

10 | Ottobre 96

QUARRY and CONSTRUCTION

«il frantoio» cave e costruzioni movimento terra strade cantieri prefabbricati

**La politica
delle
infrastrutture**

**Demolizione
& Riciclaggio**

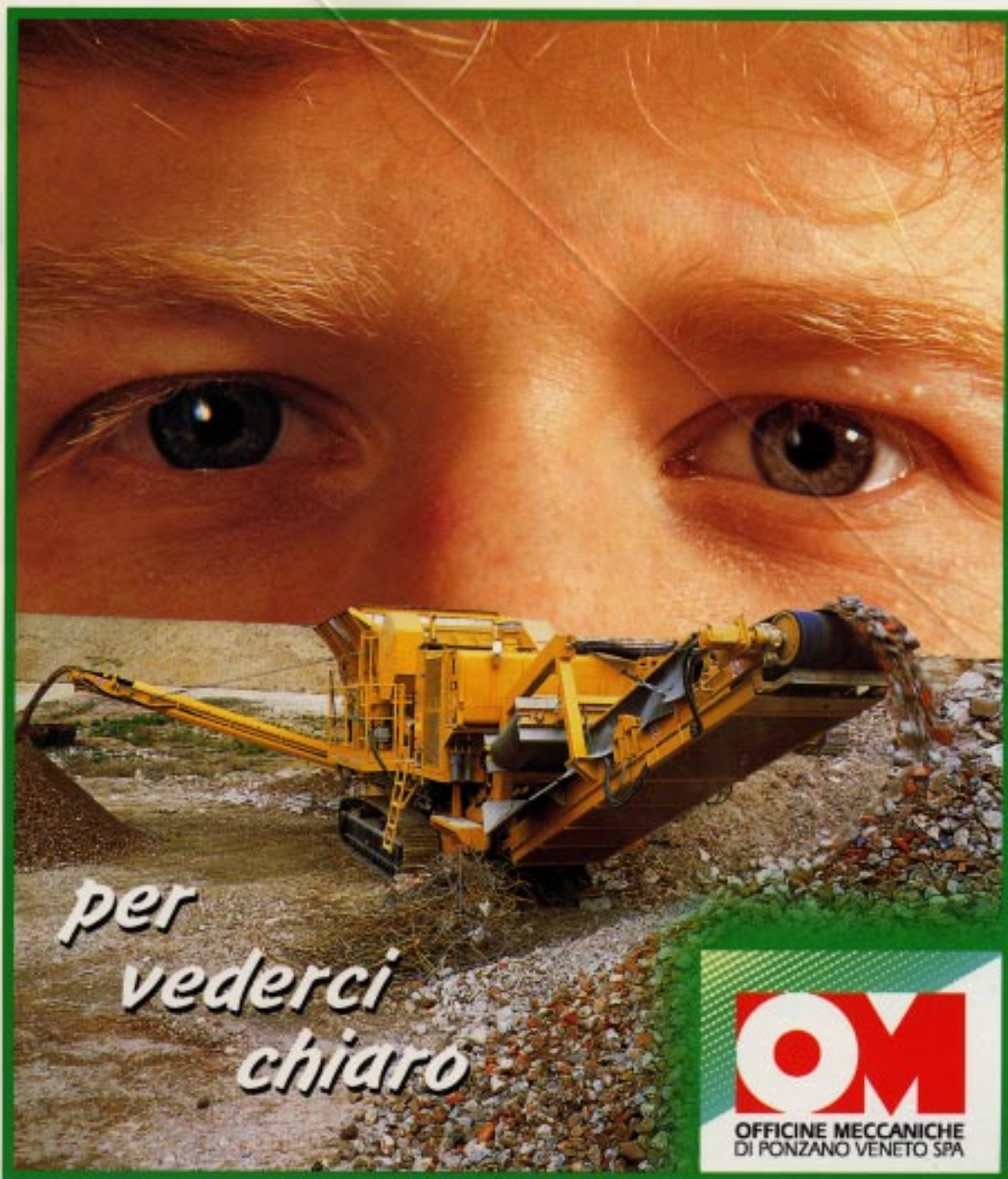
**Astra: 50 anni
di veicoli**

**Qualità &
Certificazione**

Diga di Bovilla

**Lavori pubblici
& Diritto**

**Sistema
di copertura di
una discarica
di R.S.U.**



*per
vederci
chiaro*



edizioni **PCI** parma

in caso di mancato consegna, inviare a
UFFICIO BOLOGNA CMP
per la restituzione al mittente
che si impegna a pagare la dovuto tassa

IL SISTEMA DI COPERTURA DELLA DISCARICA DI CERRO MAGGIORE

Emiliano Balzaretto - SIMEC SPA

Antonello Calare, Piergiorgio Recalcati, Angelo Ricciuti, Pietro Rimoldi

TENAX SPA - Divisione Geosintetici

La progettazione e la realizzazione di un sistema di copertura definitivo per una discarica di R.S.U. (capping) rappresenta uno dei problemi ingegneristici più interessanti e stimolanti. La scelta del sistema di copertura superficiale infatti deve essere fatta tenendo conto delle necessità ambientali della zona. L'uso di moderne tecnologie aiuta il Progettista ad ottenere il miglior risultato possibile dopo la copertura, quando il "sistema discarica" ha esaurito la propria utilità sociale e rappresenta solamente un problema per l'ambiente circostante. La copertura superficiale non deve essere considerata come un "coperchio" con la sola funzione di occultare i rifiuti e ridurre la produzione di percolato e le fuoriuscite di biogas, ma come un'opera di Ingegneria Ambientale, capace di ridurre il fortissimo impatto provocato da una discarica.

La discarica di Cerro Maggiore, gestita dalla società SIMEC SPA di Milano, ha rappresentato negli ultimi anni una delle maggiori fonti per lo stoccaggio dei rifiuti solidi urbani dell'area di Milano. L'interruzione del riempimento della discarica ha generato il problema di impermeabilizzare le pareti dei lotti già realizzati con pendenze elevate.

La sagoma della discarica era costituita da un pendio suddiviso in tre tratti, per una altezza complessiva di circa 30.00 m, con inclinazioni comprese tra 20 e 37°, separati da berme orizzontali di larghezza variabile tra i 2.50 e i 5.00 m.

La copertura provvisoria era

costituita da uno strato di circa 1.00 m di tout-venant compattato e successivamente ricoperto da un telo in LDPE. Le prime soluzioni per la copertura definitiva prevedevano il mantenimento del solo telo in LDPE o l'aggiunta ad esso di una membrana in HDPE; tali soluzioni non sono risultate praticabili, per motivi di sicurezza la prima, per ragioni logistiche ed operative la seconda.

Anche la scelta di sostituire la membrana in LDPE con un telo di maggiore resistenza in HDPE è stata scartata per ragioni operative. Ci si è pertanto orientati verso l'impiego di un geocomposito bentonitico, in grado di assicurare comunque una impermeabilizzazione

assimilabile a quella di 1.00 m di argilla.

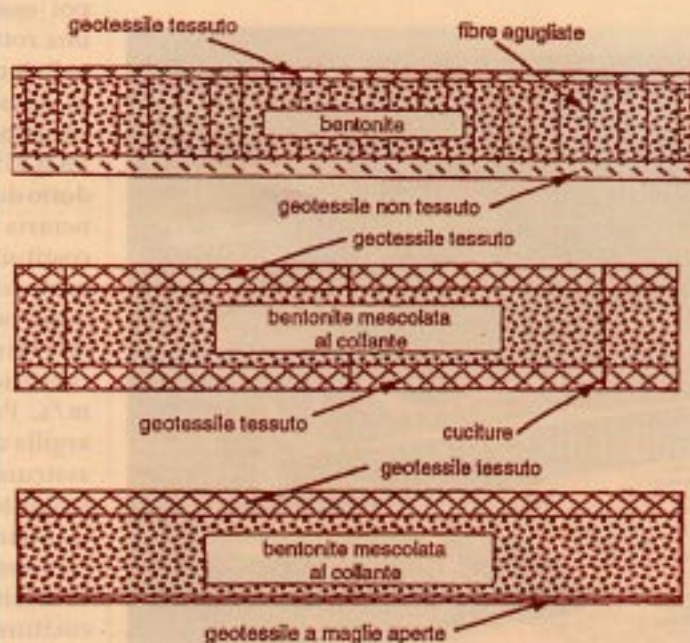
Il geocomposito bentonitico (Geocomposite Clay Liner, o Gcl nella terminologia anglosassone) è costituito dall'accoppiamento di due geotessili con interposto uno strato di un particolare tipo di argilla naturale con un elevato contenuto di montmorillonite, detta bentonite sodica.

La scelta di utilizzare questo particolare geosintetico come unico sistema di impermeabilizzazione della copertura di una discarica di R.S.U. presenta alcuni aspetti che devono essere presi in debita considerazione. Il geocomposito bentonitico innanzi tutto garantisce una certa capacità di auto-sigillatura in caso

di piccole rotture del manto, e non presenta particolari problemi di adattamento a cicli termici (al contrario di uno strato di argilla). Inoltre la posa è molto semplice, paragonabile a quella di una membrana in HDPE.

Poiché per garantire l'impermeabilità del telo è però necessario che lo stesso sia idratato, tale condizione deve essere raggiunta immediatamente dopo la posa del composito e deve essere mantenuta nel tempo; in caso contrario, il composito non risulta più essere impermeabile al biogas (Jesionek e al., 1995). I prodotti attualmente in commercio sono caratterizzati da agugliature tra i due geotessili, da cuciture continue o da semplice

Figura 1 - Tipologie di Geocompositi Bentonitici



"incollaggio" (Fig. 1).

Evidentemente, i primi due tipi di materiali sono caratterizzati da una maggiore resistenza a taglio "interna", che garantisce dal rischio di delaminazione del materiale stesso.

Come detto, il composito bentonitico idratato possiede una permeabilità molto bassa, e non presenta problemi di sormonti per le caratteristiche di autosigillatura della bentonite.

Il potere autosigillante è reale per fori di piccola entità, ma non per tagli di grosse dimensioni. Si è pertanto reso necessario assicurare al telo stesso una efficace protezione meccanica dal tout-venant attualmente posto al di sopra dei rifiuti e che verrà impiegato sulle berme. Inoltre, per poter essere idratato, il telo bentonitico deve essere sovraccaricato con un minimo spessore di terreno.

Lo strato protettivo inferiore è realizzato con un geocomposito drenante, che svolge soprattutto la funzione di captazione del biogas, e deve quindi essere costituito da un materiale chimicamente inerte, in quanto risulta essere a contatto con i rifiuti. Il geocomposito drenante è costituito dall'accoppiamento di una rete drenante con geotessili; il geotessile posto a contatto con il terreno assolve la funzione di filtro, evitando l'intasamento della rete ed assicurando la capacità drenante nel tempo; l'altro geotessile previene l'intasamento della rete da parte della bentonite che durante il processo

di idratazione essuda in parte dai due geotessili del GCL.

La scelta di prodotti in HDPE (polimero inerte per eccellenza) è, in questo caso, pressoché obbligatoria. La presenza di questo geocomposito impedisce la formazione di sacche di biogas, in quanto ne facilita il deflusso verso le pompe di aspirazione.

Al di sopra del GCL si è poi dovuto posizionare un geocomposito con funzione drenante; infatti l'acqua meteorica di infiltrazione, scorrendo sulla membrana, riduce drasticamente il coefficiente di attrito terreno-membrana, provocando inoltre delle sottopressioni che quasi certamente finirebbero con il fare scivolare il terreno di copertura.

Le caratteristiche geometriche della copertura rendono poi necessaria la presenza di uno strato di rinforzo all'interno del terreno di coltivo superficiale. Il geosintetico di rinforzo deve garantire una notevole resistenza a lungo termine, nonché una elevata capacità di interazione con il terreno di copertura.

Sulla base di queste considerazioni, la soluzione proposta (dal basso verso l'alto) per il sistema di copertura è stata la seguente:

- geocomposito drenante
- geocomposito bentonitico
- geocomposito drenante
- geosintetico di rinforzo
- 0.20 m di terreno di coltivo

Sceita del geocomposito bentonitico

Come detto, esistono in commercio differenti tipologie di geocompositi bentonitici. La necessità di posizionare il composito su pendii con una pendenza veramente notevole per questo tipo di opere suggerisce l'impiego di materiali "trapuntati", cioè materiali costituiti da due geotessili cuciti meccanicamente in modo da assicurare una elevata resistenza a taglio interna (cioè tali da garantire che, comunque, non si avranno delle rotture all'interno del composito). Il problema di stabilità della copertura di una discarica non è però provocato solamente da possibili rotture interne nei materiali, quanto soprattutto da possibili scivolamenti all'interfaccia tra materiali di differente costituzione.

La situazione tipica della copertura di una discarica presenta almeno tre interfacce "critiche"; il contatto tra il GCL e lo strato drenante sottostante, il contatto tra il GCL e lo strato drenante sovrastante ed infine il contatto tra lo strato drenante ed il terreno di coltivo finale.

I risultati presentati da Bressi e al. (1995) indicano come il contatto tra un composito bentonitico ed un geocomposito drenante possa garantire una resistenza a taglio compresa tra i 9.59° ed i 16.38°. Il materiale scelto deve poi possedere una bassa permeabilità ed una discreta resistenza a trazione. Le cuciture non devono poi essere continue, per evitare che una rottura accidentale possa "a catena" riprodursi su tutto il telo. Alla luce di queste considerazioni, è stato impiegato il geocomposito bentonitico MODULO GEOBENT HI-TECH, prodotto dalla società Laviosa Chimica Mineraria di Livorno. Questo materiale è costituito dall'accoppiamento di due geotessili di peso 150 g/m², con interposta bentonite sodica naturale (5 kg/m² minimo): esso garantisce un coefficiente di permeabilità $k=1 \times 10^{-11}$ m/s. Poiché in media uno strato di argilla di spessore 1.00 m è in grado di assicurare una permeabilità di 10⁻⁸ m/s, questo GCL risulta essere pienamente idoneo allo scopo. I due tessuti sono connessi mediante cuciture a "losanga" costituite da ponti in polipropilene. Tali cuciture sono indipendenti l'una dall'altra. Prove di taglio diretto effettua-



te alla pressione di 55 kPa hanno fornito un valore del coefficiente di attrito interno pari ad oltre 36°. La resistenza a trazione del telo è infine pari a 18 kN/m.

Scelta del geocomposito drenante

Il geocomposito drenante deve essere scelto in modo tale da garantire lo smaltimento del quantitativo d'acqua piovana che è ragionevole pensare si possa infiltrare all'interno del terreno di coltivo. L'intensità della pioggia deve essere determinata con tempo di ritorno di 10 anni; nota l'intensità della precipitazione, è poi possibile valutare la percentuale di acqua che effettivamente raggiungerà il geocomposito drenante (considerando le perdite per evapo-traspirazione, ruscellamento superficiale ed assorbimento del suolo). Da indagini sperimentali condotte su differenti discariche di R.S.U. chiuse, la percentuale infiltrata risulta essere compresa tra 0.20 e 0.35. Il geocomposito deve quindi assicurare lo smaltimento del quantitativo d'acqua infiltrato. Tra tutte le sezioni presenti nel progetto, la verifica è stata effettuata per il tratto con pendenza minore (19°) e lunghezza maggiore (21 m), che costituisce evidentemente la situazione peggiore. Il quantitativo d'acqua infiltrato è stato determinato a partire dai valori dei coefficienti statistici per l'area di Milano e per una durata della precipitazione di 0.70 ore (pioggia molto intensa ma breve). Considerando le pendenze, il carico e lo sviluppo del pendio, si è potuto stabilire come alla base del pendio il geocomposito debba smaltire una portata pari a:

$$Q = 1.07 \text{ E-}04 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m}$$

Tabella 1 - Caratteristiche della geostuoia TENAX MULTIMAT 110 R

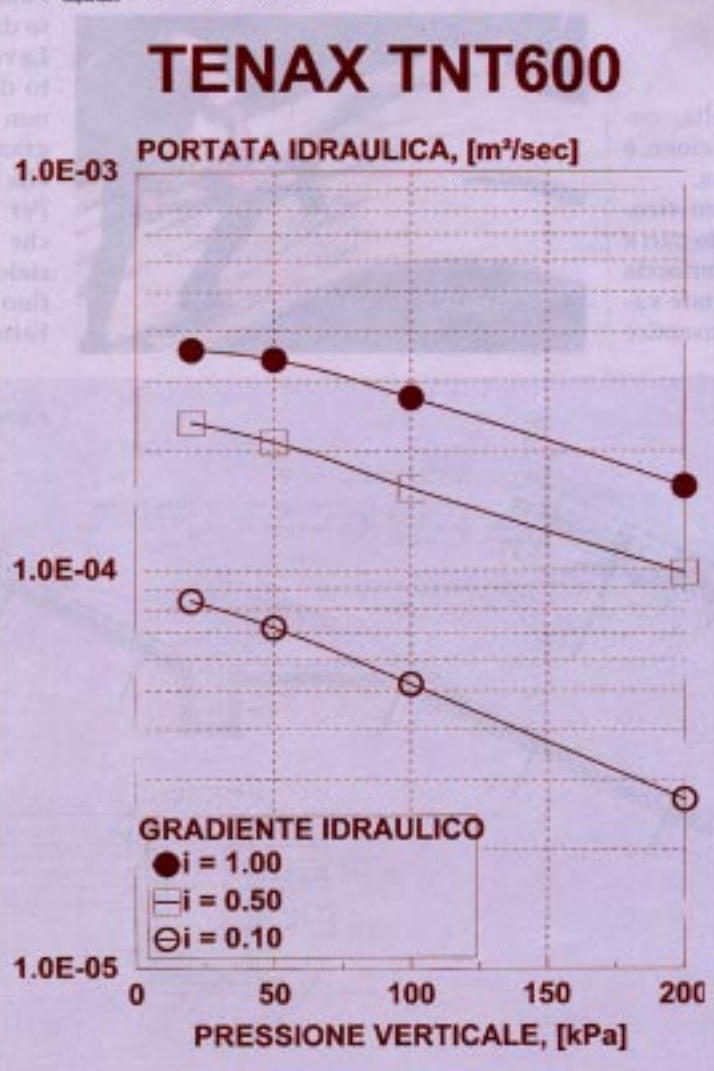
Caratteristica	Valore
Massa areica	675 g/m ²
Spessore a 2 kPa	17 mm
Resistenza a trazione (dir. long.)	110 kN/m
Deformazione al carico massimo (dir. long.)	10 %
Resistenza a trazione (dir. trasv.)	30 kN/m
Deformazione al carico massimo (dir. trasv.)	8 %

In base al sovraccarico applicato (circa 3 kPa) è stato scelto un geocomposito drenante tipo TENAX TNT 600, caratterizzato da una portata idraulica maggiore di quanto richiesto (Fig. 2). Per ragioni di praticità lo stesso materiale è stato impiegato anche al di sotto del GCL.

Figura 2 - diagramma di trasmissività per il geocomposito TNT 600.

$$Q_{\text{richiesta}} = 1.07 \text{ E-}04 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m};$$

$$Q_{\text{disponibile}} = 2.20 \text{ E-}04 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m}.$$



Scelta del Geosintetico di Rinforzo

La particolarità del progetto (con pendii acclivi e scarse possibilità di ancoraggio) ha suggerito l'impiego di una geostuoia rinforzata TENAX MULTIMAT 110 R costituita dall'accoppiamento meccanico di una geogriglia ad elevata resistenza e di una geostuoia anti-erosiva. Tale prodotto assicura una ottimale ripartizione dello stato di sollecitazione, garantendo nello stesso tempo dal pericolo di fenomeni di erosione superficiale. Le caratteristiche meccaniche del materiale impiegato sono indicate in Tab.1.

Verifica di stabilità

Il sistema di copertura risulta soggetto ad un sistema di forze che, se non sono in equilibrio statico, possono provocare lo scivolamento della copertura stessa (Fig. 3).

Le forze agenti, cioè quelle forze che provocano l'instabilità del sistema, dirette lungo la tangente alla superficie e con il verso rivolto verso il basso, sono in questo caso costituite dalla componente lungo il pendio del peso W del blocco stesso, che è dato da:

$$W = t \cdot L \cdot \gamma$$

La proiezione di tale forza lungo il piano di scivolamento, indicata con F_s , vale:

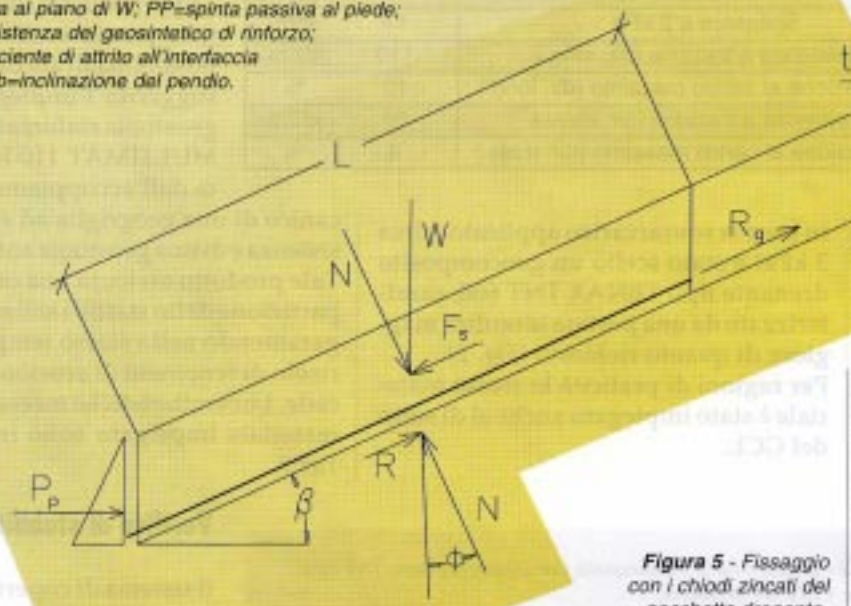
$$F_s = W \cdot \cos \beta$$

Le forze resistenti sono: la resistenza per attrito all'interfaccia geocomposito-sottofondo R ; la spinta passiva al piede; la resistenza del rinforzo R_g .

La spinta passiva al piede è stata trascurata: non è possibile infatti garantire uno stato di addensamento pari a quello di un terreno equi-

Figura 3 - Verifica di stabilità:

L =lunghezza del pendio; t =spessore del terreno; W =peso del terreno;
 N = componente normale al piano di W ; F_s =componente parallela al piano di W ; PP =spinta passiva al piede;
 R_g =resistenza del geosintetico di rinforzo;
 f =coefficiente di attrito all'interfaccia critica; b =inclinazione del pendio.



valente non rimaneggiato; tale scelta, comune in questo tipo di progettazione, è comunque a favore di sicurezza.

Come detto, l'interfaccia geosintetico-GCL presenta dei valori di attrito pari a circa 10°. Evidentemente tale interfaccia risultava essere quella critica; tale valore era troppo basso per consentire l'ancoraggio del pacchetto lungo la berma senza l'ausilio di una profonda trincea.

Ipotizzando di poter "solidarizzare" il GCL con i due geocompositi, l'interfaccia terreno di coltivo-geotessile superiore diventava quella a coefficiente di attrito minore (pari, al massimo, all'angolo di attrito interno del terreno).

Per ottenere tale "solidarizzazione", lungo il pendio il pacchetto impermeabilizzante-drenante è stato pertanto fissato al materiale granulare sottostante mediante impiego di opportuni "chiodi" a testa larga, passanti attraverso i due

geocompositi ed il GCL e conficcati per almeno 450 mm (Fig. 5) nel terreno sottostante. Le caratteristiche autosigillanti del GCL garantiscono comunque l'impermeabilità del manto; infatti, grazie alla proprietà della bentonite, nello stesso momento in cui avviene la foratura la bentonite fuoriuscita sigilla il foro stesso. I fissaggi precedentemente descritti sono stati posizionati ogni 2.00 m, a "quinconce" (cioè come la faccia numero 5 del dado).

Il coefficiente di attrito lungo il pendio è stato ridotto di circa 1/3 per tenere conto della minore pressione esercitata dal coltivo.

Lungo le berme, invece, è stato possibile scavare una trincea d'ancoraggio (0.50 x 0.50 m) e riportare, ben compattato, uno spessore di 1.00 di materiale granulare (tout-venant), in grado con il proprio peso di assicurare l'ancoraggio al GCL ed al pacchetto drenante-rinforzante.

La verifica effettuata ha tenuto conto del fatto che, lungo le berme, non è possibile riportare terreno granulare per un quantitativo pari alla larghezza della berma stessa. Per sicurezza, si è fatta l'ipotesi che sia possibile riportare materiale per uno spessore di 1.00 m fino ad 1.00 m dal ciglio (Fig. 4). Fatte queste premesse, è possibile

Figura 5 - Fissaggio con i chiodi zincati del pacchetto drenante-impermeabilizzante



Figura 4 - Sezione tipica dell'intervento

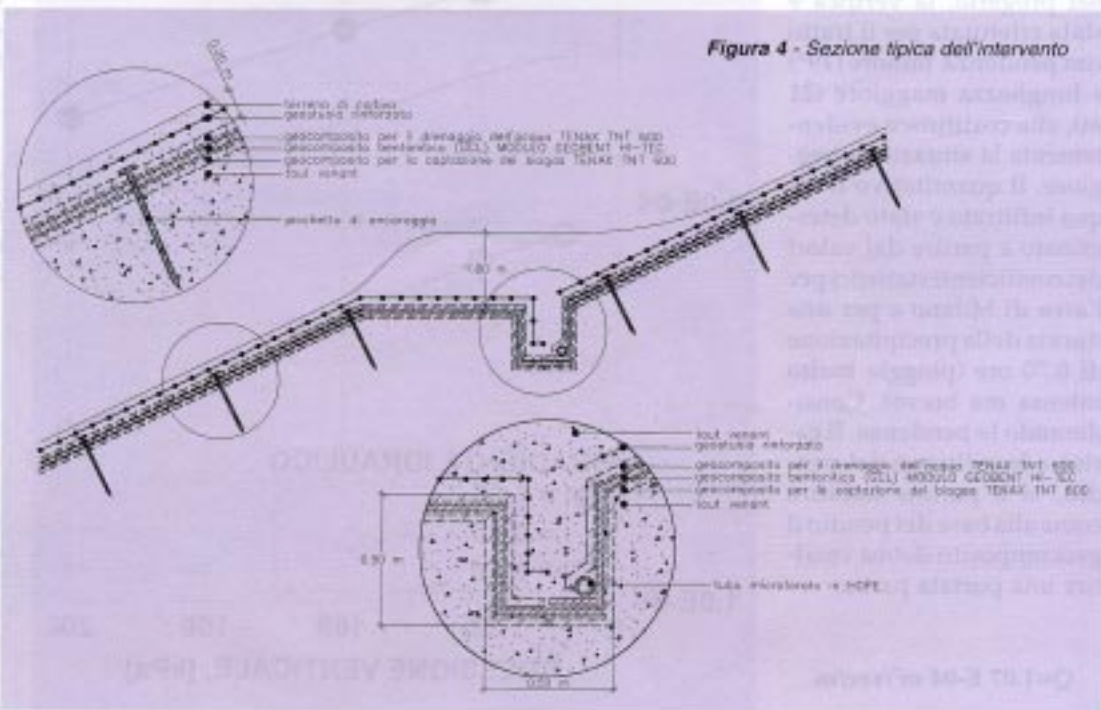




Figura 6 - Posa della geostuoia rinforzata.



Figura 7 - Stesa del terreno di coltivo.

calcolare quale sia la resistenza del rinforzo necessaria per ottenere il prefissato Fattore di Sicurezza FS:

$$FS = \frac{F_{resistente}}{F_{agente}} = \frac{R + R_g}{F_r}$$

$$R_g = FS \cdot F_r - R$$

La tensione ammissibile nel rinforzo è stata assunta pari a quella corrispondente ad una deformazione massima del 2%, ottenuta dal diagramma forza di trazione-allungamento del geosintetico di rinforzo. Dalle verifiche si è determinata quale fosse la resistenza del rinforzo necessario per assicurare la stabilità alla copertura. La verifica dell'ancoraggio, come detto, è stata effettuato confrontando l'azione realmente trasmessa dal geosintetico di rinforzo (non affetta da Fattori di Sicurezza) con l'azione trasmessa dall'ancoraggio stesso. Il rapporto fornisce un fattore di sicurezza "netto" dell'ancoraggio.

Posa in opera

Facendo riferimento alla figura 4, dopo aver realizzato la trincea di dimensioni 0,50 x 0,50

m, è stato steso il geocomposito per la captazione del biogas (opportunamente connesso con la rete di aspirazione), il geocomposito bentonitico ed il sovrastante geocomposito drenante. Lungo il pendio il pacchetto è stato fissato al terreno sottostante per mezzo di chiodi posizionati a "quinconce" ogni 2,00 metri.

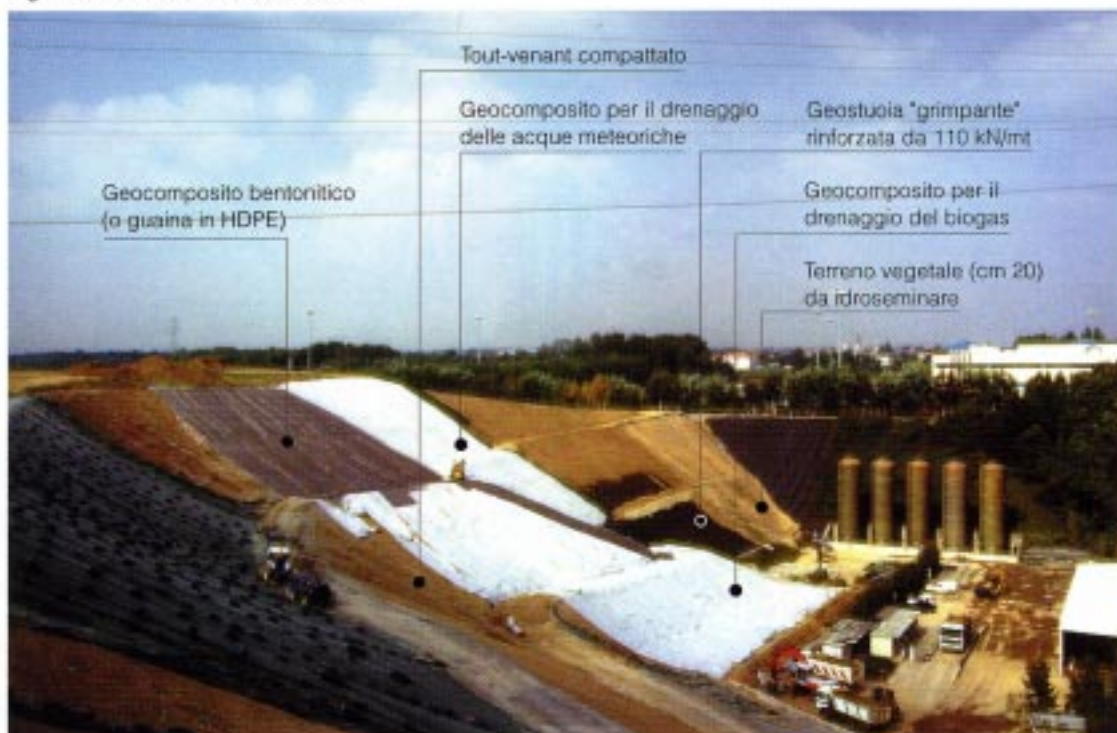
La sovrapposizione dei teli bentonitici nella trincea è stata realizzata "a tegola". Il composito drenante sovrastante, all'interno della trincea, è stato avvolto attorno ad un tubo microforato in HDPE per lo smaltimento dell'acqua di infiltrazione trasportata dal

geocomposito stesso.

Nella trincea è stata poi posizionata l'estremità della geostuoia rinforzata. La trincea è stata riempita di materiale granulare; lo stesso materiale è stato poi riportato lungo la berma per uno spessore di 1,00 m ed opportunamente compattato con vibro-rullatura; il terreno di coltivo, invece, è stato steso dall'alto per uno spessore medio di 0,20 m e successivamente compattato mediante rullatura.

Il terreno è stato protetto con una biostuoia in paglia e cocco per proteggerlo dall'erosione prima dell'esecuzione dell'idrosemina.

Figura 8 - L'area interessata dai lavori



Le foto (Fig. 5, 6, 7 e 8) evidenziano le fasi della posa in opera.

Conclusioni

L'esempio ora illustrato ha evidenziato come:

1) sia possibile impiegare i geocompositi bentonitici come strato impermeabilizzante di coperture superficiali (con alcune precauzioni operative). Per garantire una sufficiente stabilità alla copertura, è importante inserire opportuni geosintetici di rinforzo (tipicamente, geogriglie o geostuoie).

2) l'uso di geocompositi (sia per la captazione del biogas che per il drenaggio dell'acqua di ruscellamento) consente la realizzazione di coperture molto ripide, altrimenti impossibili impiegando materiali "naturali" (ghiaia o sabbia).

3) l'ancoraggio rappresenta uno dei

punti "critici" della copertura, e deve essere dimensionato con particolare attenzione.

4) la conoscenza del reale valore del coefficiente di attrito alle varie interfacce del pacchetto di copertura assume una importanza estrema nel calcolo. Se non è possibile ottenere dei valori che siano confortati da prove di laboratorio, è possibile prendere in considerazione l'ipotesi di utilizzare un coefficiente nullo.

Bibliografia

• Bressi, G.; Zinesi, M.; Montanelli, F.; Rimoldi, P. (1995) "The slope stability of GCL layers in geosynthetic lining system". Sardinia '95 Fifth International Landfill Symposium Sardinia 95, Cagliari, Italia.

• Calare, A., Recalcati, P., Ricciuti, A., Rimoldi, P. "Landfill capping techniques:

the state of the art in Italy", Geotechnical Fabric Report, Agosto 1996, IFAI, St. Paul, Minnesota, USA.

• Cancelli, A.; Rimoldi, P. (1989) "Design criteria for geosynthetic drainage system in waste disposal". Sardinia '89 2nd International Landfill Symposium, Porto Conte, Sassari, Italy.

• Jesionek, K.S.; Dunn, R.J.; Daniel, E. (1995) "Evaluation of landfill final covers". Proceedings Fifth International Landfill Symposium Sardinia 95, Cagliari, Italia.

• Koerner, R.M. (1996) "Geosynthetic clay liners, part one: an overview". Geotechnical Fabric Report, Maggio 1996 IFAI, St. Paul, Minnesota, USA.

• Montanelli, F.; Rimoldi, P. (1995) "Long term performance of GCL and drainage composite systems". Sardinia '95 Fifth International Landfill Symposium, Cagliari, Italia. ■