Allegato B

RELAZIONE GEOTECNICA

Il Tecnico incaricato

0. PREMESSA

Su incarico della ditta Roma S.r.l. con sede in Genova, Via Fieschi 25/3, è stata redatta la presente relazione Geotecnica, con lo scopo di verificare la stabilità della sistemazione finale e del completamento del pendio, costituente la discarica di rifiuti inerti ubicata in località Calcinara, nel Comune di Uscio (GE).

Il progetto di sistemazione finale, da realizzare una volta ultimata la sistemazione al piede (denominata in tal sede come ***fase 1***) col raggiungimento della quota altimetrica 416,60 m slm, prevede un completamento con estensione verso est dell'area di discarica, da realizzarsi in due distinte fasi: la prima fase, denominata ***fase due,*** prevede la sistemazione fino al raggiungimento della quota 453,14 m slm; la seconda fase, denominata ***fase tre***, prevede la sistemazione fino alla quota finale 485,70 m slm.

Con la presente relazione si vuole verificare per via analitica:

- la stabilità globale del pendio nella configurazione di progetto di stabilizzazione della sistemazione finale della discarica nelle distinte fasi del completamento;
- la stabilità locale delle singole opere di sostegno del terreno, che saranno realizzate con terre rinforzate mediante strati di geosintetico.

I suddetti calcoli di stabilità sono stati condotti in conformità al ***Decreto Ministero delle Infrastrutture del 14/01/2008***, ovvero in conformità alle ***Nuove Norme Tecniche per le costruzioni***, sulla base dei disegni di progetto allegati, a firma del Geom. Cuneo Agostino, e della relazione geologica a firma del Dott. Geol. Andrea Robbiano.

Al fine di adottare un modello geologico-geotecnico che schematizzi nel modo più dettagliato possibile la situazione del pendio nelle varie fasi di avanzamento della coltivazione della discarica, sono state effettuate le seguenti ipotesi preliminari:

- per l’esecuzione delle verifiche geotecniche è stata scelta una sezione che schematizzi il pendio nella sua interezza, nella situazione più sfavorevole, in stato piano, senza tener conto degli effetti favorevoli del confinamento e dell’attrito fornito dai versanti laterali esistenti, denominata sezione H-H;
- inoltre sono state considerate ulteriori due sezioni, una sub parallela alla traccia della sezione H-H che segue l’andamento del Rio Proetti, denominata sezione A-A, ed una ad essa intersecante lungo il Rio Cugnee, denominata sezione B-B;
- nella costruzione del modello geotecnico sono stati considerati 4 strati di materiale terroso e lapideo, costituiti da: materiale di abbancamento, terreno naturale, cappellaccio di alterazione del substrato roccioso e il substrato roccioso stesso; le proprietà meccaniche e geotecniche di tali strati sono stati descritte nel successivo capitolo 3 (parametri geotecnici dei materiali);
- in riferimento al materiale di abbancamento, risulta corretto prendere un valore minimo di coesione, detta usualmente “***coesione intercetta***”, avente un valore caratteristico pari a 0,0383 daN/cmq (valore ulteriormente ridotto in fase di calcolo per l’inserimento dei fattori correttivi previsti dalle NTC 2008); tale valore viene giustificato nella relazione geologica allegata al progetto a firma del dott. Geol. A. Robbiano;
- sono comunque state effettuate le verifiche anche con coesione nulla per verificare il pendio nelle condizioni più sfavorevoli possibili;
- in riferimento allo strato di materiale di terreno naturale, risulta a favore della sicurezza trascurare il valore della coesione;

- per quanto riguarda i parametri geotecnici del cappellaccio di alterazione e del substrato roccioso, si adottano integralmente i valori suggeriti dalla relazione geologica a firma del dott. Geologo A. Robbiano, brevemente descritti nel capitolo 3;
- considerato che le indagini in sito hanno evidenziato che la falda subisce variazioni di livello dovute agli eventi atmosferici stagionali, si ritiene corretto, in fase dei verifica, considerare un incremento ragionevole del livello di falda nelle fasi di completamento della discarica, ovvero nella **FASE 2** intermedia e nella **FASE 3** di sistemazione finale;
- l'incremento del livello di falda, rispetto a quelli effettivamente constatati durante le letture piezometriche, è stato ipotizzato, a favore di sicurezza, pari a **ΔH = 2,00 m**;
- la sistemazione finale del pendio prevede la realizzazione di opere di sostegno da realizzarsi mediante "terre armate" con materiale geosintetico; per la verifica di stabilità globale del pendio si inserisce nel software di calcolo la geometria delle strutture e il peso specifico del materiale con cui si prevede la realizzazione delle stesse, senza attribuire a tali strutture alcuna forza di contrasto; in questo modo il software computa il peso delle strutture che va ad aggiungersi ai ***carichi mobilitanti*** in gioco (si veda nei listati di calcolo i dati di imput alla voce "***Muri di sostegno – caratteristiche geometriche***");
- in merito a Vs richiesta di integrazione dei carichi statici dovuti alla presenza delle massicciate, realizzate in materiale lapideo, si ritiene corretto quanto sopra scritto poiché il software calcola automaticamente i carichi dovuti alle opere di rinforzo; i dati di imput sufficienti sono la geometria e il materiale caratteristico; a giustificazione di quanto detto si allega la risposta al quesito posto direttamente alla casa

produttrice del software ed una dimostrazione analitica su pendio di semplice geometria, a validazione dei risultati presentati (vedi ***Allegato B***);

- come già citato in precedenza, verranno schematizzate varie fasi di avanzamento della sistemazione del pendio; la prima fase comprende le opere realizzate per la sistemazione al piede autorizzata con pratica precedente (provvedimento del 2009); è stata effettuata una verifica di stabilità, alla luce della parametrizzazione attualmente adottata, riportando graficamente lo stato attuale; da tale simulazione emerge che, adottando gli attuali parametri di legge, nella configurazione di stato attuale, la sezione B-B del pendio non risulta verificata; tuttavia tale configurazione risulterà superabile una volta terminata la ***fase 3*** (la sezione B-B non risulta interessata da sistemazione durante la ***fase 1***), ovvero con il completamento della sistemazione finale, in quanto si prevede una riprofilatura del pendio con una pendenza finale minore ed una aumento di carico al piede posto in adiacenza allo sperone roccioso esistente ai lati della discarica; per contro le verifiche relative all'intervento di consolidamento al piede realizzato durante la ***FASE 1*** e quelle riguardanti le opere di completamento ancora da realizzare (***FASE 2*** e ***3***), risultano tutte soddisfatte e conformi ai requisiti della normativa vigente;
- in riferimento alla geometria adottata, si precisa che, quella relativa la sistemazione finale proposta con tale progetto, sarà variata rispetto a quella presentata nel novembre 2013: viene proposto infatti un profilo del pendio arretrato di circa ***5 metri ogni inizio fase successiva*** (inizio ***fase 2*** ed inizio ***fase 3***); tale scelta progettuale consentirà di ottenere una pendenza massima del pendio minore sia a quella esistente allo stato

attuale sia a quella prevista dal progetto precedente (presentato nel novembre 2013);

- nella costruzione del modello di calcolo del pendio è stata trascurata, a favore della sicurezza, la presenza delle geogriglie di rinforzo, previste all'inizio di ogni fase di completamento;
- in riferimento alle superfici di discontinuità dovute al "capping" della discarica, da utilizzarsi sia per la sistemazione superficiale finale che per la separazione con il materiale di abbancamento, si ritiene che non influenzino in maniera sostanziale le verifiche geotecniche di stabilità globale del pendio; i motivi per quanto affermato sono che lo spessore del materiale di "capping" risulterà trascurabile (pari a circa 10 cm) rispetto agli spessori in gioco e che lo stesso sarà compreso nel volume di materiale di abbancamento, il quale ha peso specifico maggiore del rivestimento, pertanto, nel computo dei carichi, risulta a favore della sicurezza non considerarlo.
- per le verifiche di stabilità globale del pendio sono state effettuate delle verifiche con superfici circolari utilizzando una maglia di centri sufficientemente estesa, con raggio variabile; inoltre sono state scelte 3 superfici specifiche corrispondenti alle linee separatrici dei vari materiali presenti; per queste ultime non è necessario specificare una maglia di cerchi in quanto la superficie è inserita puntualmente;
- nelle verifiche geotecniche effettuate sono state utilizzate categoria di suolo C e classe d'uso 1; per illustrare l'influenza che ha sul calcolo l'adozione di una classe d'uso 2 ed una categoria di suolo E, è stato effettuato il calcolo sulla sezione B-B (sezione più sfavorevole) nella fase 3 (fase di completamento della sistemazione) con coesione nulla; essendo che tali

condizioni non comportano nessuna influenza sostanziale a livello di calcolo e che il coefficiente di sicurezza è comunque non inferiore a 1.1 non si ritiene opportuno effettuare le verifiche per tutte le altre fasi e sezioni.

Le ipotesi di progetto sopra elencate, scelte a favore della sicurezza delle analisi di stabilità, assieme all'adozione di una geometria maggiormente consona alla risoluzione del problema in esame, fanno si che il pendio proposto con la sistemazione finale (sia in fase 2 che in fase 3) risulterà stabile senza l'ausilio di strutture di rinforzo dell'opera di sostegno esistente posta al piede della discarica.

1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Decreto Ministero delle Infrastrutture del 14/01/2008: "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni".
- Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti N. 617 del 2/02/2009: "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni".

2. DESCRIZIONE DELLE OPERE

Le opere con connotazione geotecnica previste dal progetto di sistemazione finale del rilevato costituente la discarica di rifiuti inerti, sono nel seguito sintetizzate:

- realizzazione, di opere di sostegno in "Terra Rinforzate" aventi altezza di circa 4,0 m, larghezza basamento di circa 4,0 ml, ad eccezione di due "muri in terra rinforzate" aventi base pari ad 8,0 ml (nel caso di coesione dello strato di abbancamento pari a zero sono invece necessarie sette "muri in terra rinforzate" aventi base pari a 18,0 ml);

- l’adozione di un’inclinazione media del pendio finale pari a circa 20°, in modo da non aumentare eccessivamente il carico sul pendio autorizzato e di conseguenza le forze mobilitanti;
- inserimento di uno strato di geotessile fibrorinforzato ad alte prestazioni meccaniche, all’inizio delle fasi di completamento 2 e 3, avente la finalità rinforzare la base di ogni fase (nel modello di calcolo non si è tenuto conto della presenza di tali strati di rinforzo a favore della sicurezza);
- realizzazione, al fine di rendere il pendio stabile nella sua globalità, di un’efficace rete drenante per la captazione delle acque interessanti il corpo del rilevato, in corrispondenza dell’inizio di ogni fase, in modo che lo stesso non sia interessato da fluttuazioni di falda ciclici, favorendone lo sgravio dal peso aggiuntivo dell’acqua di falda.

3. PARAMETRI GEOTECNICI

Le verifiche di stabilità delle sezione H-H, A-A, B-B, riportate negli allegati posti in appendice, considerano, alla base dei calcoli, i ***parametri geotecnici caratteristici*** dedotti dalla relazione a firma del Dott. Geol. A. Robbiano, che vengono nel seguito riportati:

MATERIALE DI DISCARICA:

Peso specifico terreno secco:	1837 daN/m^3
Peso specifico terreno saturo:	2063 daN/m^3
Angolo di attrito interno:	29,60°
Coesione:	3,83 kN/m^2

TERRENO NATURALE:

Peso specifico terreno secco:	1695 daN/m^3
Peso specifico terreno saturo:	1905 daN/m^3
Angolo di attrito interno:	26,51°

Coesione: 0,00 kN/m^2

CAPPELLACCIO DI ALTERAZIONE DEL SUBSTRATO ROCCIOSO:

Peso specifico terreno secco: 2402 daN/m^3

Peso specifico terreno saturo: 2698 daN/m^3

Angolo di attrito interno: 30,52°

Coesione: 33,05 kN/m^2

SUBSTRATO ROCCIOSO:

Peso specifico terreno secco: 2402 daN/m^3

Peso specifico terreno saturo: 2698 daN/m^3

Angolo di attrito interno: 33,31°

Coesione: 43,52 kN/m^2

Ulteriore accorgimento che si adotta in fase di verifica, a favore della sicurezza, già citato nelle premesse, è quello di non considerare la coesione del TERRENO NATURALE, riscontrata durante le prospezioni geologiche.

Le indagini geognostiche hanno inoltre evidenziato che la falda subisce variazioni di livello dovute agli eventi atmosferici stagionali, pertanto, in fase dei verifica, si considera un incremento ragionevole del livello della falda nelle fasi di completamento della discarica, ovvero nella **FASE 2** intermedia e nella **FASE 3** di sistemazione finale.

Tale aumento di falda, si assume, a favore di sicurezza, pari a **ΔH = 2,00 m**.

4. METODI DI CALCOLO

4.1 **STABILITA' GLOBALE**

La verifica di stabilità è stata condotta utilizzando il metodo iterativo di Janbu, in modo da poter considerare la presenza di più strati di terreno aventi caratteristiche meccaniche diverse fra

loro, la presenza di falda acquifera e soprattutto l'inserimento di opere di sostegno in terra armata lungo il pendio, il cui contributo alle forze mobilitanti viene considerato.

L'andamento dei diversi strati del terreno e della falda freatica, ipotizzati in sede di calcolo di stabilità, è stato definito in sede di modellazione geologica e contenuto nella corrispondente relazione a firma del Dott. Geologo A. Robbiano.

Come già detto nel capitolo precedente, si considera un incremento ragionevole del livello della falda freatica nel passaggio dalla fase di completamento della sistemazione iniziale (**FASE 1**) alla fase intermedia (**FASE 2**) e quindi alla fase di completamento definitivo (**FASE 3**).

Tale incremento, ipotizzabile durante le stagioni maggiormente piovose, può essere dedotto dalle indagini geognostiche ed assunto, a favore della sicurezza, pari a **ΔH = 2,00 m**.

La verifica tiene conto delle **forze sismiche**, considerando che le opere ricadono in Comune di Uscio, classificato dalla D.G.R. 1362/2010, come **Zona 3**.

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto si è assunta la seguente categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione: ***"C - Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 180 e 360 m/s (15 < NSPT < 50, 70 <cu<250 kPa)".***

Durante le verifiche si terrà conto dell'incremento delle forze mobilitanti dovuto al peso delle bastionature di rinforzo presenti allo stato attuale e delle nuove opere di sostegno in terreno rinforzato poste lungo il pendio in esame, aventi la funzione di contenere il terreno a loro retrostante. Tale incremento è stato computato dal software inserendo il peso specifico del materiale che

costituisce le bastionature e nuove opere (si veda nei listati di calcolo i dati di imput alla voce "***Muri di sostegno – caratteristiche geometriche***").

Per l'analisi numerica dei dati di progetto è stato utilizzato il ***software SLOPE*** della ***GEOSTRU SOFTWARE*** ed i risultati delle analisi sono contenuti negli ***Allegati C, D*** e ***E***, riportanti rispettivamente le verifiche per lo stato iniziale e le due diverse fasi di avanzamento della sistemazione finale del pendio in esame.

Nell'analisi di stabilità del pendio i parametri geotecnici verranno adeguatamente fattorizzati con i coefficienti parziali specificati nella tabella 6.2.II delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

La verifica di stabilità verrà effettua considerando l'approccio 1, con la combinazione 2 (A2+M2+R2).

Nel dettaglio si effettueranno le verifiche di stabilità su superfici di tipo circolare, utilizzando una maglia di centri sufficientemente estesa per raggio variabile, e su tre superfici generiche di forma qualsiasi, corrispondenti a:

- Linea separatrice dello strato di coltre naturale e lo strato di materiale depositato e da depositare;
- Linea di individuazione del cappellaccio di alterazione del substrato roccioso;
- Linea di individuazione del substrato roccioso.

Si rimanda agli allegati in appendice per una dettagliata presa visione delle verifiche geotecniche effettuate per le varie fasi di avanzamento, per le superfici sopra indicate.

4.2 **STABILITA' LOCALE**

Le singole opere di sostegno in terreno rinforzato sono state verificate secondo le prescrizioni della normativa vigente nei

confronti del ribaltamento, dello slittamento e del carico limite (capacità portante) del terreno sottostante la fondazione.

inoltre sono state effettuate anche le verifiche interne alla singola opera in terra armata.

Il carico agente perpendicolarmente al piano medio del muro è la spinta delle terre.

Nel calcolo si è tenuto conto delle spinte aggiuntive dovute al sisma. Tali spinte sono state valutate secondo la metodologia proposta dal ***D.M. 14 Gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"***, considerando le opere ricadenti in zona 3, in conformità con la D.G.R. 1362/2010.

I calcoli di stabilità sono stati effettuati con il software ***SLOPE*** della ***GEOSTRU***, e sono contenuti nell'***Allegato F*** alla presente relazione.

5. CONCLUSIONI

Sulla base della configurazione di progetto variata rispetto al progetto presentato nel novembre 2013, ottenuta arretrando verso monte di circa ml 5 la base di partenza di ogni fase di completamento (***fasi 2*** e ***3***), e sulla scorta dei dati geologici dedotti dalla relazione del Dott. Geol. A. Robbiano, sono state svolte le verifiche di stabilità delle sezioni di progetto del pendio nelle varie fasi di progetto.

Le verifiche di stabilità eseguite nello stato attuale hanno evidenziato, alla luce della nuova parametrizzazione adottata, coefficienti di sicurezza inferiori a quelli minimi previsti dalle normative attualmente vigenti per la sezione B-B, mentre le stesse analisi effettuate nello stato di progetto relativamente alla fase di sistemazione finale (***FASE 3***), hanno condotto a coefficienti di sicurezza maggiori o uguali a 1,1 e quindi risultano soddisfatte le condizioni di

legge. Le altre due sezioni studiate (A-A e H-H) risultano completamente verificate.

Grazie alla geometria adottata non risulta pertanto necessario provvedere a realizzare elementi di rinforzo strutturali sulla scogliera posta alla base del pendio.

L'intervento proposto risulta conforme alle norme tecniche di settore vigenti attualmente e pertanto risulta realizzabile.

Si rimanda agli allegati presenti in appendice per la presa visione completa dei risultati delle analisi effettuate.

Resterà cura ed onere del direttori dei lavori verificare che il profilo del pendio assuma la configurazione progettata ed adottata nei calcoli di stabilità.

Tanto lo scrivente riferisce ad evasione dell'incarico ricevuto.

Lì

Il tecnico incaricato:

Allegati:

- ***ALLEGATO A***

  Parametri sismici del sito in esame.
  Parametri geotecnici estrapolati dalla Relazione Geologica.
  Sezione stratigrafica del pendio.

- ***ALLEGATO B***

  Descrizione del Software utilizzato
  per le verifiche di Stabilità globale

- ***ALLEGATO C***

  Verifiche di stabilità globale FASE 1:
  sistemazione al piede discarica.

  - *C1:sezione A (coesione intercetta)*
  - *C2:sezione B (coesione intercetta)*
  - *C3:sezione H (coesione intercetta)*
  - *C4:sezione A (coesione 0)*
  - *C5:sezione B (coesione 0)*
  - *C6:sezione H (coesione 0)*

- ***ALLEGATO D***

  Verifiche di stabilità globale FASE 2:
  completamento di prima fase.

  - *D1:sezione A (coesione intercetta)*
  - *D2:sezione B (coesione intercetta)*
  - *D3:sezione H (coesione intercetta)*
  - *D4:sezione A (coesione 0)*
  - *D5:sezione B (coesione 0)*
  - *D6:sezione H (coesione 0)*

- ***ALLEGATO E***

  Verifiche di stabilità globale FASE 3:
  completamento finale.

  - *E1:sezione A (coesione intercetta)*
  - *E2:sezione B (coesione intercetta)*
  - *E3:sezione H (coesione intercetta)*
  - *E4:sezione A (coesione 0)*
  - *E5:sezione B (coesione 0)*
  - *E6:sezione H (coesione 0)*

- ***ALLEGATO F***

  Verifiche di stabilità locale delle
  opere di sostegno in terra rinforzata
  Verifica sezione B coesione 0 in condizioni sfavorevoli (stratigrafia E e classe II)

ALLEGATO A: *Parametri sismici del sito in esame.*

Parametri geotecnici estrapolati dalla Relazione Geologica.

Sezione stratigrafica del pendio.

ALLEGATO B: *Descrizione del Software utilizzato*
per le verifiche di Stabilità globale

ALLEGATO C1: *Verifiche di stabilità globale FASE 1: sistemazione al piede della discarica sezione A (coesione intercetta)*

ALLEGATO C2: *Verifiche di stabilità globale FASE 1: sistemazione al piede della discarica sezione B (coesione intercetta)*

ALLEGATO C3: *Verifiche di stabilità globale FASE 1: sistemazione al piede della discarica sezione H (coesione intercetta)*

ALLEGATO C4: *Verifiche di stabilità globale FASE 1: sistemazione al piede della discarica sezione A (coesione 0)*

ALLEGATO C5: *Verifiche di stabilità globale FASE 1: sistemazione al piede della discarica sezione B (coesione 0)*

ALLEGATO C6: *Verifiche di stabilità globale FASE 1: sistemazione al piede della discarica sezione H (coesione 0)*

ALLEGATO D1: *Verifiche di stabilità globale FASE 2:*
completamento di prima fase
sezione A (coesione intercetta)

ALLEGATO D2: *Verifiche di stabilità globale FASE 2:*
completamento di prima fase
sezione B (coesione intercetta)

ALLEGATO D3: *Verifiche di stabilità globale FASE 2:*
completamento di prima fase
sezione H (coesione intercetta)

ALLEGATO D4: *Verifiche di stabilità globale FASE 2: completamento di prima fase sezione A (0)*

ALLEGATO D5: *Verifiche di stabilità globale FASE 2: completamento di prima fase sezione B (coesione 0)*

ALLEGATO D6: *Verifiche di stabilità globale FASE 2:*
completamento di prima fase
sezione H (coesione 0)

ALLEGATO E1: *Verifiche di stabilità globale FASE 3: completamento finale*
sezione A (coesione intercetta)

ALLEGATO E2: *Verifiche di stabilità globale FASE 3: completamento finale*
sezione B (coesione intercetta)

ALLEGATO E3: *Verifiche di stabilità globale FASE 3: completamento finale*
sezione C (coesione intercetta)

ALLEGATO E4: *Verifiche di stabilità globale FASE 3: completamento finale sezione A (coesione 0)*

ALLEGATO E5: *Verifiche di stabilità globale FASE 3: completamento finale sezione B (coesione 0)*

ALLEGATO E6: *Verifiche di stabilità globale FASE 3: completamento finale sezione H (coesione 0)*

ALLEGATO F: *Verifiche di stabilità locale delle opere di sostegno in terra rinforzata*

Verifica sezione B coesione 0 in condizioni sfavorevoli (stratigrafia E e classe II)