

# CARATTERIZZAZIONE DELLE DISCARICHE

Test in discarica ad Aosta in previsione di un possibile intervento di Landfill

Mining ■ RAFFAELLO COSSU°, ANDREA DAL MASO°, ROBERTO RAGA°, VIVIANA SALIERI°, MORENO ZANELLA°°

I Landfill Mining è una tecnica di particolare interesse per gli interventi sulle vecchie discariche, finalizzata ad evitare la possibilità di futura contaminazione degli acquiferi e a recuperare volumi utili per la realizzazione di nuovi settori di discarica o per nuove destinazioni d'uso del sito. I rifiuti rimossi dalla discarica vengono trattati e selezionati, con particolare attenzione alle frazioni che possono essere avviate a recupero di energia o di materiali (Cossu e Raga, 2010; Cestaro e Rossetti, 2006).

Nel presente articolo vengono riportati i risultati di alcune indagini condotte sulla discarica di Aosta, eseguite nell'ambito di un articolato piano di caratterizzazione, teso a valutare tra l'altro la possibilità di applicare il Landfill Mining alla discarica.

La discarica in oggetto ha una volumetria di circa 1.700.000 m<sup>3</sup> con spessori medi di circa 25 m. È costruita completamente in rilevato e suddivisa in due parti idraulicamente separate tra loro:

- la prima già esaurita e ubicata sul lato est, oggetto di un intervento di messa in sicurezza con capping superficiale;
- la seconda, attualmente in coltivazione e costituita da 3 lotti affiancati che sono stati successivamente realizzati a partire dalla parte esaurita.

I rifiuti conferiti in discarica vengono preventivamente compattati in balle legate mediante filo metallico e la coltivazione avviene per strati di spessore pari a circa 3 m. Le balle vengono movimentate tramite pala meccanica e posizionate secondo il fronte di avanzamento; la successiva copertura giornaliera con terreno (Figura 1) è effettuata tramite escavatore. Altri rifiuti non idonei alla compattazione in balle, quali fanghi e sabbie provenienti da depuratori, vengono comunque smaltiti all'interno del corpo discarica, a riempimento degli spazi disponibili tra le balle. Come si vedrà meglio in seguito, questa particolarità ha condizionato le modalità di esecuzione delle indagini e ha reso necessaria l'adozione di accorgimenti che sono stati opportunamente testati in vista di una possibile applicazione in scala reale del Landfill Mining.

Tra le indagini effettuate, saranno di seguito descritte quelle per l'approfondimento della conoscenza sulle caratteristiche merceologiche, granulometriche e chimico-fisiche dei rifiuti, sulla qualità ambientale della discarica (intesa come definizione della quantità e della qualità



Figura 1 - Fronte di coltivazione della discarica

delle emissioni di percolato e biogas prodotte) e infine sulle caratteristiche energetiche dei rifiuti al fine di una eventuale valorizzazione dopo la loro rimozione. In caso di Landfill Mining su una discarica non completamente stabilizzata occorre procedere ad un preventivo intervento di aerazione in situ al fine di rendere possibili le operazioni di scavo in condizioni di sicurezza e migliorare le caratteristiche di stabilità biologica dei rifiuti e del percolato (Cossu e Raga, 2010). Al

fine di informare la progettazione dell'aerazione sono stati eseguiti test in reattori di laboratorio e in discarica.

Figura 2 - Campionamenti in discarica mediante Geoprobe



## Indagini sui rifiuti

Le indagini sui rifiuti sono finalizzate alla valutazione della composizione merceologica e granulometrica dei rifiuti depositati e allo studio della qualità delle varie frazioni separabili, in funzione delle diverse



**Figura 3** - Operazioni di trivellazione (A) ed estrazione di rifiuto a diverse profondità dalla superficie della discarica (B)

possibilità di gestione. Il rifiuto viene inoltre caratterizzato dal punto di vista chimico e della stabilità biologica, individuando le emissioni potenziali associate alle frazioni non recuperabili. Le analisi merceologiche e granulometriche vengono eseguite secondo il metodo IRSA CNR, che comporta l'impiego di un vaglio a maglie quadrate di 20 mm sul quale viene trattato il campione (200 kg circa). Viene eseguita una cernita manuale sul materiale trattenuto di pezzatura superiore a 20 mm, suddividendo il rifiuto nelle categorie merceologiche principali (rifiuti alimentari, rifiuti da giardino, carta e cartone, legno e tessili, plastica, vetro, inerti, pannolini, metalli, rifiuti pericolosi). Tale metodologia può essere migliorata con la procedura messa a punto dal Dipartimento IMAGE dell'Università di Padova ("metodo IMAGE"), secondo la quale viene impiegata una batteria di vagli caratterizzata da una spaziatura tra le maglie di 200, 100, 75, 50 e 20 mm, opportunamente impilati in ordine decrescente di dimensione. La suddivisione merceologica viene effettuata sui sopravvagli 200, 100, 75, 50 e 20 mm e questo permette dunque di conoscere non solo la composizione merceologica del campione di rifiuto, ma anche la granulometria delle diverse frazioni che lo compongono, ai fini di una migliore progettazione dei successivi trattamenti.

Il metodo IMAGE prevede inoltre l'ulteriore suddivisione del campione in sottoclassi delle categorie merceologiche principali (suddividendo per esempio la carta

in giornali, riviste, scottex, ecc.) e ottenendo così un maggior dettaglio nell'analisi del campione. Il sottovaglio a 20 mm può essere sottoposto ad analisi specifica, in modo da essere classificato secondo le sottocategorie merceologiche individuate anche per i sopravvagli. Nel caso della discarica in oggetto, le analisi merceologiche e granulometriche sono state condotte da Spinoff Srl su campioni di rifiuto estratti mediante trivellazione a diverse profondità dalla superficie della discarica (Figura 3). A titolo di esempio alcuni dati di sintesi sono riportati in Figura 4, dove si osserva che le frazioni merceologiche preponderanti in peso sono costituite da sottovaglio a 20 mm (circa 50%), plastica (superiore al 20%) e inerti (circa 10%). Sono state poi eseguite ulteriori determinazioni analitiche di laboratorio, al fine di valutare il grado di putrescibilità del rifiuto estratto, per stabilire l'entità delle emissioni potenziali in termini di biogas e percolato ancora attese dai rifiuti in discarica.

A questo scopo, i test di interesse di cui si riportano in sintesi i risultati sono stati eseguiti secondo metodiche di uso corrente a livello internazionale (Cossu e Raga, 2008) per la determinazione di:

- indice respirometrico mediante test di

4 giorni in Sapromat ( $IR_4$ ,  $mgO_2/gST$ );

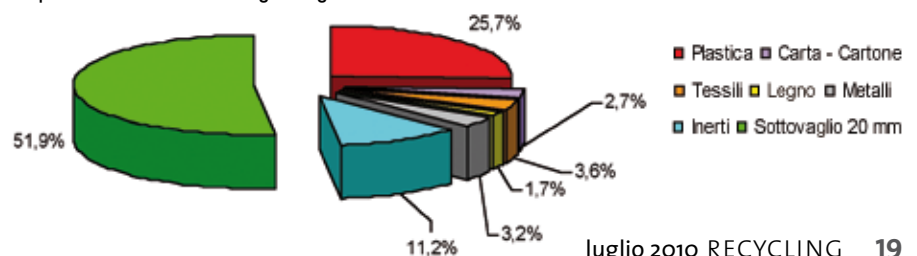
- indice di produzione di biogas in test di fermentazione ( $GB_{21}$ ,  $NI/kgST$ );
- COD e  $N-NH_4^+$  ( $mg/l$ ) negli eluati del test di cessione in acqua distillata con rapporto liquido solido L/S pari a 10.

Le analisi effettuate sui campioni prelevati hanno evidenziato valori di umidità molto diversi alle differenti profondità e nelle diverse zone della discarica, compresi tra il 9% e il 68%.

L'indice respirometrico risulta superiore a  $10 mgO_2/gST$  per i rifiuti depositati nei primi 10 m, indice di una discreta attività biologica caratteristica di un rifiuto non ancora stabilizzato, mentre a profondità più elevate tale parametro assume valori inferiori, pari a circa  $4 mgO_2/gST$ .

I campioni di rifiuto sono stati poi sottoposti al test di fermentazione, al fine di valutare la produzione potenziale di biogas in condizioni anaerobiche ( $GB_{21}$ ) ed ottenere un'ulteriore indicazione sul grado di stabilizzazione del rifiuto depositato in discarica. Come già osservato per l'indice respirometrico, anche per il parametro  $GB_{21}$ , i valori medi risultano più elevati per i rifiuti depositati nei primi 10 m da p.c., mentre scendono fino a  $2 NI/kgST$  per i rifiuti depositati a profondità maggiori, a testimonianza della loro maggiore

**Figura 4** - Percentuali medie in peso delle frazioni merceologiche principali individuate nei campioni sottoposti ad analisi merceologica e granulometrica



stabilità biologica.

Per quanto riguarda gli eluati dei test di cessione, i valori riscontrati per il COD variano tra circa 45 e 5.800 mgO<sub>2</sub>/l. In generale, si osserva che i valori risultano mediamente più bassi per i campioni di rifiuto prelevati dal sondaggio ubicato nella parte di discarica relativa ai lotti esauriti, mentre i valori medi più elevati si riscontrano nei campioni di rifiuto meno profondi. Le concentrazioni di azoto ammoniacale risultano variabili tra circa 2 e 290 mgN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/l.

La valutazione d'insieme dei risultati delle determinazioni analitiche sui rifiuti, indica come la discarica presenti una significativa instabilità biologica distribuita in modo disomogeneo sia dal punto di vista verticale che areale, costituendo ancora una potenziale sorgente di emissioni contaminanti. Al fine di ottenere informazioni sulla possibilità di inviare le frazioni combustibili a recupero energetico per via termica, è risultato d'interesse determinarne il potere calorifico inferiore (PCI).

In Figura 6 vengono illustrati i valori medi di PCI e di umidità, per le frazioni combustibili che possono essere recuperate energeticamente nel corso di un eventuale intervento di Landfill Mining e che costituiscono oltre l'85% in peso del rifiuto depositato in discarica. Sulla base della composizione media del rifiuto, è stato calcolato un PCI medio pesato pari a 7.535 kJ/kg. L'ipotesi di non utilizzare la frazione di sottovaglio per il recupero energetico, oltre ad escludere circa il 50% in peso del rifiuto depositato in discarica, porterebbe il PCI medio a valori troppo elevati per la maggior parte dei tradizionali impianti di incenerimento. In relazione ai valori elevati di umidità invece, particolare rilievo assume l'applicazione preliminare della tecnica dell'aerazione in situ, che consentirebbe di ridurre il grado di umidità e di mantenere il potere calorifico medio su valori ideali per l'invio del rifiuto a recupero energetico per via termica.



Figura 5 - Respirometro Sapromat, utilizzato per la determinazione dell'indice respirometrico

## Indagine sul percolato

Le analisi per la determinazione della qualità del percolato sono state condotte su campioni prelevati in corrispondenza dei pozzi di raccolta presenti nei tre lotti in coltivazione.

Su questi sono stati misurati i parametri di conducibilità elettrica, pH, TVA, potenziale redox, TKN, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, COD, BOD<sub>5</sub>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, metalli pesanti (Fe, Mn, Cu, Pb, Ni, Cd, Cr totale, Be, Co, Se, V, Zn), acido acetico, acido butirrico e acido formico.

Relativamente all'azoto ammoniacale, che rappresenta la quasi totalità dell'azoto presente nel percolato, sono stati rilevati valori compresi tra circa 3.200 e 5.800 mgN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/l, tipici di discariche per RSU. L'ammoniaca rappresenta il parametro chiave per la valutazione della durata dell'impatto ambientale di una discarica.

Questo parametro risulta infatti particolarmente critico, in quanto non degradabile in condizioni anaerobiche e in grado di permanere nel percolato a valori molto elevati per tempi molto lunghi, non compatibili con la durata delle barriere fisiche predisposte per la protezione ambientale della discarica.

In riferimento agli aspetti connessi alla rimozione dell'azoto nel percolato, risulta particolarmente importante il ruolo dell'aerazione in situ. Test condotti in scala di laboratorio infatti, hanno permesso di verificare la simultanea presenza di processi di nitrificazione e denitrificazione nello stesso reattore aerato, che permettono di convertire l'azoto ammoniacale a nitrati e quindi ad azoto molecolare N<sub>2</sub>.

In scala reale quindi, mediante il ricircolo, il percolato attraversa zone insature della discarica dove le condizioni aerobiche indotte dall'aerazione consentono lo sviluppo dei processi di nitrificazione.

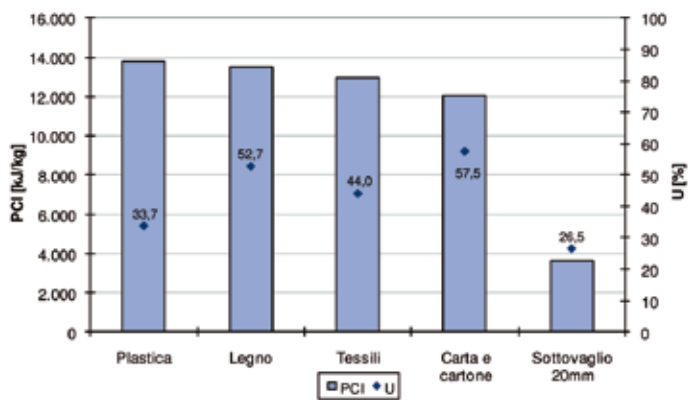
A causa dell'eterogeneità dei rifiuti, la distribuzione dell'ossigeno nel corso dell'aerazione in situ non è uniforme e di conseguenza è attesa la presenza di zone anaerobiche, nelle quali possono svilupparsi i processi di denitrificazione del percolato (Raga et al., 2010).

Per quanto riguarda il BOD<sub>5</sub>, i valori variano mediamente tra 1.300 e 4.000 mgO<sub>2</sub>/l, mentre i valori medi di COD risultano compresi tra 5.300 e 11.700 mgO<sub>2</sub>/l. Le concentrazioni medie più elevate si riscontrano nel campione prelevato dal lotto n.3, che presenta il rapporto BOD<sub>5</sub>/COD medio più alto (0,34) ed evi-

denzia la maggiore instabilità biologica del rifiuto depositato in questa porzione di discarica.

Se si considera che il percolato prodotto da discariche in cui la sostanza organica biodegradabile inizialmente presente nel rifiuto è stata in buona parte degradata è caratterizzato da rapporti BOD<sub>5</sub>/COD < 0,1, i valori riscontrati in queste indagini escludono per tutti i lotti in coltivazione un buon grado di stabilità bio-

Figura 6 - Valori medi di PCI (espressi in kJ/kg) e di umidità, per le frazioni combustibili di rifiuto



logica dei rifiuti depositati. Per quanto riguarda le concentrazioni degli elementi metallici, si osserva che solamente il cromo è stato rilevato in concentrazioni superiori a quelle normalmente riscontrate nel percolato (30-1.600  $\mu\text{gCr/l}$ ; Andreottola et al. 1992): esse variano tra 935 e 2.460  $\mu\text{gCr/l}$ .

I valori dei parametri biochimici riscontrati nel percolato confermano che la discarica si trova in condizioni lontane dalla sostenibilità ambientale, soprattutto per quanto riguarda l'azoto ammoniacale.

### Test di aerazione in situ

L'aerazione in situ, oltre ad essere efficace nell'abbattimento della putrescibilità dei rifiuti ed avere effetti positivi sulla qualità del percolato in termini di riduzione dell'azoto ammoniacale, può essere applicata come pretrattamento per l'intervento di Landfill Mining, nel corso del quale altrimenti lo scavo risulterebbe problematico per la sicurezza dei lavoratori, a causa del rischio di esplosioni e per la migrazione di miscele non respirabili nell'area di scavo (Dal Maso e Zanella, 2009).

L'impianto di aerazione comprende anche un sistema di emungimento del percolato, che risulta indispensabile per abbassare il battente in discarica ed eliminare le zone saturate all'interno dell'ammasso, che impediscono una buona propagazione dell'aria nel corpo discarica. La presenza

di falde sospese a diverse quote può inoltre favorire la formazione di sacche di biogas e durante i lavori di scavo dei rifiuti possono creare problemi ambientali e di sicurezza.

All'aerazione in situ viene generalmente associato anche il ricircolo del percolato, che oltre a favorire l'abbattimento dell'azoto ammoniacale, consente di controllare sia il grado di umidità del rifiuto che gli incrementi di temperatura, che potrebbero inibire i processi di nitrificazione (Raga et al, 2010). Obiettivo dei test di aerazione in situ è la valutazione dell'applicabilità della tecnica della stabilizzazione aerobica nello specifico caso in esame, allo scopo di ottenere le informazioni necessarie per la corretta progettazione dell'impianto a pieno campo.

L'impianto pilota è costituito da pozzi di aerazione e pozzi di monitoraggio, opportunamente trivellati in discarica e disposti in modo da consentire, nel corso delle prove sperimentali, di monitorare le variazioni dei parametri di interesse. Per l'insufflazione/aspirazione dell'aria si fa uso di compressori/aspiratori montati su sta-

zione mobile. I test prevedono l'insufflazione/aspirazione d'aria da un pozzo del campo prove e il monitoraggio dei valori di pressione e concentrazione del biogas nei pozzi di monitoraggio.

L'interpretazione dei dati porta a determinare il valore di portata d'aria che deve essere insufflata/aspirata da un pozzo affinché il flusso d'aria riesca

a coinvolgere un determinato volume di rifiuti. In termini pratici, ai fini della realizzazione del progetto, questo significa determinare la distanza tra i pozzi di aerazione e la portata d'aria da insufflare/aspirare. I dati possono essere interpretati facendo uso di un modello matematico elaborato ad hoc, che utilizza come dati di ingresso i valori di pressione misurati nei pozzi di monitoraggio durante la realizzazione delle prove. Il modello determina i valori della porosità e della permeabilità all'aria del rifiuto e fornisce una stima del raggio di influenza del pozzo di aerazione per un dato valore di portata (Cestaro et al., 2003).

Nel caso della discarica in oggetto, sono state effettuate diverse prove di aerazione su un campo prove appositamente realizzato (Figura 7), durante le quali sono state insufflate/aspirate diverse portate d'aria dai pozzi trivellati in discarica. I risultati in termini di distribuzione dell'ossigeno e delle pressioni e in termini di diminuzione delle concentrazioni di metano sono stati soddisfacenti e, a titolo di esempio, si riporta in Figura 8 una rappresen-

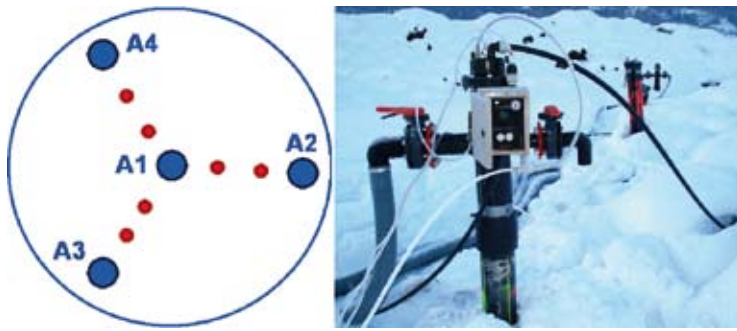
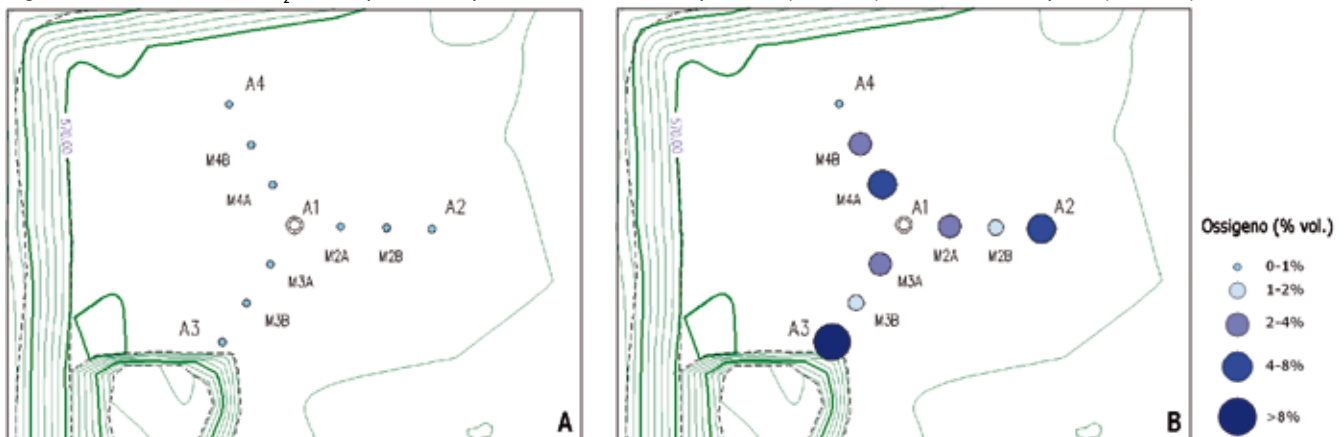


Figura 7 - Disposizione planimetrica del campo prove e vista dal pozzo centrale A1 verso il pozzo A3

Figura 8 - Concentrazioni di  $\text{O}_2$  rilevate prima della prova di insufflazione dal pozzo A1 (Grafico A) e al termine della prova (Grafico B)



tazione planimetrica schematica delle concentrazioni di  $O_2$  misurate all'inizio e al termine della prima prova (insufflazione dal pozzo A1). Risultati analoghi sono stati ottenuti nelle altre prove di insufflazione, avvenute dai pozzi A4 e A3, e nella prova di insufflazione da A2 con contemporanea aspirazione da A1. In quest'ultima sono state create le condizioni di circolazione del flusso d'aria in discarica tipiche di un impianto di aerazione in situ installato a pieno campo e proprio in questa prova sono stati osservati i risultati migliori in termini di diffusione dell'ossigeno. I risultati ottenuti hanno permesso di effettuare una stima del raggio di influenza dei pozzi di aerazione compreso tra 10 e 15 m per portate d'aria insufflata di 160-230  $m^3/h$ . Si tratta di un parametro essenziale per la progettazione dell'impianto di aerazione a pieno campo, in quanto definisce la distanza ottimale che si deve prevedere tra i pozzi di aspirazione e di insufflazione. Nel caso della discarica di Aosta, si sono rivelati di particolare importanza anche i test di emungimento che sono stati effettuati durante le prove di insufflazione/aspirazione, dopo che le misurazioni preliminari dei livelli freaticometrici nei pozzi avevano evidenziato la problematicità della zona del campo prove a causa della presenza di elevati e disomogenei battenti di percolato, anche causati dalla presenza in discarica di elevate quantità dei fanghi di depurazione precedentemente citati. Per abbassare il livello di percolato nei pozzi e aumentare il volume di rifiuti interessato dal flusso d'aria durante le prove è stato sperimentato con successo l'utilizzo di particolari eiettori pneumatici (Figura 9) comandati da una centralina di comando e controllo (Figura 10), che hanno consentito di abbassare il livello del percolato di circa 4 m durante le prove nonostante la

presenza dei fanghi che si accumulavano nei pozzi. Tale aspetto pratico potrà risultare fondamentale per un'eventuale applicazione a pieno campo, sia per consentire un omogeneo abbassamento dei livelli di percolato in tutta la discarica, sia per permettere l'eliminazione di barriere idrauliche che impediscono di instaurare condizioni omogenee di aerazione nell'ammasso di rifiuti. L'utilizzo di questi eiettori è auspicabile anche come intervento preliminare per aumentare la stabilità meccanica della discarica, prima delle operazioni di escavazione dei rifiuti previste dal Landfill Mining.

## Conclusioni

La valutazione d'insieme dei risultati delle indagini condotte evidenzia la significativa instabilità biologica dei rifiuti depositati nei lotti in coltivazione della discarica in esame, che la rendono una potenziale sorgente di emissioni contaminanti. In particolare, le concentrazioni di azoto ammoniacale rilevate nel percolato sono destinate a rimanere significative per centinaia d'anni e quindi certamente per tempi ben più lunghi della durata prevista per le barriere costruite. L'aerazione in situ è risultata tecnicamente applicabile ed efficace e, associata all'estrazione del percolato, potrà quindi permettere la stabilizzazione della discarica da un punto di vista sia biochimico che meccanico. La sua applicazione a pieno campo pertanto, è comunque raccomandabile come intervento atto a garantire la sostenibilità ambientale della discarica, a prescindere anche dall'applicazione del Landfill Mining. In caso di successivo intervento di Landfill Mining inoltre, l'aerazione in situ permetterà di migliorare la qualità del rifiuto ai fini dell'invio a recupero energetico delle



**Figura 10** - Pozzo centrale del campo prove, allestito con la centralina di comando degli eiettori

frazioni combustibili e consentirà di agire in condizioni di sicurezza durante le operazioni di scavo.

## Bibliografia

- Andreottola G., Cannas P. (1992). *Chemical and biological characteristics of landfill leachate. Landfilling of waste: leachate* (Christensen, Cossu and Stegmann eds.), Elsevier Applied Science.
- Cestaro S., Lanzoni S., Cossu R., Raga R. (2003). *Analysis of pressure field in a landfill during in-situ aeration for waste stabilization. Atti del Sardinia 2003 - Nono Simposio Internazionale sulla Gestione dei rifiuti e lo scarico controllato.* CISA.
- Cestaro S., Rossetti D. (2006). *Landfill Mining: tecnologia e costi. Atti del Seminario: Tecnologie per la riduzione degli impatti e la bonifica delle discariche, Montegrotto Terme (PD), 7-9 giugno 2006.* CISA.
- Cossu R., Raga R. (2008). *Test methods for assessing the biological stability of biodegradable waste. Waste Management.* vol. 28, pp. 381-388. Elsevier Ltd. ISSN: 0956-053X.
- Cossu R., Raga R. (2010). *La tecnica del Landfill Mining per la bonifica delle discariche. Recycling,* n.1 Gennaio 2010. Edizione PEI.
- Dal Maso A., Zanella M. (2009). *Principi e risultati delle esperienze in Italia dell'aerazione in situ delle discariche. Recycling,* n.6 Novembre 2009. Edizione PEI.
- Raga R., Cossu R., Dal Maso A. (2010). *Effetti dell'aerazione in situ sul bilancio del carbonio e dell'azoto in discarica: test di laboratorio. RS Rifiuti Solidi,* Vol. XXIV, n.2, Marzo-Aprile 2010. CIPA Editore, Milano, ISSN 0394-5391. ♻️

°°DIPARTIMENTO IMAGE, UNIV. DI PADOVA  
°°SPINOFF SRL - PADOVA

**Figura 9** - Eiettore pneumatico installato nei pozzi del campo prove (Immagine A) e prova di utilizzo dell'eiettore in cui si nota la fuoriuscita del percolato estratto dal pozzo (Immagine B)

