



ECCO IL TEST PER BONIFICARE

La corretta esecuzione di un progetto di bonifica non può prescindere da un'attenta valutazione di evidenze sperimentali in grado di fornire indicazioni sull'efficacia e l'efficienza delle tecnologie di intervento proposte.

L'entrata in vigore del DM 471/99, che disciplina le modalità di bonifica e di ripristino ambientale dei siti inquinati, ha dato impulso alle attività di caratterizzazione dei siti potenzialmente contaminati per poter procedere nei casi in cui venga accertata una situazione di pericolo dovuta alla presenza di inquinamento, alla messa in sicurezza del sito e/o alla progettazione e attuazione degli interventi di bonifica.

A eccezione di casi ordinari, in cui semplici test di campo sono indicativi della percorribilità di un approccio di risanamento, nei casi di contaminazione complessa e di applicazione di tecnologie non tradizionali appare necessario con-

durre mirate attività sperimentali in laboratorio. In tal modo viene verificato se le tecnologie individuate in fase di progettazione preliminare di bonifica siano effettivamente in grado di garantire il raggiungimento dei risultati previsti. Gli elementi emersi da tali test, inoltre, costituiscono i dati di base necessari alla progettazione delle prove in campo, consentendo di identificare buona parte delle condizioni operative più idonee all'esercizio delle prove pilota e del futuro impianto full-scale. Sempre più spesso i responsabili dei siti contaminati o le società di servizio commissionano ai laboratori di EniTecnologie l'esecuzione di test di fattibilità allo scopo di selezio-

nare le migliori tecnologie utilizzabili per la bonifica di un sito o per avvalorare scelte progettuali basate su indagini di letteratura.

Test di trattamento chimico-fisici

Nei laboratori EniTecnologie di Monterotondo (RM), da oltre 10 anni vengono sperimentati processi e tecnologie innovative applicate al ripristino ambientale dei siti contaminati. Le attività di ricerca, che spesso hanno portato allo sviluppo di tecnologie brevettate sia a livello nazionale che internazionale, sono alla base dello sviluppo di processi applicati in pieno campo, come per

esempio nel caso della bonifica dell'ex raffineria Agip di Rho-Pero (MI). Negli ultimi due anni sono stati eseguiti numerosi test per valutare l'applicabilità del soil washing, come tecnologia stand alone o seguita dall'estrazione con solvente (processo proprietario Ensolvex). La tecnologia del soil washing si basa sul principio secondo il quale l'inquinamento è associato a specifiche frazioni del suolo: le particelle fini. Queste, a causa della loro elevata superficie specifica, posseggono un elevato numero di siti potenzialmente adatti all'adsorbimento degli inquinanti. Pensiamo alle frazioni umiche e organiche, naturalmente presenti nel suolo, che fungono da adsorbenti per i composti lipofili e da sequestranti dei metalli pesanti, o alle

contaminato con un solvente lipofilo in grado di portare in soluzione i contaminanti organici e quindi di estrarli dal suolo. Il processo Ensolvex, sviluppato da EniTecnologie, si basa sull'impiego dell'etilacetato che ha il vantaggio, rispetto ad altri sistemi solvente utilizzati in piena scala, di non essere tossico, di essere facilmente separabile dalla fase solida e riciclabile, e di avere un elevato potere solvente nei confronti di tutte le classi di contaminanti che in genere si riscontrano nei siti industriali: idrocarburi da petrolio, idrocarburi policiclici aromatici e composti organoclorurati. Prove sperimentali hanno inoltre dimostrato che residui di etilacetato, eventualmente presenti nel suolo al termine del trattamento, sono rapidamente

degradati dai microrganismi normalmente presenti nel terreno. Spesso soil washing ed estrazione con solvente vengono utilizzati in sequenza; è il caso, tipicamente, di suoli in cui è presente una contaminazione mista, in cui in uscita dalla sezione di soil washing si ottiene una frazione di suolo a norma per i metalli, ma non per gli organici che possono quindi essere bonificati mediante trattamento di estrazione con solvente. Un altro caso importante è quello in cui il soil washing opera una selezione del campione in ingresso all'estrazione con solvente, riducendo il quantitativo di campione da inviare a trattamento. Per esempio, durante la bonifica dell'ex raffineria Agip di Rho-Pero, l'impianto di soil washing da 50 t/h era costituito da

frazioni pesanti e a quelle ferromagnetiche, costituite da minerali contenenti metalli pesanti. Il test di laboratorio consiste nel verificare, su campioni di circa 1 kg, se sia possibile separare una frazione di suolo a norma da frazioni in cui è presente l'inquinante, quale sia la sequenza ottimale di operazioni unitarie necessarie a conseguire tale obiettivo, con quali rese e con quali consumi di acqua e di eventuali prodotti chimici. Il percorso generico di un test di separazione fisica (soil washing) è descritto in figura 1.

La tecnologia di estrazione con solvente consiste nel mettere a contatto il suolo

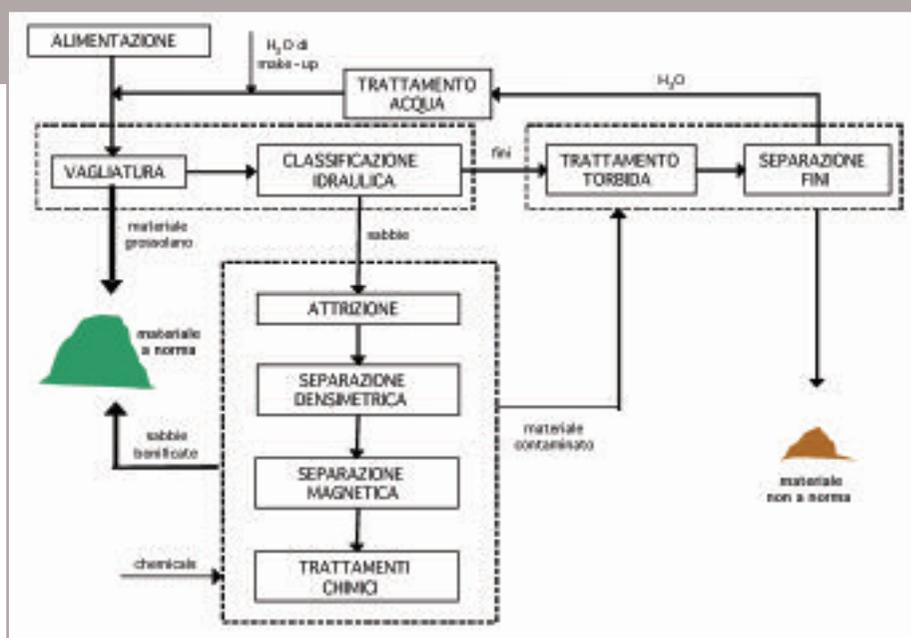


Fig. 1 - Schema generico di trattamento mediante soil washing

una sezione di classificazione a umido che separava la frazione grossolana a norma dalla frazione fine inquinata da idrocarburi i quali venivano bonificati in un impianto di estrazione con etilacetato. Questo processo combinato consente di trattare la totalità del terreno in ingresso, a differenza del solo soil washing dal quale si genera una frazione concentrata che andrebbe invece conferita in discarica. A seguito dei test di laboratorio, spesso è richiesta l'esecuzione di un test pilota che consenta di verificare, su quantitativi di suolo più consistenti (centinaia di kg) e con l'impiego di macchinari scalabili, la fattibilità del processo non solo in termini di riproducibilità dei risultati di laboratorio, ma anche in relazione alle problematiche operative associate alla conduzione di un impianto in continuo. Una panoramica delle attrezzature di laboratorio impiegate per l'esecuzione dei test di soil washing/estrazione con solvente è illustrata nella figura 2.

Recentemente, anche a seguito della pubblicazione nel 2005 del documento APAT "Protocollo per l'applicazione dell'ossidazione chimica in situ", è stata avviata un'attività sperimentale sulla valutazione dell'applicabilità dell'ossidazione chimica per valutare quale sia il sistema ossidante più adatto a

rimuovere l'inquinante presente in un terreno saturo (cioè al di sotto della tavola d'acqua). Tale tecnologia, in scala reale, viene applicata in situ ed è nota come ISCO (In Situ Chemical Oxidation); si basa sull'immissione di agenti ossidanti direttamente in falda, laddove sia presente un hot spot di contaminazione. A seconda del tipo di contaminante presente, si immette un sistema ossidante diverso, in forma liquida (soluzioni di persolfato, di reattivo di Fenton ecc.) o gassosa (ozono), che sia in grado di degradare l'inquinante fino a completa mineralizzazione. Le prove di laboratorio consentono di verificare quale sia il sistema ossidante migliore, quali le condizioni di reazione ottimali e se si formino sottoprodotti di reazione indesiderati, e permettono di stimare i consumi di prodotti chimici.

Test di biorisanamento

Con il termine "test di biorisanamento" viene indicata una vasta gamma di sperimentazioni che vanno dalle misure di biodegradabilità dell'inquinante di interesse, fino all'allestimento di apparati di simulazione più complessi, quali test su suoli saturi eseguiti su qualche centinaio di kg di campione.

Il test più rapido e semplice per verificare se

un suolo inquinato possa essere bonificato mediante trattamenti biologici è costituito dal test respirometrico. Microreattori allestiti con poche decine di grammi di suolo, in diverse condizioni sperimentali, consentono di verificare se esistano fattori limitanti l'attività dei microrganismi e quali siano. Le curve respirometriche forniscono una misura della capacità dei microrganismi di sopravvivere, nutrirsi e respirare, nelle condizioni sperimentali, cioè produrre CO₂ e consumare O₂ nel caso di flore microbiche aerobiche; la presenza di respirazione microbica è indice di degradazione se l'unica fonte di carbonio è costituita dall'inquinante. Sistemi più complessi, ma più rappresentativi della reale possibilità di biorisanare un terreno contaminato, sono costituiti da apparati di simulazione di landfarming e biopile, che rappresentano sistemi di trattamento on site (ossia tecnologie che si applicano sul terreno escavato). Entrambi questi sistemi sono realizzati in modo da favorire la degradazione degli inquinanti in condizioni aerobiche e consistono nel generare le condizioni ottimali all'attività batterica in termini di disponibilità di nutrienti, ossigeno e, eventualmente, di correttori di pH. Aumentando ancora la scala e la complessità dell'apparato sperimentale, sono allestibili reattori in grado di riprodurre le condizioni di anossia e scarsa permeabilità che possono essere incontrate nel caso di applicazioni in situ, cioè in cui l'intervento di risanamento viene condotto senza movimentazione del suolo. Nella figura 3 sono illustrati gli apparati allestiti per simulare tre diversi sistemi di biodegradazione di una contaminazione organica complessa presente in un suolo saturo a bassissima conducibilità idraulica. Da evidenze ricavate da sperimentazioni condotte in microreattori è stato verificato che le migliori condizioni per la biodegradazione



Fig. 2 - Apparati sperimentali di laboratorio per l'esecuzione di test di soil washing/estrazione con solvente. Da destra a sinistra: vibrovaglio a umido, cella di attrizione, cella di flottazione, girafusti e (appoggiato in verticale) reattore cilindrico utilizzato per l'estrazione con solvente, rack per l'esecuzione di separazioni liquido/solido mediante due idrocycloni



Fig. 3 - Appareti di simulazione per la biodegradazione di contaminanti organici presenti in un suolo saturo

degli inquinanti presenti nel suolo oggetto di studio sono rappresentate da condizioni di aerobiosi o, in seconda battuta, di microaerofilia. Dato che, a causa della

te caratterizzato da cinetiche più lente, ma pur sempre valido, rappresentato da condizioni di nitratoriduzione. Le risultanze di laboratorio vengono verificate mediante l'esecuzione di test pilota in campo che, per quanto riguarda i

trattamenti di biorisanamento in situ, possono risultare fondamentali dal momento che sono condotti sulla matrice ambientale indisturbata.

strazione di agenti di promozione delle reazioni chimiche o biologiche, sulla base dell'approccio di risanamento prescelto. L'addizione può condursi su uno o più fronti grazie all'installazione di sistemi di dosaggio regolabili, collegati a tubicini forati collocati su diverse sezioni longitudinali delle vasche, ortogonalmente al flusso dell'acqua. Per esempio, iniettando aria e soluzioni di nutrienti viene simulato un intervento di biosparging; somministrando agenti chimici ossidanti, invece, si riproduce un sistema ISCO. L'apparato è stato strutturato per poter studiare, altresì, l'applicabilità di barriere permeabili reattive di tipo chimico-fisico o biologico grazie all'interposizione di una zona reattiva tra la por-

scarsa permeabilità del terreno in esame, non è scontata la possibilità di forzare il sistema verso condizioni favorevoli allo sviluppo di microrganismi aerobi, oltre ad allestire un reattore di simulazione del biosparging (insufflazione di aria), ne è stato allestito uno in cui viene studiata l'immissione di acqua ossigenata, e un terzo in cui viene studiata la possibilità di favorire lo sviluppo di popolazioni microbiche nitratoriduttrici attraverso la somministrazione di una soluzione di nitrati. Quindi la sperimentazione servirà a verificare sia la possibilità di instaurare le condizioni di massima efficienza degradativa (condizioni di aerobiosi, sistemi ad aria e ad acqua ossigenata) sia la possibilità, per lo meno, di instaurare un regime di biodegradazione meno efficace, generalmen-

Test di trattamento della falda

Allo scopo di simulare un acquifero, è stato progettato e realizzato un apparato sperimentale della lunghezza di oltre 2 m in cui è possibile operare secondo diverse condizioni fluidodinamiche in funzione della conducibilità idraulica del terreno (figura 4). Oltre alla caratterizzazione del comportamento fluidodinamico della falda, difficilmente analizzabile mediante i convenzionali test di laboratorio in colonna, il sistema consente di verificare la fattibilità di tecniche di trattamento delle acque sotterranee grazie alla presenza di opportuni dispositivi per la sommini-

zione di terreno saturo a monte e quello a valle. In tale comparto è possibile collocare materiali adsorbenti, come zeoliti o granuli di inerte, ai quali è adeso un film di biomassa in grado di degradare il contaminante trasportato dall'acqua di simulazione della falda.

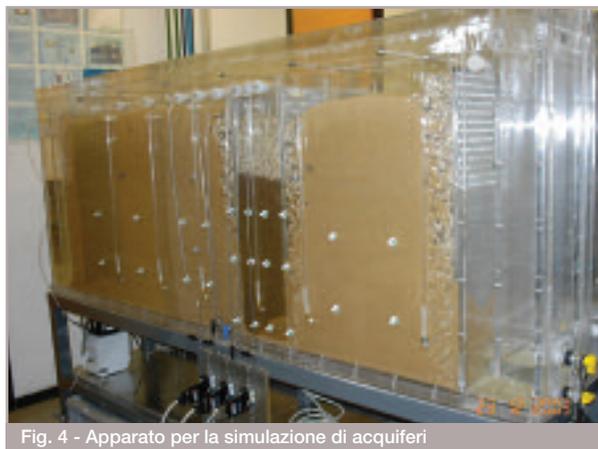


Fig. 4 - Apparato per la simulazione di acquiferi