REGENESIS®

Bonifica integrata in situ presso un sito complesso contaminato da solventi clorurati in Italia

La bonifica in un impianto attivo di gestione rifiuti consente l'avanzamento dei lavori di costruzione



Punti chiave

Tipologia di sito:
Impianto attivo di gestione rifiuti nel Nord Italia con discariche e impianti di trattamento

Obiettivo del progetto:
Minimizzare la contaminazione delle acque sotterranee e la migrazione del plume al di fuori del sito, limitando al contempo i disagi causati alle attività di costruzione di un nuovo impianto di termovalorizzazione

Contaminanti:
Solventi clorurati, tra cui 1,1-dicloroetene (1,1-DCE), triclorometano o cloroformio (TCM), 1,2-dicloroetano (1,2-DCA) e cloruro di vinile (VC)

Processi di trattamento:
Combinazione di riduzione chimica in situ, biodegradazione potenziata e adsorbimento con iniezioni a griglia nell'area sorgente e barriere permeabili reattive a valle

Tecnologie impiegate:
S-MicroZVI® (SMZVI), PlumeStop® e 3-D Microemulsion® (3DME)

Geologia:
Sabbie e sabbie limose, falda superficiale a circa 2 m da piano campagna (p.c.)

Sintesi

In un impianto di gestione dei rifiuti attivo nel Nord Italia la presenza diffusa di solventi clorurati nelle acque sotterranee superficiali ha richiesto un intervento di bonifica nell'area prevista per la costruzione di un nuovo impianto di termovalorizzazione. A seguito di indagini condotte per fasi e dell'esecuzione di un test pilota, A2A Ambiente (A2A), TAUW e REGENESIS hanno implementato un intervento di bonifica in situ Full Scale che ha combinato la riduzione chimica mediante S MicroZVI (SMZVI), l'adsorbimento tramite PlumeStop e la biodegradazione potenziata attraverso elettro-donatori, tra cui 3-D Microemulsion (3DME), con l'obiettivo di ridurre le concentrazioni dei contaminanti. Al fine di garantire la compatibilità con il programma di costruzione dell'area, le attività sono state eseguite secondo una tempistica particolarmente serrata, utilizzando più sonde di perforazione in parallelo e avvalendosi di prove di verifica in campo e di un coordinamento quotidiano tra tutti i soggetti coinvolti. I risultati mostrano una marcata riduzione della massa contaminante nell'area sorgente e il raggiungimento dei valori obiettivo di bonifica in entrambe le barriere reattive. Parallelamente, è stato possibile avviare la realizzazione del nuovo impianto di termovalorizzazione mantenendo attive le operazioni di bonifica della falda.

Contesto del sito

Il sito è un impianto di gestione rifiuti in esercizio nel Nord Italia, che comprende diverse discariche e impianti di trattamento distribuiti su una superficie di circa 500.000 m². All'interno di una porzione del sito era prevista la realizzazione di un nuovo termovalorizzatore, che ha reso necessario un intervento di bonifica delle acque sotterranee nell'area interessata dal progetto di sviluppo (Figura 1).

Figura 1 Planimetria generale

Planimetria generale del sito con il perimetro della discarica evidenziato in viola e l'area prevista per il nuovo impianto di termovalorizzazione (WTE) in rosso.

Fonte: A2A, aggiornato da REGENESIS



L'area destinata alla riqualificazione era in precedenza adibita a uso agricolo ed è caratterizzata da terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-limosi. L'acquifero superficiale si trova a circa 2 m da piano campagna e presenta uno spessore di circa 9 m e una velocità stimata effettiva della falda compresa tra 0,3 e 0,4 m/giorno.

Le attività iniziali di monitoraggio della falda avevano evidenziato esclusivamente basse concentrazioni di 1,1-DCE, generalmente inferiori a 1 µg/L. Considerato che nel sito non venivano utilizzati né trattati rifiuti contenenti solventi clorurati, l'ipotesi iniziale era che la contaminazione potesse derivare da una contaminazione diffusa della falda superficiale oppure da una sorgente esterna al sito.

Caratterizzazione del sito per fasi

Prima di definire la strategia di bonifica più appropriata, A2A ha condotto una caratterizzazione del sito articolata in più fasi, al fine di individuare la sorgente di contaminazione e definire le caratteristiche del plume. Le principali attività svolte e i relativi risultati sono sintetizzati di seguito:

- Un'indagine mediante Membrane Interface Probe (MIP) ha consentito di individuare una zona sorgente nei terreni saturi associata al tratto terminale di un canale interrato negli anni Ottanta (Figura 2). Una prova mediante tracciante al trizio ha inoltre escluso il percolato di discarica come possibile origine della contaminazione.
- Le indagini geofisiche hanno individuato un'area con rifiuti interrati riconducibile alle attività storiche del sito, associata a concentrazioni di solventi clorurati in falda fino a 6.000 µg/L di 1,1-DCE, 15.000 µg/L di TCM e 1.000 µg/L di 1,2-DCA.
- L'installazione di nuovi piezometri e sondaggi ha consentito di definire un plume lungo circa 300 m e di identificare la presenza in falda di 1,1-DCE, con tracce di TCM e 1,2-DCA. In corrispondenza del confine del sito sono state riscontrate concentrazioni superiori alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) (Figura 3).

Figura 2 Ricostruzione 3D delle indagini MIP

Ricostruzione tridimensionale delle indagini MIP che mostra la zona sorgente di contaminazione da composti clorurati in corrispondenza del tratto terminale dello storico canale (vista da nord a sud).

Fonte: A2A

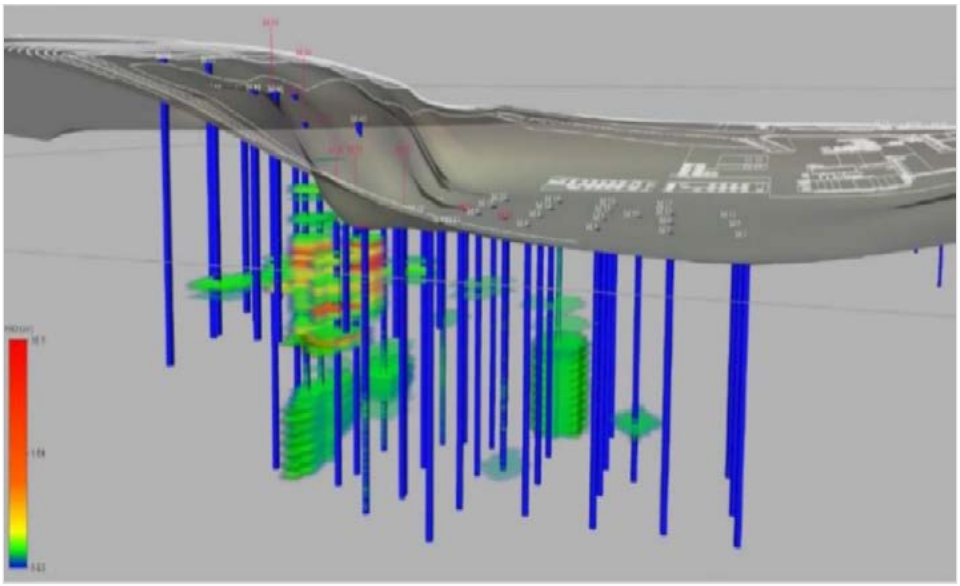
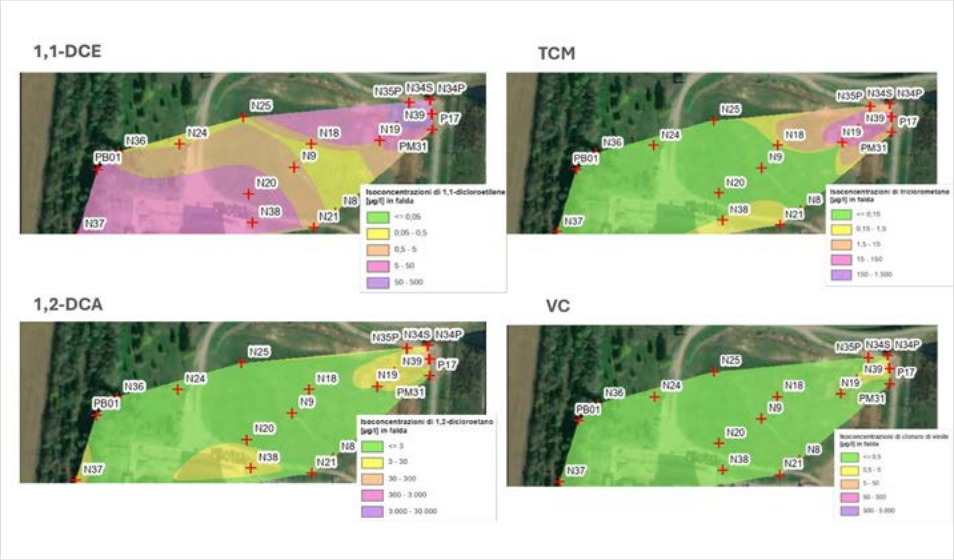


Figura 3

Mappe di isoconcentrazione del plume di solventi clorurati

Mappe di isoconcentrazione del plume per 1,1-DCE, TCM, 1,2-DCA e VC.

Fonte: A2A



Messa in sicurezza di emergenza

A seguito delle indagini di caratterizzazione, sono state implementate misure di messa in sicurezza e contenimento finalizzate a limitare l'ulteriore migrazione del plume, tra cui:

- scavo e trattamento off-site di rifiuti interrati
- installazione di un pozzo di emungimento di grande diametro nell'area sorgente
- installazione di un sistema di pump-and-treat per il controllo idraulico al confine del sito
- trattamento delle acque di falda estratte prima dello scarico in corso d'acqua superficiale
- completamento dell'analisi di rischio sito-specifica per la salute umana e l'ambiente.

Parallelamente all'attuazione delle misure di messa in sicurezza, A2A ha coinvolto TAUW, società multinazionale leader nella consulenza ambientale, e REGENESIS per sviluppare una strategia di bonifica in situ per la gestione della contaminazione delle acque sotterranee e che consentisse al contempo il rispetto del programma di realizzazione del nuovo termovalorizzatore.

Bonifica in situ

Obiettivi

La strategia di bonifica è stata concepita per supportare sia il risanamento ambientale sia la riqualificazione dell'area. Nel breve termine, l'obiettivo è stato ridurre la contaminazione della falda minimizzando al contempo le interferenze con la costruzione del nuovo impianto e mantenendo le concentrazioni dei contaminanti al di sotto dei valori soglia definiti dall'analisi di rischio. Nel lungo periodo, il progetto mirava a creare le condizioni necessarie per la dismissione della barriera idraulica installata al confine del sito come misura temporanea di contenimento.

Valori obiettivo di bonifica

1,1-DCE	0,05 µg/L
VC	0,5 µg/L
1,2-DCA	3,0 µg/L
TCM	0,15 µg/L



Le frequenti precipitazioni hanno rappresentato una sfida rilevante per le attività di campo.

Principali criticità del sito

Il conseguimento di questi obiettivi è stato reso particolarmente complesso dalle condizioni del sito, tra cui:

- un'area di bonifica di circa 20.000 m^2
- presenza di diverse classi di composti clorurati
- contaminazione diffusa a basse concentrazioni su gran parte del plume
- falda superficiale e stratificazione eterogenea del sottosuolo
- obiettivi stringenti da raggiungere
- sovrapposizione con altre attività di bonifica e di costruzione in corso

Il sito presenta inoltre una falda molto superficiale (con rischio di fuoriuscita di prodotto in superficie durante le attività di iniezione), livelli argillosi nel sottosuolo, la necessità di mantenere operativo il pump-and-treat e una finestra temporale particolarmente limitata per l'esecuzione degli interventi, imposta dal programma dei lavori di costruzione.

Strategia di intervento

Considerata l'estensione dell'area di intervento, la presenza di differenti classi di solventi clorurati e la necessità di realizzare rapidamente l'intervento per consentire la riqualificazione del sito, il team di lavoro ha sviluppato una strategia di trattamento integrata della sorgente e del plume. L'obiettivo era ridurre la massa contaminante nella zona sorgente, trattare la contaminazione in fase disciolta lungo il percorso di migrazione e contenere la migrazione del plume prima che questo raggiungesse la barriera idraulica installata al confine del sito.

Le caratteristiche del sito favorivano l'adozione di un approccio di bonifica in situ efficace e realizzabile mediante un unico intervento, basato sull'impiego di reagenti ingegnerizzati estremamente longevi e di meccanismi di trattamento sinergici. Per conseguire gli obiettivi di bonifica, la strategia adottata ha combinato riduzione chimica in situ (ISCR), declorurazione riduttiva potenziata (ERD) e adsorbimento e biodegradazione in situ (ISSB).

La strategia di intervento si basava su due elementi principali, descritti di seguito e illustrati schematicamente in Figura 4.

Zona sorgente – Iniezioni a griglia di SMZVI e 3DME

La zona sorgente è stata trattata mediante iniezioni con configurazione a griglia di SMZVI, ferro zero-valente solfurato e colloidale, e di 3DME, un elettrodonatore caratterizzato da elevata distribuibilità nel sottosuolo ed elevata longevità. I due reagenti sono stati miscelati e applicati congiuntamente per promuovere processi di declorurazione riduttiva sia abiotica che biotica dei composti clorurati, ridurre la massa contaminante presente nella zona sorgente e limitare il continuo apporto di contaminanti al plume.

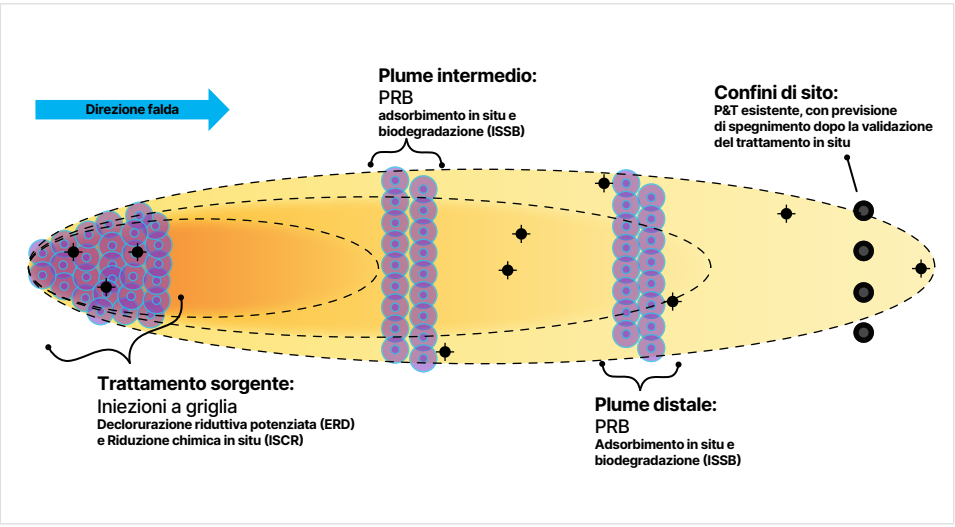
Plume a valle idrogeologico - Barriere PlumeStop

Nelle porzioni intermedia e distale del plume, il carbone attivo colloidale PlumeStop è stato iniettato per realizzare due barriere permeabili reattive. Questa soluzione sfrutta il naturale flusso delle acque sotterranee per convogliare i contaminanti all'interno di una zona di trattamento, dove la migrazione del plume può essere rallentata di diversi ordini di grandezza. In tali condizioni, la biodegradazione dei composti clorurati, potenziata mediante l'aggiunta di elettrodonatori, può avvenire in uno spazio significativamente più ridotto all'interno della barriera. Questa strategia basata su barriere reattive è stata selezionata quale soluzione più efficiente per il basso flusso di massa dei contaminanti presenti nel plume.

Figura 4 Strategia di bonifica delle acque sotterranee

Schema concettuale della strategia di bonifica della falda.

Fonte: TAUW, modificato da REGENESIS



Dettagli applicazione pilota

Strategia	Biodegradazione potenziata mediante PlumeStop ed elettrodonatori
Punti di iniezione	15
Intervallo di trattamento	Da 2 a 12 m da p.c.
Volume di reagente iniettato	Circa 53.000 L

Dettagli applicazione Full Scale

Strategia zona sorgente	Iniezioni con configurazione a griglia di S-MicroZVI e 3DME
Punti di iniezione	32
Intervallo di trattamento	Da 2 a 12 m da p.c.
Volume di reagenti iniettato	Circa 171.000 L

Strategia per barriere intermedia e distale	Biodegradazione potenziata mediante PlumeStop ed elettrodonatori
Numero totale di punti di iniezione	108
Intervallo di trattamento	Da 2 a 12 m da p.c.
Volume di reagente iniettato	Circa 353.000 L

Implementazione

Fase pilota

Prima di procedere all'applicazione Full Scale, è stato eseguito un test pilota delle barriere PlumeStop per verificarne la fattibilità, ottimizzare le modalità di iniezione e valutarne l'efficacia del trattamento. Le attività di verifica hanno incluso prove di iniezione finalizzate all'ottimizzazione della pressione, della portata e della sequenza di iniezione, il confronto tra differenti metodiche di applicazione e configurazioni delle attrezzature, nonché il campionamento di acque sotterranee e terreni per verificare la corretta distribuzione dei reagenti.

Applicazione Full Scale

A seguito dei risultati positivi della prova pilota, il team ha implementato un intervento Full Scale che ha combinato il trattamento della zona sorgente con l'installazione di barriere reattive nelle aree intermedia e distale del plume (Figura 5). Le attività in campo hanno incluso il prelievo di campioni mediante carotaggi di verifica in entrambe le barriere, il campionamento delle acque sotterranee mediante tecnologia direct-push e controlli visivi giornalieri delle acque nei piezometri situati in prossimità dei punti di iniezione.

Per completare l'intervento entro i tempi previsti, nonostante le frequenti e intense precipitazioni, sono state impiegate in parallelo da due a tre sonde di perforazione. Ciò ha richiesto un costante e stretto coordinamento tra REGENESIS, TAUW, A2A e gli altri soggetti coinvolti nelle attività operative del sito.

Figura 5 Layout di iniezione

Layout delle iniezioni in situ

Fonte: TAUW (modificato da REGENESIS)



Risultati

Nonostante le numerose criticità del sito, il programma di bonifica in situ è stato portato a termine con successo nei tempi previsti, producendo i seguenti risultati principali:

Test pilota

- Il test pilota ha dimostrato il raggiungimento dello stringente obiettivo di bonifica previsto (CSC) per il parametro 1,1-DCE già alla prima campagna di monitoraggio, effettuata circa 40 giorni dopo l'iniezione, fornendo evidenze a supporto dell'applicazione Full Scale (Figura 6).

Full Scale

- Nella zona sorgente sono state osservate significative riduzioni delle concentrazioni dei contaminanti (Figure 7-9). I risultati ottenuti evidenziano una marcata riduzione del flusso di massa dei solventi clorurati e una sostanziale limitazione del potenziale di ulteriore sviluppo del plume.
- In tutti i piezometri installati in corrispondenza delle barriere intermedia e distale, le concentrazioni di composti clorurati hanno raggiunto i valori obiettivo previsti (CSC) (Figure 10 e 11).
- A seguito dell'applicazione dei reagenti, si sono rapidamente sviluppate condizioni riducenti favorevoli alla degradazione dei solventi clorurati, che sono rimaste sostanzialmente stabili durante i 15 mesi di monitoraggio realizzati ad oggi. Si prevede che il trattamento continui a rimanere attivo ed efficace per diversi anni.

Figura 6 Dati di monitoraggio del test pilota

Concentrazioni di 1,1-DCE durante il monitoraggio del test pilota, che evidenziano una rapida riduzione entro circa 40 giorni post-applicazione.

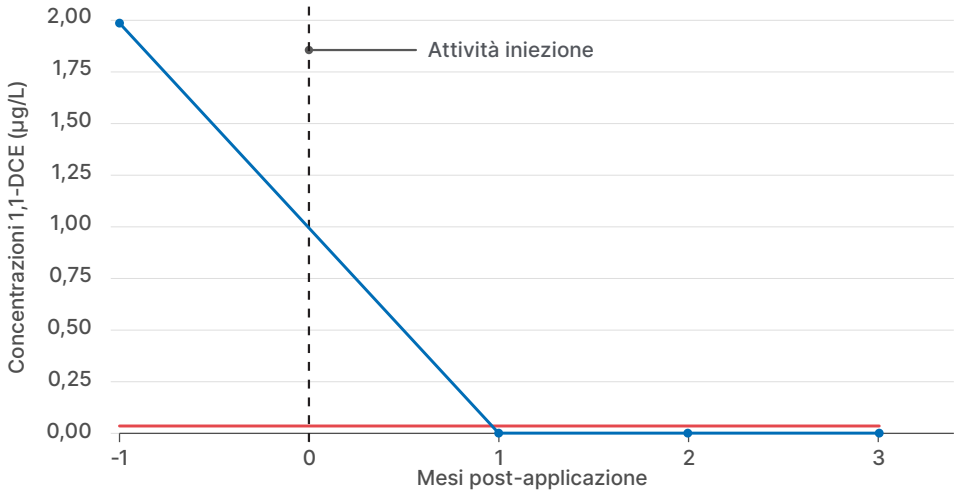
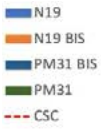


Figura 7

Dati di monitoraggio del 1,1-DCE (zona sorgente)

Concentrazioni di 1,1-DCE nei piezometri della zona sorgente prima e dopo le iniezioni.



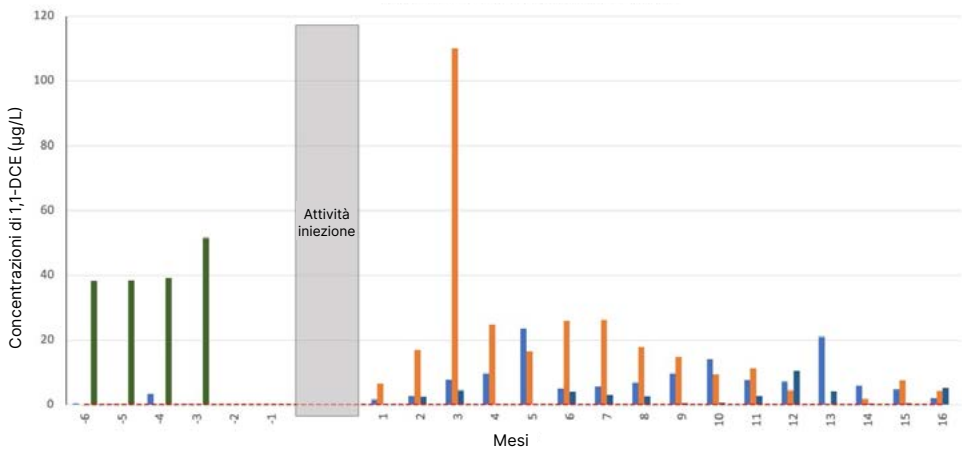


Figura 8

Dati di monitoraggio del TCM (zona sorgente)

Concentrazioni di TCM nei piezometri della zona sorgente prima e dopo le iniezioni.



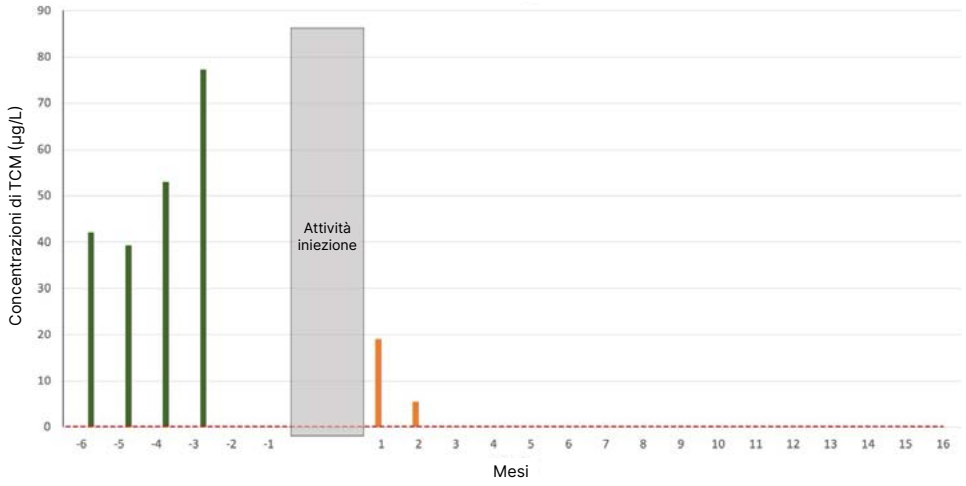
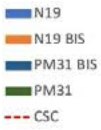


Figura 9

Dati di monitoraggio del 1,2-DCA (zona sorgente)

Concentrazioni di 1,2-DCA nei piezometri della zona sorgente prima e dopo le iniezioni.



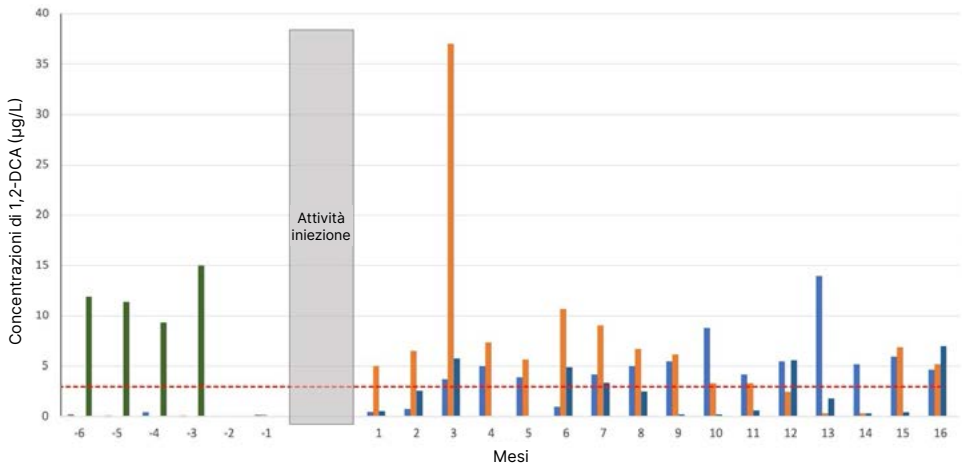


Figura 10 Dati di monitoraggio del 1,1-DCE (barriera intermedia)

Concentrazioni di 1,1-DCE nella barriera PlumeStop intermedia, prima e dopo le iniezioni.

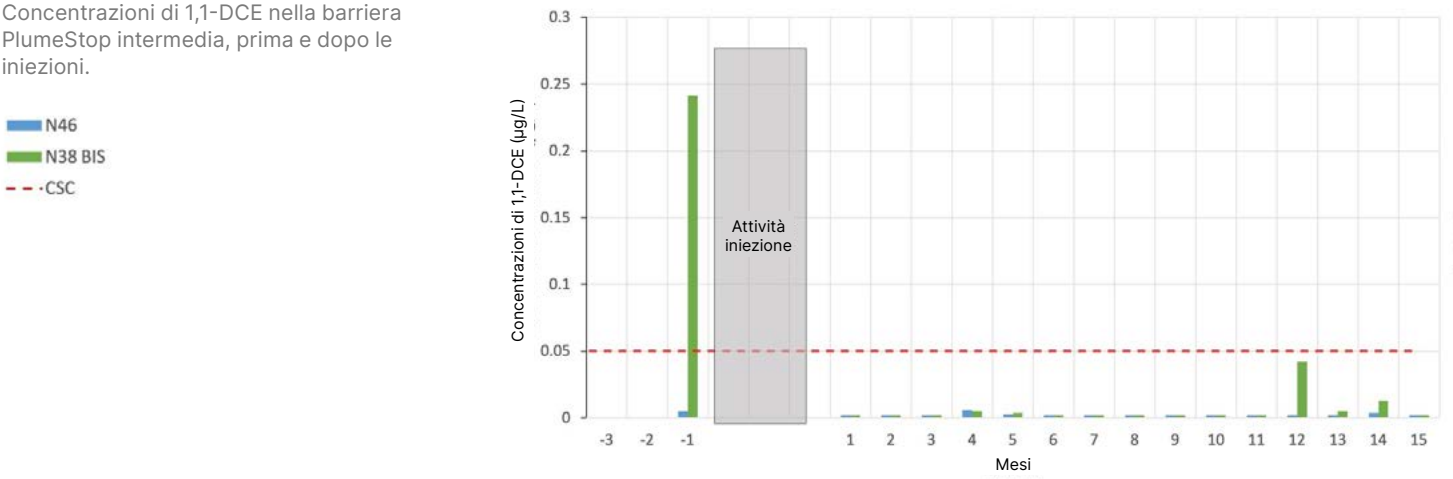
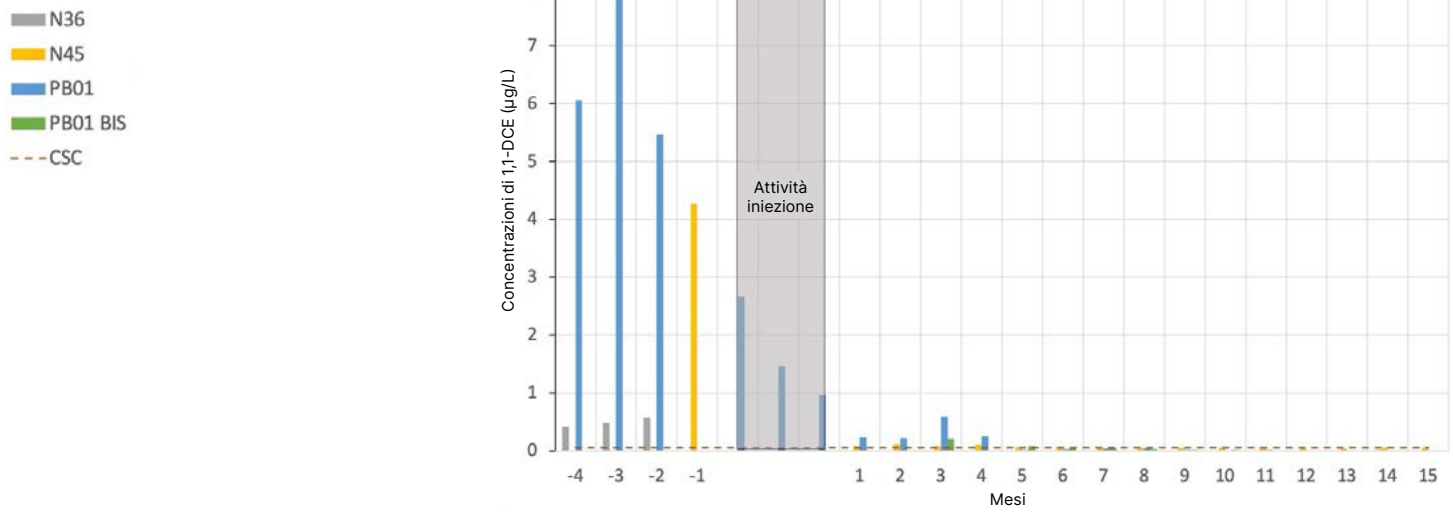


Figura 11 Dati di monitoraggio del 1,1-DCE (barriera distale)

Concentrazioni di 1,1-DCE nella barriera distale PlumeStop, prima e dopo le iniezioni.



Conclusioni

Il progetto rappresenta un esempio concreto di come un approccio multidisciplinare di bonifica in situ possa coniugare gli obiettivi di bonifica ambientale e di riqualificazione del sito.

La strategia integrata basata sul trattamento della sorgente e sull'impiego di barriere reattive a valle idrogeologico ha determinato una significativa riduzione delle concentrazioni dei contaminanti lungo l'intero plume, il raggiungimento dei valori obiettivo nelle due barriere e l'avvio dei lavori di costruzione del nuovo termovalorizzatore mentre le attività di bonifica erano ancora in corso.

Un elemento chiave del successo dell'intervento è stato il completamento delle attività rispettando tempistiche particolarmente stringenti, dettate dalle esigenze del programma di costruzione, grazie a uno stretto coordinamento tra A2A, TAUW, REGENESIS e i team operativi coinvolti. Questo intervento rappresenta un esempio concreto di come la bonifica in situ possa ridurre il rischio ambientale, limitare le interferenze con le attività operative e favorire il proseguimento delle attività di riqualificazione del sito.

Referenti del progetto

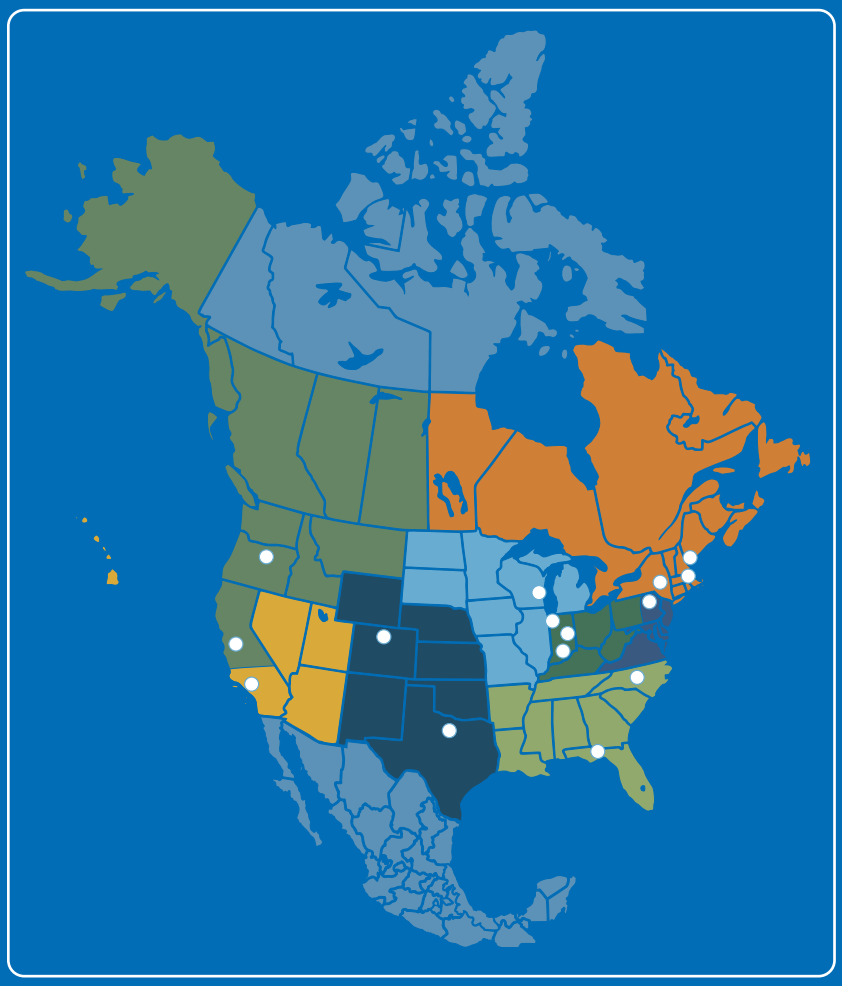
Christian Nielsen
Business Unit Manager, TAUW
c.nielsen@tauw.com

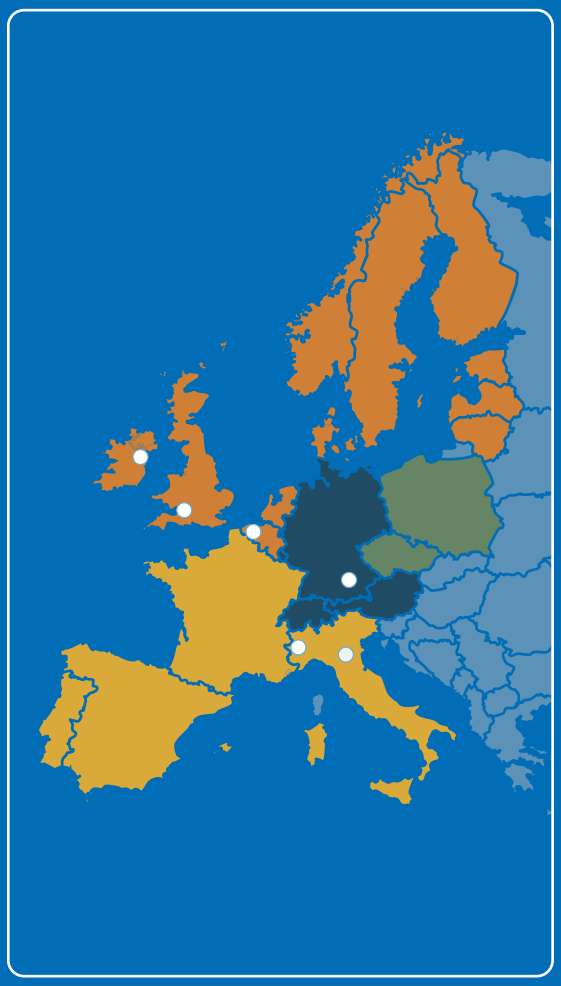
Alberto Cicognani
Remediation Manager, A2A Ambiente S.p.A
alberto.cicognani@a2a.it



Hai una sfida da affrontare? Risolviamola insieme.

Contattaci oggi per discutere delle tue esigenze specifiche.





Sede centrale

1011 Calle Sombra
San Clemente, CA 92673 USA

Tel: (949) 366-8000
Fax: (949) 366-8090

Europa

Bath, Regno Unito
Tel: +44 (0) 1225 61 81 61

Dublino, Irlanda
Tel: +353 (0) 9059 663

Torino, Italia
Tel: +39 338 4694021

Ieper, Belgio
Tel: +32 (0)498 57 26 90

© 2026 Tutti i diritti riservati. 3-D Microemulsion, S-MicroZVI, PlumeStop e REGENESIS sono marchi registrati di REGENESIS Bioremediation Products. Tutti gli altri marchi sono di proprietà dei rispettivi proprietari.

REGENESIS®
www.REGENESIS.com