

COMUNE DI LEONFORTE

PROVINCIA REGIONALE DI ENNA



Studio Tecnico Ingegnere Lociuoro

DESCRIZIONE ED UBICAZIONE DELL'OPERA
LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DI EMERGENZA
DELL'EX DISCARICA (RSU) COMUNALE, SITA IN
CONTRADA "S. GIOVANNI-SCANNASO" DEL COMUNE
DI LEONFORTE (EN)

- PROGETTO ESECUTIVO -

ELABORATO

RELAZIONE GEOTECNICA E
VERIFICA PENDIO

DATA

AGG.TO

TAVOLA

R3

COMMITTENTE

COMUNE DI LEONFORTE
C.so Umberto, 231
94013 - Leonforte (EN)

IL PROGETTISTA E D.L.

Dott. Ing. Calogero LOCIURO

1 PREMESSA

La presente relazione illustra la verifica della stabilità dei pendii della discarica comunale Scannaso sita nel territorio Comunale di Leonforte in provincia di Enna.

Lo studio si inquadra all'interno del progetto degli interventi di messa in sicurezza di emergenza della suddetta discarica comunale e riguarderà la verifica della stabilità del versante sito a Nord prima e dopo gli interventi. Contemporaneamente sarà fornito il calcolo dell'argine in terra armata che dovrà contenere il corpo dei rifiuti in seguito agli interventi.

Lo studio sarà effettuato tenendo conto dello studio geologico del sito condotto dal Dott. Vincenzo Catanzaro contenuto nella Relazione Geologica allegata al progetto esecutivo.

Le verifiche ed il progetto terranno conto della normativa vigente in materia di costruzioni.

2 Stratigrafia

Per ricostruire la stratigrafia dell'area sono stati seguiti una serie di indagini geognostici.

Tali indagini sono consistiti nell'esecuzione di:

- n. 3 sondaggi a carotaggio continuo;
- n. 4 traverse sismiche a rifrazione interpretate con la tecnica tomografica;
- n. 1 MASW;

Alle indagini in sito si sono poi succedute le analisi e le prove di laboratorio per determinare le caratteristiche geotecniche dei terreni indagati.

I sondaggi geognostici sono stati spinti, rispettivamente, alle profondità di 17,5 m, 20,0 m e 30,0 m dal piano campagna.

Le indagini geofisiche sono state eseguite dal Dott. Geol. Paolo Lo Cascio in nome e per conto della Società Geo_{logia} e Geo_{fisica} di Mistretta.

2.1 Sondaggi geognostici

I sondaggi geognostici eseguiti a carotaggio continuo hanno permesso di ricostruire la stratigrafia litologica dell'area e di prelevare dei campioni indisturbati da sottoporre alle indagini di laboratorio.

Dai sondaggi è emerso che il substrato della discarica è costituito da argille limose di colore grigio con consistenza variabile e mediamente plastiche con presenza di sporadici livelli sabbiosi. Al di sopra di tali argille sono stati rinvenuti, nei sondaggi S.2 e S.3, i rifiuti con uno spessore variabile tra i 2,00 m e i 2,70 m.

2.2 Indagine geofisica

L'indagine geofisica ha permesso di determinare le caratteristiche dei terreni.

Si sono eseguite 4 stendimenti sismici a rifrazione e 1 MASW.

L'indagine geofisica ha evidenziato che i rifiuti hanno uno spessore medio compreso tra i 2,00 m e i 4,50 m. inoltre lo stendimento MASW ha permesso di determinare la risposta sismica del sito ricavando una velocità delle onde di taglio pari a $V_{S30} = 539$ m/s che permette di ascrivere i terreni come appartenenti alla Categoria B delle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni.

3 Caratteristiche dei terreni

Gli studi geologici hanno permesso di determinare la stratigrafia del sito e le caratteristiche geotecniche dei terreni.

Il terreno di copertura è costituito da argilla limosa di colore nocciola con spessore medio che va da circa 1,00 m a 2,50 m.

Al di sotto del terreno di copertura si trovano i rifiuti che poggiano su uno strato di terreni argillo limosi di colore grigio afferenti alla facies argillosa della Formazione di Terravecchia.

Le caratteristiche geotecniche dei suddetti terreni sono le seguenti:

Terreni	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ'
Copertura	18,0	5,0	16°
Rifiuti	10,7	3,4	20°
Formazione di Terravecchia	18,6	22,0	17°

Nella zona a valle sono stati rinvenuti Gessi che non saranno interessati dagli interventi. In ogni caso i parametri geotecnici da prendere a riferimento per i livelli argillo-limosi intercalati nei gessi sono i seguenti:

- Peso dell'unità di volume $\gamma = 20,6$ KN/m³
- Coesione drenata $c' = 25,0$ KN/m²

- Angolo di attrito interno $\varphi' = 24^\circ$.

4 Azione sismica

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519/2006, che ha aggiornato la mappa di pericolosità sismica, classifica il territorio del Comune di Leonforte nella zona sismica "2" che prevede un valore di accelerazione orizzontale massima al suolo, a_g , pari a: $0,15 g \leq a_g \leq 0,25 g$.

Per la valutazione dell'azione sismica si considerano le componenti orizzontali e verticali della forze applicate al baricentro della massa.

Queste forze si determinano attraverso le componenti di spinta sismica nelle direzioni orizzontali e verticali dipendenti da un coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa nel sito.

L'accelerazione sismica massima attesa nel sito dipende, oltre che dall'accelerazione orizzontale massima, dalla risposta sismica locale definita da due coefficienti che definiscono l'amplificazione topografica e l'amplificazione stratigrafica.

Quindi si andranno a determinare questi tre valori:

- a) Accelerazione massima orizzontale su suolo rigido
- b) Coefficienti di amplificazione locale
- c) Coefficiente per la categoria del sottosuolo

4.1 Accelerazione massima su suolo rigido

Il valore dell'accelerazione massima del sito si determina interpolando le coordinate del sito con quelle di quattro punti di un reticolo di cui sono noti i valori di accelerazione massima orizzontale su suolo rigido.

Per fare ciò si è utilizzato l'applicativo Spettri-NTC vers. 1.03 messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Attraverso l'applicativo è possibile ricavare il valore dell'accelerazione massima su suolo rigido del sito una volta note le coordinate.

Le coordinate del sito sono le seguenti:

Latitudine: 37,66361 N

Longitudine: 14,40528 E

Con tali coordinate si ottengono i seguenti valori:

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c* [s]
30	0,037	2,520	0,245
50	0,046	2,473	0,278
72	0,053	2,485	0,294
101	0,060	2,507	0,315
140	0,068	2,508	0,331
201	0,077	2,537	0,350
475	0,102	2,540	0,417
975	0,127	2,598	0,456
2472	0,172	2,621	0,514

Il tempo di ritorno da considerare dipende dalla vita nominale dell'opera, assunta pari a 50 anni, e il coefficiente d'uso, pari a quello relativo alla "Classe II".

Con questi dati, il tempo di ritorno da considerare per la salvaguardia della vita è di 475 anni.

I valori assunti sono pertanto:

$$\mathbf{a_g = 0,102} \qquad \mathbf{F_o = 2,540} \qquad \mathbf{T_c^* = 0,417}$$

4.2 Coefficienti di amplificazione locale

I coefficienti di amplificazione locale dell'accelerazione sismica dipendono da due fattori: un fattore legato alla stratigrafia e uno legato alla topografia.

L'accelerazione massima attesa nel sito sarà quindi:

$$\mathbf{a_{max} = S * a_g = S_S * S_T * a_g}$$

Il coefficiente S_S tiene conto della stratigrafia del terreno e dipende dalla categoria. Il coefficiente è funzione dal prodotto F_o * a_g.

Per i terreni di categoria "B" il coefficiente S_S si determina secondo la seguente formula:

$$\mathbf{1,00 \leq 1,40 - 0,40 * F_o \frac{a_g}{g} \leq 1,20}$$

Inserendo nella formula il prodotto: F_o * a_g = 2,540 * 0,102 = 0,259

si ricava un valore di S_S = 1,30 e siccome il valore massimo di S_S per i terreni di categoria "B" è di 1,20, nel caso in questione il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica sarà:

$$\mathbf{S_S = 1,20}$$

Il coefficiente S_T, invece, tiene conto delle caratteristiche topografiche del sito e all'ubicazione dell'opera.

Le categorie topografiche sono definite dalla seguente tabella:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Nel nostro caso la categoria topografica è la T2.

Una volta nota la categoria topografica, il coefficiente di amplificazione topografica si ricava dalla seguente tabella:

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Nel nostro caso il valore del coefficiente di amplificazione topografica è pari a:

$$S_T = 1,2$$

Una volta noti i valori dei due coefficienti, si può determinare il valore dell'accelerazione orizzontale massima attesa nel sito:

$$a_{\max} = 1,20 * 1,2 * 0,102 \text{ g} = 0,15 \text{ g}$$

4.3 Coefficiente per la categoria del sottosuolo

Il coefficiente β_s di riduzione dell'accelerazione massima attesa nel sito, dipende dal valore di accelerazione massima attesa a_{\max} e dalla categoria di sottosuolo.

Come detto, la categoria del sottosuolo dipende dal valore della velocità delle onde di pressione V_{30} determinato dalle indagini geonostiche.

Come detto in precedenza i terreni del sito in questione appartengono alla categoria "B".

Noti questi valori, dalla seguente tabella, si può determinare il valore del coefficiente β_s .

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g \text{ (g)} \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g \text{ (g)} \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g \text{ (g)} \leq 0,1$	0,20	0,20

Da tale tabella si evince che il valore del coefficiente è:

$$\beta_s = 0,24$$

A questo punto è possibile determinare i valori dei coefficienti sismici orizzontali e verticali:

$$k_h = \beta_S * a_{max} = 0,24 * 0,15 \text{ g} = 0,036 \text{ g}$$

$$k_v = 0,5 * k_h = 0,5 * 0,036 \text{ g} = \pm 0,018 \text{ g}$$

5 Analisi di stabilità

Il movimento di una porzione di terreno o roccia avviene in genere quando si ha rottura per taglio lungo una superficie di scivolamento o per scorrimento viscoso. Il movimento dei vari punti coinvolti nel fenomeno può avvenire con varie modalità che dipendono, oltre che dalle caratteristiche meccaniche dei terreni interessati, dallo stato tensionale preesistente, dall'entità delle pressioni neutrali, dal percorso tensionale seguito per arrivare alla rottura e dalle condizioni al contorno. Le cause che provocano instabilità e conseguente movimentazione di materiale sono varie fra le quali si ricordano le modifiche della superficie topografica per azioni naturali od artificiali, le modifiche del regime delle pressioni neutrali per azioni naturali od artificiali, le variazioni nel tempo delle caratteristiche di resistenza del terreno e l'azione sismica.

Se il pendio è in equilibrio, la resistenza al taglio mobilitata lungo ogni possibile superficie di scorrimento supera le tensioni indotte. In ogni caso le problematiche maggiori si hanno in relazione alla complessità relativa alla determinazione dei parametri di resistenza al taglio del terreno.

L'analisi di stabilità impostata nella presente relazione, prende in esame le possibili condizioni di criticità del pendio in relazione alle modifiche della morfologia e dei carichi sul terreno per opera antropica, in condizioni sismiche.

I diversi metodi di calcolo si basano sul concetto dell'equilibrio limite globale. La superficie di rottura, supposta nota, è suddivisa in un determinato numero di strisce che consentono di calcolare in modo agevole, le grandezze che entrano in gioco nelle equazioni risolutive.

Tutti i metodi adottano come criterio di rottura il criterio di Mohr-Coulomb assieme al criterio delle tensioni efficaci di Terzaghi. La resistenza al taglio disponibile è valutata secondo l'espressione :

$$\tau_r = c' + (\sigma - u) \operatorname{tg}\varphi' = c' + \sigma' \operatorname{tg}\varphi'$$

dove:

- c' e φ' sono coesione e angolo di attrito efficaci;
- σ è la tensione normale totale;
- u è la pressione neutra.

Il fattore di sicurezza è quindi definito come rapporto tra resistenza a taglio disponibile e la resistenza a taglio mobilitata, cioè resistenza a taglio disponibile e la resistenza a taglio mobilitata, cioè:

$$F = \frac{\text{resistenza a taglio disponibile}}{\text{resistenza a taglio mobilitata}} = \frac{\tau_r}{\tau}$$

Da ciò si deduce che il fattore di sicurezza per la condizione limite di equilibrio stabile è pari ad 1.

Secondo la normativa vigente, il valore minimo che deve assumere il fattore di sicurezza affinché si abbia condizione di piena e garantita stabilità è pari a 1,1 (secondo il coefficiente correttivo R2=1,1).

La verifica di stabilità è stata condotta utilizzando il programma SSAP 2010 – versione 4.2.1(2012) - elaborato dal Dr. Lorenzo Borselli, ricercatore presso il C.N.R. – IRPI di Firenze.

Le potenti funzionalità del programma consentono l'utilizzazione di una serie di parametri su cui l'utente può interagire secondo le esigenze di calcolo. Si rimanda al manuale del programma scaricabile dal sito www.ssap.eu, per una completa visione di tutte le funzionalità su cui è possibile lavorare, e che in questa sede porterebbero via spazio alla finalità del presente elaborato.

Nel caso di pendii a più strati, il programma permette di generare e ricercare le superfici di scivolamento adottando il motore “Sniff Random Search”, nel quale viene preferita la ricerca di superfici di forma composita piuttosto che di forma circolare (adatta per pendii omogenei).

Ad esso si associa la variante “Smussatore superfici di scivolamento” che smussa a posteriori qualunque superficie generata cosicché il passaggio da un segmento all'altro abbia una pendenza non eccessiva.

Il programma è fornito dell'opzione di “Range di ricerca dinamico” che consente di restringere la zona di ricerca iniziale in funzione delle superfici con minor F_s individuate.

In suoli in cui il valore della coesione drenata e non drenata è diverso da zero, l'attivazione dell'opzione relativa all'“effetto tension crack” consente di velocizzare la ricerca della superficie di scivolamento.

Poiché i metodi rigorosi spesso portano a problematiche relative alla convergenza e alla stabilità numerica, il programma consente di intervenire sulla distribuzione delle pressioni normali sulla base dei conci e sul fattore RHO, associato alle verticali interconco mediante le quali la massa potenzialmente scivolante è suddivisa. La possibilità di

visualizzare graficamente la distribuzione interna al pendio di questi due parametri consente di intervenire con un controllo diretto di queste problematiche.

In particolare la variazione della percentuale di tolleranza agli stress negativi alla base del concio può in alcuni casi imporre condizioni più rilassate evitando l'insorgere di valori negativi che verrebbero scartati dall'analisi. Il fattore RHO è un coefficiente adimensionale che dipende dal valore del coefficiente di sicurezza globale e il valore di sicurezza locale di un determinato concio. In base a quanto indicato da Sarma e Tan (2006), il suo valore dovrebbe essere sempre inferiore ad 1, condizione che nel programma è possibile controllare modificando la soglia percentuale massima del volume scivolante in cui questo fattore RHO potrebbe assumere valori maggiori di 1.

Per le verifiche di stabilità è stato utilizzato il metodo rigoroso di Morgestern & Price, riconosciuto dalla maggior parte degli Autori come uno dei metodi più affidabili, a cui viene applicato l'algoritmo di calcolo del fattore di sicurezza elaborato da Zhu (2005).

Per poter procedere con il calcolo del fattore di sicurezza F_s , la massa potenzialmente instabile viene suddivisa in conci delimitati da superfici verticali. Su ogni concio vengono valutate singolarmente le forze agenti e resistenti.

Le varie procedure di calcolo si diversificano per il tipo di assunti per eliminare alcune delle incognite nel sistema di equazioni non lineari che permette di calcolare F_s , in particolare sulle assunzioni fatte per le forze interconco T (forze tangenziali verticali) ed E (forze orizzontali interconco). Nell'algoritmo di Zhu et alii (2005), viene inserita una variabile ausiliaria λ che è utilizzata nella relazione funzionale delle forze interconco T(x) ed E(x). Inoltre vengono fatte assunzioni aggiuntive sulla posizione del punto di applicazione e in alcuni casi sulla funzione di interazione interconco f(x) che esprime la direzione di applicazione della risultante locale tra T(x) ed E(x).

Il metodo di Morgestern & Price fissa T(x) come espressione di λ , di f(x) ed E(x).

Il programma permette l'introduzione dei parametri sismici secondo le NTC 2008 (valore di K_h), con un valore impostato di $F_s = 1,1$.

Le verifiche di stabilità sono state condotte sul pendio a Sud per verificare sia la stabilità dello stesso che quella del corpo di rifiuti che da quel lato ha subito uno smottamento al piede.

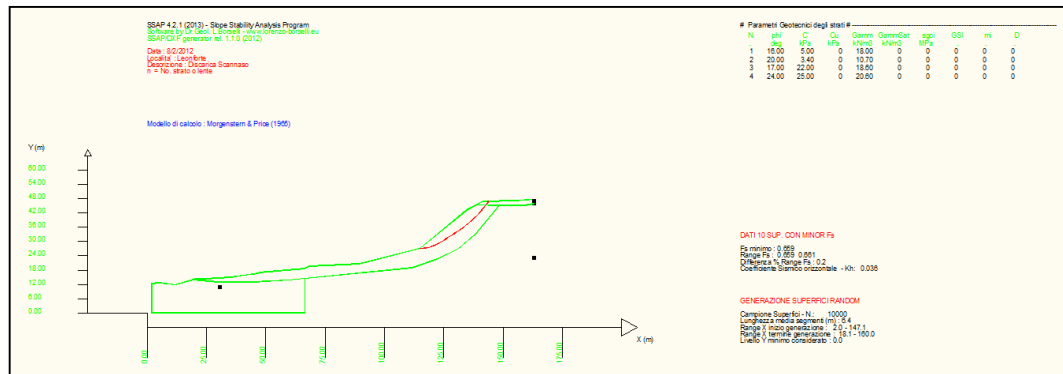
La verifica è stata condotta sulla Sezione 8-8 di cui è nota la stratigrafia.

Come prescritto dalle Norme, la verifica è stata eseguita prima degli interventi, considerando lo stato attuale, e in seguito agli interventi previsti.

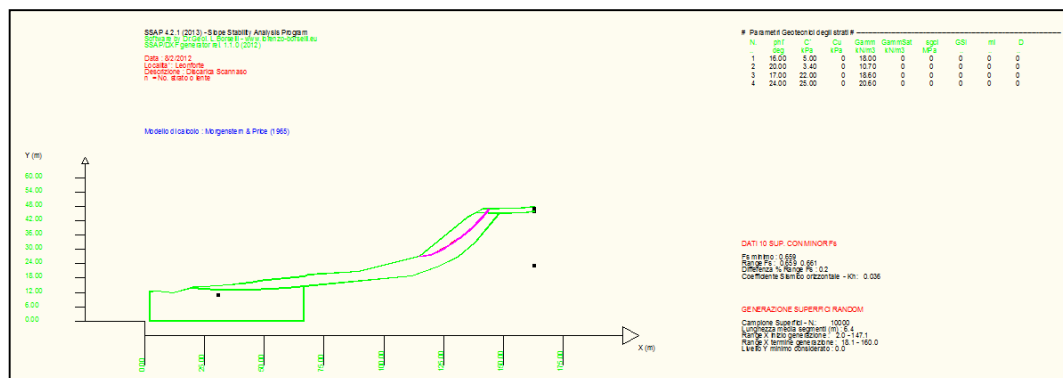
5.1 Stato attuale

La verifica dello stato attuale ha evidenziato l'instabilità del corpo dei rifiuti. Il fattore di sicurezza minimo ricavato è stato pari a 0,67.

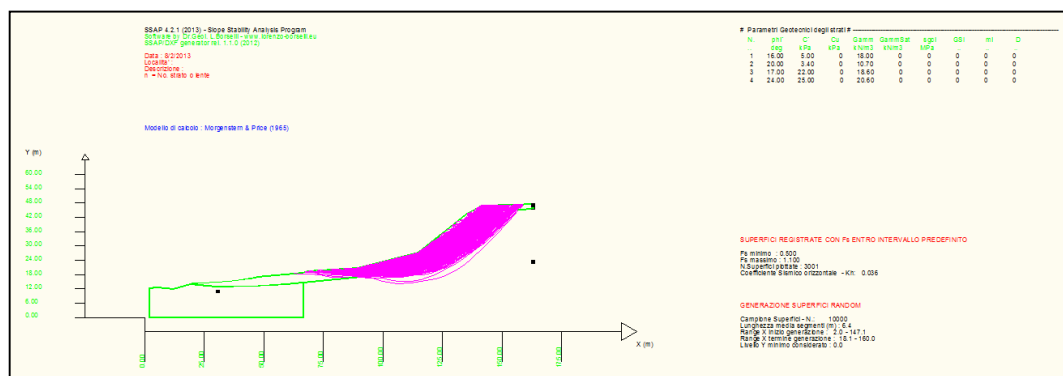
Le 10 superfici con minor valore del fattore di sicurezza sono tutti all'interno del corpo dei rifiuti, così come le sezioni che hanno evidenziato un valore dello stesso inferiore a 1,1.



Superficie con minor Fs.



10 superfici con minor Fs.

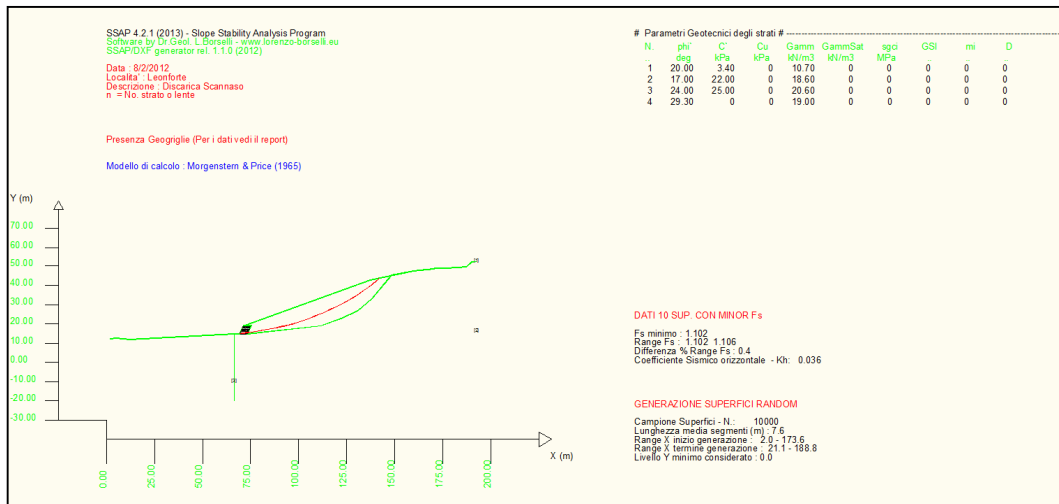


Superfici con Fs minore di 1,1.

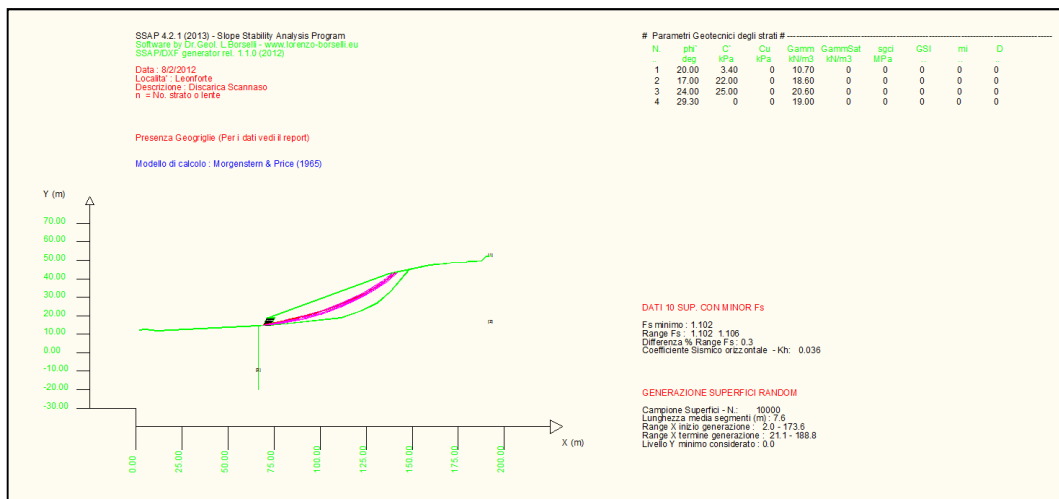
5.2 Stato futuro

L'intervento previsto per stabilizzare il corpo dei rifiuti consiste in una risagomatura del pendio per far sì che l'angolo di inclinazione sia inferiore all'angolo di attrito e alla realizzazione di un argine in terra armata alla base.

Dalle verifiche effettuate si evince che in seguito agli interventi il valore minimo del coefficiente di sicurezza è risultato pari a 1,1.



Superficie con minor Fs.



10 superfici con minor Fs.

6 Calcolo della terra armata

La rimodulazione e riprofilatura del corpo rifiuti comporterà la creazione di un argine in terra rinforzata che li sostenga.

Un'opera in terra rinforzata o pendio rinforzato è una struttura atta al contenimento o alla stabilizzazione di una scarpata costituita da terreno e da elementi di rinforzo di forma e materiale opportuno, capaci di assorbire sforzi di trazione. Tali elementi vengono di solito disposti lungo piani di posa orizzontali durante il riempimento e la compattazione del rilevato di terra, che avviene per strati successivi.

In questo modo le sollecitazioni che si vengono a generare con l'aumentare dei carichi, vengono assorbiti dalla resistenza a trazione del rinforzo in virtù della propria aderenza per attrito con il terreno mentre il terreno che costituisce il rilevato strutturale offrirà il suo contributo di resistenza alla compressione per effetto dei carichi verticali.

Il rinforzo è costituito da geogriglie estruse monolitiche a giunzione integrale al 100% in HDPE che sono contenute da un cassero di guida e di appoggio "a perdere" in rete elettrosaldata e rivestite internamente in facciata da un Feltro vegetativo preseminato antierosivo.

Il terreno di riempimento può essere o terreno proveniente dagli scavi nel sito, oppure del terreno proveniente da cave di prestito della zona. L'angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale del paramento è di 65°.

Il terreno dovrà essere posato in opera a strati di circa 0,30 m e compattato fino a raggiungere un grado di addensamento non inferiore al 95% dello Standard Proctor. In prossimità della facciata esterna è consigliabile utilizzare terreno vegetale per circa 0,30 m.

La procedura da seguire sarà la seguente:

1. Preparare il piano di fondazione effettuando eventuali sbancamenti; asportare eventuali radici, sassi o detriti che possono trovarsi in loco, rullare e compattare.
2. Posizionare e allineare i casseri in rete elettrosaldata collegandoli tra loro con filo di ferro o fascette tipo strozzacavo elettrico in plastica.
3. Svolgere i rotoli di geogriglia di rinforzo e tagliare le stesse con un cutter secondo le lunghezze indicate in progetto: la lunghezza del taglio è determinata dalla profondità di ancoraggio, dal risvolto in facciata (circa 0,70m) e dal risvolto superiore (circa 1,50m).
4. Posizionare all'interno dei casseri in rete elettrosaldata i tagli di geogriglia di rinforzo adagiandoli sul piano di fondazione in strati orizzontali e perpendicolari al fronte ancorandoli al terreno con ferri sagomati a "U"; la geogriglia di rinforzo deve essere ben aderente alla facciata interna del cassero in rete elettrosaldata lasciando la

porzione terminale temporaneamente esterna al cassero stesso (tale porzione deve corrispondere alla lunghezza stabilita per il risvolto superiore (1,50m ca).

5. Posizionare il feltro antierosivo foderandone internamente il risvolto in facciata della geogriglia di rinforzo; posizionare i tiranti di irrigidimento del cassero (ca 1 ogni 0,45m).
6. Stendere il terreno di riempimento previsto e fornito a piè d'opera sopra le geogriglie di rinforzo in strati dello spessore di circa 0,30 m: in prossimità della facciata è consigliabile l'utilizzo di terreno vegetale per circa 0,50/0,30m.
7. Compattare fino ad ottenere un grado di addensamento non inferiore al 95% dello Standard Proctor. In prossimità della facciata (per circa 1,00m) la compattazione deve avvenire mediante vibro-costipatore o piastre vibranti; nella zona retrostante si utilizzino rulli compattatori di idonee capacità.
8. Completato il riempimento, risvoltare verso l'interno la porzione di geogriglia di rinforzo tenuta precedentemente esterna al cassero in rete elettrosaldata; tenderla leggermente e ancorarla al terreno utilizzando ferri sagomati a "U".

Tali operazioni vanno ripetute fino a completamento dell'opera.

Le verifiche di equilibrio limite ultimo richiedono il rispetto della condizione:

$$E_d < R_d$$

E_d = azioni o effetto delle azioni di progetto

R_d = azioni o effetto delle azioni resistenti del sistema geotecnico

In entrambi i termini:

le azioni si moltiplicano per il coefficienti γ_f

i parametri geotecnici si dividono per i coefficienti γ_m

in più la resistenza globale si divide per i coefficienti γ_r (che sono in pratica coefficienti di sicurezza globale: $R/E > \gamma_r$)

Le verifiche da effettuare sono:

SLU di tipo geotecnica (GEO) e di Equilibrio di corpo rigido (EQU)

1. stabilità globale del complesso dell'opera di sostegno-terreno;
2. scorrimento sul piano di posa;
3. collasso del carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
4. ribaltamento

SLU di tipo strutturale (STR)

5. raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Ai fini della verifica alla traslazione sul piano di posa non si deve in generale considerare il contributo della resistenza passiva del terreno antistante il muro. In casi particolari, la presa in conto di una aliquota (non superiore al 50%) di tale resistenza è subordinata all'assunzione di effettiva permanenza di tale contributo.

Le verifiche sono state eseguite con l'ausilio del software MACSTAR W che permette di verificare, tra l'altro, la stabilità di pendii rinforzati realizzati con il sistema terre rinforzate.

Il calcolo si basa sui metodi dell'equilibrio limite, in condizioni piane. Il metodo di calcolo utilizzato è quello di Bishop semplificato (rif. bibl.).

Nel valutare la stabilità del pendio sono introdotti i seguenti fattori:

1. peso proprio del terreno;
2. effetto della pressione neutra;
3. sovraccarichi verticali superficiali;
4. azioni sismiche eventuali, assimilate a forze statiche equivalenti;
5. effetto dovuto alla presenza dei teli di rinforzo.

Nel calcolo sono state ipotizzate superficie di scorrimento circolari.

I dati geometrici del problema sono strutturati in modo da identificare le possibili stratificazioni nel terreno e le zone contenenti i rinforzi.

Il contributo dei teli di rete è introdotto nel calcolo solo se essi intersecano la superficie di scivolamento. In tal caso sono assimilati a forze applicate al cuneo di distacco. L'entità di tali forze è determinata scegliendo il minore valore tra la resistenza a rottura delle reti e la resistenza allo sfilamento della rete dal terreno. Quest'ultima è calcolata in funzione della lunghezza del tratto di rete di là dalla linea di scivolamento e della profondità di posa del telo rispetto alla sommità del rilevato.

E' possibile assegnare una superficie di scivolamento e calcolare il fattore di sicurezza a lei associato, oppure, attraverso un algoritmo di minimizzazione non lineare, modificare la geometria della superficie di scivolamento rispettando la forma prescelta (circolare o spirale logaritmica) e determinare in modo automatico la superficie che corrisponde al fattore di sicurezza minimo o comunque ad un fattore di sicurezza preassegnato dall'utente, in relazione ai dati del problema (geometria, rinforzi, etc.).

Sono state eseguite verifiche statiche e sismiche secondo i seguenti approcci:

- **statiche:** Approccio 1 – Combinazione 2 ($A_2 + M_2 + R_2$)
- **sismiche:** Approccio 1 – Combinazione 2 ($M_2 + R_2 + kh/\pm kv$).

Tutte le verifiche hanno dato esito positivo.

Si allegano le verifiche eseguite.

MacStARS W – Rel. 3.0

Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Slopes and Walls
 Officine Maccaferri S.p.A. - Via Kennedy 10 - 40069 Zola Predosa (Bologna)
 Tel. 051.6436000 - Fax 051.236507

Progetto... : Terra rinforzata Scannaso
 Località... : Leonforte
 Data..... : 08/02/2012

Verifiche condotte in accordo alla normativa : Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14/01/2008
 Verifiche nei confronti dello SLU

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Terreno : GESSI	Descrizione : Gessi
Classe coesione.....	: Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione.....	[kN/m ²]..... : 25.00
Classe d'attrito.....	: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito.....	[°]..... : 24.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....	: 0.00
Classe di peso.....	: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda.....	[kN/m ³]..... : 20.60
Peso specifico in falda.....	[kN/m ³]..... : 0.00
Modulo elastico.....	[kN/m ²]..... : 0.00
Coefficiente di Poisson.....	: 0.30
Terreno : MURO	Descrizione : Terra rinforzata
Classe coesione.....	: Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione.....	[kN/m ²]..... : 0.00
Classe d'attrito.....	: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito.....	[°]..... : 29.30
Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....	: 0.00
Classe di peso.....	: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda.....	[kN/m ³]..... : 19.00
Peso specifico in falda.....	[kN/m ³]..... : 0.00
Modulo elastico.....	[kN/m ²]..... : 0.00
Coefficiente di Poisson.....	: 0.30
Terreno : RIF	Descrizione : Rifiuti
Classe coesione.....	: Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione.....	[kN/m ²]..... : 3.40
Classe d'attrito.....	: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito.....	[°]..... : 20.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....	: 0.00
Classe di peso.....	: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
Peso specifico sopra falda.....	[kN/m ³]..... : 10.70
Peso specifico in falda.....	[kN/m ³]..... : 0.00
Modulo elastico.....	[kN/m ²]..... : 0.00
Coefficiente di Poisson.....	: 0.30

Terreno : TERR Descrizione : Formazione Terravecchia
 Classe coesione.....: Coeff. Parziale - Coesione efficace
 Coesione.....[kN/m²].....: 22.00
 Classe d'attrito.....: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
 Angolo d'attrito.....[°].....: 17.00
 Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....: 0.00
 Classe di peso.....: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
 Peso specifico sopra falda.....[kN/m³].....: 18.60
 Peso specifico in falda.....[kN/m³].....: 0.00
 Modulo elastico.....[kN/m²].....: 0.00
 Coefficiente di Poisson.....: 0.30

PROFILI STRATIGRAFICI

Strato: S1 Descrizione: Rifiuti
 Terreno : RIF

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
73.26	14.80	75.25	19.00	137.22	42.79	148.36	45.16

Strato: S2 Descrizione: Rifiuti
 Terreno : RIF

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
71.82	19.00	137.22	42.79				

Strato: S3 Descrizione: Gessi
 Terreno : GESSI

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
2.00	12.28	5.13	12.61	11.91	11.84	66.51	14.66
66.51	-30.00						

Strato: S4 Descrizione: Terravecchia
 Terreno : TERR

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
66.51	14.66	69.26	14.80	73.26	14.80	111.60	18.96
122.16	22.60	130.84	26.80	138.29	33.14	148.36	45.16
159.67	47.49	163.19	47.71	170.54	48.45	171.11	48.83
178.69	48.83	180.76	49.35	182.56	49.33	187.49	49.63
190.07	52.03	192.62	52.34				

BLOCCHI RINFORZATI

Blocco : M1
 Dati principali.....[m].....: Larghezza.....= 4.00 Altezza.....= 4.38
 Coordinate Origine.....[m].....: Ascissa.....= 69.26 Ordinata.....= 14.80
 Inclinazione paramento....[°].....: 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo.....: Sabbia
 Rilevato strutturale.....: MURO
 Terreno di riempimento a tergo.....: MURO
 Terreno di copertura.....: MURO
 Terreno di fondazione.....: MURO

Rinforzi :

Maccaferri - Green Terramesh - 65° - 8/2.7P - 0.73

Lunghezza.....[m].....= 4.00

Interasse.....[m].....= 0.73

Risolto.....[m].....= 0.65

CARICHI**Pressione : CS**

Descrizione : Carico stradale

Classe : Variabile - sfavorevole

Intensità.....[kN/m²].. = 10.00 Inclinazione.....[°].. = 0.00

Ascissa.....[m] : Da = 182.00 To = 187.00

Sisma :

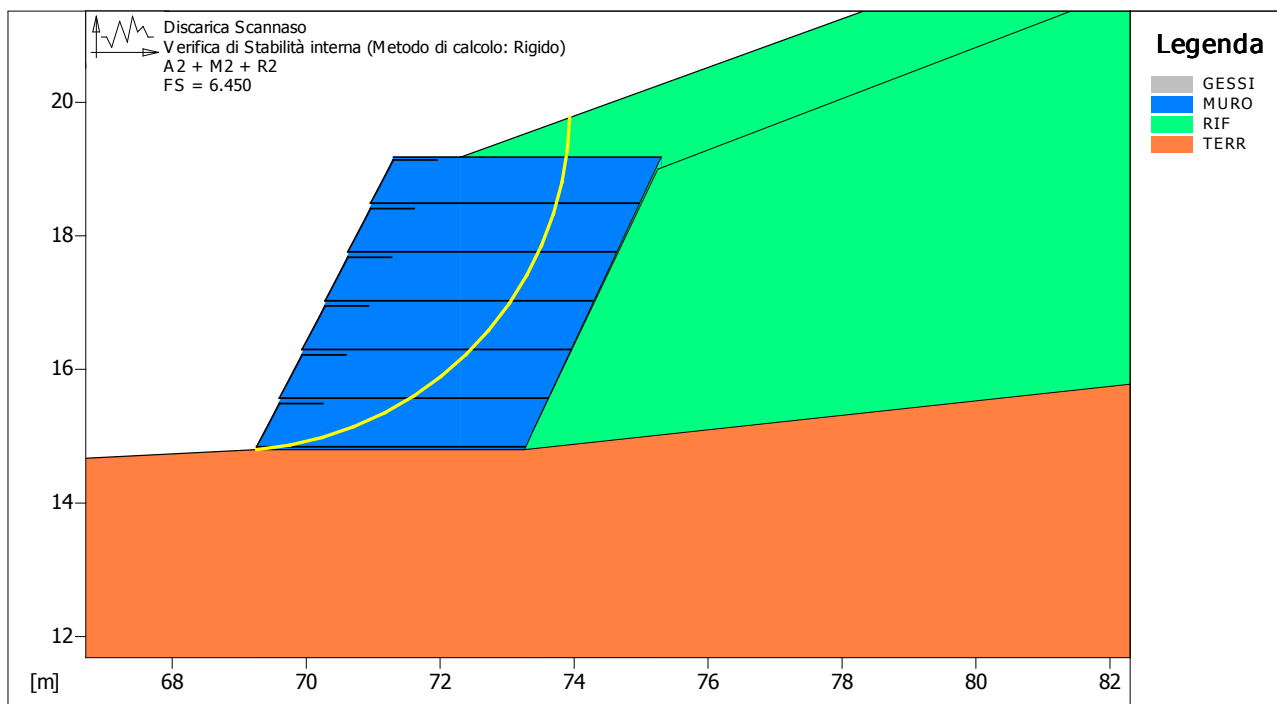
Classe : Sisma

Accelerazione.....[m/s²]..: Orizzontale..... = 0.35 Verticale..... = 0.18**PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI**

Maccaferri - Green Terramesh - 65° - 8/2.7P - 0.73

Carico di rottura Nominale.....[kN/m]..... :	50.11
Rapporto di Scorrimento plastico..... :	2.00
Coefficiente di Scorrimento elastico.....[m ³ /kN]..... :	1.10e-04
Rigidezza estensionale.....[kN/m]..... :	500.00
Lunghezza minima di ancoraggio.....[m]..... :	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia)..... :	1.44
Coefficiente di sicurezza al Pull-out..... :	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia)..... :	1.30
Coefficiente di sicurezza al Pull-out..... :	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo)..... :	1.30
Coefficiente di sicurezza al Pull-out..... :	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla)..... :	1.30
Coefficiente di sicurezza al Pull-out..... :	1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo..... :	0.30
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia..... :	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia..... :	0.65
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo..... :	0.50
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla..... :	0.30

VERIFICHE STATICHE



Verifica di stabilità interna : Discarica Scannaso

Combinazione di carico : A2 + M2 + R2

Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido

Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop

Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 6.450

Intervallo di ricerca delle superfici

Blocco M1	Segmento di arrivo, ascisse [m]	
	Primo punto 70.00	Secondo punto 74.00
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....:	1	
Numero totale superfici di prova.....:	100	
Lunghezza segmenti delle superfici..... [m].....:	0.50	
Angolo limite orario..... [°].....:	0.00	
Angolo limite antiorario..... [°].....:	0.00	

Blocco : M1

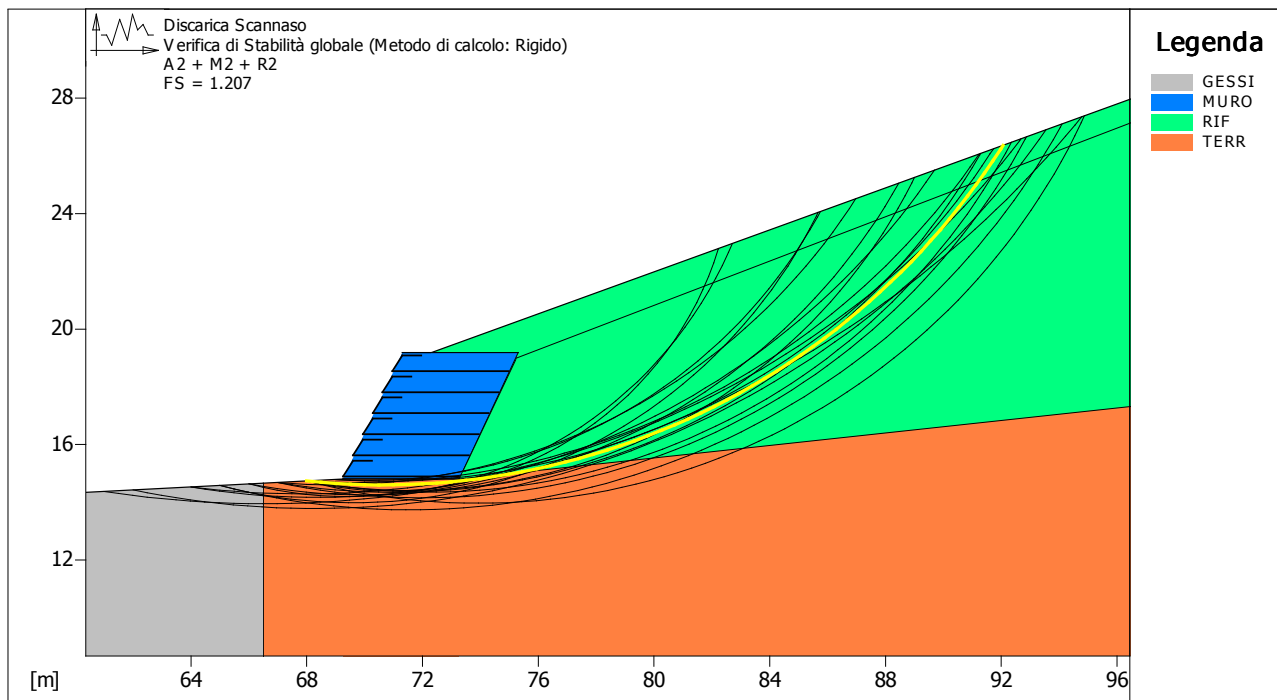
Maccaferri - Green Terramesh - 65° - 8/2.7P - 0.73

Rapporto forza/resistenza nei rinforzi

Y [m]	Fmax
0.73	0.768
1.46	0.768
2.19	0.768
2.92	0.591
3.65	0.393

Fattore	Classe
1.30	Variabile - sfavorevole
0.00	Sisma
1.25	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
1.25	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole

1.00 Fs Rottura Rinforzi
 1.00 Fs Sfilamento Rinforzi
 1.10 Coeff. Parziale R – Stabilità



Verifica di stabilità globale : Discarica Scannaso

Combinazione di carico : A2 + M2 + R2

Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido

Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop

Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 1.207

Intervallo di ricerca delle superfici

Segmento di partenza, ascisse [m]		Segmento di arrivo, ascisse [m]	
Primo punto	Secondo punto	Primo punto	Secondo punto
20.00	69.00	75.00	95.00
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....:		50	
Numero totale superfici di prova.....:		1000	
Lunghezza segmenti delle superfici..... [m].....:		0.50	
Angolo limite orario..... [°].....:		0.00	
Angolo limite antiorario..... [°].....:		0.00	

Fattore	Classe
1.30	Variabile - sfavorevole
0.00	Sisma
1.25	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
1.25	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.10	Coeff. Parziale R - Stabilità

VERIFICHE SISMICHE

CARICHI

Pressione : CS

Descrizione : Carico stradale

Classe : Variabile - sfavorevole

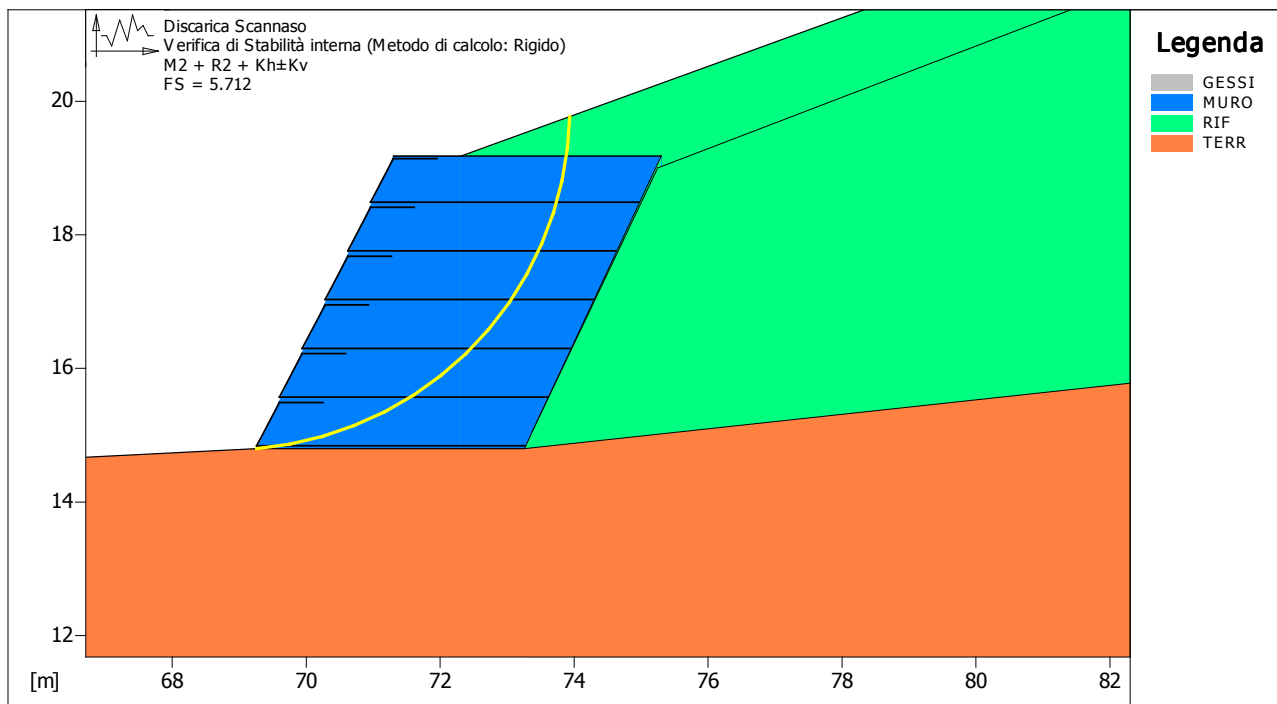
Intensità.....[kN/m²].. = 10.00 Inclinazione.....[°].. = 0.00

Ascissa.....[m] : Da = 182.00 To = 187.00

Sisma :

Classe : Sisma

Accelerazione....[m/s²]...: Orizzontale..... = 0.35 Verticale..... = 0.18



Verifica di stabilità interna : Discarica Scannaso

Combinazione di carico : M2 + R2 + Kh±Kv

Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido

Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop

Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 5.712

Intervallo di ricerca delle superfici

Segmento di arrivo, ascisse [m]

Blocco

M1

Primo punto

70.00

Secondo punto

74.00

Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....: 1

Numero totale superfici di prova.....: 100

Lunghezza segmenti delle superfici..... [m] : 0.50

Angolo limite orario..... [°] : 0.00

Angolo limite antiorario..... [°] : 0.00

Blocco : M1

Maccaferri - Green Terramesh - 65° - 8/2.7P - 0.73

Rapporto forza/resistenza nei rinforzi

Y [m]

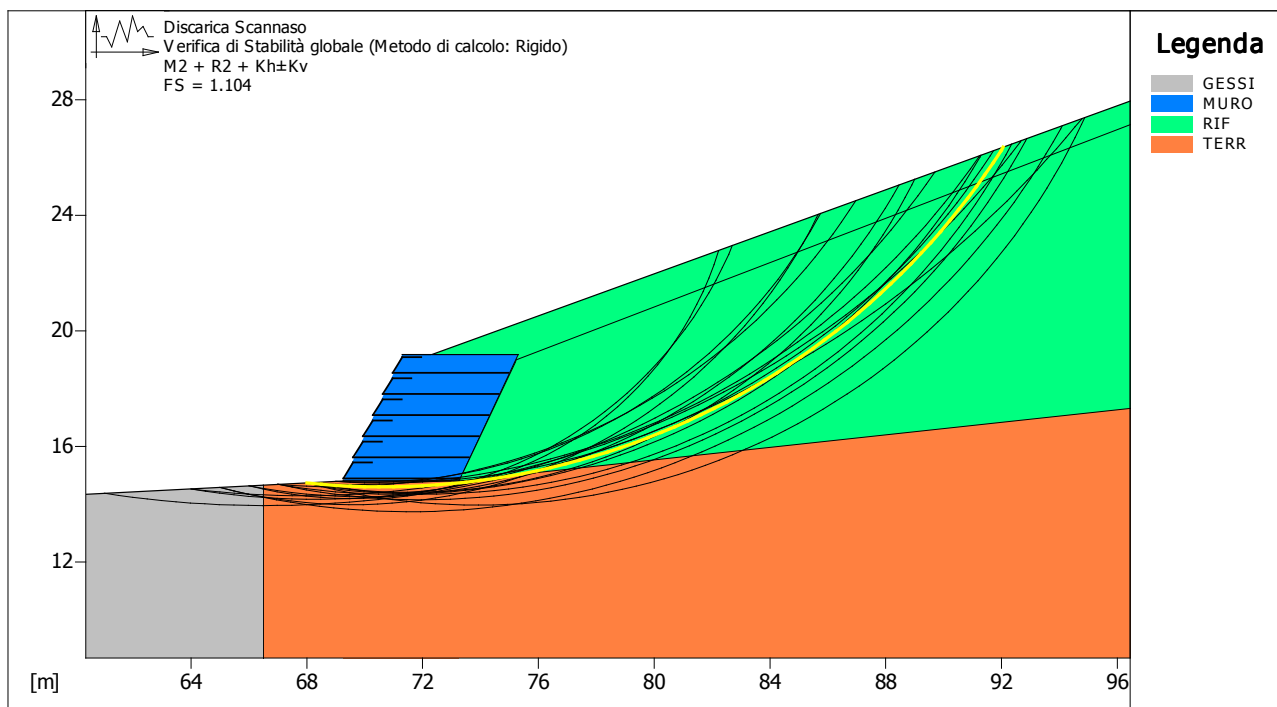
0.73

Fmax

0.768

1.46	0.768
2.19	0.768
2.92	0.591
3.65	0.393

Fattore	Classe
1.00	Variabile - sfavorevole
1.00	Sisma
1.25	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
1.25	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.10	Coeff. Parziale R - Stabilità



Verifica di stabilità globale : Discarica Scannaso

Combinazione di carico : M2 + R2 + Kh±Kv

Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido

Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop

Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 1.104

Intervallo di ricerca delle superfici

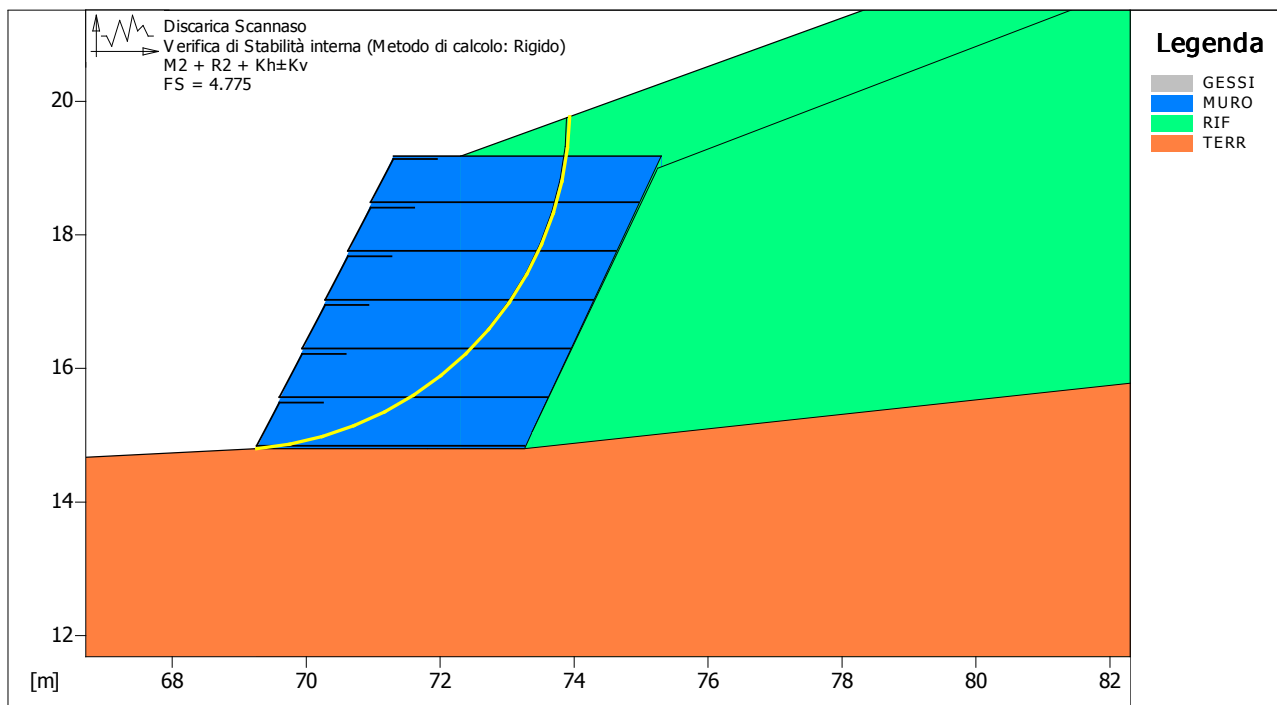
Segmento di partenza, ascisse [m]		Segmento di arrivo, ascisse [m]	
Primo punto	Secondo punto	Primo punto	Secondo punto
20.00	69.00	75.00	95.00
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....:		50	
Numero totale superfici di prova.....:		1000	
Lunghezza segmenti delle superfici..... [m].....:		0.50	
Angolo limite orario..... [°].....:		0.00	
Angolo limite antiorario..... [°].....:		0.00	

Fattore	Classe
1.00	Variabile - sfavorevole
1.00	Sisma
1.25	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
1.25	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.10	Coeff. Parziale R - Stabilità

CARICHI

Pressione : CS Descrizione : Carico stradale
 Classe : Variabile - sfavorevole
 Intensità.....[kN/m²].. = 10.00 Inclinazione.....[°].. = 0.00
 Ascissa.....[m] : Da = 182.00 To = 187.00

Sisma :
 Classe : Sisma
 Accelerazione....[m/s²]...: Orizzontale..... = 0.35 Verticale..... = -0.18



Verifica di stabilità interna : Discarica Scannaso
 Combinazione di carico : M2 + R2 + Kh±Kv
 Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido
 Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop
 Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 4.775

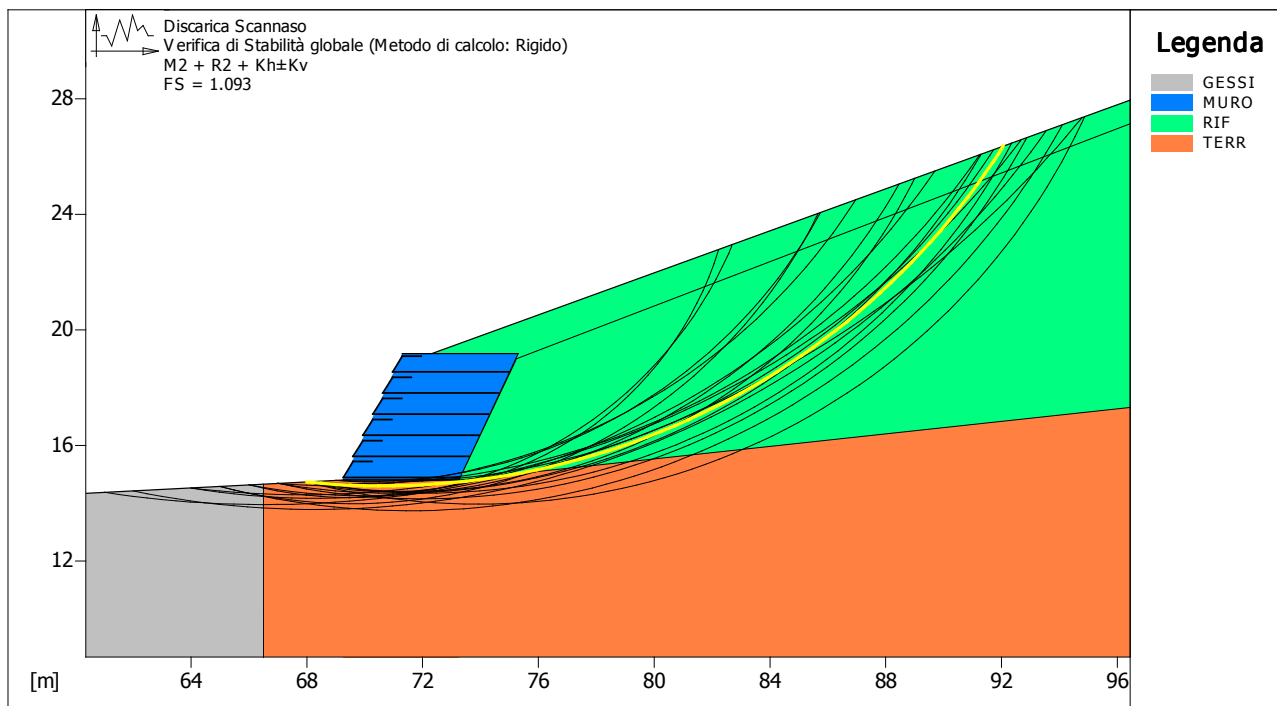
Blocco	Intervallo di ricerca delle superfici	
	Segmento di arrivo, ascisse [m]	
M1	Primo punto	Secondo punto
	70.00	74.00

Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....: 1
 Numero totale superfici di prova.....: 100
 Lunghezza segmenti delle superfici..... [m]: 0.50
 Angolo limite orario..... [°]: 0.00
 Angolo limite antiorario..... [°]: 0.00

Blocco : M1
 Maccaferri - Green Terramesh - 65° - 8/2.7P - 0.73
 Rapporto forza/resistenza nei rinforzi

Y [m]	Fmax
0.73	0.768
1.46	0.768
2.19	0.768
2.92	0.591
3.65	0.393

Fattore	Classe
1.00	Variabile - sfavorevole
1.00	Sisma
1.25	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
1.25	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.10	Coeff. Parziale R - Stabilità



Verifica di stabilità globale : Discarica Scannaso

Combinazione di carico : M2 + R2 + Kh±Kv
 Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido
 Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop
 Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 1.093

Intervallo di ricerca delle superfici			
Segmento di partenza, ascisse [m]		Segmento di arrivo, ascisse [m]	
Primo punto	Secondo punto	Primo punto	Secondo punto
20.00	69.00	75.00	95.00
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....:			50
Numero totale superfici di prova.....:			1000
Lunghezza segmenti delle superfici..... [m].....:			0.50
Angolo limite orario..... [°].....:			0.00
Angolo limite antiorario..... [°].....:			0.00

Fattore	Classe
1.00	Variabile - sfavorevole
1.00	Sisma
1.25	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
1.25	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.10	Coeff. Parziale R - Stabilità