

SMARTSTRIPPING® GreenRemediation

di Claudia Beatrice Mosangini - SmartStripping® Project Manager, cm@ecosurvey.it

Irene Jubany - Fundació CTM Centre Tecnològic Manresa, irene.jubany@ctm.com.es

Martí Vicenç - Universitat Politècnica de Catalunya, Department of Chemical Engineering, ETSEIB, vicens.marti@upc.edu

Fulvio Borrino - Felsilab, f.borrino@felsilab.it

SmartStripping® è una tecnica di green remediation per la bonifica di siti contaminati senza emissioni di gas in atmosfera, senza l'estrazione delle acque sotterranee e senza scarichi idrici con elevata efficacia per la rimozione di composti organici volatili e semi-volatili (VOC e SVOC).

SmartStripping® GreenRemediation

SmartStripping® is a green remediation technique for the remediation of contaminated sites without gas emissions into the atmosphere, without the extraction of groundwater and without wastewater discharge with high efficiency for the removal of volatile organic compounds and semi-volatile compounds (VOC and SVOC).

I composti organici volatili e semi volatili sono tra i principali composti responsabili della contaminazione del sottosuolo e delle acque sotterranee, composti spesso cancerogeni, sono tuttora molto diffusi sul territorio,



Co-funded by the Eco-innovation Initiative of the European Union

utilizzati in molti settori industriali, come i composti organici del cloro e quotidianamente anche dalla maggior parte dei cittadini, come gli idrocarburi aromatici nei carburanti. La bonifica del sottosuolo è un problema non trascurabile in tutta l'Europa; Claudia Olazabal (DG Environment European Commission) ha dichiarato durante la BOSICON - Bonifica dei siti inquinati Conferenza presso l'Università della Sapienza di Roma nel maggio 2009 che "tra i 3,5 milioni di siti potenzialmente inquinati, più di 500.000 hanno un rischio significativo per la salute e per l'ambiente" e "stiamo perdendo 38 milioni di euro all'anno per il degrado del suolo". Dal punto di vista normativo il principio "chi inquina paga" introdotto diciassette anni fa nella normativa italiana con il D.Lgs. 22/1997 si è ulteriormente rafforzato anche dalle recenti disposizioni normative (es. direttiva 2010/75/UE) che introducono il concetto di "tolleranza zero" nei confronti di nuove forme di inquinamento. Questo articolo intende sottolineare il ruolo decisivo della green remediation nel settore dell'inquinamento del sottosuolo ed illustra due argomenti di interesse: il primo per accennare alla specifica normativa in materia di caratterizzazione/bonifica ambientale ed il secondo per illustrare SmartStripping® una tecnica di green remediation per la decontaminazione da idrocarburi e composti organoclorurati ritenuta coerente con i principi di sviluppo sostenibile del programma Eco-Innovation della Commissione Europea.

Sintesi normativa in materia di caratterizzazione e bonifica di un sito contaminato

Il Titolo V, Parte Quarta, del D.Lgs 152/2006, "Testo Unico Ambientale" disciplina gli interventi di bonifica e ripristino ambientale dei siti contaminati, definisce procedure, criteri e modalità per lo svolgimento delle attività necessarie in armonia con le norme comunitarie, vigenti anche negli altri Paesi membri, ribadendo il principio "chi inquina paga" introdotto in Italia per la prima volta nel 1997. Il D.Lgs. 152/2006 definisce siti potenzialmente contaminati quelli dove almeno un parametro, tra quelli elencati in Allegato 5, risulta con concentrazioni superiori alle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC), e definisce un sito contaminato quando i relativi valori di concentrazione risultano superiori alle concentrazioni soglia di rischio (CSR) da determinare mediante una analisi di rischio sito-specifica.

Al verificarsi di un evento potenzialmente in grado di contaminare un sito, il soggetto responsabile della potenziale contaminazione, o il proprietario incolpevole, esegue, entro 24 ore, le misure di prevenzione

informando Comune, Provincia, Regione, nonché Prefetto. Sarà quindi eseguito un piano di indagini preliminari per verificare la qualità delle matrici ambientali coinvolte dall'evento di contaminazione: qualora le analisi preliminari evidenzino un superamento delle CSC, il sito sarà definito potenzialmente contaminato ed entro 30 giorni dovrà essere predisposto ed inviato agli enti un Piano di Caratterizzazione (PdC). Entro 30 giorni dal recepimento del PdC, la Regione (o ente delegato) indice la Conferenza dei Servizi (CdS). L'Analisi di Rischio (AdR), che consente una valutazione del grado di contaminazione di un'area, deve essere sviluppata ed inviata agli enti entro 6 mesi dall'approvazione del PdC. Qualora i risultati dell'AdR accertino il superamento delle CSR, il soggetto responsabile della contaminazione avrà l'obbligo di predisporre un "Progetto definitivo di bonifica del sito contaminato" entro 6 mesi dalla data di approvazione dell'AdR.

In presenza di eventi di contaminazione pericolosi o contaminazioni storiche con potenziale rischio per la salute, il responsabile dell'inquinamento è tenuto a comunicare agli Enti le misure di messa in sicurezza di emergenza. Considerando che in emergenza spesso sono necessari interventi di contenimento della migrazione delle acque sotterranee contaminate con sbarramenti idraulici, altrettanto spesso è necessario escludere la possibilità di gestire in sito le ingenti quantità di acque estratte dal sottosuolo senza un'autorizzazione allo scarico idrico. Se i tempi tecnici per la realizzazione degli impianti di emungimento e trattamento/depurazione sono realizzabili in alcuni giorni, le relative autorizzazioni per lo scarico idrico in fognatura o acque superficiali si ottengono difficilmente entro una decina di mesi, talvolta dopo un paio d'anni, svilendo il requisito dell'emergenza e lasciando al responsabile dell'inquinamento i rischi della propagazione dei danni. Tra le tecniche di messa in sicurezza delle acque sotterranee si preferiscono quelle che consentono di notificare un intervento agli enti ed avviare gli impianti nel medesimo giorno: appunto, la tecnologia a ciclo chiuso SmartStripping® priva di emissioni/scarichi consente di notificare la MISE (Misure di messa In Sicurezza di Emergenza) alle Autorità e avviare gli impianti di bonifica nella stessa giornata.

Il principio della tecnologia SmartStripping®

Il sistema riduce le concentrazioni di composti organici volatili e semi volatili (VOC e SVOC) assorbiti da terreni insaturi e dissolti nelle acque sotterranee. SmartStripping® è adatto per la rimozione di composti clorurati (esempio tetracloroetilene, tricloroetilene, dicloroetilene, cloruro di vinile), frazioni leggere di idrocarburi (esempio benzene, etilbenzene, stirene, toluene e xilene), composti caratteristici dei prodotti di raffinazione (metil-butil-etero, piombo tetraetile) caratterizzati da pressione di vapore $>0,5$ mm Hg e costante di Henry maggiore di $1,93 \times 10^{-4}$ atm m³/mol.

La tecnologia può essere definita una combinazione e un miglioramento di tecniche di bonifica esistenti: la bonifica delle acque sotterranee avviene innescando il trasferimento dei contaminanti dalla zona satura (acque sotterranee) alla zona insatura (zona vadosa) mediante l'insufflaggio di un ciclo chiuso di aria in falda. Il sistema provoca la liberazione dalle acque sotterranee dei VOC e SVOC ed i contaminanti migrano dalla zona satura alla zona insatura. Nella zona insatura è generato uno stato di depressione in modo da estrarre e convogliare i gas

contaminati in un sistema di depurazione a carboni attivi, prima di essere nuovamente convogliati nelle acque sotterranee per ri-attivare il processo di stripping a ciclo chiuso e continuo di aria (vedi Fig. 1).

Il processo è più sostenibile rispetto ad altre tecnologie: durante la bonifica l'acqua non è estratta dalle acque sotterranee e gas e/o acque di scarico non sono rilasciati nell'ambiente. Inoltre la tecnologia può essere installata in pochi giorni nel rispetto della legislazione ambientale, i risultati di bonifica sono raggiunti rapidamente ed i costi del trattamento sono nell'ordine di 0,2 €/m³ di falda depurata rispetto a 0,6 €/m³ per il sistema Air-Sparging e da 0,6 a 1,99 €/m³ per il sistema Pump & Treat.

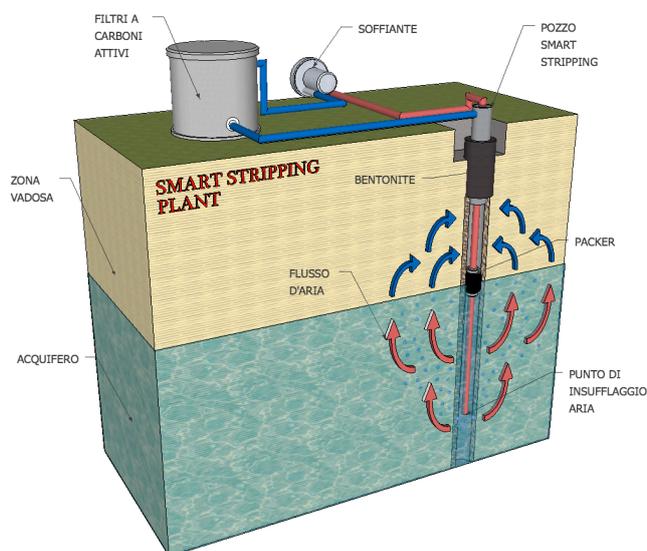


Fig. 1 - Schema della tecnologia SmartStripping®

I vantaggi di questa tecnologia rispetto ai tradizionali processi di bonifica (Pump and Treat-P&T, Air Sparging-AS, Soil Vapor Extraction-SVE + Air Sparging-AS, In Well Stripping-IWAS e Barriera Reattiva Permeabile-BRP), sono schematizzati in Fig. 2.

Descrizione	SS	P&T	AS	SVE/AS	IWAS	PRB
Utilizzo pozzi esistenti per la bonifica	😊	😐	😐	😐	😞	n.a.
Minimo disturbo alle attività del sito durante il funzionamento del sistema	😊	😐	😊	😐	😐	😊
Trattamento acque sotterranee (zona satura)	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Trattamento sottosuolo (zona insatura)	😊	😞	😞	😊	😊	😞
Le acque depurate non sono scaricate in fognatura o corsi superficiali	😊	😞	😊	😊	😊	😊
I VOC estratti dall'acqua non sono immessi in atmosfera	😊	n.a.	😐	😞	😞	n.a.
I costi di esercizio sono generalmente bassi	😊	😐	😊	😞	😞	😐
La quantità di rifiuti prodotti è generalmente bassa	😊	😞	😊	😐	😐	😊
Non occorrono autorizzazioni per lo scarico delle acque	😊	😞	😊	😊	😊	😊
Non occorrono autorizzazioni per emissioni in atmosfera	😊	😊	😊	😞	😞	😊
Durata della bonifica generalmente ridotta	😊	😞	😊	😊	😞	😞
Costi competitivi	😊	😐	😐	😐	😐	😞
La ventilazione favorisce la degradazione dei contaminati organici nel suolo	😊	😞	😊	😊	😊	😞
Riduce le vie di esposizione per l'Analisi di Rischio Sanitario Ambientale	😊	😐	😞	😊	😐	😞

Fig. 2 - Tabella di confronto tra SmartStripping (SS) ed altre tecnologie di bonifica (P&T: Pump&Treat, AS: Air Sparging e SVE/AS: Soil Vapor Extraction + Air Sparging, IWAS: In Well Stripping, PRB: Barriera Reattiva Permeabile)

Applicazioni in sito

L'elevata efficacia di SmartStripping® è stata osservata nella bonifica delle acque sotterranee di una decina di siti ubicati in Italia. Nel sito in provincia di Parma, in terreni omogenei a medio-alta permeabilità sottostanti un deposito industriale di carburanti, nelle acque sotterranee contaminate da frazioni di idrocarburi leggeri in tre mesi di applicazione SmartStripping® sono state osservate le seguenti riduzioni di concentrazioni: Idrocarburi totali da 10.000 µg/l a <10 µg/l, MTBE da 3.000 µg/l a <0,5 µg/l e idrocarburi aromatici totali da 1.200 µg/l a <1 µg/l.

La tecnologia Smart-Stripping® è stata applicata anche in punto vendita carburanti in provincia di Grosseto dove un impianto di Pump&Treat era stato precedentemente installato, ma con difficoltà di avvio a causa della negata autorizzazione allo scarico delle acque dopo il trattamento. L'acqua trattata doveva essere prelevata e poi trasportata in una discarica con un aumento del costo della bonifica. Pertanto, l'impianto Pump&Treat è stato sostituito dalla tecnologia SmartStripping® e in diciotto mesi di applicazione sono state osservate le seguenti riduzioni di concentrazioni: idrocarburi totali da 2.000 µg/l a <50 µg/l, MTBE da 6.000 µg/l a <75 µg/l e idrocarburi aromatici totali da 100 µg/l a <1 µg/l.

Inoltre, per implementare le potenzialità del sistema anche in condizioni di permeabilità non ottimali sono stati progettati ed installati tre impianti SmartStripping® con diverso layout che consentiranno di comparare le varianti implementate in termini di massa contaminante rimossa, anche in supporto di sistemi Pump&Treat già esistenti.

Monitoraggio chimico gas e acque sotterranee

Il sistema di monitoraggio mensile degli impianti SmartStripping® include la verifica della qualità delle acque sotterranee, del flusso d'aria di ri-circolazione e dei carboni attivi che catturano i contaminati e depurano l'aria prima del riutilizzo in falda. Dalla Fig. 3 si osserva il comportamento di uno dei parametri

più significativi del ciclo di cattura della sperimentazione SmartStripping® in corso: l'1,2-dicloroetilene presente inizialmente nelle acque sotterranee passa allo stato gassoso come effetto dello stripping operato dal sistema di bonifica a ciclo chiuso e risulta catturato dai carboni attivi, in ciascuno dei 3 impianti oggetto di sperimentazione, proporzionalmente con le concentrazioni presenti inizialmente nelle acque sotterranee.

CAPTURE CYCLE

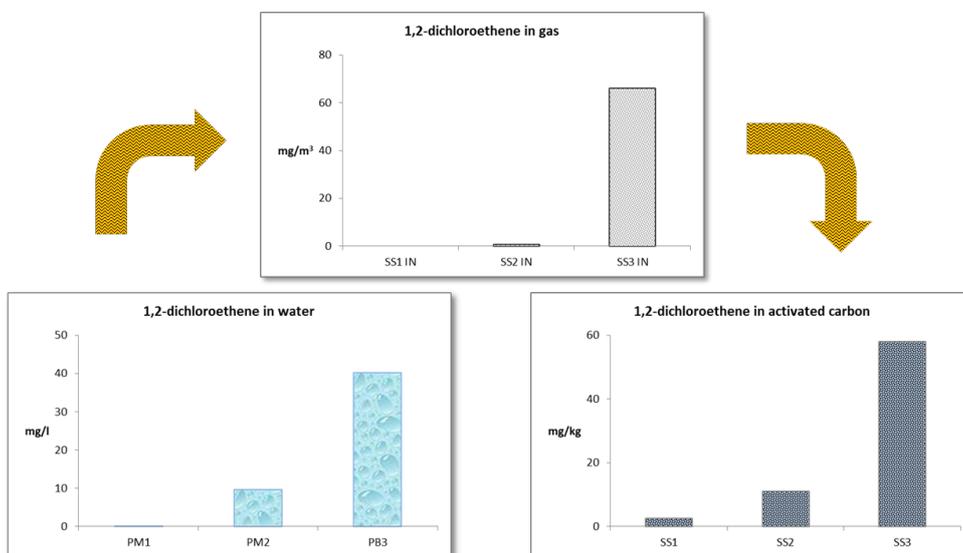


Fig. 3 - Ciclo di cattura dei contaminati operato dal sistema SmartStripping® misurato in sito

Standardizzazione della tecnologia

Il miglioramento continuo della tecnologia SmartStripping® è misurato in sito sulla base dei dati sperimentali acquisiti ed in laboratorio mediante test pilota in scala ed elaborazioni software.

L'ottimizzazione dei parametri di processo per mezzo di modellazione e simulazione di laboratorio è eseguita dal

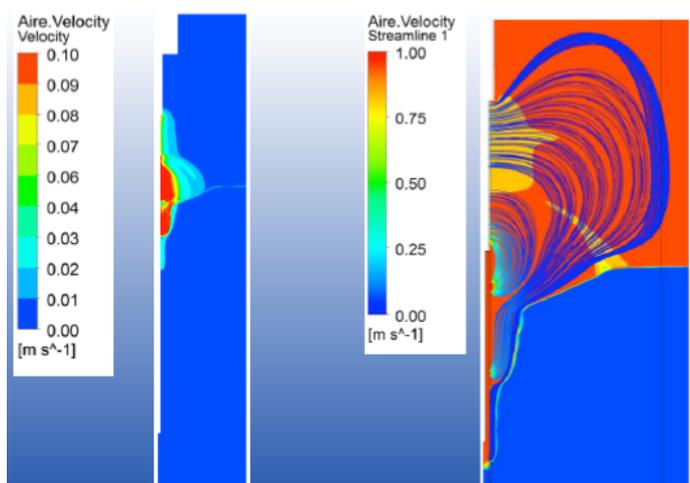


Fig. 4 - Simulazione velocità dell'aria nella zona saturata ed insatura attorno al pozzo di bonifica

CTM, Fundació Centre Tecnològic Manresa, Spagna, mediante un modello numerico con metodo degli elementi finiti (ABAQUS, ANSYS CFX, CATIA, Hypermesh) sviluppato per descrivere i processi che si verificano nelle zone sature e insature durante il processo di bonifica. Inoltre è stato utilizzato MATLAB per la simulazione delle curve innovative per l'assorbimento di contaminanti sui filtri a carbone attivo granulare. Il modello individua ed analizza i principali parametri che influenzano le prestazioni della tecnologia: flusso d'aria, pressione di iniezione, caratteristiche del suolo, proprietà idrogeologiche del sito ecc. (Fig. 4).

L'obiettivo del progetto è correlare il modello "on site" dei dati al fine di sviluppare il software che permetterà di prevedere i risultati della bonifica considerando le condizioni sito-specifiche di partenza. Il software consentirà di stimare inoltre i tempi e costi di installazione, monitoraggio, e gli impatti ambientali associabili alla bonifica eseguita con SmartStripping®.

Eco-innovation

Attualmente SmartStripping® è soggetta ad un processo di standardizzazione presso tre impianti sperimentali mediante la simulazione in laboratorio e l'applicazione in sito per definire un modello predittivo dell'efficacia del sistema. Il gruppo di valutazione tecnica della Commissione Europea ha valutato SmartStripping® una green remediation innovativa ed eco-sostenibile nell'ambito del programma EACI Eco-Innovation ed ha supportato il progetto di sperimentazione con l'obiettivo di misurare e modellare l'efficacia del sistema di bonifica e valutarne i benefici ambientali.

Green remediation e indicatori ambientali

SmartStripping® consente l'estrazione di VOC e SVOC dalle acque sotterranee e dal suolo di siti contaminati minimizzando la produzione di rifiuti e riducendo l'impatto ambientale del processo di bonifica.



Fig. 5 - I dieci punti di forza di SmartStripping®

La riduzione degli impatti ambientali calcolata per le applicazioni SmartStripping® eseguite è esposta nei 10 punti di forza di Fig. 5 e riassunta come segue:

- salvaguardia della qualità dell'aria. Il ciclo chiuso di aria ha evitato l'emissione in atmosfera di 7 milioni di metri cubi di aria estratta dal sottosuolo;
- salvaguardia delle acque sotterranee. SmartStripping® ha permesso di bonificare 231 mila m³ di acqua sotterranea senza spreco della risorsa idrica;
- risparmio di energia. Considerando il consumo di energia derivante dalle soffianti, dal monitoraggio e dal processamento dei dati è stato stimato un consumo totale di 190 mila kWh.
- zero produzione di rifiuti. Le applicazioni del sistema hanno prodotto 7 tonnellate di carboni attivi esausti rigenerate e riutilizzate.

Bibliografia

- ¹Department of Defense (DOD) Environmental Technology Transfer Committee, Washington, 1994. Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, EPA Document number NTIS PB95-104782, 2nd Edition.
- ²G. Frearson *et al.*, Remediation of Chlorinated Solvent Groundwater Plume Using NoVOCs Recirculating Well Technology - A Field Study, 2001 International Containment & Remediation Technology Conference & Exhibition, 10-13 June 2001, Orlando (FL), 109.
- ³F. Caridei, *Hi-Tech Ambiente*, 2011, **9**, 72.
- ⁴F. Caridei, *Chimica Ambiente*, 2013, **4**, 38.
- ⁵D.Lgs. n. 152, 2006.
- ⁶Batelle (Columbus, OH), Final Air Sparging Guidance Document, NFESC Technical Report, 2001, 12.
- ⁷EPA, <http://www.epa.gov/oust/cat/sve1.htm>
- ⁸Provincia di Milano, <http://ambiente.provincia.milano.it/bonificheonline/Doc/Tec/TABER.htm>
- ⁹AquaConSoil 2013 Proc., Session D.1 - Technologies for (in situ) remediation and management of soil contamination.
- ¹⁰RemTech Expo 2013, atti del convegno, Bonifica delle acque contaminate.
- ¹¹Workshop SmartStripping® Green Remediation 2014, <http://www.youtube.com/channel/UCi8ZyBotoOPTf53-HGETA1w>