

OPERE - SERVIZI ECOLOGICI - ENERGIE



* * * * *

AUMENTO DELLE VOLUMETRIE ATTRAVERSO
LA SOPRAELEVAZIONE DEL COLMO PER LA
DISCARICA "TIRO A SEGNO" UBICATA IN LOC.
NAVACCHIO NEL COMUNE DI CASCINA (PI)
GESTITA DA ECOFOR SERVICE S.P.A.

* * * * *

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
VERIFICHE DI STABILITA' DEL PENDIO

Ing. Mauro Signorini

Ing. MAURO SIGNORINI
ORDINE INGEGNERI della Provincia di PISA
N° 655 Sezione A
INGEGNERE CIVILE E AMBIENTALE
INDUSTRIALE, DELL'INFORMAZIONE

STUDIO D'INGEGNERIA
Via Vittorio Veneto, 171
56025 PONTEDERA (PI)
Tel 0587 54377
Fax 0587 54759
e-mail : studio@ingegneriasignorini.it

Documento:

P02

Data:

Novembre 2016

Revisioni:

Num.	Data	Redatto	Verificato
0	18/11/2016	M.S.	

INDICE

1. PREMESSA	1
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
3. LOCALIZZAZIONE DELLA DISCARICA	3
4. METODI DI CALCOLO UTILIZZATI PER LE VERIFICHE DI STABILITÀ DEL PENDIO	4
4.1. Metodo di Bell	4
4.2. Metodo di Bishop.....	5
4.3. Metodo di Jambu	6
4.4. Metodo di Sarma.....	7
5. VERIFICHE DI STABILITÀ	8
5.1. Verifiche di stabilità in condizioni statiche e sismiche	11
5.2. Verifica di stabilità del capping sulla scarpata dei rifiuti	13
6. VERIFICA ELEMENTO RIGIDO DI TENUTA AL PIEDE DEL CAPPING	17
7. STUDIO DEI CEDIMENTI	19
7.1. Individuazione delle soglie limite per le verifiche	20
7.2. Calcolo dei cedimenti	21

ALLEGATI

Allegato 1 – Verifiche stabilità del pendio

Allegato 2 – Verifiche stabilità del capping

Allegato 3 – Verifiche elemento rigido di tenuta al piede del capping

Allegato 4 – Verifiche dei cedimenti

1. PREMESSA

La presente relazione affronta gli aspetti geotecnici, verifiche di stabilità ed analisi dei cedimenti attesi, relativi al progetto di sopraelevazione della discarica di Cascina, denominata "Tiro a segno", nel comune di Cascina (PI), gestita da ECOFOR Service S.p.A..

In particolare, relativamente ai cedimenti attesi, è stato verificato che il franco minimo dalla falda si mantenga sempre, anche a seguito del ricarico, superiore ai 3.0 m e che i manti di argilla ed i teli sintetici in HDPE non soffrano dell'eccessiva distorsione indotta dal ricarico dei rifiuti.

Il progetto prevede inoltre di apportare una modifica al pacchetto di copertura definitiva autorizzato, sostituendo l'elemento a bassa permeabilità, costituito da un geocomposito bentonitico, con un altro elemento sintetico, ovvero una geomembrana in HDPE di spessore 2.0 mm.

Le problematiche affrontate nel presente lavoro possono essere così riassunte:

- Verifiche di stabilità del cumulo di discarica;
- Verifica di stabilità del terreno di copertura del profilo di abbandono della discarica;
- Verifica del muro prefabbricato in geoblocchi in cls di sostegno delle opere di piede;
- Stima dei cedimenti del corpo di discarica.

2. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

La normativa di riferimento per le fasi di calcolo, verifica e progettazione è costituita dalle Norme Tecniche per le costruzioni, emanate con il D.M. 14/01/2008 pubblicato nel suppl. 30 G.U. 29 del 04/01/2008, nonché la Circolare del Ministero Infrastrutture e Trasporti del 2 Febbraio 2009, n. 617 “Istruzioni per l’applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”.

Le verifiche sono state condotte rispetto agli stati limite di tipo geotecnico (GEO), applicando alle caratteristiche geotecniche del terreno i coefficienti parziali del gruppo M2 (Tab. 6.2. II NTC).

I diversi software impiegati nei calcoli di verifica sono riportati di seguito:

- Software di calcolo stabilità dei pendii: **CDD Win - STS**
- Software di calcolo muri di sostegno: **Max 10 - Aztec**
- Software di calcolo cedimento rilevato: **Carl 12 – Aztec**

3. LOCALIZZAZIONE DELLA DISCARICA

La discarica Tiro a Segno, è ubicata in Loc. Navacchio, nel Comune di Cascina (PI) lungo la S.P. n. 24 *Arnaccio - Calci*.

Cartograficamente è identificabile nella Sezione 100 del Foglio 273 della C.T.R. della Regione Toscana.

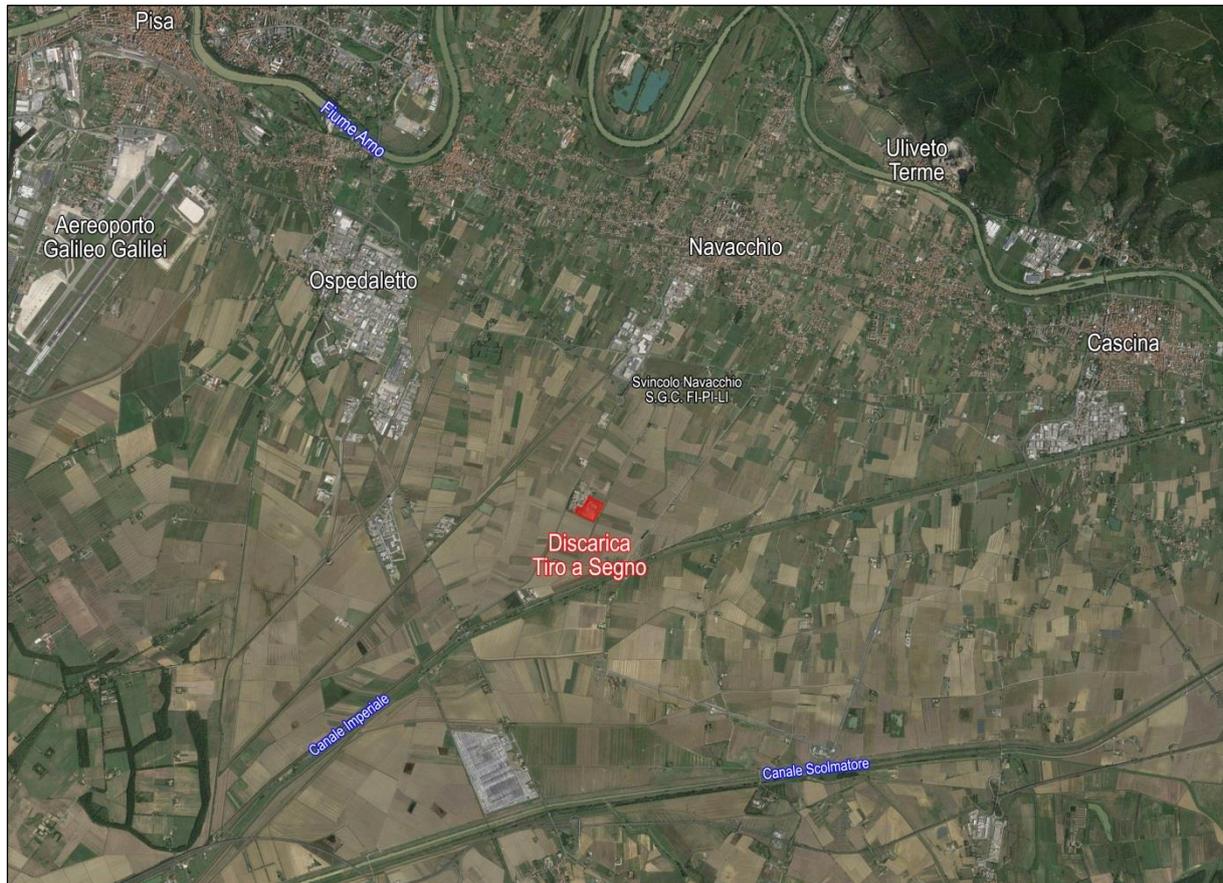


Figura 1 - Ubicazione della discarica Tiro a Segno

4. METODI DI CALCOLO UTILIZZATI PER LE VERIFICHE DI STABILITÀ DEL PENDIO

I fenomeni franosi possono essere ricondotti alla formazione di una superficie di rottura lungo la quale le forze, che tendono a provocare lo scivolamento del pendio, non risultano equilibrate dalla resistenza a taglio del terreno lungo tale superficie.

La verifica di stabilità del pendio si riconduce alla determinazione di un coefficiente di sicurezza, relativo ad una ipotetica superficie di rottura, pari al rapporto tra la resistenza al taglio disponibile e la resistenza al taglio mobilitata.

Una volta suddiviso il pendio in un determinato numero di conci di uguale ampiezza, per ogni concio si possono individuare:

- a) il peso;
- b) la risultante delle forze esterne agenti sulla superficie;
- c) le forze inerziali orizzontali e verticali;
- d) le reazioni normali e tangenziali mutue tra i conci;
- e) le reazioni normali e tangenziali alla base dei conci;
- f) le pressioni idrostatiche alla base.

Sotto l'ipotesi che la base di ciascun concio sia piana e che lungo la superficie di scorrimento valga il criterio della rottura di Mohr–Coulomb, che correla tra loro le reazioni tangenziali e normali alla base, le incognite, per la determinazione dell'equilibrio di ogni concio, risultano essere le reazioni laterali, i loro punti di applicazione, e la reazione normale alla base.

Per la determinazione di tutte le incognite, le equazioni di equilibrio risultano insufficienti, per cui il problema della stabilità dei pendii è, in via rigorosa, staticamente indeterminato. La risoluzione del problema va perseguita introducendo ulteriori condizioni sugli sforzi agenti sui conci. Tali ulteriori ipotesi differenziano sostanzialmente i diversi metodi di calcolo.

Di seguito si riportano le equazione dei diversi metodi di calcolo utilizzati.

4.1. Metodo di Bell

L'ipotesi alla base del metodo consiste nell'imporre una specifica distribuzione delle tensioni normali lungo la superficie di scivolamento.

Definite le quantità:

- $f = \frac{\text{sen}\left(2 \cdot pg \cdot \frac{xb - xi}{xb - xa}\right)}{2}$
- $pg = \text{costante } \pi \text{ greca}$
- $xb = \text{ascissa punto di monte del pendio}$
- $xa = \text{ascissa punto di valle del pendio}$
- $x_i = \text{ascissa parete di monte del pendio}$

- $K_x, K_y =$ coeff. sismici orizzontale e verticale
- $xc_i =$ ascissa punto medio alla base del concio i
- $zc_i =$ ordinata punto medio alla base del concio i
- $xg_i, yg_i =$ ascissa e ordinata baricentro concio i
- $xm_i, ym_i =$ ascissa e ordinata punto applicazione risultante forze esterne

il coefficiente di sicurezza F scaturisce come parametro contenuto nei coefficienti del sistema di equazioni:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{14} \\ a_{24} \\ a_{34} \end{bmatrix}$$

dove:

$$\begin{aligned} a_{11} &= (1 - K_x) \cdot \left(\sum_i W_i \cdot \cos^2(a_i) \cdot \tan(fi) - F \cdot \sum_i W_i \sin(a_i) \cos(a_i) \right) \\ a_{12} &= \sum_i f \cdot b \cdot \tan(fi) - F \cdot \sum_i f \cdot b \cdot \tan(a_i) \\ a_{13} &= \sum_i c_i \cdot b \\ a_{14} &= \sum_i u_i \cdot b \cdot \tan(fi) + F(K_x \cdot \sum_i W_i - Q_i) \\ a_{21} &= (1 - K_y) \cdot \left(\sum_i W_i \cdot \sin(a_i) \cos(a_i) \cdot \tan(fi) + F \cdot \sum_i W_i \cos^2(a_i) \right) \\ a_{22} &= \sum_i f \cdot b \cdot \tan(a_i) + F \cdot \sum_i f \cdot b \\ a_{23} &= \sum_i c_i \cdot b \cdot \tan(a_i) \\ a_{24} &= \sum_i u_i \cdot b \cdot \tan(a_i) \cdot \tan(fi) + F \left[(1 - K_y) \cdot \sum_i W_i + P_i \right] \\ a_{31} &= (1 - K_y) \cdot \left\{ \begin{aligned} &\sum_i (W_i \cdot \cos^2(a_i) \cdot \tan(fi)) \cdot zc_i - \\ & - \sum_i (W_i \cdot \sin(a_i) \cos(a_i) \tan(fi)) \cdot xci - F \left[\sum_i (W_i \cos^2(a_i)) \cdot xci + \sum_i (W_i \sin(a_i) \cos(a_i)) \cdot zc_i \right] \end{aligned} \right\} \\ a_{32} &= \sum_i (f \cdot b \cdot \tan(a_i)) \cdot zc_i - \sum_i (f \cdot b \cdot \tan(a_i) \tan(fi)) \cdot xci - F \cdot \left[\sum_i (f \cdot b \cdot \tan(a_i)) \cdot zc_i + \sum_i (f \cdot b \cdot xci) \right] \\ a_{33} &= \sum_i (c_i \cdot b) \cdot zc_i - \sum_i (c_i \cdot b \cdot \tan(a_i)) \cdot xci \\ a_{34} &= \sum_i (u_i \cdot b \cdot \tan(fi)) \cdot zc_i - \sum_i (u_i \cdot b \cdot \tan(a_i) \tan(fi)) \cdot xci + F \cdot K_x \sum_i W_i \cdot ygi - (1 - K_y) \sum_i W_i \cdot xgi - Q_i \cdot ymi - P_i \cdot xmi \end{aligned}$$

4.2. Metodo di Bishop

Le ipotesi alla base dell'espressione di Bishop del coefficiente di sicurezza sono date da:

- superficie di scivolamento circolare;
- uguaglianza delle reazioni normali alle facce laterali dei conci.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^N \left[c_i \cdot b + (W_i(1 - K_v) - u_i \cdot b) \tan(fi) \right] \frac{\sec(a_i)}{1 + \tan(fi) \tan(a_i)}}{\sum_{i=1}^N W_i \left[(1 - K_v) \sin(a_i) + \frac{Kh \cdot dh_i}{R} \right]}$$

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Verifiche di stabilità per il progetto di sopraelevazione del colmo della discarica "Tiro a Segno" ubicata in Loc. Navacchio nel comune di Cascina (PI) gestita da Ecofor Service S.p.A.

dove:

- N = numero di conci in cui è suddiviso il pendio
- c_i = coesione alla base del concio i
- b = larghezza del concio
- W_i = peso del concio
- u_i = pressione interstiziale alla base
- f_i = angolo di attrito del terreno alla base del concio
- a_i = inclinazione della base del concio
- K_v = coefficiente sismico verticale
- K_h = coefficiente sismico orizzontale
- R = raggio del cerchio di scivolamento
- dh_i = distanza verticale del profilo superiore del concio dal centro della superficie di scivolamento

Tale espressione del coefficiente di sicurezza F risulta in forma implicita, pertanto viene risolta per via iterativa.

4.3. Metodo di Jambu

L'ipotesi alla base del metodo è la conoscenza della posizione della linea di spinta, pertanto risultano noti i bracci delle reazioni laterali ai conci.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^N A_i}{\sum_{i=1}^N B_i}$$

posto:

$$A_i = \left[c_i + \left(\frac{dW}{b} + \frac{dX}{b} - u_i \right) \tan(f_i) \right] \frac{b}{n_i}$$

$$n_i = \frac{1 + \frac{\tan(a_i) \tan(f_i)}{F}}{1 + \tan^2(a_i)}$$

$$B_i = Q_i + K_h \cdot W_i + (dW + dX) \tan(a_i)$$

dove, oltre alle quantità già definite per il metodo di Bishop, si definiscono le ulteriori grandezze:

- $dW = W_i + P_i$
- P_i = forze verticali esterne agenti sul concio i
- Q_i = forze orizzontali sulla superficie esterna
- dX = differenza tra le forze tangenziali sulle superfici opposte del concio, che scaturiscono dallo equilibrio alla rotazione delle forze statiche e delle forze sismiche.

Il coefficiente di sicurezza F viene determinato in via iterativa, ponendo al primo tentativo $dX = 0$ ed $n_i = 1$.

4.4. Metodo di Sarma

Il metodo si basa sul calcolo recursivo delle reazioni mutue tra i conci, in modo da ottenere la convergenza con le condizioni al contorno.

L'incremento di componente verticale della reazione, da valle a monte, è dato da:

$$dX_i = \frac{\sum_{i=1}^N D_i \cdot (y_i - y_g)}{\sum_{i=1}^N P_{S_i} \cdot [(x_i - x_g) + (y_i - y_g) \tan(ff_i - a_i)]} P_{S_i}$$

essendo:

$$D_i = W y_i \tan(ff_i - a_i) + \frac{c_f \cdot b \cdot \cos(ff_i) \sec(a_i) - u_i \cdot b \cdot \sin(ff_i)}{\cos(a_i) \cos(ff_i) + \sin(a_i) \sin(ff_i)}$$

Sono note quindi le reazioni alla base del concio:

$$N_i = \frac{[W y_i + dX_i - c_f \cdot b \cdot \tan(a_i) + u_i \cdot b \cdot \tan(ff_i)] \cdot \cos(ff_i)}{\cos(a_i) \cos(ff_i) + \sin(a_i) \sin(ff_i)}$$

$$T_i = \frac{c_f \cdot b \cdot \cos(ff_i) + (W y_i + dX_i) \sin(ff_i) - u_i \cdot b \cdot \sin(ff_i) \cos(a_i)}{\cos(a_i) \cos(ff_i) + \sin(a_i) \sin(ff_i)}$$

e quindi l'incremento di componente orizzontale della reazione:

$$dE_i = T_i \cdot \cos(a_i) - N_i \cdot \sin(a_i) - W x_i$$

dove, oltre alle quantità già definite per il metodo di Bishop, si definiscono le ulteriori grandezze:

- $ff_i = \arctan \frac{\tan(ff_i)}{F}$
- $c_f = \frac{c_i}{F}$
- x_i, y_i = coordinate cartesiane del baricentro del concio
- x_G, y_G = coordinate cartesiane del baricentro della intera massa slittante
- $W y_i$ = peso proprio concio + risultante forze applicate e inerziali a componente verticale
- $W x_i$ = risultante delle forze applicate e inerziali a componente orizzontale
- P_{S_i} = funzione di Sarma, funzione dello stato tensionale del singolo concio
- N_i = reazione normale alla base del concio i
- T_i = reazione tangenziale alla base del concio i

5. VERIFICHE DI STABILITÀ

Sono state eseguite verifiche di stabilità del corpo rifiuti, sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, in corrispondenza della sezione considerata più gravosa, ossia con le maggiori pendenze e lunghezze delle scarpate, corrispondente al fianco Sud della colmata di discarica, (sezione A-A' riportata nella seguente Figura 2). La sezione in esame è rappresentativa dei rifiuti conferiti in passato nel lotto E, con quelli depositati con il progetto di messa in sicurezza permanente e recupero volumetrico (conferimento dei rifiuti RCA – stato autorizzato), oltre a quelli connessi con la sopraelevazione, relativa al progetto in esame. Nella stessa sezione sono riportati gli spessori di terreno connessi con il progetto di copertura definitiva.

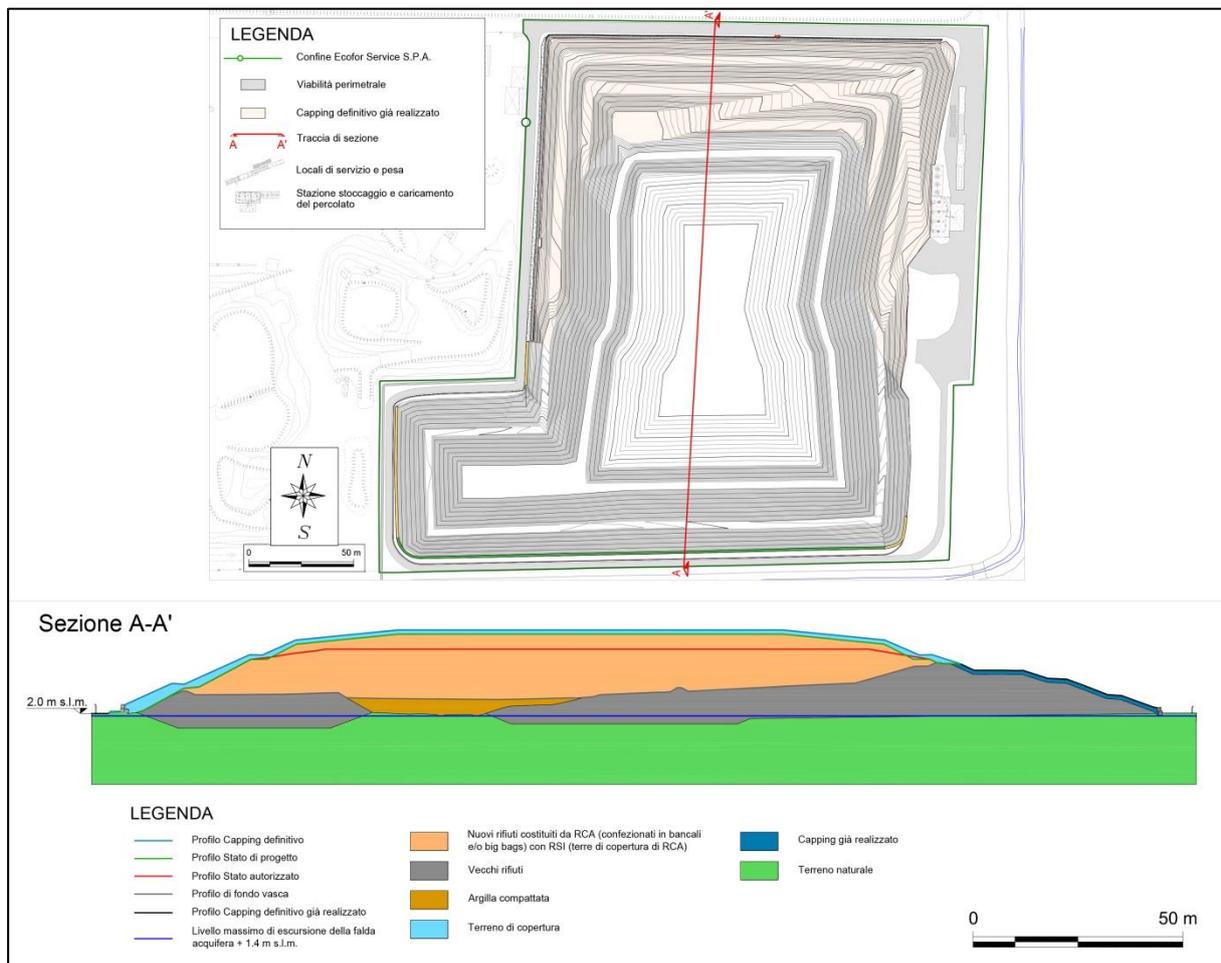


Figura 2 – geometria del problema sottoposto a verifica

La caratterizzazione geotecnica dei terreni in sito è stata desunta dalle considerazioni riportate nel progetto originario di "Messa in sicurezza dei lotti A+B+C+D e ripristino ambientale", nel quale erano state determinate le caratteristiche di resistenza e di deformabilità in condizioni drenate e non drenate di tutte le unità geologiche rinvenute nei terreni di sedime.

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Verifiche di stabilità per il progetto di sopraelevazione del colmo della discarica "Tiro a Segno" ubicata in Loc. Navacchio nel comune di Cascina (PI) gestita da Ecofor Service S.p.A.

Il modello stratigrafico è sostanzialmente costituito da tre differenti unità litotecniche:

- **Unità 1:** un primo strato dallo spessore di 5÷7 m di argilla limosa compatta di colore marrone verdastro o marrone bruno, fino a grigio – beige;
- **Unità 2:** un orizzonte, collocato tra 5 ÷ 7 m e 11 ÷ 15 m di profondità dal piano campagna, costituito da argilla limosa e limo argilloso – sabbioso, con lenti ed orizzonti di sabbia variamente limosa;
- **Unità 3:** un substrato, localizzabile oltre 11 ÷ 15 m di profondità, costituito prevalentemente da sabbie a granulometria medio-fine con scarsa presenza di frazioni limose.

Le caratteristiche di resistenza e deformabilità delle tre unità vengono sintetizzate in Tabella 1, nella quale sono riportate sia le caratteristiche di resistenza in condizioni drenate che in condizioni non drenate.

<i>Profondità dal p.c. (m)</i>	<i>Terreno</i>	γ' <i>(kN/m³)</i>	c' <i>(kPa)</i>	φ' <i>(°)</i>	c_u <i>(kPa)</i>	E <i>(MPa)</i>
0.00→ 5.00 ÷ 7.00	Argilla – limosa compatta di colore da marrone verdastro o marrone bruno fino a grigio beige	18	5	22	80	10
5.00÷7.00→11.0÷15.0	Argilla limosa e limo argilloso – sabbioso con lenti ed orizzonti di sabbia limosa e/o debolmente argillosa, debolmente limosa a granulometria generalmente fine	18	0	20	100	8
11.0 ÷ 15.0→30.0	Sabbia e sabbia debolmente limosa a granulometria medio fine	19	0	27	-	10

Tabella 1 – Caratteristiche geotecniche dei terreni in sito

Per quanto concerne la caratterizzazione geotecnica dei rifiuti, la parametrizzazione è stata desunta dalle considerazioni riportate nel progetto originario di messa in sicurezza dei lotti A+B+C+D e ripristino ambientale, nella quale erano state determinate le caratteristiche di resistenza e di deformabilità dei rifiuti presenti in posto e di quelli di nuovo conferimento.

Per i rifiuti RCA che sono stati conferiti, a seguito della trasformazione della discarica a cella monodedicata allo smaltimento di RCA, che corrisponde alla stessa tipologia di rifiuto che continuerà ad essere conferito anche con il progetto di sopraelevazione della discarica, occorre evidenziare che il loro conferimento avviene in bancali o big bags, che vengono coltivati giustapponendoli e sovrapponendoli in maniera da ottimizzare gli spazi a disposizione, come mostrato nelle figure seguenti.



Figura 3 – Abbancamento RCA nella discarica del Tiro a Segno

Stante la merceologia del materiale conferito - sostanzialmente afferente all'unica categoria degli inerti stabili - e delle modalità di coltivazione, si ritiene che la rottura di tali materiali, per avvenire lungo superfici di scorrimento di tipo circolare, debba necessariamente attraversare i bancali, rompendo le lastre giustapposte di Eternit. È quindi possibile affermare che il materiale in esame non si comporta come un terreno omogeneo ed isotropo, ma può essere assimilato ad un ammasso roccioso, caratterizzato da due famiglie di discontinuità: una parallela al piano di coltivazione ed una seconda (secondaria) ortogonale allo stesso (Figura seguente).



Figura 4 – La tessitura della discontinuità (le lastre) è parallela alla coltivazione mentre le discontinuità ortogonali alla coltivazione (termine del bancale) sono considerate discontinuità secondarie

Nella seguente tabella sono indicati i principali parametri geotecnici dei rifiuti, utilizzati per le verifiche di stabilità:

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Verifiche di stabilità per il progetto di sopraelevazione del colmo della discarica "Tiro a Segno" ubicata in Loc. Navacchio nel comune di Cascina (PI) gestita da Ecofor Service S.p.A.

<i>Parametrizzazione geotecnica dei rifiuti</i>			
<i>Coesione t/mq</i>	<i>Angolo attrito Grd</i>	<i>Densita' t/mc</i>	<i>Densità Saturo t/mc</i>
0.0	30.0	1.3	1.3

Tabella 2 – Parametri geotecnici dei rifiuti

5.1. Verifiche di stabilità in condizioni statiche e sismiche

Le verifiche di stabilità si conducono, come già accennato, esaminando un certo numero di possibili superfici di scivolamento, per ricercare quella che rappresenta il rapporto minimo tra la resistenza a rottura disponibile e quella effettivamente mobilitata; il valore di questo rapporto costituisce il coefficiente di sicurezza del pendio.

Scelta quindi una potenziale superficie di rottura, si procede suddividendo in conci la parte compresa fra la superficie del pendio e la superficie di verifica e si studia dapprima l'equilibrio della singola striscia e poi si passa alla stabilità globale.

Tali superfici sono state determinate con il metodo dell'imposizione della griglia dei centri delle superfici di scorrimento e delle linee di tangenza di tali superfici. Tale procedimento consiste nel definire la griglia in cui vengono localizzati i centri delle potenziali superfici di scorrimento circolari, le quali vengono poi individuate variando il raggio in relazione alle linee di tangenza; Il calcolo procede quindi con la valutazione dell'equilibrio di forze e momenti rispetto al punto. Tra le superfici generate viene quindi individuata quella più critica, che deve essere confrontata con il minimo della normativa.

Per il calcolo della stabilità è stato utilizzato il software di calcolo CDDWin – STS.

Le verifiche effettuate per la sezione di controllo in esame hanno fornito valori dei coefficienti di sicurezza che soddisfano la normativa vigente, sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche.

Nella Figura 5 sottostante è riportata la superficie critica di rottura del pendio, analizzata in condizioni statiche, ed i coefficienti di sicurezza derivanti dai diversi metodi di controllo utilizzati. La superficie più critica è rappresentata dal cerchio n. 20, che presenta i valori minimi di sicurezza pari a 1.33, individuati con tutti i metodi utilizzati.

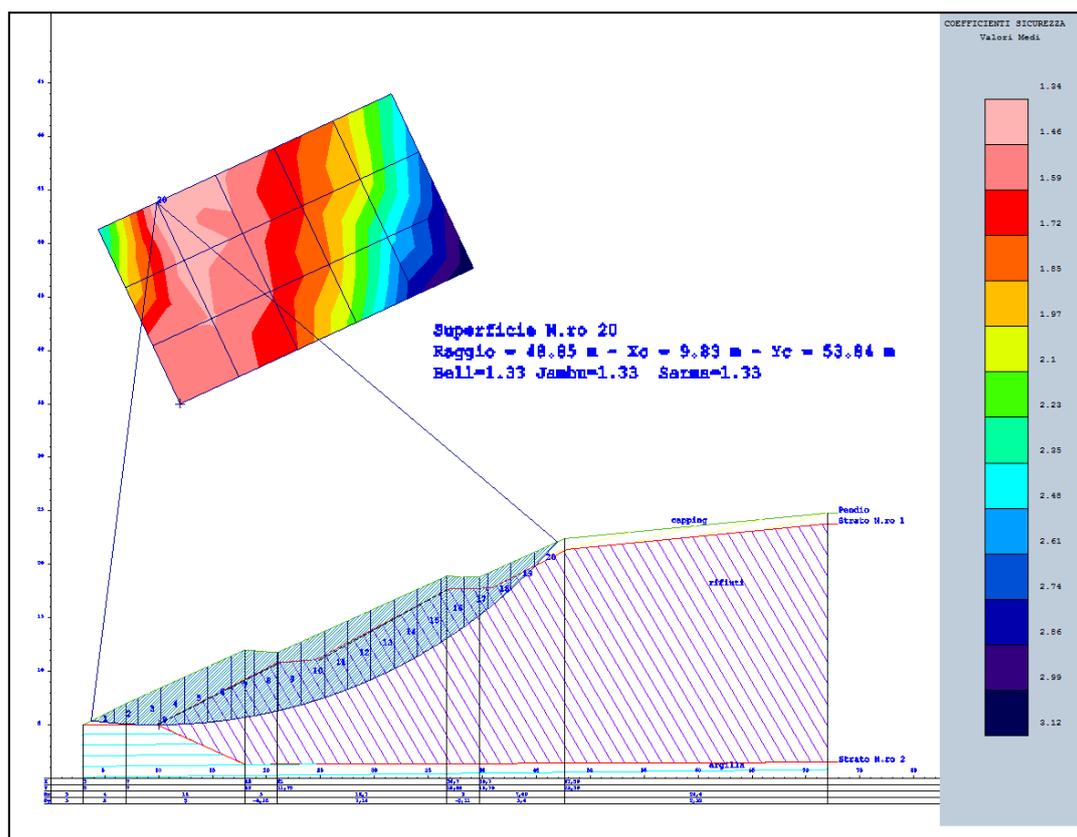


Figura 5 - Superficie critica Cerchio n.20 in condizioni statiche

Le verifiche di stabilità in condizioni sismiche sono state effettuate adottando il metodo pseudostatico, che consiste nel verificare la stabilità di una massa di terreno delimitata dalla superficie libera e dalla più sfavorevole delle superfici di potenziale scorrimento. Le forze agenti sono costituite, oltre che dal peso proprio del volume dei terreni interessati, dalle forze di inerzia dovute all'azione sismica: FH ed FV, rispettivamente le risultanti orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro della massa potenzialmente instabile.

Nella Tabella 3 sottostante sono riportate tutte le superfici critiche di rottura del pendio, analizzate in condizioni sismiche, ed i coefficienti di sicurezza derivanti dai diversi metodi di controllo utilizzati. La superficie più critica è rappresentata dal cerchio n. 20 che presenta i valori minimi di sicurezza pari a 1.17, individuato con il metodo Sarma.

COEFFICIENTI DI SICUREZZA DEL PENDIO											
N.ro Cerchio critico : 20											
Cerchi	Xc	Yc	Rc	Bishop	Jambu	Bell	MP - Fx = C	MP - Fx=sin	MP-Fx=sin/2	Sarma	Spencer
N.ro	(m)	(m)	(m)								
1	12,0	35,0	30,1		1,3975	1,3868				1,4018	
2	17,4	37,5	33,4		NON CONV.	1,3451				1,3264	
3	22,9	40,1	37,3		1,5602	1,4953				1,4774	
4	28,3	42,6	41,8		NON CONV.	1,8526				1,8334	
5	33,8	45,1	46,6		NON CONV.	2,3558				2,3384	
6	39,2	47,7	51,7		NON CONV.	2,5599				2,5118	
7	9,5	40,4	35,4		1,3187	1,3108				1,3243	
8	14,9	43,0	38,3		1,2961	1,2783				1,2659	
9	20,3	45,5	41,8		1,4193	1,3819				1,361	
10	25,8	48,0	45,8		1,6586	1,5772				1,5496	
11	31,2	50,6	50,3		2,2088	2,047				NON CONV.	
12	36,7	53,1	55,0		2,6533	2,388				2,359	
13	6,9	45,9	41,0		1,7804	1,7766				1,7769	
14	12,4	48,4	43,5		1,2275	1,2174				1,2054	

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Verifiche di stabilità per il progetto di sopraelevazione del colmo della discarica "Tiro a Segno" ubicata in Loc. Navacchio nel comune di Cascina (PI) gestita da Ecofor Service S.p.A.

COEFFICIENTI DI SICUREZZA DEL PENDIO											
N.ro Cerchio critico : 20				Bishop	Jambu	Bell	MP - Fx = C	MP - Fx=sin	MP-Fx=sin/2	Sarma	Spencer
Cerchi	Xc	Yc	Rc								
N.ro	(m)	(m)	(m)								
15	17,8	50,9	46,6		1,3323	1,306				1,2887	
16	23,2	53,5	50,2		1,5359	1,4787				1,4565	
17	28,7	56,0	54,3		1,7755	1,6759				1,6425	
18	34,1	58,6	58,7		2,3643	2,1801				2,1657	
19	4,4	51,3	46,7		2,1421	2,1353				2,1296	
20	9,8	53,8	48,8		1,1875	1,1794				1,17	
21	15,3	56,4	51,6		1,2721	1,2526				1,2384	
22	20,7	58,9	55,0		1,4373	1,3999				1,3797	
23	26,1	61,5	58,7		1,6544	1,5808				1,5546	
24	31,6	64,0	62,8		2,1035	1,9702				1,9513	

Tabella 3 – Coefficienti di sicurezza in condizioni sismiche

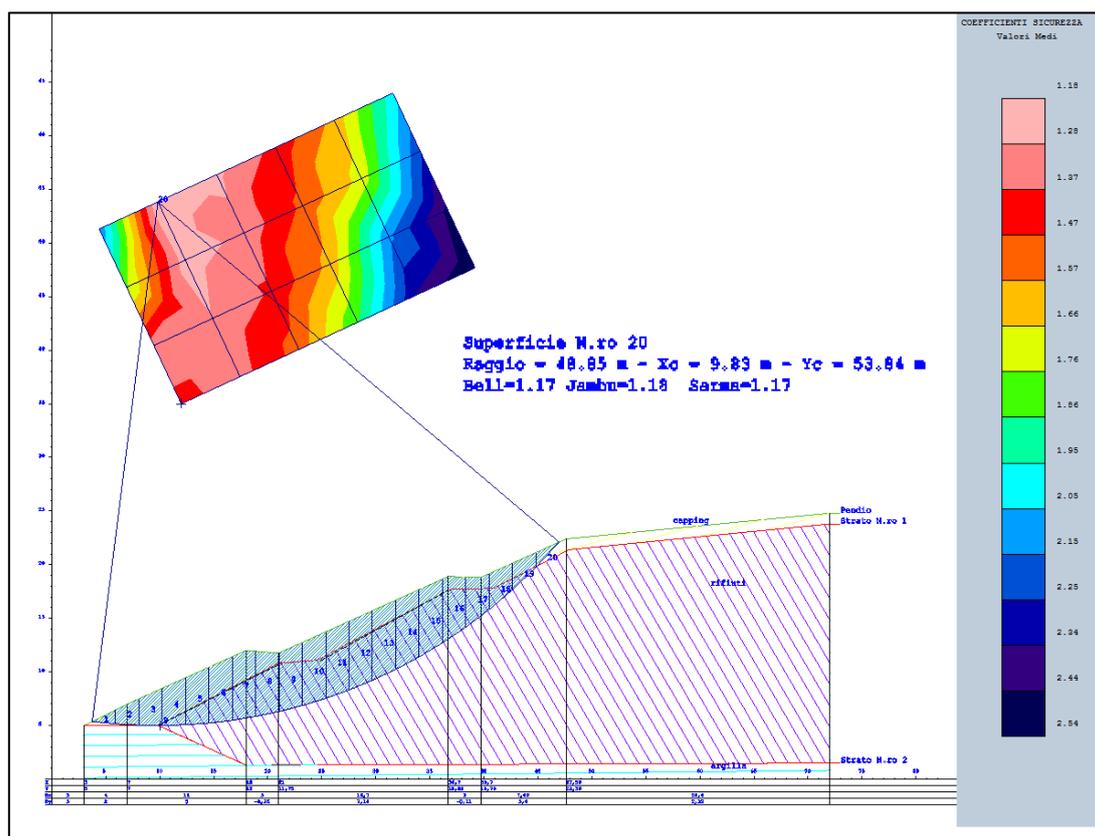


Figura 6 – Superficie critica Cerchio n.20

In Allegato 1 alla presente relazione sono riportate le tabelle di calcolo per il cerchio critico n.20, in condizioni sismiche.

5.2. Verifica di stabilità del capping sulla scarpata dei rifiuti

I manti di copertura di una discarica hanno una serie di diverse importanti funzioni, atte a garantire durabilità e sicurezza dell'impianto. Tra gli obiettivi del sistema di copertura in generale si ricordano: ridurre l'infiltrazione delle acque meteoriche all'interno del corpo della discarica, permettere la raccolta controllata del biogas, favorire il rinverdimento e consentire il recupero dell'area. Per tali ragioni la copertura delle discariche viene realizzata con sistemi

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Verifiche di stabilità per il progetto di sopraelevazione del colmo della discarica "Tiro a Segno" ubicata in Loc. Navacchio nel comune di Cascina (PI) gestita da Ecofor Service S.p.A.

multistrato, utilizzando una combinazione di materiali sovrapposti a pacchetto che prevedono solitamente del terreno di copertura, un sistema di drenaggio e una o più barriere impermeabili.

In tutti i casi in cui si utilizzino dei geosintetici (da soli o in geocompositi di varia struttura) al di sopra di pendii, il peso del materiale sovrastante i teli agisce in modo tale da indurre uno scivolamento del telo stesso verso valle. Ne risulta l'esigenza di verificare la stabilità del pendio sopra i geosintetici e di verificare i teli a trazione, nonché di predisporre efficaci sistemi di ancoraggio dei teli; occorre altresì valutare attentamente la resistenza che l'ancoraggio può opporre allo sfilamento, dato che questa non deve eccedere la resistenza a trazione propria del geosintetico. E' infatti preferibile che il telo si sfilasse dalla sua sede, piuttosto che subisca lacerazioni. Si deve inoltre verificare allo scivolamento il contatto tra il terreno di copertura e il piano d'appoggio.

La verifica di stabilità è stata pertanto condotta sullo strato di terra di copertura (capping) della scarpata, considerando la presenza al piede di un elemento rigido di tenuta formato da un muro a gravità di blocchi di cemento.

La superficie critica di scivolamento in esame è costituita dalla poligonale di separazione tra i due macro strati capping – rifiuti, separati da un pacchetto di geosintetici, nel quale per la geogriglia di rinforzo in polietilene il contributo di resistenza allo scivolamento viene considerato solo per contrastare l'assestamento dovuto alla compattazione in fase di esecuzione.

Nella tabella seguente è riportato il valore del coefficiente di sicurezza all'interfaccia tra i rifiuti ed il pacchetto di copertura, in condizioni sismiche, che risulta pari 1.15, individuato con il con il metodo di Bell.

COEFFICIENTI DI SICUREZZA DEL CAPPING							
<i>N.ro Superficie critica : 1</i>							
COEFFICIENTI DI SICUREZZA							
<i>Sup. N.ro</i>	<i>Bishop</i>	<i>Jambu</i>	<i>Bell</i>	<i>MP - Fx=C</i>	<i>MP - Fx=sin</i>	<i>MP-Fx=sin/2</i>	<i>Spencer</i>
1		1,20	1,15				

Tabella 4 – Coefficiente di sicurezza in condizioni sismiche

In Allegato 2 alla presente relazione sono riportate le tabelle di calcolo.

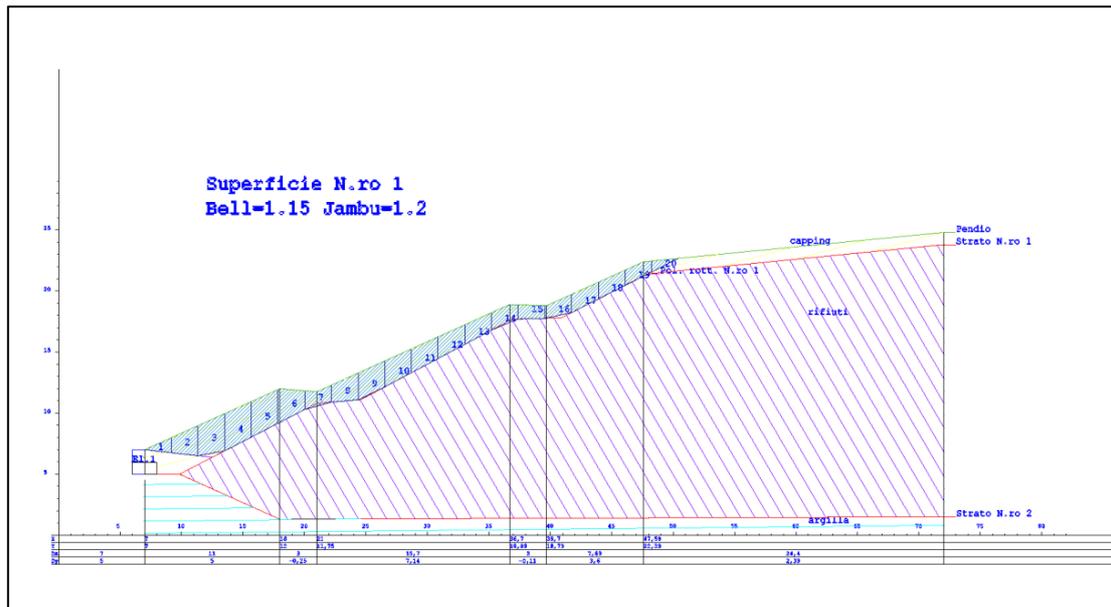


Figura 7 – Superficie critica terreno del capping

Considerando invece tutte le superfici critiche di rottura nello spessore dei terreni di copertura, si osserva che la superficie più critica, in condizioni sismiche, è rappresentata dal cerchio n. 19, che presenta i valori minimi di sicurezza pari a 1.37, con tutti i metodi di calcolo utilizzati.

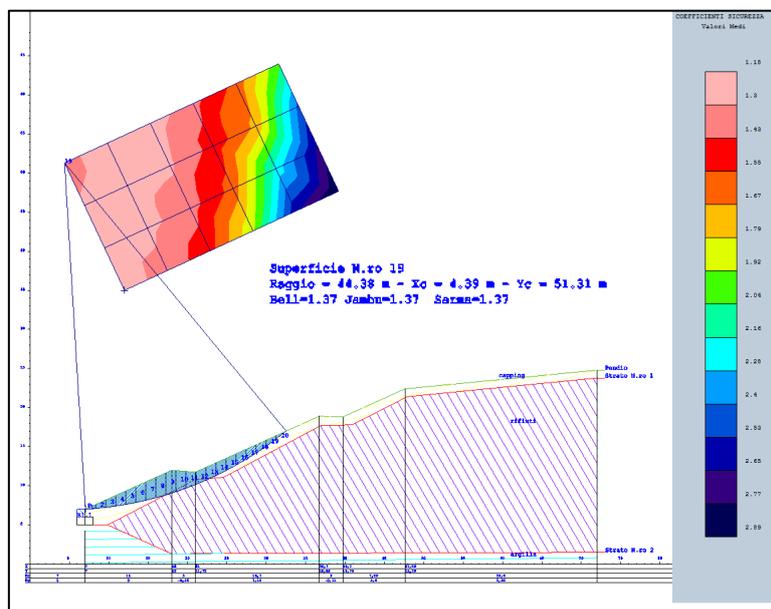


Figura 8 - Superficie critica Cerchio n.19

Al fine di migliorare la stabilità dello strato di capping per gli effetti di scorrimento superficiale, indotti dalla sua compattazione in fase di realizzazione dell'opera, il progetto prevede di inserire alla base dei terreni di copertura definitiva una geogriglia di rinforzo in polietilene da 100 KN, quale carico ammissibile a trazione. Per tale sforzo limite è stato determinata la

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Verifiche di stabilità per il progetto di sopraelevazione del colmo della discarica "Tiro a Segno" ubicata in Loc. Navacchio nel comune di Cascina (PI) gestita da Ecofor Service S.p.A.

lunghezza di ancoraggio ed il coefficiente di sfilamento C_{sf} che dovrà risultare $>$ di 1. Nella Tabella 5 sottostante sono riportate le verifiche condotte.

L'ancoraggio della geogriglia, presente all'interno del pacchetto di copertura, verrà realizzato con solo runout in corrispondenza delle ribanche intermedie. Nella realizzazione di un ancoraggio con solo runout, il lembo eccedente di geosintetico è disposto orizzontalmente sul terreno e quindi ricoperto con materiale di riporto opportunamente compattato. La stabilità del geosintetico è affidata in questo caso al peso del terreno di copertura del runout che, trasmettendo al geosintetico una sollecitazione normale sulla faccia superiore del telo, incrementa le resistenze per attrito sulle due facce del geosintetico che si oppongono alle tensioni lungo il telo, che altrimenti ne causerebbero lo scivolamento.

RISULTATI VERIFICHE GEOGRIGLIE							
Superficie N.ro: 1				Superficie N.ro: 1			
Geogr. N.ro	Coeff. Sfilamento	Lungh.anc. (m)	Traz.Geogr (t)	Geogr. N.ro	Coeff. Sfilamento	Lungh.anc. (m)	Traz.Geogr (t)
1	1,56	2,05	10,00	2	1,51	2,54	10,00

Tabella 5 – Verifiche condotte per la geogriglia di rinforzo

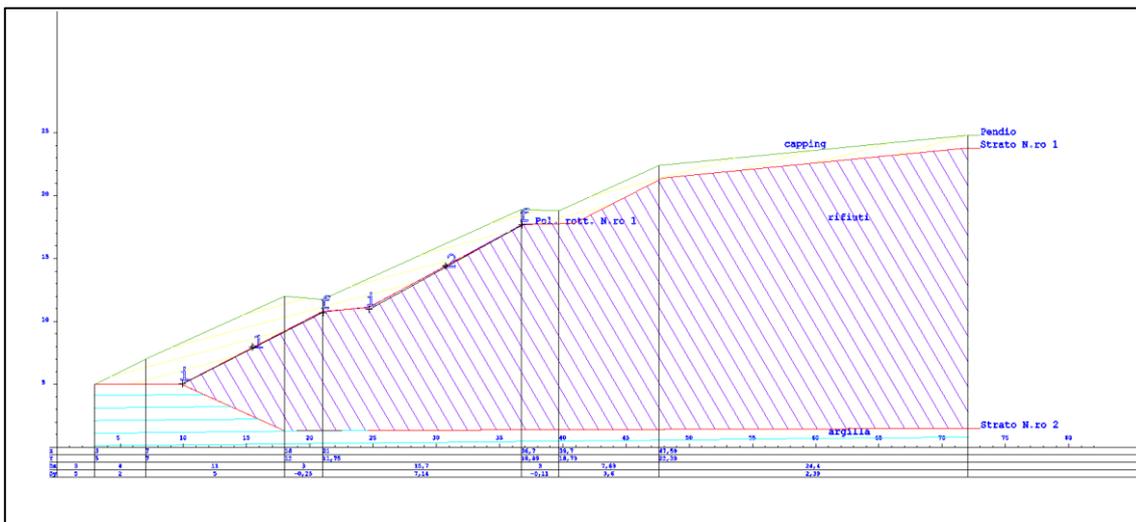


Figura 9 Schema di inserimento della geogriglia di rinforzo

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Verifiche di stabilità per il progetto di sopraelevazione del colmo della discarica "Tiro a Segno" ubicata in Loc. Navacchio nel comune di Cascina (PI) gestita da Ecofor Service S.p.A.

6. VERIFICA ELEMENTO RIGIDO DI TENUTA AL PIEDE DEL CAPPING

L'opera di sostegno al piede, prevista nel progetto di capping definitivo della colmata, è realizzata con un ordine singolo di geoblocchi, posto al piede interno dell'opera, e da un ordine doppio di geoblocchi, disposto frontalmente ai primi. I geoblocchi sono in cls e presentano forma cubica di dimensioni 1.0 x1.0 x 1.0 m. Gli stessi risultano disposti su un piano realizzato con stabilizzato di cava.

Le verifiche del muro di sostegno prefabbricato, realizzato in geoblocchi in cls posto al piede della colmata, sono state eseguite in conformità con le nuove norme tecniche per le Costruzioni (NTC 2008), che vengono applicate alle opere di sostegno, intese come tutte le opere geotecniche e gli interventi atti a sostenere in sicurezza un corpo di terreno, o di materiale con comportamento simile.

Le verifiche sono state condotte seguendo i diversi approcci indicati dalla normativa ed hanno previsto le seguenti verifiche:

- verifica allo scorrimento;
- verifica al ribaltamento;
- verifica al carico limite;
- verifica della stabilità globale.

Per le verifiche del muro di sostegno è stato utilizzato il software Max 10 – Aztec.

Nella Figura 10 seguente è riportato lo schema di realizzazione dell'opera di piede realizzata in geoblocchi.

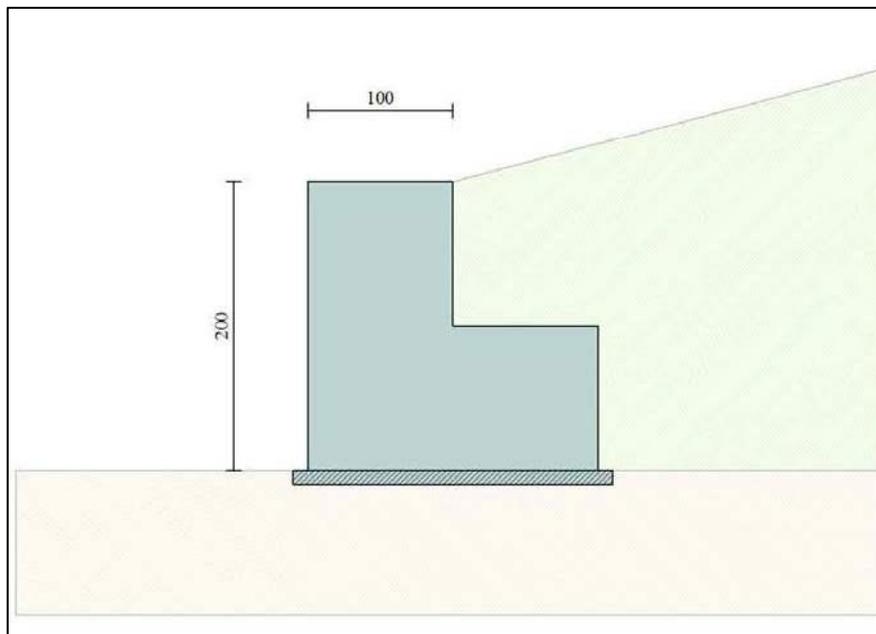


Figura 10 – Schema del muro oggetto di verifica

Le tabelle di calcolo delle verifiche condotte sono riportate in Allegato 3 alla presente relazione, mentre nella tabella sottostante sono riportati i coefficienti di sicurezza, per le diverse verifiche eseguite, in condizioni sismiche.

Verifica sismica	Coefficiente di sicurezza (F_s)
Verifica allo scorrimento	1.18
Verifica al ribaltamento	3.40
Verifica al carico limite	1.50
Verifica della stabilità globale	1.37

Tabella 6 – Coefficienti di sicurezza

La verifica della stabilità globale ha tenuto conto del complesso terreno di copertura e muro di sostegno, individuando il cerchio critico passante per la base dello stesso.

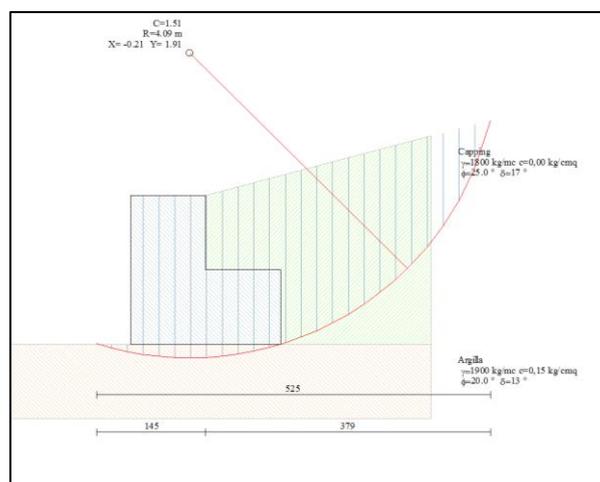


Figura 11 – Schema di verifica terreno + muro di sostegno

Tutte le verifiche condotte mostrano un grado di sicurezza più che accettabile e tale da garantire la perfetta funzionalità di tutte le opere nel loro complesso.

7. STUDIO DEI CEDIMENTI

Lo studio dei cedimenti è stato affrontato con lo scopo di verificare i seguenti aspetti:

- verificare la presenza dei franchi di sicurezza sopra la falda (che presenta una escursione massima fino a quota 1.40 m s.l.m.);
- verificare che la distorsione del manto in CCL e della geomembrane in HDPE accoppiate sia congruente con i limiti necessari affinché si possa assicurare la loro integrità nel tempo.

Le verifiche sono state condotte in corrispondenza della sezione B-B' riportata nella figura seguente, corrispondente al tratto di nuova vasca compreso fra i lotti di denominati A+B+C+D ed il lotto E, realizzata con il progetto di messa in sicurezza e ripristino ambientale. La sezione in esame risulta quella più gravosa sia in termini di volumi che di altezze di abbancamento, sia in relazione alla distanza del piano di campagna dalla falda.

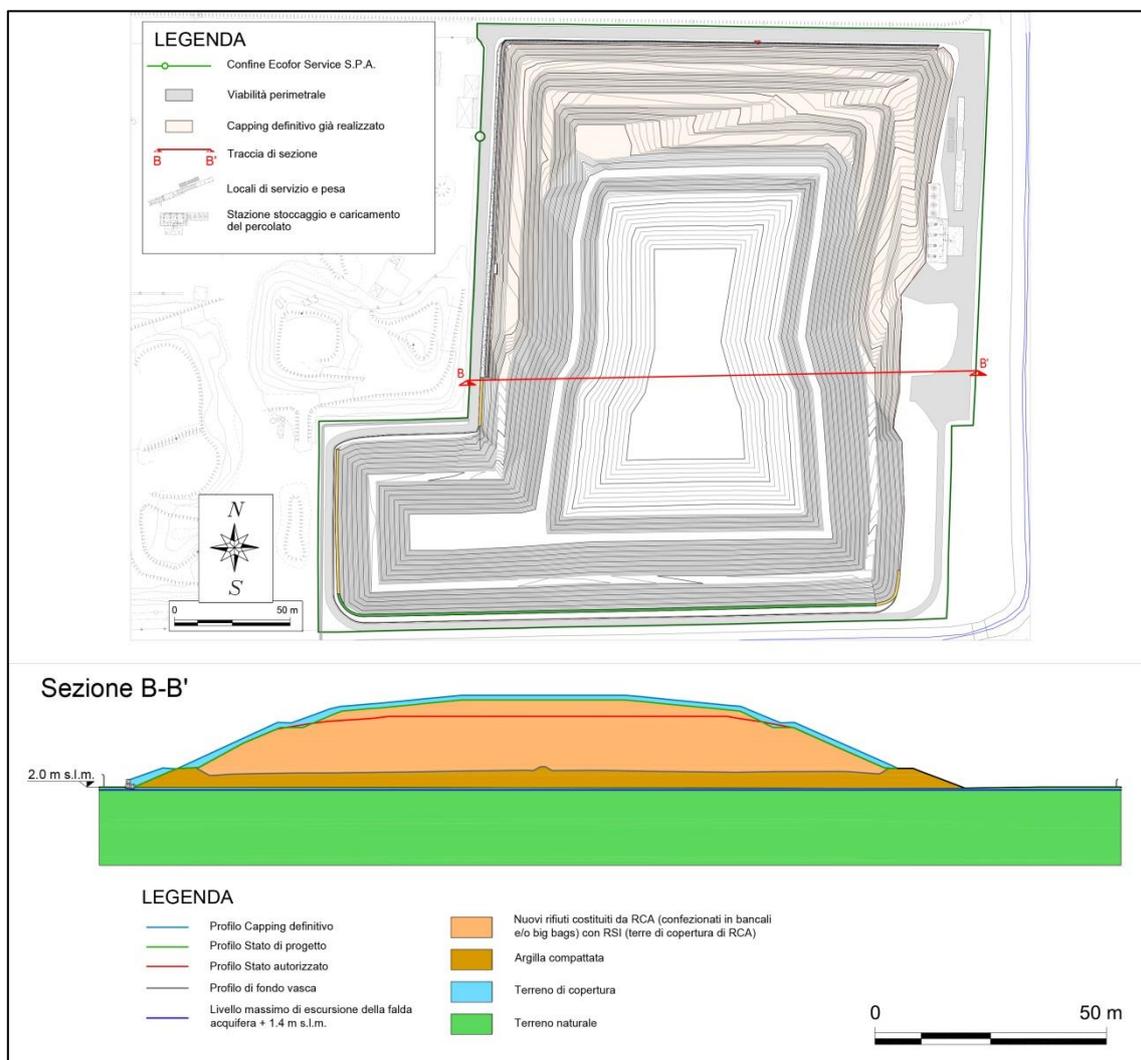


Figura 12 – Planimetria con sezione di calcolo

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Verifiche di stabilità per il progetto di sopraelevazione del colmo della discarica “Tiro a Segno” ubicata in Loc. Navacchio nel comune di Cascina (PI) gestita da Ecofor Service S.p.A.

7.1. Individuazione delle soglie limite per le verifiche

Stante quanto detto in premessa, per quanto riguarda il punto 1, ovvero la verifica della distanza minima da tenere nei confronti della falda, il limite a cui si fa riferimento è quello espresso nel Decreto Legislativo n.36 del 2003, dove al punto 2.4.2 dell'All.1 si indica una distanza minima dalla massima escursione della falda pari a 2.0 m (per gli acquiferi non confinati), cui va aggiunta una barriera minerale di 100 cm di argilla compattata, accoppiata con una geomembrana.

Per quanto riguarda i manti in argilla compattata (CCL), invece, per determinare il limite di distorsione accettabile si può far riferimento a studi bibliografici (Jessberger & Stone 1991), che riportano la portata di infiltrazione in funzione della distorsione stessa, legata soprattutto al manifestarsi di fenomeni di rottura (*tension crack*). Tali studi, realizzati in laboratorio tramite centrifuga, indicano che per una deformazione angolare compresa tra 5° e 6° l'infiltrazione attraverso la barriera subisce un brusco incremento, mantenendosi poi elevata (Figura 13).

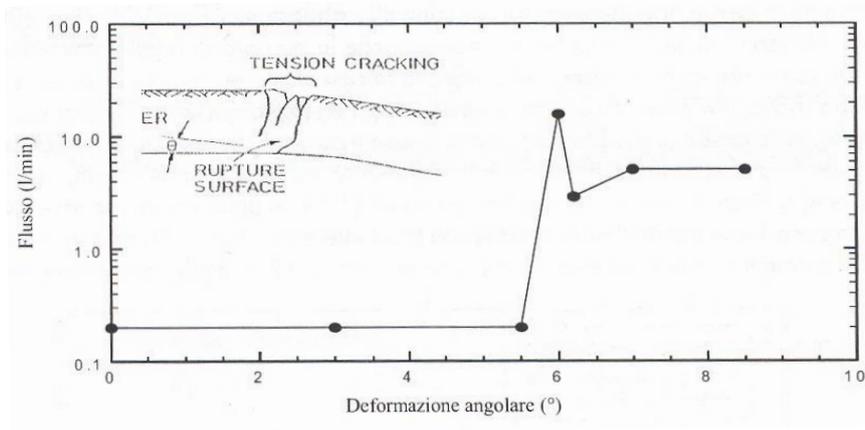


Figura 13 – Definizione della deformazione angolare e dell’infiltrazione in corrispondenza della variazione della deformazione in gradi (Jessberger & Stone 1991)

L'implicazione pratica di tali studi è che, in termini generali, il cedimento differenziale ($\Delta L/L$) espresso in percentuale può compromettere le barriere minerali quando la distorsione angolare risulti superiore a circa il 9.5% (il valore è compreso tra la $\tan 5^\circ$ e la $\tan 6^\circ$ ovvero tra il 8.74% e il 10.51%), in quanto possono manifestarsi fenomeni di rottura che interessano tutto il manto ed i flussi di infiltrazione ne risulterebbero aumentati indefinitamente. Per tale ragione appare corretto fissare questo valore come soglia limite della deformazione distorsiva ammissibile per i manti.

Per quanto concerne la geomembrana accoppiata, è noto che queste hanno limitate resistenze meccaniche a trazione. Studi condotti (Giraud 1984) hanno mostrato come l'allungamento a rottura delle stesse si riduca a valori di deformazione percentuali del 10 -13 % in corrispondenza di carichi concentrati.

Diversi autori hanno quindi proposto di assumere un coefficiente di sicurezza pari a 1.5 - 2.0 (Chourey – Curtis e Butchko, 1992) sul massimo allungamento ammissibile ed accettabile in fase progettuale: in base a tali premesse ne deriva quindi che la massima deformazione possibile deve essere contenuta in valori che oscillano tra il 5 ed il 10%.

7.2. Calcolo dei cedimenti

In questa sede ci si è interessati soprattutto alla determinazione della deformata del fondo, finalizzata alla verifica dell'esistenza dei franchi minimi e della distorsione dei manti.

Per il calcolo dei cedimenti verticali del rilevato di discarica è stato usato il programma di calcolo CARL 12 con il metodo edometrico, che è il classico procedimento per il calcolo dei cedimenti in terreni a grana fina, proposto da Terzaghi.

L'implementazione del metodo è espressa secondo la seguente espressione:

$$\Delta H = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \sigma_i}{E_{ed,i}} \Delta z_i$$

dove:

- $\Delta \sigma$ è la tensione indotta nel terreno, alla profondità z , dalla pressione di contatto della fondazione;
- E_{ed} è il modulo elastico determinato attraverso la prova edometrica e relativa allo strato i -esimo;
- Δz rappresenta lo spessore dello strato i -esimo dello strato compressibile e per il quale si conosce il modulo elastico

Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito in condizioni non drenate, con il metodo Edometrico utilizzando il modulo edometrico. Per il calcolo dei cedimenti è stata impostata un'altezza dello strato compressibile pari a 36,50 m. Nel calcolo è stato inoltre considerato il sovraccarico di progetto, comprendente anche il capping definitivo.

Come visibile dalla deformata del fondo discarica, riportata nella Figura 14 successiva, il cedimento max complessivo atteso risulta essere, al centro della discarica, in corrispondenza della massima altezza di abbancamento dei rifiuti, di circa 48.5 cm, mentre ai bordi esterni il cedimento è minore e pari a circa 23.5 cm. Nell'Allegato 4 alla presente relazione sono riportate le tabelle di calcolo.

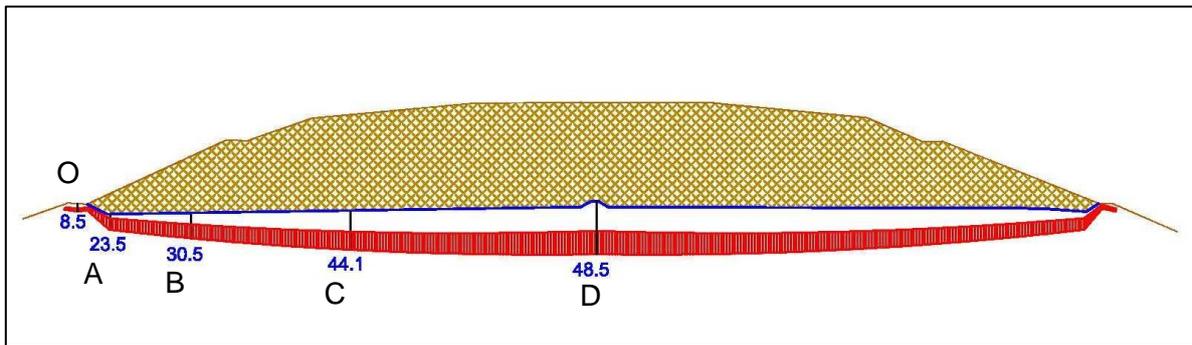


Figura 14 – Deformata del fondo discarica

Come evidenziato nella Figura 14 sopra riportata, a partire dai dati disponibili dal modello di calcolo è stato possibile ricostruire la deformata del fondo della vasca. Questo ha permesso di determinare l'evoluzione dei cedimenti e la differenza di spostamento verticale che si instaura nelle diverse parti del corpo discarica.

La verifica del rispetto dei limiti minimi di distanza del fondo della nuova vasca dalla falda è stata effettuata in corrispondenza dei punti di controllo O, A, B, C e D, indicati Figura 14.

Dalla stessa figura e da quanto riportato in Tabella 7, è possibile osservare che la quota originale della nuova vasca nel punto di minimo (A), corrispondente alla zona in cui sono collocati i punti di estrazione del percolato, è pari a 4.70 m s.l.m., e che il relativo cedimento verticale nel punto in esame è pari a 23.5 cm. Nello stesso punto (A) la quota a valle del cedimento risulta pari a 3.065 m e quindi è possibile affermare che il franco di sicurezza minimo di 3.0 m (considerando i 2.0 m addizionati con il metro del manto di argilla compattata) viene sempre garantito, in presenza dei massimi cedimenti che si vengono a realizzare con il progetto di sopraelevazione della discarica.

Sezione	Punto	Quota s.l.m. Fondo vasca [m s.l.m.]	Quota fondo vasca dopo cedimento [m s.l.m.]	δ	Quota max falda [m s.l.m.]	Delta (fra Quota post cedimento e quota max falda) (> 3 mt) [m]
B-B'	O	6.20	6.115	0.085	1.40	4.715
	A	4.70	4.465	0.235	1.40	3.065
	B	5.10	4.795	0.305	1.40	3.395
	C	5.30	4.859	0.441	1.40	3.459
	D	5.60	5.115	0.485	1.40	3.715

Tabella 7 - Determinazione dei franchi minimi di distanza dalla falda.

Nella Tabella 8 successiva sono invece riportati tutti i cedimenti, tratto per tratto, relativi alla sezione analizzata, con i rispettivi valori delle distorsioni angolari.

Anche in questo caso è possibile osservare come tali distorsioni si attestino tutte notevolmente al di sotto dei valori di soglia individuati in precedenza, pari al 9.5% per i manti in argilla ed al 5% per il cedimento differenziale dei teli in geomembrana.

DISTORSIONE DEI MANTI DI FONDO					
Sezione	Tratto	L [m]	δ [m]	ΔL	$\Delta L/L$ [%]
B-B'	O-A	7.3	0.235	0.145	1.98
	A-B	11.8	0.305	0.07	0.59
	B-C	23.6	0.441	0.136	0.57
	C-D	34.0	0.485	0.044	0.13
	A-D	69.0	0.250	0.250	0.36

Tabella 8 – Determinazione delle distorsioni dei manti di fondo

Da quanto esaminato risulta che entrambe le finalità riportate in premessa risultano soddisfatte, avendo determinato tanto il mantenimento dei franchi minimi di distanza dalla falda, quanto il mantenimento della distorsione dei manti in CCL e della relativa geomembrana in accoppiamento.

Il valore dei cedimenti attesi risulta quindi compatibile con le opere realizzate e con il progetto di sopraelevazione in esame.

Sulla base dei risultati ottenuti con le verifiche del cedimento è stato inoltre valutato l'effetto dei cedimenti differenziali sulla funzionalità nel tempo delle saldature della geomembrana potenzialmente più deboli" e della rete di captazione del percolato.

L'impermeabilizzazione del fondo della nuova vasca, su cui verrà effettuato il ricarica con il presente progetto di sopraelevazione, è stato realizzato con l'accoppiamento di una barriera minerale in argilla compattata ed una geomembrana in HDPE di spessore 2 mm. I lavori di posa in opera della geomembrana sono stati realizzati applicando una procedura di controllo qualità ai sensi della Norma UNI 10567. Il programma di controllo qualità, contenuto nella Norma, prevede:

- Controlli sul piano di posa della membrana
- Controlli di conformità della membrana
- Controllo dello stoccaggio dei teli
- Controllo qualità della messa in opera
- Controllo di qualità dei giunti di saldatura.

In merito al controllo di qualità dei giunti di saldatura la Norma UNI 10567 indica come limite inferiore di accettabilità delle saldature il 75% del valore della tensione nominale a snervamento della membrana vergine. Le membrane hanno la loro resistenza massima a snervamento intorno al 10% di allungamento. Le curve sforzi deformazione delle membrane hanno infatti un andamento abbastanza lineare nel tratto compreso fra l'inizio della trazione e l'inizio dello snervamento. In letteratura è indicata una deformazione massima a rottura del 5% ($F_s = 2.0$).

Pertanto, fissato un valore pari al 10% di allungamento del polimero vergine, ad ogni saldatura può essere associato un allungamento del 7.5% a rottura. Adottando inoltre lo

stesso valore di Fattore di sicurezza ($F_s=2.0$) si ha, quindi, che l'allungamento massimo ammissibile in corrispondenza delle saldature deve essere inferiore al 3.5%.

Tale valore, come risulta dall'analisi della Tabella 8, risulta ovunque rispettato in relazione ai maggiori cedimenti differenziali che si verificano sul fondo della nuova vasca.

Relativamente al sistema di drenaggio del percolato del fondo vasca la deformata del modello di calcolo evidenzia che le pendenze del fondo, a valle dei cedimenti, saranno comunque sufficienti a garantire una pendenza residua $\geq 1\%$, abbondantemente superiore ai limiti per consentire il drenaggio del percolato verso i punti di estrazione senza quindi compromettere l'efficienza del sistema di collettamento delle acque filtranti attraverso il corpo dei rifiuti verso i punti di estrazione. La stabilità e l'integrità delle tubazioni drenanti inoltre, per spessori tipici di materiali realizzati con caratteristiche PN10, è assolutamente garantita fino a distorsioni superiori al 10%, abbondantemente superiori a quanto rilevato nella presente relazione.

Allegato 1

Verifiche stabilità del pendio

1

SPECIFICHE DEI CAMPI DELLA TABELLA DI STAMPA

Numero conci	: Numero di conci in cui è suddiviso il pendio
Coefficiente sismico orizzontale	: Moltiplicatore del peso per la valutazione dell'inerzia sismica orizzontale
Coefficiente sismico verticale	: Moltiplicatore del peso per la valutazione dell'inerzia sismica verticale
Rapporto Hs/Hm	: Rapporto tra altezza della spinta e altezza del concio, nel metodo di Jambu
Ascissa punto passaggio cerchio (m)	: Ascissa del punto di passaggio imposto per tutti i cerchi di scorrimento
Ordinata punto passaggio cerchio (m)	: Ordinata del punto di passaggio imposto per tutti i cerchi di scorrimento
Ascissa polo (m)	: Ascissa del primo punto centro del cerchio di scorrimento
Ordinata polo (m)	: Ordinata del primo punto centro del cerchio di scorrimento
Numero righe maglia	: Numero di punti lungo una linea verticale, centri di superfici di scorrimento
Numero colonne maglia	: Numero di punti lungo una linea orizzontale, centri di superfici di scorrimento
Passo direzione 'X' (m)	: Distanza in orizzontale tra i centri delle superficie di scorrimento circolari
Passo direzione 'Y' (m)	: Distanza in verticale tra i centri delle superficie di scorrimento circolari

SPECIFICHE DEI CAMPI DELLA TABELLA DI STAMPA

La simbologia usata in tabella va interpretata secondo le descrizioni dei campi riportate di seguito:

Str. N.ro	: Numero dello strato
Descrizione strato	: Descrizione sintetica dello strato
Coesione	: Coesione
Ang. attr.	: Angolo di attrito interno del terreno dello strato in esame
Densità	: Peso specifico del terreno in situ
D. Saturo	: Peso specifico del terreno saturo
Vert. N.ro	: Numero del vertice della poligonale che definisce lo strato
Ascissa / Ordinata	: Coordinate dei vertici dello strato

SPECIFICHE DEI CAMPI DELLA TABELLA DI STAMPA

La simbologia usata in tabella va interpretata secondo le descrizioni dei campi riportate di seguito:

h	: altezza media del concio
L	: sviluppo larghezza alla base del concio
α	: inclinazione della base del concio
c	: coesione terreno alla base del concio
ϕ	: angolo di attrito interno alla base del concio
W	: peso del concio
hw	: altezza della falda dalla base del concio
Qw	: risultante delle pressioni interstiziali
Tcn	: Contributo elementi resistenti a taglio
Tgg	: Contributo geogriglie

SPECIFICHE DEI CAMPI DELLA TABELLA DI STAMPA

La simbologia usata in tabella va interpretata secondo le descrizioni dei campi riportate di seguito:

Ff	: risultante delle forze verticali concentrate
Fq	: risultante delle forze verticali distribuite
Fr	: forza verticale da contributo inerzia corpo rigido
Fs	: incremento sismico verticale di $W + Ff + Fq + Fr$
Ftot	: risultante forze verticali $W + Ff + Fq + Fr + Fs$

SPECIFICHE DEI CAMPI DELLA TABELLA DI STAMPA

La simbologia usata in tabella va interpretata secondo le descrizioni dei campi riportate di seguito:

Hf	: risultante delle forze orizzontali concentrate
Hq	: risultante delle forze orizzontali distribuite
Hr	: forza orizzontale da contributo inerzia corpo rigido
Htot	: risultante forze orizzontali, $Hf + Hq + Hr$, su profilo pendio
Hs	: azione sismica orizzontale di $W + Ff + Fq + Fr$

SPECIFICHE DEI CAMPI DELLA TABELLA DI STAMPA

La tabella di seguito esposta riporta le forze scambiate tra i vari conci secondo le teorie selezionate (*Bishop, Jambu e Bell*). La simbologia è da interpretarsi come appresso descritto:

Con. sx	: Concio a sinistra della superficie di separazione tra i due conci
Con. dx	: Concio a destra della superficie di separazione tra i due conci
F.or.	: Risultante delle forze (orizzontali) scambiate tra i due conci ortogonalmente alla superficie (verticale) di separazione
F.vert.	: Risultante delle forze (verticali) scambiate tra i due conci parallelamente alla superficie (verticale) di separazione

A) VERIFICA DI STABILITA' DEL PENDIO DEI RIFIUTI

La verifica viene condotta considerando anche il carico del successivo capping in terra sui rifiuti compattati

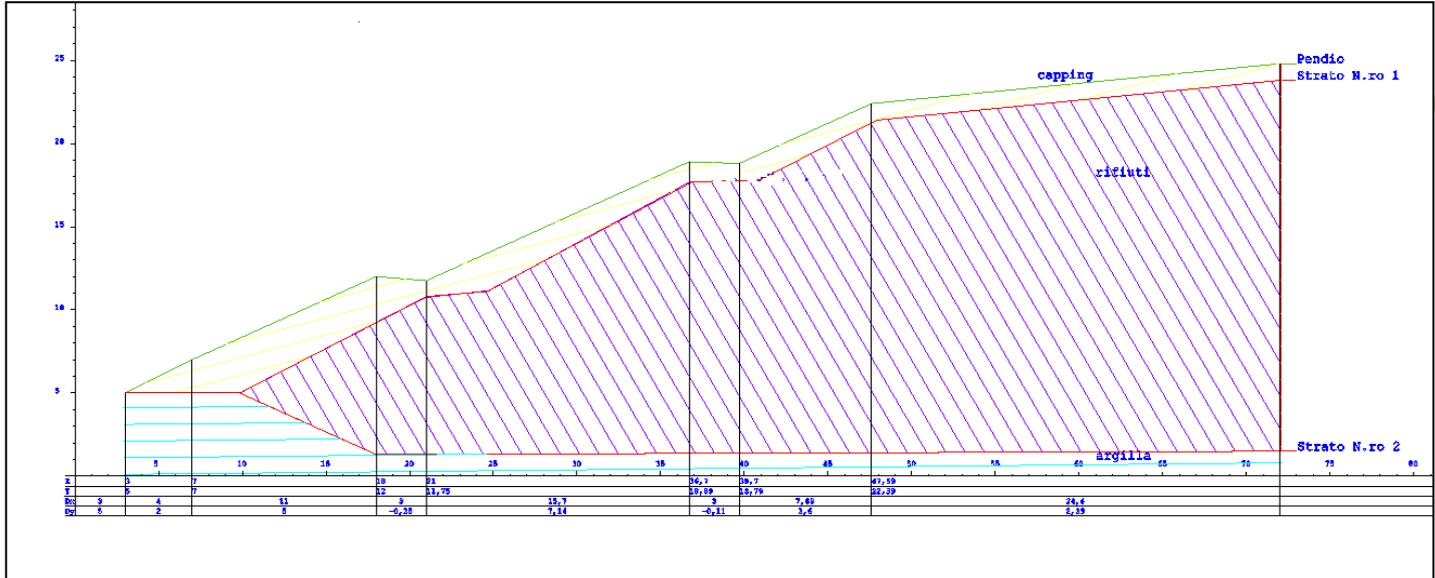
DATI GENERALI STABILITA' PENDIO	
DATI GENERALI DI VERIFICA	
Vita Nominale (Anni)	50
Classe d' Uso	SECONDA
Longitudine Est (Grd)	10,530
Latitudine Nord (Grd)	43,673
Categoria Suolo	C
Coeff. Condiz. Topogr.	1,000
Probabilita' Pvr	0,100
Periodo di Ritorno Anni	475,000
Accelerazione Ag/g	0,122
Fattore Stratigrafia 'S'	1,500
Coeff. Sismico Kh	0,043
Coeff. Sismico Kv	0,021
Numero conci :	20
Numero elementi rigidi:	0
Tipo Superficie di rottura :	CIRCOLARE PASSANTE PER UN PUNTO
Rapporto Hs/Hm :	0,30
COORDINATE PUNTO DI PASSAGGIO CERCHI DI ROTTURA	
Ascissa pto passaggio cerchio (m):	10,050
Ordinata pto passaggio cerchio (m):	5,000
PARAMETRI MAGLIA DEI CENTRI PER SUPERFICI DI ROTTURA CIRCOLARI	
Ascissa Polo (m):	12,000
Ordinata Polo (m):	35,000
Numero righe maglia :	6,0
Numero colonne maglia :	4,0
Passo direzione 'X' (m) :	6,00
Passo direzione 'Y' (m) :	6,00
Rotazione maglia (Grd) :	25,0
Peso specifico dell' acqua (t/mc) :	1,000
COEFFICIENTI PARZIALI GEOTECNICA TABELLA M2	
Tangente Resist. Taglio	1,25
Peso Specifico	1,00
Coesione Efficace (c'k)	1,25
Resist. a taglio NON drenata (cuk)	1,40
Coefficiente R2	1,10

4

DATI GEOTECNICI E STRATIGRAFIA								
Str. N.ro	Descrizione Strato	Coesione t/mq	Ang.attr Grd	Densita' t/mc	D.Saturo t/mc	Vert N.ro	Ascissa (m)	Ordinata (m)
	Profilo del pendio					1	3,00	5,00
						2	7,00	7,00
						3	18,00	12,00
						4	21,00	11,75
						5	36,70	18,90
						6	39,70	18,80
						7	47,60	22,40
						8	72,00	24,80
1	capping	1,000	20,00	1,900	2,000	1	3,00	5,00
						2	9,85	5,00
						3	21,00	10,80
						4	24,60	11,10
						5	36,90	17,70
						6	40,90	17,80
						7	47,90	21,40
						8	72,00	23,80

DATI GEOTECNICI E STRATIGRAFIA

Str. N.ro	Descrizione Strato	Coesione t/mq	Ang.attr Grd	Densita' t/mc	D.Saturo t/mc	Vert N.ro	Ascissa (m)	Ordinata (m)
2	rifiuti	0,000	30,00	1,200	1,200	1	9,89	4,97
						2	18,00	1,30
						3	72,03	1,50
3	argilla	10,000	20,00	1,800	1,900			

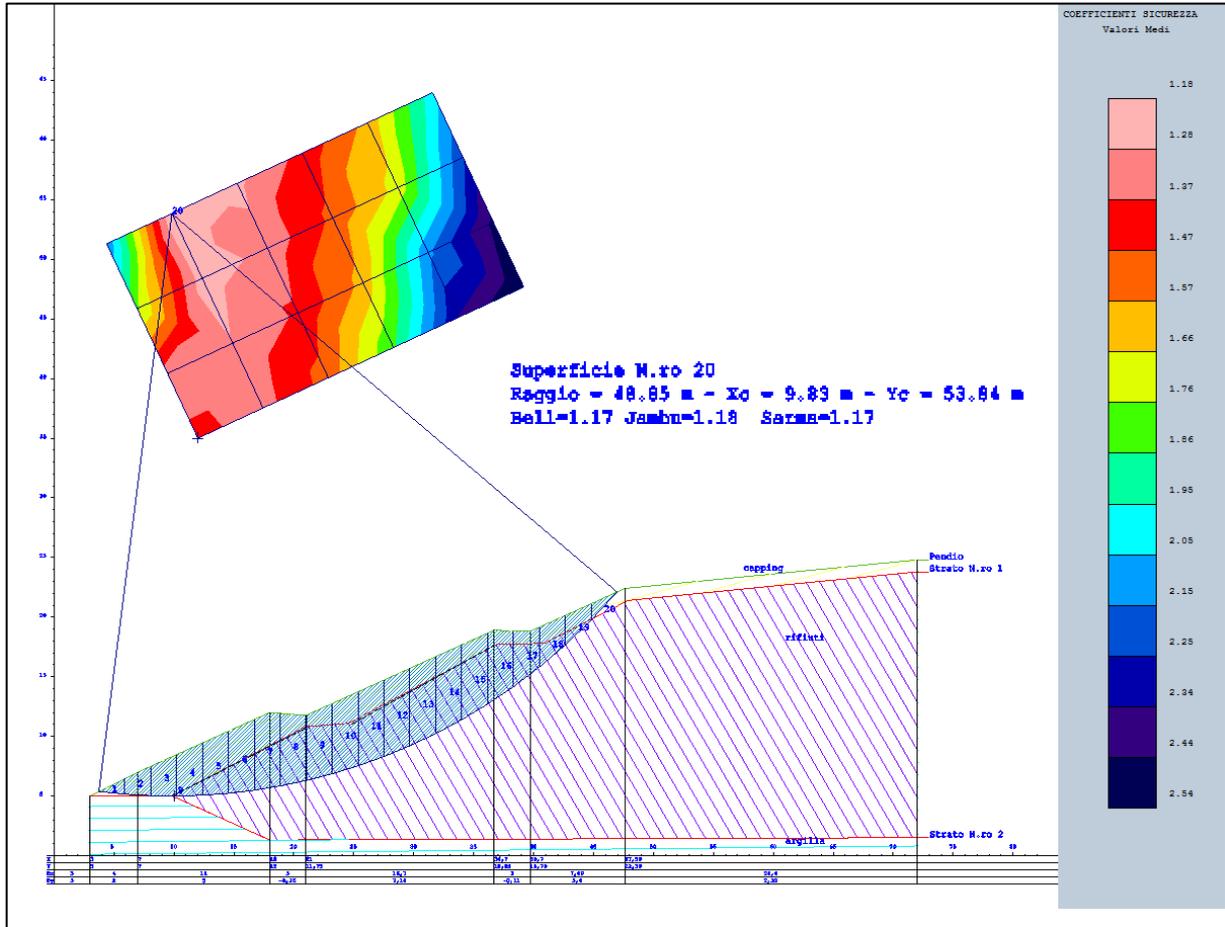


5

COEFFICIENTI DI SICUREZZA DEL PENDIO

N.ro Cerchio critico : 20				Bishop	Jambu	Bell	MP - Fx = C	MP - Fx=sin	MP-Fx=sin/2	Sarma	Spencer
Cerchi N.ro	Xc (m)	Yc (m)	Rc (m)								
1	12,0	35,0	30,1		1,3975	1,3868				1,4018	
2	17,4	37,5	33,4		NON CONV.	1,3451				1,3264	
3	22,9	40,1	37,3		1,5602	1,4953				1,4774	
4	28,3	42,6	41,8		NON CONV.	1,8526				1,8334	
5	33,8	45,1	46,6		NON CONV.	2,3558				2,3384	
6	39,2	47,7	51,7		NON CONV.	2,5599				2,5118	
7	9,5	40,4	35,4		1,3187	1,3108				1,3243	
8	14,9	43,0	38,3		1,2961	1,2783				1,2659	
9	20,3	45,5	41,8		1,4193	1,3819				1,361	
10	25,8	48,0	45,8		1,6586	1,5772				1,5496	
11	31,2	50,6	50,3		2,2088	2,047				NON CONV.	
12	36,7	53,1	55,0		2,6533	2,388				2,359	
13	6,9	45,9	41,0		1,7804	1,7766				1,7769	
14	12,4	48,4	43,5		1,2275	1,2174				1,2054	
15	17,8	50,9	46,6		1,3323	1,306				1,2887	
16	23,2	53,5	50,2		1,5359	1,4787				1,4565	
17	28,7	56,0	54,3		1,7755	1,6759				1,6425	
18	34,1	58,6	58,7		2,3643	2,1801				2,1657	
19	4,4	51,3	46,7		2,1421	2,1353				2,1296	
20	9,8	53,8	48,8		1,1875	1,1794				1,17	
21	15,3	56,4	51,6		1,2721	1,2526				1,2384	
22	20,7	58,9	55,0		1,4373	1,3999				1,3797	
23	26,1	61,5	58,7		1,6544	1,5808				1,5546	
24	31,6	64,0	62,8		2,1035	1,9702				1,9513	

SUPERFICIE CRITICA CERCHIO N.20



6

CARATTERISTICHE CONCI										
Superficie di Scorrimento N.ro: 20										
Concio N.ro	h (m)	L (m)	α (°)	c (t/mq)	ϕ (°)	W (t)	hw (m)	Qw (t)	Tcn (t)	Tgg (t)
1	0,65	2,17	-5,87	0,80	16,2	2,67	0,0	0,00	0,00	0,00
2	1,91	2,16	-3,33	0,80	16,2	7,82	0,0	0,00	0,00	0,00
3	2,96	2,16	-0,79	0,80	16,2	12,17	0,0	0,00	0,00	0,00
4	3,93	2,16	1,75	0,00	24,8	15,23	0,0	0,00	0,00	0,00
5	4,80	2,17	4,28	0,00	24,8	17,55	0,0	0,00	0,00	0,00
6	5,57	2,18	6,83	0,00	24,8	19,59	0,0	0,00	0,00	0,00
7	6,24	2,19	9,39	0,00	24,8	21,35	0,0	0,00	0,00	0,00
8	5,76	2,21	11,97	0,00	24,8	18,50	0,0	0,00	0,00	0,00
9	5,68	2,23	14,58	0,00	24,8	17,99	0,0	0,00	0,00	0,00
10	6,04	2,26	17,21	0,00	24,8	20,04	0,0	0,00	0,00	0,00
11	6,30	2,30	19,88	0,00	24,8	20,75	0,0	0,00	0,00	0,00
12	6,45	2,34	22,60	0,00	24,8	20,94	0,0	0,00	0,00	0,00
13	6,47	2,39	25,38	0,00	24,8	20,79	0,0	0,00	0,00	0,00
14	6,36	2,45	28,22	0,00	24,8	20,26	0,0	0,00	0,00	0,00
15	6,11	2,52	31,14	0,00	24,8	19,33	0,0	0,00	0,00	0,00
16	5,44	2,61	34,15	0,00	24,8	17,09	0,0	0,00	0,00	0,00
17	3,82	2,71	37,27	0,00	24,8	12,26	0,0	0,00	0,00	0,00
18	2,91	2,84	40,53	0,00	24,8	10,22	0,0	0,00	0,00	0,00
19	1,93	3,00	43,96	0,00	24,8	7,25	0,0	0,00	0,00	0,00
20	0,69	3,20	47,60	0,80	16,2	2,84	0,0	0,00	0,00	0,00

FORZE VERTICALI CONCI					
Superficie di Scorrimento N.ro: 20					
Concio N.ro	Ff (t)	Fq (t)	Fr (t)	Fs (t)	Ftot (t)
1	0,00	0,00	0,00	0,06	2,73
2	0,00	0,00	0,00	0,16	7,98

FORZE VERTICALI CONCI

Superficie di Scorrimento N.ro: 20					
Concio N.ro	Ff (t)	Fq (t)	Fr (t)	Fs (t)	Ftot (t)
3	0,00	0,00	0,00	0,26	12,43
4	0,00	0,00	0,00	0,32	15,55
5	0,00	0,00	0,00	0,37	17,92
6	0,00	0,00	0,00	0,41	20,00
7	0,00	0,00	0,00	0,45	21,80
8	0,00	0,00	0,00	0,39	18,89
9	0,00	0,00	0,00	0,38	18,37
10	0,00	0,00	0,00	0,42	20,46
11	0,00	0,00	0,00	0,44	21,18
12	0,00	0,00	0,00	0,44	21,38
13	0,00	0,00	0,00	0,44	21,23
14	0,00	0,00	0,00	0,43	20,69
15	0,00	0,00	0,00	0,41	19,74
16	0,00	0,00	0,00	0,36	17,45
17	0,00	0,00	0,00	0,26	12,52
18	0,00	0,00	0,00	0,21	10,44
19	0,00	0,00	0,00	0,15	7,40
20	0,00	0,00	0,00	0,06	2,89

FORZE ORIZZONTALI CONCI

Superficie di Scorrimento N.ro: 20					
Concio N.ro	Hf (t)	Hq (t)	Hr (t)	Htot (t)	Hs (t)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,65
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12

REAZIONI MUTUE FRA CONCI

Superficie N.ro: 20																	
		BISHOP		JAMBU		BELL		MP - Fx= C		MP - Fx = SIN		MP-Fx= SIN/2		SARMA		SPENCER	
Conc. sx	Conc. dx	F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)
1	1			0	0	0	0					0	0				
2	2			2.5	-1.2	2.2	0					0	0				
3	3			6.3	-2.9	5.9	-3					0	0				
4	4			10.5	-5.1	10.4	-9					0	0				
5	5			15.6	-7.5	15.8	-2.1					0	0				
6	6			20.3	-9.6	21.1	-3.5					0	0				
7	7			24.1	-10.4	26	-5.3					0	0				
8	8			26.8	-8.9	30.3	-7.2					0	0				
9	9			28.6	-9.9	33	-8.9					0	0				
10	10			29.7	-12.5	34.8	-10.3					0	0				
11	11			29.7	-13.4	35.7	-11.5					0	0				
12	12			28.6	-13.3	35.6	-12.3					0	0				
13	13			26.6	-12.6	34.4	-12.6					0	0				
14	14			23.6	-11.4	32.3	-12.2					0	0				



REAZIONI MUTUE FRA CONCI

Superficie N.ro: 20

Conc. sx	Conc. dx	BISHOP		JAMBU		BELL		MP - Fx= C		MP - Fx = SIN		MP-Fx = SIN/2		SARMA		SPENCER	
		F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)
14	15			19.8	-9.6	29.3	-11.1							0	0		
15	16			15.5	-6.7	25.7	-9.3							0	0		
16	17			10.9	-4.2	21.8	-7							0	0		
17	18			6.7	-3.2	18.5	-4.6							0	0		
18	19			2.9	-1.5	15.5	-2.1							0	0		
19	20			-1	.2	13.1	.2							0	0		
20				0	0	13.3	0							0	0		

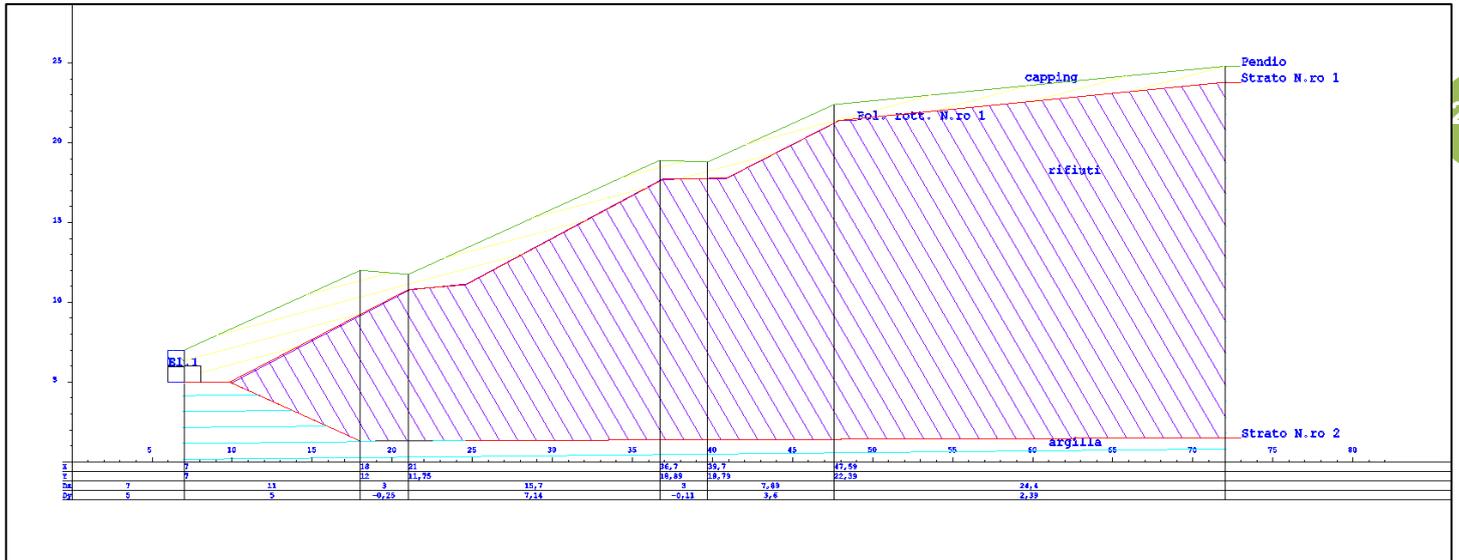
Allegato 2

Verifiche di stabilità del capping sulla scarpata dei rifiuti

A) VERIFICA DI STABILITA' DEL CAPPING SULLA SCARPATA DEI RIFIUTI

La verifica di stabilità viene condotta sullo strato di terra di copertura (capping) della scarpata dei rifiuti considerando al piede la presenza di un elemento rigido di tenuta formato da un muro a gravità di blocchi di cemento.

La superficie critica di scivolamento in esame è la poligonale di separazione dei due strati capping-rifiuti separati da una geogriglia in polietilene il cui contributo di resistenza allo scivolamento viene considerato solo per contrastare lo scivolamento dovuto alla compattazione in fase di esecuzione.



DATI GENERALI STABILITA' CAPPING	
DATI GENERALI DI VERIFICA	
Numero conci :	20
Numero elementi rigidi:	1
Tipo Superficie di rottura :	POLIGONALE
Rapporto Hs/Hm :	0,30
Peso specifico dell' acqua (t/mc) :	1,000
COEFFICIENTI PARZIALI GEOTECNICA TABELLA M2	
Tangente Resist. Taglio	1,25
Peso Specifico	1,00
Coesione Efficace (c'k)	1,25
Resist. a taglio NON drenata (cuk)	1,40
Coefficiente R2	1,10

DATI GEOTECNICI E STRATIGRAFIA								
Str. N.ro	Descrizione Strato	Coesione t/mq	Ang.attr Grd	Densita' t/mc	D.Saturo t/mc	Vert N.ro	Ascissa (m)	Ordinata (m)
	Profilo del pendio					1	7,00	5,00
						2	7,00	7,00
						3	18,00	12,00
						4	21,00	11,75
						5	36,70	18,90
						6	39,70	18,80
						7	47,60	22,40
						8	72,00	24,80
1	capping	1,000	20,00	1,900	2,000	1	6,99	5,00
						2	9,85	5,00
						3	21,00	10,80
						4	24,60	11,10
						5	36,90	17,70
						6	40,90	17,80

DATI GEOTECNICI E STRATIGRAFIA

Str. N.ro	Descrizione Strato	Coesione t/mq	Ang.attr Grd	Densita' t/mc	D.Saturo t/mc	Vert N.ro	Ascissa (m)	Ordinata (m)
						7	47,90	21,40
						8	72,00	23,80
2	rifiuti	0,000	30,00	1,200	1,200	1	9,89	4,97
						2	18,00	1,30
						3	72,03	1,50
3	argilla	10,000	20,00	1,800	1,900			

DATI POLIGONALE DI ROTTURA

Superficie N.ro	Vert. N.ro	Ascissa (m)	Ordinata (m)
1	1	7,01	7,00
	2	12,49	6,37
	3	21,00	10,80
	4	24,59	11,10
	5	36,90	17,70
	6	40,90	17,80
	7	47,93	21,40

DATI ELEMENTI RIGIDI

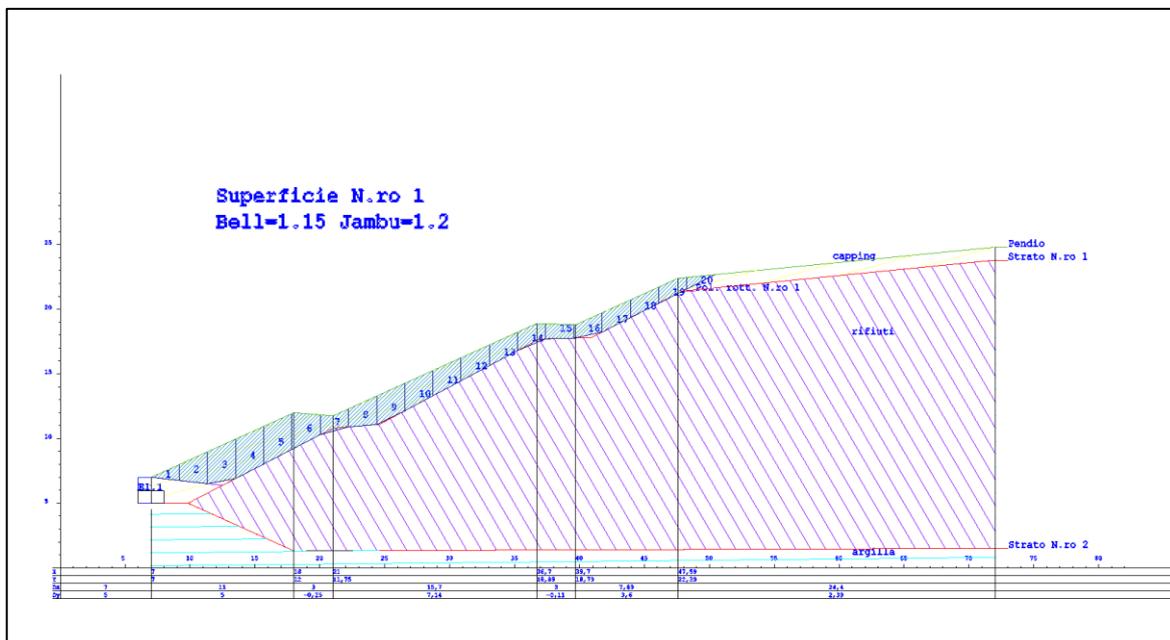
Elem. N.ro	Densita' t/mc	Dens.terr t/mc	Vert. N.ro	Ascissa (m)	Ordinata (m)
1	2,30	1,80	1	5,00	5,00
			2	5,00	6,00
			3	6,00	6,00
			4	6,00	7,00
			5	7,00	7,00
			6	7,00	5,00
			7	5,00	5,00

COEFFICIENTI DI SICUREZZA DEL CAPPING

N.ro Superficie critica : 1

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Sup. N.ro	Bishop	Jambu	Bell	MP - Fx=C	MP - Fx=sin	MP-Fx=sin/2	Spencer
1		1,2033	1,1561				



Si riportano di seguito i dati caratteristici di calcolo della superficie poligonale critica n. 1 :

CARATTERISTICHE CONCI										
Superficie di Scorrimento N.ro: 1										
Concio N.ro	h (m)	L (m)	α (°)	c (t/mq)	ϕ (°)	W (t)	hw (m)	Qw (t)	Tcn (t)	Tgg (t)
1	0,62	2,19	-6,56	0,80	16,2	2,55	0,0	0,00	0,00	0,00
2	1,85	2,19	-6,56	0,80	16,2	7,65	0,0	0,00	0,00	0,00
3	2,77	2,21	10,50	0,80	16,2	11,41	0,0	0,00	0,00	0,00
4	2,99	2,45	27,50	0,00	24,8	12,31	0,0	0,00	0,00	0,00
5	2,84	2,45	27,50	0,00	24,8	11,72	0,0	0,00	0,00	0,00
6	2,19	2,45	27,50	0,00	24,8	9,04	0,0	0,00	0,00	0,00
7	1,20	2,25	15,58	0,00	24,8	4,65	0,0	0,00	0,00	0,00
8	1,80	2,18	4,78	0,80	16,2	7,43	0,0	0,00	0,00	0,00
9	2,17	2,42	26,14	0,80	16,2	8,93	0,0	0,00	0,00	0,00
10	2,04	2,46	28,20	0,80	16,2	8,41	0,0	0,00	0,00	0,00
11	1,86	2,46	28,20	0,80	16,2	7,69	0,0	0,00	0,00	0,00
12	1,69	2,46	28,20	0,80	16,2	6,97	0,0	0,00	0,00	0,00
13	1,51	2,46	28,20	0,80	16,2	6,24	0,0	0,00	0,00	0,00
14	1,47	2,35	22,72	0,00	24,8	5,85	0,0	0,00	0,00	0,00
15	1,10	2,17	1,43	0,00	24,8	4,54	0,0	0,00	0,00	0,00
16	1,24	2,22	12,06	0,80	16,2	5,10	0,0	0,00	0,00	0,00
17	1,44	2,44	27,12	0,00	24,8	5,93	0,0	0,00	0,00	0,00
18	1,32	2,44	27,12	0,00	24,8	5,41	0,0	0,00	0,00	0,00
19	1,19	2,44	27,12	0,00	24,8	4,90	0,0	0,00	0,00	0,00
20	0,45	2,44	27,12	0,80	16,2	1,85	0,0	0,00	0,00	0,00

FORZE VERTICALI CONCI					
Superficie di Scorrimento N.ro: 1					
Concio N.ro	Ff (t)	Fq (t)	Fr (t)	Fs (t)	Ftot (t)
1	0,00	0,00	0,00	0,05	2,60
2	0,00	0,00	0,00	0,16	7,81
3	0,00	0,00	0,00	0,24	11,65
4	0,00	0,00	0,00	0,26	12,57
5	0,00	0,00	0,00	0,25	11,97
6	0,00	0,00	0,00	0,19	9,23
7	0,00	0,00	0,00	0,10	4,75
8	0,00	0,00	0,00	0,16	7,58
9	0,00	0,00	0,00	0,19	9,12
10	0,00	0,00	0,00	0,18	8,59
11	0,00	0,00	0,00	0,16	7,85
12	0,00	0,00	0,00	0,15	7,11
13	0,00	0,00	0,00	0,13	6,38
14	0,00	0,00	0,00	0,12	5,98
15	0,00	0,00	0,00	0,10	4,64
16	0,00	0,00	0,00	0,11	5,21
17	0,00	0,00	0,00	0,12	6,05
18	0,00	0,00	0,00	0,11	5,53
19	0,00	0,00	0,00	0,10	5,00
20	0,00	0,00	0,00	0,04	1,89

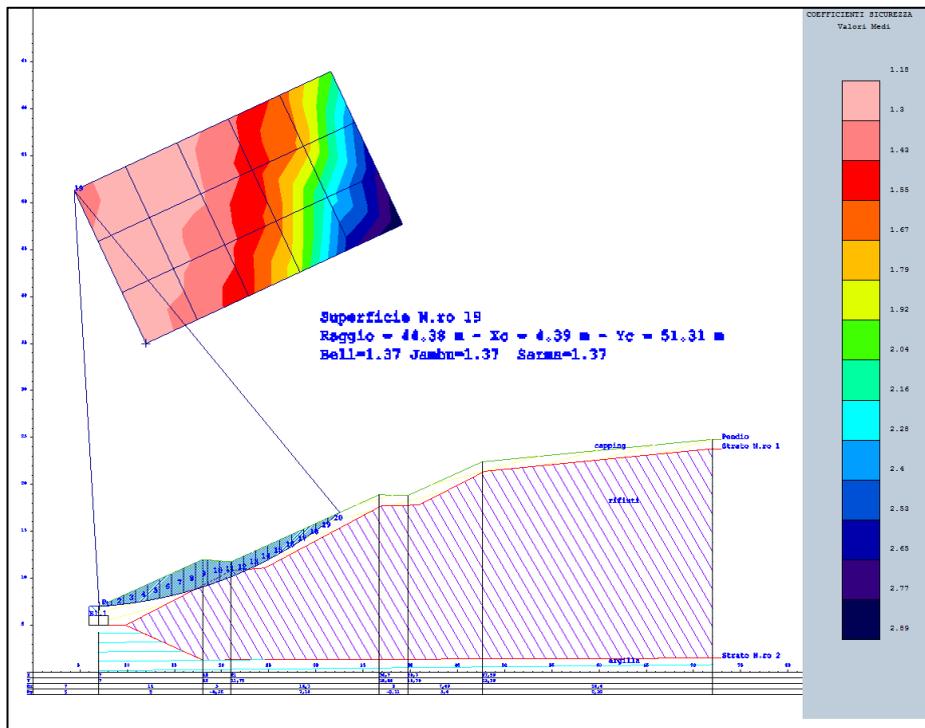
FORZE ORIZZONTALI CONCI					
Superficie di Scorrimento N.ro: 1					
Concio N.ro	Hf (t)	Hq (t)	Hr (t)	Htot (t)	Hs (t)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27

FORZE ORIZZONTALI CONCI					
Superficie di Scorrimento N.ro: 1					
Concio N.ro	Hf (t)	Hq (t)	Hr (t)	Htot (t)	Hs (t)
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08

REAZIONI MUTUE FRA CONCI																	
Superficie N.ro: 1																	
Conc. sx	Conc. dx	BISHOP		JAMBU		BELL		MP - Fx= C		MP - Fx = SIN		MP-Fx= SIN/2		SARMA		SPENCER	
		F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)	F.or. (t)	F.vert (t)		
	1			-1	0	0	0										
1	2			2.4	-1	2.2	.1										
2	3			6.7	-2.6	6.4	.2										
3	4			7.9	-3.8	8.3	-.7										
4	5			5.7	-2.8	6.6	-.6										
5	6			3.7	-1.5	5	-.5										
6	7			2.1	-.7	3.8	-.6										
7	8			2.2	-1	4.2	-1.1										
8	9			4.3	-2	6.7	-1.8										
9	10			3.2	-1.8	6.1	-1.9										
10	11			2.1	-1.2	5.3	-1.8										
11	12			1.2	-.7	4.8	-1.7										
12	13			.5	-.4	4.5	-1.5										
13	14			0	-.2	4.3	-1.3										
14	15			-.6	-.1	4.1	-1										
15	16			.8	-.5	5.6	-.8										
16	17			1.9	-1	7	-1										
17	18			.9	-.5	6.3	-.4										
18	19			0	0	5.7	.1										
19	20			-.9	.3	5.1	.4										
20				0	0	6	0										

5

Considerando invece il cerchio critico che interessa solo lo spessore del capping si hanno i seguenti coefficienti di sicurezza :



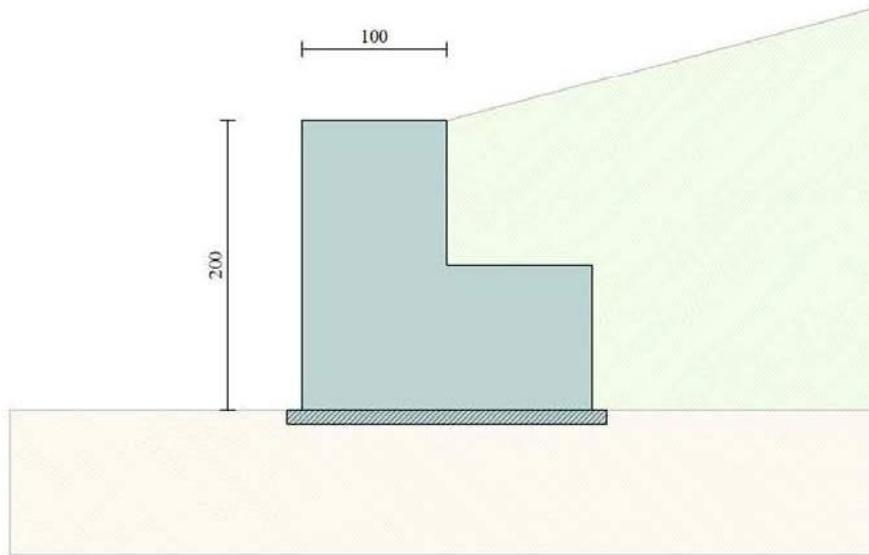
Al fine di migliorare la stabilità dello strato di capping per gli effetti di scorrimento superficiale indotti dalla sua compattazione in fase di esecuzione si prevede di inserire sopra la superficie dei rifiuti una geogriglia in

Allegato 3

Verifica elemento di tenuta ai piedi del capping

7

VERIFICA ELEMENTO RIGIDO DI TENUTA AL PIEDE DEL CAPPING



N.T.C. 2008 - Approccio 1

Simbologia adottata

- γ_{Gsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
- γ_{Gfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
- γ_{Qsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
- γ_{Qfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
- $\gamma_{\tan\phi'}$ Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
- γ_c Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
- γ_{cu} Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
- γ_{qu} Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
- γ_γ Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniaassiale delle rocce

Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>EQU</i>	<i>HYD</i>
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00	0,90	0,90
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00	1,10	1,30
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00	0,00	0,00

Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30	1,50	1,50
-----------	-------------	------------------	------	------	------	------

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M2</i>	<i>M1</i>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$		1,00	1,25	1,25	1,00
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$		1,00	1,25	1,25	1,00
Resistenza non drenata	γ_{cu}		1,00	1,40	1,40	1,00
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}		1,00	1,60	1,60	1,00
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}		1,00	1,00	1,00	1,00

Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>EQU</i>	<i>HYD</i>
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00	1,00	0,90
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00	1,00	1,30
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00	1,00	1,50

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M2</i>	<i>M1</i>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$		1,00	1,25	1,25	1,00
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$		1,00	1,25	1,25	1,00
Resistenza non drenata	γ_{cu}		1,00	1,40	1,40	1,00
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}		1,00	1,60	1,60	1,00
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}		1,00	1,00	1,00	1,00

FONDAZIONE SUPERFICIALE

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

Verifica	Coefficienti parziali		
	R1	R2	R3
Capacità portante della fondazione	1,00	1,00	1,40
Scorrimento	1,00	1,00	1,10
Resistenza del terreno a valle	1,00	1,00	1,40
Stabilità globale		1,10	

MURO A GRADONI IN CALCESTRUZZO

Descrizione dei gradoni

Simbologia adottata

Nr. numero d'ordine del gradone (a partire dall'alto)

Bs base superiore del gradone espressa in [m]

Bi base inferiore del gradone espressa in [m]

Hg altezza del gradone espressa in [m]

α_e inclinazione esterna del gradone espressa in [°]

α_i inclinazione interna del gradone espressa in [°]

Nr.	Bs	Bi	Hg	α_e	α_i
1	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00
2	2,00	2,00	1,00	0,00	0,00

Altezza del paramento 2,00 [m]

Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle 0,00 [m]

Lunghezza mensola fondazione di monte 0,00 [m]

Lunghezza totale fondazione 2,00 [m]

Inclinazione piano di posa della fondazione 0,00 [°]

Spessore fondazione 0,00 [m]

Spessore magrone 0,10 [m]

Materiali utilizzati per la struttura

Geoblok in calcestruzzo

Peso specifico	2000,0 [kg/mc]
Classe di Resistenza	Rck 250
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	250,0 [kg/cm ²]
Modulo elastico E	306658,85 [kg/cm ²]

Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata e sistema di riferimento

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto

X ascissa del punto espressa in [m]

Y ordinata del punto espressa in [m]

A inclinazione del tratto espressa in [°]

N	X	Y	A
1	3,00	0,80	14,93

Terreno a valle del muro

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale 0,00 [°]

Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento 0,00 [m]

Descrizione terreni

Simbologia adottata

Nr. Indice del terreno

Descrizione Descrizione terreno

γ Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]

γ_s Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]

ϕ Angolo d'attrito interno espresso in [°]

δ Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]

c Coesione espressa in [kg/cm^q]

c_a Adesione terra-muro espressa in [kg/cm^q]

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c_a
Capping	1800	2000	25.00	16.67	0,000	0,000
Argilla	1900	2000	20.00	13.33	0,150	0,150

STRATIGRAFIA

Simbologia adottata

N Indice dello strato

H Spessore dello strato espresso in [m]

a Inclinazione espressa in [°]

K_w Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm²/cm

K_s Coefficiente di spinta

Terreno Terreno dello strato

Nr.	H	a	Kw	Ks	Terreno
1	2,00	0,00	0,00	0,00	Capping
2	1,00	0,00	1,13	0,00	Argilla

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

F/S Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)

γ Coefficiente di partecipazione della condizione

Ψ Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,30	1.00	1,30

Combinazione n° 2 - Caso A2-M2 (GEO)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 3 - Caso EQU (SLU)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	0,90	1.00	0,90
Peso proprio terrapieno	FAV	0,90	1.00	0,90
Spinta terreno	SFAV	1,10	1.00	1,10

Combinazione n° 4 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 5 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 6 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 7 - Caso A2-M2 (GEO) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 8 - Caso A2-M2 (GEO) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 9 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 10 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 11 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 12 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
--	------------	----------	--------	-----------------

Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 13 - Rara (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 14 - Frequente (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 15 - Quasi Permanente (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 16 - Rara (SLE) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 17 - Rara (SLE) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00

Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 18 - Frequente (SLE) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 19 - Frequente (SLE) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 20 - Quasi Permanente (SLE) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 21 - Quasi Permanente (SLE) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00

Impostazioni di analisi

Calcolo della portanza metodo di Meyerhof

Coefficiente correttivo su $N\gamma$ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLU): 1,00

Coefficiente correttivo su $N\gamma$ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLE): 1,00

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

C Identificativo della combinazione

Tipo Tipo combinazione

Sisma Combinazione sismica

CS_{SCO} Coeff. di sicurezza allo scorrimento

CS_{RIB} Coeff. di sicurezza al ribaltamento

CS_{QLIM} Coeff. di sicurezza a carico limite

CS_{STAB} Coeff. di sicurezza a stabilità globale

C	Tipo	Sisma	CS_{SCO}	CS_{RIB}	CS_{QLIM}	CS_{STAB}
1	A1-M1 - [1]	--	1,89	--	2,91	--
2	A2-M2 - [1]	--	1,53	--	1,83	--
3	EQU - [1]	--	--	3,95	--	--
4	STAB - [1]	--	--	--	--	1,51
5	A1-M1 - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	1,90	--	2,89	--
6	A1-M1 - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	1,87	--	2,79	--
7	A2-M2 - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	1,18	--	1,50	--
8	A2-M2 - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	1,20	--	1,56	--
9	EQU - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	--	3,40	--	--
10	EQU - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	--	3,60	--	--
11	STAB - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1,37
12	STAB - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1,39
13	SLER - [1]	--	2,44	--	3,46	--
14	SLEF - [1]	--	2,44	--	3,46	--

15	SLEQ - [1]	--	2,44	--	3,46	--
16	SLER - [1]	Orizzontale + Verticale positivo	2,23	--	3,23	--
17	SLER - [1]	Orizzontale + Verticale negativo	2,25	--	3,27	--
18	SLEF - [1]	Orizzontale + Verticale positivo	2,23	--	3,23	--
19	SLEF - [1]	Orizzontale + Verticale negativo	2,25	--	3,27	--
20	SLEQ - [1]	Orizzontale + Verticale positivo	2,23	--	3,23	--
21	SLEQ - [1]	Orizzontale + Verticale negativo	2,25	--	3,27	--

ANALISI DELLA SPINTA E VERIFICHE

Sistema di riferimento adottato per le coordinate :

Origine in testa al muro (spigolo di monte)

Ascisse X (espresse in [m]) positive verso monte

Ordinate Y (espresse in [m]) positive verso l'alto

Le forze orizzontali sono considerate positive se agenti da monte verso valle

Le forze verticali sono considerate positive se agenti dall'alto verso il basso

Calcolo riferito ad 1 metro di muro

Tipo di analisi

Calcolo della spinta	metodo di Culmann
Calcolo del carico limite	metodo di Meyerhof
Calcolo della stabilità globale	metodo di Fellenius
Calcolo della spinta in condizioni di	Spinta attiva

Combinazioni SLU

Accelerazione al suolo a_g	1.20 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.50
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione (β_m)	0.24

Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale 0.50

Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento) $k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S) = 4.39$

Coefficiente di intensità sismica verticale (percento) $k_v=0.50 * k_h = 2.19$

Combinazioni SLE

Accelerazione al suolo a_g 0.50 [m/s²]

Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S) 1.50

Coefficiente di amplificazione topografica (St) 1.00

Coefficiente riduzione (β_m) 0.18

Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale 0.50

Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento) $k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S) = 1.39$

Coefficiente di intensità sismica verticale (percento) $k_v=0.50 * k_h = 0.69$

Forma diagramma incremento sismico Stessa forma diagramma statico

Partecipazione spinta passiva (percento) 0,0

Peso muro 6000,00 [kg]

Baricentro del muro X=-0,17 Y=-1,17

Superficie di spinta

Punto inferiore superficie di spinta X = 1,00 Y = -2,00

Punto superiore superficie di spinta X = 1,00 Y = 0,27

Altezza della superficie di spinta 2,27 [m]

Inclinazione superficie di spinta(rispetto alla verticale) 0,00 [°]

COMBINAZIONE n° 7

Valore della spinta statica 2716,03 [kg]

Componente orizzontale della spinta statica 2641,33 [kg]

Componente verticale della spinta statica 632,61 [kg]

Punto d'applicazione della spinta X = 1,00 [m] Y = -1,24 [m]

Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	13,47	[°]	
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	39,27	[°]	
Incremento sismico della spinta	480,07	[kg]	
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 1,00 [m]		Y = -1,24 [m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	33,02	[°]	
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	2040,00	[kg]	
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,52 [m]		Y = -0,43 [m]
Inerzia del muro	263,12	[kg]	
Inerzia verticale del muro	131,56	[kg]	
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	89,46	[kg]	
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	44,73	[kg]	

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	3460,77	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	8960,72	[kg]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	8960,72	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	3460,77	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,21	[m]
Lunghezza fondazione reagente	2,00	[m]
Risultante in fondazione	9605,80	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	21,12	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	1904,13	[kgm]
Carico ultimo della fondazione	13444,27	[kg]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	2,00	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0,7337	[kg/cmq]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0,1624	[kg/cmq]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 11.79$	$N_q = 4.43$	$N_\gamma = 1.44$
Fattori forma	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
Fattori inclinazione	$i_c = 0,59$	$i_q = 0,59$	$i_\gamma = 0,09$
Fattori profondità	$d_c = 1,00$	$d_q = 1,00$	$d_\gamma = 1,00$

I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.

$N'_c = 6.91$	$N'_q = 2.60$	$N'_\gamma = 0.13$
---------------	---------------	--------------------

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.18
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	1.50

COMBINAZIONE n° 9

Valore della spinta statica	2716,03	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	2641,33	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	632,61	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	$X = 1,00$	[m]	$Y = -1,24$	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	13,47	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	39,27	[°]		
Incremento sismico della spinta	365,32	[kg]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	$X = 1,00$	[m]	$Y = -1,24$	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	32,71	[°]		

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	2040,00	[kg]
---	---------	------

Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,52 [m]	Y = -0,43 [m]
Inerzia del muro	263,12 [kg]	
Inerzia verticale del muro	-131,56 [kg]	
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	89,46 [kg]	
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	-44,73 [kg]	

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	3349,18 [kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	8581,41 [kg]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	2803,10 [kgm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	9535,40 [kgm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	8581,41 [kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	3349,18 [kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,22 [m]
Lunghezza fondazione reagente	2,00 [m]
Risultante in fondazione	9211,82 [kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	21,32 [°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	1849,11 [kgm]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	3.40
--	------

STABILITÀ GLOBALE MURO + TERRENO

Combinazione n° 11

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

- W peso della striscia espresso in [kg]
 α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
 ϕ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
b larghezza della striscia espressa in [m]
u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

Metodo di Fellenius

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= -0,21 Y[m]= 1,91

Raggio del cerchio R[m]= 4,09

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -1,45

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 3,79

Larghezza della striscia dx[m]= 0,21

Coefficiente di sicurezza C= 1.37

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	$W\sin\alpha$	$b/\cos\alpha$	ϕ	c	u
1	110,16	71.83	104,67	0,67	20.46	0,00	0,00
2	292,89	64.52	264,40	0,49	20.46	0,00	0,00
3	419,06	58.30	356,56	0,40	20.46	0,00	0,00
4	514,80	53.06	411,48	0,35	20.46	0,00	0,00
5	591,01	48.41	442,00	0,32	20.46	0,00	0,00
6	652,98	44.15	454,79	0,29	20.46	0,00	0,00
7	703,76	40.18	454,02	0,27	20.46	0,00	0,00

ECOFOR SERVICE SPA – AMPLIAMENTO DISCARICA DI CASCINA (PI)

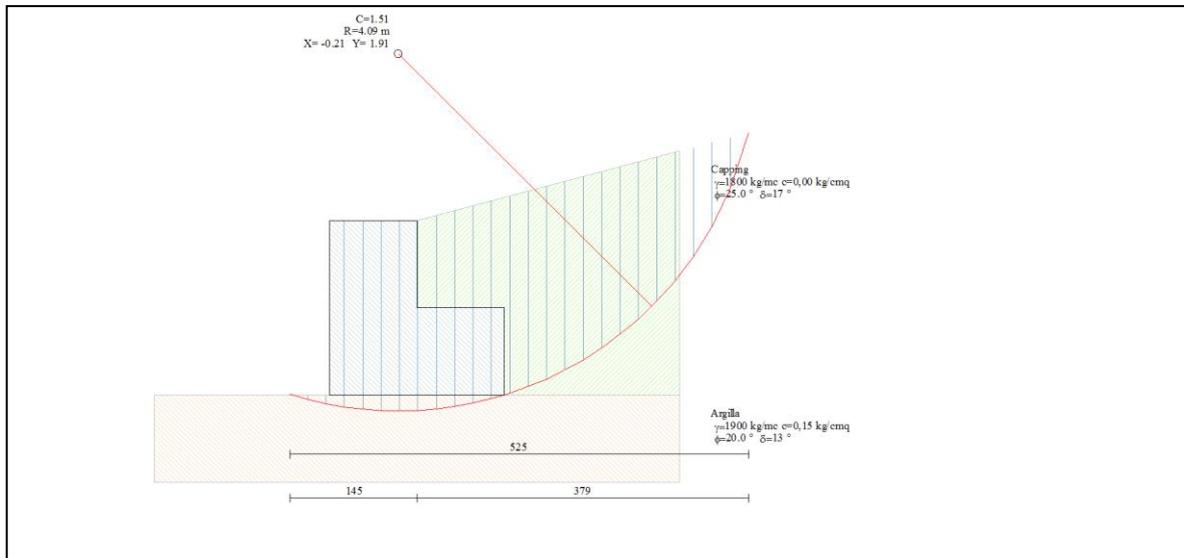
8	745,33	36.43	442,58	0,26	20.46	0,00	0,00
9	779,03	32.85	422,62	0,25	20.46	0,00	0,00
10	805,83	29.42	395,81	0,24	20.46	0,00	0,00
11	826,45	26.10	363,55	0,23	20.46	0,00	0,00
12	841,43	22.87	326,98	0,23	20.46	0,00	0,00
13	851,21	19.71	287,11	0,22	20.46	0,00	0,00
14	885,68	16.62	253,32	0,22	17.59	0,08	0,00
15	899,12	13.58	211,05	0,22	16.23	0,12	0,00
16	895,47	10.57	164,27	0,21	16.23	0,12	0,00
17	887,40	7.59	117,27	0,21	16.23	0,12	0,00
18	875,00	4.64	70,76	0,21	16.23	0,12	0,00
19	905,17	1.70	26,78	0,21	16.23	0,12	0,00
20	908,09	-1.24	-19,70	0,21	16.23	0,12	0,00
21	904,30	-4.19	-66,00	0,21	16.23	0,12	0,00
22	896,37	-7.14	-111,39	0,21	16.23	0,12	0,00
23	743,15	-10.11	-130,46	0,21	16.23	0,12	0,00
24	30,12	-13.11	-6,83	0,22	16.23	0,12	0,00
25	8,28	-16.15	-2,30	0,22	16.90	0,10	0,00

$\Sigma W_i = 16972,08$ [kg]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 5233,35$ [kg]

$\Sigma W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i = 4937,10$ [kg]

$\Sigma c_i b_i / \cos \alpha_i = 2945,10$ [kg]



Allegato 4

Verifica cedimenti del rilevato

1

A) VERIFICA CEDIMENTI DEL RILEVATO

Richiami teorici

Metodo Edometrico

Il metodo edometrico è il classico procedimento per il calcolo dei cedimenti in terreni a grana fina, proposto da Terzaghi negli anni '20.

L'ipotesi edometrica è verificata con approssimazione tanto migliore quanto più ridotto è il valore del rapporto tra lo spessore dello strato compressibile e la dimensione in pianta della fondazione.

Tuttavia il metodo risulta dotato di ottima approssimazione anche nei casi di strati deformabili di grande spessore.

L'implementazione del metodo è espressa secondo la seguente espressione:

$$\Delta H = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \sigma_i}{E_{ed,i}} \Delta z_i$$

dove:

- $\Delta \sigma$ è la tensione indotta nel terreno, alla profondità z , dalla pressione di contatto della fondazione;
- E_{ed} è il modulo elastico determinato attraverso la prova edometrica e relativa allo strato i -esimo;
- Δz rappresenta lo spessore dello strato i -esimo in cui è stato suddiviso lo strato compressibile e per il quale si conosce il modulo elastico.

Geometria del rilevato

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione del rilevato

- B Base totale espressa in [m]
- L Altezza espressa in [m]
- B_s Base lato inclinato sinistro espressa in [m]
- B_d Base lato inclinato destro espressa in [m]
- D Profondità del piano di posa in [m]

Terreno

Descrizione	B	H	Bs	Bd	D	Terreno
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	
Rilevato	155,00	16,50	33,00	33,00	1,50	rilevato rifiuti

Descrizione terreni e falda

Caratteristiche fisico-meccaniche

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione terreno



- γ Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
 γ_{sat} Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
 ϕ Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
 δ Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi
 c Coesione del terreno espressa in [kg/cm^q]
 ca Adesione del terreno espressa in [kg/cm^q]

Descr	γ [kg/mc]	γ_{sat} [kg/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kg/cm q]	ca [kg/cm q]
Argilla compatta	1800,0	1900,0	0.00	0.00	0,000	0,000
argilla plastica	1800,0	1900,0	0.00	0.00	0,000	0,000
Sabbia limosa	1900,0	2000,0	0.00	0.00	0,000	0,000
rilevato rifiuti	1300,0	1300,0	35.00	0.00	0,000	0,000
rialzo argilla compattata	1800,0	2000,0	0.00	0.00	0,000	0,020

Falda

Profondità dal piano fondo vasca 4.20 [m]

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

Descr Descrizione terreno

E_{ed} Modulo edometrico espresso in [kg/cm^q]

Descrizione	E_{ed} [kg/cm q]
rilevato rifiuti	0,00
rialzo argilla compattata	100,00
Argilla compatta	100,00
Argilla plastica	80,00
Sabbia limosa	700,00

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n° Identificativo strato

Z1 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]

Z2 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]

Z3 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]

Terreno Terreno dello strato

Punto di sondaggio n° 1: X = 0,0 [m] Y = 0,0 [m]

Punto di sondaggio n° 2: X = 200,0 [m] Y = 0,0 [m]

Punto di sondaggio n° 3: X = 0,0 [m] Y = 200,0 [m]

n°	Z1	Z2	Z3	Terreno
	[m]	[m]	[m]	
1	-4,7	-4,7	-4,7	rialzo argilla compattata
2	-10,7	-10,7	-10,7	Argilla compatta
3	-18,7	-18,7	-18,7	argilla plastica
4	-34,7	-34,7	-34,7	Sabbia limosa

Normativa

N.T.C. 2008 - Approccio 1

Simbologia adottata

γ_{Gsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
γ_{Gfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
γ_{Qsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
γ_{Qfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{\tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
γ_c'	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
γ_{cu}	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
γ_{qu}	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
γ_γ	Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		Statici		Sismici	
			A1	A2	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		Statici		Sismici	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Coazione efficace	γ_c'	1.00	1.25	1.00	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1.00	1.60	1.00	1.60
Peso dell'unità di volume	γ_γ	1.00	1.00	1.00	1.00

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche geotecniche:

		R1	R2	R3
Capacità portante	γ_r	1.00	1.80	2.30
Scorrimento	γ_r	1.00	1.10	1.10

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

N Sforzo normale totale espressa in [kg]

M_x Momento in direzione X espressa in [kgm]

M_y Momento in direzione Y espresso in [kgm]

e_x Eccentricità del carico lungo X espressa in [m]

e_y Eccentricità del carico lungo Y espressa in [m]

β Inclinazione del taglio nel piano espressa in [°]

T Forza di taglio espressa in [kg]

Condizione n° 1 - Peso proprio rilevato – PERMANENTE

Rilevato	N	M_x	M_y	e_x	e_y	β	T
	[kg]	[kgm]	[kgm]	[m]	[m]		[kg]
Rilevato	2415600,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,0	0,0

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

γ Coefficiente di partecipazione della condizione

Ψ Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 STR - A1-M1-R1

Nome	γ	Ψ
Peso proprio rilevato	1.00	1.00

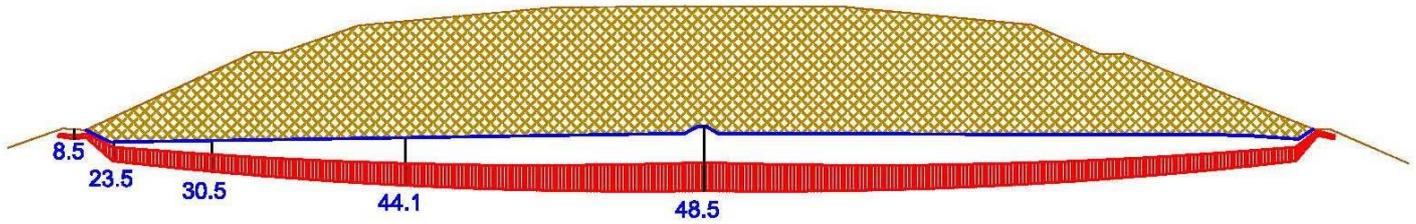
Opzioni di calcolo

Analisi in condizioni non drenate

Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito con il **metodo Edometrico** utilizzando il modulo edometrico.

Per il calcolo dei cedimenti è stata impostata un'altezza dello strato compressibile pari a: 36,50 [m]

Risultati



Cedimento dei singoli strati

Simbologia adottata

<i>Strato</i>	Identificativo dello strato
<i>Terreno</i>	Terreno dello strato
ΔH	Spessore dello strato espresso in [m]
Δw	Cedimento dello strato espresso in [cm]

Combinazione n° 1

Strato	Terreno	ΔH [m]	Δw [cm]
1	Rialzo argilla compattata	3,20	14,0132
2	Argilla compatta	6,00	11,2639
3	argilla plastica	8,00	18,6472
4	Sabbia limosa	17,80	4,6036
		35,00	48,5280

Cedimento totale

cmb	w_f [cm]	H [m]
1	48.53	36,50