



# Un caso di bioremediation in area di ex-cava, criticità e prospettive di recupero ambientale

*L'interramento non corretto di fanghi di cartiera per il ripristino ambientale in una ex area di cava ha causato alcune esplosioni anche a 80 metri dalla sorgente a causa della liberazione incontrollata di biogas, soprattutto metano; in mancanza di specifiche tecniche di riferimento, sono state adottate metodologie di bioremediation innovative per la messa in sicurezza permanente. Nell'articolo i risultati dei primi due anni di attività. Presentato anche un aggiornamento dei percorsi amministrativi seguiti. La bonifica e le attività di monitoraggio sono tuttora in corso.*

Nel dicembre 2005 si sono verificate a distanza di una settimana due deflagrazioni all'interno di un'abitazione di campagna in comune di Imola. La causa è stata riscontrata nella produzione di metano (biogas) nella vicina area oggetto di ripristino ambientale e successiva migrazione dello stesso [1]. L'area di ripristino dista circa 80 m dall'abitazione nella quale sono avvenute le esplosioni. Il ripristino ambientale ha riguardato un'area di circa 49.000 m<sup>2</sup>, oggetto in passato di attività estrattiva di materiale argilloso. Il ripristino effettuato ai sensi del Dm del 5/02/98 aveva previsto l'utilizzo di fanghi provenienti da industria cartaria per 60.000 m<sup>3</sup> ed era stato autorizzato dall'ente provinciale per attività di recupero rifiuti come R10 "spandimento sul suolo a beneficio dell'agricoltura di fanghi da industria cartaria". I fanghi recuperati nel tempo sono stati interessati da fenomeni di degradazione anaerobica che ha portato all'origine di biogas (principalmente metano), favoriti anche dalla natura argillosa del terreno; il biogas si è diffuso negli strati permeabili del suolo.

Gli accertamenti iniziali hanno permesso di appurare che:

- i fanghi conferiti appartenevano alle tipologie autorizzate
- in diversi punti non erano stati miscelati con il terreno secondo le percentuali volumetriche stabilite dalla norma di riferimento
- la profondità di tombamento era eterogenea, anche di molto superiore alla dichiarata (fino a circa -8 m dal p.c.)
- sono state misurate elevate concentrazioni di gas metano non solo nell'area di ripristino ma anche a circa 100 metri di distanza verso diversi bersagli sensibili (abitazioni).

Dal punto di vista tecnico, sono stati eseguiti gli interventi per la

messina sicurezza di emergenza, così come descritto in [1], con trincea perimetrale dotata di geotessile e barriera di pozzi di aspirazione del biogas (SVE - Soil Vapour Extraction) esterne all'area di ripristino, per protezione dei bersagli sensibili; quindi si è passati a definire una programmazione per la messa in sicurezza permanente e per la rinaturalizzazione dell'area.

## LE FASI DELLA BONIFICA

Per la messa in sicurezza permanente i trattamenti di bonifica scelti possono così essere elencati:

- trattamento di biostabilizzazione in situ basato sull'uso di compost additivato con miscele enzimatiche di origine vegetale per ridurre la produzione e la concentrazione di metano
- monitoraggio in pozzi di per la misura di biogas (CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>) e ossigeno nell'area interessata
- programma di analisi del gas con monitoraggio mensile durante almeno 24 mesi
- uso di innovative tecniche respirometriche di laboratorio per testare la potenziale produzione di metano e per la determinazione della stabilità anaerobica del fango, mediante la misura del *potenziale biochimico di metanazione* (BMP).

Il progetto di bonifica e le successive relazioni sull'avanzamento dei lavori sono state predisposte dai responsabili dell'intervento di ripristino e presentate agli enti interessati. Tutte le fasi operative sono state preliminarmente concordate nelle conferenze di servizio convocate dall'Amministrazione comunale, con la partecipazione del Distretto territoriale Arpa e dell'Azienda Usl.

L'area è rimasta sotto sequestro da parte della Procura della Repubblica dalle prime fasi di emergenza fino alla primavera 2007.



Fig 1 Vista aerea dell'area dopo l'intervento di bioremediation [3]

I lavori sono stati eseguiti per fasi successive, di seguito elencate, in base agli esiti positivi delle fasi precedenti:

- giugno 2006: primo test riguardante una porzione di circa 130 m<sup>2</sup>,
- settembre 2006: intervento sperimentale esteso al 70% dell'area,
- maggio 2007: completamento dell'intervento su tutta l'area dell'ex cava
- giugno/ottobre 2007: interventi di regimazione delle acque superficiali e sotterranee, evitando interferenze con la falda freatica e realizzazione di una copertura verde per ridurre la raccolta delle acque all'interno dell'area
- aprile 2008: prima relazione di verifica sullo stato di avanzamento dei lavori

L'articolazione delle fasi è stata scelta per verificare l'idoneità della tecnologia adottata a portare l'area in condizioni di sicurezza permanente nei tempi previsti dal progetto (entro il 2009); considerato che l'intervento messo in campo presenta caratteristiche innovative, mai impiegate in altri siti, l'iter prescelto è funzionale anche a valutare la necessità di eventuali interventi integrativi.

## MATERIALI E METODI

Il trattamento di bioremediation, completato nel giugno 2007, è stato realizzato creando una discontinuità

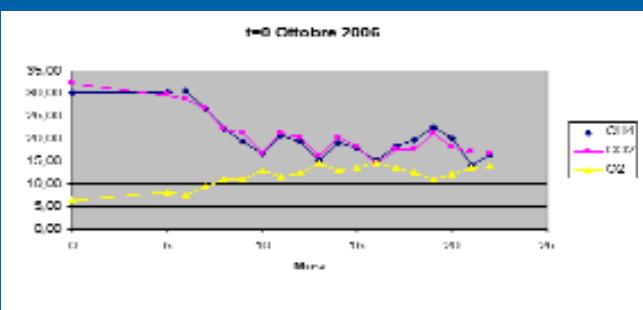
fisica grazie all'introduzione di un compost speciale a bassa densità e ricco di microrganismi in grado di degradare il materiale celluloso (*compost designed*) [1, 2]. La tipologia di intervento è compatibile con il recupero agricolo dell'area, con interventi di semina e sistemazione agricola. Si sono utilizzate due tipi di trincee: trincea "biofilo" e trincea "biopile". La prima è stata riempita con il *compost designed* e con miscele enzimatiche selezionate; rappresenta una via preferenziale di drenaggio e di trasporto del biogas attraverso l'atmosfera e nello stesso tempo, grazie al *compost designed*, consente la trasformazione del metano in CO<sub>2</sub>. La trincea "biopile" è ottenuta attraverso la miscelazione del compost con enzimi e con lo stesso fango estratto [1, 2]. La loro funzione è quella di ridurre la produzione di metano migliorandone la degradazione aerobica. In figura 1 una foto aerea dell'area.

## MONITORAGGIO DEL BIOGAS

Per misurare in via indiretta il metabolismo microbico, la fase gas è stata monitorata nei 16 pozzi interni al perimetro.

La concentrazione di gas è stata misurata *in situ* in piezometri fessurati a determinate profondità, utili a indagare la produzione, l'ac-

**Fig. 2 – Andamento concentrazioni metano ( $\text{CH}_4$ ), biossido di carbonio ( $\text{CO}_2$ ) e ossigeno ( $\text{O}_2$ ) nei primi 22 mesi**



cumulo e la dispersione del gas in tutta l'area [3].

Si sono misurate in situ le concentrazioni di  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  con uno strumento portatile (GA 2000 PLUS, Geotechnical, UK).

Il metano è il principale indicatore della pericolosità del biogas e attraverso la relazione con la concentrazione di  $\text{CO}_2$  si possono evidenziare modificazioni nei processi fermentativi. La concentrazione di ossigeno, in relazione con quella di metano, può mostrare sia la pericolosità, sia le eventuali modificazioni dei processi fermentativi.

Il monitoraggio del gas è stato realizzato in condizioni di equilibrio, dopo la misura del livello piezometrico, e – quando necessario – dopo un pompaggio dell'acqua dal pozzo.

In ciascun pozzo è stata misurata la concentrazione del gas fino al raggiungimento di un valore costante, in circa 300 s.

L'esito delle determinazioni in ciascun pozzo è stato sottoposto a un metodo analitico di validazione [4], per controllare se i risultati rientrassero in una distribuzione normale (test Shapiro Wilks, 5%); quindi è stata verificata la possibile presenza di risultati anormali attraverso il test di Huber (valore medio, 5%). Questi test permettono di stabilire se i valori di concentrazione di metano misurati appartengono alla stessa popolazione statistica e se vi sono dati con differenze significative. In questo specifico caso consentono anche di valutare se i lavori di bonifica abbiano comportato modificazioni tali da cambiare i dati di distribuzione e se appartengano a popolazioni statistiche differenti.

È stata monitorata anche la stabilità biologica del fango tombato in condizioni anaerobiche, tramite misure in laboratorio del potenziale

biochimico di metanazione (BMP), come descritto in [1, 3].

### IRISULTATI DEL TRATTAMENTO

Sono qui riportati i risultati di 22 mesi di monitoraggio della fase gas. In figura 3 sono mostrati gli andamenti delle concentrazioni di  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  in alcuni dei 16 pozzi. I dati registrati hanno evidenziato 3 tipologie di pozzi:

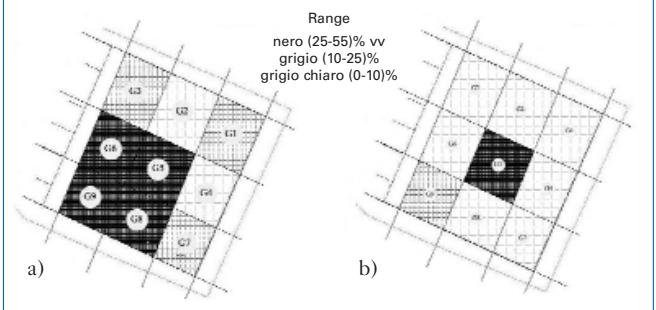
- 3 pozzi hanno mantenuto un'elevata presenza di biogas (circa 50%) relativa alle concentrazioni di  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  durante i 20 mesi di monitoraggio; due pozzi mostrano abbassamenti dei valori negli ultimi 2 mesi, a 12 mesi dal completamento dell'intervento

- 4 pozzi mantengono un livello basso, pressoché nullo, di biogas;

- 9 pozzi presentano andamenti differenti, in relazione al trattamento subito, mostrando un abbassamento nella concentrazione di metano, alcuni al di sotto dei valori di limite esplosivo inferiore (LEL). In particolare, i valori registrati nel tempo per il pozzo G5 appartengono alla stessa popolazione e non mostrano valori anomali nell'intervallo di tempo considerato. I valori costanti registrati nel pozzo G5 possono considerarsi una validazione del metodo utilizzato per la misura della concentrazione di metano nell'area.

Per gli altri pozzi, i test hanno mostrato che il loro comporta-

**Fig. 3 – Mappa conc. metano ottobre 2006 (a) e febbraio 2008 (b)**



mento non appartiene alla stessa popolazione e che gli interventi condotti hanno modificato la realtà dell'area oggetto di studio.

La figura 2 mostra i valori medi di concentrazione di  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  nei 16 pozzi presenti nell'area e una sostanziale riduzione di concentrazione di  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  (circa 50%), oltre a una progressiva crescita di  $\text{O}_2$  nei 22 mesi.

Nella zona di trattamento si evidenzia poi la riduzione del potenziale di produzione di metano (BMP) da parte dei fanghi trattati, come evidenziato nella tabella 1. Anche l'estensione dell'area di produzione e di accumulo del biogas si riduce come mostrato in figura 3.

### CONCLUSIONI

Il sistema di monitoraggio descritto è risultato idoneo al tipo di intervento avviato nell'area dell'ex cava. Questa metodologia consente di effettuare un monitoraggio anche in condizioni di estrema eterogeneità e di testare l'efficacia del trattamento di bioremediation nel tempo, così come richiesto dagli enti interessati. Il sistema di monitoraggio adottato ha in particolare allo stato attuale permesso di rilevare:

- una progressiva riduzione nella concentrazione di metano nell'area, come valore medio, e una corrispondente crescita delle concentrazioni di ossigeno; il metano è

calato di circa il 50% sul valore medio, che non significa avere abbattuto il metano del 50%, ma che la presenza si è ridotta mediamente del 50%. Nel frattempo infatti si è prodotto anche altro metano, come si può intuire dai dati altalenanti delle concentrazioni medie; man mano che avanza la degradazione, anche anaerobica, il metano viene prodotto, drenato e allontanato attraverso i biofiltr, previa biocconversione. La concentrazione media di ossigeno nello stesso periodo è quasi raddoppiata e ha raggiunto i 2/3 del suo valore limite

- contemporaneamente la potenzialità di produzione di metano diminuisce, come evidenziato dalle misure del potenziale di biomelanazione, quindi si ha una riduzione del termine di sorgente. Infine è da sottolineare l'importanza di utilizzare un materiale funzionale, come il *compost designed* opportunamente progettato per specifiche tipologie di bonifiche di suoli contaminati, preparato a partire da rifiuti.

**Valerio Marroni**  
Arpa Emilia-Romagna  
**Federica Ferri**  
Comune di Imola  
**Serena Lanzarini, Ausl Imola**  
**Alessandra Bonoli**  
Università di Bologna  
**Alice Dall'Ara, Enea - Faenza**

**Tab.1 - Misure di potenziale biochimico di metanazione**

Campione	BMP ( $\text{m}^3/\text{t SV}$ )
t (tempo) = 0	183
t = 50 gg	110
t = 240 gg	103
t = 412 gg	40,4

Misure in campioni di fango prima e durante il processo per unità di solidi volatili

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Marroni et al., 2006. *Fondo Colombarotto: indagine e risoluzione in loco di siti contaminati da metano*. V Conferenza “Nuova normativa ed innovazione (Bio) tecnologica nella gestione e bonifica dei siti contaminati”. Ecomondo 2006. Atti di seminari, Tomo 2, pp.266-271.
- [2] Dom. Ital. N. RM2008A000723. *Procedimento per ridurre la produzione e le emissioni di metano da discariche e siti di recupero rifiuti*.
- [3] Modarelli G. 2008. *Sistemi di controllo di Processi di biostabilizzazione in situ*. Tesi di laurea in Ingegneria per l'ambiente e il territorio. Alma Mater Studiorum. A.A. 2006/07.
- [4] Arpa Toscana. 2003. *Manuale per la validazione di metodi analitici*, pp: 39-72.