

LA TECNICA DEL LANDFILL MINING PER LA BONIFICA DELLE DISCARICHE



Il landfill mining è una tecnica di intervento per la bonifica delle discariche che consiste nella escavazione e nel successivo trattamento dei rifiuti con recupero di materiali, energia e volume riutilizzabile nel sito

■ RAFFAELLO COSSU°, ROBERTO RAGA°

Studiato approfonditamente a partire dagli anni '90 ma poco utilizzato in applicazioni in scala reale, il landfill mining è attualmente al centro di grande attenzione a causa della crescente preoccupazione per il ruolo delle discariche nei fenomeni di contaminazione degli acquiferi e per la difficoltà di reperimento di nuove aree per lo smaltimento in discarica dei rifiuti. In particolare, l'applicazione del landfill mining può essere di interesse nei casi di seguito elencati:

- bonifica di discariche inquinanti. Lo scavo dell'intero ammasso dei rifiuti (e il successivo trattamento con eventuale inertizzazione delle frazioni pericolose) consentirebbe una risoluzione totale e definitiva di problemi di contaminazione conclamata o potenziale grazie alla rimozione della sorgente;

- recupero di volume per ulteriore deposito di rifiuti. A seguito dello scavo e selezione dei rifiuti è possibile ottenere flussi di materiali recuperabili e materiali sfruttabili a fini energetici; nuovi volumi sarebbero quindi disponibili nel sito per lo smaltimento in nuovi settori di discarica sia delle frazioni residue dall'attività di landfill mining, sia del rifiuto residuo da raccolta differenziata. I costi dell'intervento potrebbero

essere in tal caso almeno in parte coperti con la tariffa di conferimento; - recupero di aree di valore in zone di pregio. L'espansione dei centri urbani causa l'incremento del valore di zone precedentemente non considerate per lo sviluppo edilizio; la rimozione di una vecchia discarica alla periferia di un centro urbano potrebbe quindi consentire l'edificazione di vaste aree con un ritorno economico che giustificerebbe l'intervento.

L'applicazione del landfill mining deve avvenire a valle di opportune valutazioni per chiarire la fattibilità tecnica ed economica dell'intervento.

Dal punto di vista tecnico, i frequenti casi di elevato battente di percolato e di alto grado di putrescibilità residua dei rifiuti in discarica costituiscono un aspetto di particolare interesse.

Queste condizioni renderebbero infatti le operazioni di scavo sia difficoltose per i mezzi, a causa dell'instabilità meccanica delle zone della discarica sature di percolato, sia rischiose per gli operatori a causa delle emissioni di metano e altri gas che si accumulerebbero nell'area di lavoro rendendo l'atmosfera irrespirabile e creando le condizioni per la formazione di miscele esplosive. Possibili modalità di esecuzione del landfill mining anche in casi particolarmente proibitivi sono state studiate già da tempo ed è nota ad esempio la necessità di portare la discarica in condizioni aerobiche al fine

di rendere possibili le operazioni di scavo in condizioni di sicurezza (Bil-tewski et al., 1995). L'intervento di aerazione in situ può essere realizzato in modo da permettere la contemporanea estrazione del percolato dai pozzi di insufflazione/aspirazione (Cossu et al., 2003) con l'effetto di migliorare le condizioni per la circolazione dell'aria insufflata in discarica. L'accoppiamento del landfill mining con un preliminare intervento di stabilizzazione biologica mediante aerazione in situ garantisce quindi i seguenti risultati:

- si potrà effettuare la rimozione dei rifiuti dalle vecchie discariche in condizioni di sicurezza e sottoporre agevolmente ai successivi processi di selezione il materiale scavato, grazie alla bassa umidità e alla buona stabilità biologica raggiunta;
- il materiale scavato non recuperabile sarà caratterizzato da un buon grado di stabilità biologica e la frazione fine potrà essere ad esempio convenientemente utilizzata come materiale di copertura in nuovi settori di discariche per rifiuti residui.

Dal punto di vista economico, al fine di progettare nel dettaglio l'intervento occorre conoscere le possibili destinazioni dei materiali separabili dal rifiuto scavato e i costi connessi alle fasi di scavo, selezione, trasporto e recupero delle singole frazioni, che dovranno essere confrontati con il valore delle aree recuperate e con i costi evitati di altri interventi altrimenti da prevedere per la bonifica dell'area. Tali informazioni condizioneranno le scelte tecniche di progettazione dell'intervento.

I primi casi condotti su scala reale negli Stati Uniti (Kornberg et al., 1993; Cossu et al., 1997), in Europa (Hogland et al., 1995; Obermeier e Saure, 1995; Rettenberger, 1995) hanno da tempo confermato la potenzialità del landfill mining e hanno permesso ad esempio di verificare che la selezione e il trattamento del materiale scavato possono essere effettuati con l'adattamento di tecniche già conosciute e in uso per il pretrattamento meccanico dei rifiuti residui da raccolta differenziata con l'adozione di vagli, separatori magnetici, aerulici ecc. come nell'esempio generico schematizzato in Figura 1.

Tuttavia il landfill mining rappresenta un'azione ingegneristica di notevole complessità nella quale intervengono molteplici aspetti. Per tale motivo è necessaria una impostazione progettuale accurata, ottenibile mediante l'effettuazione di una dettagliata indagine preliminare (Cossu et al., 2000), i cui obiettivi sono descritti nel paragrafo seguente. Di seguito sono discussi altri aspetti di interesse per interventi di landfill mining con alcuni esempi di applicazione a livello internazionale.

Indagine preliminare

L'indagine preliminare necessaria per la corretta progettazione di un intervento di landfill mining è atta a definire (Cossu, 2002):

- le caratteristiche morfologiche e strutturali della discarica;
- le caratteristiche dei rifiuti depositati e delle frazioni ottenibili mediante selezione;
- le misure operative da adottare, non soltanto quelle strettamente tecnologiche nella selezione dei rifiuti estratti ma soprattutto quelle di tutela della sicurezza dei lavoratori e di contenimento delle potenziali emissioni contaminanti sia in fase di scavo che di trattamento dei rifiuti scavati;
- una valutazione dettagliata degli aspetti economici.

Figura 1 - Esempio di schema di processo per un trattamento di landfill mining negli Stati Uniti (modificato da Diaz e Savage, 2000)

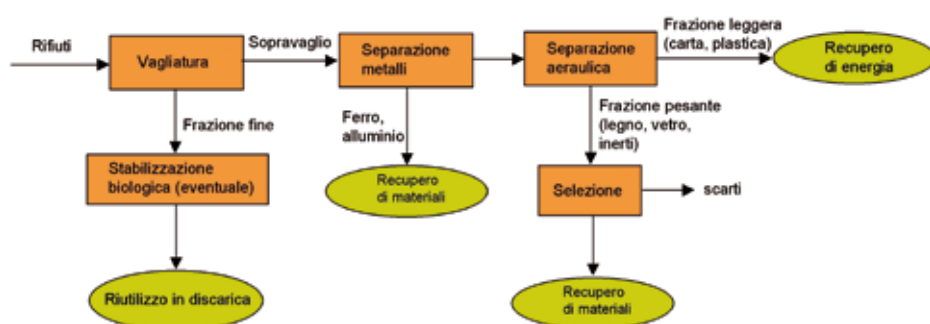
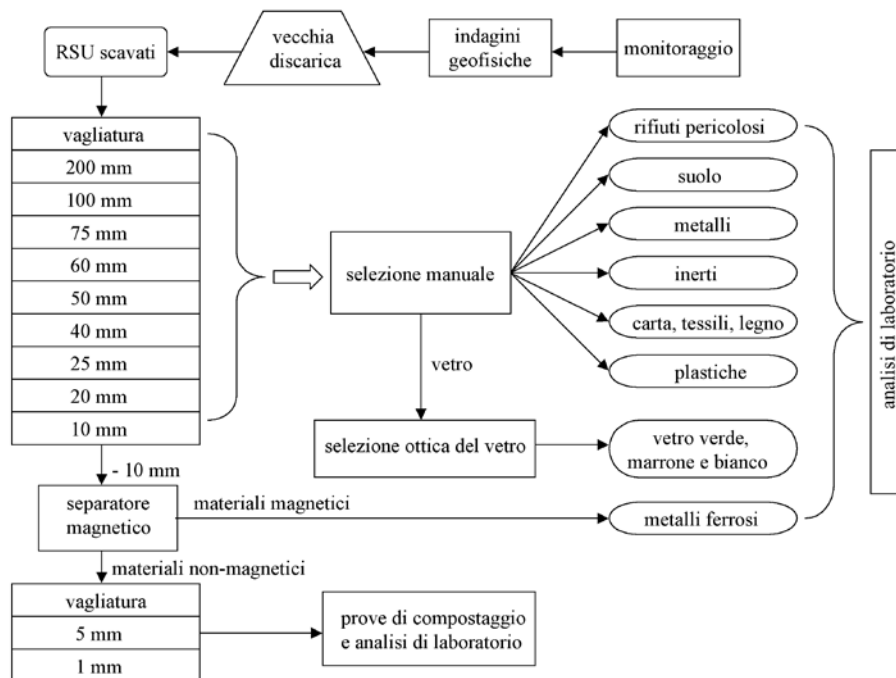


Figura 2 - Schema di flusso delle attività svolte nella indagine preliminare svolta sulla discarica di Simbirizzi, Italia (Cossu et al., 1995)



Nell'ambito dell'indagine preliminare, l'indagine storica ha come obiettivo la ricostruzione dei conferimenti di rifiuto e della situazione ambientale registrata dall'inizio dell'esercizio della discarica. Deve essere acquisita ed elaborata la documentazione significativa sulla storia del sito e della discarica, compresi rapporti e documenti derivanti da studi o progetti contenenti informazioni sulle caratteristiche ambientali della discarica (percolato, gas, assestamenti ecc.) e sulla situazione al contorno (diffusione percolato, migrazione gas). Specialmente in caso di discariche particolarmente vecchie, per le quali siano a disposizione informazioni carenti, può essere auspicata l'esecuzione di una indagine geofisica che permette anche l'acquisizione di informazioni utili per la progettazione delle altre indagini conoscitive, da realizzare successivamente. In particolare, l'indagine geofisica permette di ottenere la ricostruzione della morfologia della fondazione della discarica e dell'ammasso dei rifiuti, di evidenziare all'interno del corpo discarica eventuali accumuli di biogas e di percolato, di individuare la presenza di eventuali corpi anomali nel deposito (bidoni, ammassi omogenei di rifiuti speciali, ecc.).

Dato il carattere dell'intervento previsto, occorre naturalmente prevedere l'esecuzione di indagini geotecniche al fine di verificare le caratteristiche meccaniche dei rifiuti depositati e di effettuare l'analisi della stabilità meccanica della discarica. Occorre poi acquisire informazioni sulle caratteristiche di permeabilità in discarica, sui livelli di percolato e sulla eventuale presenza di falde sospese, sul volume di percolato accumulato e sulla generale fluidodinamica del percolato nel corpo discarica. I risultati delle indagini sul percolato devono

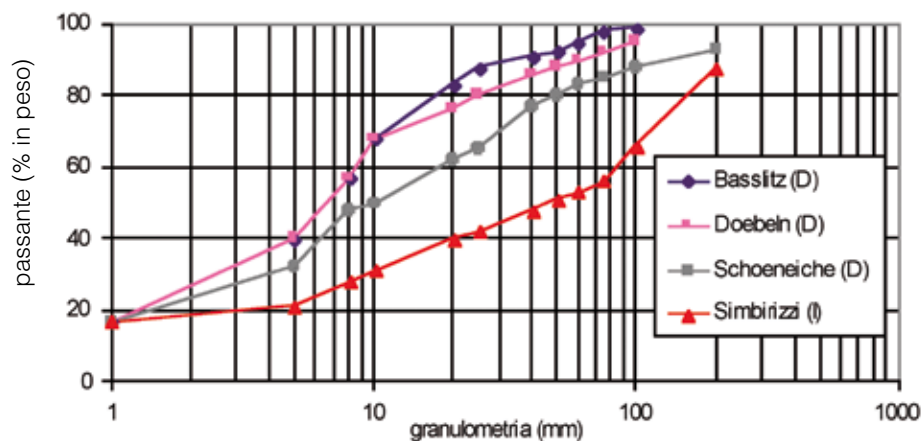
consentire di valutare le quantità attuali e future di percolato da smaltire e di dimensionare eventuali opere di drenaggio.

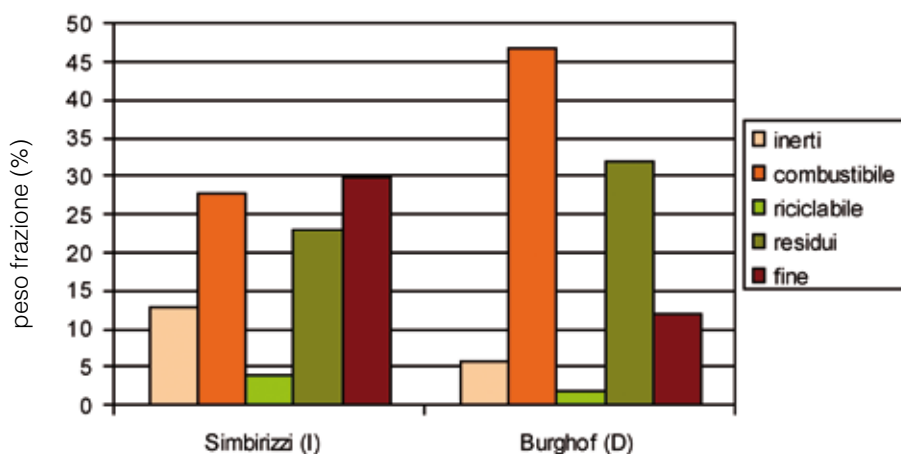
Occorre inoltre eseguire indagini sui rifiuti che sono generalmente mirate al conseguimento dei seguenti obiettivi:

- valutazione della composizione merceologica e granulometrica dei rifiuti depositati, della qualità delle varie frazioni separabili in funzione delle possibilità di gestione;
- caratterizzazione chimica e della stabilità biologica delle frazioni non recuperabili e delle emissioni potenziali ad essi associate.

Le indagini vengono condotte su campioni di materiale estratti, a seconda delle situazioni, mediante scavo aperto o trivellazione a diverse profondità nel corpo discarica (Cossu et al., 2000). In Figura 2 è riportato a titolo di esempio lo schema delle attività svolte nel corso dell'indagine preliminare per il landfill mining di una discarica in Sardegna (Cossu et al., 1995). Per quanto riguarda le caratteristiche dei rifiuti scavati, esse appaiono

Figura 3 - Distribuzione granulometrica dei rifiuti estratti nel corso di diverse esperienze di landfill mining (modificato da Bilitewski et al., 1995; Cossu et al., 1995; Obermeier e Saure, 1995)





ovviamente legate al caso singolo e alla qualità dei rifiuti depositati, ma anche alle modalità di smaltimento, alle caratteristiche strutturali della discarica e alle condizioni climatiche. In Figura 3 è riportato un esempio di curve granulometriche di rifiuti estratti da diverse discariche europee: tali distribuzioni appaiono fortemente influenzate soprattutto dalla quantità di materiale fine presente, dovuto ad esempio allo smaltimento di rifiuti di piccola pezzatura (fanghi, rifiuti di demolizione, terre di fonderia ecc.) o all'elevato utilizzo di terreno per la copertura giornaliera dei rifiuti. In Figura 4 sono riportate le percentuali in peso di frazioni separabili dai rifiuti scavati relativamente a due esperienze europee; in ambedue i casi appare notevole l'incidenza in peso della frazione definita combustibile (per

la quale era stata individuata la possibilità di recupero energetico), dei residui non recuperabili da smaltire in discarica e della frazione fine riutilizzabile come terreno di copertura.

Come già indicato, la preliminare aerazione in situ della discarica con il contestuale emungimento del percolato dagli stessi pozzi utilizzati per l'insufflazione/aspirazione è di fondamentale importanza (Cossu et al., 2003). L'ossigeno contenuto nell'aria che viene insufflata con l'aerazione in situ crea condizioni adatte a modificare, da anaerobico ad aerobico, il processo di conversione della sostanza organica biodegradabile contenuta nei rifiuti. Il carbonio organico quindi, anziché essere convertito in metano, anidride carbonica e composti ridotti maleodoranti (idrogeno solforato, mercaptani, indolo, scatolo, ammine, etc.) è trasformato in anidride carbonica, acqua e sostanze ossidate (nitrati, fosfati, solfati, etc.). Il metabolismo aerobico è

Figura 5 - Schema concettuale di un impianto per l'aerazione in situ per la stabilizzazione dei rifiuti in discarica prima delle operazioni di landfill mining

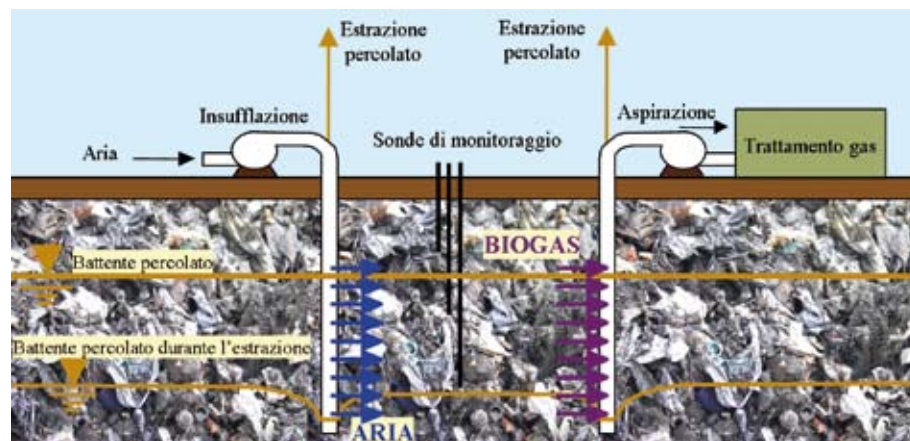


Figura 4 - Peso delle singole frazioni ottenute nel corso di due esperienze di landfill mining (modificato da Cossu et al., 1995 e da Rettenberger e Göschl, 1994)

inoltre favorito dal punto di vista energetico rispetto a quello anaerobico; comporta un incremento di temperatura (analogo a quello che si ha nel compostaggio) ed una velocità di degradazione notevolmente superiore. Solo per le discariche di inerti o nei rari casi in cui la stabilizzazione biologica abbia raggiunto livelli molto elevati è possibile effettuare lo scavo senza misure di pretrattamento o dopo semplice aspirazione del biogas.

Lo schema concettuale dell'aerazione in situ di una discarica è rappresentato in Figura 5 e prevede l'insufflazione d'aria da un pozzo e la contemporanea estrazione del biogas dal pozzo contiguo. Allo scopo di rendere più efficace il processo, occorre che il battente di percolato in discarica sia mantenuto basso, tramite estrazione anche dagli stessi pozzi utilizzati per l'insufflazione e aspirazione del biogas (Figura 5). Il gas di processo estratto, prima dell'immissione in atmosfera deve essere opportunamente convogliato verso un sistema per l'abbattimento degli odori e l'eliminazione di composti tossici.

L'applicabilità della tecnica della stabilizzazione in situ per aerazione deve essere comunque valutata mediante prove di laboratorio ed in campo, allo scopo di ottenere informazioni necessarie per la corretta progettazione dell'intervento. I test di laboratorio permettono di valutare l'influenza di diverse modalità operative sull'efficienza del processo di stabilizzazione dei rifiuti; in particolare, è possibile valutare l'effetto di variazioni della portata d'aria insufflata, della temperatura di processo, di diverse condizioni di umidità dei rifiuti, del ricircolo del percolato.

I test in campo permettono invece di valutare:

- l'influenza della quota del battente di

percolato sulla diffusione dell'aria insufflata;

- l'influenza della pressione di insufflazione sul raggio di influenza dei pozzi;
- la variazione, durante l'intervento, del tempo necessario per la ricomparsa di concentrazioni misurabili di metano nel biogas dopo l'interruzione dell'insufflazione d'aria;
- la variazione, durante l'intervento, delle caratteristiche chimiche e fisiche di rifiuti e percolato in discarica.

Per quanto riguarda la sicurezza del personale operante in discarica per l'escavazione dei rifiuti, non occorrono di solito particolari misure oltre a quelle utilizzate nelle aree contaminate; è necessario comunque che la cabina dell'escavatore sia dotata di sistema di aerazione artificiale (Cossu, 2002).

Esempi di applicazione

Gli esempi di applicazione del landfill mining a livello internazionale sono numerosi, caratterizzati da differenze rilevanti negli obiettivi dell'intervento, nelle caratteristiche dei rifiuti e nelle modalità di separazione di diversi flussi di materiali e di gestione delle frazioni separate.

Una applicazione originale è stata condotta presso la discarica di Modena (Cossu et al., 2003), dove la necessità della rimozione dei rifiuti non derivava da esigenze di bonifica o di recupero di volumi, bensì dall'esigenza di realizzare una trincea nel mezzo della discarica, per il passaggio della linea ferroviaria alta capacità Milano - Bologna (attualmente in esercizio). L'originalità del caso è dovuta non solo alle motivazioni dell'intervento, ma soprattutto al fatto che soltanto una fascia centrale della discarica è stata interessata dalla rimozione dei rifiuti, con la conseguente necessità di studiare modalità ad hoc per lo scavo in condizioni di sicurezza. Il landfill mining è stato realizzato dopo una lunga serie di studi di caratterizzazione e dopo il condizionamento ambientale della discarica mediante aerazione in situ, che è stata mantenuta

attiva nelle zone limitrofe alla trincea anche durante lo scavo, in modo da evitare la migrazione nella trincea del biogas ancora prodotto nelle zone attive della discarica. L'estrazione del percolato dai pozzi di insufflazione e aspirazione ha contribuito a mantenere basso il battente in discarica e ad avere condizioni ottimali nell'area di scavo (Figura 6). I rifiuti scavati, caratterizzati da un buon grado di stabilità biologica grazie al preliminare intervento di aerazione in situ, sono stati depositati in un nuovo settore di discarica realizzato nello stesso sito dopo la separazione in una frazione grossolana (> 50 mm) e in una frazione fine utilizzata come materiale di copertura. Hogland et al., (2004) riportano i risultati relativi ad una discarica in Svezia, in parte ancora in esercizio, in cui il landfill mining aveva lo scopo di prevenire i fenomeni di contaminazione attesi dai vecchi settori e di recuperare volumi per lo smaltimento di altri rifiuti nel sito. I risultati dell'indagine preliminare hanno permesso di riscontrare che, a causa della limitata infiltrazione d'acqua in discarica, i processi di degradazione biologica erano stati inibiti e la produzione di biogas risultava al momento trascurabile. Per questo motivo i rifiuti erano caratterizzati da potenziali emissioni ancora rilevanti, sia in termini di biogas che di percolato. A seguito di questa informazione e di quelle fornite dalle analisi merceologiche effettuate su numerosi campioni, da cui emergeva ad esempio che il 50% della frazione di granulometria superiore a 50 mm era costituita da carta e legno, è stato sviluppato un progetto per la gestione dei rifiuti scavati. È stata prevista la separazione dei rifiuti in 3 frazioni: <18 mm, 18-50 mm e > 50 mm. Per la frazione fine è stata prevista l'utilizzazione come materiale di copertura in discarica; per la frazione 18-50 mm è stato previsto il deposito in celle di discarica bioreattore con sfruttamento dell'elevato potenziale di produzione di biogas; per la frazione grossolana è stato previsto il recupero

di materiali (e smaltimento in discarica degli scarti generati nel processo), con l'opzione in alternativa di sfruttamento energetico dato l'elevato potere calorifico.

La soluzione che prevede il recupero energetico dalla frazione più grossolana (in genere composta prevalentemente da carta, cartone, plastiche, legno e tessuti) è molto frequente nelle applicazioni internazionali. Tale frazione è risultata caratterizzata da elevato potere calorifico, che è variabile a seconda delle esperienze tra valori di 7÷8 MJ/kg, tali da permettere un utilizzo energetico senza dover ricorrere a combustibili ausiliari (Hogland et al., 1995) e di 11 MJ/kg (Obermeier e Saure, 1995). In altre esperienze (Cossu et al., 1995; Rettenberger, 1995) sono stati ottenuti valori prossimi ai 20 MJ/kg, e tali da far pensare alla realizzazione di appositi impianti per una vantaggiosa utilizzazione energetica.

In alcuni casi, si è preferito separare la plastica dalle altre componenti e sottoporla ad adeguato trattamento di lavaggio e inviarla successivamente a riciclaggio (Rettenberger, 1995). Una possibile alternativa al riciclaggio per queste frazioni sottoposte a trattamento di lavaggio è rappresentata dallo smaltimento in una nuova discarica, nell'ottica di sfruttare le potenzialità delle moderne discariche di svolgere il ruolo di deposito geologico di carbonio (carbon sink) con un efficace contributo alla riduzione delle emissioni di gas serra (Cossu e Piovesan, 2007).

Questo è di particolare interesse anche perché solo una frazione della plastica da landfill mining può essere effettivamente riciclata e il processo potrebbe non essere quindi sostenibile a causa dei costi e della elevata produzione di scarti che andrebbero comunque depositati in discarica se non avviati a trattamento termico con produzione netta di gas serra. L'idea di prevedere il deposito in discarica dopo il lavaggio della plastica recuperata con il landfill mining assume particolare interesse



Figura 6 - Escavazione dei rifiuti nel corso delle operazioni di landfill mining presso la discarica di Modena

anche alla luce di recenti studi in laboratorio (Cossu et al., 2010) sugli effetti del lavaggio sul miglioramento della qualità di specifiche tipologie di rifiuto (i.e. residui dalla raccolta differenziata della plastica, residui della frantumazione di autoveicoli): i test hanno permesso di quantificare la drastica riduzione delle emissioni attese dalle frazioni lavate dopo il conferimento in nuove discariche, che perdono quindi la connotazione di impianto di smaltimento e che dovrebbero essere ridefinite e quindi progettate e realizzate con modalità innovative e con funzione di deposito geologico per la riduzione delle emissioni di gas serra. La frazione fine dei materiali scavati con il landfill mining è solitamente caratterizzata da un maggiore contenuto di sostanza organica biodegradabile, la cui stabilità biologica dipende dalla storia del deposito e deve essere comunque valutata mediante appositi test prima dell'intervento. In alcune esperienze (tra le altre Hogland et al., 1995; Cossu et al., 1995), il contenuto di sostanze

contaminanti nella frazione fine non appare elevato (pur con alcuni parametri eccedenti i limiti di legge per il riutilizzo nella produzione di compost) e potrebbero essere studiate le modalità di riutilizzo anche al di fuori dei siti di discarica per creazione di argini o rilevati, riempimento di depressioni ecc.. L'uso finale che comunque ne è stato fatto nelle esperienze di landfill mining condotte, è stato soprattutto quello di materiale per la copertura di nuove discariche.

La frazione fine può anche essere convenientemente sottoposta a trattamenti idromeccanici in due fasi (Bilitewski et al., 1995): nella prima fase di lavaggio si separa il materiale inerte pesante, potenzialmente riciclabile, dalla frazione in sospensione e da una frazione galleggiante (legno e plastica). Quest'ultima può essere avviata a recupero energetico o a deposito in discarica, ancora nell'ottica del nuovo ruolo di Carbon Sink che è stato definito recentemente per le discariche (Cossu e Piovesan, 2007). Nella seconda fase il materiale in sospensione viene separato in una frazione sabbiosa, anch'essa potenzialmente riciclabile e in una frazione

fangosa, nella quale si trova concentrata la maggior parte della sostanza organica. I processi di lavaggio garantiscono il miglioramento della qualità delle frazioni separate potenzialmente riciclabili e la concentrazione dei contaminanti nella fase fangosa, che dopo disidratazione potrebbe eventualmente essere utilizzata come materiale di copertura in discarica.

In una recente esperienza condotta in Thailandia (Prechthai et al., 2008) è stato proposto di utilizzare la frazione fine (granulometria < 25 mm) come compost per coltivazioni a fini energetici, in quanto le caratteristiche chimico fisiche non ne consentirebbero l'utilizzazione per colture a scopi alimentari.

A seguito del notevole interesse che recentemente il landfill mining sta facendo registrare a livello internazionale sono attualmente in corso attività di ricerca volte alla messa a punto di un metodo per la selezione dei siti più favorevoli (tra le tante vecchie discariche a disposizione) dove effettuare un intervento di landfill mining (Van der Zee et al., 2004) e per la scelta della strategia ottimale per la gestione dei materiali scavati. A questo proposito le tecniche fornite dall'analisi del ciclo di vita sembrano essere particolarmente promettenti (Geysen et al., 2009). In ogni caso, ogni singola situazione deve essere studiata adeguatamente e occorre effettuare una analisi costi-benefici che tenga conto dei materiali effettivamente recuperabili e di tutti i costi connessi alle operazioni (Hogland et al., 2009).

Conclusioni

Il landfill mining è una tecnica di particolare interesse per l'intervento sulle vecchie discariche al fine di evitare la contaminazione degli acquiferi e recuperare volumi utili per i nuovi rifiuti o per nuove destinazioni d'uso del sito. Le applicazioni a livello internazionale sono in numero ancora limitato a causa della poca conoscenza delle potenzialità offerte, tuttavia si registra un

crescente interesse da parte degli operatori e delle amministrazioni e cresce anche il numero di studi e indagini preliminari in corso. Alcuni autori (i.a. Geysen et al., 2009) pensano che il landfill mining potrà essere in futuro addirittura considerato come parte di un sistema integrato di gestione dei rifiuti dove la discarica esiste come deposito temporaneo di materiali

che potrebbero essere in futuro scavati e trattati o utilizzati. Con questo approccio ad esempio i rifiuti non convenientemente riciclabili con le attuali tecnologie sono depositati in discarica con la prospettiva di essere reconsiderati per il riciclaggio in futuro. Questo permetterebbe quindi di poter posticipare la decisione di un eventuale recupero energetico di frazioni (pla-

stica) che comporterebbero emissioni nette di gas serra e che verrebbero invece destinate ai nuovi depositi geologici (carbon sink) come definiti da Cossu e Piovesan (2007), con la possibilità di un utilizzo futuro a seguito di landfill mining. ♻️

°DIPARTIMENTO **IMAGE**, UNIVERSITÀ DI PADOVA.

Riferimenti bibliografici

- Bilitewski B., Conrad H., Grischek H. (1995). *Transposition and reconstruction of old landfill sites in East Germany*. Atti del "Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium", 2-6 ottobre 1995, S. Margherita di Pula (Ca), III 807.
- Cossu R., Motzo G.M., Laudadio M. (1995). *Preliminary study for a landfill mining project in Sardinia*. Atti del "Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium", 2-6 ottobre 1995, S. Margherita di Pula (Ca), III 841.
- Cossu R., Hogland K.H.W., Salemi E. (1997). *Landfill mining in Europe and in the USA*. ISWA Directory book, 107-114
- Cossu R., Lavagnolo M.C., Raga R. (2000). *Indagini conoscitive per la bonifica delle vecchie discariche*. Atti Seminario Internazionale "La progettazione delle nuove discariche e la bonifica delle vecchie", Padova, 25 - 27 settembre 2000
- Cossu R. (2002). *La tecnica del landfill mining*. Seminario di aggiornamento "La bonifica delle vecchie discariche", Padova, 10 - 12 giugno 2002
- Cossu R., Raga R., Rossetti D. (2003). *Full Scale Application of in Situ Aerobic Stabilization of old Landfills*. In: Atti Sardinia 2003, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium. CISA Publisher, Italy
- Cossu R., Piovesan E. (2007). *Modern role of landfill as geological sink for carbon and other elements*. Atti Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium. CISA Publisher, Italy
- Cossu R., Lai T., Sartorello B. (2010). *Lavaggio dei rifiuti prima del deposito in discarica*. RS Rifiuti Solidi, Vol XXIV vol. 1, Gennaio - Febbraio 2010. CIPA Editore, Milano.
- Diaz L., Savage G. M. (2000). *Landfill mining and reclamation in solid waste management*. Atti Seminario Internazionale "La progettazione delle nuove discariche e la bonifica delle vecchie", Padova, 25-27 settembre 2000
- Geysen D., P.T. Jones, K. Van Acker, S. Van Passel, M. Craps, J. Eyckmans, K. Vrancken, B. Laenen, P. Laevers (2009). *Enhanced landfill mining – a future perspective for landfilling*. In: Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium; 5 - 9 October 2009. CISA Publisher, Italy
- Hogland K.H.W., Jagodzinski K., Meijer J.E. (1995). *Landfill mining tests in Sweden*. Atti del "Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium", 2-6 ottobre 1995, S. Margherita di Pula (Ca), III 783.
- Hogland W., Marques M., Nimmermark S. (2004). *Landfill mining and waste characterization: a strategy for remediation of contaminated areas*. Journal of material cycles and waste management (2004) 6: 119-124. Springer Verlag.
- Hogland M., Berg B., Hogland W., Marques M. (2009). *Planning of an economic constraints related to a landfill mining project in Norway*. In: Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium; 5 - 9 October 2009. CISA Publisher, Italy
- Kornberg J.F., Von Stein E.L., Savage G.M. (1993). *Landfill mining in the United States: an analysis of current projects*. Atti del "Sardinia 93, Fourth International Landfill Symposium", 11-15 ottobre 1995, S. Margherita di Pula (Ca), III 1555.
- Obermeier T., Saure T. (1995). *Landfill reconstruction, biological treatment of landfill waste*. Atti del "Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium", 2-6 ottobre 1995, S. Margherita di Pula (Ca), III 819.
- Prechthai T., M. Padmasri, C. Visvanathan (2008). *Quality assessment of mined MSW from an open dumpsite for recycling potential*. Resources, Conservation and Recycling 53 (2008), 70-78. Elsevier.
- Rettenberger G., Göschl R. (1994). *Ergebnisse und Betriebserfahrungen aus dem Demonstrationsprojekt "Deponierückbau Burghof"*. Deponierückbau Seminar, 8 November 1994, Stuttgart (D).
- Rettenberger G. (1995). *Results from a landfill mining demonstration project*. Atti del "Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium", 2-6 ottobre 1995, S. Margherita di Pula (Ca), III 827.
- Van der Zee D.J., Achterkamp M.C., de Visser B.J. (2004). *Assessing the market opportunities of landfill mining*. Waste Management 24 (2004). 795-804. Elsevier