

# **L'UTILIZZO DI MEZZI ALTERNATIVI AI RULLI A PIEDE DI PECORA PER LA COMPATTAZIONE DI BARRIERE MINERALI DI COPERTURA**

Micol Schepis

*Dipartimento DICEAM (Ingegneria Civile, dell'Energia, dell'Ambiente e dei Materiali) – Università degli Studi "Mediterranea" di Reggio Calabria*

[micol.schepis@unirc.it](mailto:micol.schepis@unirc.it)

Giampaolo Cortellazzo

*Dipartimento DICEA (Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale) – Università degli Studi di Padova*

[giampaolo.cortellazzo@unipd.it](mailto:giampaolo.cortellazzo@unipd.it)

M. Clorinda Mandaglio

*Dipartimento DICEAM (Ingegneria Civile, dell'Energia, dell'Ambiente e dei Materiali) – Università degli Studi "Mediterranea" di Reggio Calabria*

[linda.mandaglio@unirc.it](mailto:linda.mandaglio@unirc.it)

## **Sommario**

La progettazione di discariche è un problema interdisciplinare che richiede di considerare aspetti geotecnici, idraulici, chimici e normativi. In particolare, la costruzione della barriera minerale compattata del sistema di impermeabilizzazione di una copertura definitiva delle discariche pone notevoli problemi operativi. La maggiore difficoltà consiste nel controllo di tutti i parametri che influiscono sull'efficacia della compattazione del terreno impiegato come barriera minerale, essendo le condizioni di lavoro in sito spesso avverse soprattutto a causa del clima. In quest'ottica, assume un ruolo fondamentale la costruzione di un campo prova, quale area di sperimentazione in vera grandezza realizzata per testare materiali e metodi di costruzione e per poter definire degli standard operativi da fornire agli operatori di cantiere per la corretta compattazione del terreno, che nella maggior parte dei casi interessa superfici di notevole estensione. Nella memoria vengono mostrati i primi risultati ottenuti utilizzando come mezzo di compattazione di una barriera di copertura, costituita da terreno limo-argilloso, di una discarica per rifiuti non pericolosi/urbani un *Dumper*.

## **1. Campo di applicazione**

La realizzazione di una barriera minerale di copertura definitiva di una discarica per rifiuti non pericolosi/urbani, costituita da terreni limo-argillosi o argillosi compattati, soprattutto nel caso di grandi estensioni areali, pone notevoli problemi legati soprattutto alle seguenti considerazioni: i) il piano di posa dello strato da compattare è spesso caratterizzato da rigidezze assai modeste per la

presenza del sottostante corpo rifiuti; per questo motivo non è sempre agevole conseguire, su tutta la superficie della copertura, l'energia di compattazione Proctor Standard normalmente richiesta dai progettisti; ii) l'omogeneità, nel tempo e nello spazio, dei parametri che condizionano la compattazione (l'energia di compattazione e il contenuto d'acqua del terreno argilloso) è obiettivo non semplice da raggiungere. L'obiettivo dello studio è stato quello di verificare il rispetto delle prescrizioni di progetto in termini di grado di compattazione e permeabilità della barriera minerale di copertura alle energie di compattazione Proctor ridotta (Daniel & Benson, 1990; Benson & Trast, 1995) e Proctor standard (ASTM D 698). La prova Proctor ridotta corrisponde ad un livello di energia pari alla metà di quello conseguito con la prova Proctor standard. Il grado di compattazione è un parametro che permette di valutare l'efficacia della compattazione ed è definito come il rapporto tra la densità secca ottenuta in sito,  $\gamma_{d(situ)}$ , e la massima densità secca ottenuta in laboratorio,  $\gamma_{d(max)}$ , per una fissata energia di compattazione. Normalmente, i capitolati d'appalto richiedono di raggiungere con il costipamento un valore del grado di compattazione pari al 90 o 95 % della massima densità secca ottenuta in laboratorio. Particolare attenzione è stata anche posta alla verifica del raggiungimento delle prescrizioni progettuali corrispondenti all'energia Proctor ridotta, considerato che si tratta di una barriera minerale in copertura, che poggia su un substrato di base di scarsa portanza.

## **2. Campo prova**

La ricerca di seguito illustrata riguarda le problematiche inerenti la formazione della barriera minerale di copertura definitiva, in terreno limo-argilloso, di una discarica per rifiuti non pericolosi/urbani di notevole estensione areale, superiore ai 140000 m<sup>2</sup>. Il sito della discarica si trova nel comune di Grumolo delle Abbadesse, in provincia di Vicenza (Italia). Dopo aver individuato in dettaglio le caratteristiche geotecniche richieste allo strato di copertura, in primis il valore minimo della conducibilità idraulica in base a quanto richiesto dal D.Lgs 36/2003,  $k < 1 \cdot 10^{-8}$  m/s, è stato allestito un campo prova finalizzato a definire le corrette modalità di realizzazione di tale strato, valutando l'influenza della rigidità del piano di posa dello strato da compattare, del contenuto d'acqua del terreno e dell'energia di compattazione sulla compattazione (Harrop-Williams, 1985; Daniel & Benson, 1990; Benson & Trast, 1995; Osinubi & Nwaiwu, 2005). Nell'ambito di tale sperimentazione è stato considerato l'impiego di un *Dumper* come mezzo di compattazione, tenendo conto della possibilità di modificarne il peso agendo sul carico del cassone.

Il terreno da compattare da utilizzare come barriera minerale di copertura definitiva è un terreno limo argilloso la cui curva granulometrica è mostrata in figura 1, che secondo il sistema di classificazione USCS può essere classificato come un' argilla inorganica di media plasticità (CL). In tabella 1 sono riportate le proprietà indici del terreno indagato.

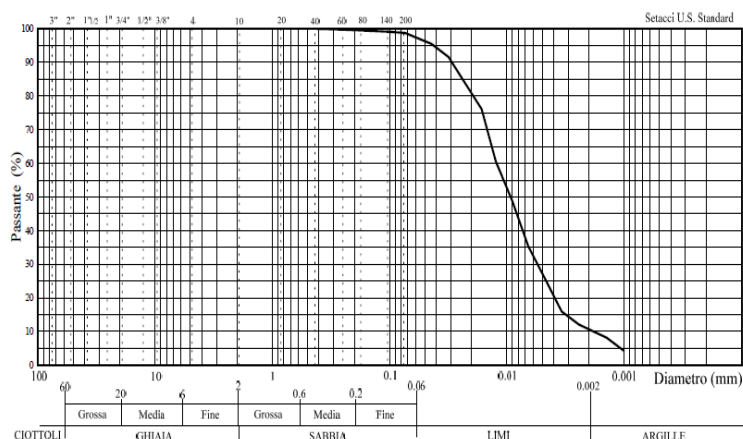


Fig 1. Curva granulometrica del terreno utilizzato come barriera minerale compattata

Tabella 1. Proprietà indici del terreno utilizzato come barriera minerale compattata

| $G_s$ | $W_L$ (%) | $W_P$ (%) | $I_P$ (%) |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 2,763 | 44        | 23        | 21        |

Su tale terreno sono state effettuate in laboratorio prove Proctor modificata, standard e ridotta i cui risultati sono mostrati in tabella 2 e figura 2. L'obiettivo è stato quello di verificare il rispetto delle prescrizioni di progetto in termini di grado di compattazione e permeabilità della barriera minerale di copertura alle energie di compattazione Proctor ridotta e Proctor standard. Il grado di compattazione è stato calcolato misurando la densità secca attraverso prove di densità in sito con volumometro a sabbia (ASTM D 1556) e la massima densità secca attraverso le prove di costipamento effettuate in laboratorio per una fissata energia di compattazione.

Tabella 2. Valori della densità massima e del contenuto d'acqua ottimale alle tre energie di compattazione indagate in laboratorio del terreno utilizzato come barriera minerale compattata

|                    | $\gamma_{d \max}$<br>[g/cm <sup>3</sup> ] | $W_{opt}$<br>[%] |
|--------------------|---|------------------|
| Proctor ridotta    | 1,57                                      | 23               |
| Proctor standard   | 1,63                                      | 21               |
| Proctor modificata | 1,80                                      | 16               |

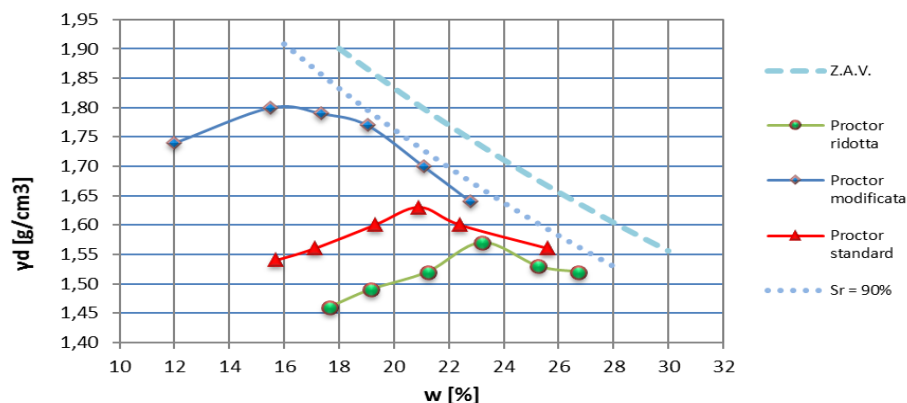


Fig 2. Curve di costipamento del terreno utilizzato come barriera minerale di copertura

A tal fine, è stata pianificata una campagna di prove in sito (di densità e permeabilità) per definire il comportamento del terreno, il quale era risultato preventivamente idoneo allo scopo, sulla base di dati acquisiti da prove di laboratorio precedentemente eseguite. Accertato il rispetto delle prescrizioni di progetto in termini di grado di compattazione, verificato con prove di densità in sito (ASTM D 1556), sono state eseguite prove di conducibilità idraulica con permeametro di tipo Guelph (ASTM D 5126) e con permeametro di tipo Boutwell (ASTM D 6391). I primi risultati ottenuti dalle prove eseguite con il permeametro di tipo Boutwell sono soddisfacenti in quanto è stato rispettato il vincolo normativo imposto sul coefficiente di conducibilità idraulica. Il permeametro di tipo Guelph è risultato uno strumento utile perché speditivo nell'assemblaggio e nell'utilizzo e che pertanto ha consentito di eseguire un elevato numero di determinazioni, con la possibilità di attestare la buona omogeneità della barriera minerale compattata definendo l'ordine di grandezza assunto dal coefficiente di conducibilità idraulica sulla superficie indagata. Tali prove sono tutt'ora in corso.

### 2.1 Il Dumper come mezzo di compattazione

Per i terreni di natura coesiva utilizzati nella costruzione di una barriera minerale compattata, il tipo di compattatore normalmente utilizzato è un rullo pesante a piede di pecora con elementi sporgenti di dimensioni tali da penetrare completamente nello strato, allo scopo di produrre una compattazione di tipo *kneading*. Nella scelta del tipo di mezzo compattatore, oltre alla natura del terreno da compattare, sono importanti la disponibilità e le esigenze specifiche di cantiere. Nella discarica in oggetto, si disponeva di un *Dumper*, macchina molto robusta e predisposta al trasporto di grandi quantità di materiale. Si tratta di un veicolo a 2 assi, con 6 ruote (le posteriori sono gemellate), idoneo a spostarsi su piste dissestate anche con notevoli pendenze. Il peso del mezzo è variabile e compreso tra 300 e 600 kN, in funzione della quantità di terra che viene caricata nel cassone posteriore (Figura 3).



*Fig 3. Macchina da cantiere: Dumper*

### **3. Primi risultati sperimentali**

Le prime prove di compattazione sono state, pertanto, condotte ricorrendo all'uso di un *Dumper*, con lo scopo di verificarne l'idoneità all'utilizzo nelle operazioni di compattazione in copertura. Come detto, queste ultime sono più complesse rispetto alle operazioni di compattazione sul fondo della discarica, essendo il substrato di base meno rigido. In particolare, è stato osservato un effetto 'rebound' al passaggio del mezzo, che ha complicato il raggiungimento del grado di compattazione richiesto, soprattutto se il contenuto d'acqua del terreno era superiore di circa il 4 % del valore optimum di laboratorio. Inoltre, in queste condizioni, le impronte lasciate dalle ruote del mezzo sono risultate alquanto profonde. Nel caso specifico, sono stati misurati abbassamenti nel terreno fino a 0,15 m, richiedendo successive operazioni di spianamento della superficie per consentire la posa degli strati sovrastanti. La variabilità del peso statico del *Dumper* influisce sul controllo dell'energia di compattazione trasferita al terreno, la cui definizione in sito è normalmente di complessa determinazione. Dai risultati ottenuti da prove di densità in sito eseguite con volumometro a sabbia (Figure 4) è emerso che, a parità di contenuto d'acqua del terreno e numero di passate sullo strato, l'energia di compattazione generata dal *Dumper* è funzione del carico agente sul cassone posteriore. Nella tabella 3 sono riassunti i risultati ottenuti in termini di grado di compattazione. Può essere notato come, aumentando il carico nel cassone posteriore del dumper, è stato possibile ottenere il rispetto del grado di compattazione corrispondente alle energie di compattazione Proctor ridotta e Proctor standard senza variare il numero di passate del mezzo sullo strato da compattare. Ciò potrebbe consentire l'ottimizzazione dei tempi di realizzazione della copertura, semplicemente aumentando il carico nel cassone del *Dumper*. Tale considerazione, tuttavia, non prescinde da possibili limitazioni dei carichi utilizzabili connesse alla presenza di sottostanti elementi suscettibili al danneggiamento, quali geocompositi.



*Fig 4. Volumometro a sabbia*

Tabella 3. Risultati ottenuti

|  | Numero di<br>passate<br>del<br>dumper | Peso del<br>dumper<br>[t] | $\gamma_d(\text{situ})$<br>[g/cm <sup>3</sup> ] | $\gamma_d(\text{max})$<br>[g/cm <sup>3</sup> ] | Grado di<br>compattazione<br>[%] | Rispetto delle<br>prescrizioni<br>progettuali |
|--|---------------------------------------|---------------------------|---|--|----------------------------------|---|
| <b>Energia Proctor<br/>ridotta</b><br>(3,02 Kg*cm/cm <sup>3</sup> )  | 4                                     | 40                        | 1,55  | 1,57   | 98,7 %                           | Verificato                                    |
| <b>Energia Proctor<br/>standard</b><br>(6,05 Kg*cm/cm <sup>3</sup> ) | 4                                     | 45                        | 1,55  | 1,63   | 95,1 %                           | Verificato                                    |

#### 4. Conclusioni

Dai primi risultati ottenuti, l'impiego del *Dumper* si è dimostrato idoneo a fornire adeguata energia di compattazione, con la possibilità di ottenere il rispetto del grado di compattazione richiesto corrispondente alle energie Proctor ridotta e Proctor standard, apprezzandone la flessibilità nell'impiego data la possibilità di modificarne il peso agendo sul carico del cassone posteriore. I primi risultati ottenuti da prove di permeabilità in sito attestano un buon comportamento idraulico della barriera, così realizzata, obiettivo principale da conseguire per poter affermare il buon esito delle operazioni di compattazione. Inoltre, il *Dumper* è risultato un mezzo più "familiare" e maneggevole per gli operatori che hanno mostrato una rapida acquisizione del know how operativo, attestato dalla buona omogeneità spaziale delle caratteristiche della barriera minerale compattata.

#### Bibliografia

- ASTM D 698. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort
- ASTM D 1556. Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone Method
- ASTM D 5126. Standard Guide for Comparison of Field Methods for Determining Hydraulic Conductivity in Vadose Zone
- ASTM D 6391. Standard Test Method for Field Measurement of Hydraulic Conductivity Limits of Porous Materials Using Two Stages of Infiltration from a Borehole
- Benson C.H., Trast J. M. (1995). "Hydraulic conductivity of thirteen compacted clays". *Clays and Clay Minerals*, Vol. 43, No. 6, 669-681, 1995.
- Daniel D.E., Benson C.H.(1990). "Water content-density criteria for compacted soil liners". *J. Geotech. Engrg.* 1990.116:1811-1830.
- Decreto legislativo 13 gennaio 2003, n.36. Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti
- Harrop-Williams K. (1985). "Clay liner permeability: evaluation and variation". *J. Geotech. Engrg.* 1985.111:1211-1225.
- Osinubi K.'J., Nwaiwu C.M.O. (2005). "Hydraulic Conductivity of Compacted Lateritic Soil". *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 2005.131:1034-1041.