

RELAZIONE GEOTECNICA

(N.T.C. - D.M.14/01/2008)

1. PREMESSA

Nell'ambito del progetto di M.I.S.E. dell'ex discarica comunale di c/da "Chiarchiaro" ricadente nel territorio di Ravanusa, lo scrivente ha redatto la presente Relazione Geotecnica finalizzata alla caratterizzazione e modellazione geotecnica dei terreni di fondazione interagenti con le opere d'arte da realizzare, ed alla verifica delle condizioni di sicurezza ed alla valutazione delle prestazioni del sistema **costruzione-terreno** in conformità alle nuove NTC (D.M. 14.01.2008).

La presente Relazione Geotecnica è stata redatta sulla scorta del **Modello Geologico di Riferimento** ricavato dallo studio geologico-tecnico effettuato dai geologi Dott. Vincenzo Capodici e Dott. Salvatore Lo Verme, a cui si fa espressamente riferimento che, compendiata dei risultati ottenuti da relative indagini geognostiche in situ e geotecniche di laboratorio, ha permesso una adeguata caratterizzazione e parametrizzazione geotecnica dei litotipi di fondazione e, quindi, la definizione di un **Modello Geotecnico** di supporto alla verifica del sistema geotecnico afferente alle strutture di fondazione delle opere di sostegno.

I calcoli di verifica geotecnica delle strutture di fondazione sono stati effettuati adottando il metodo delle Tensioni ammissibili e successive modifiche ed integrazioni previsto dal D.M. 14.01.2008, stante che il territorio di Ravanusa rientra sotto il profilo sismico in "**Zona 4**" e le opere da realizzare nella classe d'uso **I**.

La presente relazione viene compendiata nei seguenti argomenti ed allegati:

- ❑ *Cenni descrittivi delle opere e degli interventi*
- ❑ Sintesi dei lineamenti topografici e morfologici dell'area
- ❑ Modello Geologico dell'area d'intervento
- ❑ Sismicità del sito e Categoria di sottosuolo
- ❑ Caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione-
Modello geotecnico
- ❑ Calcoli geotecnici

Allegati:

- Tabulati dei calcoli geotecnici
- Tab. A- Modello Geotecnico di riferimento progettuale

2. CENNI DESCRITTIVI DELLE OPERE E DEGLI INTERVENTI

L'intervento previsto in progetto consiste nella realizzazione di opere di M.I.S.E. del sito dell'ex discarica comunale di R.S.U. di c.da "Chiarchiaro" che di seguito vengono illustrate :

- a) Gabbionature in pietrame a secco disposte su n. 2 file emergenti, aventi una fondazione diretta superficiale posta ad una quota di – 2,00 m dal p.c. e larghezza $B = 1,00$ ed una altezza $H=1,00$ m.
- b) Sistemi di drenaggio delle acque superficiali e di raccolta del liquido "percolato".

- c) Vasca di raccolta in c.a. di forma rettangolare poggiante su strutture di fondazione profonde (pali in c.c.a.) della profondità di mt. 12,00
- d) Stradella di servizio interna e di accesso alla vasca.
- e) Recinzione, cancello ed idonea segnaletica.

Le opere che interesseranno i sistemi geotecnici e che sono oggetto della presente Relazione sono quelle relative alle lettere a) e c).

Pericolosità sismica

3. SINTESI DEI LINEAMENTI TOPOGRAFICI E MORFOLOGICI DELL'AREA.

L' area su cui insiste l'ex discarica di R.S.U. "Chiarchiaro" è ubicata nell'omonima contrada a nord-est del centro abitato di Ravanusa, dal quale dista in linea d'aria circa 2 Km.

Dallo studio geomorfologico si evidenzia che "l'area oggetto dell'intervento di M.I.S.E. si sviluppa tra la isoipsa di quota 260 m s.l.m. e quella di quota 230 m s.l.m. e ricade quasi alla base di un versante argilloso che si diparte dagli affioramenti calcarei di Contrada "Grada" per giungere fino all'impluvio posto appena più a valle del corpo della discarica. In quest'area l'azione erosiva operata dagli agenti esogeni ha determinato nel tempo la formazione di impluvi incassati e versanti molto acclivi che raggiungono valori di pendenza molto elevati. Tale conformazione morfologica dei versanti determina di conseguenza un aumento del potere erosivo delle acque ruscellanti con conseguente innesco di fenomenologie morfoattive ad esso correlate....."

"In tale contesto s'inserisce la presenza di un corpo di frana che interessa la porzione morfologicamente più bassa della discarica oggetto di MISE. Tale corpo, evidenziato dalla presenza di una scarpata di frana nella parte a monte"....

"Il suo sviluppo planimetrico è di 89 m. per 42 metri circa ed allo stato attuale il piede della frana risulta arrestato fuori dal corpo discarica quasi in prossimità dell'impluvio.....".

"Allo stato attuale il corpo di frana coinvolge sia i rifiuti che parzialmente le sottostanti argille rimaneggiate, le cui scadenti caratteristiche di resistenza al taglio contribuiscono ad aumentare ancor più le condizioni d'instabilità del corpo di frana, il cui movimento, seppur in maniera lenta, è da considerarsi in evoluzione, in quanto continuamente alimentato dal liquido "percolato.....".

Il nuovo assetto morfologico dell'area quindi ha contribuito a variare il regime idrologico superficiale, in quanto le mutate condizioni topografiche unitamente alla formazione di numerose crepe di distacco, ha determinato una maggiore infiltrazione d'acqua e formazione di percolato. Difatti, sul corpo di frana la morfologia sub-pianeggiante unitamente alle contropendenze create dall'ammasso dei rifiuti dislocato, consentono un ristagno d'acqua sul piede della frana con conseguente sversamento a valle del percolato.

4. MODELLO GEOLOGICO DELL'AREA D'INTERVENTO

In particolare, il MGR proposto dai tecnici geologi nell'area in cui ricadono le opere e gli interventi da sottoporre a verifica geotecnica è il seguente:

- ❑ Dal p.c. a – 1.50-2.0 m : coltre di R.S.U. frammisti a materiale eterogeneo ed ad argille sabbiose fortemente rimaneggiate (corpo di frana).
- ❑ Dal – 1.50-2.0 a –8.50 m: limi argillosi, di colore variabile dal grigio scuro al giallo ocra, umidi e plastici, molto alterate e rimaneggiate, caratterizzate da un discreto grado d' impermeabilità.
- ❑ Oltre m 8.50 : argille di colore grigio-azzurro, molto coesive e consistenti, poco umide, praticamente impermeabile.

Dall'analisi dei risultati delle indagini geognostiche e geotecniche, considerata la presenza di una coltre di terreno in frana costituito da rifiuti frammisti ad argille rimaneggiate plastiche, nonché alla presenza di un substrato argilloso sottostante caratterizzato da uno stato di consistenza maggiore e da valori dei parametri di resistenza al taglio più elevati si è ritenuto di adottare per la gabbionatura la struttura di fondazione diretta ammorsate a m 2,00 dal p.c.

Nella parte sommitale del corpo rifiuti è evidente una frattura avente rigetto verticale di circa 0,5 m. e rigetto orizzontale di circa 0,3 metri che individua un limite netto tra il terreno in posto e l'ammasso di RSU, e nello stesso tempo costituisce una via preferenziale d'infiltrazione delle acque meteoriche con relativa formazione di ulteriore percolato che ha causato un aumento dei fattori di instabilità dell'ammasso stesso.

La continua produzione di percolato nel tempo ha determinato un costante aumento delle pressioni interstiziali e, quindi, una riduzione della resistenza al taglio dei terreni lungo la superficie di contatto dei rifiuti con le sottostanti argille, con conseguente innesco del movimento gravitativo e formazione dell'attuale scarpata di frana (v. foto 1)

Allo stato attuale il corpo di frana coinvolge sia i rifiuti che parzialmente le sottostanti argille rimaneggiate, le cui scadenti caratteristiche di resistenza al taglio contribuiscono ad aumentare ancor più le condizioni d'instabilità del corpo di frana, il cui movimento, seppur in maniera lenta, è da considerarsi in evoluzione, in quanto continuamente alimentato dal liquido "percolato".

5. SISMICITA' DEL SITO E CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

La normativa nazionale sulla nuova classificazione sismica del territorio nazionale, di cui all'O.P.C.M. n. 3274 del 20.03.2002, colloca il territorio comunale di Ravanusa nella "Zona 4" a pericolosità sismica di base " *bassa* ".

In particolare, i valori di a_g espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare nella zona sismica in cui ricade la discarica sono

COMUNE	ZONA	VALORE DI a_g
RAVANUSA	4	0,05 g

Al fine di definire la categoria di sottosuolo prevista dalle nuove N.T.C., da parte dei tecnici geologi incaricati, è stata eseguita una indagine sismica che ha consentito di determinare il valore della velocità delle onde S nei primi 30 metri (V_{s30}).

Il risultato ottenuto riferito al piano di fondazione è stato di $V_{s30} = 316$ m/s. Detto valore, in accordo con le norme tecniche per le costruzioni (DM 14 gennaio 2008) fa rientrare il sito in esame nella ***Categoria di Sottosuolo C*** (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE - MODELLO GEOTECNICO -

6.1 Sulla base dei dati ricavati dalla campagna di indagini e delle prove geotecniche di laboratorio eseguite per la definizione dei parametri geotecnici caratteristici del Modello Geologico di Riferimento (MGR) ricostruito nello Studio geologico, di seguito è stato elaborato il Modello Geotecnico (**MG**) posto a base delle verifiche delle opere e interventi che interagiscono con il volume significativo del terreno di fondazione, in conformità con quanto previsto dalle nuove NTC di cui al D.M. 14.01.2008.

In particolare, sotto il profilo geotecnico, durante le operazioni di carotaggio, mediante campionatore speciale sono state prelevati, in apposite fustelle d'acciaio, n. 5 campioni di cui n. 3 indisturbati nel sondaggio S1 effettuato alla base dell'ammasso di rifiuti, e n. 2 disturbati prelevati nel sondaggio S2 effettuato nella parte a monte.

I campioni indisturbati sono stati prelevati a quote tali da interessare i tre litotipi principali attraversati e sottoposti ad opportune prove geotecniche presso il laboratorio del Dott. Mario VIVIRITO con sede in Campobello di Licata (Ag), autorizzato con concessione Ministeriale decreto n. 53664/2005 e i cui risultati vengono esposti negli certificati allegati.

Su di essi sono state effettuate le seguenti analisi e prove geotecniche di laboratorio:

- ✓ Determinazione delle caratteristiche fisico - volumetriche;
- ✓ Prova di taglio diretto "CD"
- ✓ Prova trissiale "CIU"
- ✓ Prova ad E.L.L.

6.2 MODELLO GEOTECNICO

A scopo puramente esemplificativo ad ogni litotipo individuato nel MGR si è dato il nome convenzionale di "*unità geotecnica*", termine con cui si vuole indicare un corpo litico all'interno del quale le caratteristiche fisiche ed il comportamento geomeccanico possono considerarsi omogenei.

In particolare, si è assegnato il termine di:

- **UNITÀ GEOTECNICA RF** : per la coltre dei rifiuti frammista ad argille sabbiose fortemente plastiche e rimaneggiate (corpo di frana).
- **UNITÀ GEOTECNICA LS** : per i limi argillosi e sabbiosi rimaneggiati brunastri, e leggermente plastici sottostanti.
- **UNITÀ GEOTECNICA AM** : per le argille brecciate marnose grigio-azzurrognole

Dopo un esame dei dati sperimentali ottenuti, riportati nei certificati ufficiali delle prove forniti dal laboratorio, lo scrivente ha proceduto di seguito ad una loro attenta elaborazione, calcolo ed interpretazione, assegnando ad ogni "*unità geotecnica*" i valori dei parametri sia delle caratteristiche fisiche che

della resistenza al taglio in condizioni drenate (C' e ϕ') e non drenate (C_u e ϕ_u) che vengono riportati in forma riassuntiva nell'allegata tabella A.

□ **UNITÀ GEOTECNICA RF**

Questa unità è costituita litologicamente da rifiuti frammisti a terreni argillosi in frana; essa sotto il profilo geotecnico è caratterizzata da una elevata plasticità e da una resistenza al taglio residua nonché da capacità portanti scadenti, indotte dai fenomeni di rimaneggiamento a cui il terreno è stato sottoposto nel tempo. Per tale motivo all'interno della matrice argillosa di questa *unità geotecnica* non è stato prelevato alcun campione.

Questa unità, pertanto, non potrà essere utilizzata come substrato di fondazione delle opere d'arte progettate. Nelle aree in cui quest'ultime interessano, che se superficialmente questa *unità geotecnica*, si prevede la sua totale asportazione e la ubicazione dei piani di sedime nella *unità geotecnica* sottostante.

Il peso di volume naturale (γ) può porsi intorno a **$= 17.0 \text{ KN/mc} = 1,73 \text{ t/mc}$** .

□ UNITÀ GEOTECNICA LS

È costituita da terreni limo-argillosi e sabbiosi, rimaneggiati nella porzione superiore a contatto con il corpo di frana. Al suo interno è stato prelevato il campione S1 – C1 alla quota di m 1,50-1.80 ed il campione S1 – C2 alla quota di m 3,0 dal p.c., immediatamente al disotto del corpo di rifiuti.

Essa presenta elevati valori di contenuto di umidità naturale variabile nell'intervallo **Wn = 18.92 – 19.20 %**; il grado di saturazione **Sr = 73.41 – 84.65 %**, mentre il peso di volume naturale varia nell'intervallo **$\gamma = 18.69 - 19.20 \text{ KN/mc} = 1,90 - 1,95 \text{ t/mc}$** .

La prova di taglio diretto CD, ha fornito i seguenti valori di picco dei parametri della resistenza al taglio:

$$\begin{aligned} C' &= 14.30 - 44.20 \text{ KPa} = (0,14 - 0,45 \text{ Kg/cm}^2) \\ \phi' &= 19^\circ,50 - 25^\circ,30 \end{aligned}$$

Al contrario della *unità geotecnica RF*, i valori della coesione sono di picco, mentre a causa delle tensioni di taglio mobilitate lungo tutta la superficie di rottura durante il movimento franoso, i valori dell'angolo di attrito interno hanno subito negli orizzonti superficiali un graduale decadimento .

Per quanto concerne la resistenza al taglio in condizioni non drenate, le prove di resistenza ad E.L.L. effettuate sulla frazione argillosa del campione hanno fornito valori di coesione non drenata ($\phi_u = 0^\circ$) :

$$C_u = 91.95 - 144,43 \text{ KPa} = 0,93 - 1,47 \text{ Kg/cm}^2$$

□ **UNITÀ GEOTECNICA AM**

I terreni di questa *unità geotecnica* costituiscono la formazione argillosa di base inalterata. Al suo interno è stato prelevato il campione S2 – C1 alla quota di m 9,50 dal p.c.

Essa presenta un contenuto naturale d'acqua $W_n = 33.09 \%$ con un grado di saturazione pari al 96,0%.

La prova di taglio diretto e triassiale CD hanno fornito i seguenti valori di picco dei parametri della resistenza al taglio:

$$C' = 14.33 \text{ KPa} = 0,14 \text{ Kg/cmq}; \phi' = 21^\circ.20$$

$$C' = 37.10 \text{ KPa} = 0,38 \text{ Kg/cmq}; \phi' = 16^\circ.80$$

Su questo campione è stata effettuata, altresì, una prova triassiale "CIU", in condizioni consolidate drenate, che ha fornito i seguenti valori dei parametri della resistenza al taglio:

$$C' = 11.20 \text{ KPa} = 0,11 \text{ Kg/cmq}; \phi' = 17^\circ.20';$$

Il peso di volume naturale $\gamma = 18,33 \text{ KN/mc} = 1,870 \text{ t/mc}$.

I suddetti valori evidenziano che l'unità geotecnica AM presenta una coesione elevata a cui corrisponde un discreto valore dell'angolo di attrito interno, in parte influenzato molto verosimilmente dal sistema di fratture interne litogenetiche presenti nella massa argillosa che influenzano le superfici di taglio del materiale.

Alla luce dei suddetti valori questa unità geotecnica, nelle condizioni a lungo termine, presenta proprietà reologiche e spessori litologici (> 100 m) comunque elevate e tali da poter essere impegnata da strutture di fondazione di tipo profondo (pali trivellati in c.a.), in quanto capaci di determinare una graduale dissipazione delle sollecitazioni sia di taglio e sia verticali per attrito laterale lungo il fusto del palo di fondazione.

Ai fini delle verifiche dimensionamento geotecnico delle opere di intervento, nella tab. A, riportata in calce alla presente, viene rappresentato il **Modello Geotecnico (MG)** relativo al volume significativo del sottosuolo che direttamente sarà impegnato dallo stato tensionale indotto dalle opere ed interventi progettati.

7. CALCOLI GEOTECNICI

□ CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE DIRETTA - GABBIONATA IN PIETRAMA A SECCO -

7.1 In ordine, quindi, al Modello Geotecnico sopra definito, al fine di garantire una perfetta stabilità al corpo dei rifiuti della discarica, si è ritenuto opportuno adottare delle strutture di sostegno flessibili, quali le gabbionate in pietrame a secco, disposte su n. file, ubicate al piede del corpo rifiuti, poggianti su strutture di fondazione del tipo diretto (platea in c.a.), opportunamente dimensionate secondo i parametri geotecnici proposti nel **MG** ed ammorsate nei terreni afferenti all'*unità geotecnica LS* immediatamente sottostante il corpo di frana, poste ad una profondità non inferiore e m 1.50 dall'attuale p.c. (v. sezione geotecnica)

Di seguito si riporta il calcolo della capacità portante di una fondazione diretta riferita ai terreni dell'*Unità Geotecnica LS*, adottando il metodo di calcolo delle Tensioni Ammissibili previsto dalle nuove NTC di cui al D.M. 14.01.2008, stante che ci troviamo in **Zona 4** (*bassa sismicità*) e Classe d'Uso I (*Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli*), facendo quindi riferimento alle norme tecniche di cui al D.M. LL. PP. 14.02.92 per le strutture in calcestruzzo ed al D.M. LL. PP. 11.03.88 per le opere ed i sistemi geotecnici

Al fine di consentirne un ampio adattamento alle condizioni locali di volta in volta riscontrate, i calcoli sono stati svolti, in termini parametrici, tenendo

conto una profondità media di m 2.0 dell' **unità litotecnica LS** di substrato e della geometria della fondazione adottata

La formula utilizzata è quella che il Terzaghi ha applicato, secondo la teoria della plasticità, al calcolo del carico limite per una fondazione diretta in condizioni non drenate e, quindi, con angolo di attrito interno nullo ($\phi u = 0^\circ$).

Il carico limite nelle condizioni non drenate risulta:

$$Q_{lm} = C_u N_c + \gamma_1 D N_q + ; \text{ in cui:}$$

□ **UNITA' GEOTECNICA LS**

C_u = Nella formula viene introdotto il valore della coesione non drenata più cautelativo ricavato dalle prove ad E.L.L. ($C_u = 91.95 \text{ KPa} = 9.30 \text{ t/mq}$);

γ_1 = peso dell'unità di volume del terreno soprastante il piano di fondazione, pari a 1.90 t/mc ;

D = quota d'imposta della fondazione = 2.0 m ;

N_c, N_q = valori dei fattori di capacità portante adimensionali dipendenti dal valore dell'angolo di attrito interno. Per $\phi u = 0^\circ$; **N_c = 5.7; N_q = 1.0.**

$$Q_{lim} = 5.7 \times 9.3 + 1.90 \times 2.00 = \\ 56.80 \text{ t/mq} = 5.68 \text{ Kg/cmq}$$

Convertendo il valore limite in Kg/cmq e dividendolo per un coefficiente di sicurezza $\eta = 3.0$ si ottiene un carico unitario ammissibile sul terreno di fondazione pari a:

$$Q_{amm} = Q_{lim}/\eta = 5.68/3 = 1.89 \text{ Kg/cmq}$$

I valori delle tensioni ammissibili ricavati e gli elevati spessori litologici della formazione argillosa di base proposta nel Modello Geologico di Riferimento, evidenzia che l'*unità geotecnica LS* presenta complessivamente una buona resistenza al taglio e caratteristiche reologiche tali da garantire una sufficiente dissipazione, per via asintotica, delle modeste tensioni d'esercizio trasmesse dai muri sul terreno di fondazione, senza determinare fenomeni di cedimenti differenziali superiori ai valori di distorsione angolare specifici della struttura di sostegno stessa.

Il Tecnico
(Ing. Ignazio Leone)

TAB. A

MODELLO GEOTECNICO DEI TERRENI DI FONDAZIONE

