



*Sergio Ferro, Simone Mori,  
Achille De Battisti  
Dipartimento di Chimica  
Università di Ferrara  
fre@unife.it*

## ELECTROKINETIC REMEDICATION (EREM 2005)

### Metodi per la bonifica di terreni e acque di falda

Si è tenuto a Ferrara, lo scorso maggio, il V simposio internazionale sulla bonifica elettrocinetica dei suoli (EREM 2005).

Parte delle comunicazioni ha riguardato gli aspetti scientifici e commerciali delle barriere permeabili reattive, più adatte al trattamento di acque di falda.

Il vigoroso sviluppo industriale, registrati durante la seconda parte del XIX e tutto il XX secolo, ha indubbiamente comportato il raggiungimento di importanti obiettivi sul piano tecnologico e un deciso miglioramento di molti aspetti della qualità della vita. La grande attenzione alla resa dei processi e alla qualità dei prodotti ha purtroppo relegato in secondo piano l'impatto ambientale delle attività industriali e la loro sostenibilità. Questo ha inevitabilmente comportato il proliferare di aree più o meno pesantemente inquinate, con conse-

guenze vistosamente negative proprio su quella qualità della vita che lo sviluppo industriale si prefigge di migliorare. Il rispetto della legislazione ambientale (di per sé alquanto lacunosa) è stato spesso inteso come un vincolo da soddisfare esclusivamente per non incorrere in provvedimenti punitivi, con il risultato che le metodologie produttive non sono state né concepite, né tanto meno eseguite nel rispetto dell'ambiente e della salute pubblica. Inoltre, dove la normativa era assente, come nel caso dello smaltimento dei rifiuti tossici, la regola

prevalente è risultata essere il disinteresse, tanto da produrre un diffuso fenomeno di contaminazione di suoli e acque di falda. Una contaminazione, peraltro, configuratasi come una bomba ad orologeria, che va manifestando i suoi effetti dopo anni di silenziosa gestazione.

Pressato da questi fenomeni, il mondo industrializzato ha preso coscienza della gravità della situazione, e da qualche decennio ha avviato indagini e cominciato a progettare metodi e tecnologie di risanamento ambientale. I risultati emersi dalle indagini svolte

hanno mostrato una situazione dai risvolti piuttosto gravi: oltre 200.000 sono i siti contaminati rinvenuti negli Stati Uniti d'America, ed altrettanti sono stati censiti in Europa. In Italia, il Ministero dell'Ambiente considera censiti, nel 1988, circa 10.000 siti inquinati. Le tecnologie di bonifica sono molteplici ed in costante evoluzione. Non esistono criteri di valutazione validi per tutti i casi; al contrario, ogni situazione va esaminata "soggettivamente" per individuare quali siano le iniziative più opportune da adottare. Le tecnologie per la rimozione e la distruzione degli inquinanti vengono quindi definite a seconda della natura e delle condizioni delle matrici da bonificare. I trattamenti di bonifica si distinguono in due grandi classi: *in-situ* ed *ex-situ*. I primi prevedono tecnologie che

verso la biodegradazione di fanghi o il biorisanamento in fase liquida, tramite rotopercolatori biologici (RBCs, *rotating biological contactors*). La *phyto-remediation* sfrutta l'azione biologica di piante adeguatamente selezionate ed è più strettamente indirizzata al risanamento dei terreni, allorché i contaminanti sono rappresentati da composti chimici a basso peso molecolare o da metalli pesanti.

I trattamenti termici sono essenzialmente rivolti ai terreni contaminati (più che alle acque) e sono costituiti in prevalenza da tecnologie *ex-situ*, che possono essere classificate in due categorie: trattamenti di desorbimento termico e trattamenti di termo-distruzione. Infine, i trattamenti chimico-fisici

*barriers*). Entrambe le tecnologie sono state oggetto di discussione nel recente simposio internazionale EREM, giunto alla sua quinta edizione (con cadenza biennale) e tenutosi a Ferrara dal 22 al 25 maggio scorsi.

Ai lavori del convegno, svoltisi nelle sale del cinquecentesco Palazzo Bonacossi, hanno partecipato ricercatori del settore accademico e di quello industriale, da diverse parti del mondo (Canada, Cile, Corea, Danimarca, Finlandia, Germania, Inghilterra, Olanda, Portogallo, Spagna, Stati Uniti d'America). Anche la presenza italiana è stata significativa, nonostante le tecnologie trattate abbiano uno sviluppo ancora modesto nel nostro Paese.

non comportano la rimozione del terreno o dell'acqua inquinata; relativamente ai secondi, il materiale inquinato viene rimosso per essere decontaminato con appropriato intervento. Tale intervento può avvenire *on-site* (all'interno dell'area da bonificare) oppure *off-site* (al di fuori dell'area).

Si distinguono inoltre trattamenti biologici, termici e chimico-fisici. I primi sfruttano la capacità dei microrganismi naturali di degradare gli inquinanti presenti in un terreno o in un'acqua, nutrendosi di elementi quali carbonio, azoto, fosforo e zolfo, in ambienti generalmente ossigenati ed umidi. Ovviamente, ciò vale per gli inquinanti che risultino biodegradabili, più o meno rapidamente. Esistono varie tipologie di processi biologici e vale la pena di menzionare i più utilizzati, ovvero la *bio-* e la *phyto-remediation*; nel primo caso, il processo trova applicazioni tanto *in-situ* che *ex-situ*, attra-

vengono distinti in "processi di estrazione" e "processi di inertizzazione". Con i primi, i contaminanti vengo-

no rimossi dal terreno mediante un agente estrattivo; con i secondi, la mobilità dei contaminanti viene ridotta o annullata mediante il loro confinamento in una matrice solida e/o mediante stabilizzazione chimica.

Studi recenti, condotti in Europa ma in maniera più decisa negli Stati Uniti, hanno permesso di aprire la strada all'uso di tecnologie innovative, utilizzabili per il trattamento e la bonifica di siti contaminati di diversa natura. Ad attrarre gli sforzi maggiori, producendo tra l'altro risultati molto soddisfacenti, è stato il settore chimico-fisico, più precisamente basato sul risanamento con metodi elettrocinetici (*electrokinetic remediation*) e sulle cosiddette *barriere permeabili reattive* (PRB, *permeable reactive*

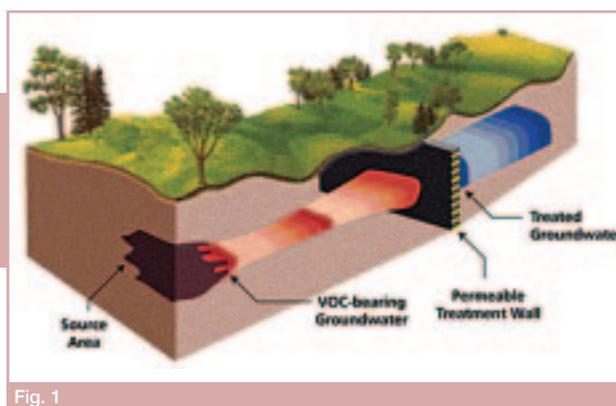


Fig. 1

Il programma scientifico della manifestazione ha potuto contare su tre comunicazioni principali (*plenary lectures*) tenute da noti esperti del settore: Scott Warner, vicepresidente di Geomatrix Consultants (Oakland, CA, USA) ha dettagliatamente illustrato i risultati della sperimentazione nell'uso delle PRB. Esse rappresentano una valida (e soprattutto economica) alternativa ai sistemi convenzionali di *pump-and-treat*; nella sua forma più semplice, una barriera reattiva è costituita da una zona di trattamento (*gate*) installata ortogonalmente alla direzione del flusso delle acque sotterranee. La zona di trattamento può essere costituita da differenti materiali reattivi, come il ferro granulare, i carboni attivi, le zeoliti e gli ossidi di ferro

amorf; passando attraverso la barriera permeabile, i contaminanti vengono degradati, adsorbiti o precipitati, a seconda del materiale reattivo impiegato. Il ferro granulare è efficace nella degradazione di sostanze organiche alifatiche clorate; barriere costituite da materiale organico (torba, fanghiglia, concimi, segatura, legname e fogliame...) sono invece in grado di stimolare i processi di biodegradazione, mentre le zeoliti, note per la loro capacità di scambiare ioni, sono indicate per il trattamento di acque inquinate da ioni inorganici. Il vantaggio principale delle PRB è quello di non richiedere una fonte di energia esterna per il pompaggio delle acque contaminate: dopo

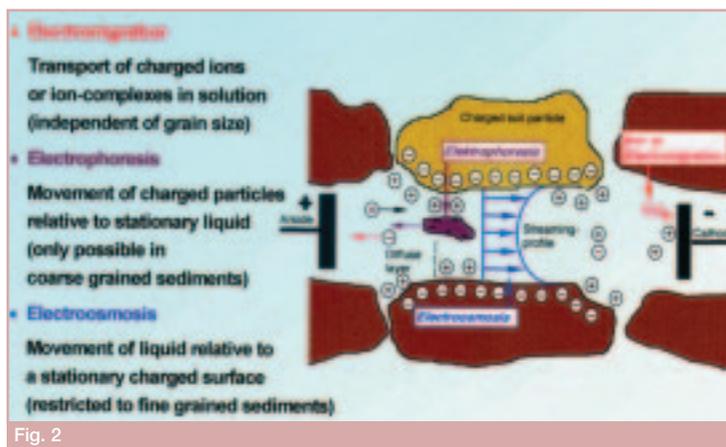


Fig. 2

l'installazione, la barriera funziona passivamente. Non si hanno costi dovuti a struttura in superficie per lo stoccaggio, il trattamento, il trasporto o l'eliminazione degli inquinanti; dopo l'installazione, la zona di terreno in superficie può essere riutilizzata; i contaminanti non sono portati in superficie, i costi di gestione e mantenimenti sono molto bassi o nulli. Il mantenimento dell'attività della barriera può risultare problematico, a seguito di fenomeni di precipitazione indesiderata (che ne vanno a compromettere la permeabilità), di "passivazione" del materiale (che viene così a perdere la sua reattività) o per motivi connessi con una non ottimale progettazione. Il loro successo dipende dallo sviluppo di un accurato modello del

sito da trattare (struttura geologica del sito, natura dei contaminanti, tempo di permanenza richiesto per la "disattivazione" delle sostanze inquinanti, ...) allo scopo di prevenire le problematiche che potrebbero determinarsi successivamente (Fig. 1).

Un mini-corso in PowerPoint, tenuto da S. Warner nei giorni antecedenti l'EREM 2005, è disponibile sul sito del convegno, alla pagina [www.unife.it/convegni/elettrochimica](http://www.unife.it/convegni/elettrochimica).

La statunitense Sibel Pamukcu ha presentato l'approccio elettrocinetico per la bonifica di suoli inquinati da idrocarburi policiclici aromatici. L'allontanamento di sostanze contaminanti da suoli argillosi (in generale, a bassa permeabilità idraulica) risulta pressoché impossibile attraverso gli approcci tradizio-

nali (soil flushing), mentre può essere efficacemente ottenuto per imposizio-

ne di un opportuno campo elettrico: l'instaurarsi di un flusso elettromotico, specificatamente possibile solo all'interno delle minute porosità del suolo (dove la carica superficiale delle particelle gioca un ruolo determinante), è spesso in grado di portare al desorbimento delle sostanze organiche e alla loro movimentazione. È di fondamentale importanza la conoscenza dei meccanismi di trasporto e dei processi fisici, chimici ed elettrochimici implicati nel trattamento (Fig. 2).

Infine, Roman Zorn, della scuola tedesca di Karlsruhe (D), ha presentato i più avanzati sviluppi dell'approccio modellistico al problema. È quest'ultimo uno strumento che diviene indispensabile quando ci si trova a

trattare una matrice complessa come un suolo, all'interno della quale reazioni elettrodiche e chimiche si sovrappongono a fenomeni elettrici (elettrosmosi, elettroforesi, elettromigrazione di ioni) e al possibile innalzamento della temperatura, causato dalla dissipazione della corrente elettrica per effetto Joule.

In aggiunta alle *plenary*, sedici comunicazioni orali e dodici comunicazioni poster hanno permesso di toccare con relativa meticolosità tutte le possibili problematiche reali connesse con i suoli e con il loro inquinamento da metalli pesanti (As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn), o per la presenza di sostanze organiche di diversa natura (cherosene, fenantrene, cloroeteni quali PCE, TCE, DCE e VC, aza-eterocicli, fenoli). È stato inoltre mostrato come l'approccio

elettrocinetico possa essere efficacemente coadiuvato dall'azione di microrganismi, delegando all'elettrochimica il compito di movimentare le specie e di supportare il mezzo con specie donatrici e accettrici di elettroni ( $H_2$  ed  $O_2$ , per elettrolisi dell'acqua). Il convegno ha ricevuto i patrocinii dell'Università di Ferrara, del Comune e della Provincia, di Basell Polyolefins SpA, del Consorzio Interuniversitario Nazionale "La Chimica per l'Ambiente" (INCA), della Divisione di Elettrochimica della Società Chimica Italiana, nonché quelli della divisione 5 (*Electrochemical processes, engineering and technology*) dell'International Society of Electrochemistry e della Federazione Europea di Ingegneria Elettrochimica (EFCE).

Tra i partecipanti, particolarmente gradita e significativa è stata la presenza dell'ARPA di Ravenna.