

INDICE

1. DOCUMENTI CONSULTATI.....	1
2. PREMESSA.....	2
3. PROPOSTE DI STABILIZZAZIONE RELATIVE AI LOTTI III E IV	5
4. PROPOSTE DI STABILIZZAZIONE RELATIVE AL LOTTO II.....	5
5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	6
6. BIBLIOGRAFIA.....	7

Oggetto: IMPIANTO DI DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI ex Legge n. 87 del 05.07.2007 in località "LA NOCECCHIA" in Comune di SANT'ARCANGELO TRIMONTE (BN).

OPERE DI MESSA IN SICUREZZA DEL SITO DELLA DISCARICA

RELAZIONE GENERALE INTERVENTO PROGETTUALE

1. DOCUMENTI CONSULTATI

Le informazioni riportate nella presente relazione derivano da documenti forniti dall'impresa Daneco Impianti S.r.l.. Tra questi, nel seguito si citano gli elaborati di maggiore importanza cui si farà riferimento nel corso della presente relazione:

Progetto Definitivo "Opere di messa in sicurezza del sito della Discarica" (DANECO IMPIANTI SRL – ing. B. Filipponi 11/06/2010);

Studio idrogeologico sul sito della Discarica per rifiuti non pericolosi in Località Nocecchia, Comune di sant'Arcangelo Trimonte (BN) (Studio Tecnico Associato Bortolami e Di Molfetta- rif. IP.3 Relazione idrogeologica);

Relazione geologica e caratterizzazione geotecnica dott. Giovanni REA (15/11/2010 rif. IP.5 Relazione geologica);

Relazione geotecnica prof. Ing. Mario Manassero (30/10/2009 rif. IP.6 Relazione geotecnica)

Relazione geotecnica prof. Ing. Mario Manassero (16/01/2009 rif 0045-004R01E01-MAR7TER7BUF)

Documentazione tecnica e amministrativa dei progettisti incaricati, ex sazione appaltante, DL e commissione di collaudo prodotta durante la realizzazione della discarica.

Proposte progettuali SGI

Si segnala infine che l'impresa Daneco Impianti S.r.l. ha fornito agli scriventi le misurazioni topografiche effettuate in corrispondenza delle travi di coronamento collocate sulla berma ed al piede dell'argine di valle del Lotto IV, nonché le misurazioni inclinometriche eseguite.

2. PREMESSA

Il presente documento descrive il progetto finale di stabilizzazione della discarica per rifiuti non pericolosi sita in Località Nocecchia nel Comune di Sant'Arcangelo Trimonte, ai sensi delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. Infrastrutture 14 Gennaio 2008.

Il Progetto Definitivo dell'opera in esame (04/03/2008, Ad Acta Projects – Ing. Pagotto, Studio Geotecnico Italiano – Ing. Veggi) ha previsto la realizzazione di n. 2 vasche distinte denominate "Vasca Est" e "Vasca Ovest" suddivise in n. 4 Lotti, per una capacità complessiva di 800'000 m³ di rifiuti non pericolosi al lordo delle coperture provvisorie e degli arginelli di coltivazione di fondo.

Nei mesi immediatamente successivi all'avvio del cantiere è stato predisposto il Lotto I e sono stati realizzati gli scavi per la predisposizione del Lotto IV.

Nel corso del mese di Agosto 2008 si è verificato un dissesto in corrispondenza dell'argine di monte del Lotto IV. Il dissesto risultava di tipo gravitativo (i.e.: movimento franoso) con cinatismi prevalenti di tipo roto-traslativo e/o di scorrimento. Il quadro fessurativo superficiale formatosi a seguito dei suddetti movimenti ha interessato inizialmente il paramento di valle dell'argine di monte (11 Agosto 2008) e, nei giorni successivi, si è esteso al coronamento e al paramento di monte (rilievi del 18, 20 e 22 Agosto 2008). Tra il 18 e il 22 Agosto sono risultate evidenti ulteriori fratture al piede della scarpata di monte, ad una distanza pari a circa 5÷12 m dall'intersezione della scarpata con il fondo della vasca, a testimonianza di un fenomeno di rifluimento che ha consentito di individuare il volume di terreno coinvolto nell'ambito del cinematismo di rottura. Sempre nel corso del mese di Agosto 2008 si sono verificate ulteriori lesioni, che hanno riguardato l'argine di valle del Lotto IV a partire dal paramento di valle e che si sono estese nei giorni successivi al coronamento e al paramento di monte del medesimo argine.

A seguito del verificarsi dei fenomeni sopra descritti, i progettisti dell'opera in esame hanno elaborato specifiche Back-Analysis volte ad interpretare il fenomeno avvenuto e ad integrare il Progetto Definitivo originario (04/03/2008, Ad Acta Projects – Ing. Pagotto, Studio Geotecnico Italiano – Ing. Veggi).

Nel corso del mese di Settembre 2008 l'impresa esecutrice Daneco S.p.A. ha richiesto al prof. ing. Mario Manassero, Ordinario di Ingegneria Geotecnica al Politecnico di Torino, un'attività di consulenza finalizzata all'approfondimento da un punto di vista geotecnico delle problematiche riscontrate nell'Agosto 2008.

Al fine di migliorare la conoscenza della stratigrafia e dei materiali in esame, nei mesi di Settembre/Dicembre 2008 sono state realizzate ulteriori indagini geotecniche in situ, a cui sono seguite una serie di prove di laboratorio, in parte direttamente pianificate dall'ing. Manassero. In particolare, tale campagna di indagine ha consentito di migliorare la conoscenza delle caratteristiche di resistenza al taglio in condizioni di picco e residue dei terreni in esame.

L'attività di analisi preliminare ha quindi consentito di individuare, sin dalle prime valutazioni effettuate (Novembre 2008), alcune modifiche e revisioni di carattere progettuale-esecutivo che sono state sottoposte in corso d'opera al parere della D.L. e dei progettisti per loro approvazione. Tali indicazioni sono state formulate principalmente sulla base dei risultati di Back Analysis eseguite in fase preliminare sulla scorta delle conoscenze disponibili all'epoca, che hanno evidenziato complessivamente uno scenario assai più critico sia di quello previsto in progetto sia di quello proposto in sede di revisione nell'Agosto 2008 dai progettisti. In particolare, sin dalle prime verifiche condotte nel Settembre 2008, si è ipotizzato che il fenomeno di dissesto rilevato nel Lotto IV fosse determinato dalla presenza di uno strato di materiale alterato ('Shear band') presumibilmente compreso nei primi metri del substrato fliscioide e di spessore variabile. Quanto sopra in particolare sulla base dei riscontri delle letture inclinometriche nel periodo Ottobre-Dicembre 2008 (in particolare

l'andamento dell'Inclinometro I10 nel periodo Ottobre-Novembre 2008) e delle geometrie dei cinematismi gravitativi ricostruite mediante le modellazioni teoriche all'equilibrio limite.

Nelle verifiche di stabilità preliminari, alla "fascia" di materiale alterato sono stati assegnati parametri di resistenza tipici delle bande di taglio in argille varicolori campane (Picarelli et al., 1995, 1997, 2003, Cascini e Sorbino, 2003, Pellegrino et al., 2003) con caratteristiche meccaniche piuttosto ben definite ($\phi' = 12^\circ$; $c' = 0$ kPa), riferendosi in particolare a casi descritti in letteratura che presentano notevoli analogie con quello in esame (e.g. argilliti tettonizzate dell'Appennino meridionale). Le ricerche più recenti hanno infatti evidenziato che la componente più importante degli spostamenti superficiali in situazioni stratigrafiche e geotecniche di questo genere è dovuta alla combinazione di deformazioni concentrate in una zona di spessore discreto posta al di sotto del corpo di frana e di una o più "superfici di taglio" contenute all'interno della stessa (Comegna e Picarelli, 2008).

Tale ipotesi risultava tanto più chiara interpretando il dissesto di valle del Lotto IV, il cui cinematismo è apparso nettamente definito dalle letture dell'inclinometro I10, eseguite a partire dalla metà di Ottobre, e dai fenomeni di spostamento evidenziati dall'inclinometro I3 nelle letture del Dicembre 2008.

Le considerazioni evidenziate sono state riportate in specifici documenti preliminari, elaborati con livello di approfondimento crescente nel periodo Settembre-Novembre 2008, grazie all'acquisizione delle informazioni mano a mano derivate dalle indagini geotecniche integrative eseguite.

A seguito di una ulteriore serie di indicazioni dell'ing. Mario Manassero (riportate su tavole di calcolo e progettuali piuttosto dettagliate), scaturite da analisi e verifiche di stabilità preliminare (esplicitate e discusse in presenza della D.L. durante la riunione di Rimini del 07/11/2008), nella seconda metà del mese di Novembre 2008 i progettisti hanno elaborato il documento "Nota tecnica sulle condizioni di stabilità dell'argine di valle Lotto IV/Settori 1 e 2 per inizio conferimenti" al fine di riesaminare i fenomeni di dissesto avvenuti nel mese di Agosto e di fornire indicazioni utili per dare continuità al conferimento rifiuti. Nel Dicembre 2008 i progettisti hanno elaborato una 'Nota tecnica sulla stabilità dell'argine di valle del Lotto IV' (18 Dicembre 2008), con successive 'Precisazioni alla nostra nota 07750-107L01E01' (23 Dicembre 2008) in cui si conferma la possibilità di abbancare i rifiuti sull'intero Lotto IV fino ad un'altezza media di 8 m dal fondo discarica. A seguito di tali verifiche e delle valutazioni della commissione di collaudo il Lotto IV Nord (Settori 3 e 4) è stato provvisoriamente e anticipatamente consegnato alla stazione appaltante.

Nel Gennaio 2009 è stata elaborata da parte dell'ing. Mario Manassero una Relazione Geotecnica conclusiva (rif. 0045-004R01E01 del 16/01/2009), in cui si affrontavano, alla luce delle conoscenze disponibili all'epoca, i problemi di stabilità dei 4 Lotti di suddivisione della discarica e si suggerivano opere di stabilizzazione integrative. In particolare, tale Relazione prevedeva le seguenti opere integrative:

- Esecuzione di una palificata integrativa in corrispondenza del coronamento dell'argine di valle del Lotto IV.
- Esecuzione di n. 1/2 file di tiranti di rinforzo della palificata in corrispondenza del coronamento dell'argine di valle del Lotto IV.
- Estensione della palificata di stabilizzazione parallela alla Vasca Est, nella zona immediatamente a valle del Lotto II.
- Esecuzione di n. 2 file di tiranti di rinforzo della palificata in corrispondenza dell'argine di valle del Lotto IV.
- Esecuzione di n. 1 fila di tiranti di rinforzo della palificata in corrispondenza dell'argine di valle del Lotto II.
- Prolungamento della palificata di stabilizzazione tra il Lotto I e il Lotto II.

A seguito della relazione sopra citata, nel Febbraio 2009 i progettisti definivano, nell'ambito della variante n. 5, le variazioni da apportare alle palificate a presidio dei Lotti I, II e IV, la sistemazione dell'argine di valle del lotto IV e gli interventi di stabilizzazione del versante posto a valle delle discariche esistenti.

In particolare, in corrispondenza della zona più critica del Lotto IV, in cui si erano verificate fessure nel corpo dell'argine di valle, si stabiliva la realizzazione di una palificata di cucitura su un allineamento posto sulla berma intermedia dell'argine, con predisposizioni per "eventuali" tiranti integrativi disposti su singolo orizzontamento per ogni fila di pali ed interassati di 3.2 m.

A parere dell'ing. Mario Manassero, tali indicazioni, se confrontate con le proposte elaborate nella Relazione Geotecnica del Gennaio 2009, risultavano in ogni caso insufficienti a stabilizzare la discarica nel breve periodo e, a maggior ragione, nelle condizioni di abbancamento dei rifiuti finale di lungo periodo (i.e. verifiche in campo sismico). Queste considerazioni hanno trovato ulteriore e definitivo riscontro nelle letture topografiche che, a partire dal Marzo del 2008, sono state eseguite in corrispondenza della trave di coronamento della palificata al piede dell'argine del Lotto IV e nelle successive letture che, a partire da Giugno 2009, sono state eseguite in corrispondenza della trave di coronamento della palificata di cucitura. Le letture effettuate hanno evidenziato infatti nel corso del tempo un aumento degli spostamenti nella direzione ortogonale alla trave di coronamento, in particolare lungo la sezione B-B' indicata nella Relazione Geotecnica del Gennaio 2009. Gli ulteriori riscontri dei monitoraggi hanno quindi determinato un ulteriore approfondimento delle verifiche di stabilità del pendio in esame, sino alla definizione da parte dei progettisti di una relazione di Variante n. 6 del Giugno 2009, che prevedeva la realizzazione immediatamente a valle della palificata al piede dell'argine del Lotto IV di contrafforti costituiti da pali trivellati di diametro $\phi 800$ e di tiranti di lunghezza 45 m posti ad interasse 3.2 da eseguire in corrispondenza degli appositi alloggiamenti previsti nella trave di collegamento dei pali di cucitura dell'argine Lotto IV.

Nel corso dei mesi di Luglio-Agosto sono stati inoltre installati alcuni inclinometri interni ai pali della palificata di cucitura, al fine di valutare la variazione degli spostamenti lungo un profilo longitudinale dell'argine Lotto IV. A partire dal mese di Agosto 2008 le misure rilevate da tali inclinometri e confermate dalle misure topografiche delle travi di coronamento hanno consentito di formulare ipotesi attendibili sulla profondità della superficie di scivolamento, che risulta certamente maggiore rispetto alle ipotesi effettuate originariamente (in particolare, essa può raggiungere profondità dell'ordine dei 18÷20 m da p.c. in corrispondenza della palificata al piede dell'argine del Lotto IV). Inoltre, sulla base dei più recenti dati di monitoraggio, appare evidente un progressivo incremento delle velocità di spostamento, almeno nel periodo Luglio-Agosto 2009, con un picco registrato nell'intervallo temporale entro cui è compreso l'evento sismico del 5 Agosto 2009. La presente relazione ha quindi l'obiettivo di definire gli interventi necessari alla stabilizzazione della discarica in esame, prendendo in esame le condizioni geotecniche sin qui analizzate, sia in campo statico sia in campo sismico per le condizioni di lungo periodo.

La presente Relazione non prende in considerazione gli aspetti di riqualificazione ambientale e geomorfologica delle aree attualmente occupate dalle due discariche dismesse, né gli interventi di stabilizzazione generale del versante previsti in progetto.

3. PROPOSTE DI STABILIZZAZIONE RELATIVE AI LOTTI III E IV

I valori caratteristici sono stati impiegati nelle verifiche sismiche con metodo pseudostatico (Norme Tecniche, par. 7.11.3.5.2), puntando ad un Fattore di Sicurezza minimo pari a 1.1, e nelle verifiche statiche, puntando ad un Fattore di Sicurezza minimo pari a 1.3.

L'intervento di stabilizzazione si suddivide secondo il seguente schema:

- la prima fase consiste nella realizzazione di due palificate integrative, una in corrispondenza della berma intermedia dell'argine Lotto IV, costituita da pali $\phi 1000$, ad interasse pari a circa 1.1 m (3 pali/3.2m), di lunghezza 30 m. e la seconda al piede dell'argine, costituita da pali $\phi 1000$ disposti a quinconce, ad interasse pari mediamente a 1.2 m su ciascuna fila, di lunghezza 30 m.
- la seconda fase consiste nella realizzazione di una fila di tiranti da 90 t ed una da 120 t ad interasse pari a 1.6 m in corrispondenza della trave di coronamento della palificata di monte.
- la terza fase prevede la realizzazione di due file di tiranti da 120 t, ciascuna ad interasse di 3.2 m in corrispondenza della trave di collegamento tra la palificata esistente e la palificata integrativa al piede dell'argine.

L'opera si conclude con la realizzazione di un diaframma drenante approfondito sino a 20 m dal p.c., realizzato a monte della Vasca Est (Lato Ovest e Lato Nord).

4. PROPOSTE DI STABILIZZAZIONE RELATIVE AL LOTTO II

Sulla base delle verifiche eseguite si propone la realizzazione di una fila di tiranti di rinforzo per il tratto di palificata ricadente nella Zona D, indicato, aventi le seguenti caratteristiche:

- o portata massima = $90 \div 120$ t
- o interasse = 3.2 m
- o n. file = 1
- o lunghezza totale ≈ 40 m
- o lunghezza tratto connesso = 20 m

Tali interventi consentono di garantire la stabilità di lungo termine a discarica chiusa in condizioni statiche ed in condizioni sismiche.

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Come si evince dalle analisi di stabilità effettuate, le opere di stabilizzazione integrative proposte risultano sufficienti a garantire le condizioni di piena sicurezza ed efficienza dell'impianto di smaltimento rifiuti in esame, sia in campo statico sia in campo sismico.

Si sottolinea che le analisi effettuate risultano finalizzate alle verifiche di stabilità riferite a superfici di scivolamento profonde. Al fine di garantire la stabilità del corpo rifiuti, si raccomanda in ogni caso di garantire una pendenza di chiusura minore o uguale a 28°.

Ai fini di un effettivo riscontro da un punto di vista geotecnico delle assunzioni esposte nel presente documento e date le condizioni particolarmente critiche del sottosuolo in esame, caratterizzato da strati profondi in condizioni di resistenza residua (shear band), si sottolinea l'importanza di un adeguato sistema di monitoraggio post-operam, sia mediante riscontri topografici, sia mediante frequenti rilevazioni inclinometriche e piezometriche.

In particolare, si sottolinea l'importanza di un'attenta analisi temporale dell'evoluzione degli spostamenti laterali verso valle registrati dagli inclinometri, riservandosi eventuali ulteriori aggiornamenti progettuali, anche di lungo periodo, qualora le letture effettuate segnalassero condizioni di criticità ad oggi non riscontrate.

6. BIBLIOGRAFIA

- Cascini, L., Sorbino, G. (2003), Opere di protezione per i fenomeni di colata. Conferenze di Geotecnica di Torino - XIX Ciclo, "Stabilità e consolidamento dei pendii".
- Comegna, L., Picarelli, L. (2008), Anisotropy of a shear zone. *Géotechnique* 58, No. 9, 737-742
- Jimenez Montoya, P., Garcia Meseguer, A., Moran Cabré, F. (1979), Hormigon Armado. Editorial Gustavo Gili, S. A., Barcellona.
- Kavazanjian, E. (2006), Waste Mechanics: Recent Findings and Unanswered Questions, Proceedings of Geo-Shanghai International conference hosted by Tongji University and the Shanghai Society of Civil Engineering, Shanghai, China, pp. 82-103
- Kavazanjian, E., Dixon, N., Katsumi, T., Kortegast, A., Legg, P., Zanziger, H. (2006): *Geosynthetic for environmental protection at landfillss*. Geosynthetics, J. Kuwano & J. Koseki (eds), Millpress, Rotterdam, pp. 121-152.
- Krishna, R. Reddy, Hiroshan Hettiarachchi, Naveen S. Parakalla, Janardhanan Gangathulasi (2008), Geotechnical properties of fresh municipal solid waste at Orchard Hills Landfill, USA. *Waste Management*, 29, 952-959
- Leroueil, S. (2003), Soil mechanics in the context of scope. Conferenze di Geotecnica di Torino - XIX Ciclo, "Stabilità e consolidamento dei pendii".
- Lupini, J.E., Shinner A.E., Vaughan P.R. (1981), The drained residual strength of cohesive soils, *Géotechnique*, 31, 181, 213
- Manassero, M., Benson, C.H. & Bouazza, A. (2000). Solid waste containment systems. In the Proceedings of *GeoEng2000. An International Conference on Geotechnical & Geological Engineering*, 19-24 November 2000 Melbourne, Australia. Technomic Publishing Company, Lancaster.
- Pellegrino, A., Picarelli, L., Urciuoli, G. (2003). Experience on mudslides in Italy. Int. Workshop "Occurrence and Mechanisms of Flows in Natural Slopes and Earthfills", Sorrento, L. Picarelli & L. Cascini Eds., Patron, Bologna.
- Picarelli, L., Deangeli, C., Olivares, L. (2003), Analisi dei fenomeni di colata. Conferenze di Geotecnica di Torino - XIX Ciclo "Stabilità e consolidamento dei pendii".
- Picarelli, L., Leroueil, S., Urciuoli, G., Guerriero, G., Delisle, M.C. (1997). Occurrence and features of shear zones in clay. Int. Symp. "Localisation and Bifurcation Theory for Soils and Rocks", Gifu: 259-270.
- Picarelli, L., Russo, C., Urciuoli, G. (1995). Modelling earthflows based on experiences. 11th Europ. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Copenhagen, Danish Geotechnical Society, 6: 553-561.
- Rampello S., Callisto L. (2008). Stabilità dei pendii in condizioni sismiche. Conferenze di Meccanica e Ingegneria delle Rocce – XII Ciclo, "Opere geotecniche in condizioni sismiche".
- Quian, X., Koerner, R.M, e Gray, D.H. (2002). *Geotechnical aspects of landfill design and construction*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Skempton, A.W. (1964). Long term stability of clay slopes, *Géotechnique*, 14, 77-102.