

GRANDANGOLO

BONIFICHE AMBIENTALI: PUNTO DI INCONTRO TRA PETROLTECNICA E SIAD

Sinergia vincente per la bonifica di siti contaminati

Il caso di lavoro in esame è la bonifica di un acquifero contaminato da idrocarburi mediante micro-diffusione di ossigeno puro. Si tratta di un esempio virtuoso in cui due aziende appartenenti a settori distinti trovano un terreno comune di azione condividendo le proprie tecnologie e il proprio know-how.

a cura di Dott. Geol. Stefano Di Nauta*, Ing. Virgilio Pagliarani*, Dott. Geol. Stefano Passarino*, Ing. Giorgio Bissolotti**, Dott.ssa Eleonora Pasinetti**, Ing. Michela Peroni**, Dott. Pietro Ferraro***, Dott. Marcello Mancini*** (*Petrotecnica S.p.A. **Siad S.p.A. – Laboratorio di Biologia e Chimica Ambientale - ***Eni S.p.A. – Divisione Refining & Marketing - Roma)



Progetto Ambientale 'La Magdalena' in Patagonia, in Argentina, in collaborazione tra Petrotecnica e WWF (Cooperazione e sviluppo)

Petrotecnica nasce nel 1950 con una mission ben precisa: contribuire alla risoluzione delle problematiche ambientali di suolo e sottosuolo. Oggi fornisce soluzioni 'chiavi in mano' nelle problematiche dei seguenti ambiti industriali: serbatoi interrati, dismissioni industriali, gestione dei sistemi di bonifica per suoli e falde e global service dei rifiuti. Dal 1985 l'Unità Bonifiche Ambientali di Petrotecnica offre soluzioni personalizzate per la gestione integrata delle problematiche ambientali.

La società ha sviluppato un 'pacchetto completo': dalla consulenza alla caratterizzazione ambientale del sottosuolo dalla elaborazione di analisi di rischio sito specifiche alla progettazione e installazione di sistemi di messa in sicurezza e bonifica, fino allo sviluppo e gestione del monitoraggio. In questo ambito si inserisce l'attività di ricerca e sviluppo di tecnologie atte a fornire nuove soluzioni a problematiche di inquinamento del sottosuolo che si sono rilevate recalcitranti all'applicazione di tecniche di bonifica convenzionali. Nasce in tal modo anche la ricerca di partner qualificati per realizzare in sinergia soluzioni innovative.



Sistemi di bonifica tradizionali

SIAD Spa è un'azienda che opera nel settore della produzione di miscele di gas e della loro applicazione nel mondo industriale. All'interno della propria struttura, la società riconosce al settore della Ricerca e Sviluppo una grande importanza. In quest'ottica, nel 1989, all'interno della propria funzione di ricerca, SIAD crea il Laboratorio di Biologia e Chimica Ambientale a supporto dell'applicazione dei gas nel settore della depurazione delle acque reflue. Oggi il Laboratorio è un centro di ricerca applicata nel settore ambientale, vantando una vasta esperienza nello studio degli impianti di depurazione. Il laboratorio è specializzato nello studio di fattibilità dei processi depurativi, attraverso l'esecuzione di sperimentazioni con impianti pilota supportate da indagini analitiche chimiche e biologiche. Il Laboratorio collabora con Università e Centri di Ricerca su progetti finalizzati allo studio di nuovi processi e tecnologie volti alla soluzione di problematiche ambientali sempre più complesse. L'esperienza acquisita negli anni fanno del Laboratorio il partner ideale per lo sviluppo di nuovi progetti e tecnologie, con un preciso impegno per la salvaguardia dell'ambiente. L'incontro di SIAD e Petroltecnica nasce a seguito di un'esigenza specifica rilevata da Petroltecnica nell'ambito di uno studio preliminare di fattibilità di trattamento di un sito contaminato. In particolare si riscontrava l'esigenza di identificare una tecnologia che promuovesse l'attività di bioremediation senza però avere effetti di volatilizzazione dei contaminati ed esercitando il minore impatto possibile sul sito da bonificare dal punto di vista di ingombri e/o ostacoli. SIAD ha brevettato un sistema di iniezione di ossigeno puro in falda. Tale sistema si basa sull'iniezione in falda di ossigeno puro secondo flussi molto ridotti. L'ossigeno viene diffuso mediante un diffusore micro strutturato che consente di raggiungere rese di dissoluzione superiori al 95%, rendendo praticamente trascurabili gli effetti di volatilizzazione dei contaminanti. L'impiego di gas in flussi molto ridotti consente di contenere notevolmente i volumi di stoccaggio utili all'esecuzione della bonifica, permettendo di realizzare sistemi di alimentazione compatti, alloggiabili anche in pozzetti interrati. Nella presente relazione sono illustrati i risultati di un intervento di bonifica di acque di falda contaminate da idrocarburi mediante micro-diffusione di ossigeno puro. Tale intervento è stato effettuato in un'area costituita da un ex P.V. carburanti, ubicato nel Comune di Iseo in un ambito di particolare sensibilità dal punto di vista ambientale. L'intervento è stato realizzato nel periodo febbraio 2008-settembre 2009 con l'esecuzione di una prima fase di test pilota in sito e una seconda fase di installazione full scale ed avvio dei sistemi di bonifica. Esso ha avuto la duplice finalità di valutare l'applicabilità della biostimolazione dei microorganismi aerobici principali fattori della biodegradazione dei composti idrocarburici e dell'Mtbe e di dimensionare i sistemi a larga scala al fine di raggiungere gli obiettivi di bonifica previsti per il sito.

Cenni sulla tecnologia applicata

Il rilascio nei corpi idrici di sostanze contaminanti biodegradabili determina il generale abbassamento del livello di Ossigeno Dissolto (OD). In dettaglio, la degradazione delle sostanze idrocarburiche risulta più favorita in condizioni aerobiche rispetto a quelle anaerobiche. Le sostanze biodegradabili (per es. gli idrocarburi) sono utilizzate da microrganismi aerobici come fonte di energia e vengono metabolizzate con l'utilizzo dell'OD.

L'immissione di ossigeno puro in falda consente di raggiungere elevate concentrazioni di ossigeno disciolto nel punto di iniezione (40-50 mg/l), favorendone la diffusione nell'intorno grazie al gradiente di concentrazione che si viene così a indurre.

L'ossigeno disciolto consente la stimolazione dei processi di biodegradazione aerobica della contaminazione dovuta a sostanze idrocarburiche per opera dei microrganismi



Particolare sistema di iniezione ossigeno Siad

autoctoni. Nel caso specifico è stato utilizzato un sistema di micro-diffusione in falda di ossigeno gassoso. In fase di test pilota le verifiche in sito hanno previsto l'iniezione di una miscela di gas così composta: 90% ossigeno – 5% Neon – 5% kripton.

L'utilizzo di gas inerti come Neon e Krypton è stato valutato in relazione alle loro caratteristiche di rilevabilità analitica e per il loro peso molecolare rispettivamente più basso e più alto dell'ossigeno. Mentre l'ossigeno può essere consumato dai microorganismi per la degradazione delle sostanze contaminanti, Neon e Krypton, gas inerti, non rientrano nei processi metabolici e quindi non subiscono consumo. Tali gas consentono quindi uno studio indisturbato della capacità di diffusione della miscela iniettata.



Monitoraggio off-gas

Modello concettuale del sito

Il sito oggetto della bonifica è ubicato lungo la Strada Provinciale Iseo-Rovato nel Parco delle Torbiere del Sebino e presenta una superficie di circa 1500 m². Le principali caratteristiche ambientali del sito sono così riassumibili:

- dal punto di vista litostratigrafico, in corrispondenza del primo sottosuolo dell'area d'intervento si osservano, da monte verso valle, depositi morenici e fluvoglaciali costituiti da componenti ghiaioso-sabbiose prevalenti in eteropia con depositi di torbiera e lacustri costituiti prevalentemente da alternanze di orizzonti limosi, limoso-argillosi, torbosi e argillosi;
- dal punto di vista idrogeologico il sottosuolo dell'area d'intervento presenta un acquifero con caratteristiche che variano da libero a semi-libero con significative variazioni del livello freatico comprese fra 2,5 m e 3,5 m dal piano campagna (p.c.). Le prove di portata in situ eseguite hanno permesso di riscontrare valori di conducibilità idraulica (k) dell'acquifero superficiale molto variabili: nell'ordine di 3,0 x

10-4 m/sec in corrispondenza dei depositi sabbioso-ghiaiosi; nell'ordine di 3,5 x 10-6 m/sec in corrispondenza dei terreni a granulometria più fine presenti a valle del sito;

- la contaminazione risulta costituita da sostanze idrocarburiche derivanti da benzine e gasoli per autotrazione disciolte in falda. L'entità della contaminazione nelle acque sotterranee del sito è riassunta nella tabella 1.

Modalità di esecuzione ed esiti della prova pilota

Sulla base del modello concettuale del sito, si è proceduto alla progettazione e alla realizzazione di un campo prova così costituito: pozzo di iniezione VEP2; pozzo pulito (Bianco) PM10; pozzo di monte PM4 bis; pozzi di valle VMP1 bis - PM1; pozzo laterale PM6 bis. In fase di prova pilota, che ha previsto l'iniezione di ossigeno puro a partire dal punto VEP 2 per un periodo complessivo di circa 2 mesi, in corrispondenza di tutti i pozzi del campo prova, si è proceduto alla misurazione dei seguenti para-

metri: variazione di concentrazione dei contaminati in corso di esecuzione della prova nell'ambito di iniezione; analisi dei gas traccianti inerti (neon e kripton) iniettati contestualmente all'ossigeno per la verifica del raggio di influenza; misura dei parametri indice della biodegradazione tra cui: ossigeno disciolto, potenziale redox, pH. Contestualmente alle prove in campo, su campioni di acqua prelevati in sito, sono state effettuate le seguenti prove di laboratorio: test respirometrici in condizioni: aerobiche, aerobiche abiotiche e anossiche; analisi della CO₂ prodotta contestualmente ai test respirometrici; analisi microbiologiche.

Esiti della prove pilota

I pozzi che inizialmente hanno evidenziato la presenza di contaminazione residuale da idrocarburi, VEP2 (pozzi di iniezione) e VMP1 (pozzo di monitoraggio ubicato a 2,3 m da VEP 2 lungo il gradiente di falda), nel periodo di prova hanno mostrato i seguenti comportamenti: la quasi immediata rimozione della contaminazione da idrocarburi ed MtBE nel pozzo VEP 2; nel pozzo VMP1-bis si è riscontrata la scomparsa degli idrocarburi leggeri dopo circa un mese dall'inizio del test. In corrispondenza dell'ultimo prelievo si rileva la presenza del solo parametro MtBE (80 mg/l). La distribuzione dell'ossigeno disciolto nel periodo di prova risulta caratterizzato dal seguente trend:

- ad eccezione del pozzo di iniezione, VEP 2 dove i valori di OD passano da una concentrazione iniziale di 0,60 mgO₂/l (25/02/08) ad una concentrazione di 45 mgO₂/l (04/04/08), nei pozzi più prossimi al punto di iniezione non si osservano importanti variazioni del parametro OD;
- le basse variazioni di concentrazione di OD nei pozzi PM6 e VMP1, che si trovano all'interno del plume di contaminazione, sono state attribuite al consumo di O₂ da parte dei microrganismi atti alla degradazione biologica della contaminazione;
- al contrario, il pozzo PM-1, ubicato a valle del punto di iniezione in una zona non contaminata, evidenzia maggiori incrementi di OD (da 3 a

Tabella 1 - Grado della contaminazione prima degli interventi di bonifica

Data	Pozzo.	Idroc. Tot. µg/l	Benzene µg/l	Toluene µg/l	Etilbenz. µg/l	p-Xileni µg/l	MtBE µg/l
25-feb 08	VPM 1 bis	1515	2	1	<0,5	10	68
	VEP2	406	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5

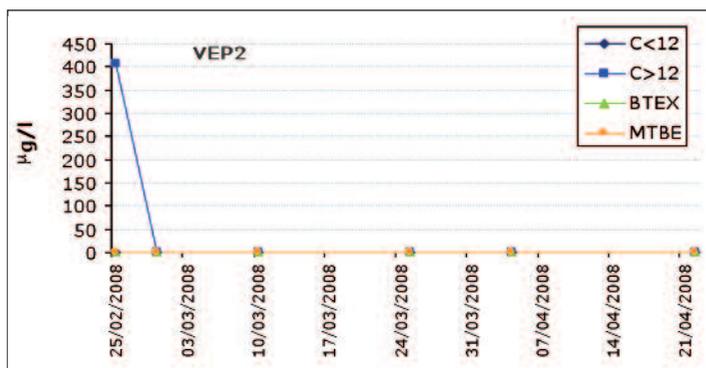


Figura 1 - Trend della contaminazione in VEP 2

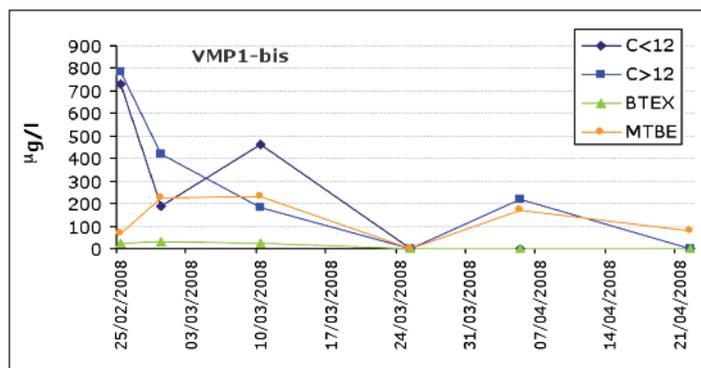


Figura 2 - Trend della contaminazione in VMP1-bis

5 mgO₂/l).

Sulla base dei risultati sopra esposti si evidenzia come già al termine della prova pilota gli idrocarburi e il benzene presenti inizialmente sono stati completamente rimossi, mentre risultava ancora presente il composto Mtbe.

L'analisi dei gas traccianti ha evidenziato quanto segue:

- rispetto al fondo naturale, il kripton è stato rilevato già dopo 15 giorni dall'iniezione nei pozzi PM6 e VMP1 posti rispettivamente a 0,9 e 2,3 m dal punto di iniezione. Il kripton compare nel pozzo PM1, localizzato a 5,2 metri dall'iniezione, dopo 1 mese;
- il raggio di influenza della micro-diffusione dell'ossigeno in falda può essere stimato in circa 4-5 m dopo 30 giorni di iniezione.

Le indagini microbiologiche hanno evidenziato che il sito è caratterizzato dalla presenza di una flora batterica autoctona in grado di ossidare gli inquinanti specifici per via aerobica. In dettaglio, alla fine del test si osserva una generale

crescita della microflora specifica atta alla degradazione della contaminazione presente (da 1 a 3 ordini di grandezza per gli ossidanti specifici e da 1 a 2 ordini di grandezza per i denitrificanti specifici).

I test respirometrici hanno convalidato la via aerobica di biodegradazione evidenziando la completa rimozione della contaminazione presente in acqua di falda anche in laboratorio. L'attività di biodegradazione della contaminazione in condizioni aerobiche trova conferma anche nella produzione di CO₂.

Intervento di bonifica progettazione full scale

Dall'elaborazione dei dati della prova pilota sono stati dimensionati gli interventi di bonifica full scale ed in particolare:

- raggio di influenza (ROI) non superiore a 4 m. Tale raggio è in grado di generare un'area di influenza che permetterà di interessare, attraverso l'installazione di 6 punti di iniezione, tutta

l'area contaminata;

- tempi di bonifica per la completa rimozione del parametro MtBE ancora presente in falda al termine delle prove pilota, stimati in circa 12 mesi dall'avvio dei sistemi. A 6 mesi dall'avvio è stata prevista una prima fase di spegnimento dei sistemi finalizzata alla valutazione di eventuali effetti rebound.

Nella figura 3 è riportato il trend delle concentrazioni del parametro MtBE in ambito di prova pilota e bonifica confrontato con la distribuzione del parametro OD nelle acque di falda.

La prima linea verticale indica il termine delle prove pilota in sito, mentre la seconda linea verticale individua la prima interruzione dell'iniezione al termine dei primi 6 mesi di attività. Al completamento delle attività di bonifica, una volta riattivati i sistemi al verificarsi dell'effetto rebound (121 mg/l di MtBE) si osserva la completa eliminazione di tutti i composti d'interesse.

Conclusioni

L'intervento di bonifica si è concluso raggiungendo gli obiettivi prefissati, incluso la completa eliminazione di un composto recalcitrante come l'MtBE. Tale risultato è stato raggiunto con una tecnologia innovativa che non ha previsto emungimenti di acque e successivi trattamenti prima dello scarico, con completo annullamento dell'impatto sulla risorsa idrica oggetto di bonifica. Questo intervento innovativo ha permesso di eliminare totalmente la produzione di rifiuti (ad es. acque di scarico e carboni attivi esausti) che sono generalmente prodotti dagli interventi tradizionali di bonifica delle falde idriche.

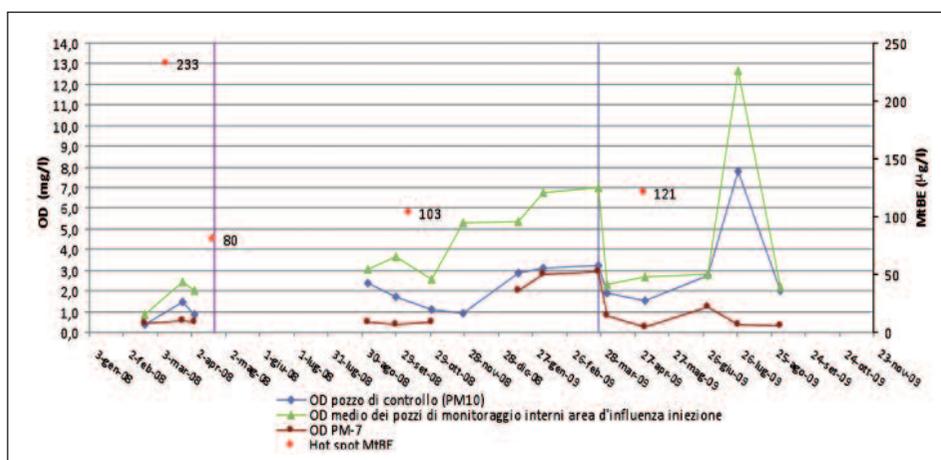


Figura 3 - Confronto Concentrazioni O₂ vs MtBE