REGENESIS®

Barriera in situ assicura Certificazione di Avvenuta Bonifica in Italia

S-MicroZVI e PlumeStop consentono trattamento ISCR di successo, raggiungendo limiti stringenti per più anni

In evidenza

Tipologia di sito:
Area verde: Giardino di un oratorio

Obiettivo del progetto:
Conformità normativa per ottenere Certificazione di Avvenuta Bonifica, garantendo la sicurezza della popolazione e dell'ambiente off-site

Contaminazione:
Tetracloroetilene (PCE) - 300 microgrammi per litro (µg/L), tricloroetilene (TCE) 10 µg/L, e triclorometano (TCM) 10 µg/L

Trattamento:
Riduzione chimica *in situ* (ISCR) combinata con adsorbimento *in situ* (ISS)

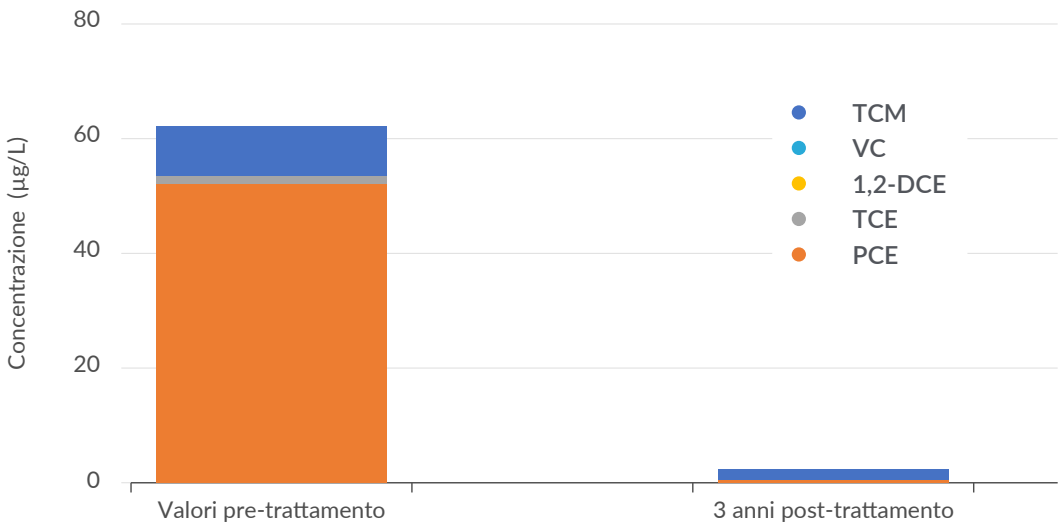
Prodotti:
PlumeStop e S-MicroZVI

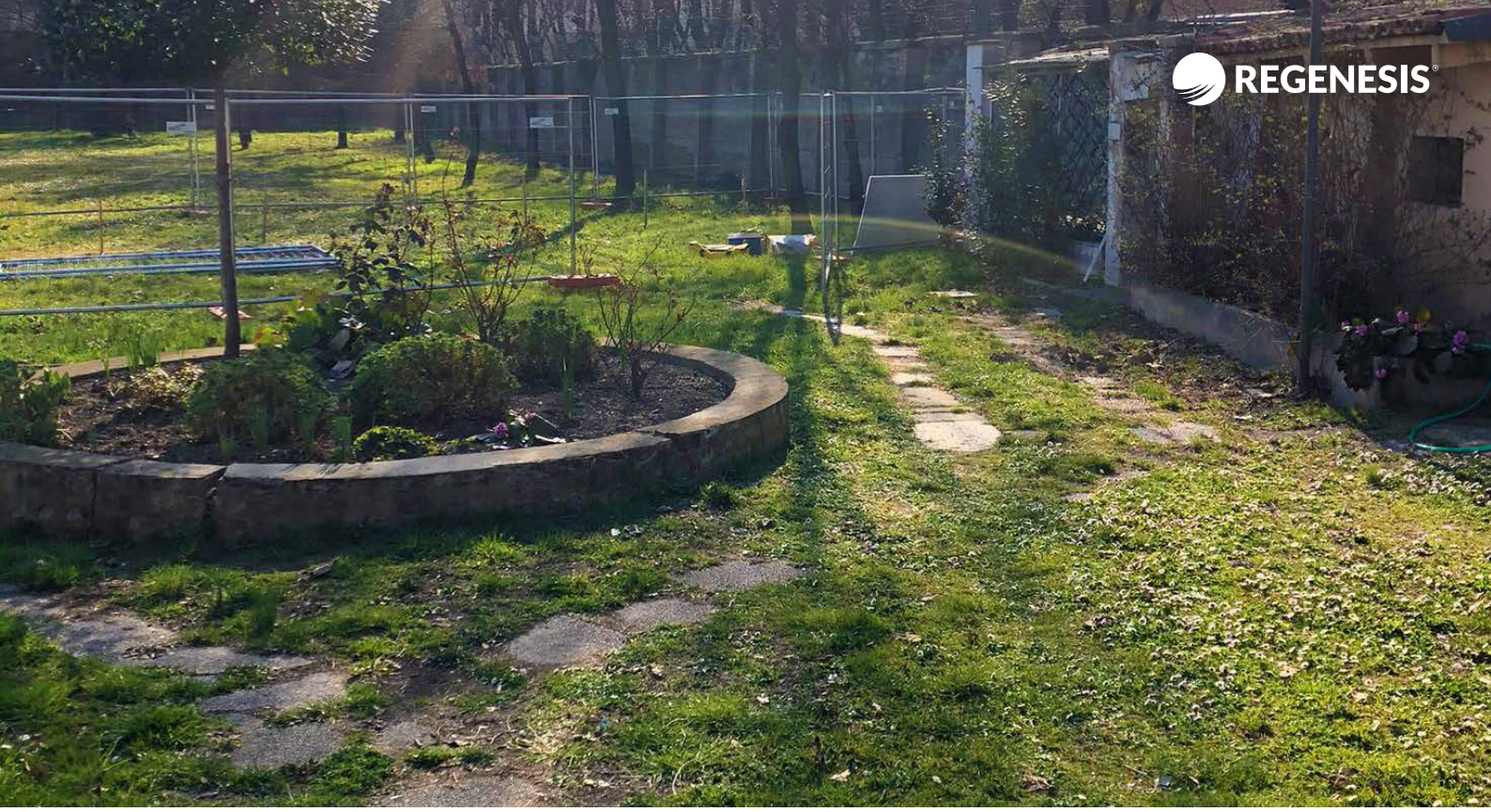
Geologia:
Ghiaia sabbiosa. L'area presentava una geologia complessa, con necessità di pre-fori per raggiungere profondità > 20 m attraverso terreni cementati

Riepilogo

Una barriera permeabile reattiva per il trattamento in situ di un plume, installata nel giardino di un oratorio di una chiesa, ha ottenuto la Certificazione di Avvenuta Bonifica (CAB) come parte di un intervento più ampio per gestire la contaminazione della falda da tetracloroetilene (PCE) proveniente da uno stabilimento manifatturiero in Italia. Utilizzando una combinazione di S-MicroZVI® e PlumeStop®, l'intervento ha ridotto con successo le concentrazioni di PCE al di sotto del limite di 100 µg/L, con risultati duraturi osservati durante più anni di monitoraggio.

PC17 - Concentrazioni medie prima e 3 anni dopo il trattamento





Introduzione

In una grande città italiana, uno stabilimento manifatturiero ha causato una contaminazione da tetracloroetilene (PCE) che ha formato un ampio plume nella falda sottostante. Le condizioni altamente aerobiche della falda hanno ostacolato l'attenuazione naturale, portando negli anni all'assenza di sottoprodotti di degradazione rilevabili.

TAUW, una tra le principali aziende multinazionali di consulenza ambientale, aveva già implementato una barriera idraulica all'interno dei confini dello stabilimento, come previsto dalla legge. Tuttavia il plume si estendeva oltre i confini del sito, diffondendosi in una zona residenziale densamente popolata e con accesso limitato. Per gestire questa problematica, è stato sviluppato un Master Plan da parte di Tauw, in collaborazione con l'Università La Sapienza di Roma e le autorità locali, con l'installazione di una rete di barriere nella città, con l'obiettivo di ridurre efficacemente le concentrazioni del plume.

La barriera permeabile reattiva (PRB) discussa in questo caso di studio si trova all'interno del giardino di un oratorio di una chiesa e forma parte di una strategia più ampia di bonifica del plume persistente di PCE.

Sono stati applicati S-MicroZVI e PlumeStop come barriera permeabile reattiva (PRB) per consentire la Riduzione Chimica *In Situ* (ISCR) e l'Adsorbimento *In Situ* (ISS). L'applicazione simultanea di queste tecnologie è stata progettata per rimuovere rapidamente i contaminanti dalle acque sotterranee e assicurare che vengano completamente degradati con una minima generazione di sottoprodotti.

Approccio di bonifica

La PRB è stata configurata utilizzando il carbone attivo colloidale PlumeStop e il ferro zero-valente colloidale solfurato S-MicroZVI. Queste tecnologie colloidali sono caratterizzate da bassa viscosità, che consente di co-applicarle nel sottosuolo a bassa pressione. Questo metodo garantisce una distribuzione uniforme dei reagenti all'interno delle zone di flusso in cui migra la contaminazione, potenziando così l'efficacia delle prestazioni di bonifica.

ISCR potenziata con PlumeStop: Barriere avanzate per il trattamento a lungo termine di plume di solventi clorurati

PlumeStop e S-MicroZVI sono reagenti liquidi colloidali alla microscala che vengono co-iniettati nelle PRB, dando luogo a un processo sinergico di ISCR potenziata che elimina rapidamente solventi clorurati come PCE e TCE. Questi prodotti combinano l'alta efficienza di adsorbimento di PlumeStop con la struttura solfurata unica di S-MicroZVI, per creare PRB *in situ* auto-rigeneranti che bloccano nel lungo periodo il trasporto dei contaminanti.

Meccanismi di Funzionamento:

Adsorbimento: le particelle di carbone attivo di PlumeStop, di dimensioni <2 micron, rivestono la matrice dell'acquifero, creando un ampio filtro di carbone che inizia, immediatamente dal momento dell'iniezione, a bloccare il flusso dei contaminanti.

Trasformazione: le particelle di ZVI solfurato di S-MicroZVI, di dimensioni <4 micron, hanno una reattività 30 volte superiore rispetto allo ZVI convenzionale, trasformando rapidamente i contaminanti adsorbiti in composti non tossici come etene ed etano.

Rigenerazione: con i sottoprodotti terminali (come etene ed etano) che sono scarsamente adsorbibili, i siti di adsorbimento vengono liberati e rigenerati continuamente, supportando il processo ISCR.

Questo processo ISCR potenziato con PlumeStop supera i metodi con barriere tradizionali prevenendo gap nel trattamento ed evitando la produzione di sottoprodotti tossici come il cloruro di vinile. Le proprietà ingegnerizzate di PlumeStop e S-MicroZVI garantiscono un trattamento ISCR completo dei contaminanti, riducono la frequenza delle re-iniezioni e abbassano i costi del ciclo di vita di interventi di bonifica con PRB.

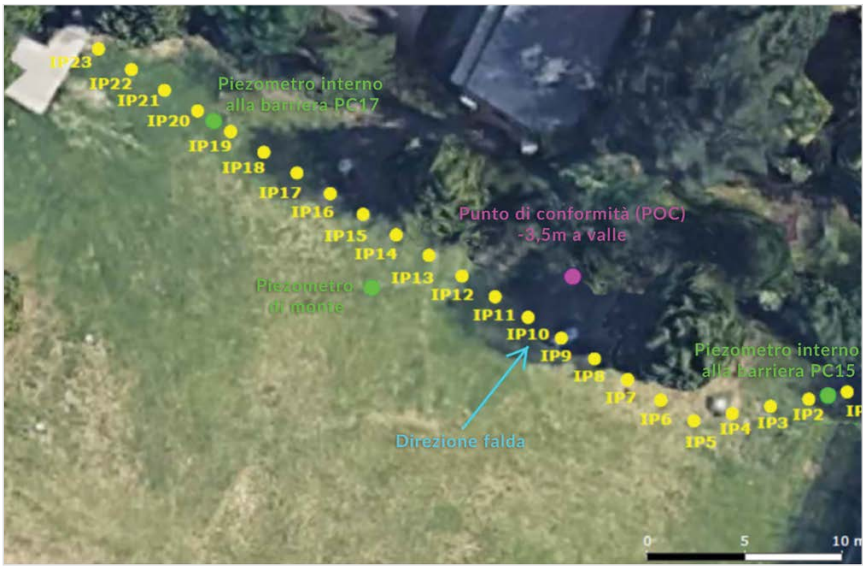
Applicazione

REGENESIS Remediation Services ha installato la PRB nell'area verde dell'oratorio in un arco temporale di otto giorni. L'applicazione, progettata per minimizzare le interferenze con le attività dell'area, è stata eseguita con una singola mobilizzazione utilizzando la tecnologia di iniezione direct-push. La barriera ISCR-ISS di 46 metri di lunghezza è stata costruita tramite 23 punti di iniezione direct-push, distanziati di 2 metri l'uno dall'altro. S-MicroZVI e PlumeStop sono stati miscelati e co-iniettati in ciascun punto.

Figura 1

Vista aerea dei punti di iniezione che formano la PRB e i piezometri di monitoraggio. Immagine modificata da TAUW.

Vista aerea



Pre-fori per iniezioni profonde

È stato oggetto di trattamento un acquifero di limitato spessore (circa 1 m) a una profondità di 24 m al di sotto di un suolo cementato. A causa di ciò, le tecniche convenzionali di iniezione direct-push non erano utilizzabili. Per risolvere questo problema, è stata utilizzata per il pre-foro una sonda standard con un diametro di 101 mm. I fori di perforazione sono stati poi riempiti, con cemento nelle zone non sature e sabbia nelle aree destinate all'iniezione. Dopo questa attività preliminare, la sonda direct-push è riuscita a perforare il cemento per eseguire il processo di iniezione.

Verifica e validazione

Sono state effettuate iniezioni a bassa pressione (<2 bar) per adattarsi alla geologia complessa del sito, facilitando la distribuzione dei substrati nelle zone di flusso. L'idoneità di queste condizioni è stata confermata tramite test di verifica, che hanno aiutato a ottimizzare le impostazioni di pressione e volume di iniezione.

Sono stati condotti test di validazione dell'iniezione per verificare la sovrapposizione dei raggi di influenza, garantendo l'integrità e l'efficacia della barriera lungo tutta la sua lunghezza.

Dettagli dell'applicazione

Punti di iniezione	23
Spaziatura	2 metri
Profondità di iniezione	± da 23,8 m a 24,8 m sulla base delle risultanze dei pre-fori, adattando in campo in funzione degli spessori saturi riscontrati in ogni punto di iniezione
Prodotti iniettati	PlumeStop e S-MicroZVI con dosaggi adattati per ogni punto in funzione della geologia, lo spessore di trattamento e il tenore di contaminazione
S-MicroZVI	Da 39 kg a 80 kg per punto
PlumeStop	Da 52 kg a 100 kg per punto
Durata dell'iniezione	8 giorni lavorativi
Volume iniettato	Circa 620 L/punto, con adattamenti fino a un massimo di 1200 L/punto ove necessario per assicurare la distribuzione dei reagenti e un trattamento efficace

Risultati

La barriera iniettata ha dimostrato una notevole efficacia nella gestione dei contaminanti, raggiungendo e mantenendo sul lungo termine la conformità ai limiti previsti. Di seguito sono riportati i principali risultati:

Riduzione del PCE: La barriera ha abbassato rapidamente le concentrazioni di PCE nel punto di conformità a valle, mantenendole costantemente al di sotto del valore obiettivo di 100 µg/L, riducendo le concentrazioni pre-intervento di 2 ordini di grandezza.

Immediatamente dopo l'applicazione sono state raggiunte concentrazioni inferiori al limite di rilevabilità. Queste si sono poi attestate a una riduzione stabile del 96%, ben al di sotto delle concentrazioni obiettivo, a conferma di una degradazione completa.

Risultati stabili: Queste concentrazioni si sono mantenute al di sotto dei limiti previsti durante i tre anni di monitoraggio post-applicazione.

Assenza di sottoprodotti: Non sono stati rilevati sottoprodotti della declorurazione riduttiva, come il cis-DCE e il VC, a conferma degli effetti sinergici dell'adsorbimento e della riduzione chimica.

Riduzione del TCM: I livelli di triclorometano sono stati anch'essi ridotti grazie all'applicazione della barriera.

Certificazione ottenuta: Gli ottimi risultati hanno portato le autorità locali ad emettere la Certificazione di Avvenuta Bonifica, validando l'efficacia dell'approccio ISCR-ISS.

Figura 2

Concentrazioni di TCM e cloroetileni nel punto di conformità POC prima e dopo l'applicazione di S-MicroZVI e PlumeStop.

- TCM
- VC
- 1,2-DCE
- TCE
- PCE

Punto di conformità (POC) - Concentrazioni medie prima e dopo

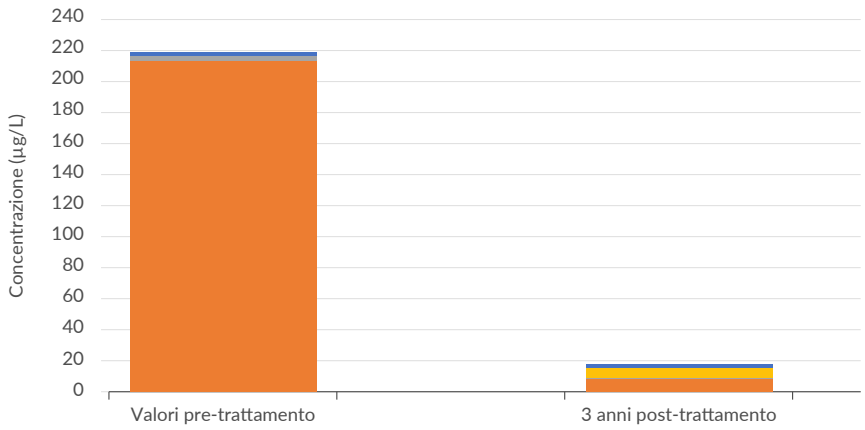


Figura 3

PC15 - Concentrazioni medie prima e dopo

Concentrazioni di TCM e cloroetileni nel piezometro PC15 all'interno della barriera dopo l'applicazione di S-MicroZVI e PlumeStop.

- TCM
- VC
- 1,2-DCE
- TCE
- PCE

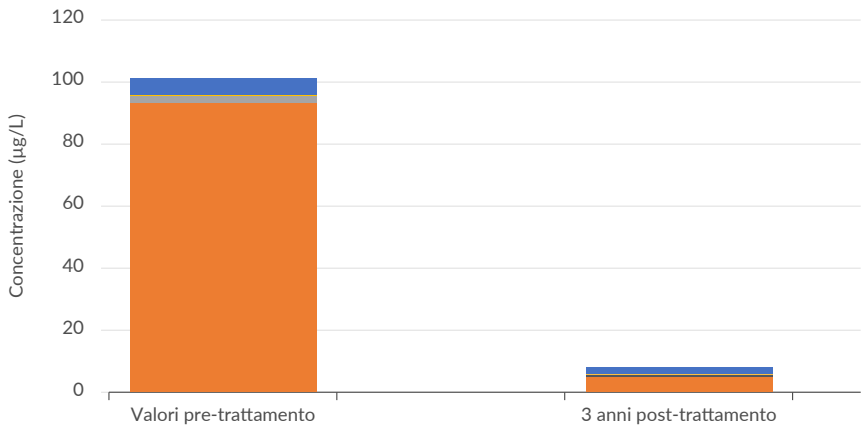
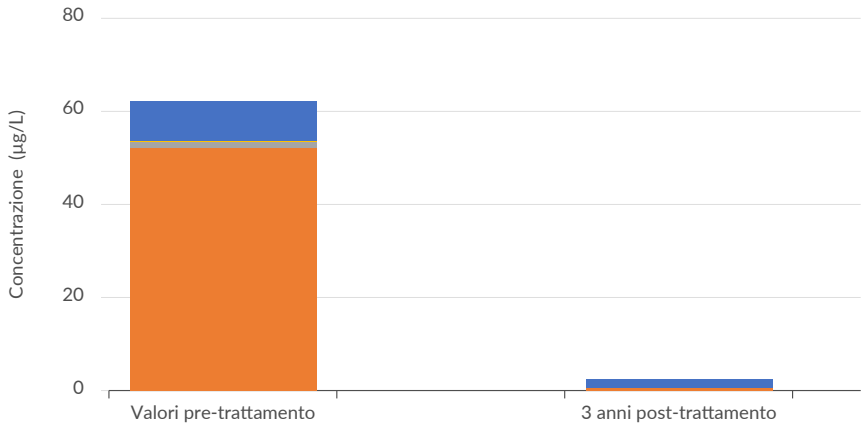


Figura 4

PC17 - Concentrazioni medie prima e dopo

Concentrazioni di TCM e cloroetileni nel piezometro PC17 all'interno della barriera dopo l'applicazione di S-MicroZVI e PlumeStop.

- TCM
- VC
- 1,2-DCE
- TCE
- PCE



Conclusioni

L'applicazione di S-MicroZVI e PlumeStop, realizzata con precisione da TAUW e REGENESIS, ha rapidamente raggiunto e mantenuto i valori obiettivo, minimizzando al contempo le interferenze con le attività quotidiane dell'oratorio della chiesa. La barriera *in situ* funziona senza necessità di energia o manutenzione e, grazie alle sue capacità di auto-rigenerazione, si prevede che continui a trattare la falda contaminata dal plume di solventi clorurati per anni a seguito di questa singola applicazione.

A proposito di TAUW

TAUW è una società di consulenza e ingegneria europea con una posizione di rilievo nella consulenza ambientale e nello sviluppo sostenibile dell'ambiente di vita. Con uffici nei Paesi Bassi, in Belgio, Germania, Francia, Spagna e Italia, oltre 1.200 dipendenti lavorano con dedizione per un ambiente pulito, sicuro e sostenibile.

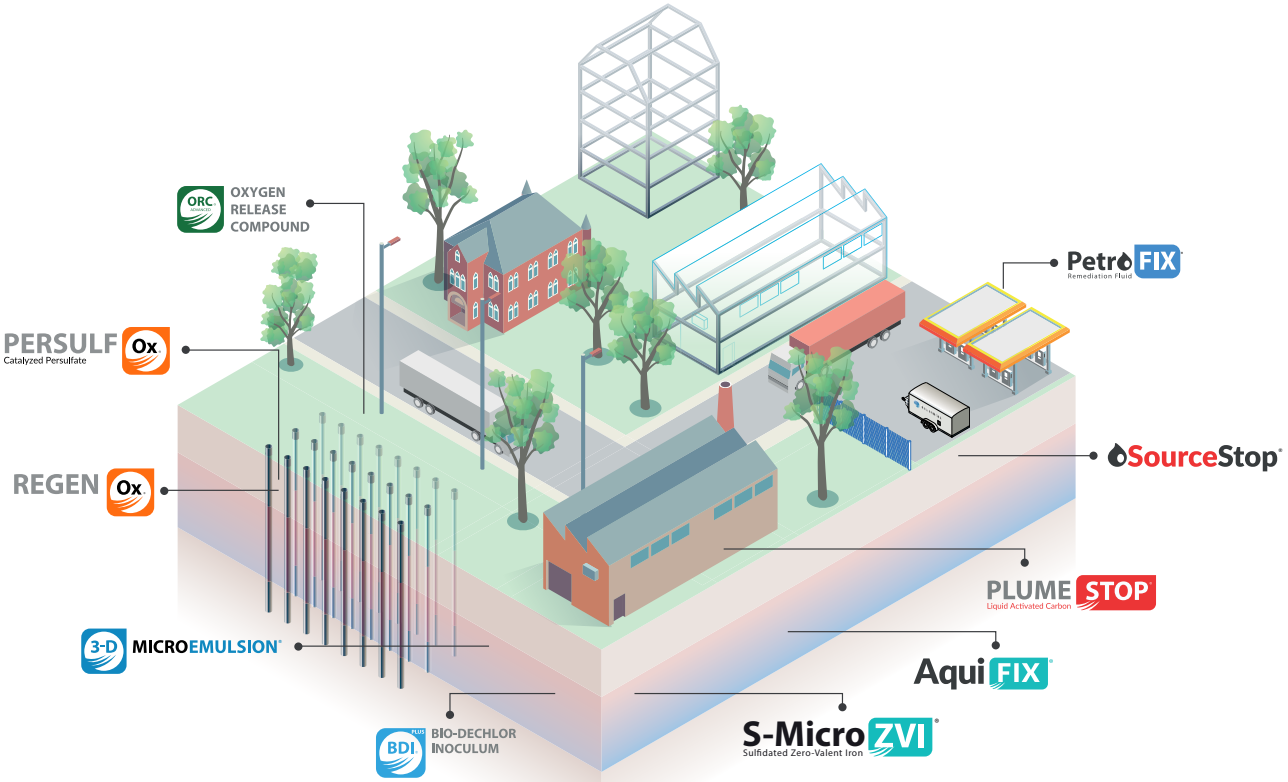
TAUW Italia è attiva dal 1990 e rappresenta un punto di riferimento per clienti industriali, fondi di investimento e real estate. Con 2 uffici, a Milano e Pisa, TAUW Italia è specializzata nella progettazione e gestione operativa di progetti di bonifica e riqualificazione di siti, permitting, audit e compliance management.

Contatti di riferimento

TAUW Italia S.r.l.

Christian Nielsen
Senior Project Manager
Piazza Leonardo da Vinci 7 - 20133 Milano - Italy
c.nielsen@tauw.com
+39 335 5209504
www.tauw.it
www.tauw.com

Università La Sapienza di Roma
Prof. Marco Petrangeli Papini
Project Coordinator
marco.petrangelipapini@uniroma1.it



PlumeStop® Liquid Activated Carbon™ è composto da particelle di carbone attivo molto fini (dimensioni 1-2 micron) sospese in acqua tramite una dispersione polimerica organica unica che previene l'aggregazione e consente la permeazione attraverso la matrice dell'acquifero. PlumeStop aderisce alla matrice dell'acquifero subito dopo l'iniezione, rimuovendo rapidamente i contaminanti dalle acque sotterranee per eliminare il rischio. Può essere co-applicato con elettro-donatori, elettro-accettori o utilizzato come reagente singolo per trattare la maggior parte dei contaminanti organici in falda.

SourceStop® previene la percolazione dei PFAS dai suoli e interrompe la migrazione in falda per eliminare il rischio per i recettori a valle. Disponibile nelle formulazioni liquida e solida, la tecnologia con carbone attivo colloidale (CAC) di SourceStop offre una distribuzione insuperabile, penetrando e rivestendo permanentemente i suoli contaminati. Progettato per una facile applicazione, risultati rapidi e trattamento a lungo termine, SourceStop è una soluzione flessibile ed economicamente vantaggiosa per i siti PFAS.

PetroFix® è una tecnologia a base di carbone attivo colloidale utilizzata per bonificare gli idrocarburi petroliferi in siti contaminati. PetroFix utilizza una formulazione brevettata di carbone attivo per adsorbire gli idrocarburi. Fornisce inoltre accettatori di elettroni per stimolare la biodegradazione degli idrocarburi.

RegenOx® è un reagente di ossidazione chimica in situ (ISCO) utilizzato per ossidare direttamente i contaminanti. Il suo componente catalitico unico genera una serie di radicali liberi altamente ossidanti che distruggono rapidamente ed efficacemente una serie di contaminanti, tra cui gli idrocarburi e i composti clorurati. RegenOx è un reagente ISCO iniettabile bi-componente che combina un ossidante alcalino a base di percarbonato di sodio (Parte A), con una miscela liquida di silicati di sodio, gel di silice e solfato ferroso (Parte B), risultando in una potente tecnologia che distrugge i contaminanti.

PersulfOx® è un innovativo reagente di ossidazione chimica in situ (ISCO) che distrugge i contaminanti organici nelle acque sotterranee e nel suolo tramite reazioni abiotiche di ossidazione chimica. È un prodotto tutto-in-uno con un catalizzatore incorporato che attiva il componente di persolfato di sodio e genera radicali liberi che distruggono i contaminanti senza la costosa e potenzialmente pericolosa aggiunta di un attivatore separato.

ORC Advanced® è un composto ingegnerizzato per il rilascio di ossigeno sviluppato per la biodegradazione aerobica potenziata in situ degli idrocarburi petroliferi in falda e nei suoli saturi. Contenente il 17% in peso di ossigeno molecolare, ORC Advanced fornisce un rilascio controllato di ossigeno molecolare, un accettatore di elettroni che ottimizza l'attività microbica nella zona di trattamento fino a 12 mesi dopo l'applicazione.

3-D Microemulsion® è un reagente facile da applicare per il trattamento in situ di acquiferi contaminati da solventi clorurati. La tecnologia brevettata, applicata come sospensione micellare, fornisce una fonte di idrogeno controllata e auto-distribuente per supportare la declorurazione riduttiva potenziata biologicamente mediata. La formulazione unica di 3-D Microemulsion consente la sua distribuzione da parte delle acque di falda che fluiscono naturalmente, e persiste per anni dopo l'iniezione, risultando in una copertura molto maggiore dell'area di trattamento e in tassi di degradazione più rapidi rispetto ad altri donatori di elettroni.

AquiFix™ è un reagente solido colloidale per il trattamento in situ degli acquiferi contaminati da solventi clorurati, progettato per essere miscelato direttamente e co-applicato con PlumeStop. La formulazione innovativa, in attesa di brevetto, include una fonte di acidi grassi solidi arricchita di nutrienti che stabilisce rapidamente e supporta la declorurazione riduttiva potenziata per lunghi periodi (tipicamente dieci anni dopo l'iniezione). Il profilo ottimizzato di rilascio di idrogeno di AquiFix migliora significativamente l'efficacia del trattamento e riduce i costi di trattamento di questi contaminanti.

BDI PLUS® (Bio-Dechlor INOCULUM Plus) è un consorzio naturale arricchito contenente Dehalococcoides sp. e altri microrganismi decloruranti per una bioaugmentation dei processi di declorurazione riduttiva potenziata. Co-applicato con elettro-donatori come 3-D Microemulsion e AquiFix, BDI PLUS ha dimostrato di migliorare l'efficienza della bonifica dei solventi clorurati.

S-MicroZVI® è una sospensione colloidale di ferro zero-valente solfurato che promuove la distruzione di una vasta gamma di contaminanti organici, tra cui solventi clorurati, pesticidi, aloalcani e composti energetici. S-MicroZVI è ingegnerizzato per promuovere una rapida degradazione della contaminazione attraverso molteplici percorsi, portando a una bonifica più veloce minimizzando al contempo la formazione di sottoprodotti. Rispetto ai prodotti ZVI con dimensione di particelle più grandi, le particelle di S-MicroZVI, di dimensioni comprese tra 2 e 3 micron, sospese in un polimero brevettato, lo rendono facile da maneggiare e semplice da iniettare, portando a una distribuzione del reagente significativamente migliore.

Sede centrale

Email: info@REGENESIS.com

1011 Calle Sombra
San Clemente, CA 92673 USA

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

Europa

Email: europe@REGENESIS.com

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

Torino, Italia
Ph: +39 338 8717925

Dublino, Irlanda
Ph: +353 (0) 1 853 7384

Ieper, Belgio
Ph: +32 (0) 57 35 97 28

© 2025 Tutti i diritti riservati. 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