data necessary for the determination of the BV;
- Annex B, " In-depth analysis of statistics " contains, albeit in a didactic and non-exhaustive manner, some in-depth analysis describing the statistical tools and procedures mentioned in the text;
- Annex C, " Case studies ", which shows the most significant experiences gained by the agency system for the definition of basic values. These case studies, being prior to this document, are not necessarily fully compliant with it; however, in each of them it is possible to find elements useful for completing and deepening the proposed conceptual and methodological path

The "core" of the BV determination

Two different pathways were developed for the BV determination: the first to apply to contaminated sites, diffuse pollution and TRS, the second to apply to groundwater bodies quality. The different

pathways were due to the different kind of sampling: in the first case many sampling points, collected in a short time span were expected, in the second case, observations are related to few points monitored for a long time.

Conclusions

The main goal of the Italiana SNPA Guidelines is not only to present a procedure to “grind” the data aseptically to obtain the background values of soil and groundwater, but primarily it provides some tips: i) to build a reliable conceptual model, that is essential to properly select and manage the data. (work on the quality of raw material); ii) to manage the background levels with flexibility, according to the environmental scenario.

The successive development of the guidelines could be structured along two activities:

An “open call” to validate the guidelines. An environmental plot (e.g. geology, hydrogeology, anthropic pressures) is defined as a dataset of a hypothetical substance for which the background level needs to be determined. Stakeholders are invited to define, following the methodology proposed in the guidelines, the background values and other indicators.

An on line, national atlas of background : the works and experiences conducted by the agencies or other institutions, are mapped and made available online. The aim is to obtain a constantly updated picture of the coverage, at national level, of background knowledge.

Email: maurizio.guerra@isprambiente.it

Sustainable soil management using ground penetrating radar technique

Filipciuc Constantina¹, Elena Tudor¹, Stoian Irina¹, Avram Ovidiu¹, Scutelnicu Ioan¹, Ulmeanu Antonio¹, Adrian Tătaru¹, Iustina Boaja^{1,2}

¹Geological Institute of Romania

²Politehnica University of Bucharest

Introduction and study objectives

As a result of progress made in recent decades in the performance of non-invasive soil and subsoil investigation equipment, the ground penetrating radar technique (GPR) now provides continuous, high-resolution data that other geophysical investigation tools can't offer. The GPR is a cost-effective and non-invasive geophysical method of soil and subsoil surveying. It is well known that ground-penetrating radar identifies variations in electrical permittivity of materials and renders them visually through radargrams. This study aims to assess the suitability of GPR in establishing the sustainable soil management practices (identifying soil and subsoil layers based on the matrix composition; delineating saturated and unsaturated zones; highlighting the buried utilities).

Materials and methods

The paper's focus is on the use of GPR measurements in soil surveys. The minimal technical details, on how the technique functions are described below.

The system transmits impulses through soil, with electromagnetic frequencies that vary between 10 MHz and 1000 MHz. The wave propagation speed changes depending on the electrical properties of the materials/layers encountered, allowing the identification of materials based on the contrast generated by the dielectric constant. If the electromagnetic pulse hits an object, its electrical conductivity is reflected and scatters the signal. The receiver detects the returning signals and records the variations within the measurements.

The GPR includes two main pieces of equipment - a transmitter (Control Unit) and a receiving antenna. When choosing the antenna, or the antenna system (ground-coupled or air-coupled) is advisable to consider at least 3 factors: the investigation depth, the object we are targeting and nevertheless the type of soil we are transmitting

through. Higher frequency antennas provide greater resolution but do not penetrate as deeply as lower frequency antennas.

The acquisition software performs the first level of post-processing data. This stage is necessary because the georadar records are not images of the pedological layer but reinterpretations of its physical characteristics. By means of the algorithms implemented in the firmware of the Control Unit, the noise level of the determinations is reduced, corrections are applied based on the sampling of the studied region and the wave propagation speed. Areas with high conductivity ($> 10\text{-}7\text{ S/m}$) produce disturbances that can be easily identified in the graphs scanned with the GPR.

Results and Discussion

Identifying soil and subsoil layers based on the matrix composition. Soil dielectric permittivity and electrical conductivity are the two key factors affecting the GPR signal [2]. The electrical conductivity of soils increases with increasing water, soluble salt, and/or clay contents.[3] Furthermore the dielectric permittivity of a soil is determined by the characteristics and proportions of each of its phases - solid, liquid and gaseous. Several studies [5] have shown a linear correlation between the dry mass density of a soil and the dielectric permittivity, thus indicating that the permittivity of dry soils depends on their porosity and compaction. Because soil compaction decreases, the dielectric permittivity increases along with the proportion of gas and the porosity. It was also shown that clayey regions, shale soils, saltwater infiltration of any nature other than in loess, and generally any soil consisting of very fine-grained particles or with a high-water concentration, can raise problems when assessing the data collected. This amplifies the idea that the dielectric permittivity is strongly affected by the mineral composition of the soil and also by its organic matter content. As the organic matter is more present in the soil composition, the dielectric permittivity decreases, thus being able to identify different soil horizons.

Delineating saturated and unsaturated zones. In dry sandy soils or massive dry materials good penetration depth of up to about 15 m can be achieved. Soils having high electrical conductivity rapidly attenuate radar energy, restrict penetration depths, and severely limit the effectiveness of GPR. When analysing saturated zones vs unsaturated ones GPRs have been relatively successfully applied in a wide spectrum of surveys, but under favourable conditions. As the

electromagnetic signal propagation is influenced by the soil moisture, the conductivity increases, penetration depth decreases causing a loss in signal strength at depth. In this case, more complex techniques using numerical modelling have emerged in recent years with a higher success rate.

Revealing buried objects. A large contrast between the soil and buried objects facilitate GPR to capture the target information. It "transforms" these contrasts into images of underground objects - in the form of a hyperbola. This is why GPR is also used to map structures and utilities buried in the ground or in artificial structures. The location and depth of various buried utilities such as gas pipes, sewers, energy cables, water drainage systems etc. must be properly determined. GPR's versatility makes it one of the most useful tools in engineering, construction, archaeology, geosciences, and many other fields. In soil management, it has been mainly use within the farming domain and agriculture being able to provide information on water content, porosity, and soil moisture. The results have an immediate impact on irrigation management, on optimising crop quality and even on the environmental effects of farming activities.

Conclusions

Although GPR was design mainly to locate objects or interfaces buried beneath the soil surface being thus a helpful tool in the civil engineering studies, its use in "sensing" the soil physical characteristics and also its thickness or depth it's increasing. Ground Penetrating Radar has a huge number of applications across a wide range of industries. Being a non-destructive method of surveying, it can play a valuable role in environmental studies, as well as it can be integrated with mapping, GPS, and 3D technology.

Email: tatiana0906@yahoo.com

gt_elen2004@yahoo.com,

airinsweety@yahoo.com,

ovi.exe75@gmail.com,

pinklloyd73@yahoo.com,ulmeanuantonio@yahoo.com,

adriantataru@live.com,iustinapopescu@yahoo.com

Kuwait soil remediation

Manel Fernandez, Miikka Tunturi

Introduction and study objectives

Kuwait Environmental Remediation Project (KERP) was developed to address the environmental damages from the Iraqi invasion back in 1991 and it is the largest environmental inland cleanup in history with a volume of 26 Mm³ of crude oil contaminated soil. LAMOR Corporation Plc in Joint Venture with Khalid Al-Kharafi & Brothers Construction & Contracting Company were awarded with two remediation projects, one in North Kuwait (NKETR) and one in South Kuwait (SKETR), to remediate a total of 7 million tons of contaminated soil.

Methodology

Based on the results obtained in the first stage of the project, it has been determined that the best techniques to remediate impacted soils are bioremediation and soil washing. Bioremediation will be applied to soils with a TPH (HEM) percentage between 1% and 5%, while soil washing will be applied to soils with a TPH (HEM) percentage between 5% and 15%, being the remediation target criteria (RTC), 1% TPH (HEM).

Another important part of the project is the construction of a landfill to dispose of untreatable materials such as soils with high contaminant content (>15% TPH (HEM)) and tarcrete that cannot be remediated with the proposed technologies. The estimated initial capacity of the landfill is 1 million m³, which is sufficient to dispose of the untreatable soils from the three ongoing projects in South Kuwait but there are two expansions of 500,000 m³ each considered within the scope of the project.

The flow diagram below shows the movement of the soils, from their original location to their final destination in the treatment center.

The journey of the soils start with the excavation, transportation and pulverizing activities needed to receive the soils in optimal conditions to start the remediation process.

There are different areas with contaminated soil previously identified. In each of the areas we can find three different contamination features, Dry Oil Lakes (DOL), Wet Oil Lakes (WOL) and Oil Contaminated Piles (OCP) with different history of origin, their own

characteristics and particularities regarding the level of contamination, depth, extension and state of the oil. Once the soil is excavated and transported to our treatment center it is weighted, stockpiled as per TPH band and screened and crushed to obtain a final particle size of less than 20 mm.

The treatment center has a capacity to treat ca. 650.000 tons of soil in parallel using bioremediation, and a Soil Washing plant with a treatment capacity of ca. 100 tons per hour (tph). For this abstract we will focus on the bioremediation processes although we will also give a few hints about soil washing treatment.

The treatment center is divided in 36 PADs, each one of them contains 18,000 MT of soil in 14 biopiles of ca. 150 m long, 2 m high and 5 m wide each. To store the water required for the remediation, two lagoons of ca. 30,000 m³ of water have been constructed. The water is transferred from the lagoons to the bioremediation PADs and to the Soil Washing plant.

The soil laid down in the PADs contains solid amendments such as wood chips, urea, phosphates and manures in the quantities that were determined during the optimization study, done before starting full scale operation.

Once the soil is placed in the PAD it is frequently tilled and irrigated by windrow turners. During the irrigation liquid amendments like biosurfactant, bacterial inoculum and further liquid nutrients are added to the soil.

The bacteria used in the project have been isolated from the Kuwait soils to comply with local regulations and it is produced in our bioreactors on site.

As per the initial results, the treatment time of each batch goes from 45 to 90 days, depending mainly on the initial TPH concentration. Based on these results, the forecasted yearly treatment capacity is ca. 1,5 million tons of soil using bioremediation.

Results and Discussion

So far, the time to reach the Remediation Target Criteria of 1% TPH (HEM) using bioremediation has been below 90 days. As of today, 135,000 MT of soil have reached the target and the expectation is to remediate 1,5 million tons of soil during 2023.

Conclusions

In legacy sites, such as in Kuwait, autochthonous microbes that have adapted to local conditions and are capable to degrade organic pollutants have been developed in few decades.

The main challenges of the project are the climatic conditions of the country, which is very hot and dry, especially in the summer months, and the short time frame established to remediate the soils.

Other aspects to consider are the high salinity in some of the soils, the excavation of Wet Oil Lakes, or the existenance of UXO from the invasion in 1991.

All together makes this project one of the biggest soil remediation challenges and requires the participation of many different specialties. In addition to the typical challenges of a project of this magnitude, at Lamor we seek to develop it in the most sustainable way possible, generating a positive impact on the region.

Email: manel.fernandez@lamor.com; miikka.tunturi@lamor.com

Surface Active Foam Fractionation (SAFF) in Combination with A Patented All Natural Amendment To Increase The PFAS Removal Efficiency of SAFF for complex leachate

*Helena Hinrichsen, Hugo Carronnier, Wassism Almouallem, Robin
Axelson
ENVYTECH*

Introduction and study objectives

EPOC Systems, an Australian environmental engineering company and Envytech, their European technology partner, have been working in recent years to develop a PFAS separation and concentration process based entirely on the surface active power of rising air bubbles in a water column. This PFAS treatment method uses no consumables or additives. The technology is named SAFF – Surface Active Foam Fractionation.

Envytech have successfully operated more than 15 full scale PFAS water treatment projects using SAFF since 2021, treating AFFF contaminated groundwaters, water from fire fighting activities, industrial process water as well as over 300 000 m³ of PFAS contaminated leachate.

VALGO, a French remediation company, have been researching and developing a natural based additive that when added to the foam fractionation process, very rapidly reacts with PFAS and minimize the time of foam fractionation needed to remove PFAS from the water. The additive has also shown to enhance the ability to remove short chain PFAS by foam fractionation.

Envytech have together with VALGO performed a bench scale trial followed by a full scale application of the of VALGO patented additive on complex leachate water from a Swedish landfill where Envytech is operating a full scale SAFF. By presenting the effect of SAFF on the leachate water using standard operations, as well as the differences in treatment time and PFAS treatment effects for different PFAS substances including short chain PFAS achieved when adding the natural amendment from VALGO, we plan to show that already proven effects of foam fractionation on PFAS in complex water can be further enhanced.

Materials and methods

The SAFF system incorporates 3 distinct fractionation processes: Primary, Secondary and Tertiary Fractionation. The primary stage is very effectively separates the majority of the PFAS compounds from the contaminated aqueous solution whilst the secondary and tertiary stages concentrate the harvested fractionate to miniscule volumes. Average concentration factors (CF) of greater than three million times have been achieved. SAFF or Surface Active Foam Fractionation, is almost certainly the most sustainable PFAS remediation solution ever developed, in that it is entirely reliant on pure air to do the heavy lifting to remove more than 99% of C6 chemistry and above including PFAS4: PFNA PFOS, PFOA and PFHxS. The treatment efficiency is however linked to different treatment times that vary with different water chemistries as well as different PFAS substances. Approx treatment time for foam fractionation can range between ca 20 and 60 min, effecting the flow capacity of the SAFF treatment plan. By adding the patented additive manufactured and produced by VALGO, that have been proven to minimize contact time needed when performing foam fractionation, we will evaluate the potential of the additive to increase treatment volume capacity per hour for the SAFF. As the additive also have been proven to increase the ability of short chain removal by foam fractionation, we will also perform tests to evaluate during what conditions and to what extent improved short chain PFAS removal can be achieves.

Results and Discussion

The bench scale trials were performed in the period 2023-06-05-2023-06-08, and results will be evaluated during July 2023. Full scale trial will be carried on 2023-07-31 – 2023- 08-05, and results are expected to be ready and evaluated before the end of August 2023. The presentation will present removal efficiencies for PFAS21 using SAFF for PFAS treatment of a complex leachate and the amount of waste produced, as well as presenting the results from the bench scale and full scale trial using the amendments to increase the flow capacity of SAFF and short chain removal rates. We will also evaluate the waste production using only air for PFAS removal, as well as amounts of waste produced when using the amendment.

Conclusions

The project will prove if an increase in efficiency for flow rates using foam fractionation can be achieved using this new all natural additive from VALGO, and if the short chain removal rates proven in laboratory studies will be achieved when applied to a full scale project for treatment of PFAS contaminated leachate. The conclusion will also show waste production ratios for SAFF on leachate both with and without additive.

Email: helena.hinrichsen@envytech.se Robin.Axelson@envytech.se,
Hugo.Carronnier@valgo.com, Wassim.Almouallem@valgo.com

Surface active foam fractionation (SAFF) treating PFAS contaminated soil wash water, coupled with electrochemical oxidation for destruction of foam concentrate

Helena Hinrichsen, Robin Axelson
ENVYTECH

Introduction and study objectives

EPOC Systems, an Australian environmental engineering company and Envytech, their European technology partner, have been working in recent years to develop a PFAS separation and concentration process based entirely on the surface active power of rising air bubbles in a water column. This PFAS treatment method uses no consumables or additives. The technology is named SAFF – Surface Active Foam Fractionation.

Envytech have successfully operated more than 15 full scale PFAS water treatment projects using SAFF since 2021, treating AFFF contaminated groundwaters and water from fire fighting activities as well as over 300 000 m³ of PFAS contaminated leachate.

Envytech have further carried out a treatment pilot project treating water from a soil washing plant, allowing the water from the soil wash activities to be treated using no filter medias or consumables, removing the PFAS from the water and allowing reuse of the water in the soil wash process. A total of approx. 10 000 m³ of water was treated during the pilot, treating soil wash water from more than 5 different soils. The pilot uses a SAFF unit model SAFF20, with the ability to perform two fractionation steps, one for treatment and one step for waste minimization. In a full scale project a three step fractionation model would be recommended, as this has an additional fractionation step to further minimize of waste produced. Using a two-step SAFF model, a total of approx. 15 m³ of waste was produced during the project. The total power consumption for the project was noted to approx. 10 000 kW, or 0,68 kW per m³ treated.

As technologies for destruction of PFAS are becoming available for commercial use, Envytech in cooperation with a PFAS destruction start up company in the US, have performed a trial to evaluate if the destruction technology supplied at commercial scale could perform complete destruction of the PFAS concentrate produced in the soil

washing trial. The technology uses a patented electrochemical oxidation process for complete destruction of PFAS contaminated solutions. The trial for destruction of PFAS concentrate was carried out on a total of 60 liters of PFAS concentrate from a two step SAFF unit, that was sent to the US company for destruction by their patented full scale technology.

By presenting the SAFF technology, its performance potential for treatment of soil wash waters, as well as amounts of wastes produced and OPEX, we will show the potential for SAFF as treatment solution for soil washing activities, and the minimization of waste produced that SAFF contributes to. By also presenting the results from the destruction trial of the PFAS concentrate produced, we will also evaluate the potential for destruction technologies to provide a zero waste option for SAFF PFAS concentrate, and the cost for this, and the possibility of creating a zero waste solution from PFAS water treatment activities.

Materials and methods

The SAFF system incorporates 3 distinct fractionation processes: Primary, Secondary and Tertiary Fractionation. The primary stage very effectively separates the majority of the PFAS compounds from the contaminated aqueous solution whilst the secondary and tertiary stages concentrate the harvested fractionate to miniscule volumes. Average concentration factors (CF) of greater than three million times have been achieved. SAFF or Surface Active Foam Fractionation, is almost certainly the most sustainable PFAS remediation solution ever developed, in that it is entirely reliant on pure air to do the heavy lifting to remove more than 99% of C6 chemistry and above including PFAS4: PFNA PFOS, PFOA and PFHxS. By combining this treatment process with soil washing and EO, we have the opportunity to increase the sustainability of the soil washing process as well the economic savings per ton treated soil, as well as achieving a zero waste stream from the water treatment activities involved in soil washing projects, and a minimization of the cost associated with the waste.

Results and Discussion

SAFF or Surface Active Foam Fractionation has been proven to be an effective as well as sustainable and economic solution for soil wash water from all five soil washed in the trial. The presentation will present removal efficiencies for PFAS21 as well as amounts of waste produced as well as expected waste reduction using a 3 step

fractionation process. Results and cost for destruction of the PFAS concentrate using EO will be presented, as will the total cost per m3 treated water including waste disposal/destruction.

Conclusions

SAFF has been proven to be an excellent compliment to soil washing as it is a robust media free solution that treats the bulk fo PFAS using only air. We will present the results from the desruction trial for the PFAS concentrate generated by the SAFF, to evaluate if electrochemical oxidation can be a solution to minimize the waste stream from PFAS soil washing projects.

Email: helena.hinrichsen@envytech.se, Robin.Axelson@envytech.se

In Situ Metal Precipitation (ISMP) of heavy metals

Dirk Paulus, Herwig De Wilde

TAUW Belgium nv

Background/Objectives

An industrial site in the north of Flanders is contaminated with an historical contamination of a variety of contaminants like heavy metals, sulfate and ammonia due to spills and calamities starting early 20th century.

A cost effective and sustainable remediation technique compared to a traditional pump and treat (P&T) system was proposed to the problem holder for further investigation.

The technique of in situ metal precipitation (ISMP) was selected and lab and field tests were realized to evaluate the feasibility of the technique.

Contamination

Most of the contamination is difficult to reach due to the presence of industrial buildings. In the core zone an extreme high concentration of sulfate (up to 18,000 mg/l) and heavy metals (sum of heavy metals up to 12,000 mg/l) was measured under strong acid conditions (pH of 1).

Local geology

The local geology at the site is a complex of alternating sand and clay layers resulting in a three aquifer system. The top aquifer is a (presumed) perched aquifer. The second aquifer is sandwiched between two clay layers. The two top layers are heavily contaminated with heavy metals (As, Cu, Ni, Pb and Zn ranging into hundreds of mg/l) and a low pH due to a calamity in the thirties. The third aquifer also is impacted with heavy metals though to a lesser extent (hundreds of µg/l). The aquifers are not used for drinking water purposes but water from the third aquifer is used for industrial use.

Labtest

In order to test the feasibility of the technique of ISMP -prior to the field test- a labtest was realised. Two conditions were tested:

1. Precipitation as metal sulphides using a carbon source (protamylasse and sodium lactate)
2. Adsorption of heavy metals on iron(hydr)oxides after using ferrous sulphate.

Field testing

A field test was conducted in the source zone and in the plume area to investigate the feasibility of the technique of ISMP. ISMP should be capable of controlling the spreading risk from the contaminants of concern (COC's).

The field test was realized in two separate test zones :

Zone 1 (core zone): Chemical approach with precipitation of heavy metals as metal sulfides using a solution of Ca-polysulfide.

Zone 2 (plume zone): Biological approach with the reduction of sulfates to sulfides using a C-source with a pH correction (potassium bicarbonate)

Results/Lessons learned

The results of the field test indicate that in the core zone a rapid consumption of the injected Ca- polysulfide was observed due to the high concentration of COC's and due to strong oxidative conditions responsible for a fast oxidation of the injected sulphides to sulphates indicating the limits of a technique as ISMP.

In the plume zone also a rapid consumption of TOC was measured. However after the second injection of September 2021, reductive conditions were created with a sharp decline of dissolved heavy metal concentrations.

During the presentation these results will be discussed in more detail.

Costs and sustainability

ISMP is a less costly and a more sustainable approach compared to a classic pump and treat (P&T) remediation. The injection of a harmless carbon source enhances the biological precipitation process avoiding the huge mobilization costs, the high consumption of energy and production of waste materials caused by a P&T system making ISMP a more sustainable remediation technique than the more classic remediation techniques.

Email: dirk.paulus@tauw.com, herwig.dewilde@tauw.com

Complex groundwater flow and contaminant transport model for groundwater management of a pfas contaminated site

Michele Remonti¹, Alberto Stefania¹, Gerd Van Den Daele², Nicholas Gwyther², Dirk Nuyens²

¹ERM Italia S.p.A., ² Environmental Resources Management-ERM n.v.

Introduction and study objectives

Water is an increasingly scarce commodity subject to growing global pressures. Water demand is continuously increasing, driven by economic and population growths. In many European areas, demand is already exceeding sustainable supply and, alarmingly, it is estimated that by 2030 the demand for water in Europe will exceed total supply by 40%. Additionally, water supply is stressed by growing pressures and unpredictable weather patterns due to climate change.

On the other hand, the water systems are stressed by the presence of industrial contaminants, like per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS), which have emerged as a major concern in the realm of environmental contamination due to their ubiquitous presence, persistence, and potential adverse effects on human health and ecosystems. In recent years, the extent of PFAS contamination in groundwater has gained significant attention worldwide, with Europe being no exception, demonstrating, once again, the vulnerability of the groundwater systems to contamination.

In the context of increasing water scarcity and growing human pressures on available water supply, due to the effects of climate change and impacts from legacy and emerging contaminants, there is urgent need to improve the management of groundwater from contaminated sites by incorporating water sustainability concepts. The application of numerical groundwater models have proved to be a very useful tool within the decision-making framework.

This study will present a complex numerical model developed for the management of groundwater at a large PFAS contaminated site in Europe. The model incorporates an extensive hydrogeological database for a large area surrounding the site and has been calibrated embedding state-of-the-art calibration principles, that allowed to quantify the uncertainty associated to model predictions, which is key

to managing risks associated with the optimization and selection of remedial alternatives.

Materials and methods

The has been developed for an active industrial PFAS production plant built on sandy and silty-sandy riverine sedimentary depositson the flood plain of a big river. The hydrogeological system is comprised by two aquifers, separated by a discontinuous and heterogeneous silty aquitard. The first aquifer is comprised by made ground deposited in the past decades to artificially rise the ground level in the vicinity of the river. A network of impermeable buried dikes is present in the subsoil, complicating the groundwater circulation.

The model is a 3-D, numerical groundwater flow and PFAS transport model, created using the finite-volumes code MODFLOW-USG Transport with the user interface Groundwater Vistas 8. It has been calibrated with the inverse code PEST-Hp and the pilot points technique. The model domain is 6.7 km x 5.3 km large. The model structure was created based on a 3D geological model developed with the software MVS (Mining Visualization System), implemented using thousands of CPT logs data, validated by soil borings. The grid is comprised by 7 layers and 50x50 m cells, refined up to 3x3 m using a Quadtree refinement.

The calibration of the model was conducted using a complex approach based on the inverse optimization code PEST (Doherty, 2015) and the Single Value Decomposition (SVD) technique, including 5 phases: 1) Quasi steady-state simulation of the average flow conditions of the aquifers, including 614 head targets, 67 head-difference targets and one flux target; 2) transient flow simulation of a hydraulic connection test; 3) transient flow simulation of the activation of a well point system; 4) transient flow simulation of a pumping test; and 5) transient transport simulation of the main PFAS of concern (PFOS) transport for 45 years, with 362 concentration targets. The calibration has been conducted using a dedicated informatic infrastructure created to parallelize the calibration runs. The achieved level of calibration is outstanding, and the model demonstrated reliable predictive capabilities during a number of post-audit simulations.

Results and Discussion

The model allowed significant improvement of the hydrogeological conceptual model and guided several phases of field investigation,

which provided tailored data to fill the data gaps progressively identified during the different stages of the model creation and improvement. In this respect, the numerical model was fundamental for understanding the complex site hydrogeology, which is essential for the conceptualization, design, and optimization of reliable remedial alternatives.

The model has been used to assess potential remediation strategies by exploring different approaches and evaluating their efficacy and sustainability as determined by comparing their groundwater abstraction rates and their efficacy in achieving hydraulic containment within the site boundaries. The explored remedial approaches comprised various configurations of the following technologies 1) hydraulic barriers; 2) capping; 3) sheetpiles at different depths. The predictive simulations showed that different remedial alternative scenarios are associated with varying groundwater abstraction rates needed to achieve containment of the impacted groundwater, with variations of up to the 75% between the groundwater abstraction rates of the least and the most water-intensive containment solution. This demonstrates how the use of the model may have positive impacts on the aquifer mass balance, with corresponding benefits in terms of water sustainability and of operational (OPEX) management costs.

The use of PEST-HP also embedded the stochastic evaluation of the model predictions to quantify the uncertainty of the model parameters, allowing to assess the level of uncertainty of the remediation OPEX costs associated with the different simulated scenario. This calculation was also useful to design the water treatment plant to treat the abstracted water, considering reasonable safety factors to determine the plant capacity.

Conclusions

With this work, the groundwater model developed for a complex contaminated site is presented under the broader context of water sustainability, as a tool that can provide a substantially improved and refined hydrogeological conceptual model. The comprehensive calibration and validation procedure implemented with PEST-Hp allowed to include into the model all the hydrogeological information available, resulting in reliable scenario predictions. As such, the numerical groundwater model is a critical part of the decision-making process to assess the configuration of different remedial alternatives

in a way that can optimize groundwater abstraction volumes and achieve the desired hydraulic containment objectives to avoid contaminant migration, minimizing the quantitative impact on groundwater resources.

Email: Michele.Remonti@erm.com;

GennaroAlberto.Stefania@erm.com, Gerd.VandenDaele@erm.com,
Nicolas.Gwyther@erm.com, Dirk.Nuyens@erm.com

Technical and economic assessment of pilot testing PFAS removal from groundwater using Gac and Sorbix™ ion exchange resin at a Swedish airport

Jeffrey Lewis¹, Jörgen Lindahl¹, Carol Jarpa de Emilson²

¹ECT2 Sweden, ²Skövde municipality

Introduction and study objectives

Skövde airport is a regional airport in central Sweden that is being converted by the municipality into an industrial park. Consultants reports showed PFAS concentrations in the groundwater up to 17 000 ng/L, much higher than the permissible level of 90 ng/L. ECT2 was asked to perform a pilot test on the groundwater to determine the most cost-effective solution for a pump-and-treat system.

Results and Discussion

The breakthrough curves for the GAC and Sorbix™ IX are shown in Figure 2. The breakthrough in the GAC reached 90 ng/L after 7000 bedvolumes while the breakthrough in the Sorbix reached 90 ng/L after 80 000 bedvolumes (projected not measured). The consequences of these breakthrough times, combined with the physical size of the full-size plant dictated by the experimental conditions in Table 1 were used to calculate the operational costs and capital costs of a plant. Annual media costs were estimated to be 99 000 euros for a GAC solution and 22 000 euros for a Sorbix™ solution. The operational costs for an ECT2 regenerable ion exchange solution were estimated to be 3 000 euros per year.

Conclusions

The technical results of the pilot were used to estimate the operational and capital costs of a full size solution for PFAS removal from the groundwater at Skövde airport. The results show that a Sorbix™ solution is most cost effective in this case.

Email: jklewis@ect2.se

3D hydrogeophysical and time-sensitive model for remediation of a LNAPL-polluted site

Paolo Ciampi¹, Carlo Esposito¹, Giorgio Cassiani², Gian Piero Deidda³, Edoardo dell'Armi⁴, Marco Petrangeli Papini⁴

¹Department of Earth Science, Sapienza University of Rome

²Department of Geosciences, University of Padua

³Department of Civil, Environmental Engineering and Architecture, University of Cagliari

⁴Department of Chemistry, Sapienza University of Rome

Contaminated sites present complex systems that pose challenges in their characterization and remediation planning. The distribution of contaminants and hydrogeological properties can vary significantly at the site-specific scale, leading to issues of under-sampling. Achieving sufficient spatial resolution in characterization is a major concern and an ongoing area of research. In this study, we demonstrate the benefits of a dynamic multi-source approach in characterizing and remediating a hydrocarbon-contaminated site. We compile detailed data from various sources, including stratigraphic boreholes, laser-induced fluorescence surveys (LIF), electrical resistivity tomography (ERT), and groundwater hydrochemical monitoring, into an interactive big-data package for real-time 3D modeling during different stages of characterization and remediation. The outcome is a comprehensive conceptual hydrogeophysical model that integrates data from multiple sources, capturing hydrogeological and geophysical structures, as well as the spatial and temporal dynamics of contamination. By combining knowledge in this integrated model, we can discern geophysical findings based on lithological features and contamination effects, revealing the true characteristics of the pollutant, contamination mechanisms, and residual hydrocarbon sequestration influenced by hydrogeological dynamics and remediation actions implemented on-site (such as pump-and-treat methods). The emerging hydrogeophysical conceptual site model (CSM) serves as a dynamic interface for designing enhanced remediation actions, specifically targeting light non-aqueous phase liquids (LNAPLs), and is monitored using non-invasive techniques. The 3D hydrogeophysical model guides the design of a field experiment, involving the injection of reagents into the subsurface to stimulate

desorption and oxidation of residual hydrocarbons. Geophysical and groundwater monitoring during the field test assesses the effectiveness of the intervention in terms of product diffusion capacity and actual reduction of pollutant concentrations. Notably, non-invasive monitoring of reagent migration and its ability to reach target areas adds significant value to the remediation technique. Through the utilization of physical recovery techniques, a substantial portion of organic contaminants is decomposed, mobilized, and subsequently removed. This successful recovery of contaminants results in reduced concentrations within the intervention areas. The reagents employed act as chemical enhancers for the pump-and-treat method. These findings underscore the importance of collecting a large amount of data from diverse sources to achieve a reliable and high-resolution reconstruction of the conceptual framework, enabling accurate interpretation of contamination/decontamination dynamics and the performance of the implemented interventions.

Email: paolo.ciampi@uniroma1.it

Technology for Continuous, In-Situ Production of Reactive Oxygen Species

Troy Lizer¹, Will Moody², Claudio Sandrone³, Elie Elgressy⁴

¹Provectus Environmental Products, ²Provectus Environmental Products, ³BAW Remediation Technologies, ⁴E. Elgressy Ltd.

Introduction and study objectives

New technologies are desired for safe, cost-effective, and permanent treatment of groundwater impacted by a wide variety of contaminants that are not readily amendable to conventional (chemical, biological, etc.) treatment technologies. Ideally, the in-situ technology can be employed under challenging conditions (e.g., fractured rock, deep aquifers, low permeability and mixed lithologies) to manage large, dilute plumes often in remote areas. Other benefits would include small footprint, minimal energy consumption (possibly solar), low maintenance, and no external chemical requirements.

Materials and methods

The Provect-[®]EBR[®] system is comprised of subsurface reactors with high catalytic activity for O₂ generation which is constantly reduced to form H₂O₂ and neutral pH. An additional electrode is used as a constant source of Fe²⁺ cations via forced corrosion and effective formation of Fe³⁺ under highly oxidized (>850mV) conditions. Distribution throughout the aquifer of mixed-valent Fe (II,III) (hydr)oxide nanoclusters with various lattice structures and multiple active surface site formations facilitates electron transfer via Fermi level equilibrium shifts into the bulk nanocluster phase forming reactive Fe(III) intermediates. The system radius of influence is self-propagating and increased by imposing an effective constant flux across the well interface due to boundary condition effects and high chemical potential, in addition to the existing natural dispersion and advection forces. Furthermore, electro-osmosis induces groundwater flow between coupled wellbores yielding a more complete approach to aquifer residuals. The intermediate Fe(III) species interact via ternary complex formation facilitating electron transfer between the O₂-Fe²⁺-Fe(II,III) (hydr)oxides complex leading to the combination of two kinds of molecular oxygen activation pathways throughout the aquifer, away from electrode surfaces, and at neutral pH. Such "nanowire" complexes facilitate electron transfer between the reactants which can also have a significant effect on various COI

treatment (such is the case of inorganic heavy metals). These integrated electro-chemical reactions continuously generate in-situ free electrons and multiple reactive oxidant species (ROS) including hydrogen peroxide (H₂O₂), hydroperoxide (HO₂-), superoxide (O₂-•) ions, hydroxyl radicals (OH•), and reactive ferrates (Fe[IV], Fe [V], and Fe [VI]) under safe, low current (0.3 to < 1 mA/cm²), and actively controlled conditions. In the presence of the ROS, targeted COIs are rapidly mineralized (permanently destroyed) via multiple reactions. Notably, the systems are monitored real-time, controlled / adjusted remotely via wireless communications using a secure, user-friendly dashboard interface. The software can compile and archive data, generate reports, and issue programmed alarms.

Results and Discussion

Over the past 5 years, over 30 full scale EBR systems have been safely employed in Israel to permanently and effectively mineralize chlorinated solvents, petroleum hydrocarbons and MTBE present in groundwater aquifers in a rapid and very cost efficient manner. The EBR can also be employed ex-situ (water, wastewater, process water treatment), and it represents a significant technology advancement as an ISCO permeable reactive barrier (PRB) system that is controlled, operated, and continuously monitored remotely and in real-time. Compared to hydraulic containment and ex-situ treatment disposal, deployment of an EBR ISCO PRB represented \$20M cost savings at a single site. Results from various full-scale remediation projects will be presented along with information on cost and processing.

Email: Troy.Lizer@provectusenv.com,

Will.Moody@provectusenv.com ; claudiosandrone@baw-env.it ;

Elie@elgressy-international.com

Simultaneous removal of toxic metalloids and metals from soil using ReSoil® technology

Domen Lestan¹, Juan F.M. Arteaga, Simon Gluhar, Anela Kaurin

¹Biotechnical faculty, University of Ljubljana and Envit Ltd., Slovenia,

Introduction and study objectives

Contaminated soils are one of the most pressing environmental problems. The metalloid As and the metals Pb and Cd are ranked 1., 2., and 7. of substances that pose the greatest risk to human health based on their toxicity and potential for human exposure.

Soil chemistry of toxic metalloids and metals differs, making their simultaneous removal by sustainable remediation techniques difficult. Soil washing with ethylenediamine tetraacetate (EDTA) removes most toxic metals quickly and efficiently. However, only cationic toxic metals form water-soluble chelates with EDTA and can be washed out of the soil. Toxic metalloids such as As form oxy-anions (AsO₄³⁻, AsO₃³⁻) in soil, which do not interact with EDTA.

The goal of this study was to use EDTA, oxalic acid and Na-dithionite for simultaneous removal of toxic metals Pb, Cd and Zn and toxic metalloid As from contaminated soil. The ReSoil® was used as a technical platform for recycling EDTA and process solutions in a closed loop. Another objective of the study was to investigate the sustainability of the novel technology.

Materials and methods

Contaminated soil contained 231, 1558, 3375, and 19 mg kg⁻¹ of As, Pb, Zn and Cd, respectively. For pilot-scale operation, the novel technology was embodied in modified ReSoil®, the flowchart is presented in Fig. 1. In short: 15 kg of air-dry soil per batch was washed with 100 mM oxalic acid, 50 mM Na-dithionite, and approximately 90 mM EDTA for 1 h, and the process solutions were treated at a pH gradient between 12.5 and 2 by adding CaO and H₂SO₄.

Results and Discussion

The main sink for As in soil are Fe oxide-hydroxides. During soil washing (pH 5.2), the As-containing amorphous and crystalline Fe oxide-hydroxide soil fractions were dissolved by oxalic acid and Na-dithionite, respectively. The released Fe was chelated with EDTA,

which prevented the precipitation of new Fe oxide-hydroxide and the re-adsorption of As. At the same time, EDTA chelated toxic metals and removed them from the soil. After soil washing, As, Fe, Pb, Zn, and Cd were present in the used washing solution. Alkalinization of the uWS to pH > 8.0 by addition of CaO destabilised Fe-EDTA and Fe precipitated as hydroxide. The As co-precipitated with Fe.

The process introduced in the original ReSoil® was used to remove Pb, Zn, and Cd from uWS and recycle EDTA. Under alkaline conditions (pH 12.5) generated by the addition of CaO, the toxic metals in the EDTA chelates were replaced by Ca. The released toxic metals precipitated as hydroxides and were removed from the uWS. The EDTA was recycled as Ca-EDTA. After alkalinisation, the precipitated Fe hydroxide was highly adsorptive for Pb and Cd. This further shifted the equilibrium of the Pb-, Zn-, Cd-EDTA substitution reaction towards the products: release of the toxic metal ions and formation of Ca-EDTA.

Removing contaminants and reagents from the used process solutions and reusing the solutions in a way that does not generate wastewater is essential in sustainable soil washing. Oxalic acid was precipitated during the washing as Ca-oxalate and was removed from the system after solid/liquid separation. Na-dithionite disproportionated rapidly in aqueous solutions. By using Na-dithionite and re-supplying fresh Na-EDTA, Na⁺ was continuously introduced into the remediation system. The soil possessed sufficient cation exchange capacity to adsorb the excess Na⁺, concentration in initial remediation batches increased and then stabilised.

The dissolution of toxic metals by Ca-EDTA is kinetically hindered compared to Na-EDTA. The addition of oxalic acid reduced the soil washing time to only 1 h. The stability of the Ca-EDTA chelate decreases with the acidity of the solution. In contrast, oxalic acids form strong chelates with Ca under acidic conditions. The chelator was activated because oxalic acid lowered pH and captured Ca from Ca-EDTA.

The contaminated soil was washed in 9 consecutive batches. On average, 60, 76, 29, and 53% of As, Pb, Zn, and Cd were removed, no wastewater was generated and EDTA was recycled.

In ReSoil®, zero valent iron (ZVI) is mixed into the soil slurry immediately prior to solid/liquid separation to curb emissions by adsorbing toxic metals and their EDTA chelates to the oxide-hydroxide shell that forms around the ZVI core. The sequestration of As was

especially effective. phytoaccessibility (CaCl₂ extraction), and mobility (NH₄NO₃ extraction) were reduced 22 and 104 times.

Inhalation of soil dust and direct ingestion of soil are the main routes of exposure to As and Pb, particularly in children due to their hand-to-mouth reflex. The accessibility of As from human gastric and gastrointestinal phases were reduced 6 and 51 times, and of Pb 6 and 10 times.

The growing demand for soil ecosystem services requires remedial solutions that can put soil to productive use. Remediation had minor effects on organic matter content, available K content, soil carbonates, and soil texture. The concentration of N and available P was lower after soil remediation, presumably due P immobilisation by ZVI, but their loss was easily amended by soil fertilisation. Rapeseed (*Brassica napus*) produced 1.9 times more biomass on remediated soil, accumulated no As and 5.0, 2.6, and 9.0 times less Pb, Zn and Cd, respectively. Remediation had no effect on soil functioning assessed by fluorescein diacetate hydrolysis, dehydrogenase, β -glucosidase, urease, acid and alkaline phosphatase activities.

Conclusions

The novel technology for the simultaneous removal of toxic metalloids and metals from soil was scaled up on the ReSoil® platform. The results proved the efficiency in As, Pb, Zn and Cd removal and hazard mitigation. No wastewater was generated, only solid waste. The concentration of toxic elements in potential leachates from remediated soil was effectively minimised by adding ZVI to the soil slurry. The technology preserved the chemical and mechanical quality of the soil, soil functioning and properties as a plant substrate.

Email: domen.lestan@bf.uni-lj.si; Juan.Arteaga@bf.uni-lj.si,
Simon.Gluhar@envit.si; Anela.Kaurin@envit.si

American perspective of the soil remediation market

Tatiana Morin¹, Paul Mankiewicz, Meg Brown

¹Urban Soils Institute INC., Canada and United States of America

Introduction and study objectives

Heavy metal contamination has a long legacy in North America. Dating back to hat makers, black smiths, coal mining of the 1700s, and leading into the Industrial Revolution, heavy metal contamination started to leave its signature in the soils below, poisoning its effect for generations to come. Industrial revolution (USA) contamination began a wide spread of heavy metal loading into terrestrial and subaqueous soils, plaguing cities, industrial parks, remote testing grounds, harbour and river towns and cities. This signature has created a commonality amongst unique areas and cities across the U.S. and Canada.

Air pollution with heavy smog started covering cities in the 1940s, exposing the extent of industrial waste. The Clean Air Act (1967), the National Environmental Policy Act (1970), and the Clean Water Act (1972) were instated as a result of movements lead by environmentalists and concerned citizens in the 1960s and 70s reacting to visible intense pollution, environmental deterioration, and death tolls. In 1978, the case of the Love Canal introduced the first human-caused environmental case to enact a state of emergency by the U.S. President, triggering Superfund site designations and government investigations and regulations for toxins and hazardous waste. Since this time, heavy metal pollution has become a focus point for many researchers, government bodies, human rights, and environmental justice groups. In recent years, climate change pressure has coaxed cities into a 'sustainable cities movement' adopting green infrastructure and climate resiliency efforts.

Attention is finally turning to soils, and this attention is changing from handling soils as a waste or a fill material, into a valuable resource and critical solution for improving quality of life, liveability of cities, and a key component for climate resiliency. This change is at its turning point, making the market ripe for introducing soil remediation as a cost saving solution for reviving ecosystems, adding valuable green spaces into cities, as well as rehabilitating contaminated real estate and industrial zones.

The potential market for soil remediation in the States is influenced by various pressures and differs across sectors and communities:

regulations and mandated clean-ups come from the top; the sustainable (climate resilient) cities and environmental justice movements push government and industry to embrace 'green' solutions; research and awareness spread to communities; communities with access to knowledge on contamination and remediation solutions activate and demand change from industry and government; underserved communities who are given the opportunity for an improved quality of life push for improvement everywhere.

To create a sustainable market for soil remediation is to afford opportunity in varying areas of the economic sectors. This ensures a wave of change across the spectrum instead of providing it in silos.

Materials and methods

There are two important elements for penetrating the market for soil remediation: 1) assessment of the historic and current economic culture of soils in the U.S. 2) scientific evidence and demonstration of ReSoil® soil remediation technology and 2) building relationships and trust (credibility). This approach will validate an investment of resources that in return, will ensure a sustainable market.

The strategy is to work top down and bottom up to produce a stable market, creating an exchange of knowledge and capacity, bringing with it visibility and demonstration. The proposed strategy projects the following: Soil remediation implemented at the top (government level) saves on contamination disposal costs, creates revenue in a renewed resource, translating the benefits across other government structures, to their communities, and increases the standard for clean-up for other industries. Industries gain compliance, increase their production, save costs on waste, and boost their public reputation. Funding sources and research reveal and spread awareness of the benefits of rehabilitated soils in optimizing growth and development of sustainable cities through ecosystem revival, food security and climate resiliency efforts supported by soils. Communities get the trickle down benefits from these improvements and are empowered by the awareness and knowledge generated by this change. It also works in reverse. It is important to empower at the community level. A philanthropic approach to the market is equally valuable and important. Soil remediation needs to be offered by a grant program to community gardens, underserved communities, farms, schools, neighbourhoods, as a way to provide a better quality of life and to

support the communities in their rights to better health and wellness. This approach also contributes to the pressure for industries and government to adopt soil remediation strategies when demanded by the communities.

Results and Discussion

Interactions with soils has been increasing in the U.S. driving demand for clean soils. Currently, to meet this demand, soils are exported and imported, costing a city like New York over \$60 million USD per year. Market value is in cost savings and revenue streams for what was once waste, with direct and indirect cost benefits in agriculture, land value, liveability index, increased real estate development, and others such as healthier people, job creation, a decrease in fees, penalties and law suits, etc. This is yet to be researched and thoroughly examined. We are in the midst of this currently.

Conclusions

Where there is and has been industry, wastewater treatment, military training, there is contamination. Where there is food, gardening, parks, people, real estate, there is a push for change, and a demand for a healthy environment, which starts with the soils. Soils are the filter for the air, water, and support the living biota that run the planet and make life possible. Where soils can be uncovered, rehabilitated, and allowed to perform at their capacity without aborting or compromising growth and development in our built worlds, true sustainability will reign, benefiting the economy, saving the costs that were once allotted towards PR and clean up objectives, and waste disposal. The market is ripe for an affordable remediation technology that turns our waste soils into a resource that is in high demand. ReSoil® has the potential to be made available to a diverse market including low income and underserved communities. This technology preserves the soils' structure and life and does not create waste, giving it a higher value in reuse. The same market approach in NYC will work in other cities and areas of the United States, since the contamination problem is common across the US.

Email: tatiana@urbansoils.org; paul@thegaia institute.org,
meg@urbansoils.org

Treatment of hydrocarbon-contaminated soils with biosurfactants obtained from agricultural wastes

Teklit Ambaye¹, Francesca Formicola², Andrea Franzetti², Silvia Sbaffoni³, Mentore Vaccari¹

¹University of Brescia, Dep. of Civil, Environmental, Architectural Engineering and of Mathematics, Brescia

²University of Milano-Bicocca, Dept. of Earth, and Environmental Sciences -DISAT, Milano, Italy

³ENEA, Sustainability Department, Resource Valorisation Lab, Casaccia Research Center, Rome, Italy

Introduction and study objectives

Petroleum hydrocarbons (PHCs) are a toxic mixture of paraffinic, aliphatic, and aromatic components and have become a serious environmental problem due to their ability to pollute soil and water (Ambaye et al., 2022). Various biological techniques are used to remove hydrocarbons from the environment through the metabolism of bacteria or other microorganisms; however, these processes have some limitations, such as the low biological availability and low water solubility of PHCs.

As a naturally green material, biosurfactants are presently gaining significant importance because they are eco-friendly, like biodegradation and bioremediation techniques. Compared with chemical surfactants, biosurfactants have many potential advantages, such as high selectivity, biodegradability, biocompatibility, bioavailability, and ecological acceptability, as well as higher efficacy under extreme temperature and salt concentration conditions. Biosurfactants are successfully applied in microbial oil recovery, pharmaceuticals, cosmetics, wastewater treatment, and sludge treatment (Ambaye et al., 2021). The application of biosurfactants makes it possible to increase the bioavailability of hydrocarbons in soil by increasing the rates of microbial biodegradation (Ambaye et al., 2021). This phenomenon depends on the ability of biosurfactants to enhance hydrophobic and hydrophilic interactions in reducing surface tension, thus promoting oil mobilization and micelle formation (Ambaye et al., 2021). However, due to the higher cost, the application of biosurfactants compared with chemical ones is still falling behind. Therefore, for large-scale production of biosurfactants, cheaper and more widely available substrates need to be used. In this regard, much

attention has recently been paid to the production of biosurfactants from agroindustrial wastes (Chebbi et al., 2021). Grape pomace and grape lees are agroindustrial wastes composed of hemicellulose, cellulose, and sugars that can be used for cost-effective biosurfactant production. This paper summarizes the main results obtained in the treatment of hydrocarbon-contaminated soils using biosurfactants produced from *Burkholderia thailandensis* E264 strains in remediation technologies (bioslurry and microbial electrochemical treatment).

Materials and methods

Microcosm tests with bioslurry reactors

Degradation studies were conducted in microcosms consisting of 6 bioslurry reactors, using 100 g of diesel-polluted soil suspended in 500 mL of distilled water. 1-liter Erlenmeyer flasks with constant mixing by mechanical mixers at 150 rpm were used as bioreactors to ensure substrate availability and oxygen transfer for about 10 days.

The following operating conditions were tested: (i) Control = 100 g medium + 500 mL distilled H₂O; (ii) Biostimulation = 100 g medium + 500 mL distilled H₂O + 1.5 g NH₄Cl + 0.1 g KH₂PO₄; (iii) Surfactant = 100 g medium + 500 mL distilled H₂O + 0.5 g KH₂PO₄ + 0.014 g/L Tween 80; (iv) Activated sludge = 100 g soil + 500 mL distilled H₂O + 5 g/L activated sludge; (v) Biosurfactant = 100 g soil + 500 mL distilled H₂O + 500 mL crude biosurfactant; (vi) Combined = 100 g soil + 500 mL distilled H₂O + 1.5 g NH₄Cl + 0.1 g KH₂PO₄ + 5 g/L activated sludge + 275 mL crude biosurfactant.

Microbial electrochemical treatment (MET).

Two series of experiments were performed in fed-batch mode using a MET system containing the hydrocarbon-contaminated soil sample at 20 °C for 30 days (a total of four cycles). The anodic medium consisted of 25 g/L (1:10) of diesel-polluted soil and a mineral medium. The effect of biosurfactant concentration on the degradation efficiency of petroleum hydrocarbons in the MET anode was studied using three different concentrations of biosurfactants in the anode solutions: 10, 50, and 100 g/L. In addition to the abiotic control, another negative control was also planned with the same conditions as the biotic systems, but without the use of biosurfactants. The addition of biosurfactants for the degradation of petroleum hydrocarbons and the production of electricity during dual chamber cell operation was measured by GC FID gas chromatography (Agilent 6890) (DB5 column

(I=30-60m)) and an Auto lab potentiostat-galvanostat (PGSTAT302N), respectively.

Conclusions

In summary, the results of the experiments have shown that *Burkholderia thailandensis* strain E264 is capable of producing biosurfactants at high rates from olive and, especially, wine wastes. In addition, the addition of the produced biosurfactants significantly increases the removal of hydrocarbons from contaminated soils in both conventional biological processes such as bioslurry and bioelectrochemical processes.

Email: mentore.vaccari@unibs.it, teklit.ambaye@unibs.it,
Andrea.franzetti@unimib.it, francesca.formicola@unimib.it,
silvia.sbaffoni@enea.it

From tree pruning wastes to sustainable soil remediation

Laura Passatore¹, Serena Carloni¹, Alessio Cherubini^{1,2}, Sara Marinari², Luisa Massaccesi², Valentina Mazzurco Miritana¹, Eleonora Peruzzi³, Fabrizio Pietrini¹, Massimo Zacchini¹, Isabel Nogues¹

¹Research Institute on Terrestrial Ecosystems, National Research Council (IRET-CNR) SP 35d, km 0,7, 00010 Montelibretti, Rome, Italy.

²Department for Innovation in Biological, Agro-food and Forest systems DIBAF - University of Tuscia, Viterbo, Italy

³Research Institute on Terrestrial Ecosystems, National Research Council (IRET-CNR) Pisa, Italy.

Introduction and study objectives

Agriculture and forestry generate a great quantity of wood biomass residues from the pruning of olive groves, orchards, urban forests and forest plantations. This residual biomass may be used as a renewable energy source. Currently a significant part of the energy from pruning wastes is lost; open burning is still a common practice in agriculture though it presents considerable detrimental impacts to the environment. Apart from energy, biomass pyrolysis leads to the production of biochar, a vegetal black carbon. Biochar is receiving much attention in recent times for soil remediation [1] and for its potential in carbon sequestration [2]. The surface area and the adsorption capacity of the pore structure make biochar suitable for the immobilization of toxic compounds [3]. Furthermore, from an ecological perspective, the pores and particles of biochar may provide a niche for the growth and reproduction of microorganisms. The use of biochar in synergy with other biological techniques, such as rhizoremediation and bioaugmentation, can represent a powerful strategy to accelerate the removal of organic pollutants from soil and to reduce the mobility of heavy metals.

Within this context we aimed:

- to set up best solutions to exploit pruning wastes for the production of energy and biochar
- to test different strategies for soil remediation using biochar in synergy with phytoremediation and bioaugmentation.

Materials and methods

Biochar production and contaminated soil

Pruning wastes from olive and nut trees were used for energy and biochar production. Biochar was produced by Evergreen Resources s.r.l. Pyrolysis took place at 850°C and at a rate of 100 kg hr⁻¹.

The soil used in the experiment was collected from an agricultural area in northern Italy affected by illegal oil spills. The soil was contaminated with heavy hydrocarbons (C > 12; 10000 mg kg⁻¹), above the threshold concentration established for agricultural areas by Italian legislation (C10-C40 = 50 mg kg⁻¹; DM 46 /2019). The soil pH was 6.0 and the Cation Exchange Capacity was 7.2 (cmol kg⁻¹). Moreover, Cu was added artificially to the soil in a concentration of 250 mg kg⁻¹, higher to the limit established by Italian law for agricultural soils (200 mg kg⁻¹).

Mesocosms set-up and monitoring

Different soil treatments were tested in a greenhouse experiment: contaminated soil (S), contaminated soil + plants (SP), biochar (SB), biochar + plants (SBP), biochar + bioactivators (SBB), biochar + bioactivators + plants (SBBP). Biochar was added at 1% dose in weight (dw) and was equally composed by the two biochar matrices produced (olive and nut trees). Bioactivators were a consortium of microorganisms produced by Eurovix S.p.A.. *Melilotus officinalis* species was selected as plant enhancing soil remediation and revegetation. Irrigation was provided to restore the water lost by evapotranspiration.

Each mesocosm (20x20x20 cm) was equipped with a valve in the bottom to collect the leaching solution.

After 9 months of treatment the following parameters were measured in each mesocosm: C>12 content in soil and leaching solution, according to EPA 3550C and 8270D protocols; total Cu content in soil and leaching solution, Cu bioavailability in soil through Cu fractionation according to Community Bureau of Reference protocol [4].

Furthermore, the soil and the leaching solution sampled at the end of the experimental treatment were used to carry out phytotoxicological assays with *Lepidium sativum* and *Festuca arundinacea* species [5] to evaluate the residual toxicity.

Results and Discussion

Production of biochar

Soil contaminants before and after the experimental treatment have been analysed and the concentrations are summarised in Table 2. The natural attenuation led to a reduction of 47% of hydrocarbon concentration and the treatments with biochar increased the degradation up to 76%.

As expected, the Cu concentration in soil decreased only in the treatment without biochar (Tab. 2). Major changes in the pattern of Cu bioavailability were reported in SBB, SBP and SBBP treatments with respect to

S after 9 months of treatment (Fig.2): it is worth of notice that the most bioavailable and toxic fraction, associated to carbonates (FR1) decreased significantly (from 72% to 55-61%), with a corresponding increase in reducible fraction associated to Fe and Mn oxides (FR2) and to organic matter fraction (FR 3), as a result of biochar application in synergy with phytoremediation and bioaugmentation treatments. The phytotoxicity tests on soil resulting from treatments highlighted a strong decrease of toxicity in the treatments where bioaugmentation was applied with biochar (data not shown).

Conclusions

The valorisation of pruning wastes through pyrolysis is a valuable solution for forest and agricultural management and could be an interesting option to valorise biomasses from phytoremediation activities.

The use of biochar for soil remediation demonstrated to have the following effects:

- To facilitate the dispersion and immobilization of bioactivators products acting as carrier of microorganisms
- To adsorb heavy metals from soil reducing their bioavailability and toxicity
- To improve hydrocarbon degradation

Moreover, biochar has been observed to improve the growth of plants where the pollution negatively affects the revegetation.

Email: mariaisabel.noguesgonzalez@cnr.it, laura.passatore@cnr.it, serena.carloni@cnr.it, valentina.mazzurcomiritana@iret.cnr.it, fabrizio.pietrini@cnr.it, massimo.zacchini@cnr.it, mariaisabel.noguesgonzalez@cnr.it, marinari@unitus.it, alessiocherubini@outlook.it, luisa.massaccesi@gmail.com, leonora.peruzzi@cnr.it

Radionuclide concentration in the sediments of the Sacca di Goro (Italy)

Chiara Telloli¹, Antonietta Rizzo¹, Elena Marrocchino², Carmela Vaccaro²

¹ENEA, Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development Fusion and Technology for Nuclear Safety and Security Department Nuclear Safety, Security and Sustainability Bologna (Italy)

²Department of Environmental and Prevention Science, University of Ferrara, Ferrara (Italy)

Introduction and study objectives

Chernobyl accident introduced many radionuclides into the environment and Sacca di Goro, in the Adriatic Sea (north of Italy) is one of the areas affected by the contamination of Chernobyl products. Since the average lifetime of many radionuclides emitted by the fall-out is now over, a further campaign was carry out to check the current situation of these radionuclides. Sediment samples were collected in the lagoon of Sacca di Goro (Ferrara, Italy). The radionuclide concentration was analyzed by High Purity Germanium Radiation Detectors. The results allow to create a complete mapping describing the spatial distribution of ^{137}Cs , ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th and ^{226}Ra in the sediment of Sacca di Goro after Chernobyl radionuclide contamination.

Materials and methods

Sediment samples were collected in the lagoon of Sacca di Goro, into a depth of 5 cm.

The isotopic analysis of ^{137}Cs , ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th and ^{226}Ra was carried out using the High Purity Germanium Radiation Detectors, (HPGe, ORTEC, Ametek, Tennessee, USA).

Results and Discussion

The grain size distribution of the sediments in the sampling area, which identify three different pattern: silt and clay near the coast and sands to the open sea.

The spatial distribution of the radionuclide analyzed in the sediments is similar to each other.

Sacca di Goro is an accumulation environment of artificial radionuclides from the fall-out.

It is assumed, in fact, that the accumulation is attributable to flocculation processes: mixture of fresh and saltwater.

In particular, this take place with low-density sediments, that is with a high content of silt and clay: sediments of the lagoon.

Conclusions

The results allow to create a complete mapping describing the spatial distribution of ^{137}Cs , ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th and ^{226}Ra in the sediment of Sacca di Goro after Chernobyl radionuclide contamination.

Although many years have passed since the Chernobyl accident, ^{137}Cs are still observed in the investigated area, especially near the coast, characterized by fine-grained sediments.

Fortunately, the studied area is not affected by mollusk cultures, so it would be necessary to investigate possible bioaccumulation in the clams and mussels' habitat.

Email: chiara.telloli@enea.it, antionietta.rizzo@enea.it;
mrrlne@unife.it; vcr@unife.it

Integrated use of screening matrix, sustainability criteria and engagement for design remediation of an agricultural site

Angelini P.¹, Allegrini F.¹, Mancini M.¹, Pianu M.¹, Raffaele V.¹, Valagussa M.², Vieri V.², Francioli A.², Donati D.², Colombo D.²

¹ENI –Energy Evolution Green / Traditional Refining & Marketing;

²HPC Italia s.r.l, Milano;

Introduction and study objectives

A seguito di un'effrazione dolosa del 2019 su un oleodotto da 16" che ha causato una fuoriuscita di idrocarburi dall'oleodotto è stato avviato un procedimento ambientale ai sensi degli articoli 245-249 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i, in quanto area agricola senza produzione a fini alimentari umani. Le azioni di messa in sicurezza di emergenza e di manutenzione della linea hanno portato alla rimozione di una fascia di terreno contaminato di circa 3 m nell'intorno della linea interrata. Per la caratterizzazione sono state eseguite indagini ad alta definizione mediante tecnologia MIP-OIP e indagini tradizionali che hanno portato alla formazione del modello concettuale definitivo del sito ed alla redazione di un progetto unico di bonifica. La contaminazione massima degli idrocarburi pesanti è risultata essere pari a 1600 di mg/kg nei suoli superficiali a 5300 mg/kg per i suoli profondi, su questi ultimi è stata riscontrata anche una contaminazione da BTEX nell'ordine delle decine di mg/kg. Gli esiti dell'analisi di rischio condotta sul sito hanno definito una conformità ai rischi sanitari ed ambientali per i suoli superficiali e una passività che richiede interventi per i suoli profondi (ricompresi tra -1 e -2 m da piano campagna). Per la matrice acque sotterranee è risultato non conforme per un solo piezometro di monitoraggio (hot spot) con eccedenze per composti pesanti.

L'obiettivo del presente caso studio è quello di rappresentare il processo decisionale che ha portato alla definizione della strategia di bonifica anche attraverso la valutazione di più fattori integrati (sostenibilità, stakeholder engagement), in aggiunta agli strumenti tradizionali (screening matrix).

Methodology

Come strumento di supporto alle decisioni per la selezione delle tecnologie più idonee al raggiungimento degli obiettivi di bonifica individuati è stata utilizzata una matrice di screening con lo scopo di rendere trasparente e ripercorribile il processo mediante il quale, si perviene all'identificazione delle tecnologie di bonifica applicabili ed alla relativa comparazione tecnico-economica e di sostenibilità.

La prima fase (Step 1) è finalizzata a selezionare le tecnologie ritenute potenzialmente applicabili in relazione alla tipologia delle matrici contaminate, degli inquinanti presenti ed in base alle caratteristiche delle tecnologie.

Le tecnologie risultanti più promettenti sono quindi state ingegnerizzate al fine di definire con maggiore dettaglio gli aspetti progettuali e fornire elementi valutativi nella seconda fase di analisi di screening.

Per le acque sotterranee vista l'entità degli interventi non si è andati oltre la prima fase di screening in quanto è stata subito individuata come tecnologia più idonea l'ossidazione chimica in situ e biostimolazione.

Per i suoli profondi le tecnologie approfondite sono state:

- Scavo e smaltimento: ingegnerizzata attraverso la movimentazione e separazione dei suoli superficiali dai suoli profondi per il loro successivo invio a smaltimento (nonostante i suoli superficiali siano risultati idonei al riutilizzo in sito a seguito di AdR;
- Fitorimediazione: mediante la piantumazione di cloni di Pioppo a seguito di aratura superficiale dell'area (30-40 cm), erpicazione e predisposizione di buche per l'innesto dei cloni selezionati.
- Tecnologia elettrocinetica: valutazione ed ingegnerizzazione di un sistema, che prevede la creazione, nel sottosuolo contaminato, di un campo elettrico attraverso l'applicazione di una differenza di potenziale a basso voltaggio.

Una volta ingegnerizzate le tre soluzioni è stato possibile procedere alla seconda fase (step 2) che è finalizzata alla comparazione tecnico-economica-ambientale delle strategie di bonifica individuate sulla base delle tecnologie che hanno superato il primo step. A tal fine sono stati approfonditi i 3 criteri di valutazione: tempi, costi e sostenibilità. Tali criteri, una volta quantificati numericamente il valore di ciascuno applicato alle tecnologie prescelte, sono stati valutati secondo 4 scenari di pesatura differente. Al termine di questo percorso di analisi è emersa una sostanziale equiparabilità per le tecnologie scavo e

smaltimento e fitorimedia. In termini assoluti costi complessivi di intervento equiparabili, sostanziali differenze in termini di tempi e sostenibilità.

Il percorso e le tecnologie potenzialmente utili sono state condivise con la proprietà portando alla definizione di uno scenario di bonifica sostenibile per tutti gli stakeholder coinvolti.

La tecnologia prescelta è stata quindi analizzata secondo il suo contributo al raggiungimento degli obiettivi SDGs dell'agenda 2030.

L'analisi di questi due ulteriori aspetti ha permesso di aggiungere degli elementi decisionali andando ad individuare la tecnologia del fitorimedia come tecnologia preferibile per il raggiungimento degli obiettivi primari di eliminazione degli inquinanti dai terreni e dalle acque è il primo obiettivo e maggior contributo delle attività di bonifica (target 6.3) e ripristino dell'area tramite l'eliminazione degli inquinanti (target 15.1). Per quanto riguarda la proprietà, la possibilità di non vedersi depauperata la risorsa suolo e, in considerazione del tipo di sfruttamento dell'area previsto l'opportunità di poter adoperare le biomasse derivate dalle operazioni di bonifica .

Results and conclusions

L'approccio "classico" (tempi, costi e sostenibilità), quest'ultimo approfondito attraverso la valutazione di aspetti quali-quantitativi (impatti su risorsa idrica, impatti energetici, produzione di rifiuti, futuro uso del sito e perturbazione del suolo ecc), valutati secondo 4 scenari differenti di pesatura ha consentito una scelta più consapevole tra gli interventi potenzialmente applicabili.

Il coinvolgimento della proprietà, nella condivisione delle migliori tecnologie risultanti dall'analisi, ha permesso di conciliare l'approccio che meglio soddisfa le esigenze di risanamento con il diritto della proprietà all'utilizzo dell'area, con particolare riferimento al fattore tempo.

Infine, è stato valutato il contributo dello scenario di bonifica scelto agli obiettivi di sostenibilità SDGs dell'Agenda 2030. L'analisi ha evidenziato che, oltre al generale contributo delle attività di bonifica sugli SDGs, traguardabile anche dall'applicazione della tecnologia di scavo e smaltimento, lo scenario della fitodepurazione contribuisce maggiormente al raggiungimento di target di sostenibilità specifici.

Il progetto risulta attualmente in fase di valutazione da parte delle PP.AA. (conferenza dei servizi decisoria convocata per fine agosto 2023). Uno degli ulteriori aspetti esplicitati nel progetto e che saranno discussi in sede di conferenza dei servizi, in caso di approvazione del progetto, è il riutilizzo ai fini produttivi della biomassa derivante dalle operazioni di risanamento, aprendo quindi anche alla potenziale circolarità degli interventi di bonifica.

Email: gabriele.cerutti@hpc.ag; diego.donati@hpc.ag;
alberto.francioli@hpc.ag

Remediation and Closure of LNAPL Contaminated Site Using an Innovative 3-Step Approach from Remedial Design to In-Situ Remediation

Gabriele Giorgio Ceriani¹

¹*Ejlskov A/S, Århus – Denmark*

Background/Objectives

As part of the refurbishment of an active gas station site in Finland, the underground storage tanks and dispenser islands were replaced. The remaining portion of the property was planned to be leased and used as a new parking lot for a neighboring supermarket. Deep soil and groundwater contamination (below 10 meters (m) below land surface (bls)) from BTEX compounds was present under the area planned for leasing and the client needed an in-situ remediation solution which did not disrupt the site. A quick turnaround allowing access to the remediation area soon after completion of the in-situ activities was also required. Separate soil and groundwater criteria were set for BTEX, TPH and MTBE within the remediation zone and downstream to be achieved within 5-10 years post-remediation. The ultimate objective was to achieve and maintain Benzene at $<1\mu\text{g/l}$ both within the remediation zone and at a compliance well located 60 m downstream of the site.

Approach/Activities

The historical site investigation data from the site were reviewed and data gaps identified. The first step was to conduct a high frequency remedial design characterization (RDC) to assess the overall lateral and vertical extent of the soil contamination at the site (both unsaturated and saturated formation) by use of MIP probing (qualitative delineation) followed by collection of hundreds of soil samples within the contaminated area to estimate the total soil contaminant mass at the site (quantitative assessment). Soil cores were performed via a direct push/dual casing technique. Soil samples, within PVC liners, were collected every 50 cm or even more frequently based on the vertical contamination profile information gathered during the MIP investigation. The RDC results showed presence of residual LNAPL. The second step included high frequency data 3D modeling used to create a surgical injection design. The third step

consisted of using Trap and Treat® BOS 200® as the in-situ technology. The reagent was installed at 267 injection points at depths between 4 and 14 m bls. Approximately 65,000 kg of BOS200® and additional slow release electron acceptors were installed.

Results/Lessons Learned

The implementation of the 3-Step approach at the site has proven highly successful. The site was ready for redevelopment into a parking lot within a few weeks following completion of the remediation. Three (3) monitoring wells within the remediation zone were demolished during the construction of the new parking lot. Re- installation of the wells showed within 30 months post-injection constant improvement of groundwater conditions, with 2 out of 3 wells showing benzene <1µg/l and the third well slightly above criteria. TEX, TPH and MTBE were all below criteria. Validation soil samples were performed 36 months post injection and indicated clear evidence of mass removal, including achievement of the soil criteria for TEX, MTBE and TPH. Benzene was observed between 1 and 4.5 mg/kg (compared to 1 mg/kg target) in only 4 out of 63 soil samples analysed. At the downstream compliance point, benzene was constantly below criteria throughout the first 32 months post injection. Based upon this information, the local authorities allowed the client to cease the groundwater monitoring operations within the remediation area as several objectives were achieved.

Email: ggc@ejlskov.com

In-Situ Remediation of DNAPL Source and Plume at an Active Industrial Facility with Innovative Enhanced Reductive Dichlorination Technology

Gabriele Giorgio Ceriani¹

¹*Ejlskov A/S, Århus – Denmark*

Background/Objectives

A Tetrachloroethylene (PCE) spill of unknown magnitude caused high levels of soil and groundwater contamination at a dry cleaning facility in Northern Europe, where a large PCE plume was impacting the groundwater formation on and off-site. Historical site characterization works and remedial efforts by means of Pump&Treat (P&T), Bio-Air Sparging and excavation have been conducted from early 2000's until 2016. Despite such efforts, additional remediation works were required by the authorities.

Local geology consists of fine to coarse sand from ground level to 5 m bgl followed by glacial till, boulder clay to approximately 12-13 m bgl in most parts of the site and off-site. Elsewhere on site, fine sand to 3 m bgl are followed by a shallow clay-silt formation to approximately 6-7 m bgl, gravelly sands to 10 m bgl and again clay, glacial till. Bedrock is found unevenly across the site starting from 12-13 m bgl or deeper. Two groundwater formations are found at the site. A first shallow/perched unconfined aquifer is found at 4 m bgl in the clay-silty formation followed by a second semi-confined aquifer starting at 10-11 m bgl.

Approach/Activities

In May 2016 an extensive Remedial Design Characterization (RDC) covering the entire site and part of the off-site downstream area was performed (60-70,000 sqm). This event included 45 Membrane Interphase Probe (MIP) points, 21 soil core locations, 13 newly installed monitoring wells. 255 soil samples and 38 groundwater samples were collected. The RDC defined the actual location, extent and magnitude of the soil contamination including discovering a large DNAPL area. A total of approximately 17,000 kg of PCE contamination were assessed to be present on site.

Based on the results from the RDC, the selected remediation approach was a combination of BOS100® and CAT100 providing abiotic treatment where less contamination was found and Enhanced Reductive Dichlorination (ERD) treatment in DNAPL and highly contaminated areas.

Injection works were started in April 2017 and completed by August 2017 including works inside the main building basement (less than 2.2 m clearance). During the injection works approximately 48,000 kg of CAT100 and 3,800 kg of BOS100® were injected in the subsurface from depths varying from 3-6 m bgl to approximately 7-12 m bgl. A total of 702 injection points were completed over an approximate total area of 2,200 m².

Targets of the remediation was to achieve a significant reduction in PCE concentrations at the site boundary from levels of ten-thousands of µg/l to 10 µg/l.

Results/Lessons Learned

60 months after injection completion, 96% average reduction in PCE concentrations has been observed in the monitoring wells located in the areas targeted by the remediation and all indicators of biological degradation are providing clear evidence that ERD is on-going and will continue in the future. DNAPL levels of contamination in groundwater have shown several orders of magnitude reductions within few months. Regular groundwater monitoring is planned to continue based on regulators requirements.

Email: ggc@ejlskov.com

Use of sunflower for plant-assisted bioremediation of a degraded soil mixed with marine sediments contaminated by Polychlorobiphenyls

Valeria Ancona¹, Angela Gatto², Giorgia Aimola¹, Paola Grenni³, Gian Luigi Garbini³, Livia Mariani³, Daniela Napolitano⁴, Vito Alessio Lacirignola⁴, Marina Tumolo¹, Anna Barra Caracciolo³

¹National Research Council, Water Research Institute (Bari), Italy;

²National Research Council, Institute of Sciences of Food Production (Bari), Italy;

³National Research Council, Water Research Institute (Rome), Italy;

⁴CISA SpA, Massafra (TA), Italy.

Introduction and study objectives

Plant Assisted BioRemediation (PABR) is a green technology aimed at the environmental requalification of contaminated areas. This technology can use different species of plants capable of promoting the decontamination of soil, sediments, and water. Synergistic interactions are established between the plant species and the microbial community of the rhizosphere (portion of soil surrounding the roots) which take place through a real "chemical dialogue". In fact, between the plant and its microbiome there is an exchange of nutrients, organic matter and secondary metabolites which favour both the removal of a contaminant and the improvement of the quality of the treated substrate. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) has shown in numerous studies a high capacity to remove pollutants, especially heavy metals. In the present work study, sunflower was tested at greenhouse scale, setting up microcosms with a soil historically multi-contaminated by heavy metals and polychlorinated biphenyls (PCBs), collected from a site located in Taranto (Apulia Region). The soil for setting up the microcosms was mixed with marine sediment from the Mar Piccolo (TA), also contaminated by PCBs. Furthermore, the use of a soil improver obtained from organic waste (compost) was tested to evaluate the effectiveness of biostimulation treatments in increasing the decontamination efficiency of PABR technology.

Materials and methods

Soil was collected from an historically PCB and HM contaminated site, located close to Taranto (Apulia Region, Southern Italy). About 20 kg of composite contaminated soil (0-20 cm) was sampled and utilized for microcosm set-up. Moreover, a municipal solid waste compost (ISO/IEC 17025 certified), provided by Progeva srl, (Laterza, Italy), was employed to perform a compost treatment. The experimental conditions are illustrated in Figure 1. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds (Pi 650342) provided by the USDA-GRIN (U.S. National Plant Germplasm System, <https://www.ars-grin.gov>), (cv Argentario, Italy) were used in the planted microcosms.

Soil physico-chemical analyses (e.g., pH, EC, etc) and contaminant analyses were carried out on soil samples collected at two times of investigations (45, 90 days) in each microcosm experimental condition. Parallely, microbial analyses were performed to evaluate total microbial abundance (DAPI counts), microbial dehydrogenase activity; moreover, qPCR analysis were performed for assessing the autochthonous microbial community composition. Finally, ecotoxicological tests were carried out on the solid mixtures collected from microcosms to assess the efficacy of PABR technology.

Results and Discussion

The main results obtained in sunflower planted microcosms evidenced that soil PCB concentration reduced at end of the experiment (90 days) strongly in presence of compost (Figure 2). In the unplanted microcosm a PCB removal was observed only when the organic amendment was added. Microbial abundance and dehydrogenase activity highly increase in all the sunflower planted microcosm; the highest values were observed in the planted microcosms treated with compost (data not shown).

Conclusions

Preliminary results evidenced that Compost addition increased soil quality in terms of microbial abundance and dehydrogenase activity. Further investigations are on-going to characterize microbial structure and composition in rhizosphere soils.

Email: ancona@irsa.cnr.it; angela.gatto@ispa.cnr.it;
giorgia.aimola@ba.irsa.cnr.it; grenni@irsa.cnr.it; garbini@irsa.cnr.it;
mariani@irsa.cnr.it; daniela.napolitano@cisaonline.it;
alessio.lacirignola@cisaonline.it; barracaracciolo@irsa.cnr.it

Application of natural and modified zeolites for wastewater treatment

Francesco Panattoni¹, Marianna Tardani¹, Cosimo Masini¹

¹DND Biotech

Introduction and study objectives

The increasing industrial activity generates large amounts of wastewaters containing different chemicals, such as nitrogenous compounds, heavy metals, anionic species (e.g., arsenic and chromium) and organics. If improperly disposed of, these species may have negative effects on the environment and on human health. Removal of contaminants from wastewaters requires cost effective technologies and, among these, adsorption is one of the most promising and investigated technique.

Zeolites are low-cost, environmentally friendly natural minerals with excellent adsorption capacity. These aluminosilicate minerals have a crystalline symmetrical structure which forms a porous, open three-dimensional framework. Thanks to their cation-exchange ability and to their molecular sieve properties, natural zeolites are already largely used as adsorbents in separation and purification processes, especially for the removal of cations such as ammonium and heavy metals.

The present study is focused on recent development of natural and modified zeolites in various wastewater treatment applications.

Materials and methods

Modification of natural zeolites was done through several methods such as thermal treatment, acid activation, organic or metal modification, to improve selectivity towards certain species. The sorption characteristics of several pollutants on modified zeolites were investigated through batch and column tests.

Results and Conclusions

Innovative chemically modified zeolites have been used in water filtration systems for specific pollutants (heavy metals, arsenic, chromium, non-ionic surfactants, Methyl tert-butyl ether (MTBE)), showing enhanced adsorption efficiency.

Zeowater ZI is a metal-modified zeolite, made selective to anionic metalloid species such as arsenic and chromium. This anionic zeolite completely removed arsenic within 10 minutes from a groundwater

with a concentration of 30 $\mu\text{g/l}$. The adsorption capacity of Zeowater ZI for arsenic was 0.6 mg/g.

Although natural zeolite already does a good job in the removal of non-ionic surfactants by physical adsorption, its chemical modification allows the level of retention to be increased through hydrophobic interaction mechanisms. Wastewater containing 40 mg/L of non-ionic surfactants was treated with an acid-activated zeolite, Zeowater ZH. Experimental results showed a 90% removal of non-ionic surfactants after only 30 minutes of contact. Also, the feasibility of a surfactant-modified zeolite, Zeowater ZS, was explored for MTBE contaminated wastewater remediation, showing better adsorption performances compared to natural zeolites.

Email: francesco@zeocelitalia.it

Sustainable remediation: an approach to reach and completely destroy contaminant mass in low-permeability storage zones with high-resolution data

Sandro Souto¹, Cesar Malta¹, Felipe Sisto¹, Taisi Marrone¹, Mateus Evald¹

¹Finkler Sustainable Technologies, , Vinhedo, SP, Brasil

Introduction

One of the primary challenges encountered in the remediation of contaminated sites involves effectively addressing persistent contaminant masses present in low-permeability storage layers (Guilbeaut, 2005; Brewer, 2016; US EPA, 2019). Despite their small size, these layers can contain over 90% of the contamination within a given area (Guilbeaut, 2005; Souto et al. 2021). Unfortunately, storage layers are frequently inadequately characterized and underrepresented in conceptual site models (CSMs) (Souto et al. 2020; Suthersan, 2015), emphasizing the necessity of employing high-resolution characterization techniques to accurately evaluate the factors governing the fate and transport of contaminants within a contaminated site.

Successful remedial plans necessitate a robust CSM that encompasses comprehensive information enabling the identification of pertinent compound characteristics and the hydrogeological conditions that influence their subsurface presence.

This study outlines a characterization approach, remedial design, and the implementation of tailored remedial actions to address storage zones impacted by chlorinated compounds. In-situ chemical oxidation utilizing direct-push technology and controlled pressure was selected as the method for mass destruction. The applicability and design of this approach were guided by the CSM constructed through high-resolution (HRSC) data collection, in conjunction with the TRIAD approach's applicability, and proved that a mass destruction rate higher than 95% is achievable even under challenging, low permeability conditions.

Material and Methods

The study site is situated in the Sao Paulo Metro area and was formerly an industrial site where trichloroethene (TCE) was used as a solvent in the process. The primary source of contamination was undocumented or unknown, but a few areas around the warehouses were identified as potential sources of TCE infiltration into the subsurface.

Two campaigns using the Membrane Interface Probe - Hydraulic Profiling Tool (MiHPT) system were conducted to locate the source areas and assess the hydrogeological conditions at the site. The hotspots and contamination mass were identified, and remedial actions were planned and implemented in the main source of contamination.

The contamination mass was predominantly located above the groundwater level in layers with overall low permeability (<10⁻⁵ cm/s). However, the area's geology is characterized by soils derived from metamorphic formations, with shale as the predominant lithotype. The fine structural layers of the shale were still present in the soil structure and improved the probability of successful remedial actions at the site.

Given that the main compound of interest was TCE, but also considering limitations presented at the site under study, the in-situ chemical oxidation (ISCO) was the selected remediation method, even considering the permeability challenges at the site.

The injection process was conducted via direct-push and utilized a specially designed Finkler injection probe with controlled pressure and volume, and multiple injection ports. An automated unit was employed to prepare and mix the oxidants, reducing operator exposure and increasing the safety and efficiency of the process. A total of 3 tons of oxidants were injected in a volume of 20 thousand liters of water at a 15% concentration. Injection intervals were set at 0.5 meters, and a projected influence radius of 1.5 to 2 meters was expected based on the injection volume. The injection points were evenly spaced in a triangular arrangement around the center of mass identified during the HRSC investigation campaign. The pressure, flow and volume of oxidants were controlled minute by minute to guarantee the saturation of the layers which contained the most contaminant mass. Flow rates were kept below 1000 liters/hour to avoid fracturing and the creation of preferential path flows that would not allow the delivery of oxidants to the contaminant mass.

Post-injection, additional MiHPT logs were conducted to compare the XSD signals and soil samples were collected to assess the efficacy of the pilot study's mass destruction.

Conclusion and discussion

The application of remediation processes is complex and heavily relies on the hydrogeological properties of a given site. Storage zones, which contain the majority of the contaminant mass and pose greater challenges in accessibility and treatment, necessitate high-resolution characterization and the integration of multiple lines of evidence to design remedial efforts with a higher likelihood of success.

This case study demonstrates that combining MiHPT data with thorough interpretation of the geological conditions at the site enables the selection and design of appropriate remedial processes.

Despite the challenging permeability conditions observed at the site, the in-situ chemical oxidation (ISCO) methodology proved to be efficient in mass removal. This efficiency can be attributed to the comprehensive understanding of site conditions and the precise delivery of oxidants to the layers harboring the highest concentration of contaminants, accomplished through controlled application.

The control of the injection process was achieved by utilizing a specially designed pressure injection probe and an automated injection system, ensuring consistent flow and pressure parameters throughout the injection campaigns. This controlled environment guaranteed optimal contact between the oxidants and contaminants, leading to complete destruction of the source area.

In conclusion, the success of remediation design relies on a densely detailed Conceptual Site Model (CSM), while the effective implementation of remediation methods in low permeability zones demands a good understanding of the site's conditions, equipment design, and meticulous control over the applied processes. These conditions significantly enhance the chances of success in remediating low permeability zones, which typically harbor the highest contaminant mass.

Email: andro@finkler.eng.br; cesar@finkler.eng.br;
felipes@finkler.eng.br; taisi@finkler.eng.br;
mateus.evald@finkler.eng.br

Semi-continuous summer-season cultivation in a flat outdoor prototype of an autochthonous microalgae for the phytoremediation of urban wastewaters at the Ferrara (Italy) plant

Elisa Benà¹, Costanza Baldisserotto¹, Nico Maccapani¹, Pierluigi Giacò¹, Sara Demaria¹, Roberta Marchesini¹, Giulia Zanotti², Alessio Benini², Linda Benetti², Simonetta Pancaldi^{1,3}

¹Department of Environmental and Prevention Sciences, University of Ferrara

²HERA SpA – Direzione Acqua, (Ferrara), Italy

³Terra&Acqua Tech Laboratory, Technopole of Ferrara University

Introduction and study objectives

Nutrients, like nitrogen (N) and phosphorus (P), released in wastewaters (WW) due to anthropic activities are common pollutants for the environment, since they are usually responsible for the phenomenon of eutrophication of natural wetlands and superficial waters. Similarly WW, mainly urban ones, are often enriched in several micro-organisms, for example coliforms like *Escherichia coli*, which can cause a wide range of pathologies for humans and animals, beside being increasingly frequently resistant to common antibiotics. N and P are removed from the effluent by combining physical, chemical and biological treatments depending on the type of plants and the characteristics of the effluent to be treated. These treatments generally involve some problems for the environmental sustainability of the process and burden the economic budget. Differently, micro-organisms are removed by means of chlorination as tertiary treatment, before the release of treated WW into the final acceptors, i.e. natural waterbodies. Worldwide, there is strong interest in finding solutions to improve the efficiency of WW treatment plants (WWTP) and to make them more economical and less impactful to the environment. In this context, microalgae (cyanobacteria included) are even more proposed as alternatives and/or as integrative parts for traditional WWTP. Indeed, microalgae are photosynthetic organisms that can adapt to a wide range of environmental conditions (medium composition, temperature, irradiance, pH, presence of competitors or herbivores, etc.), since they can modify their metabolism producing useful molecules in response to changes in the growth environment.

Because of their versatility, microalgae are excellent candidates for application in many biotechnological fields, including WW treatment. Results from laboratory-scale experiments on microalgae-based WW treatment are generally promising, while upscaling to outdoor conditions is still in early stages. So, further investigations are needed to improve the applicability of microalgae-based phytoremediation technologies on outdoor plants. This work is focussed on testing the phytoremediation effectiveness with respect to nutrients and *E. coli* of an autochthonous microalgae strain cultivated in semi-continuous conditions in an 800-L outdoor microalgae prototype placed at the HERA-Ferrara (Italy) WWTP.

We assessed, during a summer period, the growth of algae and their potential in nutrients and *E. coli* removal efficiency (RE) from the effluent deriving from the thickening step of the sludge treatment.

Materials and methods

A green *Chlorella*-like microalga, isolated from the sludge thickening effluent of the WWTP of HERA-Ferrara, was employed for outdoor, semi-continuous experiments to test the phytoremediation of sludge thickening WW in summer period (May-June 2022; mean temperature, 27°C - max. 36°C, min. 15°C). Semi-continuous cultivation was followed for 4 cycles with a duration of 7-9 d each.

For experiments, microalgae were inoculated in an 800-L capacity flat prototype placed at the HERA-Ferrara WWTP (44° 51' 49" N, 11° 37' 47" E). The first sludge thickening effluent was harvested at the end of May 2022. The effluents used for the consecutive 4 trials were quite different in terms of ammonium, nitrates, phosphates and *E. coli* concentration (N-NH₄⁻, 117.8 (I), 22.3 (II), 4.1 (III), 3.6 (IV); N-NO₃⁻, <0.05 (I), <0.05 (II), <0.05 (III), 1.1 (IV) mg/L; P-PO₄³⁻, 18.5 (I), 5.8 (II), 0.8 (III), 1.5 (IV) mg/L; *E. coli*, 80 (I), 24 (II), 80 (III), 98 (IV) UFC/100mL). Streams were initially collected in a settling tank for 2-4 days to allow deposition of the suspended particulate matter. For all experiments, microalgae cultures were supported by artificial lightening (PAR: 30 μmolphotons m⁻² s⁻¹; 16:8h light/dark photoperiod).

Cultures were regularly sampled during the experimental periods, and growth of microalgae was assessed as cell density (10⁶ cells mL⁻¹) or optical density (OD₇₅₀) and as dry biomass yield (gL⁻¹). The biological composition of samples and morphology of microalgae was monitored through light microscopy, also after specific staining (for example, Alcian blue dye, specific for acid exopolysaccharides, EPS).

PSII maximum quantum yield (FV/FM ratio) of algae samples was also evaluated. Parallely, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ and P-PO₄³⁻ concentrations in the effluents were measured with a flow-injection autoanalyzer (FlowSys, Sisteia Spa), while pH was evaluated with a bench pH-meter; temperature was monitored, too. In addition, complete characterization of the effluent, including the determination of E. coli load, BOD₅ and COD, was performed using standard UNI EN ISO and APAT CNR IRSA protocols.

The data obtained from experiments were processed using Excel program. For each parameter, to assess if variations in the trends over time were significant, a one-way analysis of variance (one-way ANOVA) was performed using Origin program (OriginLab Corporation), followed by a Tukey's post hoc test. The significance threshold was set at 5% (pvalue ≤ 0.05).

Results and Discussion

During the 1st cycle (9 days-long, T_{mean}: 24.1°C), together with the inoculated Chlorella-like cells which remained suspended in the effluent, it was possible to notice the presence, gradually more conspicuous over time, of Chlorella aggregates and of many free algae cells that tended to settle to the bottom of the prototype vessel. Differently, during the 2nd cultivation cycle (9 days-long, T_{mean}: 24.7°C), the aggregates became larger in size, and non-aggregated cells were nearly absent. In addition, the presence of several microorganisms, such as protozoa, diatoms and cyanobacteria, often adhering to the aggregates of Chlorella-like cells was noted. During the subsequent 2 cycles (III cycle, 9 days-long, T_{mean}: 28.6°C; IV cycle, 7 days-long, T_{mean}: 30.9°C), the inoculated microalgae decreased day by day, parallel to the increase in number of different species of cyanobacteria, which tended to form characteristic "felts", distributed or on the water surface or on the bottom of the prototype. Overall, the inoculated strain suffered competition from different species of cyanobacteria starting from the 2nd cycle of cultivation, very likely due to the significant increase in the mean environmental temperature. Indeed, growth rates increase proportionally with temperature up to an optimum and then decrease beyond the physiological limits for the species: usually cyanobacteria have higher thermal optimum (31°C), followed by chlorophytes (26°C) and diatoms (24°C). The morphological observations of biological forms present in the effluent during the 4 cycles of the experiment also supported data

on algae (Chlorella-like and cyanobacteria) growth, both as OD750, and as cell density or dry biomass, and on algae photosynthetic response as FV/FM ratio. Despite the variation in algal population composition over the 4 cycles of semi-continuous cultivation, interesting results were obtained for the removal from the effluent of N- NH₄⁺ (80% RE, for cycle 1 and 100% RE for cycles 2, 3 and 4) and of P-PO₄³⁻ (70% RE for cycle 1 and 86%RE for cycle 2; cycles 3 and 4 had very low starting levels). Nitrates were always below 10 ppm, even if peculiar trends were observed. Finally, noteworthy was the almost total abatement of E. coli from the effluent at the end of all the 4 cultivation cycles. E. coli was probably entrapped in EPS material released by algae.

Conclusions

These findings are promising, also considering the short duration of each cultivation cycle (7-9 d). Similar results were already observed in batch experiments in the same prototype [3], thus supporting the effectiveness of phytoremediation with the autochthonous Chlorella-like employed for both experimentations. Furthermore, in case of harsh, elevated temperatures, the occurrence and increase in competing cyanobacteria, naturally resident in the effluent, ensures the maintenance of excellent phytoremediation levels of both the nutrient component and the potentially pathogenic bacterial fraction of urban thickening effluents.

The employment of autochthonous microalgae, Chlorophyta or Cyanobacteria, which can alternatively prevail in algae-based phytoremediation systems in response to environmental conditions represents a winning solution for a „green” treatment of urban effluents.

Email: simonetta.pancaldi@unife.it, costanza.baldiserotto@unife.it

Utilizing Drone Technology for Monitoring and Estimating Gully Expansion in an Environmental Protection Area in Nova Lima-MG, Brazil

Valéria C P Zago¹, Rafael F. Ercoli¹, Beatriz Amanda Watts²

¹CEFET-MG Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil;

²Leuphana University 1, Community and Academic Actions for SD NGO, Hamburg, Germany²

Introduction and study objectives

Urban sprawl is a global phenomenon, with 54.9% of the global population currently residing in urban areas, a figure projected to rise to 66% by 2050. In 2010, the total land area of the world's urban settlements covered approximately one million square kilometers, and, by 2050, urban land area is expected to increase to more than three million square kilometers.

In tropical regions, water erosion is prevalent. Erosive processes have more drastic effects on steeper slopes without vegetation cover and with low permeability. As runoff drags particles from the soil, it leads to the appearance of furrows, which may develop into ravines and gullies. Gullies represent the most severe form of erosion, originating from the gradual development of the ravine process.

The processes of land use and occupation in the municipality of Nova Lima, Minas Gerais State, Brazil, is expressed by mining activities, land parceling, urban expansion, industrial and commercial activities at different scales. Thus, there was a change in the socio-spatial dynamics and pressure on environmental protection areas in the southern of the Belo Horizonte Metropolitan Region.

Drone-based 2D and 3D digital models may be used to quantify gully and bare land erosion in a large area [4]. Drone-based products could save time, money, and achieve real-time monitoring. This study, by examining the impact of urban sprawl on water erosion and land degradation in Nova Lima, Minas Gerais State, Brazil, aligns with RemTech's mission of promoting knowledge and innovation in environmental remediation, thereby contributing to the global dialogue on sustainable urban development.

Results and Discussion

The Google Earth area measurement tool was utilized to quantitatively assess the expansion of gullies V1 and V2 over time. Subsequently, the results were compared with the values of the areas presented by the gullies in the current period, obtained through the DroneDeploy software and the generated orthomosaics. For the 2019 calculations, the generated orthomosaics were used. However, between 2002 and 2019, it had a growing expansion, more significantly after 2009. The eroded area in the V1 gully increased 2.37 times from 2009 to 2019. In the V2 gully, the expansion was smaller, that is, less soil/sediment loss. In the 2009–2019 period, the estimated areas were very similar, indicating the stabilization of V2.

Regardless of the estimated area and volume values, the progress of erosion processes is visible from satellite images, from images also obtained by the drone and visually at the site. The increase in the area of the V1 gully found over the years is also associated with the low percentage of soil cover, and the flow of rainwater directed to it.

There are several technologies available and affordable to mitigate the advance of erosion processes linked to gullies. For example, in the Republic of Congo, a study on origin and control of gullies concluded that mega-gully treatment follows two principles, often combined. The first is to stop the alimentation of the mega-gully head with water. The second includes a complete stabilization of the channel and walls inside the mega-gully.

Conclusions

Despite the existence of environmental and urban planning instruments, current environmental legislation, and community awareness, the study area in Nova Lima, Minas Gerais State, Brazil, continues to experience pressure from real estate development, exacerbating environmental and health issues and threatening ecosystem resilience and water supply. Our findings demonstrate the environmental impacts of urban expansion in metropolitan areas and underscore the need for effective remediation and mitigation strategies, such as re-routing or re-engineering gully networks, constructing terraces or check dams, implementing best management practices like cover crops or vegetative buffers, and halting water flow to gully heads. Additionally, complete stabilization of gully channels and walls, mulching techniques, contour plowing, bunding, and gully plugs can limit soil loss and reduce sediment flow into gully networks.

To further protect the landscape, additional regulatory measures should be put in place and enforced. This study contributes to the ongoing dialogue on sustainable urban development, providing valuable insights for the management of environmental impacts in metropolitan areas.

Email: valzagomg@gmail.com rafalerc@gmail.com;
Amanda.watts@leuphana.de

Hidden Sources of Soil Pollution: Potential Impact of Operational Heating and Cooling Systems on Soil Health and Microbial Dynamics

Beatriz Amanda Watts¹

¹Leuphana University 1, 2Community and Academic Actions 2.

Introduction and study objectives

In the ongoing critical discussions on soil pollution led by the RemTech Europe conference, various stakeholders are exploring strategies for rehabilitating and regenerating contaminated sites to actualize sustainable development. This study contributes to these discussions by examining the potential impact of operational water systems for heating and cooling on soil health. Microorganisms present in these systems can interact with metal contaminants, influencing their mobility and bioavailability in the soil. Specifically, the study focuses on the potential contamination that could arise after the water used in these systems has served its operational purpose and its subsequent effects when released into the environment.

Materials and methods

This study builds upon the author's previous research, which focused on monitoring corrosion in operational heating and cooling systems. The original data, collected in the field, includes measurements of various physicochemical parameters. These parameters include pH, electrical conductivity, electrochemical potential (Eh), temperature, and dissolved oxygen levels. Failure analysis was also conducted as part of the original study. In the laboratory, electrolyte concentrations and total organic carbon (TOC) were measured. Additionally, microorganisms present in the samples were filtered and their DNA was amplified for analysis. The 16S rRNA sequences of these microorganisms were then analyzed to determine their taxonomic classification. This data identifies potential contaminants present in the samples, with a focus on their potential impact on soil health.

Results and Discussion

The study identifies pathogenic microorganisms that could act as vectors for infectious diseases. For instance, the genus *Clostridium* includes several pathogenic species, such as *Clostridium difficile*, a

major cause of hospital-acquired infections. *Staphylococcus aureus* is another pathogen, commonly causing skin infections and food poisoning. The *Streptococcus* genus includes pathogenic species like *Streptococcus pneumoniae* and *Streptococcus pyogenes*. *Legionella* is known for causing Legionnaires' disease and Pontiac fever. *Corynebacterium* contains *Corynebacterium diphtheriae*, the causative agent of diphtheria. Lastly, *Haemophilus* includes *Haemophilus influenzae*, a common cause of bacterial infections in children.

The German Federal Agency has set the tolerance limit at 0.05 milligrams per liter (mg/L) for drinking water for chromium, and the World Health Organization (WHO) has set the limit for molybdenum at 0.07 mg/L (70 µg/L). These limits are based on the premise that long-term exposure to high levels of these metals can result in adverse health effects.

It's important to note that the levels for waste waters are not reported. The accumulation of contaminants in soil over time is a significant concern. Even if the levels of contaminants are below the limit at a given point in time, continuous discharge can lead to accumulation, potentially resulting in levels that exceed the safe limit. While wastewater treatment plants are designed to remove contaminants, the efficiency of removal can vary, and some contaminants may remain in the treated water.

It's accurate to say that while wastewater treatment plants are designed to remove contaminants, the efficiency of removal can vary, and some contaminants may remain in the treated water. Furthermore, the potential impact of contaminants from heating and cooling systems on the environment and public health remains largely untracked and under-studied. For instance, there are some known substances present in additives that are not measured in this study such as Vanadium and Benzotriazole.

Based on these initial findings and ongoing research, the study proposes practical solutions and mitigation strategies ranging from routine maintenance and technical adjustments to legislative measures. Recognizing that this is the final stage of the life cycle of the water and associated substances, it is important to adopt green technologies such as the ones recommended on previous studies, there the authors advise on the 'benign by design' approach" which aims to replace toxic additives for less harmful alternatives, utilizing containment and isolation by means of phyto-fixation which uses

plants to absorb and isolate persistent contaminants; informing the community about potential dangers and conducting risk assessments to track all hazardous substances. Bioventing-biosparging and phytoextraction techniques had been used to degrade soil pollutants. The authors stress the benefit of combining the techniques, especially the phytoextraction which was particularly successful. The development of stricter regulations and standards could help limit the concentrations of contaminants allowed in discharged water [6, 8].

Conclusions

This study highlights the often-overlooked potential of operational heating and cooling systems as sources of soil pollution. The presence of heavy metals and pathogenic microorganisms in these systems poses significant risks to soil health, ecosystems, and human health. To mitigate these risks, the study proposes strategies such as the adoption of green technologies, phyto-fixation, and the implementation of stricter regulations.

The research underscores the importance of community awareness and comprehensive risk assessment, emphasizing the need for ongoing monitoring and holistic approaches to soil pollution remediation. Notably, current molybdenum levels exceed safety limits, and there is a significant concern about the potential for chromium accumulation over time. The findings of this study aim to contribute to discussions at the REMTECH conference expo and the broader discourse on sustainable environmental management.

Email: Amanda.watts@leuphana.de

Current trends and Chinese perspective of the soil remediation methods using remediation trains

Jian Shen¹, Grega E. Voglar², Simon Gluhar², Anela Kaurin², Domen Lestan²

¹RPU Rheinische Pflanzenpower & Umwelttechnik GmbH

²Envit Ltd., ³Biotechnical faculty, University of Ljubljana,

Introduction and study objectives

The main methods for soil heavy metal remediation in China are primarily focused on plant-based remediation and soil conditioning. We propose novel approach using innovative ReSoil® technology and phyto-management with industrial plants for soils heavily polluted with heavy metal, which pose a danger to the environment and where phytoextraction alone would not be effective. Remediation train composed of physical & chemical method and phytomanagement to remove heavy metal and organic pollutants from multi-contaminated soil.

Materials and methods

1. Plant-based remediation

Plant-based remediation of heavy metal-contaminated soil offers advantages such as high efficiency, safety, economic viability, and compatibility with the ecological environment. The exploration and selection of existing hyperaccumulating or accumulating plants are prerequisites for its application. With its vast geographical and diverse terrain, China provides favorable conditions for the screening of hyperaccumulating plants due to its rich plant diversity. Although China started relatively late in this field of research, significant progress has been made in the past 20 years, gradually achieving a series of achievements. Huang Huiyi and Jiang Deming reported the enrichment of a significant amount of Cd in a certain genotype of dryland willow, marking an initial exploration of plant metal accumulation. Chen Tongbin et al proposed the existence of hyperaccumulating plants for As worldwide and subsequently conducted investigation and research, eventually discovering the hyperaccumulating arsenic plant *Pteris vittata* within China. Tang Shirong, Shu Wensheng et al found and obtained the copper hyperaccumulating plant *Commelina communis* in mining and smelting slag heaps.

Plant-based remediation faces several challenges. Firstly, there is a relatively limited number of plant species that exhibit hyperaccumulation of heavy metals. Additionally, a common characteristic of plant-based remediation is that it has a long remediation period. Secondly, most of the currently discovered hyperaccumulating plants exhibit hyperaccumulation of a specific heavy metal, and there is a lack of plants that demonstrate broad-spectrum hyperaccumulation of heavy metals. Moreover, hyperaccumulating plants are predominantly wild-type plants that have relatively strict requirements for environmental and biological factors, and they have a strong regional distribution, which affects the success rate of their introduction. Furthermore, there is a relatively limited amount of research on aquatic or wetland plants as experimental subjects in the screening of hyperaccumulating plants.

2. Soil conditioning for remediation.

Soil conditioning for remediation primarily includes agronomic regulation, substitute planting, low-cadmium varieties + rational irrigation + acid regulation + N (soil passivators and their composite formulations, etc.) combined technologies.

Agronomic regulation measures mainly include:

① Application of soil amendments: Soil amendments, such as limestone and gypsum, can change the soil pH, increase organic matter content, cation exchange capacity, and clay content. They facilitate processes such as oxidation-reduction, acid-base neutralization, adsorption, ion exchange, (co)precipitation, complexation, antagonism, and microbial metabolism, thereby altering the forms and bioavailability of heavy metals in the soil and reducing their accumulation in crops .

② Green manure application: Through decomposition, organic nitrogen mineralization, and release of alkaline substances, green manure can raise soil pH, increase soil organic matter content, and improve soil structure. This leads to processes such as adsorption, complexation, and dilution of heavy metals in the soil, thereby altering their forms, bioavailability, and mobility in the soil and crops. Research has shown that incorporating purple nutsedge can promote rice growth, increase soil pH, reduce the bioavailability and activity of Cd in the soil, and decrease Cd accumulation in rice.

③ Application of organic fertilizers: Liu Wei et al. found that straw-based organic fertilizer can convert acid-soluble Cd in the soil to

reducible Cd (with a maximum reduction of 22.42%). It also decreases the enrichment coefficient between soil and roots and the transfer coefficient between stems/straws and grains.

Substitute planting with low-accumulation varieties: For example, among 471 main cultivated rice varieties or approved rice varieties, only 8 Cd-low-accumulation crop varieties were selected. From 275 rice resources, only 2 Cd-low-accumulation crop varieties were selected. In the case of maize, 4 Cd, Pb, As-low-accumulation crop varieties were selected from 24 varieties.

3. Application of remediation train ReSoil® + phyto-management

ReSoil® technology for efficient and sustainable removal of heavy metals contaminated post-industrial soils, and could enable harvesting of safe biomass. Enhancing the quality of remediated post-industrial soils by homogenous distribution of soil conditioners within soil matrix, to assure optimal plant growth and biomass yield and to apply remediation train ReSoil® + phyto-management to enhance biodegradation of organic pollutants in contaminated post-industrial soils and improve aggregation of washed soil.

Results and Discussion

Heavy metals (Pb, C, Cu, Zn, Ni...) and metalloids (As, Sb) will be extracted from heavily contaminated post-industrial soils by chelation with ethylenediamine tetraacetate (EDTA) in (mobile) laboratory-pilot scale remediation plant. EDTA and process solution will be recycled in a closed process loop by using inexpensive auxiliary materials (lime, sulfuric acid, Fe sulfuric acid, oxalic acid, citric acid, Na dithionite). No waste-waters will be generated only small amount of solid waste. Secondary emissions of residual EDTA-chelates will be quenched by addition of zero-valent iron into the soil slurry phase (ReSoil® technology). Operational conditions and reagents will be selected and optimized for processing the given soil and for the most efficient remediation.

Potential soil conditioners will be selected from raw materials and by-product selected from used vermiculite, compost, biochar etc., and added into the soil slurry of ReSoil® process for homogenous distribution within the soil matrix. The effect of soil conditioners on soil physical quality (i.e. aggregates stability, water retention potential), chemical quality (i.e. cation exchange capacity, pH, soil organic matter and N, P, K contents / phytoavailability), biological quality (i.e. soil respiration, activity of soil enzymes indicative for C, N

and P soil cycles), and growth of plants (i.e. wet and dry biomass) will be evaluated.

Conclusions

The remediation train of ReSoil® (heavy metals and metalloids extraction / soil quality improvement) and phytomanagement by miscanthus, hemp, sorghum and other industrial plants will be studied to boost biodegradation of organic pollutants i.e., polyaromatic hydrocarbons (PAHs) in soil. The dynamic of PAHs dissipation from soil will be investigated. The efficiency of industrial plants to enhance aggregation of ReSoil® washed (de-aggregated) soil will also be studied. Fast-growing plants with extensive roots system i.e., buckwheat will serve as reference. The ReSoil® will be used as a technical platform for recycling EDTA and process solutions in a closed loop.

Email: jianshen@rpu-gruppe.de; grega.voglar@envit.si;
simon.gluhar@envit.si; anela.kaurin@envit.si;
domen.lestan@bf.uni-lj.si

Environmental forensics: challenges, opportunities and limitations of source-tracking pfas contamination under complex site conditions

Alberto Guadagnini², Patrick Jacobs¹, Vera Koss¹, Angeliki Koupa^{1,2}, Doreen Mäurer¹, Sadjad Mohammadian¹, Giovanni Porta², Monica Riva², Florian Wölfel¹

¹TAUW GmbH, ²Politecnico di Milano

Introduction and study objectives

Accurate characterization and differentiation of multiple sources contributing to PFAS contamination in the environment is challenging due to special properties of PFAS. PFAS have different physiochemical properties and undergo different transformation pathways once released into the same environment. Additionally, PFAS from different sources are mixed in the environment through natural (e.g., hydrology) or man-made (waste processing) routes. Release from different sources may result in similar PFAS components such as perfluoroalkyl carboxylates (PFCAs) and perfluoroalkyl sulfonates (PFSA). Conventional environmental forensics methods such as carbon-dating and stable isotope analysis usually fail to back-track distinct PFAS sources from common end-products. On the other hand, liability concerns, public health issues, and appropriate intervention planning require accurate source tracking of PFAS contamination. In addition, transport phenomena also strongly affect PFAS mix. Precursors and longer-chain molecules have higher partitioning coefficients and are retained in unsaturated zone and upstream parts of the aquifer, while a few mobile PFAS from various sources end up in plume downstream.

The objective of the current study is to combine novel environmental forensics methods in order to integrate PFAS source tracking into conceptual site model (CSM). We employed target- and non-target chemical analyses with statistical analyses for source-tracking of a PFAS contamination from different applications.

Materials and methods

It is presumed that over many years various firefighting foams have been used in training and accident events on an industrial chemical site in Germany. The goal of the investigation was to differentiate a

recent incident from former emissions, and to determine to what extent the soil and groundwater contamination on the site is affected by this specific recent incident. The investigation strategy was based first on analysis of the firefighting foam applied, 38 soil sampling points (from ground level to the water table 12 m bgl), including 10 points sampled two times, 18 groundwater monitoring wells (monthly, partly weekly over 12 months), and validating the existing numerical groundwater model. The PFAS dataset comprised of target analysis (27 PFAS compounds) of 122 soil leachate samples, 18 solid soil samples, and 269 groundwater samples. Also, 24 leachate samples and the firefighting foam were subjected to TOP-Assay analysis to verify the presence of potential other precursors. In addition, we employed statistical analysis of the data in order to determine the patterns and grouping of the data point similar to that of the applied firefighting foam.

Results and Discussion

The analyses showed widespread PFAS contamination in soil and groundwater. The TOP-Assay analysis showed that PFAS-27 analysis could capture all PFAS contamination as no indication of unknown precursors was observed. The analyses also showed that PFAS go through both transformation and transport. The concentrations of the precursors including both Capstone products decreased with time and depth, while the concentrations of the short chain carboxylic acids increased. The changes in profiles and spectra of PFAS along the depth showed transport of mainly shorter chain PFAS towards the aquifer. PFAS spectra was found to be generally different in soil and groundwater. As expected, in soil samples precursors and larger PFAS were accumulated, while no to minor concentrations of these compounds were found in groundwater. PFAS spectra varied among the groundwater samples, grouped into clusters. Of these clusters one shows different characteristics from the applied firefighting foam in the recent event, indicating a potential distinct source of previous emissions.

Conclusions and future work

A widespread PFAS contamination was confirmed throughout the site. The chemical analyses showed a dynamic PFAS situation, where via (bio)chemical conversion of PFAS compounds and transport with infiltrating water occur. However chemical analyses alone could not

distinguish between different sources. Although analyzed samples contained similar PFAS compounds, using new environmental forensics tools we were able to identify the areas of the site (aquifer) affected by the recent application of firefighting foams. These areas were detected based on their similarity in PFAS spectrum to that of the applied firefighting foam.

In the next steps, biochemical transformation of PFAS is included in the model, connecting soil and groundwater samples. A simple groundwater model will be developed to consider the partitioning of PFAS along the groundwater plume. This information will be combined with the statistical model in order to complete the conceptual site model.

Email: patrick.jacobs@tauw.com;
alberto.guadagnini@polimi.it; patrick.jacobs@tauw.com;
vera.koss@tauw.com; angeliki.koupa@tauw.com;
doreen.maeurer@tauw.com; sadjad.mohammadian@tauw.com;
giovanni.porta@polimi.it; monica.riva@polimi.it;
florian.woelfl@tauw.com

A new duo to supercharge your sub-slab characterization

Kelly Horiuchi¹

¹*Managing Partner, VSOL Group, Camarillo, CA, USA*

Introduction and study objectives

To develop an easy, simple, practical, efficient, and reliable method for soil gas sampling, adding a valuable quantitative tool for environmental assessments, site remediation, and long-term monitoring programs.

Sub-slab soil gas sampling methods can be time-consuming and labor-intensive, and costly. The Vapor Pin® Sampling Device is effortlessly inserted into any hard surface, reducing set up time and providing the potential for a higher number of samples to be collected in a shorter time period. Attaching the Hybrid SS tube creates a unique soil gas sampling system that reduces the training of personnel and decreases the risk of field sampling errors. The Hybrid SS tube is lightweight and portable, making it convenient for field sampling. Their size and selectivity reduces logistical issues associated with transport and storage, and allows for the collection of a higher number of samples to generate a more conclusive site profile. The sampling procedure is straightforward, requiring only the exposure of the sorbent material to the soil gas for a specific time period.

Results and Discussion

The Vapor Pin® Sampling Device and Hybrid SS system is simple and easy to use and designed specifically for soil gas sampling. It consists of a stainless steel probe and a sealing gasket with an attachment for the sorbent tube. The design makes it easy to install and operate in various sub-slab soil types, including sandy, clay, and loamy soils. Its design minimizes the potential for leaks and provides a reliable simple, easy to use sampling technique.

The Vapor Pin® Sampling Device/Hybrid SS system minimizes cross-contamination because the Vapor Pin® Sampling Device's sealing gasket ensures a tight fit between the probe and slab, reducing the potential for cross-contamination between sampling locations. The Hybrid SS system check valves and syringe allow for the collection of various sample volumes without requiring pumps and additional calibration equipment.

Conclusions

The Vapor Pin® Sampling Device /Hybrid SS system is an innovative and reliable method for soil gas sampling that adds a valuable quantitative evaluation tool to environmental assessments, site remediation, and long-term monitoring programs. The simplicity and effectiveness of the Vapor Pin® Sampling Device /Hybrid SS system requires fewer resources, equipment, and personnel, making it a cost-effective option for environmental investigations. This simplicity of use makes collecting a high number of samples effortless, thus creating a more thorough site survey profile.

Email: kelly.horiuchi@vsolgroup.com, rafael.sato@vsolgroup.com,
craig_cox@coxcolvin.com, laurie_chilcote@vaporpin.com

Revolutionize Your Site Characterization With Our Analytical Techniques For Soil Core Mobile Phase Recovery And Determination

Kelly Horiuchi¹

¹Managing Partner, VSOL Group, Suite B, Camarillo, CA, USA

Introduction and study objectives

The traditional method for measuring residual water content involves heating rock and soil samples with a water insoluble solvent and measuring the volume of condensed water (Dean and Stark 1920; API RP 401998; Sondergeld et al. 2010; Handwerger et al. 2012b). Our belief is the method overestimates and therefore produces an unrealistic mass removal number because it strips both free and bound water. The goal is to capture and analyze the mobile phase constituents from the core samples pore space to yield an attainable mass removal amount based on site specific characteristics. Additionally, create a method to remove and measure the amount of aqueous and non-aqueous phase liquid contained in the pore space of a soil core sample. Perform a chemical analysis of the aqueous and non-aqueous phase collected in the laboratory for speciated compounds and/or totals reducing the need to collect additional water and soil samples which further emphasizes the need for non-destructive techniques. Refill or calculate the pore space to provide the amount of “air space” present in the core sample.

Materials and methods

The mobile phase can non-destructively be removed and measured from soil core samples by two methods, thermal or pressure. Thermal extraction began with each tube removed from the freezer and wrapped with heating bands (Figure 1). Tube was attached to laboratory stand. The bottom cap was replaced with a mesh screen held in place by tight metal band to allow liquids to drain from the core sample into a flask. Heat on the tube was measured during the process with infrared thermometer. After the thermal extraction the non-aqueous phase and aqueous phase was analyzed by GCMS and 2D GC. The second method (Figure 2), pressure by centrifugal force. Two and a half inch core samples were placed in mesh inside jars and

rotated for a predetermined amount of time and revolutions per minute. The resulting liquid was measured in a beret and the amount of aqueous phase and non-aqueous phase “mobile” liquid was calculated.

Results and Discussion

Thermal remediation even though the heat was kept to 100 degrees C was still destructive to the light molecular weight compounds. Centrifugal extraction was the least destructive and reproducible.

Conclusions

Because past methods are rough estimations or destructive approaches for the measurement of water content, which removes “free” water and “bound” water (water bound within rocks/sand), the total water value they provide overestimates the amount of product/contamination that can be removed from a site. Our goal was to provide a non-destructive mobile phase recovery that does not overestimate “free” water or “mobile phase” and therefore provide an accurate amount of “mobile phase” to ensure the correct remediation goals are attained.

Email: kelly.horiuchi@vsolgroup.com,
paul.michalski@212environmental.com

In-situ elimination of PFAS in contaminated Soil and Groundwater by Washing with Protein Bio-polymers and Stabilization by GAC high pressure injection

Huettmann, Stephan¹, Wilken, Anja¹

¹Sensatec GmbH

Due to their high chemical stability, mobility in the environment and bioaccumulation potential, poly- and perfluorinated alkylated substances (PFAS) represent a highly relevant substance group with regard to their hazard potential. Across Europe, numerous sites with PFAS contamination have been identified, some of which cover extensive areas, such as the contamination of topsoil on several hundred hectares of arable land in the Rastatt area (Baden-Württemberg, GER). State of the art remediation strategies mostly comprise traditional methods like excavation of contaminated soil or pump-and-treat as a hydraulic containment measure for contaminated groundwater. However, now there are new in-situ remediation as well as on-site remediation technologies available for the extraction and elimination of PFAS in the soil matrix.

The objective of the joint research project "Fabeko" was the development and implementation of an alternative in-situ and on-site technology for the remediation of PFAS from the vadose zone and/or excavated soil using a soil washing process with biodegradable polymer compounds. Specially developed surface active biopolymer compounds are used to effectively separate the PFAS from the soil. The resulting leachate is transferred to the groundwater and subsequently hydraulically removed from the aquifer by means of a drainage system. The developed technology enables in-situ- and on-site mobilization of poly- and perfluorinated compounds from topsoil without destroying the physical structure of the soil and without separating the soil into different grain size fractions.

During extensive process development, the effectiveness of this technical remediation approach was proven first in small scale soil column tests, then in soil lysimeters and eventually in a 3 week pilot application in the field.

In the lysimeter as well as pilot-scale test new analytical methods, such as TOP, AOF and EOF analyses were used in addition to PFAS

single parameter analysis to comprehensively quantify the effectiveness of the developed remediation technique.

The results show that short-chain perfluorinated carboxylic acids can be leached from the topsoil simply by using water as percolate. However, carboxylic acids with a chain length > C8 and sulfonic acids proved to be less mobile. The study provided strong evidence that these substances can be mobilized by means of the specially developed biopolymers. During the lysimeter tests a 95%-reduction of the PFAS concentration of the soil was achieved by applying the newly developed method. In the field test PFAS concentrations were reduced by > 80% within a 3-week application.

As part of the process development, technical solutions have been created to inhibit the accompanying geochemical reactions (especially with regard to the non-specific binding of polyvalent cations) and the biomass growth when using the readily biodegradable polymer structures. The effectiveness of these accompanying measures has successfully been tested in the lysimeter.

The developed process offers the possibility to treat PFAS-containing soils in-situ within the vadose zone by mobilizing PFAS and subsequently treating the groundwater using state-of-the-art technology. A further possible application of the developed method that is currently applied in the field is the ex-situ treatment of excavated PFAS-containing soil materials by applying the biopolymer in washing cycles.

The soil washing technology may be combined or complimented with in-situ PFAS stabilization technology using highly efficient PFAS sorption agents that will either be injected as a solid compound in-situ or that is simply mixed with the soil. The advantage of this treatment solution in comparison e.g. with colloidal active carbon injections is the well specified distribution zone of solid active carbon injections. Colloidal active carbon, however, may distribute along with the groundwater flow into areas where neither the active carbon nor PFAS adsorbed to it are desired. The application options for the versatility of these technical options are discussed in the presentation in form of reference applications.

Email: s.huettmann@sensatec.de

What is the environmental footprint of Per-and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) treatment technologies for liquid and solid?

Claudio Albano¹, Alessandro Monteverdi¹, Nicoletta Cavaleri¹, Paige Molzahn¹, Betsy Collins¹, Bill Diguiseppi¹, Paul Favara¹, Scott Grieco¹
¹Jacobs Italy, Cologno Monzese (Mi) 20093, Italy

Introduction and study objectives

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) treatment technology selection evaluates many factors before full-scale implementation. Along with cost and treatment efficacy, an important consideration is sustainability footprint. The low cleanup levels, likely to be recommended for PFAS, will potentially require long-term/extensive treatment operations, making the environmental footprint even more significant. Understanding these impacts will provide additional information to be considered during remedy selection.

Materials and methods

For this evaluation, two scenarios were considered for both liquid and solid treatment:

Liquids

1.4,000 liters of water treated in drums of investigative derived waste
2.200,000,000 liters of water treated as pump and treat/water treatment plant

Solids

1.5 200-liters drums of soil from drill cuttings
2.7,500 cubic meters of soil impacted

Over 30 vendors with PFAS treating technologies were contacted for an opportunity to provide data to estimate the greenhouse gas (GHG) footprint for each, addressing either one of both scenarios, as relevant. These technologies included the following:

- liquid sorption: granular activated carbon, regenerable ion exchange resin, ion exchange resin, fluoro-sorb
- liquid concentration/disposal: foam fractionation, flocculation, deep well injection

- liquid destruction: supercritical water oxidation, hydrothermal alkaline treatment, electrochemical oxidation, electrolysis, non-thermal plasma, catalytic oxidation
- soil treatment: soil washing, soil stabilization, disposal, thermal desorption

For each technology the areas of largest GHG impact were considered: production and transportation of treatment materials, waste handling and disposal, electrical requirements, and fuel requirements.

Results and Discussion

This presentation will review the ranges of inputs received from the PFAS treatment technology vendors, the methods and relevant assumptions utilized for the GHG evaluation, the limitations of the evaluation, and the results.

Email: claudio.albano@jacobs.com,
alessandro.monteverdi@jacobs.com, nicoletta.cavaleri@jacobs.com,
paige.molzahn@jacobs.com, betsy.collins@jacobs.com,
bill.diguseppi@jacobs.com, paul.favara@jacobs.com,
scott.grieco@jacobs.com

Risk assessment applied to backfill materials non-compliant to leaching test as defined by law no. 108 of July 29, 2021

Elena Leide¹, Andrea Guerini¹, Gianbattista Attinasi¹, Federica Quaresmini¹

¹NCE s.r.l.

Introduction and study objectives

On the basis of what was defined by Law 108 of July 29, 2021 (conversion into law of Legislative Decree No. 77 of May 31, 2021), introducing an amendment to Article 3 of Legislative Decree No. 2 of January 25, 2012, backfill materials that are found to be non-compliant with the limits of the leaching test must be managed as part of the remediation procedures, on a par with soils. Taking this regulatory change into account, as part of the remediation plan at a brownfield site located in the Municipality of Milan, the risk assessment was also applied to backfill materials: hence, the health and environmental risk was assessed for the sources in the unsaturated soil, also including any backfill material that did not comply with the threshold values stated by Legislative Decree 152/06 for the specific site use, and (specifically for the environmental risk associated to groundwater) with the threshold values in the leaching test as defined by Law No. 108.

The risk assessment was subject to evaluation by the presiding Authorities and subsequently approved.

Materials and methods

The subject site is a former Manufactured Gas Plant (MGP) located in the Municipality of Milan, for which a risk assessment was prepared based on the redevelopment plan of the area, which includes the creation of an extensive green area and built-up areas with different uses.

Sources of potential contamination in the unsaturated soil were identified with reference to the presence of contaminants in soils and backfill materials with concentrations above the applicable threshold. With reference to the risk assessment for groundwater, on the basis of the site investigations carried out and the application of Thiessen's polygon method, the sources of leachate potential contamination in

surface and deep soil were defined. The non-compliant leachate values taken into account in the subject risk assessment concern Arsenic, Nickel, Copper, Fluorides, Sulfates and DOC. Representative concentrations of the contaminants were set equal to the respective maximum values recorded within the respective sources, also including the analytical results obtained by the ARPA (Regional Environmental Protection Agency) public laboratory. Source geometry was defined similarly to the definition of sources in unsaturated soil. Using a specific software (Risk-net 3.1.1), the calculation of groundwater risk was accomplished for all leachate sources identified in surface and deep soil. The so-called “groundwater risk” (as it is called in Italia legislation), which is the ratio of a contaminant concentration at the point of compliance (POC) to the relevant threshold value, was assessed by conservatively posing the POC at a distance of 0 m from the source, i.e., on the vertical of the source itself (POC = 0 m).

Results and Discussion

The application of risk assessment methodology to backfill materials which are non-compliant to the leaching test defined by Law No. 108, by the identification of potential leachate sources in surface and deep soil, has shown that groundwater risks associated with contaminant leaching are acceptable in these site-specific conditions.

This outcome is in line with periodic groundwater monitoring carried out on the area from 2017 to 2023, which show no exceedances of groundwater threshold values for the contaminants of concern identified with the leaching test.

As a result, there is no need to provide specific remedial action to remove backfill material that do not comply with the limits of the leaching test, as they are associated with acceptable risks with respect to potential leaching into groundwater.

Conclusions

Based on what defined by Law No. 108 of July 29, 2021, backfill material that are found to be non-compliant with the limits of the leaching test must be included and managed in the remediation procedures stated by Legislative Decree No. 152/2006, in the same way as soils.

As part of the remediation plan at a brownfield site located in the Municipality of Milan, the risk assessment was therefore applied also

to backfill materials. This assessment, which was evaluated by the presiding Authorities and subsequently approved, has shown that groundwater risks associated with contaminant leaching are acceptable in these site-specific conditions. Consequently, there is no need to provide specific remedial action to remove the non-compliant backfill materials.

Email: eleide@nce-consulting.com, nce@nce-consulting.com

Development and Demonstrations of the PFAS Effluent Treatment System (PETS) and Planned Research and Development Efforts at the ERDC

Scott Waisner¹, José Mattei-Sosa¹, Edith Martinez¹

¹U.S. Army Engineer Research and Development Center

The military and civil aviation have a large number of small water bodies that are contaminated with PFAS containing compounds. These water bodies include underground storage tanks for aircraft hangars and surface imoundments for water retention, reclamation, or evaporation at areas used for firefighting training or runoff containment. These water bodies have volumes that are typically less than a million gallons (3800 m³) and usually geographically dispersed such that a fixed treatment plant is not a practical solution. The purpose of this work was to develop and demonstrate an effective and easily transportable system for treating these PFAS impacted water bodies. The PETS is a trailer mounted system that is towable by a standard ¾-ton pickup truck or larger vehicle. The system consists of an onboard diesel generator, hose pump, sixteen 0.5 cubic foot media and filter tanks with refillable/removable cartridges, and a PLC and HMI for control of the system that allows the system to be run continuously with remote monitoring. For most waters the total system flow rate can be as high as 10 gal/min (38 L/min) or 14,000 gal/day (54 m³/day). The PETS has been successfully demonstrated on five different water bodies at military installations with varying water characteristics and PFAS sources including ponds, underground storage tanks, and a groundwater. Two PETS-based systems are currently deployed at bases in Japan and one remains at the ERDC for further developments. The design has currently been licensed to one entity in the private sector and discussions are ongoing with two more. The ERDC also has demonstrations planned in the next twelve months for the evaluation of three technologies that are being developed by the private sector for the destruction of AFFF concentrate stockpiles.

Email: Scott.A.Waisner@usace.army.mil, jose.a.mattei-sosa@usace.army.mil, edith.martinez-guerra@usace.army.mil

High PFAS concentrations in water and on solid surfaces

Martin Cornelsen¹

¹Cornelsen Umwelttechnologie GmbH/Essen / Germany

Introduction

On military bases, airports and/or industrial sites contamination can occur which are caused by fire-extinguishing liquids that contain per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS), such as aqueous film-forming foams (AFFF). Origin of these liquids can be spills or fire-fighting training events such as tests in hangars or in fire-training pits.

For understanding better composition and behaviour of such a liquid from a fire-fighting event, a fire was simulated in a vessel. Afterwards, a sample was taken from that liquid and more parameters were measured in the laboratory than usual. Not only PFAS but additional fluorine compounds (organically bound fluorine, capstones) and surfactants had been part of that analytical process. The results made obvious that more parameters play a role in such a liquid. Moreover, their concentrations can be far higher than the concentrations of PFAS in such a liquid.

Materials and methods

Based on these early results, it seemed appropriate to further consider the treatability of such liquids. A column system was used to evaluate the treatment performance that granular activated carbon (GAC) and ion exchange resins (IX) can achieve. For this purpose, small-caliber columns (5 cm in diameter and 1 m tall) were filled with the corresponding materials (fig. 2). For filling hard coal (900 m²/g) and polystyrene crosslinked with divinylbenzene was used.

The objective of the test was first to determine the treatability in such a column unit at different concentrations of the premix (0.25, 0.5 & 1%). In a second step, the 1% premix solution was pre-treated before the liquid was pumped through the columns. A flocculent called PerfluorAd has pre-treated the solution. In this step, PerfluorAd connects to the PFAS in the water which generates a floc because the new molecule is larger and visible in the water. Since the water passes a bag filter, these flocs get removed before the liquid enters the column unit.

Results and Discussion

Investigations of the solution which was utilized for that test showed that a concentration of about 3.6 ppm PFAS (including CDPOS or Capstone B) were present in that liquid. The main components of PFAS were 6:2 FTS with about 67% and Capstone B with about 31%. However, the concentrations of organically bonded fluorine in this solution were in the range of about 100 ppm. After feeding the cleaning stages, both the activated carbon and the ion exchanger showed a rapid increase in the effluent values for organically bound fluorine (about 60 to 70 mg/l) and also for PFAS (about 3 mg/l).

A repetition of the experiment involved pre-treating the water to remove part of the pollutant as particles by filtration and/or sedimentation. This revised approach produced the following results. The contents of organically bonded fluorine and PFAS were reduced by about 90.7% and 94.6% respectively after pre-treatment. However, the charging of carbon filters and ion exchangers with this pre-treated water did not result in a further reduction of the concentrations of organically bonded fluorine. Only the contents of PFAS were reduced from about 192 ppb in the pre-treated water to about 30 ppb in the effluent of the activated carbon and to about 83 ppb in the ion exchanger. The activated carbon filter showed a slight increase in effluent values after about 260 BV, but without reaching the inlet concentrations.

Conclusions

Results of these tests implicate that it can be difficult to treat water from fire-fighting training due to the additional compounds which can be present in the fire-fighting solution. These compounds consume space on the carbon bed and there is none left for the PFAS. This has generated a rapid and unpredictable breakthrough during this test.

On the other hand, a pre-treatment of such a water using the PerfluorAd technology can generate a behaviour on the carbon bed (or resin) that allows a smooth operation of such a treatment system. Since the majority of both PFAS and additional fluorine compounds are removed in a filtration step before the water enters GAC and/or IX, there is space left for the PFAS.

Moreover, these data encouraged us to move into further applications in the field. The PerfluorAd technology enabled both the cleaning of fire extinguishing systems (such as fire-fighting vehicles as well as stationary extinguishing systems during a foam agent transition) and

of the resulting rinse water as illustrated below (fig. 4). Furthermore, it was possible to treat 3500 m³ of fire-fighting water in the BeNeLux-region with a mobile treatment unit which was able to match the discharge criteria reliably.

Email: cornelsen@cornelsen.group

4C system - tool for managing contamination sources at complex sites

***Andre Souza¹, Calvin Iost¹, Felipe Valença¹, Gerson Garofano¹,
Luana Prates¹, Osvaldo Damy¹, Silvio Albertino¹***

¹CETREL, Santo André, Brazil

Introduction and study objectives

The management activities of contaminated areas in active industrial sites are challenging, since there are a series of limitations for carrying out investigation work and environmental remediation. In addition, depending on the age, size of the industrial plant and the nature of the productive activity, the management of environmental liabilities takes on new contours of complexity related to the prevention, identification and elimination of primary sources of contamination. Given the above, this work aims to present a system (4C - Cetrel Core Contamination Connect) developed to be a tool in the management and control of sources of contamination in industrial sites, creating a communication channel between the management of liabilities and the management asset. The tool has graphic outputs and indicators that allow the follow-up of the proposed actions in an interactive way, providing data that help either executive or financial planning, to avoid new contamination and carry out investigation and remediation actions in an assertive way, finally promoting resource savings, partial asset integrity management and harm reduction.

Materials and methods

The 4C system consists of a historical database for information on primary sources of contamination, whether active, suspected or potential. Such sources are grouped into underground (sources located below grade) and above ground (sources in or to a higher position than grade level) and are subdivided into:

- Equipment-source: equipment belonging to the production process, such as pumps, tanks, heat exchangers, compressors etc. that store or manipulate compounds of concern (COC);
- Piping-source: process routing lines through which a COC is transferred;
- Other Sources: sources that do not fit the above definitions such as waste deposit areas, tool cleaning areas, environmental accidents etc.

The tool makes it possible to monitor the “life” of the mapped sources of contamination, and in this sense, all relevant actions and events related to each of them are temporarily recorded. It is also possible to check whether a primary source has an active leak or represents a primary source with a past leak and, if so, the number of times leaks have occurred. All sources are equipped with georeferenced data, which allows spatialization on maps, confronting them with contamination plumes, monitoring wells, soundings, steam wells, etc.

The mapped sources earn a score, within a classification matrix, to indicate the severity of the environmental impact. This matrix was prepared separately for each type of source, whether active or potential. The definition of the source impact score takes into account a series of technical criteria, legal criteria and specific requirements of each industrial plant. The 4C tool was developed in a flexible way so that it adapts to the organizational and corporate reality of each site and, therefore, is customizable to accompany the work method to be defined between managers of built assets and managers of environmental liabilities

It should be noted that the 4C database needs to be fed with a set of information, such as: updating underground maps and structures, updating equipment arrangement map, evaluation of process flowcharts, evaluation of operational procedures, evaluation maintenance procedures, identification of the COC used, in addition to field visits to verify and map the sources.

Results and Discussion

The strategy for managing contaminated areas in active industrial areas may require intense work to eliminate primary sources and prevent the emergence of new sources. The 4C system makes it possible to systematically and temporally order all actions taken to manage contamination sources. The result is the creation of a communication channel between the management of built assets and the management of environmental liabilities which, in general, are different areas within an industrial plant and start to work in synergy. Other tangible and intangible results arising from the application of this tool in the management and control of contamination sources are: physical and financial planning for the execution of activities to eliminate active sources and monitor potential sources, direct environmental investigations, reduce costs in the medium to long term deadline in remediation actions, cost reduction avoiding the

aggravation and the appearance of new primary sources, updating of process documentation, maps and undergrounds.

Another relevant point is that 4C allows industrial managers, who normally have no contact with the problem of contaminated areas, to visualize and quantify the problem, facilitating the provisioning and release of operational and financial resources.

Conclusions

Managing primary sources of contamination at active industrial sites is a difficult task and can become more complicated depending on the size and type of industry. However, such management is essential for the success and effective elimination of environmental liabilities, both to prevent the emergence of contaminated areas and to manage already contaminated sites. In this sense, the work methodology developed together with the 4C management tool enables industrial managers to act by managing sources of contamination. Finally, the implementation of a primary sources management program will promote savings in financial resources spent on environmental liabilities.

Email: andresouza@cetrel.com.br; calviniost@cetrel.com.br; felipevalenca@cetrel.com.br; gersongarofano@cetrel.com.br; luanaprates@cetrel.com.br; osvaldodamy@cetrel.com.br; and silvioalbertino@cetrel.com.br

Development and testing of an algorithm for the dynamic management of a multiple and interfering hydraulic barrier system

**Roberta Perico¹, Giorgio Volpi¹, Elena Leale¹, Paola Frattini²,
Giovanni Prassede²**

¹AECOM, ²Eni Rewind S.p.A. - Studi Ambientali

Introduction and study objectives

This paper describes the development and the test phases of an algorithm useful to the dynamic management of a multiple and interfering hydraulic barrier system. A front Site hydraulic barrier system, consisting of No. 16 extraction wells, is located along the eastern Site border, parallel to the main surface water course, and is active in the shallow portion of the aquifer. The front Site barrier pumping rates are dynamically managed, according to variable seasonal hydraulic conditions, applying a real time optimization algorithm.

Since October 2020, downgradient of the front Site barrier, a new hydraulic barrier was integrated into the groundwater containment system, consisting of No. 5 wells in the shallow aquifer portion and No. 4 wells in the deep aquifer portion. To ensure complete hydraulic containment, without producing negative interferences with the main river and the main shallow hydraulic barrier, a new real-time flow management integrated algorithm was analytically developed; then, it has been tested by means of field groundwater level monitoring and groundwater modelling.

The objective of this work was to define a methodology to develop a dynamic management algorithm to optimize hydraulic barrier flow rates, according to seasonal hydrologic variations.

Materials and methods

The flow rates dynamic management algorithm is based on estimating the groundwater flow along an intercepted aquifer outflow section, according to Darcy's formulation. To define the calculation parameters, an analysis of recent Site area hydrogeological conditions was carried out for both the shallow and deep aquifer. Couples of piezometers, not influenced by the pumping activity at the Site, were selected as groundwater level control points. Based on the hydraulic

gradient between the piezometers couples water level measurements, the optimal flow rate allowing the hydraulic barrier containment in shallow and deep portions was derived over 10 months (January - October 2021), in different hydrological conditions (dry, intermediate and wet conditions). Subsequently, the corrective factors of the algorithm were calibrated in order to achieve the capture fronts coalescence, without generating interference with other pumping systems and the main river. Calibration was conducted through steady-state simulations of the site-specific hydrological numerical model, verifying the complete hydraulic containment in different hydrological scenarios.

The developed algorithm was applied over another hydrological year (February 2022 - January 2023), verified and validated through a “controlled management” test period. Monthly simulations at steady-state conditions were carried out to verify the shallow and deep aquifer portions hydraulic containment applying particle tracking both in backward and forward mode.

Results and Discussion

Based on the algorithm set for shallow and deep aquifer, well flow rates were calculated and applied biweekly during a “controlled management” period between February 2022 and January 2023. The algorithm validation carried out by site-specific numerical simulation showed that the returned flow rate values for the barrier wells provided the hydraulically containment both in the shallow and deep aquifer portions, taking into account the different hydrological conditions occurred during the reference period. In addition, the application of the optimal flow rates calculated by the algorithm provides the minimization/maintenance of stable interference with the main Site barrier and minimization of inversion flow phenomena from the surface water course, located downgradient of the Site.

Conclusions

The described methodology, based on an algorithm development and validation to calculate the optimal flow rates, could be used for dynamic operative management of the hydraulic barrier systems to achieve hydraulic containment under different hydrological conditions.

In this specific case, the algorithm has been developed also to avoid the mutual interferences between two parallel hydraulic barriers and the main river.

The new algorithm calculates the flow rates following the piezometric surface natural fluctuations, so its implementation improved the environmental sustainability of the groundwater containment system, reducing the water resource depletion.

Email: roberta.perico@aecom.com, paola.frattini@enirewind.com,
giovanni.prassedede@enirewind.com

Implementation of a multi-sensor protocol for the evaluation of diffuse methane emissions in landfill sites

Pietro Alexander Renzulli¹, Bruno Notarnicola, Maurizio De Molfetta, Rosa Di Capua, Gianfranco Spizzirri, Francesco Astuto

¹*Ionian Department in law, Economics and Environment – University of Bari Aldo Moro*

Introduction and study objectives

Emissions of methane contained in biogas, coming from landfill sites, represent a non-negligible slice of the overall balance of emissions from this powerful climate-altering gas. The efforts made on the one hand to promulgate environmental protection standards and on the other to increasingly optimize the cultivation phases of landfill sites must be supported by the study and application of new protocols based on increasingly innovative technologies, useful for make monitoring and measurement activities more and more efficient. Specifically, as far as landfill sites are concerned, the monitoring of diffuse emissions is a fundamental practice first of all to limit emissions and secondly to increasingly optimize the uptake of the biogas produced by the waste digestion phases, so as to be able to exploit it in order to produce energy. Therefore, a tool that can allow the identification of the emission points from the landfill body and at the same time carry out a measurement useful for quantifying the type of leakage present from that point, is configured as an important ally both for environmental protection and for the optimization of site management. Sometimes, given the large extensions that some landfill sites have and also having evaluated the complexity of the biogas suction plants, the different types of coverage of the landfill itself or the jagged orography, the UAV instrument stands as a technically applicable and advantageous solution in terms of survey precision, intervention time, operator safety and repeatability of short-term measurements.

Materials and methods

In the present work, the research group of the Jonico Department of the University of Bari presents the structuring of a protocol for measuring the fugitive emissions of methane contained in biogas in

the landfill, consisting in the use of a TDLAS detector and an additional chamber sensor closed with sampling pump, again based on spectrophotometric absorption, both mounted on UAVs, a handheld detector with infrared/semiconductor hybrid reading technology and further corollary tools useful for detailing the measurements made and for obtaining context data such as parameters specific weather conditions and site. The laser present within the TDLAS system equipped on the UAV platform is calibrated on a specific wavelength, reacting only with methane. This element is of fundamental importance since in a landfill site the presence of other gases emitted near the soil-atmosphere interface cannot be excluded. This system allows us to be able to measure the methane supply only with certainty. The spectrophotometer needs additional systems useful for logging the data, acquiring the coordinates to be attributed to the various measurement points and assigning the flight altitudes recorded by the altimeters. Therefore, in order to be able to collect all the information deriving from the systems within a single final dataset, a professional logger is used, customized and calibrated for the specific needs of the project team. The UAV platform useful for the operation of the system described above was chosen and customized on the basis of the specific needs of relief in the field such as reliability during use, presence of GNSS receivers, battery life and therefore of the flight mission, portability, ease of procurement of components (additional or replacement) etc. The handheld sensor used instead consists of a reader body containing both the sensors responsible for the measurements and a flow pump and an acquisition channel made up of a PTFE tube and a metal rod with a micro-perforated probe terminal. Since this is the measurement of a compound in an airborne state, it is of paramount importance to detail the weather picture in order to be able to identify elements such as atmospheric stability classes, turbulent motions, temperature and humidity characteristic even of the first centimeters of the covering or interface layer. Each of these aspects can express on its own or in synergy with other elements the important effects both on the emission and on the subsequent propagation in the environment of methane, therefore a field weather station is used which acquires temperature data, atmospheric pressure, intensity and wind direction. These data are acquired with selectable frequency, the project team has set a data acquisition every 2 seconds, in order to have a detailed picture. At the same time, repeatedly throughout the survey, a measurement of temperature,

humidity and pH of the first thirty centimeters of the landfill cover layer is acquired, using a probe to be inserted. The survey workflow, which can be defined as a real operating protocol, is the result of many tests carried out both at landfill sites and in outdoor environments not necessarily with the presence of methane. This was necessary in order to be able to understand the different effects that solar radiation as well as wind and atmospheric pressure have on both emissions and relief. Since, in fact, as regards the UAV platform, it is a spectrophotometric system with reading of the return beam, it was of fundamental importance to identify which elements, for example reflected sunlight, could have a direct or indirect impact on the measurement.

Results and Discussion

The environmental monitoring activity aimed at identifying the points of diffuse emission in the landfill and measuring the concentrations of methane starts from an accurate desk study phase in which a series of elements relating to the landfill are acquired, useful for framing the specific site situation and approach the subsequent survey design phase in a thoughtful manner. Subsequently, the planning of the monitoring activity will consist of a part relating to the survey via UAV, of a part concerning the verification with a manual instrument and of further corollary phases such as the preparation of the weather instrumentation and the choice of the points in which to carry out the measurement with the probe to stick. After the planning phase we are preparing to carry out the monitoring. While carrying out the surveys there will almost always and necessarily be a remodulation of more or less impactful parameters, defined in the design phase. In fact, it is necessary that the wind (both in direction and in intensity) does not correspond to what was expected, the presence of orographic elements considered to have less impact in the desk study phase, elements related to plant management such as for example machine downtime on the biogas treatment plant and so on. After the survey phase, which may also consist of several survey flights via UAV and several scanning steps with the handheld instrument, dataset acquisition and verification in the field, we move on to the next post processing and analysis phase which takes place indoors. The processing of the acquired data takes place in steps of refining and interpretation, starting from the dataset in raw format there is a first phase of confirmation by means of identification codes of the type of

reading performed, subsequently there is a spatial analysis for confirmation and comparison and finally, once the dataset has been purified, the phase of analysis, interpretation and graphic rendering begins.

Conclusions

The protocol described up to now refers to a standardized survey workflow, each site with its own peculiarities needs the necessary adjustments in order to make the measurement activities as fitting as possible with respect to the specific site characteristics. As the research group has applied, with the various conjugations, the protocol object of this research contribution, the need and the corresponding absence of a technical framework of reference, made up of specifications and standards that go to regulate this kind of measurement and at the same time promote them as effective and official methods for carrying out landfill monitoring.

Email: bruno.notarnicola@uniba.it, pietro.renzulli@uniba.it,
maurizio.demolfetta@uniba.it, rosa.dicapua@uniba.it,
umilegianfranco.spizzirri@uniba.it, francesco.astuto@uniba.it

Publicato in [settembre 2023]
Prima edizione

