

# LO STATO DELLE TECNOLOGIE DI BONIFICA NEL RISANAMENTO DELLE AREE INDUSTRIALI

di Marco Petrangeli Papini, Università di Roma "La Sapienza", Dipartimento di Chimica

La riconversione e riqualificazione delle vecchie aree industriali del nostro paese richiede necessariamente la capacità di rimuovere le sostanze inquinanti per riportare la qualità delle matrici ambientali ad un livello compatibile



con il successivo riutilizzo del sito. Molto spesso, la contaminazione delle aree industriali dipende da eventi primari accaduti nel passato, quando la consapevolezza dei possibili impatti ambientali delle attività produttive era decisamente contenuta e molto spesso si operava in assenza di una regolamentazione sistematica.

Negli ultimi due decenni la conoscenza delle dinamiche di contaminazione, la modalità con cui i contaminanti vengono trasportati, dispersi e trasformati nelle matrici ambientali, è significativamente aumentata e questo costituisce una base fondamentale per la identificazione delle corrette strategie per la bonifica dei siti inquinati, in particolare per le situazioni più complesse associate a siti storicamente impattati da attività industriali.

Fortunatamente, ad oggi, disponiamo di un portafoglio di opzioni tecnologiche potenzialmente in grado di fornire una utile risposta alla gran parte delle situazioni di contaminazione più frequentemente incontrate.

Nel nostro paese la problematica maggiore nel recupero delle aree contaminate risiede nella bonifica delle falde

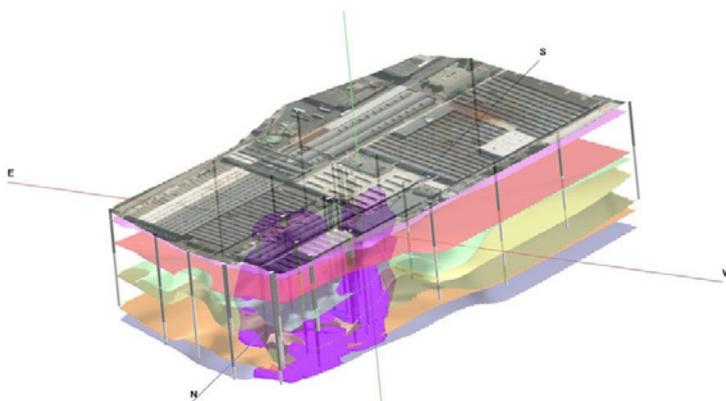
acquifere. Mentre la contaminazione dei suoli, intendendo in questo caso la porzione insatura del sottosuolo, viene più efficacemente recuperata negli interventi di risanamento, i procedimenti di bonifica delle acque sotterranee, in particolare nei

siti complessi, risultano tipicamente di più difficile conclusione. Questo può essere facilmente verificato confrontando i dati di avanzamento dei procedimenti di bonifica nei nostri Siti di Interesse Nazionale (SIN) per la matrice suolo e la falda acquifera.

Una delle tecniche tradizionalmente utilizzate nella bonifica delle acque di falda, e che comunque attualmente costituisce la tecnologia maggiormente impiegata nel nostro paese, è il cosiddetto Pump & Treat (P&T). L'acqua di falda contaminata viene emunta da un sistema di pozzi che possono ope-

rare al confine del sito o in prossimità degli hot-spot di contaminazione, trattata in un impianto dedicato e poi, tipicamente, scaricata in fognatura o corpi idrici superficiali. Questa tipologia di intervento è internazionalmente riconosciuta come efficace nel contenimento della migrazione dei contaminanti verso l'esterno del sito, utile per la rimozione di masse significative di contaminanti nel periodo immediatamente successivo all'evento primario, ma scarsamente efficace nel raggiungimento degli obiettivi di bonifica, per siti storicamente contaminati, in tempi ragionevoli. Questo tipo di intervento dovrebbe quindi essere vantaggiosamente utilizzato come misura di prevenzione o di messa in sicurezza di emergenza ma perde di efficienza quando immaginato come intervento di bonifica<sup>1</sup>.

Alternativamente al P&T, diventano certamente più interessanti, sia dal punto di vista della efficacia che della sostenibilità, le cosiddette tecnologie in situ che



Visualizzazione in 3D della contaminazione di un acquifero

prevedono il trattamento della matrice contaminata senza la sua necessaria rimozione. Queste tecnologie sono basate sulla possibilità di implementare processi di natura chimico-fisica e biologica direttamente nell'acquifero contaminato mediante la modifica delle condizioni conseguente alla aggiunta di ammendanti.

Largamente utilizzati nella bonifica di falde contaminate da idrocarburi e solventi clorurati sono i processi basati sulla capacità dei microorganismi di utilizzare i contaminanti per le proprie funzioni metaboliche, degradandoli fino alla formazione di composti non tossici (Bioremediation). Nel caso dei solventi clorurati il processo è stimolato dall'aggiunta di substrati organici in falda che, fermentando naturalmente, fungono da donatori di elettroni, necessari per il processo di riduzione fino alla formazione di etilene ed etano, privi di impatto ambientale (il processo di Declorazione Riduttiva Biologica). Nel caso di idrocarburi il processo biologico, aerobico, viene stimolato con l'aggiunta di ammendanti in grado di fornire l'ossigeno sufficiente alla ossidazione dei contaminanti fino a CO<sub>2</sub> ed H<sub>2</sub>O. Questi processi sono ormai tra quelli maggiormente impiegati nei siti contaminati da questi composti e non sono più annoverabili come processi innovativi ma ormai largamente consolidati, con un livello di sostenibilità decisamente elevato.

Un approccio interessante, ormai anch'esso consolidato nel panorama internazionale da oltre 20 anni, è quello delle Barriere Permeabili Reattive (PRB). Sono installazioni di materiale reattivo direttamente nel sottosuolo che sfruttano il gradiente idraulico naturale della falda e la permeabilità del riempimento per consentire il movimento, passivo, dell'acqua contaminata attraverso la barriera che sostiene reazioni di riduzione/immobilizzazione dei contaminanti. Tipicamente sono realizzazioni con ferro zero valente in grado di ridurre chimicamente i solventi clorurati o riempimenti con carbone attivo in grado di immobilizzare permanentemente gli inquinanti poi eventualmente soggetti a fenomeni di biodegradazione.

Negli ultimi anni un grande interesse ha suscitato la possibilità di iniettare direttamente negli acquiferi carboni attivi in forma colloidale con la creazione di zone fortemente adsorbenti in situ senza necessità di escavazione. Molteplici sono gli esempi di accoppiamento di questo approccio con la stimolazione dell'attività biologica e con risultati decisamente confortanti.

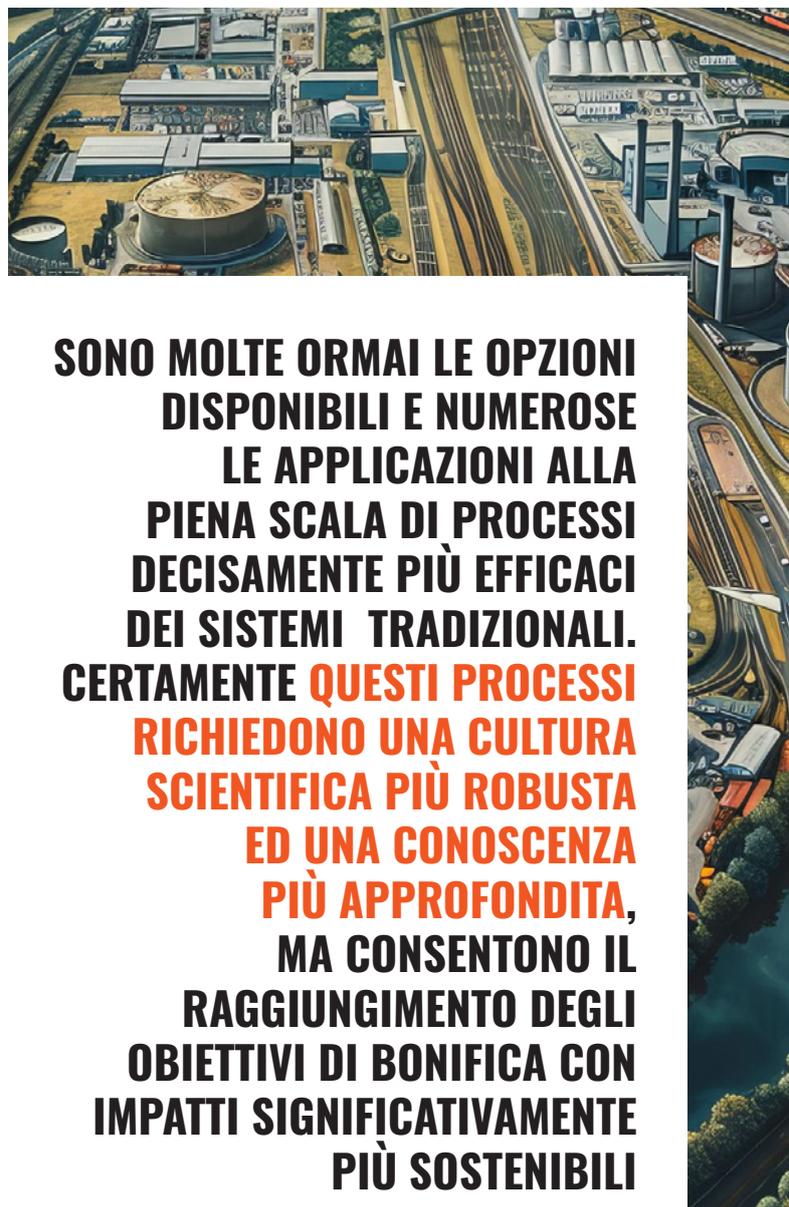
Una menzione a parte riguarda lo sviluppo di sistemi in grado di "manipolare" idraulicamente la falda, con la conseguente efficace mobilizzazione di contaminanti fortemente intrappolati nelle zone a bassa permeabilità e distribuire più efficacemente qualsiasi tipo di ammendante in falda direttamente in forma solubile. I pozzi di ricircolazione (Groundwater Circulation Wells) sono pozzi multi-fenestrati che emungono l'acqua contaminata da una fenestratura, la inviano ad un opportuno impianto di trattamento o di aggiunta di ammendanti, e la reimmettono in falda in una diversa fenestratura dello stesso pozzo. Questo crea delle celle ellissoidali di circo-

lazione intorno al pozzo che aumentano significativamente i tempi di esaurimento delle sorgenti secondarie presenti, senza emungimento netto della falda.

Oltre a questi approcci tecnologici sono numerosi gli altri processi in situ ormai disponibili sul mercato in forma sufficientemente consolidata, dalla ossidazione chimica in situ (ISCO), ai processi di desorbimento termico, utilizzo di nanomateriali, fino al flushing con tensioattivi ecocompatibili.

Come detto, sono molte ormai le opzioni disponibili e numerose le applicazioni alla piena scala di processi decisamente più efficaci del classico P&T. Certamente questi processi richiedono una cultura scientifica più robusta ed una conoscenza delle caratteristiche del sito più approfondita, ma consentono certamente il raggiungimento degli obiettivi di bonifica con impatti complessivi significativamente più sostenibili.

<sup>1</sup>Per un ulteriore approfondimento si consiglia la lettura dell'articolo "Rethinking pump-and-treat remediation as maximizing contaminated groundwater" disponibile a questo link: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969724007381?via%3Dihub>.



**SONO MOLTE ORMAI LE OPZIONI  
DISPONIBILI E NUMEROSE  
LE APPLICAZIONI ALLA  
PIENA SCALA DI PROCESSI  
DECISAMENTE PIÙ EFFICACI  
DEI SISTEMI TRADIZIONALI.  
CERTAMENTE QUESTI PROCESSI  
RICHIEDONO UNA CULTURA  
SCIENTIFICA PIÙ ROBUSTA  
ED UNA CONOSCENZA  
PIÙ APPROFONDATA,  
MA CONSENTONO IL  
RAGGIUNGIMENTO DEGLI  
OBIETTIVI DI BONIFICA CON  
IMPATTI SIGNIFICATIVAMENTE  
PIÙ SOSTENIBILI**