Firmato digitalmente da
VLADIMIRO ROTISCIANI
CN = ROTISCIANI VLADIMIRO
C = IT

PROVINCIA DI IMPERIA

Stazione Appaltante Viale Matteotti, 147 – 18100 Imperia Italia
Ufficio Settore 4 Infrastrutture e Rifiuti
e-mail: ambiente.rifiuti@provincia.imperia.it – tel.: +39 0183704270

PROCEDURA APERTA PER L'AFFIDAMENTO AI SENSI DEGLI ARTT. 180 E 183, COMMA 15, D.LGS. 50/2016 E S.M.I. DELLA CONCESSIONE PER LA REALIZZAZIONE E SUCCESSIVA GESTIONE DELL'IMPIANTO INTEGRATO DI TRATTAMENTO, RECUPERO E VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI DELLA PROVINCIA DI IMPERIA CON ANNESSA DISCARICA DI SERVIZIO, UBICATO IN LOCALITÀ COLLI NEL COMUNE DI TAGGIA.

CUP I61B21002840005 - CIG 9004190CA3

OPERATORE ECONOMICO

IDRO EDIL S.R.L.

WASTE TREATMENT TECHNOLOGIES
WTT - MEMBER OF THE CONVERTUS GROUP

BUSTA B	B1 – PROGETTO DEFINITIVO
OFFERTA TECNICA	

RELAZIONI

RELAZIONI DI CALCOLO

RELAZIONE DI CALCOLO DEGLI IMPIANTI - DISCARICA

ELAB.	COM		DOC								PAGINE		REV.
RLC.03	1	2	0	0	P	D	R	L	C	0	3	. .	0	1	DI	89	1

PROGETTAZIONE
CAPOGRUPPO MANDATARIA

ICARIA

ICARIA srl
SOCIETÀ DI INGEGNERIA
Via della Spezia, 6 – 00182 Roma
Corso Cavour, 445 – 05018 Orvieto (tr)
Tel. +39 0763 34 08 75 fax +39 0763 34 12 51
www.icariasrl.it info@icariasl.it

ORDINE degli INGEGNERI
INGEGNERE
Vladimiro
ROTISCIANI
civile ed ambientale
industriale
dell'informazione
A 376
Provincia di TERNI

MANDANTE

STUDIO
GEOLOGIA TECNICA

STUDIO GEOLOGIA TECNICA
Dott. Geol. Castellano Carnevale Roberto

Via Matteotti n°154 - 18038 Sanremo
Tel/fax 0184-577377 cell. 348/2685872
Mail: geol.castellano@libero.it

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI DELLA LIGURIA
Dott. Geol. ROBERTO CASTELLANO CARNEVALE
A.P. n. 108

REVISIONE	DATA	OGGETTO	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	AUTORIZZATO
1	DICEMBRE 2023	CORREZIONE REFUSI TESTUALI E INTEGRAZIONI RICHIESTE DAGLI ENTI			VR	VR
0	LUGLIO 2022	EMISSIONE			VR	VR

È vietata ai sensi di legge la divulgazione e la riproduzione del presente disegno senza la preventiva autorizzazione

Sommario

1 PREMESSA 4
2 PERCOLATO 6
2.1 Bilancio idrologico della discarica 6
2.2 Stima della produzione di percolato 9
3 BIOGAS 12
3.1 Produzione del biogas 12
3.2 Modello BIO 13
3.3 Variabili merceologiche dei rifiuti 14
3.4 Cronologia degli smaltimenti 17
3.5 Umidità discarica 18
3.6 Variabili soggettive 20
3.7 Produttività specifiche 20
3.8 Produzione totale biogas 21
3.9 Captabilità 24
3.10 Valutazione di conformità normativa 28
3.11 Dimensionamento impianto di estrazione del biogas 29
3.12 Descrizione impianto estrazione biogas 31
4 EQUIVALENZA IDRAULICA 34
4.1 Il D.Lgs. 121/20 34
4.2 Criteri di dimensionamento dell'equivalenza idraulica 36
4.3 Stato di progetto 36
4.4 Confronto tra gli strati 37
4.4.1 Geocomposito bentonitico – Livello 1 38
4.4.2 Geocomposito bentonitico – Livello 2a 39
4.5 Conclusioni 40
5 VALUTAZIONI GEOTECNICHE 41
5.1 Dimensionamento argine in terra rinforzata 41
5.1.1 Premessa 41
5.1.2 Elementi delle terre rinforzate: 44
5.1.3 Il contributo del rinforzo geosintetico 45
5.1.4 Verifica della stabilità dei rinforzi 46
5.1.5 Stabilità in condizioni statiche 49
5.1.6 Resistenza nominale delle geogriglie 53
5.1.7 Stabilità in condizioni sismiche 54
5.2 Verifiche di stabilità della discarica 59
5.2.1 Premessa 59

5.2.2 Caratterizzazione rifiuti sfusi 61
5.2.3 Interfacce dei sistemi di impermeabilizzazione 68
5.2.4 Metodologie di calcolo 70
5.2.5 Analisi statiche 71
5.2.6 Analisi sismiche 72
5.2.7 Parametri assegnati per le analisi 73
5.2.8 Risultati 76
5.3 Back-analysis livelli del percolato 80
5.4 Verifiche dello strato di copertura e dimensionamento delle geogriglie 81
5.4.1 Premessa 81
5.4.2 Ipotesi di calcolo 81
5.4.3 Caratteristiche materiali 82
5.4.4 Analisi di stabilità in condizioni statiche 84
5.4.5 Analisi di stabilità in condizioni sismiche (pseudo-statiche) 84
5.5 Cedimenti del corpo rifiuti 85
5.5.1 Cedimento del corpo rifiuti indotto dal carico della copertura 86
5.5.2 Cedimenti secondari 87
5.5.3 Calcolo dei cedimenti 88
6 ALLEGATI 89

1 PREMESSA

Il presente documento è redatto per la partecipazione alla procedura aperta per l'affidamento, ai sensi degli artt. 180 e 183, comma 15, D.lgs. 50/2016 e s.m.i., della concessione per la realizzazione e successiva gestione dell'impianto integrato di trattamento, recupero e valorizzazione dei rifiuti solidi urbani della provincia di Imperia con annessa discarica di servizio, ubicato in località Colli nel Comune di Taggia, in provincia di Imperia.

Il documento rappresenta la relazione di calcolo della Discarica di servizio dell'impianto integrato ed in particolare per i seguenti aspetti:

- stima della produzione del percolato prodotto dalla discarica;
- stima della produzione di biogas prodotto dalla discarica
- dimensionamento del rilevato in terra rinforzata di contenimenti di valle dalla vasca rifiuti;
- equivalenza idraulica del pacchetto di impermeabilizzazione delle pareti in ottemperanza al D.Lgs. 121/20.

Poiché a seguito dell'Atto di aggiudicazione[1] disposto dalla Provincia di Imperia in data 23/12/2022, è stato rilevato che il progetto definitivo predisposto per il suo rilascio – di cui questo documento fa parte integrante – presentava modifiche rispetto a quello di cui al Decreto PAUR n 2908/2020, recante "*Provvedimento Autorizzativo Unico regionale – PAUR ex art. 27bis D.Lgs. 152/06 – Nuovo Impianto di trattamento e recupero rifiuti e relativa discarica in località Colli a Taggia – Proponente: Segreteria Tecnica dell'ATO Rifiuti della Provincia di Imperia"* e che tali modifiche sono state definite oggetto di "*liste di controllo ex art. 6 c.9 bis del D.Lgs. 152/06*", la presente relazione specialistica è stata aggiornata alle

[1] Atto di aggiudicazione – al costituendo R.T.I. formato dalla mandataria Idroedil s.r.l. e dalla mandante W.T.T. B.V. - CIG: 9004190CA3 - CUP: I61B21002840005 – della "*Procedura Aperta per l'affidamento ai sensi degli artt. 180 e 183, comma 15, D.Lgs. 50/2016 e s.m.i. della concessione per la realizzazione e successiva gestione dell'impianto integrato di trattamento, recupero e valorizzazione dei rifiuti solidi urbani della Provincia di Imperia con annessa discarica di servizio, ubicato in Località Colli nel Comune di Taggia*".

richieste di integrazioni pervenute dagli Enti nell'ambito della fase di ottemperanza, con particolare riferimento al Capitolo 5 "*Valutazioni geotecniche*".

In particolare, sono stati corretti alcuni refusi testuali, sono stati esplicitati e/o chiariti meglio alcuni contenuti ed alcune ipotesi fatte e sono state introdotte nuove verifiche di stabilità globali, in condizioni statiche e sismiche, per le quali è stato aggiunto il nuovo Allegato 5, che ne contiene i tabulati di calcolo.

Inoltre, in accordo con quanto prescritto dal Provvedimento di compatibilità ambientale, è stata valutata l'entità dei cedimenti del corpo rifiuti al fine di garantire l'integrità degli strati del sistema di copertura e del sistema di drenaggio delle acque meteoriche ivi insistenti (v. par.5.5).

Infine, va precisato che le ipotesi assunte, fino alla data odierna, sulla caratterizzazione geotecnica del c.d. "*materiale antropico*" (v.par.5.2.7) saranno oggetto di ulteriore conferma con l'esecuzione di una specifica campagna d'indagini integrative, concordata in questa fase di ottemperanza e descritta nel documento "*Programma per approfondimenti geotecnici in laboratorio*".

2 PERCOLATO

La determinazione della quantità di percolato prodotto e delle sue caratteristiche è stata effettuata attraverso l'utilizzo di modelli teorici che permettono di tenere conto delle caratteristiche specifiche del sito. Le valutazioni quantitative, in particolare, fanno riferimento a specifici modelli del bilancio idrologico della discarica.

2.1 Bilancio idrologico della discarica

La quantità di percolato prodotto da una discarica dipende da molteplici fattori, quali:

- caratteristiche meteorologiche e idriche della zona (piovosità, temperatura);
- peculiarità morfologiche dell'accumulo;
- permeabilità e spessore del materiale di copertura (tipo di vegetazione e di terreno, pendenza e configurazione topografica);
- metodo di coltivazione della discarica;
- tipo e grado di compattazione dei rifiuti (ad esempio, la quantità di percolato può diminuire del 25÷50% per rifiuti sistemati con trattori cingolati o del 15÷25% per rifiuti sistemati con compattatori a ruote di acciaio 2).

Un'esatta determinazione di alcuni di tali parametri è di difficile realizzazione, soprattutto per quanto riguarda la caratterizzazione del rifiuto.

Per la valutazione del quantitativo di percolato prodotto da una discarica si può ricorrere ad un bilancio idrologico, ossia ad un modello che renda conto dei volumi di acqua in ingresso ed in uscita dal bacino impermeabilizzato della discarica.

Il bilancio idrologico di una discarica controllata progettata secondo i criteri imposti dalla moderna pratica ingegneristica e rispettando le prescrizioni normative, ossia in modo tale da evitare perdite verso l'esterno, ingressioni di acque di ruscellamento esterne all'area di discarica, può essere scritto come:

$$P + RC - L - R - ET - DL - \Delta U = 0 \qquad (1.)$$

dove:

[2] Cfr: "Valutazione della quantità di percolato prodotta in uno scarico controllato" di R. Canziani, R. Cossu, Ingegneria Ambientale vol. 14 n. 3-4 marzo/aprile 1995

P = afflussi meteorici

RC = ricircolo del percolato

L = percolato drenato dalla rete di collettamento

R = ruscellamento dalla superficie della discarica

ET = evapotraspirazione

DL = drenaggio laterale della copertura

ΔU = variazione del contenuto idrico dei rifiuti

Nell'ipotesi di non ricircolare il percolato, si può fare riferimento alla proposta di *Oweiss e Khera* (1990) e determinare la produzione di percolato per unità di superficie della discarica. Il modello viene sviluppato per la sola fase di coltivazione, in quanto, a copertura definitiva messa in opera, la produzione di percolato diminuirà progressivamente nel tempo.

Il procedimento inizia con il considerare le temperature medie mensili (T), a partire dalle quali viene stimata l'evapotraspirazione potenziale ETP e l'evapotraspirazione corretta per fattori geografici del sito ETPc.

Per fare questo si fa ricorso alla schematizzazione fisica di Thornthwaite, che stabilisce la seguente relazione esponenziale tra l'evapotraspirazione potenziale e la temperatura media mensile:

$$ETP_i = 16 * \left(\frac{10 \cdot Ti}{I_T}\right)^a \qquad (2.)$$

dove:

EPi = evapotraspirazione potenziale media mensile (espressa in mm);

T = temperatura media dell'aria, riferita al mese i-esimo;

a = $0{,}49239 + 1{,}792 \times 10^{-2} \times I_T - 7{,}71 \times 10^{-5} \times I_T^2 + 6{,}75 \times 10^{-7} \times I_T^3$

IT = indice di calore, pari alla sommatoria degli indici mensili (i) dei dodici mesi dell'anno, pari a

$$I_T = \sum_{i=1}^{12} I_i = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5}\right)^{1.514} \qquad (3.)$$

La correzione geografica viene effettuata moltiplicando l'evapotraspirazione potenziale per un coefficiente di correzione di latitudine (k1) che tiene conto della diversa durata del giorno alle diverse latitudini e, per ciascun mese, è pari al rapporto tra le ore diurne e la metà delle ore giornaliere.

In virtù del fatto che la copertura intermedia non presenta manto vegetale, il valore ETP viene corretto con un ulteriore coefficiente (k2) per considerare il fatto che avviene solamente evaporazione e non traspirazione.

La determinazione della quantità di percolato prodotta può essere effettuata nota anche l'infiltrazione.

Infatti, all'inizio di un evento pluviometrico i rifiuti permeabili assorbono le acque di precipitazione fino a risultare saturi di acqua di ritenzione, dopo di che le acque di precipitazione si allontanano dalla zona in esame scorrendo in superficie (deflusso superficiale) e per via sotterranea (infiltrazione).

In via cautelativa si trascura la quota parte di deflusso superficiale e si considera che la piovosità venga interamente assorbita.

Pertanto l'infiltrazione In è stata considerata uguale alla piovosità media mensile P.

Quando l'infiltrazione è maggiore dell'evapotraspirazione calcolata in precedenza l'eccesso di infiltrazione va ad alimentare per una parte eventuali deficienze del contenuto naturale d'acqua dello strato superficiale (determinato dal bilancio del mese precedente) e per la parte restante si trasforma in percolato.

Quando invece le precipitazioni sono insufficienti a ricostruire la capacità di campo dei rifiuti, l'evapotraspirazione avviene in parte a spese dell'infiltrazione e per la parte restante a spese della capacità di riserva idrica della copertura intermedia S che subirà un impoverimento senza dare luogo a percolato. Pertanto l'evapotraspirazione reale ETR risulta uguale a quella potenziale quando l'infiltrazione è maggiore dell'evapotraspirazione, mentre in caso di deficit idrico è pari alla somma dell'infiltrazione e della perdita di contenuto d'acqua della copertura.

Il confronto fra l'infiltrazione In e l'evapotraspirazione reale ETR ha permesso la determinazione del percolato prodotto L.

Si precisa inoltre che, quando l'infiltrazione torna ad eccedere l'evapotraspirazione, una quota parte dell'infiltrazione servirà ad integrare la riserva idrica della copertura intermedia S a discapito della produzione di percolato.

Una volta nota la produzione unitaria, a seconda della fase di coltivazione considerata, ossia quella più critica, sono note le superfici già impermeabilizzate e la volumetria abbancata da cui può essere calcolata l'effettiva produzione di percolato tenendo conto della quota parte di precipitazione trattenuta dal rifiuto e del rilascio di liquidi da parte dei fanghi di depurazione acque smaltiti in discarica.

2.2 Stima della produzione di percolato

La determinazione della produzione di percolato per il lotto in progetto è stata condotta in riferimento al periodo di gestione operativa secondo le fasi schematizzate negli elaborati grafici di progetto.

L'applicazione del metodo proposto da *Oweiss e Khera*, descritto al precedente paragrafo, è stata effettuata ipotizzando che la capacità di riserva idrica della copertura intermedia S sia quantificabile in 10 mm.

Di seguito si riportano i due grafici più significativi del procedimento di calcolo applicato al caso in oggetto; il dettaglio dell'applicazione del suddetto metodo è riportato in **Allegato 1** al presente documento.

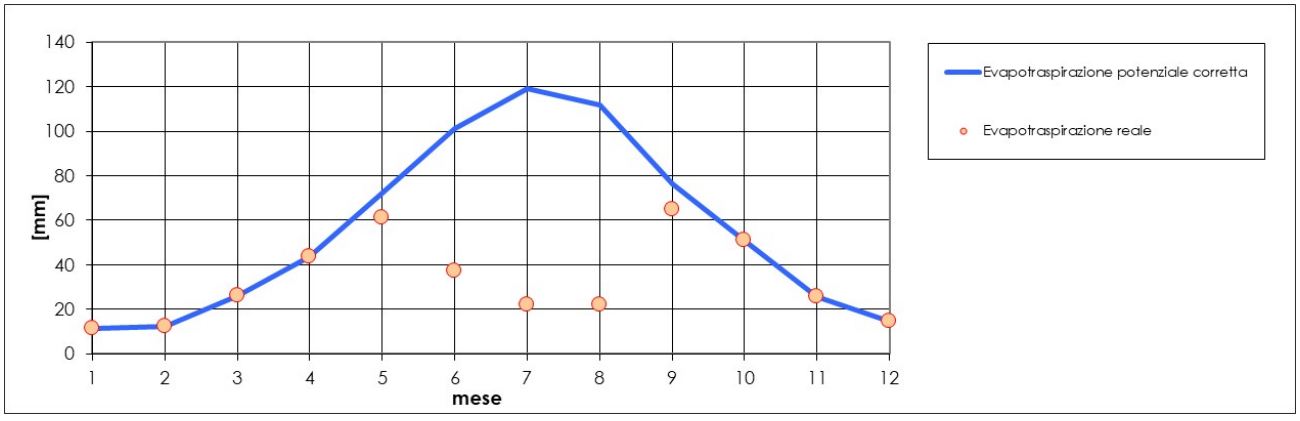


Figura 2.1: Evapotraspirazione

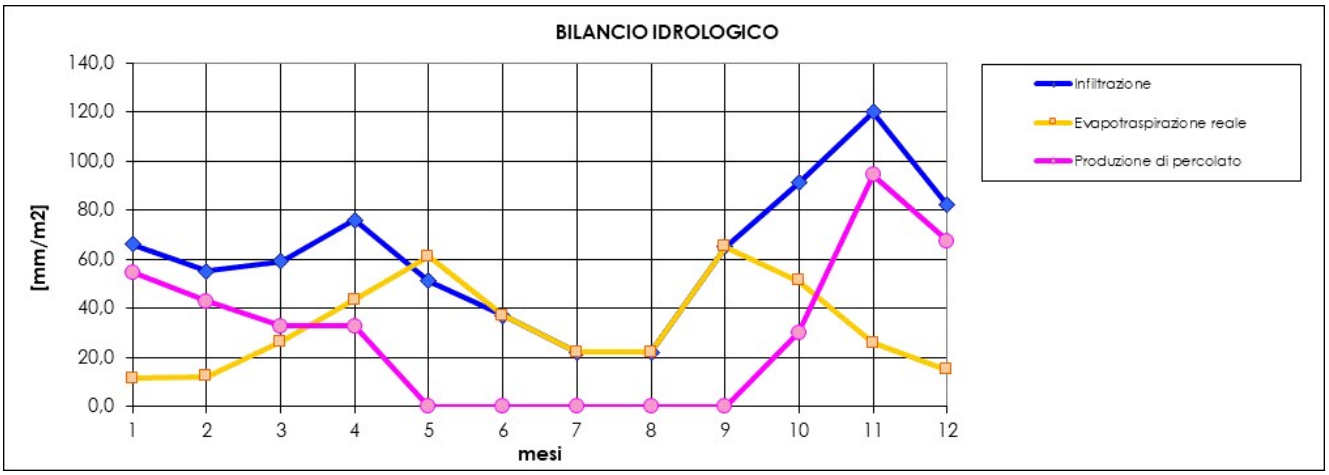


Figura 2.2: Bilancio idrologico

Dalla tabella riportata in **Allegato 1** alla presente relazione si evince che la produzione media annua di percolato per unità di superficie è pari a 386 mm/m^2/anno.

Una volta nota la produzione unitaria di percolato, è stata calcolata la produzione totale tenendo conto del fatto che si prevede di realizzare e gestire la discarica secondo la logica di fasi descritta negli elaborati grafici di riferimento.

Per ogni fase di coltivazione considerata, ricavando graficamente i dati circa le superfici medie impermeabilizzate e occupate dall'abbancamento di rifiuti, è stata calcolata l'effettiva produzione di percolato tenendo conto anche della quota parte di precipitazione trattenuta dal rifiuto (10%).

Sempre in **Allegato 1** sono riportati i risultati dei calcoli; si osserva in particolare che:

- la produzione di percolato mensile attesa durante i **primi periodi di gestione**, quando la coltivazione interesserà porzioni limitate della vasca di discarica, è di circa 440 m^3/mese (con una produzione massima media mensile attesa di 1.400 m^3/mese), che porta a considerare un dato annuale medio di circa 5.300 m^3/anno;
- la produzione di percolato mensile media attesa durante la fase di **gestione operativa a regime**, è di circa 880 m^3/mese (con una produzione massima media mensile attesa di 2.800 m^3/mese), **che porta ad un dato annuale medio di circa 10.000 m^3/anno**;

- la produzione di percolato mensile media attesa durante la fase di **post-gestione**, una volta posata la copertura definitiva, è valutata in circa un 10-15 % del dato di produzione durante la gestione e, quindi (considerando un fattore di riduzione medio del 14%) in circa 1.400 m^3/anno che, considerando l'intero periodo di 30 anni, porta ad una produzione complessiva di circa 42.000 m^3.

3 BIOGAS

3.1 Produzione del biogas

I fenomeni alla base del processo di produzione del biogas sono oramai ben conosciuti ed ampiamente descritti dalla ampia bibliografia disponibile. Per tale motivo si tralascia in questa sede la descrizione dei fattori bio-chimici e dei concetti alla base del fenomeno.

In effetti il fenomeno "base" è abbastanza semplice mentre è ben più complessa la valutazione della "sovrapposizione degli effetti" di produzione del biogas che avviene in una discarica.

Il fenomeno fermentativo che può essere simulato all'interno di un laboratorio è facilmente controllabile ed analizzabile, anche all'interno di un digestore anaerobico di rifiuti, o di sostanze organiche assimilabili, di alcune decine di metri cubi il fenomeno è ben definibile e tutti i parametri influenti sono analiticamente osservabili ed eventualmente correggibili.

In una discarica di grandi dimensioni la fenomenologia è invece estremamente più complessa e quindi è possibile definire che in discarica non è presente un fenomeno fermentativo, ma bensì innumerevoli fenomeni che contemporaneamente contribuiscono alla produzione del biogas.

La tipologia dei rifiuti, per natura stessa estremamente eterogenea, le mutevoli condizioni ambientali, costruttive e gestionali di un impianto influiscono sulla produzione complessiva del biogas.

I rifiuti che verranno conferiti all'impianto in progetto saranno caratterizzati da specifiche tipologie prevalentemente originate da trattamenti preliminari tali da modificare sostanzialmente il rifiuto stesso. In particolare la matrice organica, alla base del fenomeno di fermentazione e pertanto della produzione di biogas, sarà ridotta dai processi di stabilizzazione e pre-trattamento. È pertanto prevedibile che la produzione di biogas sarà decisamente inferiore a quella generabile da un rifiuto tal quale con elevata porzione putrescibile.

Con tali premesse si valuta come indispensabilmente necessario un approccio molto prudenziale e flessibile all'argomento di valutazione della produzione di biogas, anche se presumibilmente caratterizzato da flussi modesti.

3.2 Modello BIO

L'uso di modelli molto semplificati e fortemente arbitrari è assolutamente sconsigliabile anche se molti di questi modelli (esempio LandGem EPA) sono spesso utilizzati in quanto facilmente recuperabili sul web.

Al fine di aggiornare la curva di produttività del biogas della discarica in oggetto si è ritenuto di utilizzare il modello probabilistico "BIO" basato su un metodo misto teorico-pratico. Il modello BIO è stato sviluppato da oltre 35 anni ed applicato a centinaia di casistiche. La versione 8 (BIO-8) risulta essere la più recente ottimizzazione dell'approccio del modello previsionale BIO.

Questa versione consente di considerare più approfonditamente tre importanti elementi:

- L'inserimento del massimo numero di variabili effettivamente rappresentative dell'ambiente di fermentazione e della tipologia del sistema di captazione;
- Considerare la variabilità nel tempo della tipologia dei rifiuti;
- Considerare la variabilità probabilistica degli elementi di input inseriti nel modello di calcolo.

Queste caratteristiche sono però determinanti per l'analisi di una discarica completata o in corso di coltivazione dove la variazione dei parametri, in particolare la merceologia dei rifiuti, è basilare per una più elevata precisione.

In particolare la possibilità di valutare "anno per anno" la composizione dei rifiuti evita di mediare alcuni aspetti merceologici determinanti.

Per il caso in oggetto l'analisi riguarda un "progetto" e conseguentemente i dati del modello non possono che essere previsionali, nel caso specifico i dati tipologici e di conferimento sono al momento solo prevedibili.

Sulla base di tale premessa si ritiene inutile utilizzare un modello che valuta la capacità produttiva di ogni singolo anno ma è sufficiente l'utilizzo di un modello che "media" i dati di input. Tali caratteristiche sono conformi alla versione BIO-7 del modello che, in ogni caso, prevede l'inserimento del massimo numero di variabili effettivamente rappresentative del fenomeno produttivo.

Essendo lo studio delle previsioni di produzione biogas essere stato basato sull'attribuzione di un considerevole numero di stime e variabili che condizionano l'elaborazione finale,

l'attendibilità delle previsioni fornite dal modello BIO-7 è funzione dell'affidabilità dei suddetti valori, come premesso al momento solo prevedibili.

Per tali motivazioni è parso opportuno condurre un'analisi basata sull'assunzione di uno spettro di differenti "scenari", in chiave probabilistica.

Detti scenari sono compresi fra due "casi limite":

- **Best case:** prospezione condizionata dall'applicazione di valori "ottimistici" (nel senso della massima produzione di biogas) a tutte le variabili non certe;
- **Worst case:** prospezione condizionata dall'applicazione di valori "pessimistici" (nel senso della minima produzione di biogas) a tutte le variabili non certe.

L'inserimento del criterio "probabilistico" consentirà di disporre due prospezioni che dovrebbero rappresentare i limiti estremi della ipotesi di produzione e captabilità del biogas.

Nel seguito si procede allo studio delle informazioni determinanti per l'elaborazione della prospezione produttiva del biogas.

3.3 Variabili merceologiche dei rifiuti

Il modello BIO-7 considera la caratterizzazione merceologica in funzione della capacità fermentativa di ogni singola categoria di rifiuto smaltita in discarica consentendo di apprezzare in senso critico la variabilità della caratterizzazione merceologica riferita al periodo di manifestazione del fenomeno.

Per il calcolo specifico, sulla base delle informazioni disponibili, vengono considerate differenti categorie merceologiche.

Ogni caratterizzazione prevede una "differenziazione per assimilabilità" ad altre 11 sotto-categorie "pilota" di rifiuti:

- assimilabile organico domestico;
- assimilabile organico grandi utenze;
- assimilabile sfalci e potature;
- assimilabile FORSU o sottovaglio;
- assimilabile carta;

- assimilabile cartone;
- assimilabile altri cellulosici;
- assimilabile tessili;
- assimilabile legno;
- assimilabile FOS Stabilizzata;
- assimilabile Fanghi depurazione biologica.

Ogni categoria è stata inoltre assunta con distinti limiti probabilistici consentendo di ampliare la flessibilità di valutazione.

La merceologia dei rifiuti è determinante in una valutazione della prospezione produttiva del biogas in quanto fornisce il dato basilare della quantità di sostanza organica disponibile al fenomeno e la sua "consistenza".

I dati al momento disponibili sono previsionali per il periodo di coltivazione della discarica.

I dati utilizzati per il modello si basano sulle seguenti informazioni di conferimento annuo:

Tipologia rifiuto conferito	Conferimento annuale in peso (t/anno)
Bio-stabilizzato (FOS)	12.409
Scarti raffinazione compost	2.245
Scarti raffinazione FOS	1.591
Scarti raffinazione sovvallo	variabile

Come evidente si valuta un afflusso costante per le componenti relative al bio-stabilizzato (FOS) e per gli scarti di raffinazione (sempre del FOS) e del compost mentre per gli scarti di raffinazione del sovvallo si prevede un conferimento variabile compreso tra circa 4.700 e 19.700 t/anno.

Nella tabella seguente si ipotizzano i conferimenti nel periodo ventennale di gestione ripartiti per le categorie sopra identificate.

Anno	Totale a discarica (t)	Biostabilizzato FOS (t)	Scarto raffinazione compost (t)	Scarto raffinazione FOS (t)	Scarto raffinazione sovvallo (t)

1	35.909	12.409	2.245	1.591	19.664
2	35.909	12.409	2.245	1.591	19.664
3	35.909	12.409	2.245	1.591	19.664
4	35.909	12.409	2.245	1.591	19.664
5	35.909	12.409	2.245	1.591	19.664
6	33.409	12.409	2.245	1.591	17.164
7	33.409	12.409	2.245	1.591	17.164
8	33.409	12.409	2.245	1.591	17.164
9	32.909	12.409	2.245	1.591	16.664
10	32.909	12.409	2.245	1.591	16.664
11	25.909	12.409	2.245	1.591	9.664
12	25.909	12.409	2.245	1.591	9.664
13	25.909	12.409	2.245	1.591	9.664
14	23.409	12.409	2.245	1.591	7.164
15	23.409	12.409	2.245	1.591	7.164
16	23.409	12.409	2.245	1.591	7.164
17	23.409	12.409	2.245	1.591	7.164
18	21.409	12.409	2.245	1.591	5.164
19	21.409	12.409	2.245	1.591	5.164
20	20.909	12.409	2.245	1.591	4.664
Totali	**580.680**	**248.180**	**44.900**	**31.820**	**255.780**

Sulla base di questi dati è stata sviluppata una ipotesi di assimilazione come indicato nelle righe precedenti

Tipologia rifiuto assimilato	Worst Case	Best Case
	Percentuale in peso	
Rifiuti assimilabili a sfalci e potature	3%	5%
Rifiuti assimilabili a FORSU e sottovaglio	4%	6%
Rifiuti assimilabili a FOS bio-stabilizzato	5%	7%
Totale organico putrescibile	12%	18%
Altri rifiuti non putrescibili	88%	82%

Come evidente la percentuale di sostanza putrescibile considerabile è stata variabile tra il 12 ed il 18%, con prevalenza di sostanza a lenta cinetica degradativa.

Probabilmente le tipologie di trattamento e pre-trattamento dei rifiuti potranno raggiungere risultati migliori e ridurre ulteriormente tali incidenze ma nella logica di massima prudenza si è ritenuto adeguato questo tipo di approccio previsionale.

3.4 Cronologia degli smaltimenti

La prospezione produttiva deve considerare tutti gli smaltimenti prevedibili in quanto il fenomeno generativo è abbastanza lento e variabile e quindi è prevedibile che una tonnellata di rifiuto possa generare biogas, con diverso flusso, per alcuni decenni.

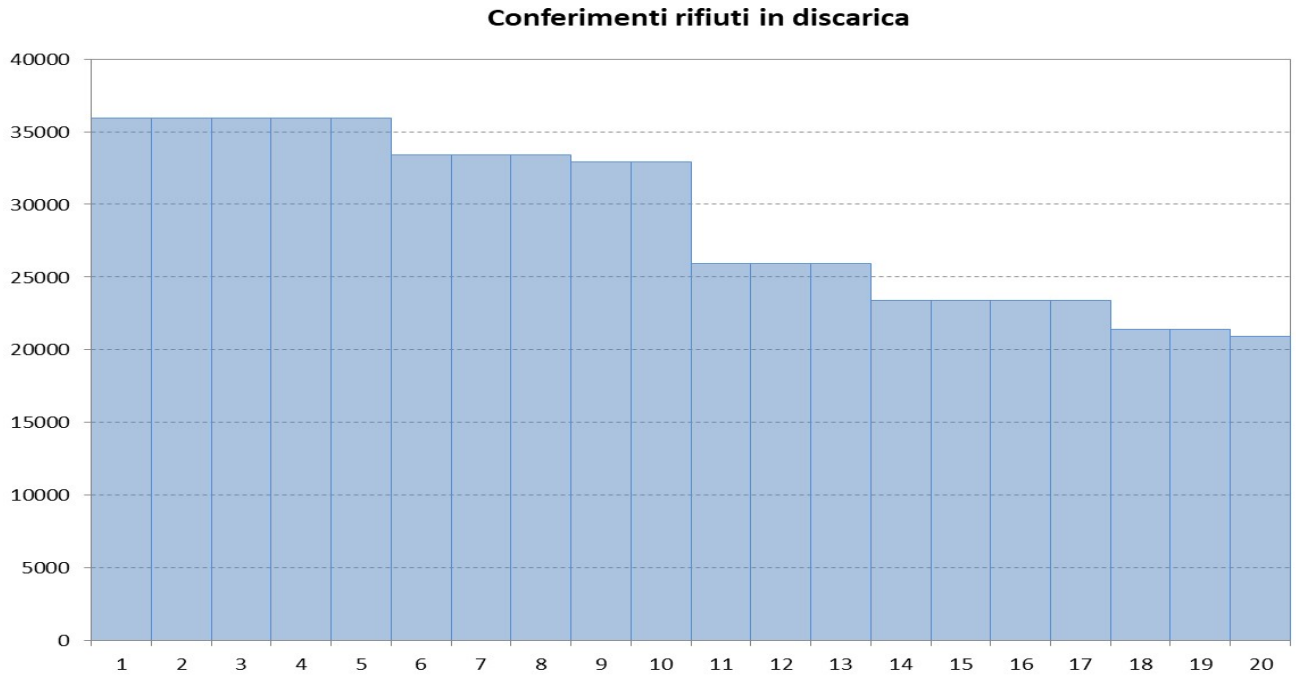
La prospezione deve quindi considerare le previsioni di smaltimento future al fine di verificare e dimensionare correttamente le dotazioni di gestione previste.

Il Committente ha fornito i seguenti dati riassunti nella seguente tabella, non essendo noto l'anno ed il periodo di avviamento dell'impianto ci si limiterà ad ipotizzare una cronologia progressiva a partire dall'anno 1 corrispondente all'inizio dei conferimenti.

Anno di conferimenti	Tonnellate di rifiuto smaltito
1	35.909
2	35.909
3	35.909
4	35.909
5	35.909
6	33.409
7	33.409
8	33.409
9	32.909
10	32.909
11	25.909
12	25.909
13	25.909
14	23.409
15	23.409
16	23.409
17	23.409

Anno di conferimenti	Tonnellate di rifiuto smaltito
18	21.409
19	21.409
20	20.909
TOTALE	**580.680**

sono pertanto previsti afflussi variabili per un periodo di 20 anni fino al raggiungimento di una capacità complessiva di 580.680 tonnellate.



3.5 Umidità discarica

La valutazione dell'umidità interna alla discarica, quindi l'umidità dell'ambiente nel quale si sviluppa il fenomeno fermentativo, è importante per la finalità di questo studio.

Tale fattore determina la cinetica del fenomeno di decomposizione e quindi la velocità di produzione del biogas espressa come tempo di semi-trasformazione, cioè il tempo entro il quale il fenomeno dimezza la propria capacità produttiva di biogas.

Con l'applicazione del modello BIO-7, anche per l'umidità interna è stata eseguita una valutazione mediata.

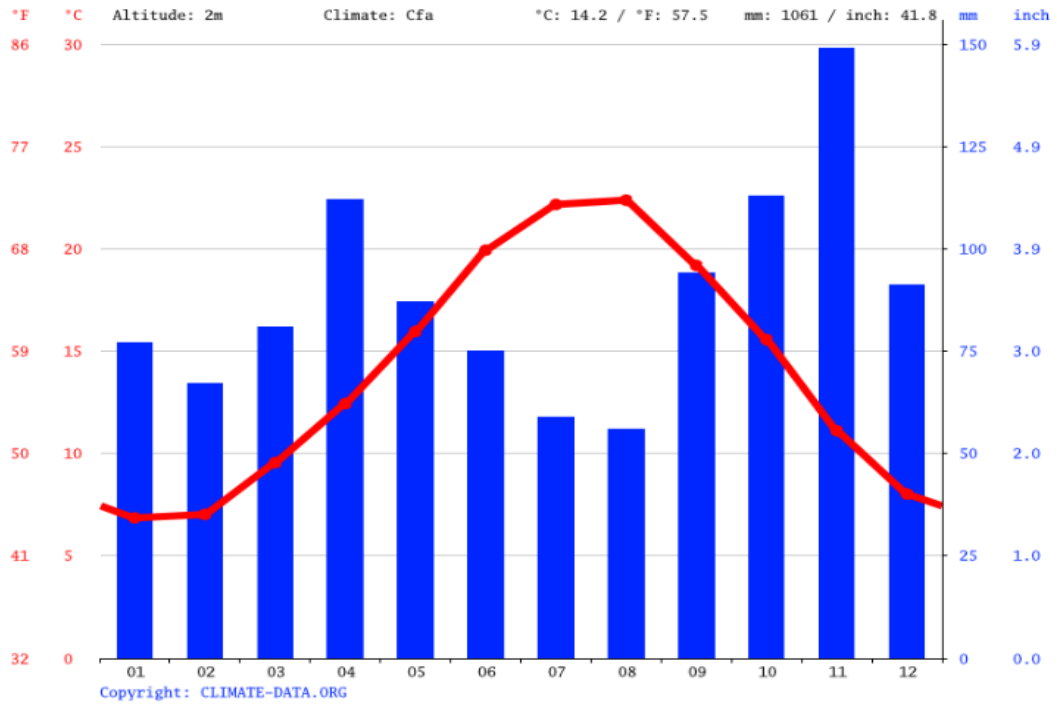
In prima approssimazione è stata considerata l'umidità del rifiuto smaltito in funzione delle componenti merceologiche e valutato l'incremento di umidità acquisito all'interno della discarica.

L'umidità della massa dei rifiuti è stata quindi considerata in base alla sinergia dei seguenti fattori:

- Umidità dei rifiuti al momento del conferimento e dopo compattazione;
- Umidità apportata da fenomeni naturali (pioggia e umidità relativa dell'aria);
- Umidità incrementata dalle procedure di gestione del percolato.

Per la valutazione dell'umidità "apportata" dalle precipitazioni meteo sono stati osservati e valutati i dati pluviometrici annui desunti dal sito Climate-data.org.

GRAFICO CLIMA IMPERIA



La piovosità media indicata è di 1.061 mm H2O/m2.

Sulla base di tali informazioni si è provveduto all'inserimento del dato di piovosità medio nel modello BIO-7.

Nella valutazione occorrerebbe considerare anche la prestazione delle diverse tipologie di copertura della discarica in funzione della natura e materiali di copertura che delle pendenze minime del capping.

Una copertura realizzata con materiali adeguati e dotata di una pendenza minima consente un rapido deflusso delle acque meteoriche senza che queste possano raggiungere la massa dei rifiuti trasformandosi in percolato.

L'umidità dei rifiuti elaborata dal modello BIO-7 è stata indicata come variabile tra il 44,82% nel caso Worst Case ed il 50,18% nel caso Best Case.

3.6 Variabili soggettive

L'elaborazione del modello di calcolo richiede l'inserimento di alcune informazioni che determinano coefficienti correttivi sui parametri di elaborazione.

Le variabili soggettive riguardano le condizioni ambientali al contorno, le caratteristiche costruttive e gestionali della discarica e del sistema di captazione del biogas. Tali variabili sono elencate in uno specifico questionario che è stato inoltrato al Committente e restituito completato in tutte le sue parti.

3.7 Produttività specifiche

Applicando le variabili precedentemente descritte all'algoritmo di calcolo BIO-7 è possibile calcolare la produzione specifica per le distinte componenti RVP ed RLP e quindi quella complessiva.

La produzione specifica è quindi da intendersi come la complessiva capacità nel produrre biogas di una singola tonnellata di rifiuto con la composizione e le condizioni fermentative determinate.

Il dato ottenuto è però indipendente dalle condizioni effettive, ambientali e tipiche della discarica all'interno della quale avviene il fenomeno.

Lo stesso rifiuto smaltito in discariche di diversa forma, tipologia costruttiva, gestionale e localizzazione geografica ed ambientale è in grado di produrre differenti quantità di biogas.
Il modello di prospezione BIO-7, a seguito della definizione delle variabili probabilistiche inserite è quindi in grado di elaborare anche il coefficiente di produttività (Kp) della discarica in oggetto.
Di seguito si riportano i valori di produzione specifica ed i coefficienti correttivi elaborati.

Parametro produttività specifica	Worst Case	Best Case
Produzione specifica RVP	11,77 Nm^3 LFG50/t	20,91 Nm^3 LFG50/t
Produzione specifica RLP	6,21 Nm^3 LFG50/t	9,89 Nm^3 LFG50/t
Produzione specifica TOTALE	17,97 Nm^3 LFG50/t	30,80 Nm^3 LFG50/t
Fattore correttivo Kp	97%	103%
Produzione specifica TOTALE corretta	17,44 Nm^3 LFG50/t	31,73 Nm^3 LFG50/t

La produzione specifica di una singola tonnellata di rifiuto è stata pertanto stimata tra circa 18 e circa 32 Nm^3LFG50/t rs.
Occorre precisare che l'unità di misura volumetrica del biogas (Nm^3/h) è espressa ad una concentrazione tipica di metano pari al 50%, con acronimo LFG50 (LandFill Gas @ 50% CH_4).

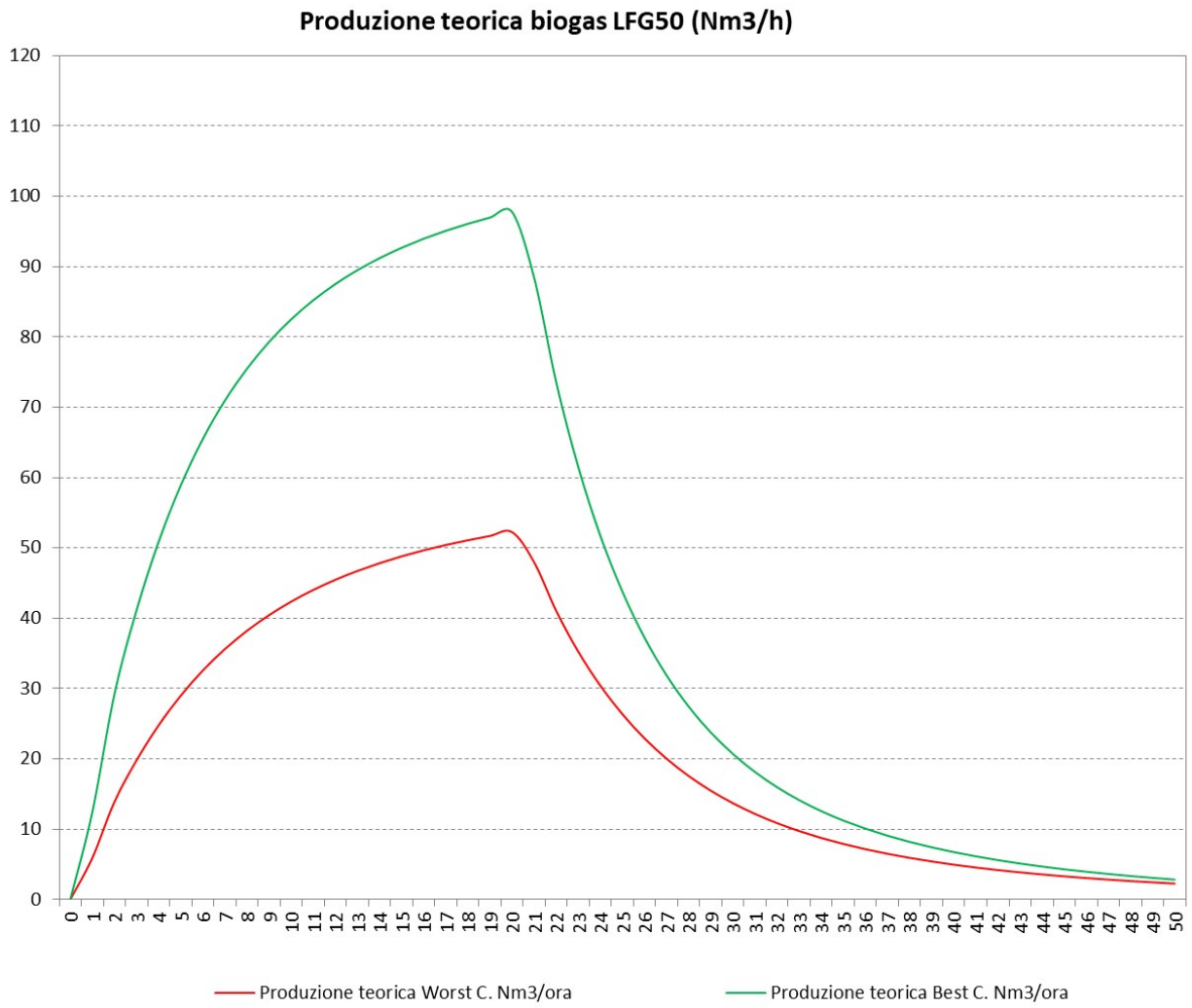
3.8 Produzione totale biogas

Con l'applicazione del criterio di sovrapposizione degli effetti è possibile determinare le produzioni di biogas attese per l'impianto e definite dai due estremi probabilistici Best e Worst Case moltiplicando le varie produzioni specifiche per gli anni di conferimento.
Al fine di fornire le più estese informazioni circa la produzione di biogas il modello è stato "esteso" per una valutazione di 50 anni dopo l'avvio della discarica in oggetto.
Si riporta di seguito la tabella che evidenzia i dati analitici emersi dalla prospezione produttiva elaborata con il modello BIO-7.
Come evidente il picco di produttività è coincidente con il ventesimo anno di coltivazione, lo stesso anno della chiusura presunta, per tale anno si prevede una produzione teorica compresa tra circa 52 e 98 Nm3LFG50/h.

Produzione teorica biogas

Anno	Produzione teorica Worst Case Nm³/h LFG50	Produzione teorica Best Case Nm³/h LFG50
1	5,92	12,45
2	13,89	29,22
3	19,80	41,15
4	24,78	50,89
5	29,00	58,89
6	32,57	65,49
7	35,61	70,95
8	38,21	75,50
9	40,45	79,30
10	42,37	82,51
11	44,03	85,22
12	45,47	87,53
13	46,73	89,50
14	47,83	91,21
15	48,80	92,68
16	49,66	93,97
17	50,42	95,10
18	51,10	96,10
19	51,70	96,98
20	52,25	97,76
21	47,95	88,39
22	41,03	73,53
23	35,25	61,49
24	30,40	51,71
25	26,33	43,74
26	22,90	37,21
27	20,01	31,85
28	17,56	27,42
29	15,47	23,75
30	13,69	20,69
31	12,17	18,13
32	10,86	15,96
33	9,73	14,13
34	8,75	12,57
35	7,90	11,23

Anno	Produzione teorica Worst Case Nm³/h LFG50	Produzione teorica Best Case Nm³/h LFG50
36	7,15	10,07
37	6,50	9,07
38	5,92	8,19
39	5,41	7,42
40	4,96	6,74
41	4,55	6,14
42	4,19	5,60
43	3,86	5,12
44	3,56	4,69
45	3,29	4,30
46	3,05	3,95
47	2,83	3,63
48	2,63	3,34
49	2,44	3,08
50	2,27	2,83



3.9 Captabilità

Il criterio di captabilità (fattore Kc) è inteso come il rapporto tra la produzione del biogas e la sua captazione potenziale od effettiva.

Non tutto il biogas prodotto è ovviamente captabile, specialmente nelle fasi di coltivazione della discarica quando non è ancora presente una copertura efficiente e la rete di captazione e trasporto non è ancora completa.

In bibliografia, e come dato di default di numerosi modelli di calcolo, viene indicato il coefficiente di captabilità (Kc) del 70%.

Un moderno sistema di captazione dovrebbe essere molto efficiente consentendo di raggiungere le massime prestazioni dopo il completamento della rete estrattiva e la copertura dei lotti di gestione.

La valutazione di massima captabilità è però riferita alla maggiore prestazione prevedibile che si ritiene possa essere raggiunta solo dopo la chiusura completa dell'impianto, od almeno una porzione dello stesso. Ne consegue che "prima" della chiusura dell'impianto, durante la coltivazione della discarica, sono prevedibili prestazioni di captazione sicuramente inferiori a quella potenziale.

L'efficienza di captazione è influenzata dalla tipologia del sistema di captazione (tipo e densità spaziale dei pozzi), la loro sigillatura, la tipologia della copertura dei rifiuti, la qualità della regolazione della rete, l'efficienza e precisione del sistema di regolazione e la qualità e competenza del personale di gestione della rete stessa.

Sulla base di queste premesse si ritiene di potere imporre i seguenti massimi parametri previsionali di efficienza di captazione.

- Captabilità Best Case: 85 %
- Captabilità Worst Case: 75 %

Come evidente tali prestazioni di captabilità sono ottimali ed in linea con numerose prescrizioni normative e specifiche che vengono imposte in questo senso.

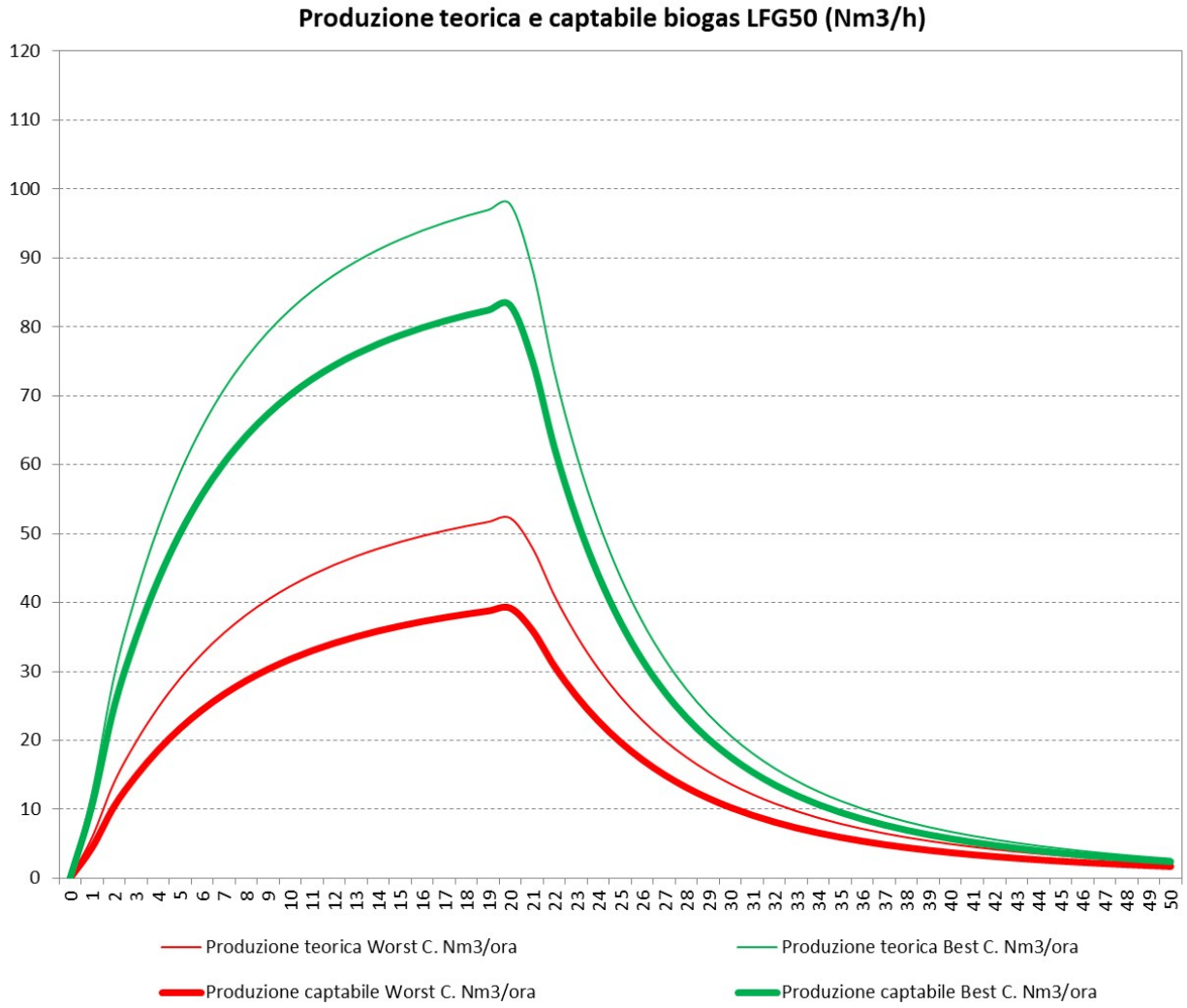
Si riporta di seguito la tabella con la produzione captabile ed il relativo grafico.

La massima captabilità è sempre coincidente con il ventesimo anno con flussi variabili tra circa 39 e 90 Nm^3LFG50/h.

Produzione captabile biogas

Anno	Produzione captabile Worst Case Nm³/h LFG50	Produzione captabile Best Case Nm³/h LFG50
1	4,44	10,58
2	10,42	24,84
3	14,85	34,97
4	18,59	43,26
5	21,75	50,06
6	24,43	55,67
7	26,71	60,31
8	28,66	64,17
9	30,33	67,41
10	31,78	70,13
11	33,02	72,44
12	34,10	74,40
13	35,05	76,08
14	35,87	77,53
15	36,60	78,78
16	37,24	79,88
17	37,81	80,84
18	38,32	81,68
19	38,78	82,43
20	39,18	83,10
21	35,96	75,13
22	30,77	62,50
23	26,44	52,27
24	22,80	43,96
25	19,75	37,18
26	17,18	31,63
27	15,01	27,07
28	13,17	23,31
29	11,60	20,19
30	10,27	17,59
31	9,13	15,41
32	8,15	13,57
33	7,30	12,01
34	6,56	10,68
35	5,92	9,54

Anno	Produzione captabile Worst Case Nm³/h LFG50	Produzione captabile Best Case Nm³/h LFG50
36	5,37	8,56
37	4,87	7,71
38	4,44	6,96
39	4,06	6,31
40	3,72	5,73
41	3,41	5,22
42	3,14	4,76
43	2,89	4,35
44	2,67	3,99
45	2,47	3,66
46	2,29	3,36
47	2,12	3,09
48	1,97	2,84
49	1,83	2,61
50	1,70	2,41



3.10 Valutazione di conformità normativa

Nel seguito si sviluppano alcune osservazioni alle prescrizioni normative vigenti rispetto all'impianto in oggetto ed alle prospezioni elaborate.

Le prescrizioni specifiche sulla gestione del biogas sono indicate dalla vigente Normativa D.Lgs. 121/2020.

In particolare possono essere riassunti i seguenti requisiti:

- Nel caso la produzione di biogas (ipotesi LFG50: metano al 50%), effettivamente captabile, superi i 100 Nm^3/h per un periodo di almeno 5 anni è obbligatoria la destinazione ad un recupero energetico;

- Nel caso la produzione di metano sia inferiore al rapporto di 0,001 $Nm^3/m^2/h$ di metano è ammesso il trattamento in bio-ossidazione in situ;
- Nella fascia intermedia tra le due soglie è obbligatoria la combustione in torcia adiabatica in grado di rispettare i seguenti requisiti:
  - Temperatura di combustione> 850°C
  - Concentrazione ossigeno (nei fumi) => 3 %
  - Tempo di ritenzione: => 0,3 s

Sulla base di tali prescrizioni si considera:

- Che la soglia dei 100 Nm^3/h "effettivamente captabili" non sarà raggiungibile neppure nella valutazione di produzione totale, **ne consegue che non è obbligatorio un impianto di recupero energetico del biogas;**
- Che la soglia di bio-ossidazione in situ può essere definita moltiplicando il coefficiente normativo (0,001 $Nm^3/m^2/h$ di metano) per la superficie potenzialmente emissiva della discarica indicata dal gestore in 31.383 m^2 ottenendo un flusso di 31,38 $Nm^3/m^2/h$ di metano pari a 62,76 $Nm^3/m^2/h$ di biogas LFG50;
- Che la soglia di potenziale bio-ossidazione debba essere riferita alla produzione (e non captazione) di biogas LFG50 e che pertanto nel momento di massima produzione previsto (anno 20) tale flusso viene indicato tra 52 e 98 $Nm^3/m^2/h$ di biogas LFG50. **Ne consegue che, nella sola considerazione Best Case, non sia applicabile tale tecnica di trattamento**.

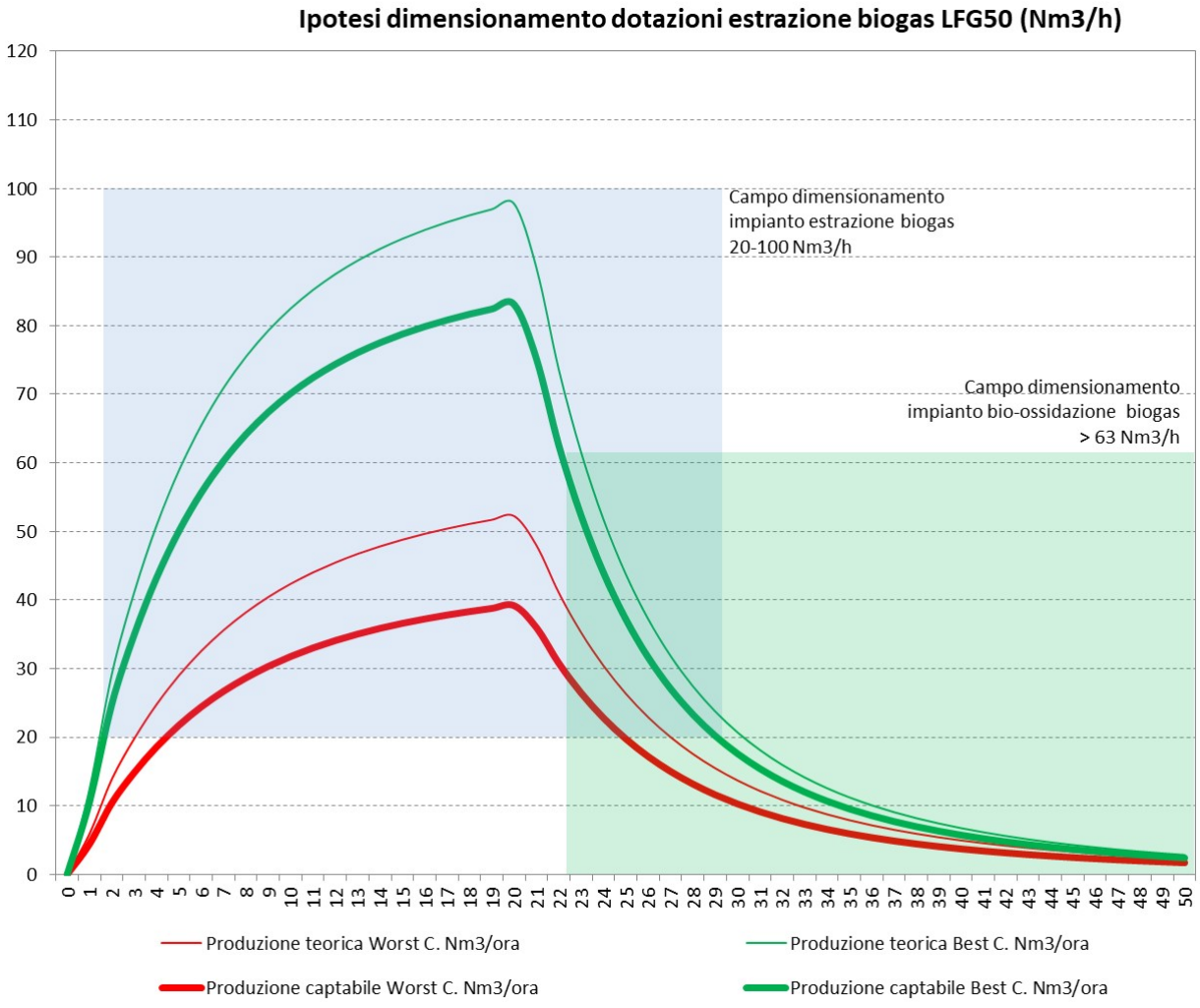
3.11 Dimensionamento impianto di estrazione del biogas

Sulla base delle considerazioni sopra esposte si ritiene che presso la discarica in progetto dovrà essere installata una Centrale di aspirazione e combustione adiabatica del biogas.
In base ai dati di prospezione produttiva si ritiene che la Centrale dovrà avere una capacità di estrazione nominale di 100 Nm^3/h e potenza termica di 480 kWt.

Il range operativo di queste macchine è normalmente compreso nel rapporto 1:5 e quindi tale dotazione è in grado di gestire adeguatamente un flusso di biogas compreso tra 20 e 100 Nm^3/h di biogas LFG50.

Riportando tale campo operativo sul grafico della captabilità precedentemente rappresentato si evidenzia che la dotazione già in servizio sarà adeguata alla gestione del biogas per diversi anni.

Nell'ipotesi rappresentata la Centrale potrà essere utilizzata per 22 anni nell'ipotesi Worst Case e per 29 anni nell'ipotesi di maggiore produzione (Best Case).



A seguito del periodo di utilizzo della Centrale di Estrazione e combustione potrà essere eventualmente utilizzato un sistema di bio-ossidazione. Tale opzione potrà essere

applicabile solo quando la produzione teorica scenderà al di sotto di 63 Nm^3/h di biogas LFG50 (vedere considerazioni precedenti).

Nel grafico l'utilizzo dei due sistemi si sovrappone in funzione della variabilità probabilistica della prospezione.

3.12 Descrizione impianto estrazione biogas

La Centrale di estrazione e combustione di prima installazione sarà di tipo compatto e su di un unico skid saranno montate le seguenti dotazioni:

- Unità di regolazione del flusso: valvola a farfalla
- Unità di deumidificazione con separatore condense e scarico automatico;
- Aspiratore elettrico ATEX:
  - Prevalenza aspirazione: 100 hPa;
  - Prevalenza mandata: 80 hPa;
  - Prevalenza totale: 180 hPa;
  - Portata nominale: 100 Nm^3/h;
  - Portata minima: 20 Nm^3/h;
  - Potenza elettrica (con inverter): 4 kW
- Torcia adiabatica ad alta temperatura:
  - Refrattaria con ceramica spessore 100 mm;
  - Regolazione automatica carburazione;
  - Rompifiamma omologato;
  - Sistema di accensione e riaccensione automatico;
  - Controllo ottico della presenza fiamma;
  - Potenza termica nominale: 480 kWt;
  - Potenza termica minima: 100 kWt;
  - Temperatura di combustione > 850°C (parametro misurato)
  - Concentrazione ossigeno (nei fumi) => 3 % (parametro calcolato)
  - Tempo di ritenzione: => 0,3 s (parametro calcolato)
  - Concentrazione minima di metano nel biogas: 25% (2,4 kWh/Nm^3)

- Pannello di controllo dotato di:
  - Interruttori di comando;
  - Contatore di servizio;
  - Misuratore di portata istantanea;
  - Misuratore di portata totalizzata;
  - Temperatura combustione torcia;
  - Allarmi
  - Interfaccia rete elettrica

I controlli della qualità del biogas captato (percentuali di metano, anidride carbonica ed ossigeno) saranno svolti periodicamente secondo PMC mediante strumentazione portatile adeguata al rilievo anche sui diversi punti della rete di captazione e trasporto.

Tale strumentazione portatile in dotazione al personale addetto al monitoraggio dovrà comprendere oltre all'analizzatore IR anche un manometro ed un anemometro per la misura dei flussi nella rete.

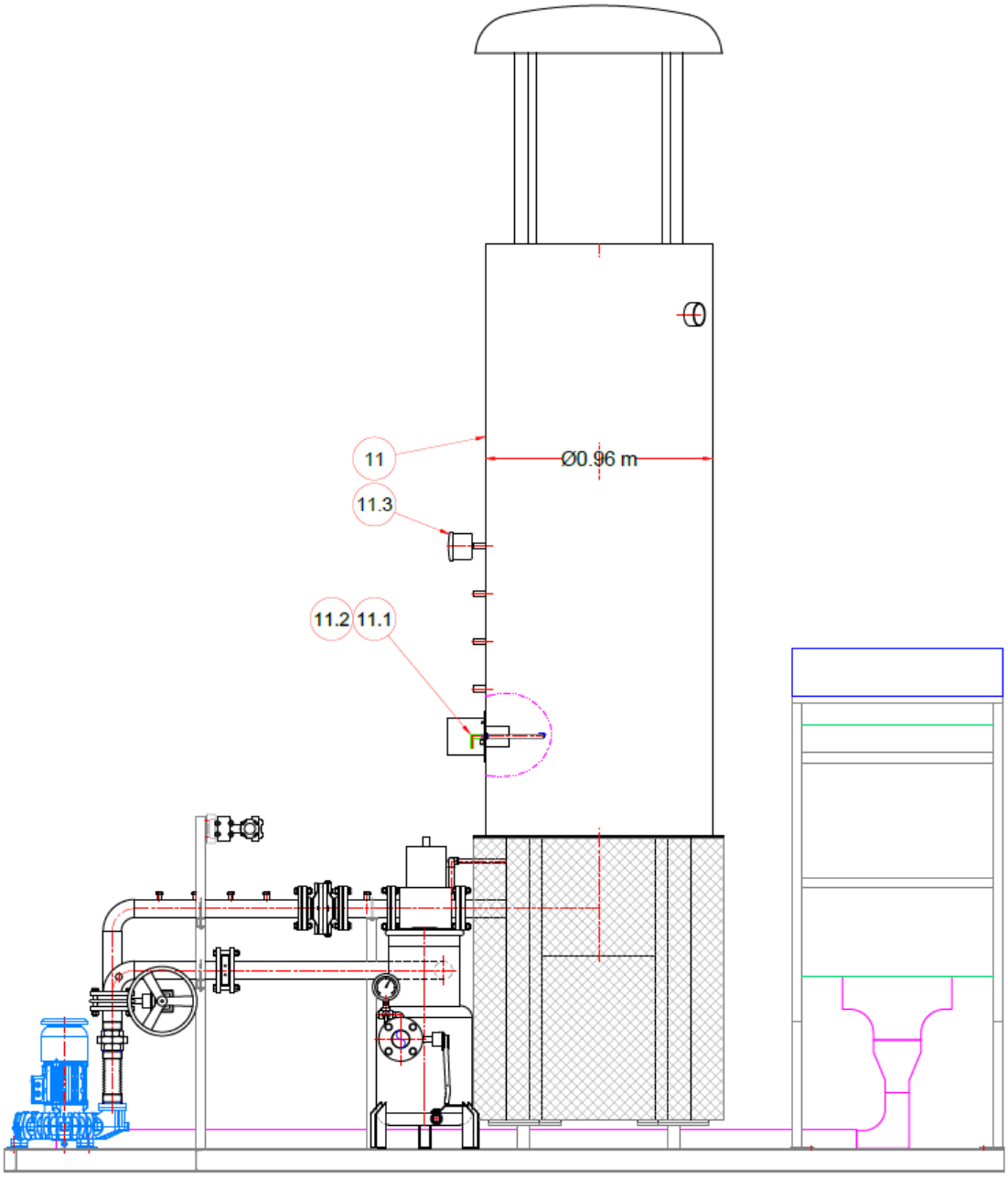


Figura 3: Sezione tipologica della centrale di aspirazione e combustione del gas di discarica

4 EQUIVALENZA IDRAULICA

Di seguito è riportata la verifica di equivalenza in termini di permeabilità e tempo di percolazione in accordo al Decreto Legislativo 3 Settembre 2020, n. 121, del sistema di impermeabilizzazione delle pareti della discarica in oggetto.

4.1 Il D.Lgs. 121/20

Il decreto citato in merito al sistema di impermeabilizzazione delle pareti paragrafo 2.4.2 "Barriera di fondo e delle sponde" recita:

"La barriera geologica alla base e sulle sponde della discarica è costituita da una formazione geologica naturale che risponda a requisiti di permeabilità e spessore aventi un effetto combinato almeno equivalente in termini di tempo di attraversamento a quello risultante dai seguenti criteri:

- *discarica per rifiuti non pericolosi: conducibilità idraulica $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s e spessore $s \geq 1$ m…*
- *discarica per rifiuti pericolosi: conducibilità idraulica $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s e spessore $s \geq 5$ m;*

[…]

Particolari soluzioni progettuali nel completamento della barriera geologica delle sponde potranno eccezionalmente essere adottate e realizzate anche con spessori inferiori a 0,5 m, a condizione che garantiscano comunque una protezione equivalente e previa approvazione dell'ente territoriale competente.

[…]

Lo strato di impermeabilizzazione artificiale lungo le sponde della discarica deve essere realizzato artificiale con uguali caratteristiche fisico-meccaniche e idrauliche a quelle dello strato di impermeabilizzazione artificiale di fondo. Particolari soluzioni progettuali nella realizzazione del sistema di impermeabilizzazione artificiale delle sponde potranno eccezionalmente essere adottate e realizzate anche con spessori inferiori a condizione che garantiscano comunque una protezione equivalente e previa approvazione dell'ente territoriale competente."

In accordo alla norma, la barriera di base per discarica di rifiuti non pericolo si deve comprendere, dal basso verso l'alto:

- **livello 1)** barriera geologica naturale o completata artificialmente con spessore > 1 m e permeabilità k <1 x 10^{-9} m/s;
- **livello 2a)** strato di impermeabilizzazione artificiale con spessore s ≥ 1 m e permeabilità k ≤ 1 x 10^{-9} m/s, impiegando terreni naturali o miscele di terreni compattati che garantiscono la permeabilità prescritta;
- **livello 2b)** geomembrana in HDPE, spessore > 2,5 mm, conforme alla norma UNI 1604645 per geomembrane lisce ed alla norma UNI 1604643 per geomembrane ad aderenza migliorata;
- **livello 2c)** opportuno strato di protezione, costituito da idoneo materiale naturale o artificiale, al fine di evitare il danneggiamento del sistema di impermeabilizzazione a causa degli agenti atmosferici durante la fase costruttiva ed ai carichi agenti, durante la fase di gestione della discarica Il materiale artificiale può essere costituito da geotessile non tessuto (resistenza a trazione minima nelle due direzioni longitudinale e trasversale: 60 kN/m – norma UNI EN ISO 10319; resistenza al punzonamento statico minima: 10 kN – norma UNI EN ISO 12236; massa areica minima: 1200 g/m 2 - norma UNI EN 9864) o altro adeguato sistema di protezione per la geomembrana;
- **livello3)** strato drenante: spessore > 0,5 m, permeabilità k ≥ 1 x10^{-5} m/s, classi A1 e A3 della classificazione HRB AASHTO. Il materiale drenante deve essere costituito da un aggregato grosso marcato CE (indicativamente ghiaia/pietrisco di pezzatura 16-64 mm), a basso contenuto di carbonati (< 35 %), lavato, con percentuale di passante al vaglio 200 ASTM <3%; con granulometria uniforme, con un coefficiente di appiattimento < 20 (secondo UNI EN 933-3) e diametro minimo d > 4 volte la larghezza delle fessure del tubo di drenaggi

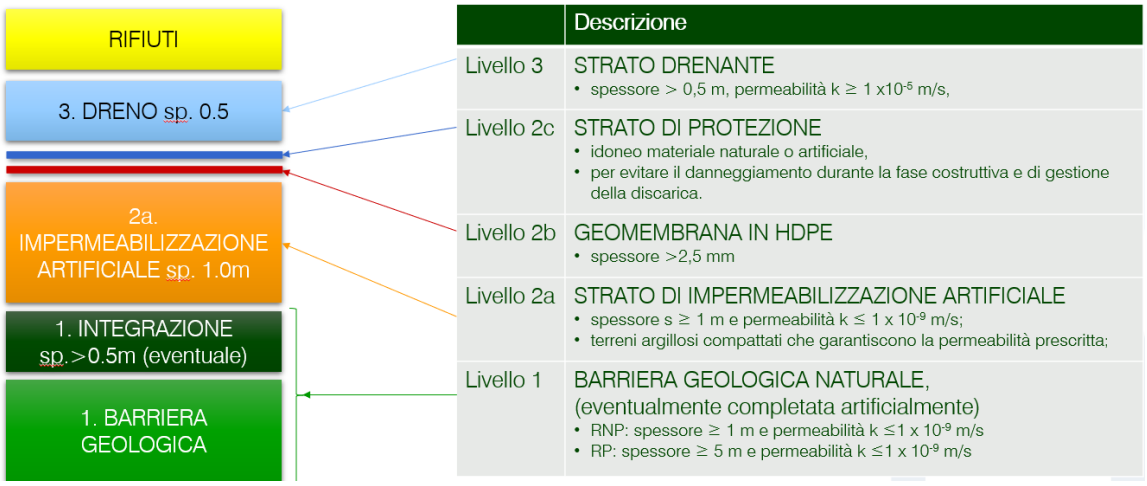


Figura 4-1 - Schematizzazione del pacchetto di Fondo in accordo a DLG 121.2020

4.2 Criteri di dimensionamento dell'equivalenza idraulica

Ai fini della verifica dell'equivalenza il decreto fissa i tempi di attraversamento da rispettare, nell'ipotesi di un carico idraulico di 0,3 m, che non devono essere inferiori ai 25 anni per le discariche per rifiuti non pericolosi e 150 anni per le discariche per rifiuti pericolosi.

Nel proseguo è riportato il calcolo per il caso di interesse, ovvero per una discarica per rifiuti non pericolosi.

4.3 Stato di progetto

Il pacchetto proposto prevede la preliminare regolarizzazione dei fronti di scavo e la impermeabilizzazione con una barriera artificiale posta in continuità con quella del fondo della discarica, che risulta strutturata nel seguente modo, partendo dalla parete dell'invaso verso l'interno della discarica, ovvero in ordine di posa dal basso verso l'alto (v. Tav. S02.E.08 "*Impermeabilizzazione di fondo e delle pareti. Sezione tipo e particolari costruttivi*"):

a. **BARRIERA GOLOGICA: Geocomposito bentonitico** composto da uno strato di bentonite interposta tra due geotessili (uno tessuto e uno non tessuto di tipo agugliato, in polipropilene), tra loro agugliati e laminati su un lato con una sottile membrana in polietilene; permeabilità geocomposito $K<7x10^{-13}$ m/s; massa areica CGL 9100 gr/mq;

b. **BARRIERA ARTIFICIALE DI CONFINAMENTO**: composta da un **doppio strato di geocompositi sovrapposti**:
   - **Primo Geocomposito bentonitico** del tipo LAMINATO composto da uno strato di bentonite interposta tra due geotessili (uno tessuto e uno non tessuto di tipo agugliato, in polipropilene) in filamenti in polipropilene laminati da un lato con una membrana in polietilene; permeabilità geocomposito $K<7x10^{-13}$ m/s; massa areica GCL 5500 gr/mq;
   - **Secondo Geocomposito bentonitico** composto da uno strato di bentonite interposta tra due geotessili (uno del tipo non tessuto agugliati ed uno tessuto) in filamenti di polipropilene; permeabilità geocomposito $k=1,5x10^{-11}$ m/s; massa areica GCL 7000 gr/mq;
c. **DOPPIA GEOMEMBRANA IMPERMEABILE IN HDPE**, liscia/liscia Spessore >2.5 mm;
d. **STRATO DI PROTEZIONE** costituito da geotessile non tessuto di massa areica minima 1200 g/m² con funzione di evitare il danneggiamento del sistema di impermeabilizzazione sottostante a causa degli agenti atmosferici durante la fase costruttiva e dai carichi agenti;
e. **GEOCOMPOSITO DRENANTE** con funzione sia di drenaggio del percolato, con capacità drenante equivalente e raccordato al sistema drenante del fondo sub-pianeggiante, sia di protezione della geomembrana in HDPE sottostante;
f. **GRADONATURA PER APPOGGIO ECOBALLE**: Gradonatura per appoggio laterale delle ecoballe filmate realizzato con materiale inerte composto dalla F.O.S. proveniente dall'impianto di trattamento rifiuti.

4.4 Confronto tra gli strati

Al fine di verificare l'idoneità dell'utilizzo di un sistema barriera di tipo sintetico si prevede la determinazione dei tempi di attraversamento dei singoli strati. La D.C.I. 1984 prevedeva la valutazione tempo attraversamento con gradiente unitario senza battente idraulico. Il d.lgs. 121 prevede una verifica con battente idraulico di 30 cm.

Le equivalenze di seguito riportate sono state sviluppate al fine di permettere la realizzazione del pacchetto di impermeabilizzazione delle sole sponde, che si presentano acclivi con pendenze oltre i 30° di inclinazione, come nel caso in esame.

4.4.1 Geocomposito bentonitico – Livello 1

In sostituzione dello strato di argilla per la barriera geologica naturale, si propone l'utilizzo di un geocomposito bentonitico MACLINE GCL WL57, Marcato CE, laminato.

I geocompositi bentonitici sono materiali che per loro natura sono auto sigillanti.

Di seguito è riportata la tabella con il calcolo relativo al tempo di attraversamento di uno strato di impermeabilizzazione costituito da una barriera minerale in argilla di spessore 1,0 m e conducibilità idraulica $1x10^{-9}$ m/s e il calcolo relativo al tempo di attraversamento di un geocomposito bentonitico del tipo laminato dello spessore a secco di 9 mm cui corrisponde uno spessore idratato di almeno 15 mm

La conducibilità idraulica ai liquidi del geocomposito laminato è stata assunta pari a: $7,00x10^{-13}$ m/s, EN 14150 mentre quella del geocomposito non laminato è stata assunta pari a $1,50x10^{-11}$ m/s, EN 14150.

Tale valore risulta assolutamente cautelativo.

Utilizzando il valore più cautelativo si ottiene il tempo di attraversamento che risulta sensibilmente superiore a quello ottenuto nel caso di impermeabilizzazione minerale.

Tabella 4.1– Confronto dei tempi di attraversamento



Il fattore di sicurezza ottenuto è pari a 1,29 per il transito del fluido attraverso il GCL Laminato.

4.4.2 Geocomposito bentonitico – Livello 2a

In sostituzione dello strato di argilla per la barriera artificiale naturale, si propone l'utilizzo di un geocomposito bentonitico MACLINE GCL WL20, accoppiato ad un GCL Non laminato MACLINE GCL W35, entrambi Marcati CE.



Il fattore di sicurezza ottenuto è pari a 1,04 per il transito del fluido attraverso il pacchetto composito proposto.

4.5 Conclusioni

Da quanto descritto nel presente capitolo, l'utilizzo di n.2 geocompositi laminati e di n.1 geocomposito non laminato, in sovrapposizione tra loro, garantisce l'equivalenza allo strato d'impermeabilizzazione previsto dalla norma di riferimento, ovvero il D.Lgs. 36/03 aggiornato ed integrato ai contenuti del recente D.Lgs. 121/20.

Le valutazioni sono state svolte con le caratteristiche tecniche di un particolare produttore. Questo non deve essere ritenuto vincolante e in fase di approvvigionamento dei materiali; potranno essere scelti altri produttori, purché soddisfino i criteri e le performance riportate in questa sezione.

5 VALUTAZIONI GEOTECNICHE

5.1 Dimensionamento argine in terra rinforzata

5.1.1 Premessa.

Si prevede di realizzare l'argine di contenimento della vasca di discarica con la tecnica delle terre rinforzate. Con la definizione "Terra Rinforzata" s'intende un sistema composito che combina ed esalta le caratteristiche di due differenti materiali, il terreno ed il geosintetico di rinforzo, in modo da migliorare sinergicamente le caratteristiche globali d'insieme; grazie infatti all'azione del geosintetico di rinforzo, è possibile realizzare scarpate e sponde con inclinazioni anche molto elevate e sezioni di scavo ridotte, con notevoli benefici in termini di esproprio quindi economici, utilizzando nello specifico il materiale di scavo.

Gli elementi geosintetici utilizzati per rinforzare il terreno naturale sono geometricamente delle strutture planari bidimensionali dotati di una curva caratteristica sforzi/deformazioni confrontabile con quella della matrice solida in cui verranno inseriti.

Installati opportunamente all'interno del terreno da "armare", i rinforzi geosintetici (geogriglie in questo caso) sviluppano, per attrito, uno stato tensionale di natura tangenziale che consente al sistema composito di sostenere dei livelli di sollecitazione, altrimenti incompatibili con la natura del materiale tal quale. Dal punto di vista geotecnico, infatti, i terreni sono caratterizzati da una buona resistenza alla compressione ma da una resistenza a trazione virtualmente nulla.

La presenza del rinforzo geosintetico conferisce pertanto al terreno quelle caratteristiche di resistenza a trazione di cui è naturalmente sprovvisto.

Le terre rinforzate con geogriglie si utilizzano per la realizzazione di opere di sostegno quali ripristino di pendii franati, muri di contenimento, muri di controripa, muri di sottoscarpa, rilevato paramassi, barriere antirumore, ecc. Il rilevato in terra rinforzata viene dimensionato mediante idoneo software di calcolo dedicato, in modo da determinare la resistenza meccanica della geogriglia e la lunghezza di ancoraggio necessari.

Il principio che sta alla base della progettazione di interventi di questo tipo è il medesimo del cemento armato: sfruttare l'armatura per sopportare gli sforzi di trazione provocati dai carichi

applicati. Nel caso specifico delle terre rinforzate, tale azione è garantita dalla resistenza allo sfilamento che il terreno fornisce attraverso le tensioni tangenziali di attrito sulle superfici di contatto tra terreno e rinforzo.

La scelta di utilizzare questa soluzione progettuale, anziché un muro in C.A. come proposto nel PFTE, è dovuta alle seguenti motivazioni di natura tecnica e gestionale:

- l'argine, per la sua dimensione fisica, rappresenta un'opera ottimale per il contenimento delle spinte esercitate dal corpo rifiuti;
- rappresenta un'opera maggiormente "flessibile/plastica", ovvero un corpo in grado di adeguarsi, senza fenomeni di fessurazione (rischio del calcestruzzo), alle deformazioni della discarica e ad eventuali cedimenti localizzati;
- sul suo estradosso, di spessore pari a 4 m, è stato possibile prevedere tutte le opere accessorie della vasca, quali ad esempio la trincea di ancoraggio dei teli in continuità con il resto della vasca e le opere di canalizzazione idraulica;
- sul suo estradosso è stato possibile prevedere e progettare una pista, di larghezza carrabile, in grado di garantire l'accesso di mezzi anche alla porzione più di valle del corpo rifiuti, al fine di garantire tutte le attività di manutenzione della copertura e delle opere idrauliche;
- ha consentito di realizzare sin da subito la pista di accesso al fondo della vasca, senza quindi la necessità di sopraelevare la pista in un secondo momento;
- il suo paramento esterno rinverdibile rappresenta un minore impatto visivo rispetto ad un muro in c.a. (di altezza pari a 7,5 m).

Inoltre, le opere in terra rinforzata, essendo realizzate senza l'ausilio del calcestruzzo, rendono i lavori economicamente più vantaggiosi rispetto ad edificazioni che ne fanno largo uso.

Si riporta in **Figura 5-1** uno stralcio planimetrico con l'ubicazione del rilevato in terre rinforzate in progetto e in **Figura 5-2** uno stralcio della sezione longitudinale di progetto della vasca di discarica passante per l'argine di valle.

I particolari realizzativi dell'opera vengono riportati nella tavola TAV.S02.A17.

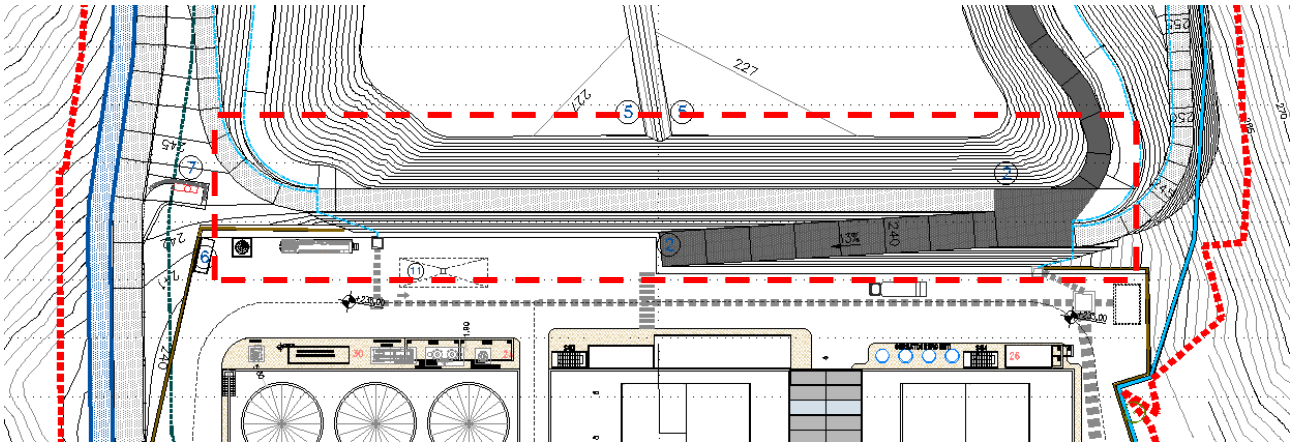


Figura 5-1 – Ubicazione planimetrica dell'argine in terra rinforzata

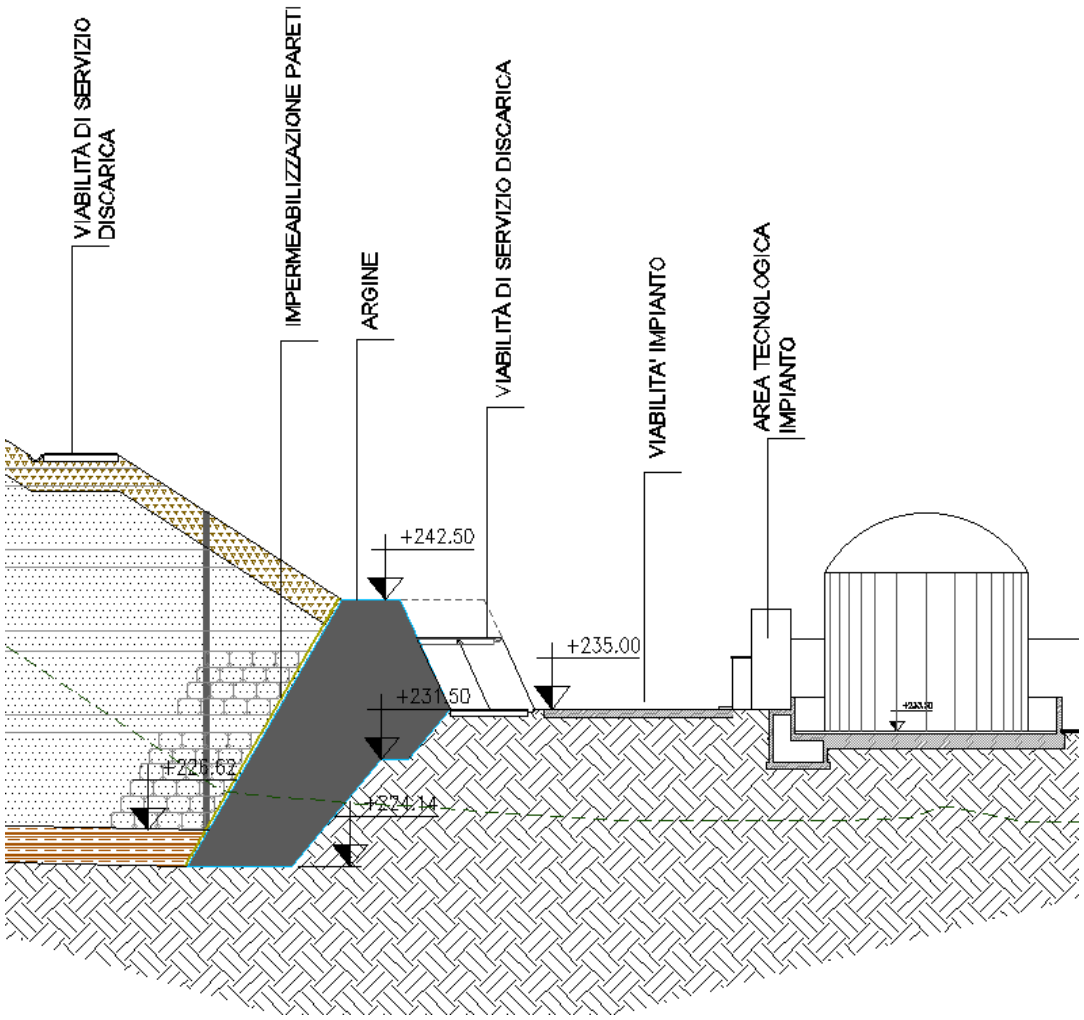


Figura 5-2 – Stralcio della sezione longitudinale di progetto della vasca di discarica con focus sull'argine di contenimento di valle

5.1.2 Elementi delle terre rinforzate:

Un'opera di questo tipo prevede l'impiego di casseri che nello specifico sono del tipo "a perdere" ossia che rimangono in posto. Sono costituiti reti elettrosaldate sagomate secondo le livellette di progetto, tiranti per la definizione della pendenza e racchiudono al loro interno le geogriglie di rinforzo. La parete funge così da muro contenitore, evitando che il peso del materiale venga scaricato per intero sulla base.

Di seguito l'elenco dei vari elementi:

a) il cassero in rete elettrosaldata: si occupa di contenere il paramento frontale della terra rinforzata ed è solitamente formato da una rete elettrosaldata che assicura uniformità alla superficie. Tale soluzione è adottata per il paramento di valle dell'argine mentre per il paramento interno si adotterà un cassero rimuovibile per evitare danneggiamenti del sistema di impermeabilizzazione di parete della discarica.
b) i picchetti e i tiranti: rispettivamente fissano la geogriglia al terreno e evitano l'apertura del cassero quando il terreno inizia a compattarsi
c) la geogriglia di rinforzo: la scelta ed il dimensionamento del rinforzo costituiscono uno dei punti essenziali nella progettazione di una terra rinforzata. Per l'esecuzione di tutte le verifiche è indispensabile conoscere il comportamento del rinforzo a breve ed a lungo termine sia in termini di resistenza che di deformazione. È necessario inoltre conoscere l'interazione rinforzo/terreno ed il potenziale danneggiamento meccanico e chimico legati alle condizioni in fase di posa ed ambientali di esercizio.
d) il geotessuto: geotessile non tessuto che viene posto fra la geogriglia e il terreno di riempimento in modo tale da contenerlo all'interno ed evitare lo svuotamento dello strato;
e) il terreno: una terra rinforzata può essere realizzata con gran parte dei terreni presenti in natura; le caratteristiche del riempimento utilizzato condizionano la scelta dei rinforzi sia in termini di resistenza che di geometria. Nello specifico si utilizzerà il terreno scavato in sito per conformare la vasca nella parte Nord e Nord-Ovest dell'area in questione.

5.1.3 Il contributo del rinforzo geosintetico

Per valutare il reale beneficio che si registra nell'inserire un rinforzo geosintetico all'interno di una matrice solida, è possibile ricorrere ad un semplice modello concettuale che riproduce fedelmente cosa accade quando si crea un materiale composito. Ipotizziamo di sottoporre un provino di terreno ad una prova di taglio diretto; il materiale permane nel suo stato indisturbato fintanto che il valore della sollecitazione applicata (carico assiale e di taglio) non determina il raggiungimento della resistenza limite del campione.

Partendo dal presupposto che i terreni hanno scarse propensioni a sostenere sforzi di trazione ma hanno una buona resistenza al taglio, è chiaro che se si riuscisse a trovare un sistema in grado di trasferire le sollecitazioni di trazione dal terreno ad un'altra componente, si garantirebbe al sistema composito una maggiore capacità di resistenza nei confronti delle sollecitazioni esterne.

La formazione, quindi, di un sistema bicomponente sintetico/terreno, avrebbe il pregio di sfruttare al meglio le caratteristiche prestazionali dei due materiali utilizzati.

Per comprovare la reale efficacia del sistema, si può ipotizzare di sottoporre un provino di terreno, privo di rinforzo sintetico, ad un sistema di carichi esterni (Pv e Ps) e portarlo a rottura, mediante una generica prova di taglio.

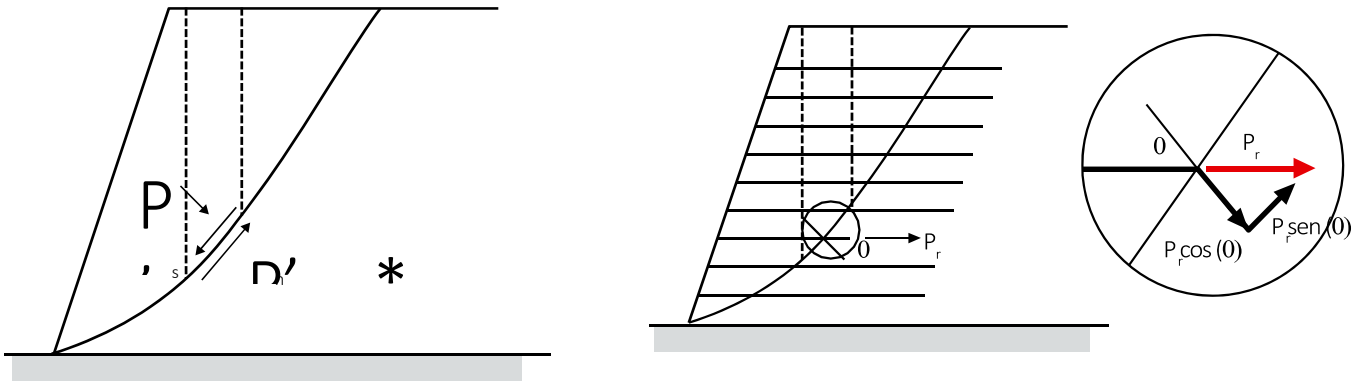


Figura 5-3- Attivazione della resistenza a trazione del rinforzo quando intercettato dalla curva di scivolamento

Il campione di terreno è infatti in grado di sostenere le sollecitazioni esternamente trasmesse, fintanto che la sua legge costitutiva lo consente, cioè fino a quando non vengono raggiunte le condizioni di incipiente collasso.

In assenza di rinforzo, il terreno, dotato di angolo di attrito interno pari a ϕ', a fronte di un carico assiale Pv (sforzo pari a σv), sviluppa una resistenza al taglio pari a: $P_{res}=P_v*\tan(\phi')$

L'inserimento di un rinforzo sintetico nel provino determina l'insorgere all'interno del rinforzo medesimo di due componenti ($P_R\cos\boldsymbol{\theta}$ e $P_R\text{sen}\boldsymbol{\theta}$).

La prima componente riduce la sollecitazione che tende a portare il provino verso le condizioni di rottura, mentre la seconda tende a incrementare la capacità resistente del terreno.

Analizzando quindi lo schema esemplificativo riportato, appare immediato comprendere l'effettivo beneficio che l'inserimento all'interno del terreno di un elemento sintetico di rinforzo determina nel sistema bifase.

Il concetto di terreno rinforzato ha la sua validità nel momento in cui viene garantito il perfetto collegamento tra i due materiali (terreno e rinforzo), potendo in questo modo contare sulle migliori caratteristiche geomeccaniche delle due componenti.

5.1.4 Verifica della stabilità dei rinforzi

Facendo riferimento all'elaborato grafico 1200_PD_S02.A.17 "Argine in terre rinforzate" che riporta due sezioni significative dell'argine realizzate, sono state eseguite le verifiche di stabilità ed il dimensionamento delle geogriglie polimeriche di rinforzo utilizzando la "sezione A" .

Sono state eseguite sia le verifiche di stabilità in condizioni statiche che pseudo-statiche come richiesto dalla norma NTC2018. A questo scopo è stato utilizzato il software "MacStARS W-Rel.4" della Maccaferri S.p.A.

Il progetto prevede anche la realizzazione di una rampa per gli automezzi, anch'essa in terre rinforzate, posta a valle dell'argine (sezione B della tavola 1200_PD_S02.A.17 "Argine in terre rinforzate"), la quale tuttavia non è stata considerata nelle analisi di stabilità; non considerando infatti il volume della rampa in aggiunta al volume del rilevato le analisi risultano maggiormente conservative.

Le analisi sono state realizzate dunque per i due casi di seguito elencati:

a. discarica piena in condizioni statiche e sismiche (comprendente pacchetto di copertura definitivo);

b. discarica vuota in condizioni statiche e sismiche;

Per quanto riguarda la geometria del rilevato il progetto prevede una pendenza del paramento esterno di 60° e di quello interno di 65°, mentre le analisi di stabilità, per esigenze di software, sono state eseguite considerando sia per il paramento interno del rilevato che per quello esterno una pendenza di 65°; tale soluzione risulta comunque accettabile poiché a favore di sicurezza.

I parametri geotecnici relativi ai materiali che verranno utilizzati per la realizzazione dell'argine in terre rinforzate (materiale proveniente dagli scavi della vasca di discarica), all'argilla di fondo, ai rifiuti, alla copertura multistrato finale ed al materiale antropico in genere, vengono sintetizzati di seguito in Tabella 5.1.

Tabella 5.1 – Parametri geotecnici caratteristici relativi ai materiali considerati per le verifiche di stabilità

materiali	tipo	massa volumica	angolo attrito	coesione
		(kN/m^3)	φ (°)	c' (kPa)
1	Rifiuti	10	30	10
2	Materiale di scavo per argine terre rinforzate	19	35	0
3	Materiale antropico	20	30	20
4	Copertura multistrato	18	39	5
5	Barriera minerale di impermeabilizzazione di fondo in argilla	20	26	0

Si evidenzia che, a scopo cautelativo, **tutto il materiale** alla base dell'argine in terre rinforzate e al di sotto del piano di imposta della discarica – sia i "*materiali antropici eterogeni compatti della ex discarica colli*" sia il "*substrato roccioso*" – è stato modellato come "*Materiale Antropico*" (MA nelle figure che seguono, output del SW MacStARS W della Maccaferri); alla luce delle indagini eseguite, il *substrato* presenta parametri di resistenza ben superiori a quelli dei materiali antropici (vedi parametri "Strato A" e "Strato B" della Tabella al par. 13 della Relazione geologica, idrogeologica e di indagine sismica, RLS.01, rif. 1200_PD_RLS_01).

I geosintetici di rinforzo che verranno utilizzati sono costituiti da geogriglie a nastri in poliestere ad alta tenacità di 3 tipologie, ovvero:

- aventi resistenza a trazione longitudinale di 150 kN/m, per la porzione di rilevato dalla quota +224.15 alla quota +232.10;
- aventi resistenza a trazione longitudinale di 100 kN/m, per la porzione di rilevato dalla quota +231.50 alla quota +235.00;
- aventi resistenza a trazione longitudinale di 50 kN/m, per la porzione di rilevato dalla quota +235.00 alla quota +242.50.

Di seguito in Figura 5-4 si riporta uno stralcio della sezione di progetto A (rif. Tavola A.17) con i dettagli geometrici del rilevato e delle geogriglie previste.

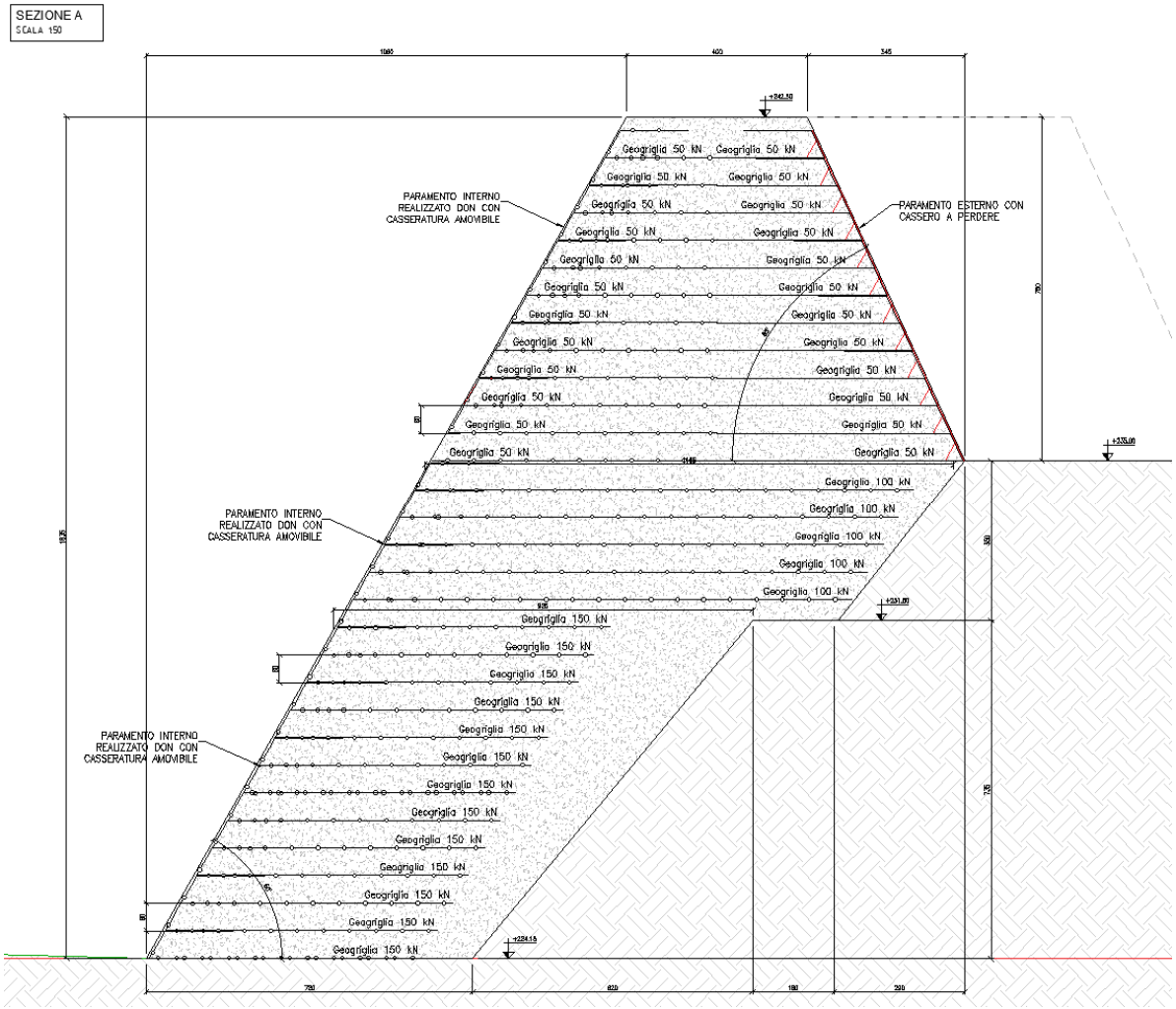


Figura 5-4 – Sezione di progetto del rilevato in terre rinforzate

5.1.5 Stabilità in condizioni statiche

Tutte le verifiche sono state eseguite con il software MacStARS W-Rel.4". La verifica della stabilità globale è stata condotta secondo il cosiddetto Approccio 1 definito dalle vigenti NTC 2018 (combinazione del carico A2+M2+R2). Le verifiche della stabilità interna e come muro di sostegno (*i.e.* ribaltamento, scorrimento e capacità portante) sono state condotte secondo l'approccio 2 delle medesime norme (combinazione del carico A1+M1+R3)[3].

Le verifiche sono state eseguite con il metodo cosiddetto "dell'equilibrio limite", che consiste nell'individuare diverse possibili superfici di scivolamento coinvolgenti uno o più materiali e nell'analizzare, per ciascuna di esse, l'equilibrio allo scivolamento del cuneo di materiali soprastanti, considerato come se fosse rigido.

Come osservabile nei risultati riportati da **Figura 5-5** a **Figura 5-10**, le analisi di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno – effettuate secondo l'Approccio 1,

---

[3] Le verifiche eseguite soddisfano integralmente le richieste delle NTC2018 in merito ai muri di sostegno; tali norme, infatti, al par. 6.5.3.1.1 riportano: "*Per i muri di sostegno o per altre strutture miste ad essi assimilabili devono essere effettuate le verifiche con riferimento almeno ai seguenti stati limite, accertando che la condizione [6.2.1] sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:*

SLU di tipo geotecnico (GEO)

- *scorrimento sul piano di posa;*
- *collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;*
- *ribaltamento;*
- *stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;*

SLU di tipo strutturale (STR)

- *raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.*

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata, analogamente a quanto previsto al §6.8, secondo l'Approccio 1, con la Combinazione 2 (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I."

Per il caso specifico si ritiene non necessaria alcuna verifica della "*Resistenza del terreno di valle*" – con riferimento al γ_R riportato al quarto rigo della Tab. 6.5.I, a cui non corrisponde tra l'altro alcuna richiesta di verifica nella parte testuale del paragrafo 6.5.3.1.1 della Norma – anche in considerazione del fatto che per un'opera in materiale sciolto, all'equilibrio limite, non può essere mobilizzata la spinta passiva del terreno di valle. L'approccio trova riscontro anche nella bibliografia tecnica di settore che esclude tale verifica da quelle da eseguire per le opere in oggetto (si veda ad esempio: *M. Comendini e P. Rimoldi, "Terre rinforzate – Applicazioni Tecnologie dimensionamento"*, edito da Dario Flaccovio, 2013).

Combinazione 2 (A2+M2+R2) – hanno determinato valori dei fattori di sicurezza sempre superiori al minimo prescritto dalle NTC 2018 in campo statico per i pendii e rilevati artificiali $\gamma_R > 1,1$ (rif. par 6.8 delle norme), mentre le altre analisi di dimensionamento degli elementi di rinforzo – effettuate secondo l'Approccio 2 con la combinazione STR (A1+M1+R3) – hanno fornito valori dei fattori di sicurezza (FS) molto elevati, di gran lunga superiori a quelli imposti dalla norma (vedi in particolare **Figura 5-7** e **Figura 5-10**).

Per i dettagli delle analisi eseguite si rimanda all'**Allegato 2** "Verifica della stabilità del rilevato, statica".

Occorre precisare che le verifiche hanno considerato i coefficienti di sicurezza corrispondenti alle geogriglie prodotte dalla ditta Maccaferri (**Allegato 3** "Schede tecniche delle geogriglie"), pertanto nel caso venissero scelti materiali differenti occorrerà verificare la stabilità dei rinforzi con i fattori di sicurezza di detti materiali.

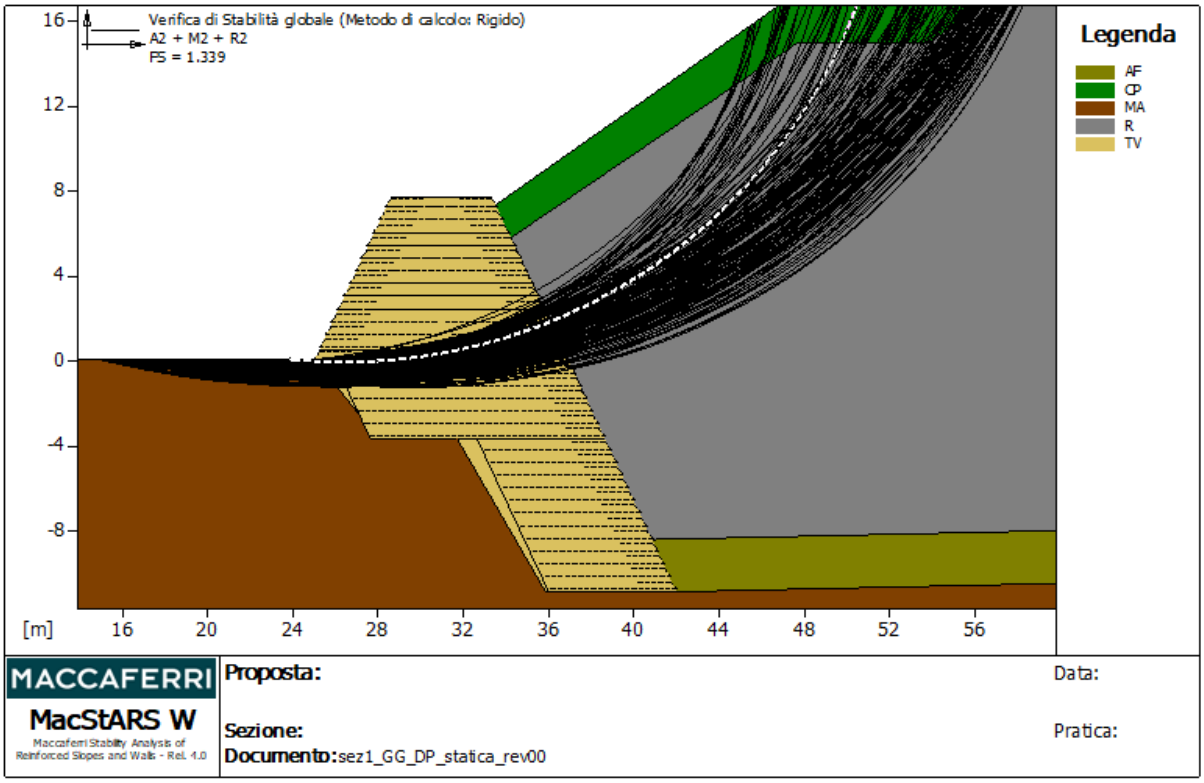


Figura 5-5 – Verifica in condizioni statiche di stabilità globale con discarica piena (FS = 1.339)

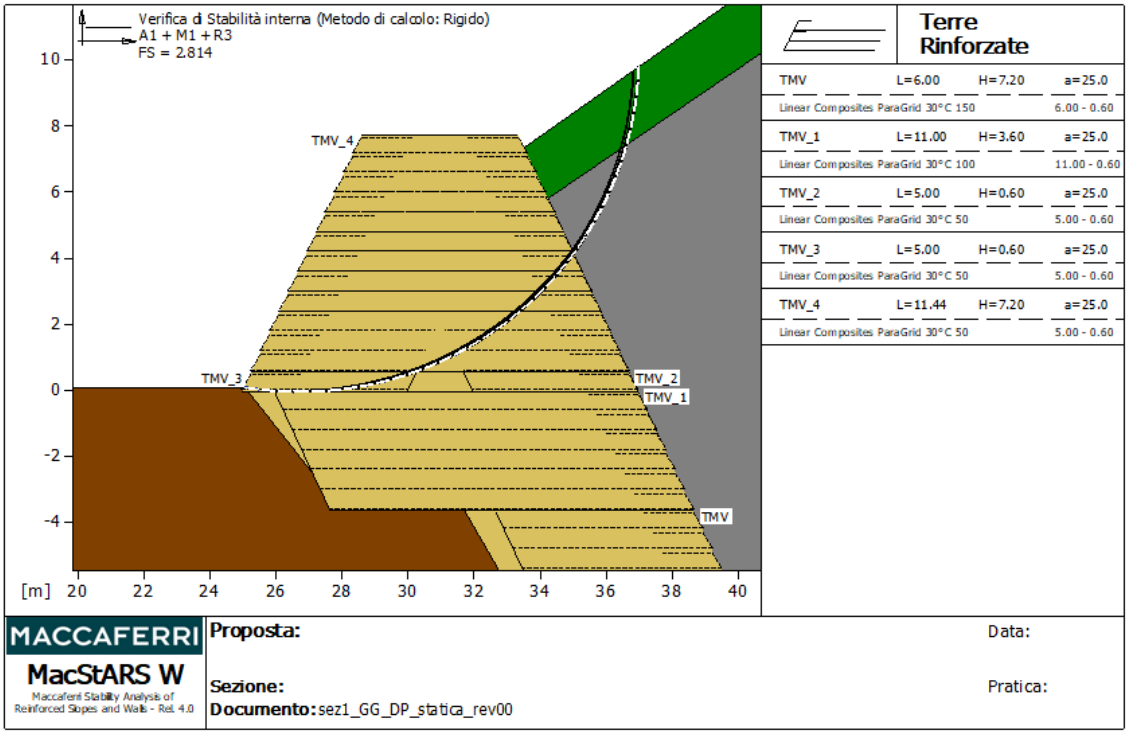


Figura 5-6 – Verifica in condizioni statiche di stabilità interna con discarica piena (FS = 2.814)

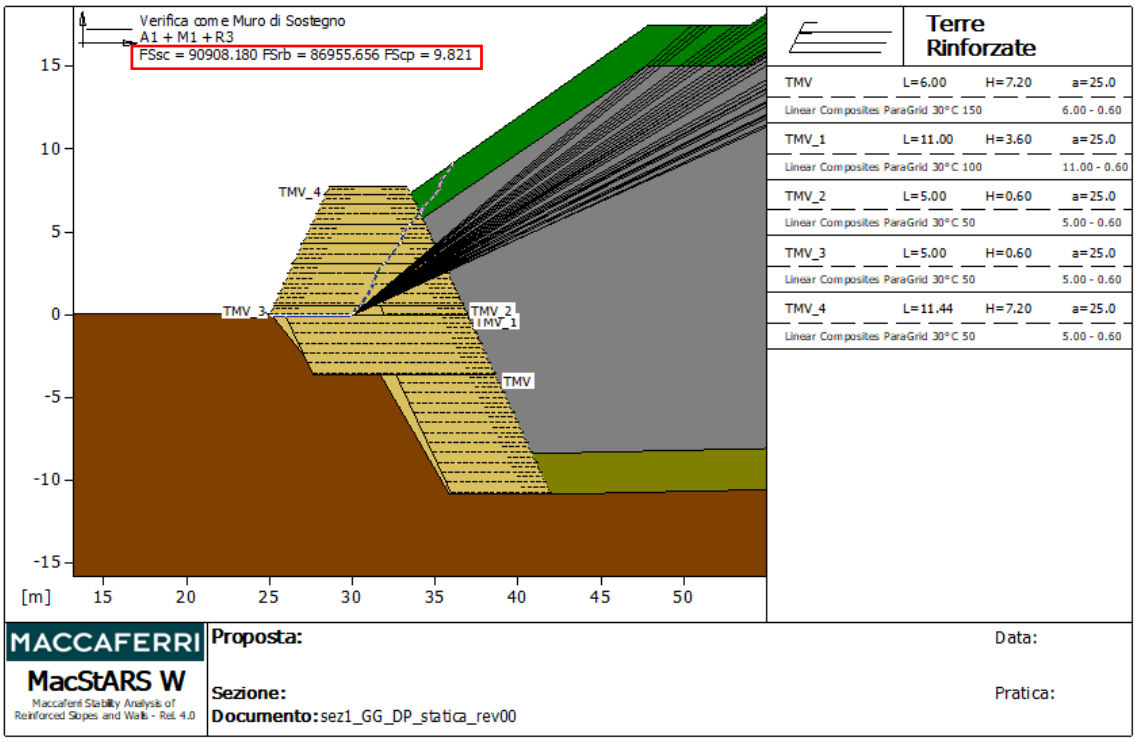


Figura 5-7 – Verifica in condizioni statiche come muro di sostegno con discarica piena (si noti che nella figura sono riportati i fattori di sicurezza delle verifiche richieste dalla norma: F_{SC} (scorrimento), FS_{RB} (ribaltamento) e FS_{CP} (capacità portante)

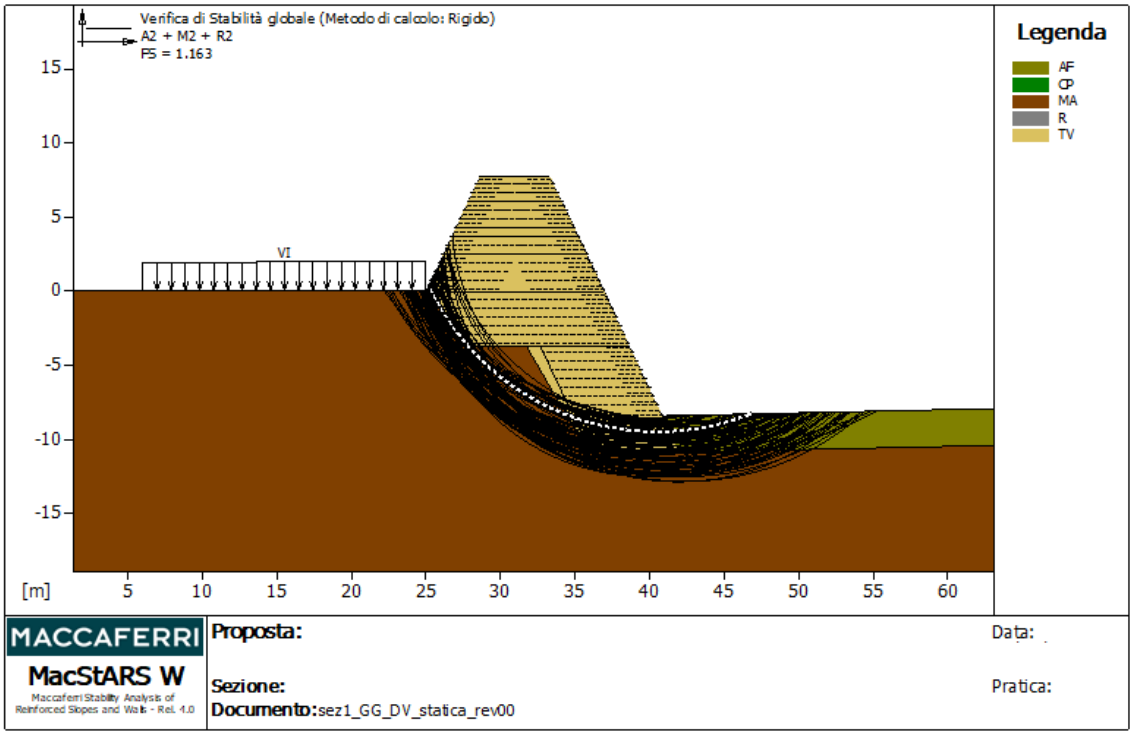


Figura 5-8 – Verifica in condizioni statiche di stabilità globale con discarica vuota (FS = 1.163)

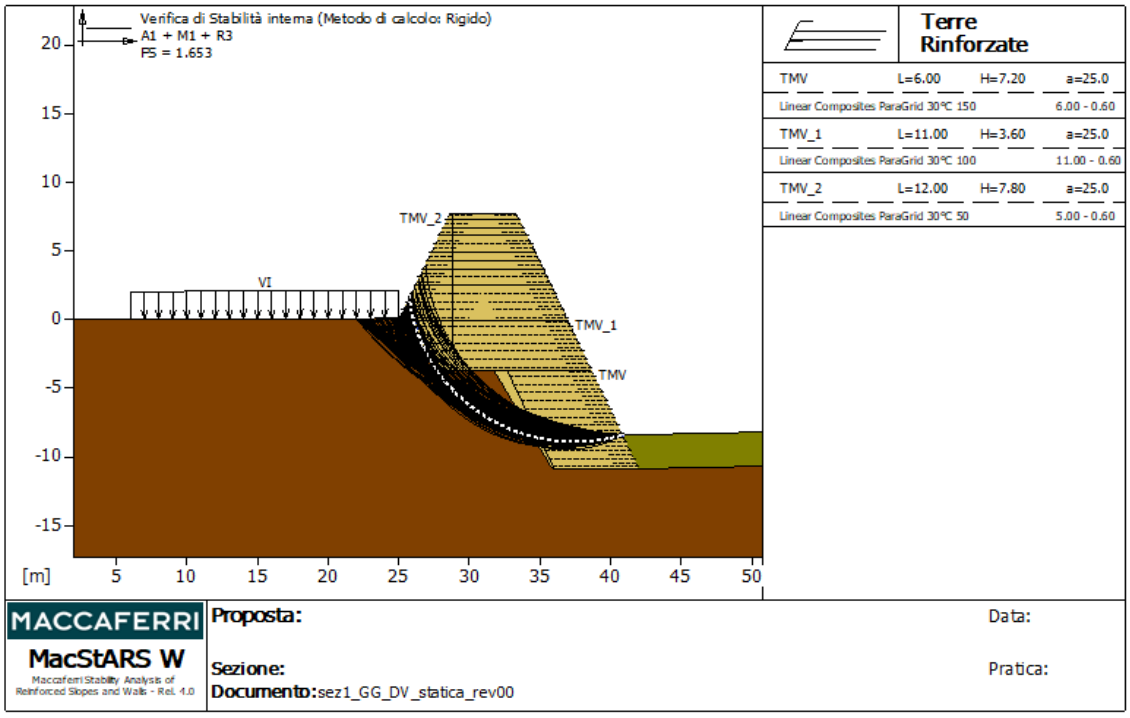


Figura 5-9 – Verifica in condizioni statiche di stabilità interna con discarica vuota (FS = 1.653)

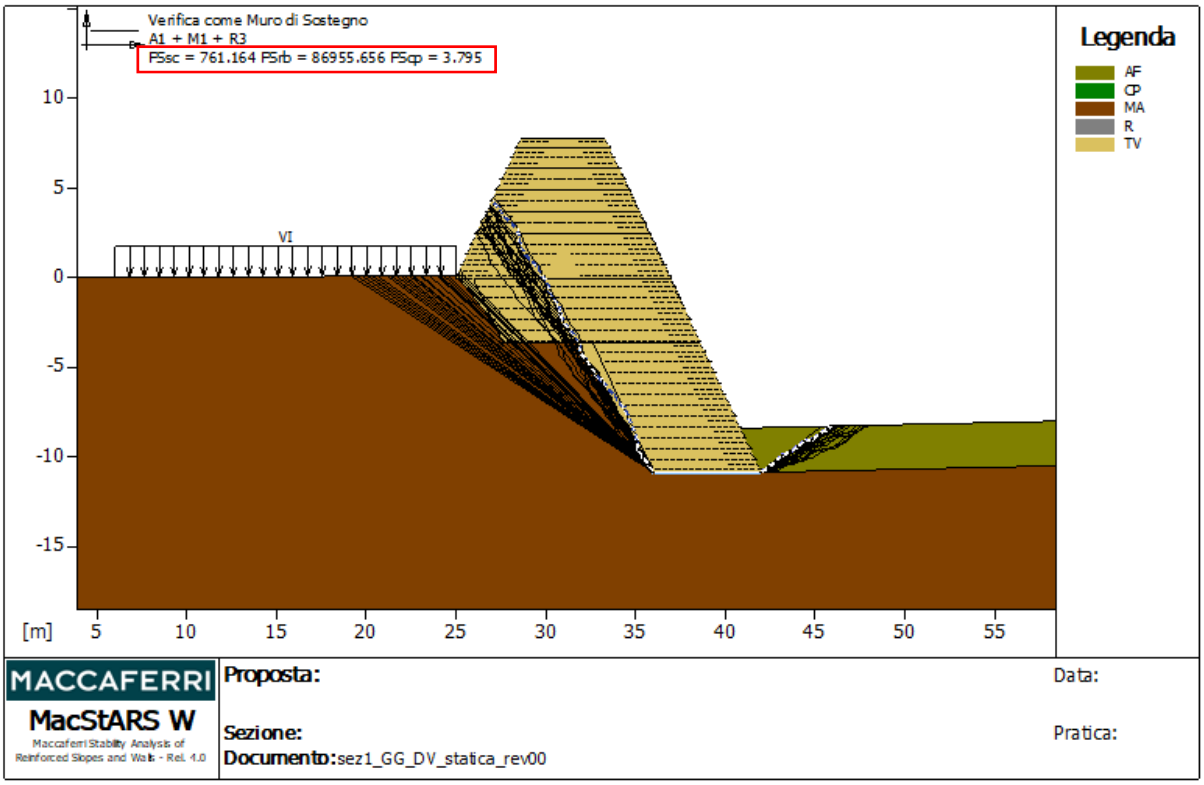


Figura 5-10 – Verifica in condizioni statiche di stabilità come muro di sostegno con discarica vuota (FS = 1.163) (si noti che nella figura sono riportati i fattori di sicurezza delle verifiche richieste dalla norma: FS_{SC} (scorrimento), FS_{RB} (ribaltamento) e FS_{CP} (capacità portante)

5.1.6 Resistenza nominale delle geogriglie

Nel caso di utilizzo di geogriglie prodotte da altra ditta il valore nominale della massima resistenza a trazione dovrà essere fattorizzato attraverso i coefficienti di sicurezza parziali caratteristici della geogriglia secondo la seguente relazione[4]

$$T_d = T_k \cdot \frac{1}{RF_{CR} \cdot RF_{ID} \cdot RF_W \cdot RF_{CH}}$$

dove:

[4] Il riferimento normativo è la ISO/TR 20432: "Guidelines for the determination of the long-term strength of geosynthetics for soil reinforcement"

T_d	resistenza di progetto (valore che la geogriglia deve essere in grado di fornire);
T_k	resistenza caratteristica a trazione, valore nominale;
RF_{CR}	coefficiente di sicurezza nei confronti del carico statico sostenuto nella vita di esercizio (50 anni) alla temperatura di progetto (20°) e corrisponde al coefficiente di sicurezza nei confronti di fenomeni di creep;
RF_{ID}	coefficiente di sicurezza nei confronti del danneggiamento meccanico in relazione alla granulometria del materiale impiegato;
RF_W	coefficiente di sicurezza nei confronti della degradazione per l'esposizione agli agenti atmosferici per il massimo periodo di esposizione prevista;
RF_{CH}	coefficiente di sicurezza nei confronti della riduzione di resistenza a causa di fenomeni chimici o biologici per ambiente aggressivo con valori del pH compresi tra 4 e 9.

I valori da adottare per i singoli coefficienti dovranno essere adeguatamente giustificati dal produttore delle geogriglie e/o supportati dai risultati di prove di laboratorio con il materiale di sito.

Il valore ottenuto per T_d dovrà essere maggiore o uguale a quello ricavato dai calcoli di dimensionamento riportati in **Allegato 2**.

5.1.7 Stabilità in condizioni sismiche

Tutte le verifiche sono state eseguite con il software MacStARS W-Rel.4. La stabilità in condizioni sismiche è stata valutata mediante il metodo pseudo-statico, in cui le azioni sismiche sono rappresentate da azioni statiche equivalenti, costanti nello spazio e nel tempo, proporzionali al peso W del terreno potenzialmente instabile.

Attraverso l'utilizzo del software *SISM-Spettri NTC ver 1.0.3.xlsx* sono stati calcolati i coefficienti sismici orizzontale (k_H) e verticale (k_V) utilizzando i parametri riassunti nella Tabella 5.2 seguente:

Tabella 5.2- Parametri utilizzati per il software Spettri

Parametro	Valore
Coordinate località Colli (comune di Taggia)	Longitudine 7.831216° Latitudine 43.855673°
Vita nominale	100 anni
Classe d'uso	IV
Categoria di sottosuolo	B

I valori che ne derivano sono:

$k_H = 0.13$ $k_v = 0.070$

Moltiplicando questi parametri per il valore dell'accelerazione della gravità (9.81 m/s^2) si ottengono i seguenti valori di accelerazione orizzontale e verticale:

Accelerazione orizzontale = 1.81 m/s^2 Accelerazione verticale = 0.90 m/s^2

Le analisi di stabilità globale e interna, eseguita per i due casi di vasca di discarica piena e vuota, hanno determinato, come osservabile nei risultati riportati nelle figure da 4-11 a 4-15, valori del fattore di sicurezza sempre superiori al minimo prescritto dalla dalle NTC 2018 in campo sismico per i pendii e rilevati artificiali: $\gamma_R > 1.2$.

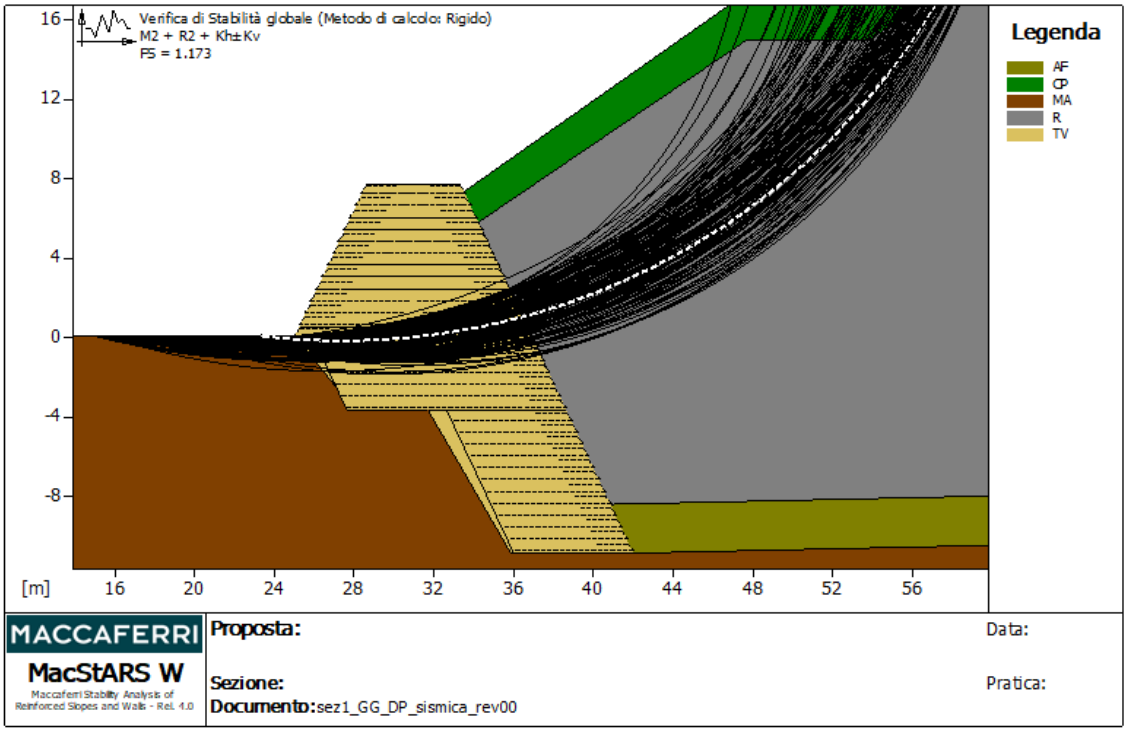


Figura 5-11 – Verifica di stabilità globale in condizioni sismiche con discarica piena (FS=1.173)

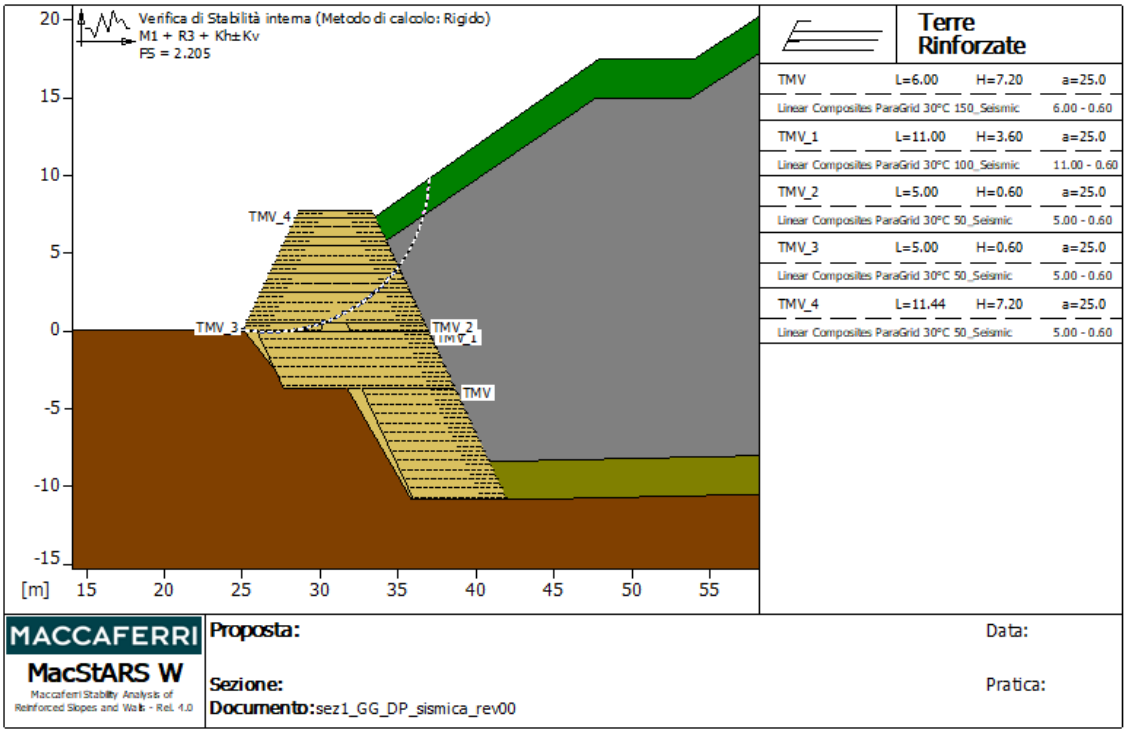


Figura 5-12 - Verifica di stabilità interna in condizioni sismiche con discarica piena (FS=2.205)

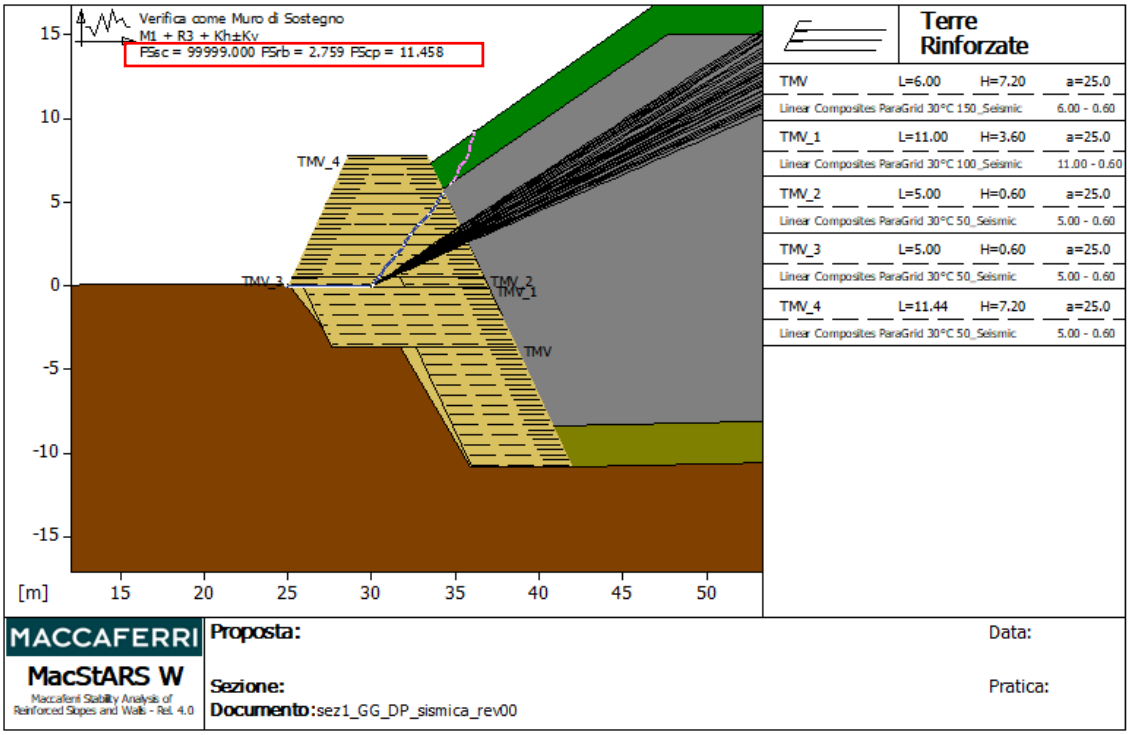


Figura 5-13 – Verifica di stabilità come muro di sostegno in condizioni sismiche con discarica piena (si noti che nella figura sono riportati i fattori di sicurezza delle verifiche richieste dalla norma: F_{SC} (scorrimento), FS_{RB} (ribaltamento) e FS_{CP} (capacità portante)

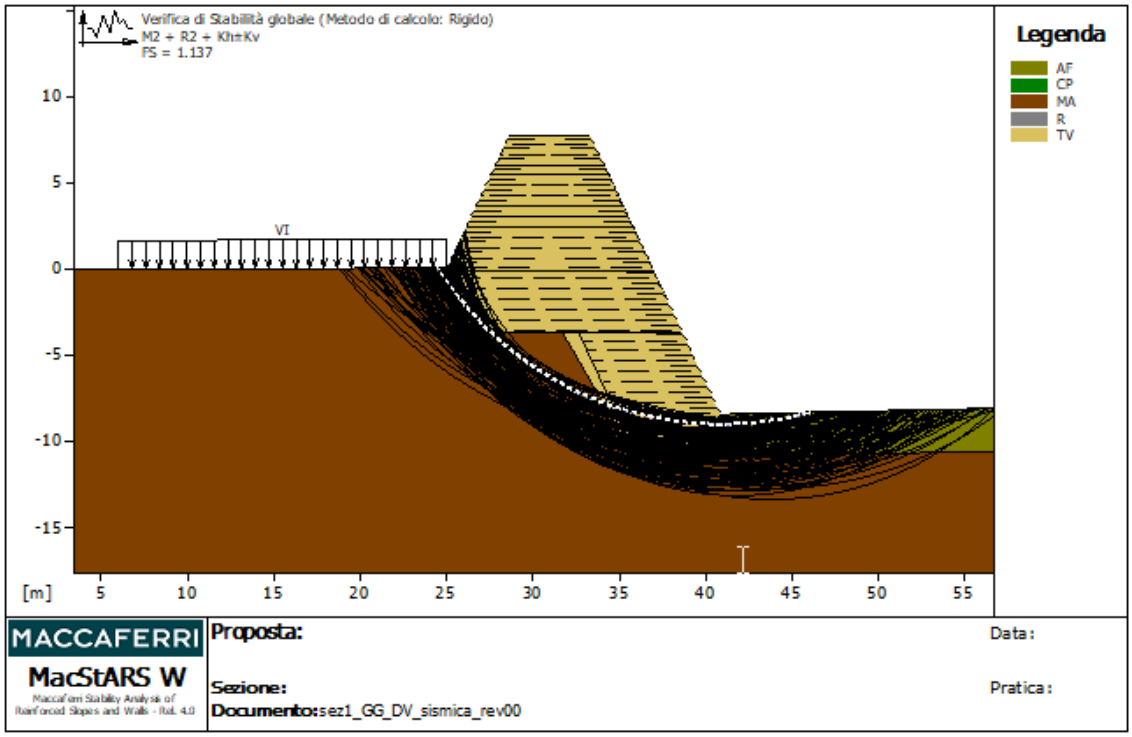


Figura 5-14 – Verifica di stabilità globale in condizioni sismiche con discarica vuota (FS=1.137)

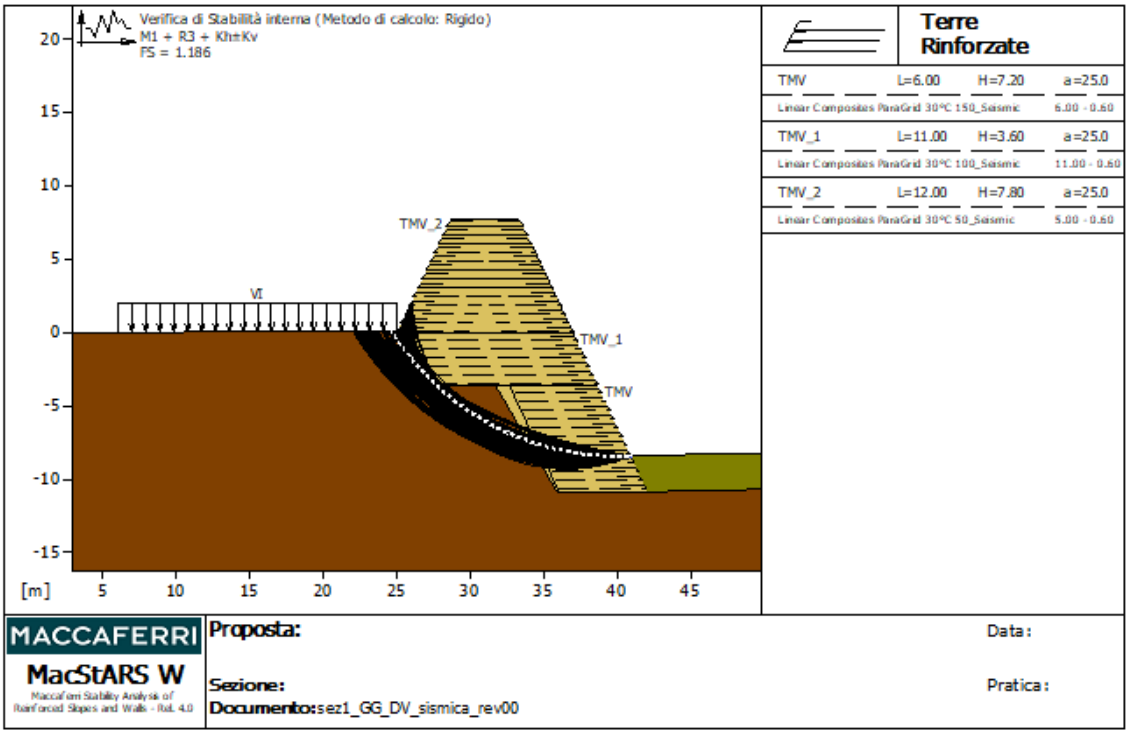


Figura 5-15 – Verifica di stabilità globale in condizioni sismiche con discarica vuota (FS=1.186)

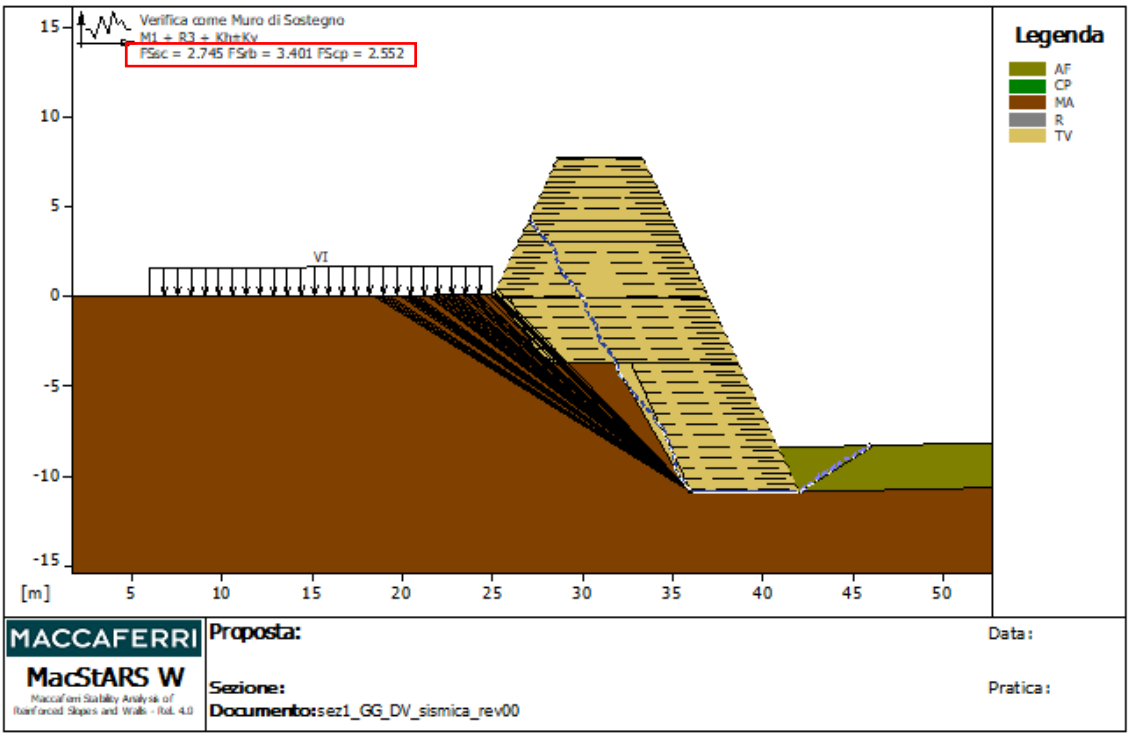


Figura 5-16: Verifica di stabilità come muro di sostegno in condizioni sismiche con discarica vuota (si noti che nella figura sono riportati i fattori di sicurezza delle verifiche richieste dalla norma: F_{SC} (scorrimento), FS_{RB} (ribaltamento) e FS_{CP} (capacità portante)

Per i dettagli si rimanda all'**Allegato 2** "Verifiche della stabilità del rilevato".

Anche in questo caso occorre precisare che le verifiche hanno considerato i fattori di sicurezza corrispondenti alle geogriglie prodotte dalla ditta Maccaferri (vedere **Allegato 3** "Schede tecniche delle geogriglie"), pertanto nel caso venissero scelti materiali diversi occorrerà verificare la stabilità dei rinforzati con i fattori di sicurezza di detti materiali secondo la procedura riportata nel precedente paragrafo ed i valori di calcolo riportati in **Allegato 2**.

5.2 Verifiche di stabilità della discarica

5.2.1 Premessa

I rifiuti saranno conferiti in balle pressate, legate e filmate (nel seguito "balle") e depositate in discarica giustapposte per creare giunti sfalsati fra le singole balle sia in verticale che in orizzontale (vedi Figura 5.17); queste, nel momento in cui sono posate non inducono problemi a livello di stabilità in quanto sono in grado di essere disposte anche con angoli di inviluppo del fronte molto elevati (alla stregua, per esempio, del posizionamento dei gabbioni o dei muri a gravità).

A lungo termine, le balle, alla luce dei carichi trasmessi dagli strati soprastanti, tenderanno a deformarsi e successivamente a rompersi, come del resto anche parti del fil di ferro che le lega. A lungo termine, quindi, situazione geotecnicamente più critica, i rifiuti si comporteranno in maniera del tutto simile ai "rifiuti sfusi", nonostante la presenza al loro interno dei setti in ghiaia, ovvero un materiale caratterizzato da caratteristiche di resistenza meccaniche migliori rispetto a quelle dei rifiuti. Pertanto, a vantaggio di cautela, le analisi che seguono saranno condotte con riferimento alla classificazione dei rifiuti sfusi.

In ottemperanza al D. Lgs. 121/2020 e delle NTC2018, sono state condotte verifiche di stabilità globale della discarica e di interfaccia.

Ed inoltre, come prescritto nell'ambito del PAUR, è stata condotta una verifica di stabilità ricercando il livello massimo di percolato che consente di mantenere i livelli di sicurezza previsti dalle NTC2018 (5.3).



Figura 5.17 – Esempi di abbancamento balle filmate

5.2.2 Caratterizzazione rifiuti sfusi

In linea teorica e del tutto generale, sulla base del loro comportamento meccanico, i rifiuti possono essere distinti in:

- rifiuti assimilabili ai terreni;
- rifiuti non assimilabili ai terreni.

I rifiuti urbani e i rifiuti trattati appartengono alla seconda categoria, per la quale, quindi la caratterizzazione geotecnica è resa complicata da una serie di fattori tra cui:

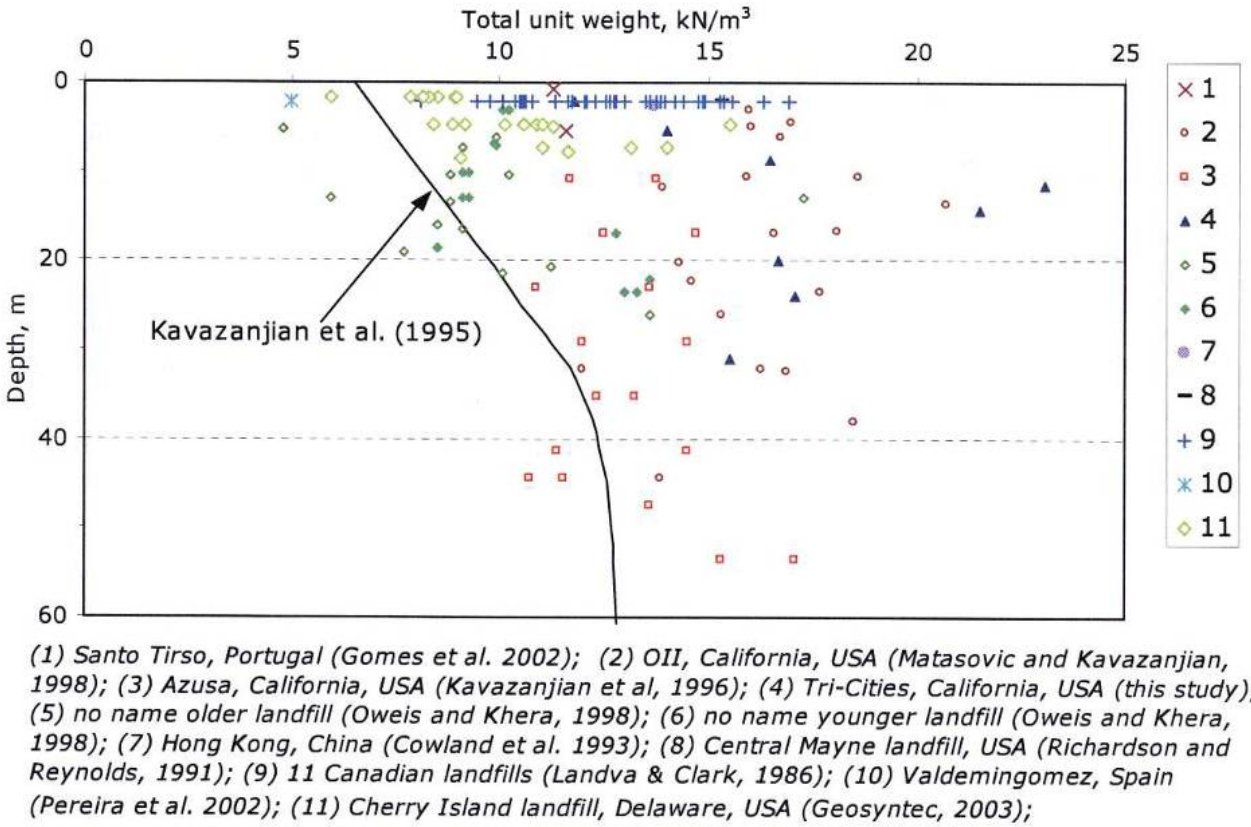
- l'eterogeneità dei materiali conferiti, che è strettamente legata all'area di produzione, alle condizioni climatiche del sito ed alle modalità con cui si effettuano i pretrattamenti;
- la mancanza di procedure di prova standardizzate per la determinazione dei parametri di resistenza;
- la dipendenza delle proprietà, oltre che dalle tipologie di materiali di provenienza, dalle procedure seguite nella posa in opera e nella compattazione;
- la dipendenza delle proprietà dal tempo, a causa dei processi di degradazione legati sostanzialmente al contenuto organico e alle condizioni locali di temperatura e umidità.

Gli studi più numerosi presenti in letteratura riguardano in particolare i rifiuti solidi urbani, il cui comportamento meccanico è stato inizialmente investigato da Sowers (1973) il quale, nel suo contributo alla VIII ICSMFE, utilizza le convenzioni ed i parametri propri della meccanica dei terreni per descrivere le leggi tenso-deformative dei rifiuti solidi urbani.

Agli studi di Sowers sono seguiti una serie di lavori di ricerca di altri autori fino ai più recenti di Oweis e Khera (1990), Jessberger e Kockel (1991 e 1993), Del Greco e Oggeri (1993), Fassett et al. (1994), Manassero et al. (1996), Van Impe e Van Impe (1999) e Kavazanjian (2006) dai quali si possono sintetizzare le considerazioni esposte nel seguito, che sono derivate in parte sia campi prova in vera grandezza, sia da prove di laboratorio su campioni di grandi dimensioni.

Per quanto riguarda il peso di volume dei rifiuti, esso varia per ciascun impianto di smaltimento in funzione della loro composizione, ed è particolarmente sensibile alle modalità di compattazione; ad esempio, Fassett et al. (1994) riportano valori di γ

nell'intervallo da 3 a 9 kN/m3 per rifiuti poco compattati, nell'intervallo da 5 a 8 kN/m3 per rifiuti moderatamente compattati e nell'intervallo da 9 a 10 kN/m3 per rifiuti ben compattati. Prove in sito su larga scala riportate da diversi autori hanno in effetti evidenziato pesi di volume variabili da 5 fino ad oltre 18 kN/m3 (Zekkos et al. 2005). In Figura 5-18 si riportano i valori ricavati in 11 impianti ubicati in varie parti del mondo, confrontati con il profilo suggerito da Kavazanjian et al. (1995), che rappresenta quindi, all'incirca, un limite inferiore.



(1) Santo Tirso, Portugal (Gomes et al. 2002); (2) OII, California, USA (Matasovic and Kavazanjian, 1998); (3) Azusa, California, USA (Kavazanjian et al, 1996); (4) Tri-Cities, California, USA (this study); (5) no name older landfill (Oweis and Khera, 1998); (6) no name younger landfill (Oweis and Khera, 1998); (7) Hong Kong, China (Cowland et al. 1993); (8) Central Mayne landfill, USA (Richardson and Reynolds, 1991); (9) 11 Canadian landfills (Landva & Clark, 1986); (10) Valdemingomez, Spain (Pereira et al. 2002); (11) Cherry Island landfill, Delaware, USA (Geosyntec, 2003);

Figura 5-18: Valori del peso di volume dei rifiuti solidi urbani da prove su grande scala (da Zekkos et al., 2005)

Per quanto riguarda i valori dei parametri meccanici, in generale i tipici rifiuti urbani, se sottoposti a tensioni deviatoriche progressivamente incrementate, non manifestano un valore limite superiore di resistenza al taglio, ma si deformano anche fino al 50□70% mobilitando resistenze al taglio sempre crescenti; per fissare un valore convenzionale di resistenza al taglio dei rifiuti si fa riferimento a deformazioni tangenziali dell'ordine del 20-30% (Grisolia et al., 1995).

L'esecuzione di prove penetrometriche, sia statiche (CPT) sia dinamiche (SPT), può permettere la determinazione qualitativa delle proprietà meccaniche dei rifiuti; i valori di resistenza alla punta (qc) variano da 200 a 800 2 t/m2 nel caso di rifiuti compattati, e da 50 a 200 t/m2 per rifiuti non compattati (Manassero e Pasqualini, 1993); per quanto concerne l'andamento di questi valori in profondità, essi non sembrano mostrare nel primo caso variazioni significative, mentre decrescono per i rifiuti non compattati.

Dall'analisi di alcune prove di resistenza al taglio diretto su campioni di grandi dimensioni di rifiuti scarsamente compattati, aventi un peso di volume di 0.4÷0.6 t/m3, simulando le reali condizioni di carico esistenti in una discarica (pressioni verticali 3÷10 t/m2), sono stati ricavati parametri medi di resistenza pari a:

$c' = 2$ t/m^2 (coesione drenata)

$\phi' = 21 \div 22°$ (angolo di resistenza al taglio)

Per quanto riguarda i parametri di rifiuti non compattati in sito (dopo la fase di raccolta con compattatore mobile) si può fare riferimento ai seguenti valori (Landva e Clark, 1990):

Manassero et al. (1996), avendo osservato come i parametri di resistenza dei rifiuti dipendano, tra gli altri fattori, dalla pressione di confinamento, hanno suggerito di attribuire i valori dell'angolo di resistenza al taglio, ϕ, e della coesione, c, sulla base della curva mostrata in Figura 5-19, in cui il piano (σ,τ) viene diviso in tre zone:

- una zona A, corrispondente a bassi stati tensionali (0 kPa $\leq \sigma V <$ 20 kPa), in cui la resistenza dei rifiuti è governata dalla coesione (ϕ = 0°, c $\cong$ 20 kPa);
- una zona B, corrispondente a valori moderati dello stato tensionale (20 kPa $\leq \sigma V <$ 60 kPa), in cui il comportamento dei rifiuti è sostanzialmente attritivo ($\phi \cong$ 38°, c = 0 kPa);
- una zona C, corrispondente a valori di tensione più elevati ($\sigma V \geq$ 60 kPa), in cui entrambi i parametri di resistenza al taglio vengono mobilitati (ϕ=30°, c $\geq$ 20 kPa).

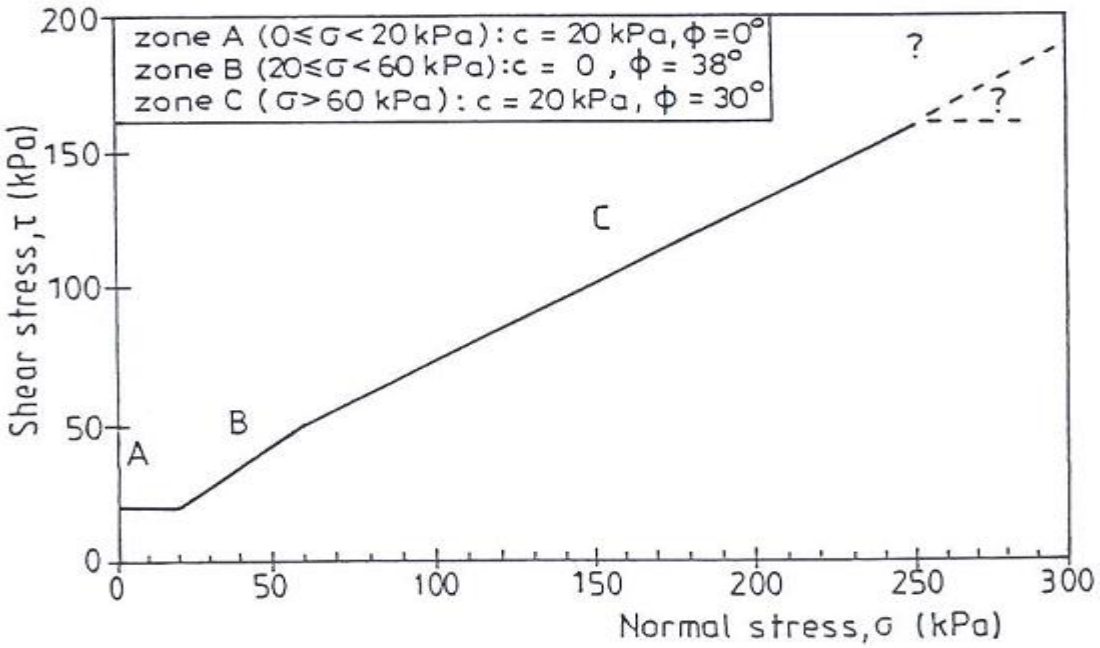


Figura 5-19: Valori di riferimento dei parametri di resistenza dei rifiuti solidi urbani in funzione dello stato tensionale (da Manassero et al., 1996)

Con un simile approccio, basato su dati riferiti a studi compiuti in Nord America, Kavazanjian (2001) propone di adottare i valori c' = 24 kPa e $\phi \cong 0°$ per livelli tensionali ridotti ($\sigma N \leq 30$ kPa) e i valori c' = 0 kPa e $\phi \cong 33°$ per livelli tensionali più elevati.

A titolo indicativo, la Figura 5-20 presenta alcuni valori di resistenza a taglio dei rifiuti pubblicati in letteratura; appare evidente la grande dispersione di tali valori.

Ai fini progettuali, si può ritenere che i parametri da assumere siano compresi negli intervalli individuati nel piano (c',ϕ') in Figura 5-21 e in Figura 5-22.

Fonte	Parametri di resistenza a taglio		Note
	c' (kPa)	ϕ' (°)	
Jessberger (1994)	7	38	Ripreso da Gay et al. (1978)
Jessberger (1994)	10	15	Da back analysis
Jessberger (1994)	10	17	Da back analysis
Jessberger (1994)	0	30	Da osservazioni in sito
Jessberger (1994)	0	40	Da osservazioni in sito
Jessberger (1994)	7	42	Da prove di taglio semplice
Jessberger (1994)	28	26.5	Da prove di taglio semplice
Fassett et al. (1994)	10	23	Valori suggeriti dagli autori
Kolsh (1995)	15	15	Valori suggeriti dagli autori
Kolsh (1995)	18	22	Valori suggeriti dagli autori
Cowland et al. (1993)	10	25	Da back analysis
Del Greco e Oggeri (1993)	15.7	21	Da prove di taglio diretto
Del Greco e Oggeri (1993)	23.5	22	Da prove di taglio diretto
Landva e Clark (1986)	19	42	Da prove di taglio diretto
Landva e Clark (1986)	16	38	Da prove di taglio diretto
Landva e Clark (1986)	16	33	Da prove di taglio diretto
Landva e Clark (1986)	23	24	Da prove di taglio diretto
Landva e Clark (1986)	10	33.6	Da prove di taglio diretto
Golder Associates (1993)	0	41	Da prove di taglio diretto

Figura 5-20: Parametri di resistenza dei rifiuti pubblicati in letteratura (adattata da Jones et al., 1997)

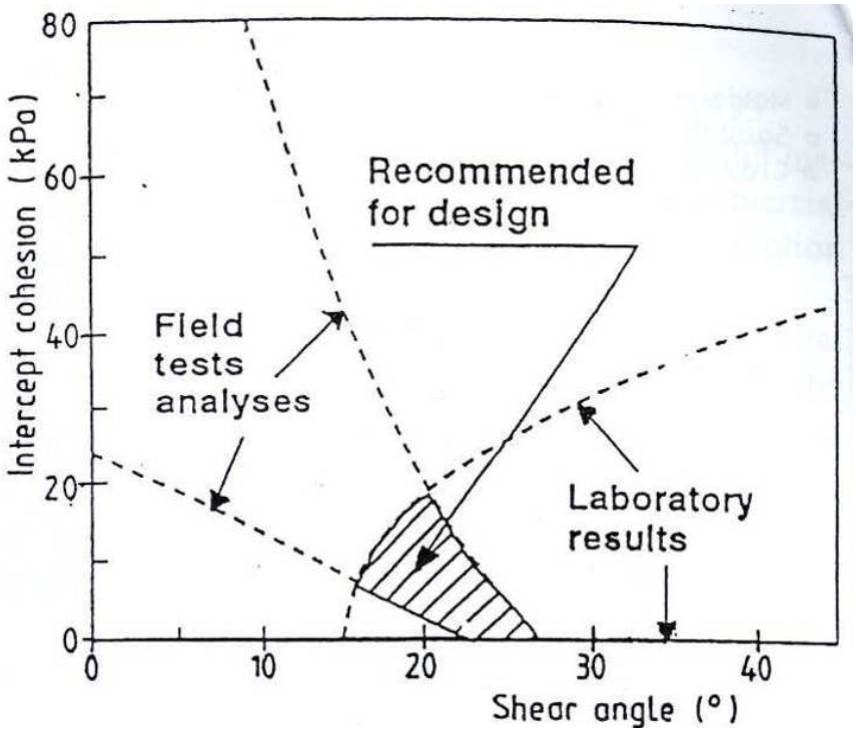


Figura 5-21: Resistenza a taglio dei rifiuti solidi urbani, valori raccomandati ai fini progettuali (da Sanchez-Alciturri et al., 1993)

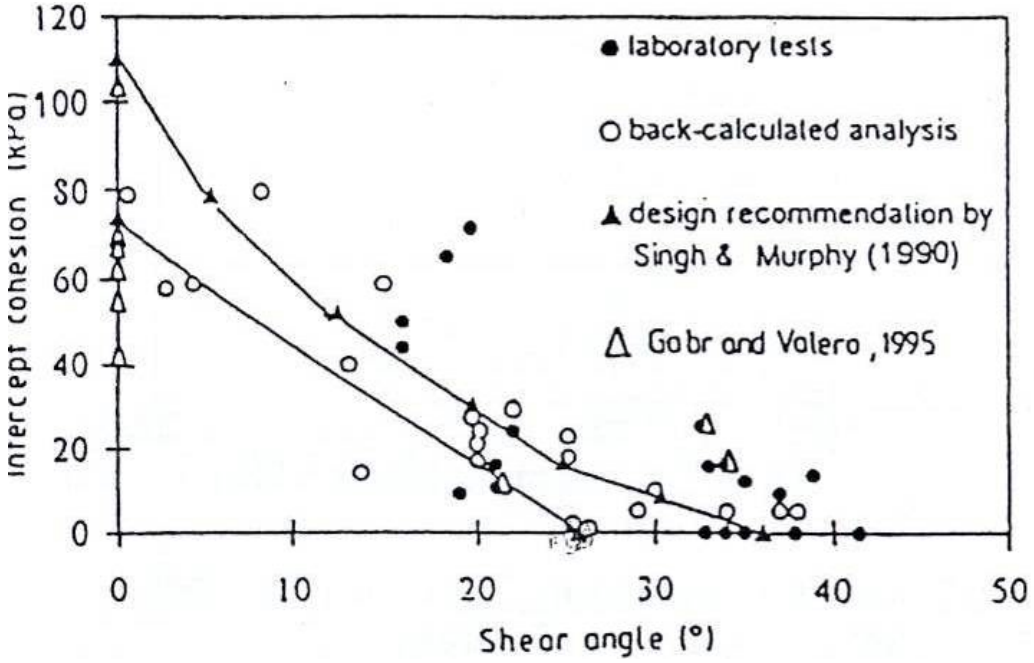


Figura 5-22: Parametri di resistenza dei rifiuti solidi urbani stimata con vari metodi (da Manassero et al., 1996)

Inoltre le esperienze più aggiornate e qualificate riportate nella letteratura tecnica internazionale (si veda ad es. Bray et al., 2009; Bray et al., 2011) evidenziano che la resistenza la taglio dei rifiuti è fortemente influenzata dalla presenza di materiali fibrosi all'interno di essi (strisce di plastica, residui metallici, pezzi di tessuto, cartoni, ecc.) i quali esercitano un'azione di rinforzo sui rifiuti paragonabile a quella prodotta dalle armature della terra rinforzata.

L'effetto è legato soprattutto alla presenza di materiali fibrosi di dimensioni uguali o superiori a 20 mm e diventa significativo quando la percentuale di questi ultimi raggiunge un valore del 20%-25%. Dimensioni e percentuali superiori a quelle sopra indicate non producono incrementi significativi nei risultati delle prove (Bray et al., 2011).

La Figura 5-23 tratta da Bray et al. 2009, che sintetizza i risultati di oltre 100 prove di taglio diretto eseguite su provini di grande diametro nonché dati desunti da analisi a ritroso sul comportamento di discariche reali, suggerisce i seguenti valori medi:

c' = 25 kPa (coesione drenata)

ϕ' = 35 (angolo di resistenza al taglio)

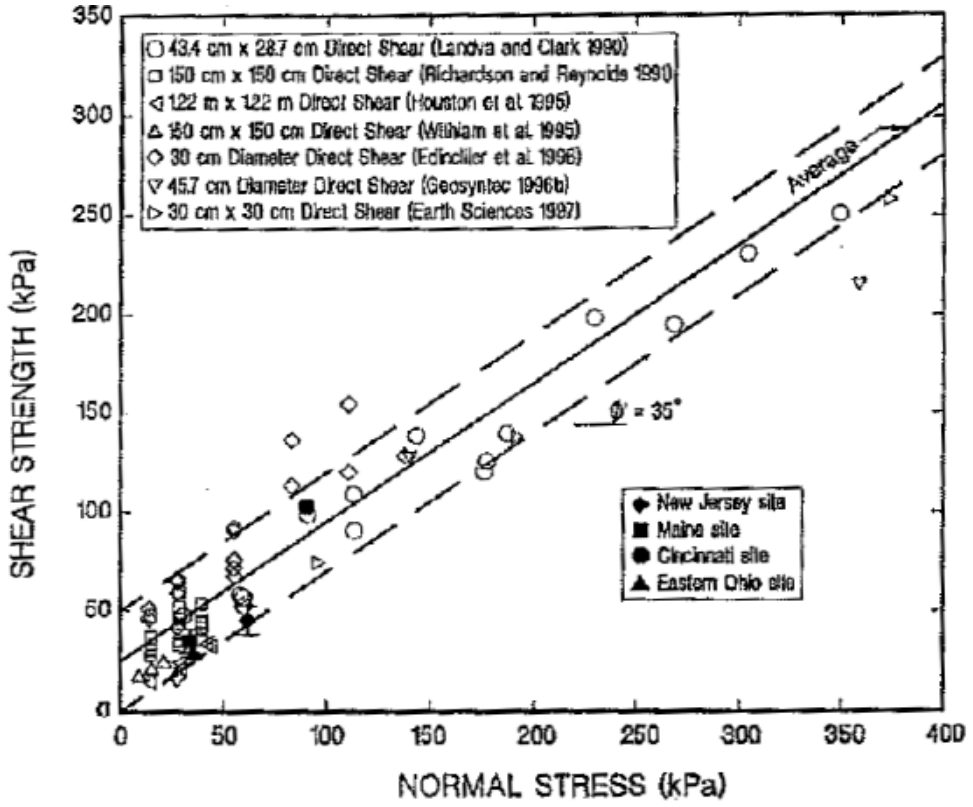


Figura 5-23 Sintesi dei risultati di prove di taglio diretto sui rifiuti da provini di grande diametro e da back analysis di casi reali (da Bray et al., 2009)

La scelta delle caratteristiche meccaniche da assegnare ai rifiuti da impiegare per il presente progetto è stata effettuata sulla base dei dati di letteratura appena descritti, su considerazioni effettuate dagli scriventi basate su esperienze direttamente acquisite tramite indagini e prove in casi riconducibili alla presente progettazione e sui valori storicamente impiegati per la discarica in oggetto.

I valori sono i seguenti:

γ = 10 kN/m^3 (peso di volume naturale)

c' = 10 kPa (coesione drenata)

ϕ' = 30° (angolo di resistenza al taglio)

Come si può vedere facendo riferimento alla Figura 5-22 e alla Figura 5-23, i valori dei parametri di resistenza sono da considerarsi del tutto cautelativi, e tengono già conto del decadimento a lungo termine delle caratteristiche di resistenza dell'ammasso dei rifiuti.

Tali parametri si considerano del tutto in linea con quelli rilevati in altre discariche del contesto regionale. Alla luce delle ipotesi fatte e riportate in premessa, i rifiuti assumeranno

la natura di "sfusi"/"assimilabili a terreni" nel momento in cui le balle saranno soggette a carichi in grado di rompere, o comunque di deformare significativamente, il fil di ferro che le tiene legate. Questo accadrà per i rifiuti più "vecchi", ovvero quelli più profondi e soggetti a carichi molto elevati, che possono essere considerati già assestati.

Nella valutazione delle resistenze è da considerare, inoltre, la massiccia presenza di elementi leganti che ne aumenta significativamente la resistenza.

I parametri scelti sono pertanto da considerarsi cautelativi; a maggior ragione se si tiene conto che i fronti di avanzamento di discariche come quella in esame, ovvero con rifiuti conferiti in balle, possono raggiungere anche angoli prossimi a 90°, ovvero la quasi verticalità (si rimanda alle fotografie riportate in **Figura 5.17**).

5.2.3 Interfacce dei sistemi di impermeabilizzazione

Nelle discariche i materiali geosintetici vengono posati tra due strati di materiali minerali, tra uno strato minerale ed un altro geosintetico o tra uno strato minerale ed i rifiuti, e svolgono funzione di impermeabilizzazione (geocomposito bentonitico, geomembrana in HDPE), di protezione di altri geosintetici (geotessili TNT), di separazione e filtrazione (geotessili TNT o T), di drenaggio (geocompositi drenanti).

Ai fini della analisi di stabilità svolte con i metodi dell'equilibrio limite, descritte in seguito, ciò che deve essere caratterizzato è l'interfaccia, ossia la superficie di contatto tra il geosintetico e lo strato, superiore e/o inferiore con il quale lo stesso viene a trovarsi a contatto; infatti, poiché il geosintetico costituisce una superficie di discontinuità ben definita, nella maggior parte dei casi è proprio tale superficie di discontinuità che governa il fattore di sicurezza nei confronti della rottura per instabilità gravitazionale (Mitchell et al., 1990).

La Tabella 5.3 e la Tabella 5.4 riportano il campo di variabilità dei parametri di resistenza a taglio per le interfacce geosintetico – terreno e geosintetico – geosintetico, desunti da prove di laboratorio condotte da vari autori e riportate in letteratura (Mitchell e Mitchell, 1991; Martin et al., 1984; Pasqualini et al., 1993; Manassero et al., 1996; Fratalocchi et al., 2003).

Tabella 5.3 Parametri di resistenza a taglio per interfacce geosintetico – terreno

INTERFACCIA	ANGOLO DI ATTRITO (°)	COESIONE (kPa)
Geomembrana HDPE – sabbia	15-28	0
Geomembrana HDPE – argilla	5-29	0
Geotessile – sabbia	22-44	0
Geocomposito bentonitico – sabbia	20-25	0
Geocomposito bentonitico – argilla	14-16	0
Geomembrana HDPE a.m. – ghiaia	20-25	0
Geomembrana HDPE a.m. – sabbia	30-43	0
Geomembrana HDPE a.m. – argilla	7-35	20-30
Geotessile – argilla	15-33	0

Tabella 5.4 Parametri di resistenza a taglio per interfacce geosintetico – geosintetico

INTERFACCIA	ANGOLO DI ATTRITO (°)	COESIONE (kPa)
Georete – geomembrana in HDPE	6-10	0
Geomembrana in HDPE – geotessile	8-18	0
Geotessile – georete	10-27	0
Geocomposito bentonitico – geomembrana in HDPE a.m.	10-25	0
Geocomposito bentonitico – geomembrana in HDPE	8-16	0
Georete – geomembrana in HDPE a.m.	10-25	0
Geotessile – geomembrana in HDPE a.m.	14-52	0
Geocomposito bentonitico (tra i geotessuti non collegati tra di loro e agugliati/ cuciti)	8-25	0

Nelle tabelle seguenti viene invece riportato il range di variabilità degli angoli di resistenza al taglio di picco (**Tabella 5.5**) e residuo (**Figura 5-6**) per le interfacce geosintetico – terreno e geosintetico – geosintetico, desunti da prove di laboratorio condotte in casi reali e riportate nell'articolo "*Experiences about geosynthetics shear strength designing and testing*" (Veggi, S., Parla, P. and Fretti, G. (2015)

Tabella 5.5 Valori dell'Parametri di resistenza a taglio per interfacce geosintetico – geosintetico desunti da prove di taglio diretto - angolo di attrito di picco

	FRICTION VALUES (RANGE)	FRICTION VALUES (MEAN)
Smooth HDPE geomembrane – wowen geosynthetic clay liner	ϕ'=9.66÷13.5; c'=°1.86÷13.8	ϕ'=7.9, c'=°11.6
Smooth HDPE geomembrane – non wowen geosynthetic clay liner	ϕ'=8.0÷13.8; c'=0÷13.9	ϕ'=8.6, c'=4.4
Geotextile – Geonet	ϕ'=16.0÷18.0; c'=5.5÷7.0	ϕ'=17.0, c'=6.3
Smooth HDPE geomembrane – Compacted clay	ϕ'=14.6÷15.1; c'=0.7÷45.7	ϕ'=14.8, c'=17.3
Roughened geomembrane – Compacted clay	ϕ'=20.7÷36,0; c'=1.8÷32.7,	ϕ'=24.3, c'=13.4
Geosynthetic clay liner – Compacted clay	ϕ'=16.78÷36.0, c'=0÷31.8	ϕ'=24.3, c'=20.8

Tabella 5.6 Valori dell'Parametri di resistenza a taglio per interfacce geosintetico – geosintetico desunti da prove di taglio diretto - angolo di attrito residuo

	FRICTION VALUES (RANGE)	FRICTION VALUES (MEAN)
Smooth HDPE geomembrane – wowen geosynthetic clay liner	ϕ'=7.9÷9.1; c'=°2.0÷11.6	ϕ'=8.3, c'=°6.33
Smooth HDPE geomembrane – non wowen geosynthetic clay liner	ϕ'=7.9÷13.1; c'=0÷8.4	ϕ'=8.8, c'=2.2
Geotextile – Geonet	ϕ'=13.2÷16.2; c'=3.4÷7.6	ϕ'=15.0, c'=6.0
Smooth HDPE geomembrane – Compacted clay	ϕ'=8.6÷13.0; c'=0÷17.3	ϕ'=10.2, c'= 8.6
Roughened geomembrane – Compacted clay	ϕ'=7.8÷10.8; c'=3.4÷13.4,	ϕ'=8.8, c'=9.4
Geosynthetic clay liner – Compacted clay	ϕ'=14.6÷35.0, c'=0.2÷7.0	ϕ'=18.2, c'=4.8

Per le analisi di stabilità si sceglieranno i valori conservativi fra quelli per le interfacce presenti nel pacchetto del rivestimento selezionati in relazione ai materiali impiegati o da impiegare nella costruzione. Per questi ultimi materiali i valori costituiranno un requisito prestazionale di accettazione da verificare preliminarmente all'impiego

5.2.4 Metodologie di calcolo

Le verifiche di sicurezza relative agli SLU sono effettate con i consueti metodi all'equilibrio limite, che consistono nell'individuare diverse possibili superfici di scivolamento coinvolgenti

uno o più materiali e nell'analizzare, per ciascuna di esse, l'equilibrio allo scivolamento del cuneo di materiali soprastanti, considerato come corpo rigido.

I vari metodi di calcolo dell'equilibrio limite disponibili in letteratura (Bishop, 1955; Janbu, 1973; Morgenstern e Price, 1965; Fellenius, 1927; etc.), si basano tutti sulle ipotesi seguenti:

- il coefficiente di sicurezza è definito come rapporto tra resistenza al taglio e sforzo di taglio mobilitato lungo la ipotetica superficie di scorrimento;
- il coefficiente di sicurezza (FS), che per la superficie corrispondente alla rottura è unitario, è costante in tutti i punti della superficie di scorrimento;
- la rottura avviene per il raggiungimento, contemporaneamente in tutti i punti della superficie di scorrimento, della resistenza limite.

Le analisi sono state condotte in condizioni di deformazione piane, con l'utilizzo di un programma di calcolo specifico per tale tipo di analisi (SLOPE/W, GEOSTUDIO 2012, versione 8.15, sviluppato dalla GEO-SLOPE International, Ltd).

5.2.5 Analisi statiche

Per le verifiche di sicurezza si è fatto riferimento alle prescrizioni fornite dalle NTC18 per i fronti di scavo ed opere in materiali sciolti (Cap. 6.8) assimilando il fattore parziale per le resistenze γ_R delle NTC al coefficiente di sicurezza Fs ottenuto con il calcolo (Fs ≥ 1.1).

Le analisi di stabilità sono state effettuate adottando l'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R2) delle NTC18 per il quale i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dovranno essere fattorizzati secondo i coefficienti parziali riportati nelle seguenti tabelle:

Tabella 5.7 Coefficienti parziali per le azioni o l'effetto delle azioni (estratto dalla tabella 6.2.I delle NTC18)

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTI PARZIALI	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γG1	1,0
	Sfavorevole		1,0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ G2	0,8
	favorevole		1,3
Variabili	Favorevole	γ G3	0,0
	Sfavorevole		1,3

Tabella 5.8 Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (estratto dalla tabella 6.2.II delle NTC18)

PARAMETRO	GRANDEZZA	COEFFICIENTI PARZIALI	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	tan f'	$\gamma_{f'}$	1,25
Coesione efficacie	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,25
Resistenza non drenate	cu_k	γ_{cu}	1,40
Peso dell'unità di volume	γ	γ_{γ}	1,00

Il rapporto tra resistenza al taglio e sforzo di taglio mobilitato, FS (indicato nelle NTC18 come R2, coefficiente parziale per la resistenza del sistema geotecnico) deve risultare ≥ 1.1.

5.2.6 Analisi sismiche

Al capitolo 7.11.1, le NTC18 precisano che:

"Le verifiche degli stati limite ultimi in presenza di azioni sismiche devono essere eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto, con i coefficienti parziali γR indicati nel presente Capitolo 7, oppure con i γR indicati nel Capitolo 6 laddove non espressamente specificato."

Anche in questo caso si è fatto riferimento alle prescrizioni fornite dalle NTC18 per i fronti di scavo ed opere in materiali sciolti (Cap. 7.11.4) in cui si precisa che il coefficiente parziale per la resistenza del sistema geotecnico γR deve risultare ≥ 1.2.

Con riferimento alle analisi di stabilità rappresentative delle condizioni sismiche, queste sono effettuate con il metodo pseudo-statico (cfr.: NTC18, paragrafo 7.11.3.5.2), che consiste nel sostituire alle reali azioni dinamiche indotte dal sisma in ogni elemento di volume di terreno una forza di inerzia costante (F) valutata come segue:

- componente orizzontale: $F_H = W*k_H$, ove:
  - W = peso del volume di terreno;
  - kH = coefficiente sismico orizzontale.
- componente verticale: $F_V = W*k_V$, ove:
  - W = peso del volume di terreno;
  - kH = coefficiente sismico verticale.

A loro volta i coefficienti sismici sono valutati con le espressioni seguenti:

$k_H = \beta_s * a_{max}/g;$

$k_V = \pm 0.5 * k_H;$

ove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito =0.38 (Paragrafo 7.11.4 NTC 2018);

a_{max} = accelerazione orizzontale massima al sito;

g = accelerazione di gravità.

Attraverso l'utilizzo del software Spettri NTC ver 1.0.3.xlsx sono stati calcolati i coefficienti sismici orizzontale (k_H) e verticale (k_V), di seguito riportati:

k_H = 0.13;

K_v = 0.07.

Anche in questo caso si è fatto riferimento alle prescrizioni fornite dalle NTC18 per i fronti di scavo ed opere in materiali sciolti (Cap. 7.11.4) in cui si precisa che il coefficiente parziale per la resistenza del sistema geotecnico γR deve risultare ≥ 1.2.

5.2.7 Parametri assegnati per le analisi

I parametri, non fattorizzati e fattorizzati, assegnati nelle analisi eseguite in condizioni di progetto, sono riportati nelle seguenti tabelle (Tabella 5.9 e Tabella 5.10).

Sui rifiuti si rimanda alla trattazione di cui al paragrafo 5.2.2

Per quanto concerne il substrato roccioso, sono stati utilizzati gli stessi parametri attribuiti al materiale antropico a scopo cautelativo.

L'angolo di attrito della geomembrana dovrà essere confermato dal produttore, anche a seguito, di prove in laboratorio specifiche per determinare ϕ'.

Tabella 5.9 Parametri non fattorizzati

	PESO DI VOLUME TOTALE γ [kN/m^3]	ANGOLO DI ATTRITO ϕ' [kN/m^3]	COESIONE c' [KPa]
Rifiuti	10	30	10
Materiale di scavo per argine terre rinforzate	19	35	0
Materiale antropico	20	30	20
Copertura multistrato	18	39	5
Barriera minerale di impermeabilizzazione di fondo in argilla	20	26	0
Substrato roccioso	20	30	20
Interfaccia	1.1	14	0

Tabella 5.10 Parametri fattorizzati

	PESO DI VOLUME TOTALE γ [kN/m^3]	ANGOLO DI ATTRITO ϕ [kN/m^3]	COESIONE c' [KPa]
Rifiuti	10	24.8	8
Materiale di scavo per argine terre rinforzate	19	29.3	0
Materiale antropico	20	24.8	16
Copertura multistrato	18	32.9	4
Barriera minerale di impermeabilizzazione di fondo in argilla	20	21.3	0
Substrato roccioso	20	24.8	16
Interfaccia	1.1	11.3	0

Si evidenzia che, a scopo cautelativo, al "*substrato roccioso*" sono stati assegnati gli stessi parametri di resistenza del materiale antropico. Le seguenti figure (da Figura 5-25 a Figura 5-30) riportano due strati apparentemente diversi (in termini di assegnazione di colori) ma, in analogia con le analisi eseguite per le verifiche riportate al par. 5.1, sono stati utilizzati i valori dei parametri geotecnici assegnati al materiale antropico, ovvero quelli più bassi (vedi parametri "Strato A" e "Strato B" della Tabella riportata al par. 13 della Relazione geologica, idrogeologica e di indagine sismica RLS.01, rif. 1200_PD_RLS_01).

Per modellare con SLOPEW la presenza delle geogriglie all'interno dell'argine è stata utilizzata la formula proposta dalla *Federal Highway Administration*. Una volta determinata la resistenza a trazione minima delle geogriglie (si veda a tal proposito quanto già riportato nel paragrafo 5.1), nelle verifiche di stabilità globale eseguite all'equilibrio limite le terre rinforzate possono essere caratterizzate dai valori del "materiale composito", a cui si attribuisce il valore dell'angolo di resistenza a taglio che caratterizza il materiale non rinforzato (vedi Tabella 5.9) e un valore di coesione apparente, c'_R, ricavato con la formula (FHWA-HRT-10-077, 2013):

$$c'_R = \frac{T_f \sqrt{K_P}}{2S_v}$$

in cui:

- Tf è la resistenza a trazione del rinforzo (geogriglia);
- SV è la spaziatura verticale tra i rinforzi;
- KP il coefficiente di spinta passiva valutato con l'espressione di Rankine.

Nel caso specifico, il risultato del calcolo assume valore caratteristico pari a 80 kPa. Tale valore sarà fattorizzato secondo il $\gamma_{c'}$ riportato in Tabella 5.8.
In estrema sintesi, nel SW di calcolo sono stati inseriti i seguenti parametri geotecnici per l'argine in terre rinforzate:

	Condizione di calcolo	PESO DI VOLUME TOTALE γ [kN/m^3]	ANGOLO DI ATTRITO ϕ' [kN/m^3]	COESIONE c' [KPa]
Argine in terre rinforzate	Statica (fattorizzati)	19	29.3	64
	Pseudo-statica (caratteristici)	19	35	80

Tabella 5.11: Valori dei parametri geotecnici dell'argine in terre rinforzate

Si noti comunque che la stabilità dell'elemento "argine" è stata già verificata con il Software MacStARS (vedi paragrafo 5.1).

5.2.8 Risultati

Le analisi di stabilità sono state condotte in corrispondenza della sezione longitudinale A-A, la cui traccia è riportata in Figura 5-24, mentre la sezione in Figura 5-25.

In Tabella 5.12 è stato riportato il risultato più significativo per ciascun tipo di analisi di stabilità condotta, con riferimento alle rispettive figure.



Figura 5-24 Traccia della sezione di studio (sezione longitudinale A-A)

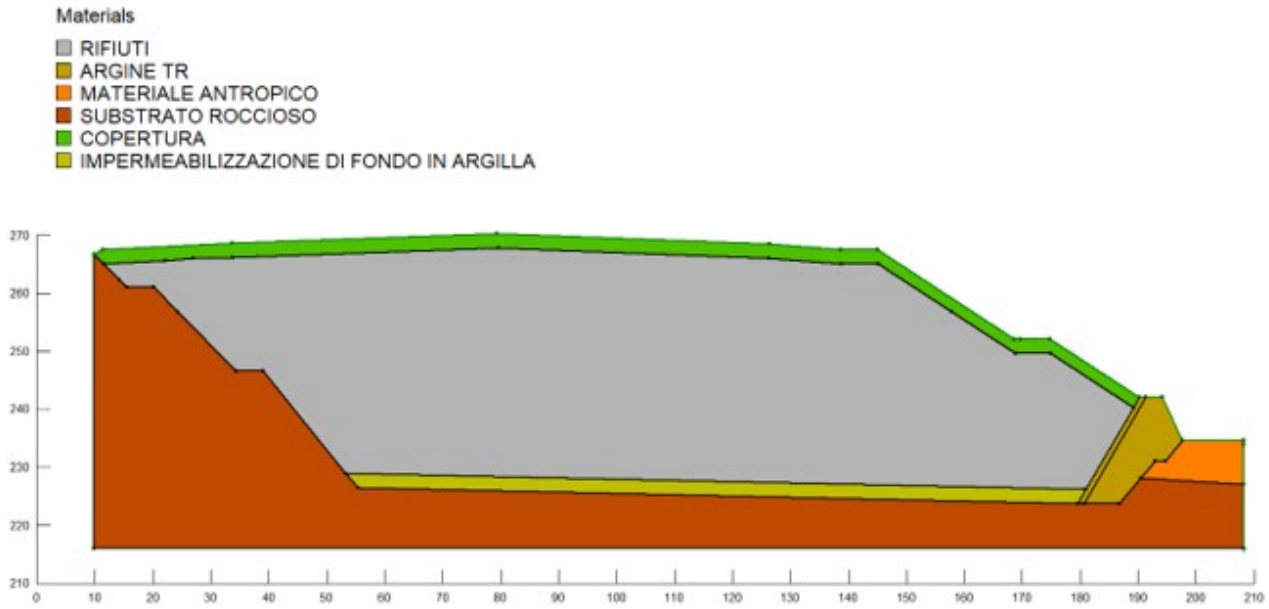


Figura 5-25 Sezione longitudinale – Scenario definitivo (vasca piena)

Tabella 5.12 Valori dei fatturi di sicurezza ottenuti in condizioni statiche e pseudo-statiche

SEZIONE	ANALISI ESEGUITA	CONDIZIONI	FATTORE DI SICUREZZA	FIGURA
Sezione longitudinale A-A	Stabilità Globale	Statiche	1.475	Figura 5-26
		Pseudo-statiche	1.235	Figura 5-27
	Stabilità di interfaccia	Statiche	2.041	Figura 5-28
		Pseudo-statiche	1.268	Figura 5-29

I report del Software SLOPEW, con il dettaglio dei calcoli eseguiti sulle singole "slice", sono riportati in **Allegato 5**.

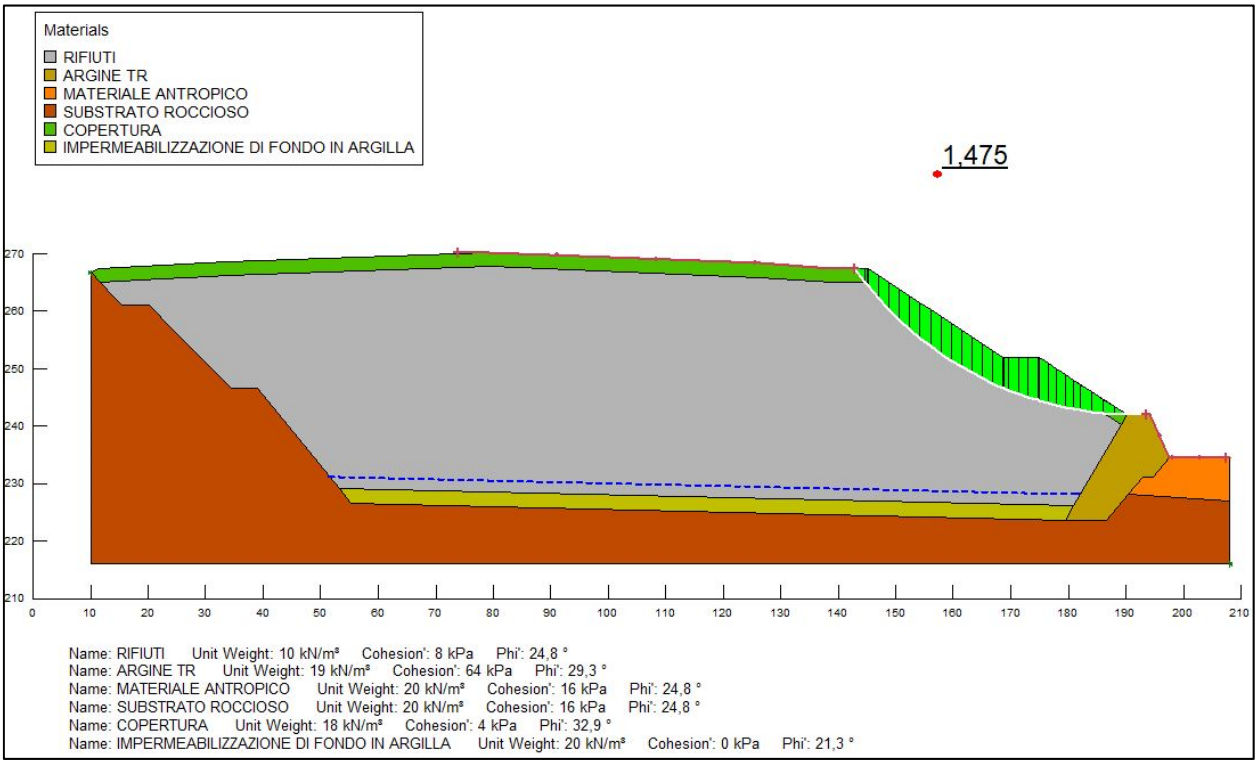


Figura 5-26 Sezione longitudinale A-A. Stabilità globale in condizioni statiche.

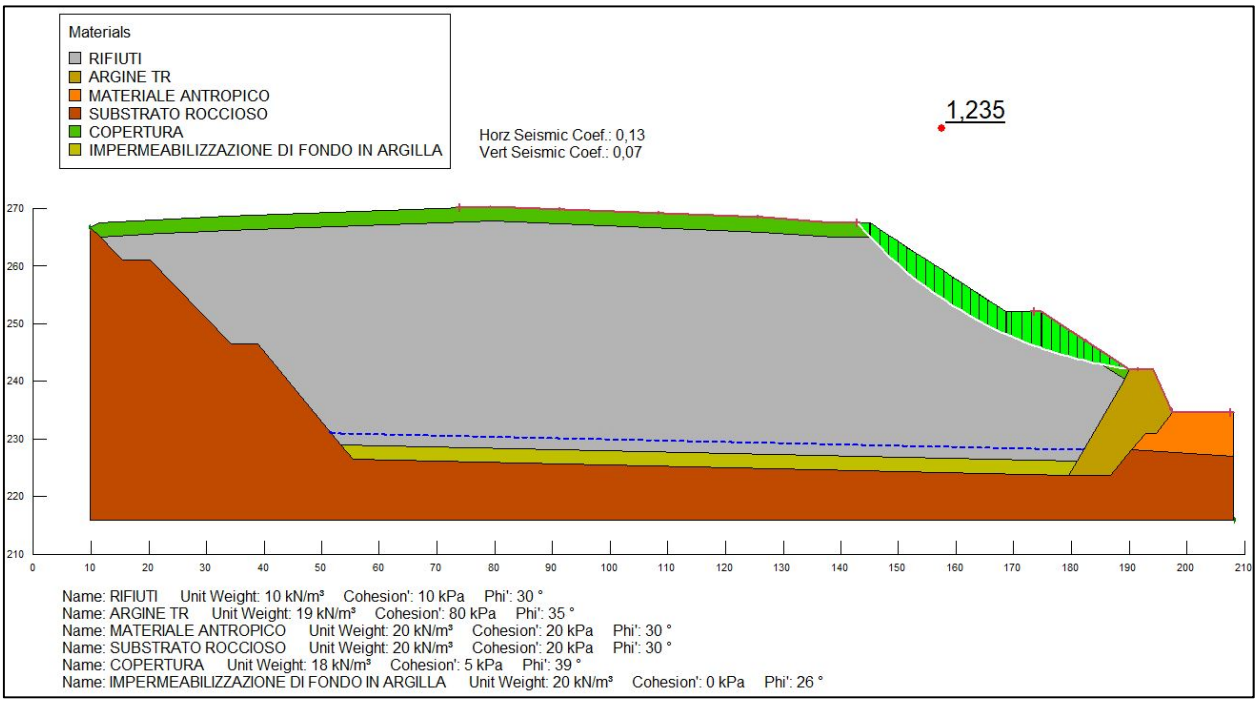


Figura 5-27 Sezione longitudinale A-A. Stabilità globale in condizioni sismiche (pseudo-statiche).

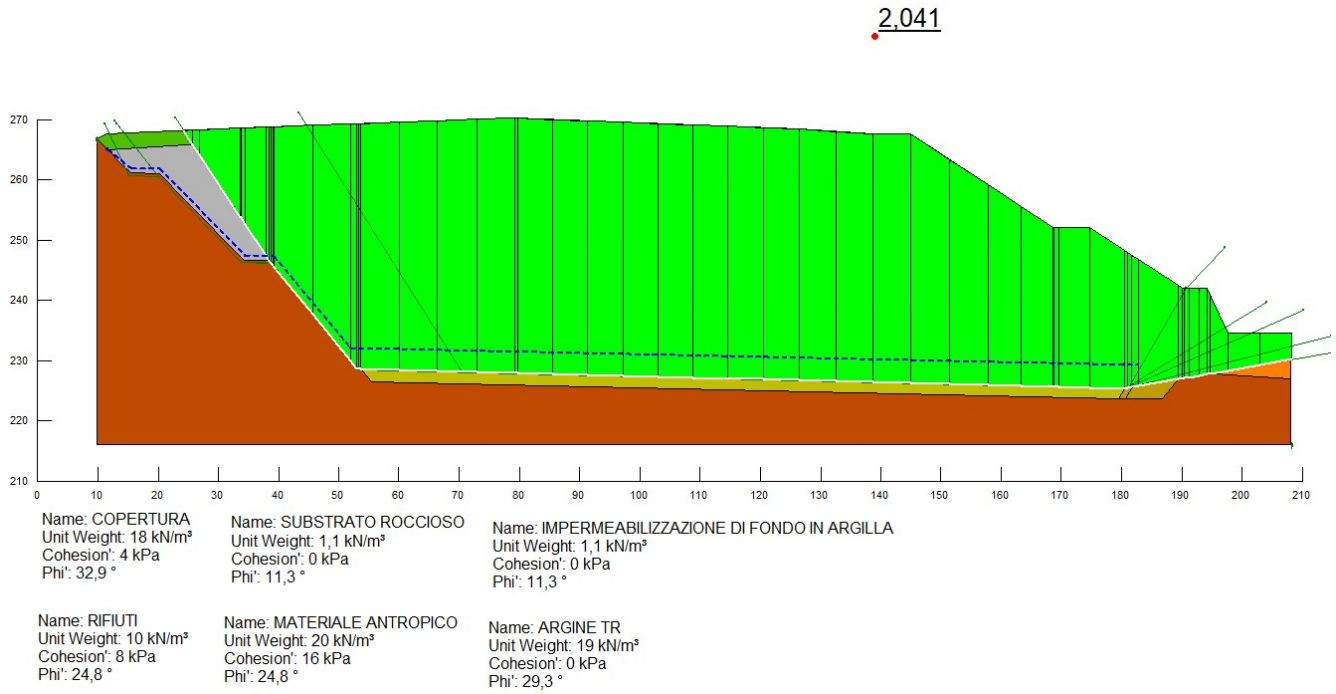


Figura 5-28 Sezione longitudinale A-A. Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche.

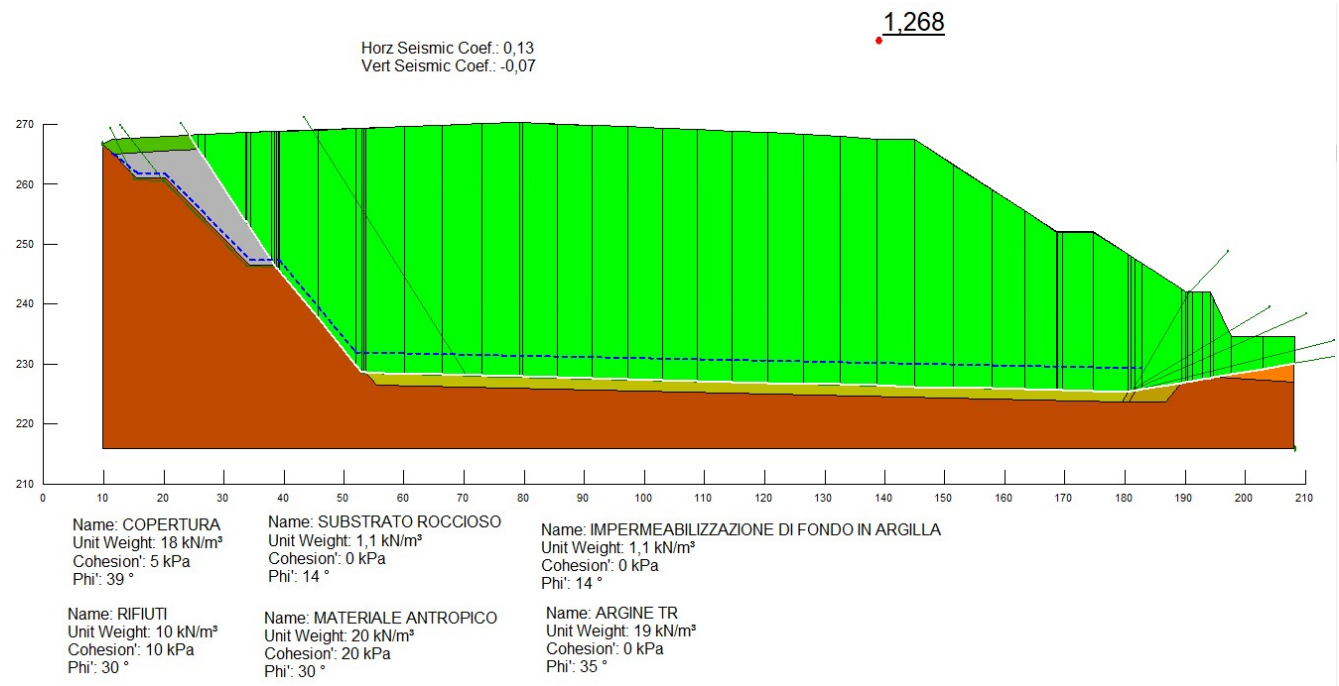


Figura 5-29 Sezione longitudinale A-A. Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni sismiche (pseudo-statiche).

In base alle analisi effettuate, si conclude che la stabilità è sempre soddisfatta con fattori di sicurezza superiori al minimo previsto dalla normativa (NTC18) sia in condizioni statiche (Fs ≥ 1.1) che pseudo statiche (Fs ≥ 1.2).

5.3 Back-analysis livelli del percolato

In ottemperanza alle richieste del Dipartimento del Territorio, Ambiente, Infrastrutture e Trasporti della Regione Liguria, è stata eseguita una verifica in back-analysis ai fini di individuare le soglie del battente del percolato entro cui il "sistema" risulti stabile.

In Figura 5-30 è stata riportata l'analisi di stabilità globale, in condizioni statiche, della sezione A-A in cui è stato riportato il livello di percolato con battente massimo per cui il fattore di sicurezza risulta verificato (Fs=1.101). Tale livello, come mostrato in figura, si attesta ad una quota compresa tra 249 (in corrispondenza della scarpata ovest) e 240 m s.l.m. (in prossimità dell'estradosso dell'argine).

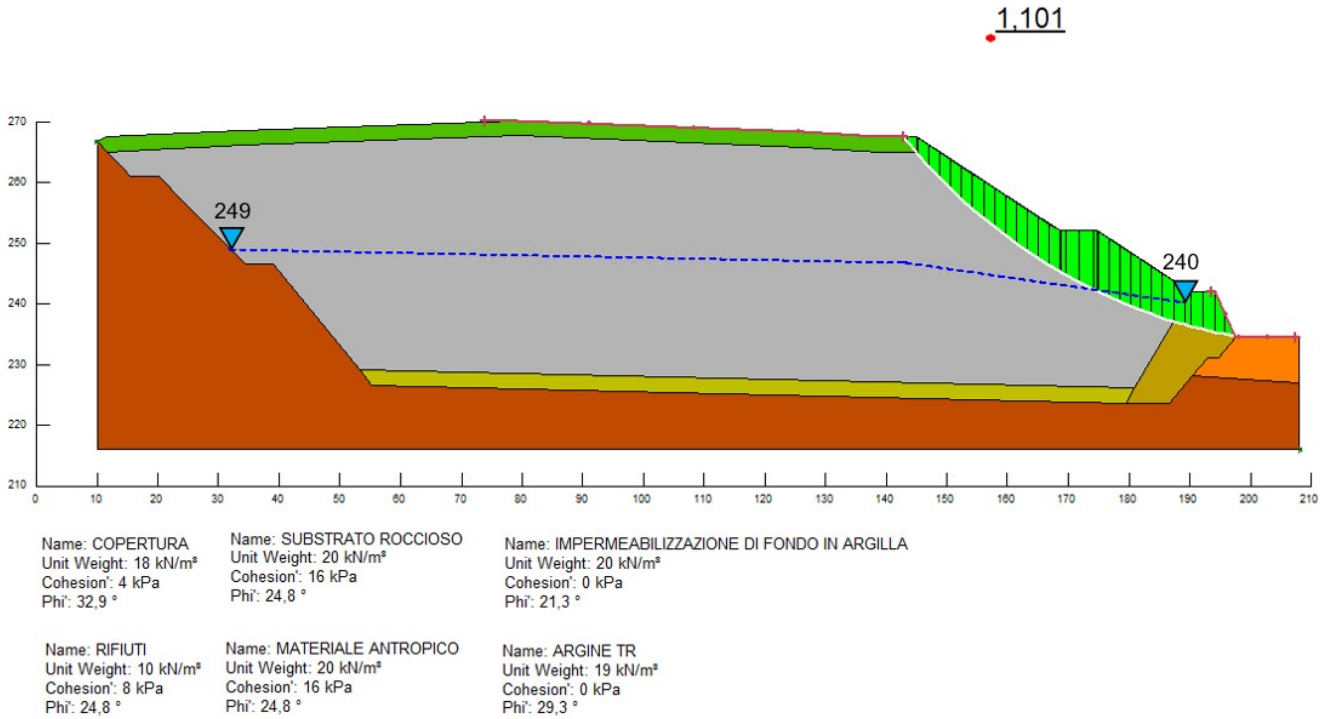


Figura 5-30 Sezione longitudinale A-A con battente massimo. Stabilità in condizioni statiche

In tale analisi, ad ulteriore vantaggio di cautela, non è stato considerato il contributo delle geogriglie, la c.d. coesione apparente, all'interno dell'argine.

È evidente che, alla luce dei sistemi di estrazione presenti – tra l'altro diversificati per i due bacini di discarica – e delle procedure gestionali della stessa, tale situazione è praticamente irrealizzabile.

5.4 Verifiche dello strato di copertura e dimensionamento delle geogriglie

5.4.1 Premessa

Alla luce della composizione del capping finale, le possibili superfici di scorrimento planari sulle interfacce si possono verificare in corrispondenza del contatto tra strato di copertura finale (di 1 m) e il sottostante geotessile.
Per garantire la stabilità allo scivolamento dello strato suddetto, il progetto ha previsto l'inserimento al suo interno di due geogriglie accoppiate a geostuoie grimpanti.
La presente sezione riporta la verifica della stabilità dello strato citato ca in condizioni statiche e sismiche (pseudo-statiche) e il conseguente dimensionamento delle geogriglie.

L'approccio utilizzato per i dimensionamenti in condizioni statiche, in conformità a quanto previsto dalle norme tecniche per le costruzioni (NTC18), è stato quello di attribuire dei coefficienti di sicurezza parziali ai parametri caratteristici del terreno (j e j'), di resistenza delle interfacce e a trazione dei materiali e di verificare che le resistenze offerte fossero comunque maggiori delle sollecitazioni. La scelta dei coefficienti di sicurezza parziali, per quanto concerne la fattorizzazione delle resistenze del terreno, è stata effettuata sulla base della normativa italiana (NTC18) mentre, per la riduzione delle resistenze delle geogriglie, poiché le NTC18 non danno specifiche indicazioni su coefficienti parziali da adottare su queste tipologie di materiali, è stata fatta in accordo con la norma ISO/TR 20432.

5.4.2 Ipotesi di calcolo

Le problematiche relative alla stabilità delle coperture sono legate ai possibili scivolamenti lungo l'interfaccia tra il terreno di copertura ed il geosintetico a causa delle sollecitazioni indotte dal peso del terreno sovrastante. Come anticipato, i possibili scivolamenti sono localizzati lungo le scarpate e riguardano soltanto l'interazione tra il terreno di copertura e le geogriglie di rinforzo.

Sulla base di tali considerazioni, per il calcolo della stabilità sono fatte le seguenti assunzioni:

- l'attrito interno del terreno di copertura e l'attrito all'interfaccia tra il terreno di copertura e le geogriglie sono tali da garantire il trasferimento di tutta la sollecitazione di taglio alle geogriglie (e non ai geosintetici sottostanti che sono ritenuti geotecnicamente stabili alla luce del loro ancoraggio sommitale);
- le geogriglie hanno caratteristiche di resistenza tali da sopportare la sollecitazione.

5.4.3 Caratteristiche materiali

Di seguito si riportano le caratteristiche dei materiali interessati dalle valutazioni della presente sezione.

Terreno vegetale strutturato

Il terreno che verrà utilizzato a completamento della copertura definitiva delle superfici pianeggianti dovrà avere i seguenti parametri caratteristici minimi, che devono essere intesi come standard prestazionali in fase di progettazione esecutiva e approvvigionamento del materiale in fase di costruzione dell'opera, anche tramite prove specifiche di laboratorio:

$\gamma = 18$ kN/m^3 (peso di volume);

$\varphi = 42°$ (angolo di attrito interno) che corrisponde ad un terreno con angolo di attrito interno (Ø) di 39° ed una coesione (c') di 2 kPa, ottenibile tramite la posa di terreno strutturato con scheletro solido.

Lo strato di terreno superficiale, dello spessore di 100 cm, sarà strutturato con materiale ghiaioso (*i.e.* con scheletro lapideo) al fine di garantire il raggiungimento dell'angolo d'attrito interno previsto nelle analisi che seguono, nonché di favorire il convogliamento delle acque di infiltrazione al sottostante strato di captazione (*i.e.* geocomposito drenante). Si sottolinea che il materiale strutturato citato – già posato in coperture di discariche del tutto analoghe a quelle di progetto, con riferimento sia alla lunghezza sia alla inclinazione delle scarpate – si è dimostrato stabile anche nel lungo periodo.

Geogriglie

La determinazione delle caratteristiche del geosintetico a contatto con il terreno strutturato, riportata nell'Allegato 4, è stata effettuata in modo tale che le sollecitazioni non siano trasferite ai geocompositi sottostanti per i quali quindi non saranno necessari particolari requisiti di resistenza.

Alla luce del calcolo eseguito, le geogriglie di rinforzo del terreno vegetale dovranno avere le seguenti caratteristiche:

- garantire un angolo di interazione con il terreno vegetale minimo di 42°;
- garantire una resistenza a trazione di 200 kN/m per ciascuna delle due griglie.

Il valore nominale della massima resistenza a trazione dovrà essere fattorizzato attraverso i coefficienti di sicurezza parziali caratteristici della geogriglia secondo la seguente relazione[5]

$$T_d = T_k \cdot \frac{1}{RF_{CR} \cdot RF_{ID} \cdot RF_W \cdot RF_{CH}}$$

dove:

T_d	*resistenza di progetto (valore che la geogriglia deve essere in grado di fornire);*
T_k	*resistenza caratteristica a trazione, valore nominale;*
RFCR	*coefficiente di sicurezza nei confronti del carico statico sostenuto nella vita di esercizio (50 anni) alla temperatura di progetto (20°) e corrisponde al coefficiente di sicurezza nei confronti di fenomeni di creep;*
RFID	*coefficiente di sicurezza nei confronti del danneggiamento meccanico in relazione alla granulometria del materiale impiegato;*
RFW	*coefficiente di sicurezza nei confronti della degradazione per l'esposizione agli agenti atmosferici per il massimo periodo di esposizione prevista;*
RFCH	*coefficiente di sicurezza nei confronti della riduzione di resistenza a causa di fenomeni chimici o biologici per ambiente aggressivo con valori del pH compresi tra 4 e 9.*

[5] Il riferimento normativo è la ISO/TR 20432: "Guidelines for the determination of the long-term strength of geosynthetics for soil reinforcement"

I valori da adottare per i singoli coefficienti dovranno essere adeguatamente giustificati dal produttore delle geogriglie e/o supportati dai risultati di prove di laboratorio con il materiale di sito.

Il valore ottenuto per T_d dovrà essere maggiore o uguale a quello adottato nei calcoli di dimensionamento ovverosia ≥ 125 kN/m.

Alla luce di quanto sopra nel seguito sono riportati i risultati delle analisi condotte in condizioni statiche e sismiche (pseudo-statiche).

5.4.4 Analisi di stabilità in condizioni statiche

La definizione della condizione statiche della copertura definitiva segue quanto disposto dalle NTC2018.

La verifica è stata eseguita tramite l'approssimazione a pendio indefinito.

Sulla base dei calcoli effettuati, il cui dettaglio è riportato in **Allegato 4**, è stato confermato che, affinché sia rispettato l'equilibrio della copertura, il terreno vegetale deve avere un angolo di attrito interno di 42° e che la geogriglia a contatto con il terreno suddetto deve avere un angolo di interfaccia di almeno 42° ed una resistenza a rottura nominale pari ad almeno 125 kN/m.

5.4.5 Analisi di stabilità in condizioni sismiche (pseudo-statiche)

La definizione della condizione sismica della copertura definitiva segue quanto disposto delle NTC2018, con particolare a paragrafo attinente ai "fronti di scavo e rilevati" (cfr. 7.11.4). Per il calcolo dei coefficienti sismici orizzontale e verticale k_H e k_V è stato adottato il valore del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito βs = 0.38 (in quanto si tratta di una verifica agli SLU (SLV)).

In sintesi (v. par. 5.2.6) i valori dei coefficienti sismici risultano:

ANALISI DI STABILITÀ	K_H [-]	K_V [-]
Strato di copertura	0.013	0.007

Figura 5.1: Valori dei coefficienti sismici

Analogamente al caso statico, la stabilità della copertura è stata verificata secondo il modello geotecnico di pendio indefinito. Per i dettagli si rimanda al medesimo Allegato 4.

5.5 Cedimenti del corpo rifiuti

La stima dei cedimenti del corpo rifiuti per la posa del sistema di copertura è finalizzata a verificare che l'entità del cedimento differenziale eventualmente prodotto sia tale da non causare problemi agli strati di copertura stessi o al sistema di drenaggio delle acque meteoriche.

Si valuta quindi il cedimento totale al livello della copertura come somma di due componenti:

- cedimento nel corpo rifiuti per effetto del carico dato dalla copertura;
- cedimento dei rifiuti dovuto alla compressione (o consolidazione) secondaria.

I calcoli sono stati effettuati in corrispondenza di **n.6 verticali** ritenute significative in funzione dei cambi di pendenza della copertura o dell'andamento del fondo, riportate nella seguente figura.

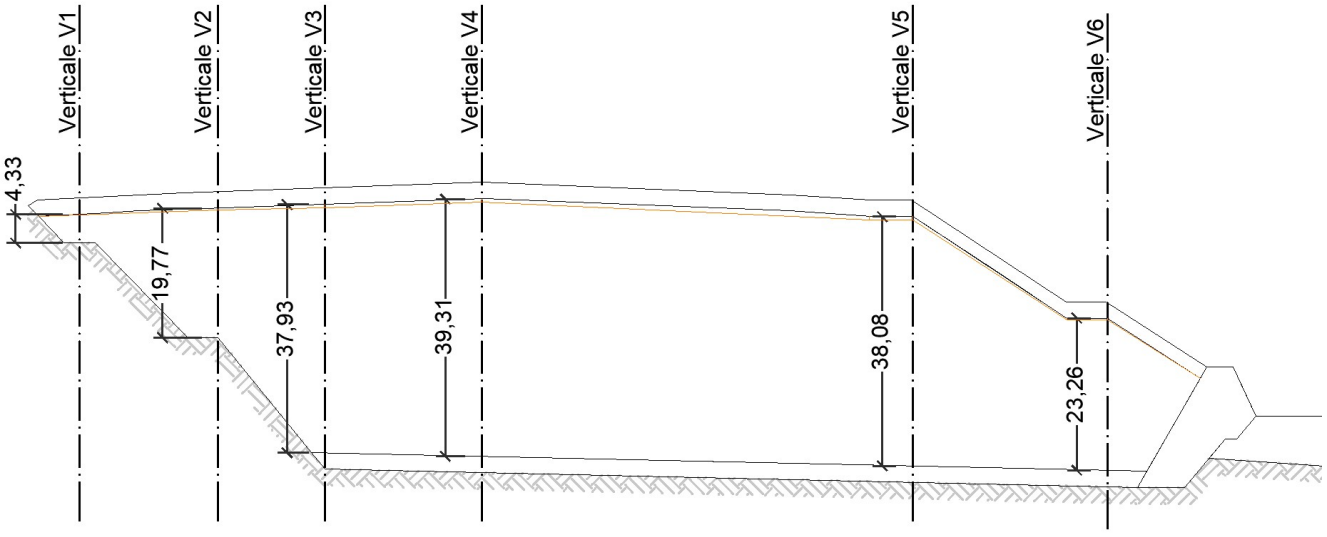


Tabella 5.13: Verticali di calcolo dei cedimenti (in giallo la superficie di posa della copertura a seguito dei cedimenti indotti; v. paragrafi successivi)

Per la definizione dei cedimenti, ed in particolare per la valutazione delle caratteristiche deformative dei rifiuti, è stata fatta la stessa ipotesi riportata nel capitolo relativo alle stabilità, ovvero, che a lungo termine la discarica si comporti come costituita da materiale sfuso.
Tale ipotesi risulta conservativa, in quanto il rifiuto sarà depositato con un grado di addensamento maggiore, alla luce delle attività di pressatura e filmatura con fil di ferro, rispetto alla casistica di deposizione in materiale sciolto, e successiva compattazione sul corpo rifiuti.

5.5.1 Cedimento del corpo rifiuti indotto dal carico della copertura

La variazione di stato tensionale della discarica che determina i cedimenti di breve termine (pochi mesi) può essere determinata dai seguenti fenomeni:

- progressivo sviluppo in altezza della discarica;
- presenza di carichi esterni (quale la copertura definitiva);
- dissipazione delle pressioni interstiziali (in misura minore).

La componente di consolidazione primaria del cedimento totale può essere pertanto schematizzata come quella generata dall'applicazione di un carico monotonico e può essere valutata, in analogia con i terreni, mediante il modello geotecnico di elasticità lineare o edometrico/ logaritmico. Tale deformazione è legata all'espulsione di acqua e dei gas dai vuoti presenti all'interno della struttura dei rifiuti e si manifesta generalmente subito dopo la posa del sovraccarico.
Adottando la teoria della consolidazione per i rifiuti, in analogia con un terreno normal-consolidato, il calcolo del cedimento dell'ammasso rifiuti effettuato con il metodo edometrico/ logaritmico ha la seguente espressione:

$$\delta_P = \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta\sigma_{zi} - \nu(\Delta\sigma_{yi} + \Delta\sigma_{xi})}{E_i} \Delta z_i$$

in cui:

δ_P : cedimento;

n : numero di suddivisione degli strati di rifiuto;

E : modulo di deformabilità degli strati sottostanti [5 MPa[6]];

ν : coefficiente di Poisson [0,4[6]] ;

$\Delta\sigma_{vo}$: incremento medio delle tensioni indotte della suddivisione i-esima di terreno;

Δz_i: : incremento medio delle tensioni normali verticali della suddivisione i-esima di terreno.

Per quanto riguarda la scelta dei parametri deformativi ed in particolare di E (modulo di deformabilità degli strati sottostanti ovvero dello strato di rifiuti esistenti) si sono considerati i dati di letteratura e prove di carico su piastra in sito effettuate su discariche del medesimo contesto territoriale.

Il cedimento che si ottiene nelle verticali di controllo è riportato nel paragrafo 5.5.3.

5.5.2 Cedimenti secondari

La generazione di deformazioni nell'ammasso rifiuti si sviluppa nel tempo anche per la nascita di fenomeni di viscosità dello scheletro solido (creep – deformazione lenta a carico costante) e di trasformazione della sostanza organica, la cui velocità dipende dall'interazione di più fattori come descritto in precedenza. L'approccio proposto da Sowers (1973) per la stima di tali cedimenti fa riferimento ai modelli di calcolo utilizzati per la stima dei cedimenti secondari nei terreni naturali. L'espressione utilizzata è riportata di seguito.

$$s_{sec} = C_\alpha \cdot log\left[\frac{t}{t_C}\right] \cdot H_i$$

in cui:

- H = altezza dei rifiuti.
- t = tempo al quale viene valutato il cedimento (a partire dalla posa in opera del carico applicato).
- Cα = coefficiente di consolidazione secondaria per i rifiuti.

La formula è chiaramente valida per $t>t_c$.

In assenza di dati specifici, si assume Cα = 0.005 (*Chen et al.*, 2008).

[6] Valore desunto da prove eseguite su discariche di rifiuti analoghi nel contesto territoriale ligure.
Per i calcoli si è considerato un valore del modulo di deformabilità inferiore a quello ottenuto dalle prove sperimentali e pari a 5 Mpa.

Per un tempo t = 100 anni (pari alla vita nominale dell'opera) e ipotizzando in circa 18 mesi (1.5 anni) il tempo necessario all'esaurimento del cedimento meccanico, si ricavano i valori sintetizzati nella tabella del seguente par. 5.5.3.

5.5.3 Calcolo dei cedimenti

Il cedimento finale sarà dato dalla somma dei contributi determinati con le formulazioni esposte nei paragrafi precedenti.

I valori dei cedimenti sono riportati nella seguente tabella.

PUNTO	SPESSORE RIFIUTI	CEDIMENTI INDOTTI DALLA POSA DELLA COPERTURA	CEDIMENTI SECONDARI DEI RIFIUTI (A LUNGO TERMINE)			CEDIMENTO TOTALE
		Cm	t_1	t_2	Cedimenti secondari	
	m	*cm*	*anni*	*anni*	*cm*	cm
V1	4.3	2.0	1.5	50	3.9	5.9
V2	19.7	10.6	1.5	50	18.0	28.6
V3	37.9	20.5	1.5	50	34.6	55.1
V4	39.3	20.5	1.5	50	35.8	56.3
V5	38.1	20.5	1.5	50	34.7	55.2
V6	23.2	13.0	1.5	50	21.2	34.2

Tabella 5.14: Cedimenti del corpo rifiuti

Alla luce dei valori assunti dai cedimenti assoluti e dai cedimenti relativi/differenziali ottenuti, non si prevedono conseguenze né sul sistema di drenaggio delle acque superficiali, né sulla funzionalità del sistema di copertura stesso.

6 ALLEGATI

Di seguito si riportano i seguenti allegati tecnici:

1) ALLEGATO 1: PRODUZIONE UNITARIA - TOTALE PERCOLATO
2) ALLEGATO 2: "Verifica della stabilità del rilevato, statica"
3) ALLEGATO 3: Schede tecniche delle geogriglie
4) ALLEGATO 4: Analisi di stabilità in condizioni statiche
5) ALLEGATO 5: Tabulato di calcolo delle verifiche.

ALLEGATO 1: CALCOLO DELLA PRODUZIONE UNITARIA-TOTALE DI PERCOLATO

PRODUZIONE UNITARIA DI PERCOLATO (METODO DI OWEIS E KHERA)

			GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	totali	min	max	medie
Temperatura media mensile	**T**	[°C]	5.60	5.80	8.60	11.60	15.30	19.30	21.50	21.70	18.30	14.60	10.00	6.80	159.10	5.60	21.7	13.3
Indice di calore mensile	**Ii**		1.19	1.25	2.27	3.58	5.44	7.73	9.10	9.23	7.13	5.07	2.86	1.59	56.43			
Evapotraspirazione potenziale	**ETP**	[mm/m2]	15.8	16.6	28.6	43.2	63.3	87.3	101.3	102.6	81.1	59.4	35.2	20.7	655.10	15.83	102.6	54.6
fattore di correzione geografico			0.80	0.81	1.02	1.12	1.27	1.29	1.31	1.21	1.05	0.96	0.81	0.79				
fattore di correzione per mancanza di vegetazione			0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9				
fattore di correzione	**k**		0.72	0.73	0.92	1.00	1.14	1.16	1.18	1.09	0.94	0.86	0.73	0.71				
Evapotraspirazione potenziale corretta	**ETPc**	[mm/m2]	11.3	12.2	26.3	43.4	72.2	101.1	119.1	111.7	76.5	51.0	25.6	14.8	665.17	11.35	119.1	55.4
Piovosità media mensile	**P**	[mm/m2]	66.0	55.0	59.0	76.0	51.0	37.0	22.0	22.0	65.0	91.0	120.0	82.0	746.00	22.00	120.0	62.2
Infiltrazione	**I = P**	[mm/m2]	66.0	55.0	59.0	76.0	51.0	37.0	22.0	22.0	65.0	91.0	120.0	82.0	746.00	22.00	120.0	62.2
Riserve nella copertura intermedia	**S**	[mm/m2]	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	10.0			10.0	
Evapotraspirazione reale	**ETR**	[mm/m2]	11.3	12.2	26.3	43.4	61.0	37.0	22.0	22.0	65.0	51.0	25.6	14.8	391.63	11.35	65.0	32.6
Variazione delle riserve nella copertura intermedia	**DS**	[mm/m2]	0.0	0.0	0.0	0.0	-10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0				
Produzione di percolato	**L**	[mm/m2]	54.7	42.8	32.7	32.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.0	94.4	67.2	354.37	0.00	94.4	**29.5**

FORMULE E PARAMETRI

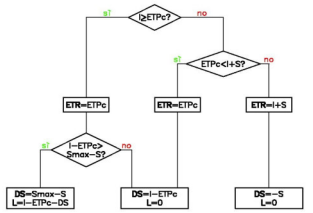
$$I_i = \left(\frac{T_i}{5}\right)^{1.514} \qquad I_T = \sum_{i=1}^{12} I_i$$

$$a = 0.49239 + 1.792\times10^{-2}\times I_T - 7.71\times10^{-5}\times I_T^2 + 6.75\times10^{-7}\times I_T^3$$

= 1.379356

$$ETP_{Ci} = 16\cdot\left(\frac{10\cdot Ti}{I_T}\right)^{a}\cdot k_i$$

	ETR	DS	L	
I≥ETPc	ETR=ETPc	I−ETPc>Smax−S => DS=Smax−S	L=I−ETPc−DS	 Quella che resta di I dopo ET , prima "riempie" S fino a Smax e poi diventa L
		I−ETPc<Smax−S => DS=I−ETPc	L=0	 Quella che resta di I dopo ET prima "finisce" tutta in S (senza arrivare a Smax in quanto insuff per hp)
I≥ETPc	ETPc<I+S => ETR=ETPc	DS=I−ETPc	L=0	 Non ho accesso di I rispetto ad ETPc, quindi devo usare S per raggiungere ETPc
	ETPc>I+S => ETR=I+S	DS=−S	L=0	



Verifica:														
ETR+DS+L			66.0	55.0	59.0	76.0	51.0	37.0	22.0	22.0	65.0	91.0	120.0	82.0
ETR+DS+L=I ?			SI'	SI'	SI'	SI'	SI'	SI'	SI'	SI'	SI'	SI'	SI'	SI'

FATTORE DI SICUREZZA PERCOLATO = massimo mensile/ medio mensile = **3.20**

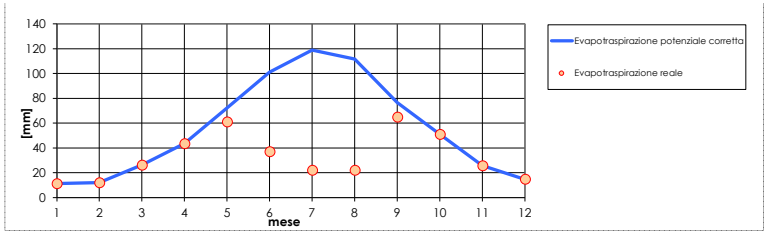
PRODUZIONE DI PERCOLATO PER LA DISCARICA DI SERVIZIO

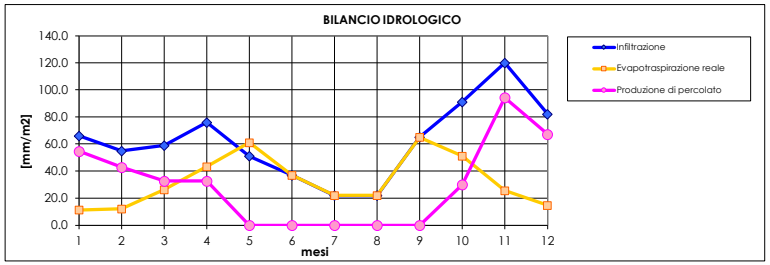
FASE DI GESTIONE		
Superficie totale	m2	30'000
Superficie media fase iniziale	m2	15'000
Volume	m3	709'000
Fase transitoria (occupazione parziale area)		
Per unità di superficie	[mm/m2/anno]	354
Produzione Annuale	[m3/anno]	5'316
Produzione Mensile media	[m3/mese]	443
Produzione Mensile massima	[m3/mese]	1'416
Produzione Giornaliera (xFS)	[m3/giorno]	47
Fase a regime (occupazione totale area)		
Per unità di superficie	[mm/m2/anno]	354
Produzione Annuale	[m3/anno]	10'631
Produzione Annuale approx	[m3/anno]	**10'000**
Produzione Mensile media	[m3/mese]	833
Produzione Mensile massima	[m3/mese]	2'663
Produzione Giornaliera (xFS)	[m3/giorno]	88

FASE DI POST GESTIONE		
Coefficiente riduzione capping		0.14
Produzione Annuale	[m3/anno]	1'400
Durata	[anni]	30
Produzione Totale	[m3]	42'000

mq S fondo
mq S totale
22.5437 m H media
mc/ann Consumo vol annuo

GRAFICI





MacStARS W – Rel. 4.0

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

Proposta :

Sezione :

Località :

Pratica :

File : sez1_GG_DP_statica_rev00

Data : 15/07/2022

Verifiche condotte in accordo alla normativa : NTC 2018
_Verifiche di sicurezza (SLU)

SOMMARIO

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI 2
PROFILI STRATIGRAFICI 3
BLOCCHI RINFORZATI 3
Blocco : TMV 3
Blocco : TMV_1 4
Blocco : TMV_2 4
Blocco : TMV_3 4
Blocco : TMV_4 5
PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI 5
VERIFICHE 7
Verifica come muro di sostegno : 7
Verifica di stabilità interna : 9
Verifica di stabilità globale : 11

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Terreno : AF Descrizione : argilla di fondo
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 0.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 26.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 20.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 20.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

Terreno : CP Descrizione : copertura multistrato
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 5.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 39.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 18.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 18.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

Terreno : MA Descrizione : materiale antropico
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 20.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 30.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 20.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 20.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

Terreno : R Descrizione : rifiuti
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 10.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 30.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 10.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 10.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

Terreno : TV Descrizione : materiale tout venant
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 0.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 35.00

Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 19.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 19.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

PROFILI STRATIGRAFICI

Strato: A Descrizione:
Terreno : AF

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
40.85	-8.40	147.89	-6.02				

Strato: CP Descrizione:
Terreno : CP

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
33.44	7.30	47.87	17.50	53.99	17.50	77.61	33.00
83.97	33.00	96.17	33.86	143.31	35.73	147.89	35.57

Strato: MA Descrizione:
Terreno : MA

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
0.00	0.00	25.05	0.09	27.89	-3.50	31.62	-3.50
35.86	-10.86	42.00	-10.86	147.89	-8.52		

Strato: R Descrizione:
Terreno : R

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
34.23	5.81	47.69	15.00	53.81	15.00	77.43	30.50
83.70	30.50	96.30	31.36	142.88	33.22	147.89	33.05

Strato: RIL Descrizione:
Terreno : TV

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
25.05	0.09	29.46	7.30	33.44	7.30	34.23	5.81
40.85	-8.40	42.00	-10.86				

BLOCCHI RINFORZATI

Blocco : TMV
Dati principali [m] : Larghezza = 6.00 Altezza = 7.20
Coordinate Origine [m] : Ascissa = 42.00 Ordinata = -10.86
Inclinazione paramento [°] : 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo : Ghiaia
Rilevato strutturale : TV
Terreno di riempimento a tergo : MA
Terreno di copertura : R
Terreno di fondazione : MA

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof
Affondamento fondazione [m] : 0.00
Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

Rinforzi :
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 150
Lunghezza [m] = 6.00
Interasse [m] = 0.60
Risvolto [m] = 1.50

Blocco : TMV_1
Dati principali [m] : Larghezza = 11.00 Altezza = 3.60
Arretramento [m] = 0.00 da TMV
Inclinazione paramento [°] : 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo : Ghiaia
Rilevato strutturale : TV
Terreno di riempimento a tergo : MA
Terreno di copertura : R
Terreno di fondazione : MA

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof
Affondamento fondazione [m] : 0.00
Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

Rinforzi :
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 100
Lunghezza [m] = 11.00
Interasse [m] = 0.60
Risvolto [m] = 1.50

Blocco : TMV_2
Dati principali [m] : Larghezza = 5.00 Altezza = 0.60
Arretramento [m] = 0.00 da TMV_1
Inclinazione paramento [°] : 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo : Ghiaia
Rilevato strutturale : TV
Terreno di riempimento a tergo : TV
Terreno di copertura : R
Terreno di fondazione : TV

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof
Affondamento fondazione [m] : 0.00
Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

Rinforzi :
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 50
Lunghezza [m] = 5.00
Interasse [m] = 0.60
Risvolto [m] = 1.50

Blocco : TMV_3
Dati principali [m] : Larghezza = 5.00 Altezza = 0.60
Coordinate Origine [m] : Ascissa = 24.96 Ordinata = -0.06
Inclinazione paramento [°] : 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo : Ghiaia
Rilevato strutturale : TV

Terreno di riempimento a tergo : TV
Terreno di copertura : R
Terreno di fondazione : TV

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof
Affondamento fondazione [m] : 0.00
Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

Rinforzi :
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 50
Lunghezza [m] = 5.00
Interasse [m] = 0.60
Risvolto [m] = 1.50

Blocco : TMV_4
Dati principali [m] : Larghezza = 11.44 Altezza = 7.20
Arretramento [m] = 0.00 da TMV_2
Inclinazione paramento [°] : 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo : Ghiaia
Rilevato strutturale : TV
Terreno di riempimento a tergo : TV
Terreno di copertura : R
Terreno di fondazione : TV

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof
Affondamento fondazione [m] : 0.00
Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

Rinforzi :
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 50
Lunghezza [m] = 5.00
Interasse [m] = 0.60
Risvolto [m] = 1.50

PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI

Linear Composites - ParaGrid 30°C - 100

Carico di rottura Nominale Tr	[kN/m] :	100.00
Rapporto di Scorrimento plastico	:	0.00
Coefficiente di Scorrimento elastico	[m³/kN] :	1.10e-04
Rigidezza estensionale	[kN/m] :	1111.00
Lunghezza minima di ancoraggio	[m] :	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia)	:	1.78
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia)	:	1.76
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo)	:	1.76
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla)	:	1.76
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo	:	0.17
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia	:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia	:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo	:	0.70
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla	:	0.40

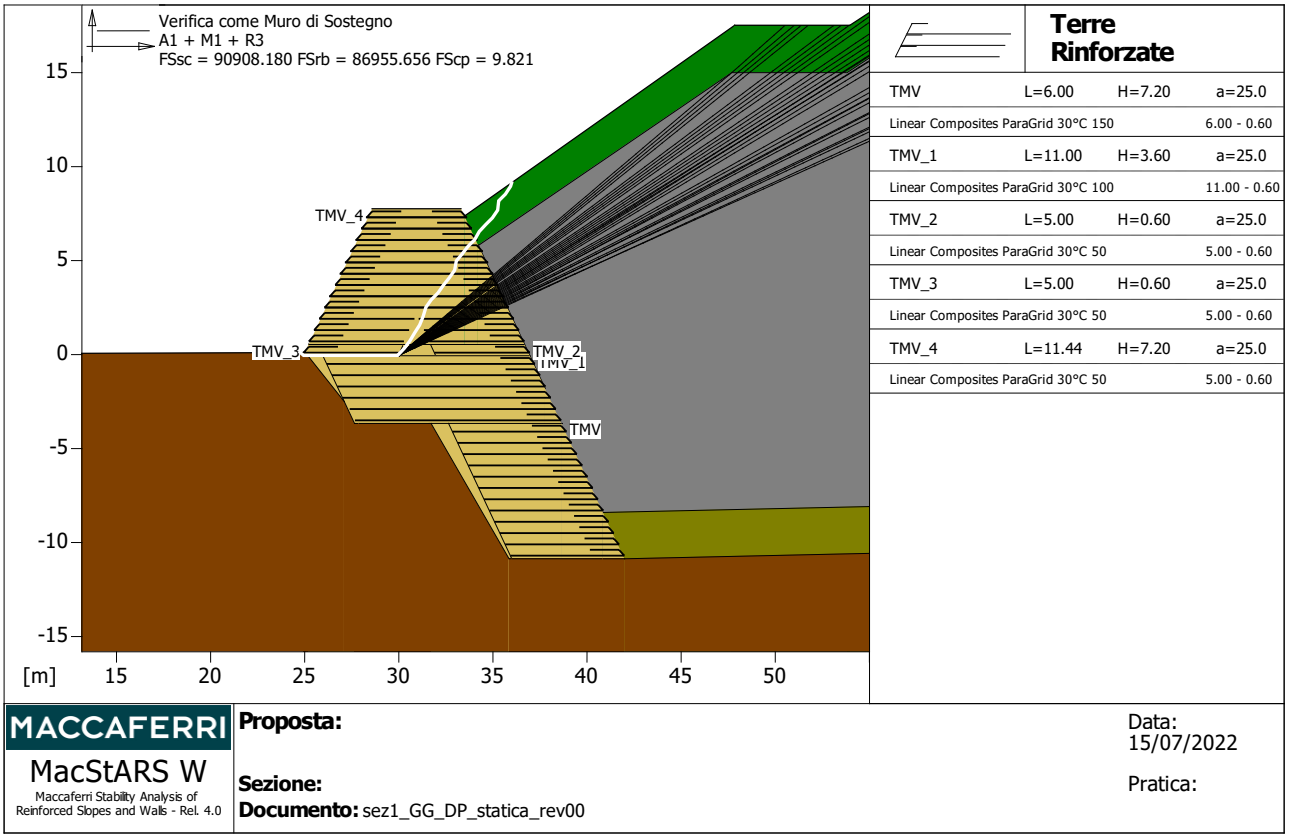
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 150

Carico di rottura Nominale Tr	[kN/m]	:	150.00
Rapporto di Scorrimento plastico		:	0.00
Coefficiente di Scorrimento elastico	[m³/kN]	:	1.10e-04
Rigidezza estensionale	[kN/m]	:	1667.00
Lunghezza minima di ancoraggio	[m]	:	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia)		:	1.76
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia)		:	1.74
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo)		:	1.74
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla)		:	1.74
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo		:	0.21
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia		:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia		:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo		:	0.70
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla		:	0.40

Linear Composites - ParaGrid 30°C - 50

Carico di rottura Nominale Tr	[kN/m]	:	50.00
Rapporto di Scorrimento plastico		:	0.00
Coefficiente di Scorrimento elastico	[m³/kN]	:	1.10e-04
Rigidezza estensionale	[kN/m]	:	556.00
Lunghezza minima di ancoraggio	[m]	:	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia)		:	1.78
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia)		:	1.76
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo)		:	1.76
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla)		:	1.76
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo		:	0.16
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia		:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia		:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo		:	0.70
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla		:	0.40

VERIFICHE

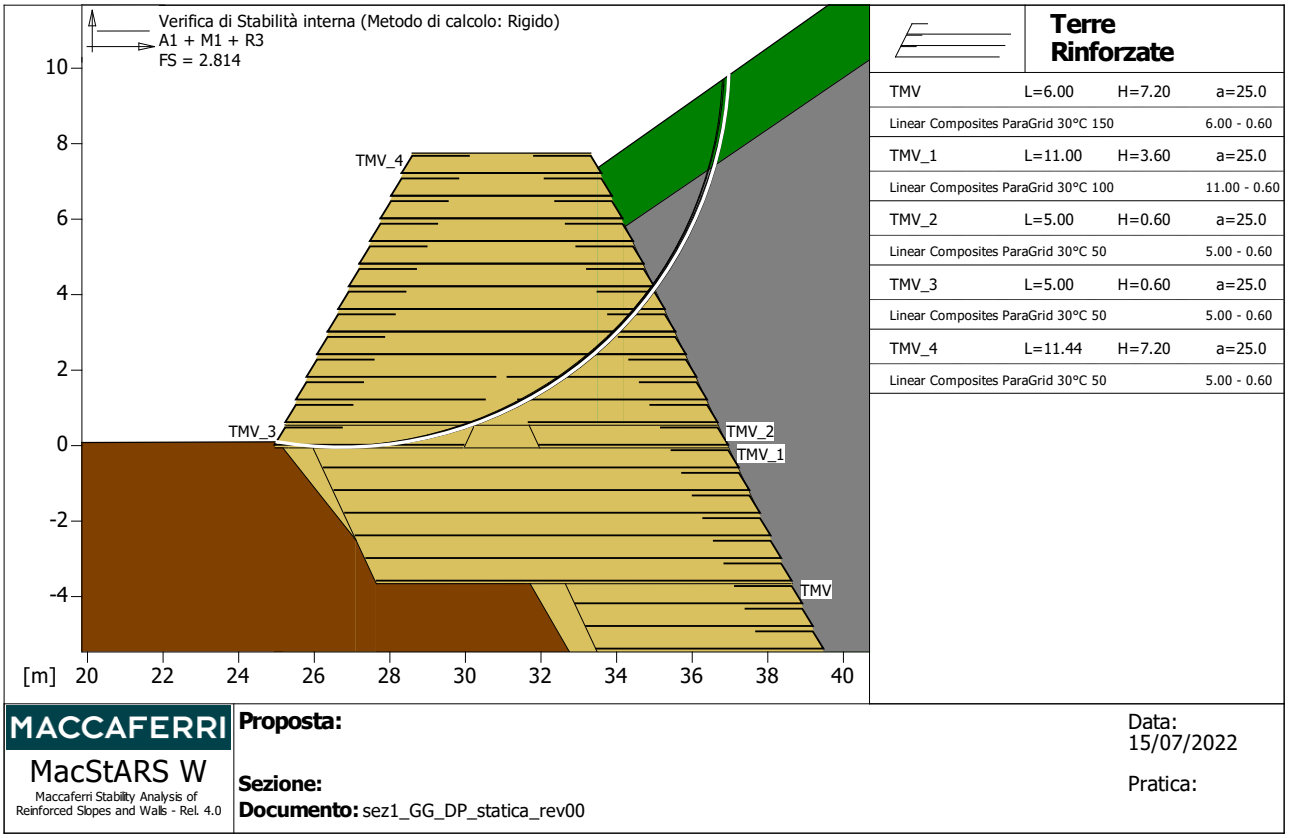


Verifica come muro di sostegno :
Combinazione di carico : A1 + M1 + R3
Stabilità verificata sul blocco : TMV_3
Forza Stabilizzante [kN/m] : 359.17
Forza Instabilizzante [kN/m] : -206.37
Classe scorrimento : Coeff. parziale R - Scorrimento
Coefficiente di sicurezza allo scorrimento :90908.180
Momento Stabilizzante [kN*m/m] : 1700.90
Momento Instabilizzante [kN*m/m] :-1069.20
Classe momento : Coeff. parziale R - Ribaltamento
Coefficiente di sicurezza al ribaltamento :86955.656
Pressione ultima calcolata con metodo dell'equilibrio limite.

Pressione ultima [kN/m²] : 1515.40
Pressione media agente [kN/m²] : 110.21
Classe pressione : Coeff. parziale R - Capacità portante
Coefficiente di sicurezza sulla capacità portante : 9.821
Fondazione equivalente [m] : 5.00
Eccentricità forza normale [m] : -2.92
Braccio momento [m] : 5.18
Forza normale [kN] : 510.94
Pressione estremo di valle [kN/m²] :-13203.34
Pressione estremo di monte [kN/m²] :11991.43

Fattore	Classe
1.00	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
1.00	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi

1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.10	Coeff. parziale R - Scorrimento
1.40	Coeff. parziale R - Capacità portante
1.15	Coeff. parziale R - Ribaltamento



Verifica di stabilità interna :

Combinazione di carico : A1 + M1 + R3
Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido
Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop
Coefficiente di sicurezza minimo calcolato ..... : 2.814

Intervallo di ricerca delle superfici

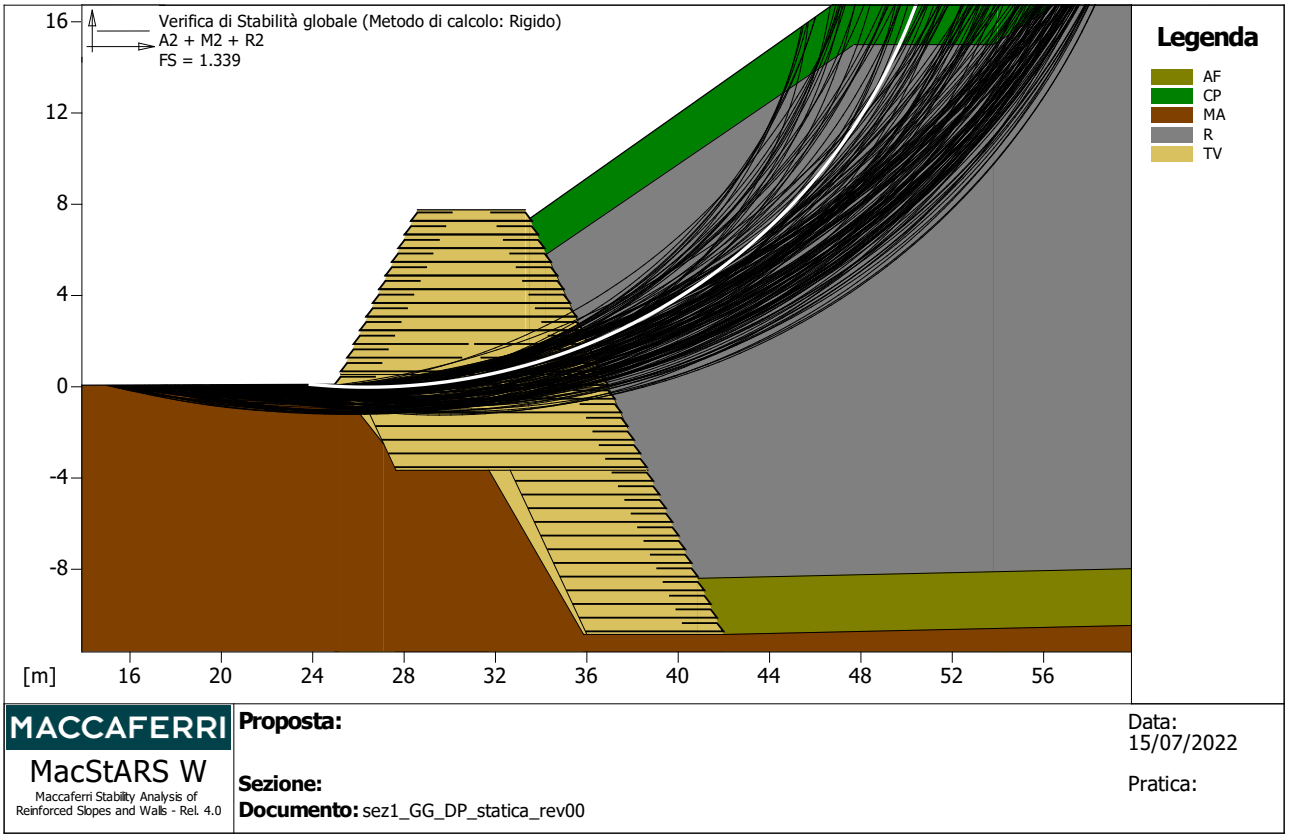
Blocco	Segmento di arrivo, ascisse [m]	
TMV_3	Primo punto	Secondo punto
	28.50	37.00

Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza ..... : 1
Numero totale superfici di prova ..... : 1000
Lunghezza segmenti delle superfici ..... [m] ..... : 0.50
Angolo limite orario ..... [°] ..... : 0.00
Angolo limite antiorario ..... [°] ..... : 0.00

Blocco : TMV_4
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 50

Y [m]	Tb rottura [kN/m]	Tp sfilamento [kN/m]	Td agente [kN/m]	Tb/Td 1/Fmax	Tp/Td
1.200	50.0	201.4	28.1	1.78	7.17
1.800	50.0	422.3	28.1	1.78	15.03
1.800	50.0	303.4	28.1	1.78	10.80
2.400	50.0	311.3	28.1	1.78	11.08
2.400	50.0	169.5	28.1	1.78	6.03
3.000	50.0	244.6	28.1	1.78	8.70
3.000	50.0	68.3	28.1	1.78	2.43

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



Verifica di stabilità globale :

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 ..... : 1.339

Intervallo di ricerca delle superfici

Segmento di partenza, ascisse [m]		Segmento di arrivo, ascisse [m]	
Primo punto	Secondo punto	Primo punto	Secondo punto
15.00	24.00	35.00	60.00

Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza ..... : 100
Numero totale superfici di prova ..... : 1000
Lunghezza segmenti delle superfici ..... [m] ..... : 0.50
Angolo limite orario ..... [°] ..... : 0.00
Angolo limite antiorario ..... [°] ..... : 0.00

Blocco : TMV_4
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 50

Y	Tb rottura	Tp sfilamento	Td agente	Tb/Td 1/Fmax	Tp/Td
[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]		
0.600	50.0	417.9	28.1	1.78	14.87
1.200	50.0	336.7	28.1	1.78	11.98

Fattore	Classe
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	Fs Rottura Rinforzi

1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.10	Coeff. Parziale R - Stabilità

Officine Maccaferri non è responsabile dei disegni e dei calcoli trasmessi al Cliente sulla base dei dati forniti dal medesimo, né è responsabile del progetto e delle verifiche sui luoghi che dovessero successivamente realizzarsi senza specifico incarico.
Il presente elaborato è stato realizzato sulla base dei prodotti di Officine Maccaferri ai soli fini dell'elaborazione dell'offerta. Pertanto Officine Maccaferri non è responsabile in caso di un uso dell'elaborato con prodotti diversi da quelli di Officine Maccaferri o, comunque, non controllato da parte di Officine Maccaferri stessa.

MACCAFERRI

MacStARS W – Rel. 4.0

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

Proposta :

Sezione :

Località :

Pratica :

File : sez1_GG_DV_statica_rev00

Data : 15/07/2022

Verifiche condotte in accordo alla normativa : NTC 2018
_Verifiche di sicurezza (SLU)

SOMMARIO

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI 2
PROFILI STRATIGRAFICI 3
BLOCCHI RINFORZATI 3
Blocco : TMV 3
Blocco : TMV_1 3
Blocco : TMV_2 4
CARICHI 4
PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI 4
VERIFICHE 6
Verifica come muro di sostegno : 6
Verifica di stabilità interna : 8
Verifica di stabilità globale : 10

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Terreno : AF Descrizione : argilla di fondo
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 0.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 26.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 20.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 20.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

Terreno : CP Descrizione : copertura multistrato
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 5.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 39.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 18.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 18.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

Terreno : MA Descrizione : materiale antropico
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 20.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 30.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 20.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 20.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

Terreno : R Descrizione : rifiuti
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 10.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 30.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 10.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 10.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

Terreno : TV Descrizione : materiale tout venant
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 0.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 35.00

Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 19.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 19.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

PROFILI STRATIGRAFICI

Strato: A Descrizione:
Terreno : AF

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
40.85	-8.40	147.89	-6.02				

Strato: MA Descrizione:
Terreno : MA

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
0.00	0.00	25.05	0.09	27.89	-3.50	31.62	-3.50
35.86	-10.86	42.00	-10.86	147.89	-8.52		

Strato: RIL Descrizione:
Terreno : TV

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
25.05	0.09	28.46	7.30	33.44	7.30	34.23	5.81
40.85	-8.40	42.00	-10.86				

BLOCCHI RINFORZATI

Blocco : TMV
Dati principali [m] : Larghezza = 6.00 Altezza = 7.20
Coordinate Origine [m] : Ascissa = 42.00 Ordinata = -10.86
Inclinazione paramento [°] : 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo : Ghiaia
Rilevato strutturale : TV
Terreno di riempimento a tergo : MA
Terreno di copertura : TV
Terreno di fondazione : MA

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof
Affondamento fondazione [m] : 0.00
Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

Rinforzi :
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 150
Lunghezza [m] = 6.00
Interasse [m] = 0.60
Risvolto [m] = 1.50

Blocco : TMV_1
Dati principali [m] : Larghezza = 11.00 Altezza = 3.60
Arretramento [m] = 0.00 da TMV
Inclinazione paramento [°] : 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo : Ghiaia
Rilevato strutturale : TV
Terreno di riempimento a tergo : MA
Terreno di copertura : TV
Terreno di fondazione : MA

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof
Affondamento fondazione [m] : 0.00
Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

Rinforzi :
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 100
Lunghezza [m] = 11.00
Interasse [m] = 0.60
Risvolto [m] = 1.50

Blocco : TMV_2
Dati principali [m] : Larghezza = 12.00 Altezza = 7.80
Arretramento [m] = 0.00 da TMV_1
Inclinazione paramento [°] : 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo : Ghiaia
Rilevato strutturale : TV
Terreno di riempimento a tergo : MA
Terreno di copertura : TV
Terreno di fondazione : TV

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof
Affondamento fondazione [m] : 0.00
Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

Rinforzi :
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 50
Lunghezza [m] = 5.00
Interasse [m] = 0.60
Risvolto [m] = 1.50

CARICHI

Pressione : VI Descrizione : viabilità impianto
Classe : Variabile - sfavorevole
Intensità [kN/m²] = 20.00 Inclinazione [°] = 0.00
Ascissa [m] : Da = 6.00 To = 25.00

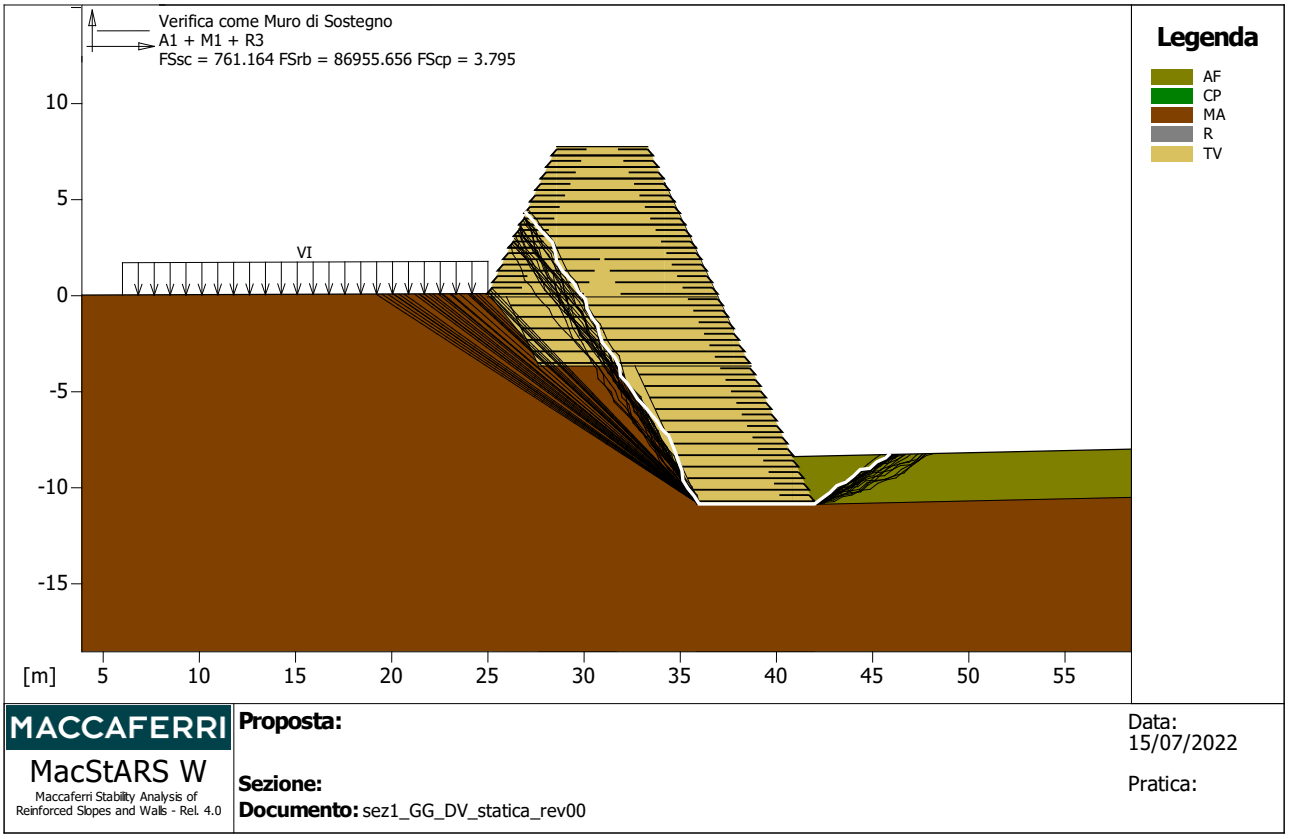
PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI

Linear Composites - ParaGrid 30°C - 100

Carico di rottura Nominale Tr	[kN/m] :	100.00
Rapporto di Scorrimento plastico	:	0.00
Coefficiente di Scorrimento elastico	[m³/kN] :	1.10e-04
Rigidezza estensionale	[kN/m] :	1111.00
Lunghezza minima di ancoraggio	[m] :	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia)	:	1.78
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia)	:	1.76

Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo)		:	1.76
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla)		:	1.76
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo		:	0.17
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia		:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia		:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo		:	0.70
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla		:	0.40
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 150			
Carico di rottura Nominale Tr	[kN/m]	:	150.00
Rapporto di Scorrimento plastico		:	0.00
Coefficiente di Scorrimento elastico	[m³/kN]	:	1.10e-04
Rigidezza estensionale	[kN/m]	:	1667.00
Lunghezza minima di ancoraggio	[m]	:	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia)		:	1.76
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia)		:	1.74
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo)		:	1.74
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla)		:	1.74
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo		:	0.21
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia		:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia		:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo		:	0.70
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla		:	0.40
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 50			
Carico di rottura Nominale Tr	[kN/m]	:	50.00
Rapporto di Scorrimento plastico		:	0.00
Coefficiente di Scorrimento elastico	[m³/kN]	:	1.10e-04
Rigidezza estensionale	[kN/m]	:	556.00
Lunghezza minima di ancoraggio	[m]	:	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia)		:	1.78
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia)		:	1.76
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo)		:	1.76
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla)		:	1.76
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo		:	0.16
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia		:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia		:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo		:	0.70
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla		:	0.40

VERIFICHE

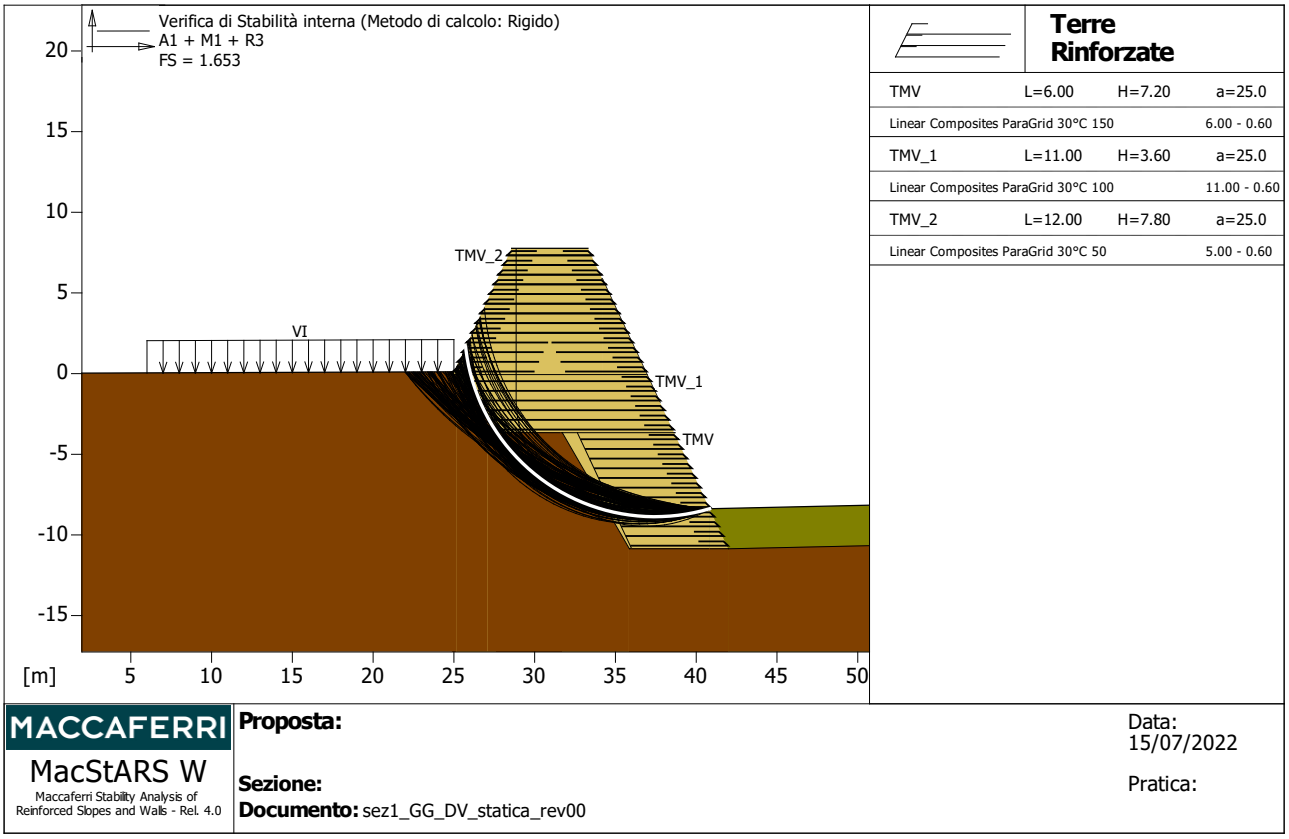


Verifica come muro di sostegno :
Combinazione di carico : A1 + M1 + R3
Stabilità verificata sul blocco : TMV
Forza Stabilizzante [kN/m] : 1748.70
Forza Instabilizzante [kN/m] : 2.09
Classe scorrimento : Coeff. parziale R - Scorrimento
Coefficiente di sicurezza allo scorrimento : 761.164
Momento Stabilizzante [kN*m/m] :24494.00
Momento Instabilizzante [kN*m/m] : -550.74
Classe momento : Coeff. parziale R - Ribaltamento
Coefficiente di sicurezza al ribaltamento :86955.656
Pressione ultima calcolata con metodo dell'equilibrio limite.

Pressione ultima [kN/m²] : 2497.70
Pressione media agente [kN/m²] : 470.16
Classe pressione : Coeff. parziale R - Capacità portante
Coefficiente di sicurezza sulla capacità portante : 3.795
Fondazione equivalente [m] : 6.00
Eccentricità forza normale [m] : -5.88
Braccio momento [m] : -263.70
Forza normale [kN] : 2821.00
Pressione estremo di valle [kN/m²] :-3493.01
Pressione estremo di monte [kN/m²] : 2512.81

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

1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.10	Coeff. parziale R - Scorrimento
1.40	Coeff. parziale R - Capacità portante
1.15	Coeff. parziale R - Ribaltamento



Verifica di stabilità interna :

Combinazione di carico : A1 + M1 + R3
Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido
Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop
Coefficiente di sicurezza minimo calcolato ..... : 1.653

Intervallo di ricerca delle superfici

Blocco TMV	Segmento di arrivo, ascisse [m] Primo punto	Secondo punto
	22.00	36.00

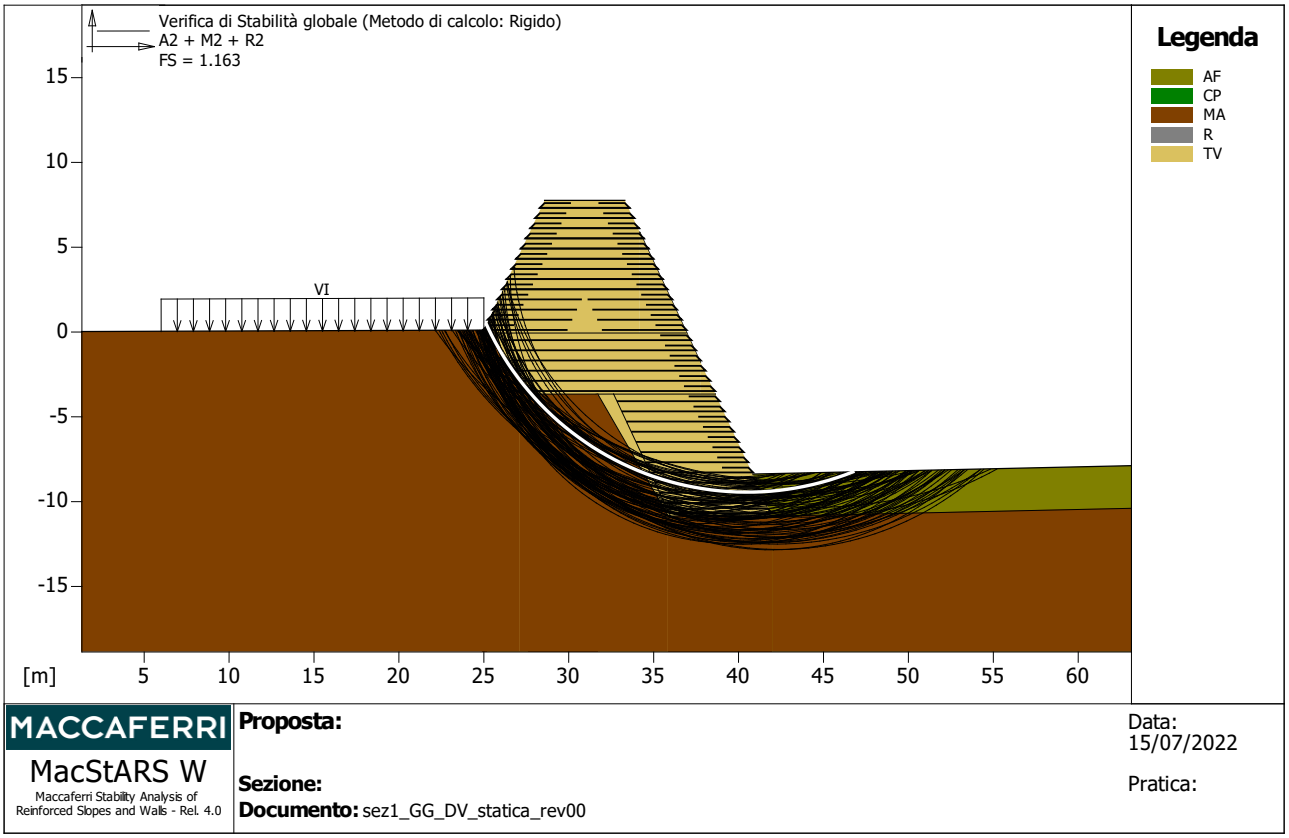
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza ..... : 1
Numero totale superfici di prova ..... : 1000
Lunghezza segmenti delle superfici ..... [m] ..... : 0.50
Angolo limite orario ..... [°] ..... : 0.00
Angolo limite antiorario ..... [°] ..... : 0.00

Blocco : TMV_2
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 50

Y [m]	Tb rottura [kN/m]	Tp sfilamento [kN/m]	Td agente [kN/m]	Tb/Td 1/Fmax	Tp/Td
0.000	50.0	116.2	28.1	1.78	4.14
0.600	50.0	111.0	28.1	1.78	3.95
1.200	50.0	108.6	28.1	1.78	3.86

Fattore	Classe
1.50	Variabile - sfavorevole
1.00	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
1.00	Coeff. Parziale - Coesione efficace

1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.00	Coeff. Parziale R - Stabilità



Verifica di stabilità globale :

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 ..... : 1.163

Intervallo di ricerca delle superfici

Segmento di partenza, ascisse [m]		Segmento di arrivo, ascisse [m]	
Primo punto	Secondo punto	Primo punto	Secondo punto
18.00	33.00	41.00	60.00

Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza ..... : 100
Numero totale superfici di prova ..... : 1000
Lunghezza segmenti delle superfici ..... [m] ..... : 0.50
Angolo limite orario ..... [°] ..... : 0.00
Angolo limite antiorario ..... [°] ..... : 0.00

Blocco : TMV
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 150

Y	Tb rottura	Tp sfilamento	Td agente	Tb/Td 1/Fmax	Tp/Td
[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]		
1.800	150.0	448.3	85.2	1.76	5.26

Blocco : TMV_1
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 100

Y	Tb rottura	Tp sfilamento	Td agente	Tb/Td 1/Fmax	Tp/Td
[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]		
0.000	100.0	36.1	36.1	2.77	1.00

Blocco : TMV_2
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 50

Y	Tb rottura	Tp sfilamento	Td agente	Tb/Td 1/Fmax	Tp/Td
[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]		
0.000	50.0	109.6	28.1	1.78	3.90

Fattore	Classe
1.30	Variabile - sfavorevole
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	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.10	Coeff. Parziale R - Stabilità

Officine Maccaferri non è responsabile dei disegni e dei calcoli trasmessi al Cliente sulla base dei dati forniti dal medesimo, né è responsabile del progetto e delle verifiche sui luoghi che dovessero successivamente realizzarsi senza specifico incarico.
Il presente elaborato è stato realizzato sulla base dei prodotti di Officine Maccaferri ai soli fini dell'elaborazione dell'offerta. Pertanto Officine Maccaferri non è responsabile in caso di un uso dell'elaborato con prodotti diversi da quelli di Officine Maccaferri o, comunque, non controllato da parte di Officine Maccaferri stessa.

MACCAFERRI

MacStARS W – Rel. 4.0

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

Proposta :

Sezione :

Località :

Pratica :

File : sez1_GG_DP_sismica_rev00

Data : 15/07/2022

Verifiche condotte in accordo alla normativa : NTC 2018
_Verifiche di sicurezza (SLU)

SOMMARIO

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI 2
PROFILI STRATIGRAFICI 3
BLOCCHI RINFORZATI 3
Blocco : TMV 3
Blocco : TMV_1 4
Blocco : TMV_2 4
Blocco : TMV_3 4
Blocco : TMV_4 5
CARICHI 5
PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI 5
VERIFICHE 7
Verifica di stabilità globale : 7
Verifica di stabilità interna : 9
Verifica come muro di sostegno : 11

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Terreno : AF Descrizione : argilla di fondo
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 0.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 26.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 20.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 20.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

Terreno : CP Descrizione : copertura multistrato
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 5.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 39.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 18.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 18.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

Terreno : MA Descrizione : materiale antropico
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 20.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 30.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 20.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 20.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

Terreno : R Descrizione : rifiuti
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 10.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 30.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 10.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 10.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

Terreno : TV Descrizione : materiale tout venant
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 0.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 35.00

Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 19.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 19.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

PROFILI STRATIGRAFICI

Strato: A Descrizione:
Terreno : AF

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
40.85	-8.40	147.89	-6.02				

Strato: CP Descrizione:
Terreno : CP

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
33.44	7.30	47.87	17.50	53.99	17.50	77.61	33.00
83.97	33.00	96.17	33.86	143.31	35.73	147.89	35.57

Strato: MA Descrizione:
Terreno : MA

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
0.00	0.00	25.05	0.09	27.89	-3.50	31.62	-3.50
35.86	-10.86	42.00	-10.86	147.89	-8.52		

Strato: R Descrizione:
Terreno : R

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
34.23	5.81	47.69	15.00	53.81	15.00	77.43	30.50
83.70	30.50	96.30	31.36	142.88	33.22	147.89	33.05

Strato: RIL Descrizione:
Terreno : TV

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
25.05	0.09	28.46	7.30	33.44	7.30	34.23	5.81
40.85	-8.40	42.00	-10.86				

BLOCCHI RINFORZATI

Blocco : TMV
Dati principali [m] : Larghezza = 6.00 Altezza = 7.20
Coordinate Origine [m] : Ascissa = 42.00 Ordinata = -10.86
Inclinazione paramento [°] : 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo : Ghiaia
Rilevato strutturale : TV
Terreno di riempimento a tergo : MA
Terreno di copertura : R
Terreno di fondazione : MA

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof
Affondamento fondazione [m] : 0.00
Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

Rinforzi :
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 150_Seismic
Lunghezza [m] = 6.00
Interasse [m] = 0.60
Risvolto [m] = 1.50

Blocco : TMV_1
Dati principali [m] : Larghezza = 11.00 Altezza = 3.60
Arretramento [m] = 0.00 da TMV
Inclinazione paramento [°] : 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo : Ghiaia
Rilevato strutturale : TV
Terreno di riempimento a tergo : MA
Terreno di copertura : R
Terreno di fondazione : MA

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof
Affondamento fondazione [m] : 0.00
Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

Rinforzi :
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 100_Seismic
Lunghezza [m] = 11.00
Interasse [m] = 0.60
Risvolto [m] = 1.50

Blocco : TMV_2
Dati principali [m] : Larghezza = 5.00 Altezza = 0.60
Arretramento [m] = 0.00 da TMV_1
Inclinazione paramento [°] : 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo : Ghiaia
Rilevato strutturale : TV
Terreno di riempimento a tergo : TV
Terreno di copertura : R
Terreno di fondazione : TV

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof
Affondamento fondazione [m] : 0.00
Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

Rinforzi :
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 50_Seismic
Lunghezza [m] = 5.00
Interasse [m] = 0.60
Risvolto [m] = 1.50

Blocco : TMV_3
Dati principali [m] : Larghezza = 5.00 Altezza = 0.60
Coordinate Origine [m] : Ascissa = 24.96 Ordinata = -0.06
Inclinazione paramento [°] : 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo : Ghiaia
Rilevato strutturale : TV

Terreno di riempimento a tergo : TV
Terreno di copertura : R
Terreno di fondazione : TV

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof
Affondamento fondazione [m] : 0.00
Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

Rinforzi :
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 50_Seismic
Lunghezza [m] = 5.00
Interasse [m] = 0.60
Risvolto [m] = 1.50

Blocco : TMV_4
Dati principali [m] : Larghezza = 11.44 Altezza = 7.20
Arretramento [m] = 0.00 da TMV_2
Inclinazione paramento [°] : 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo : Ghiaia
Rilevato strutturale : TV
Terreno di riempimento a tergo : TV
Terreno di copertura : R
Terreno di fondazione : TV

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof
Affondamento fondazione [m] : 0.00
Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

Rinforzi :
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 50_Seismic
Lunghezza [m] = 5.00
Interasse [m] = 0.60
Risvolto [m] = 1.50

CARICHI

Sisma :
Classe : Sisma
Accelerazione [m/s²] : Orizzontale = 1.36 Verticale = 0.69

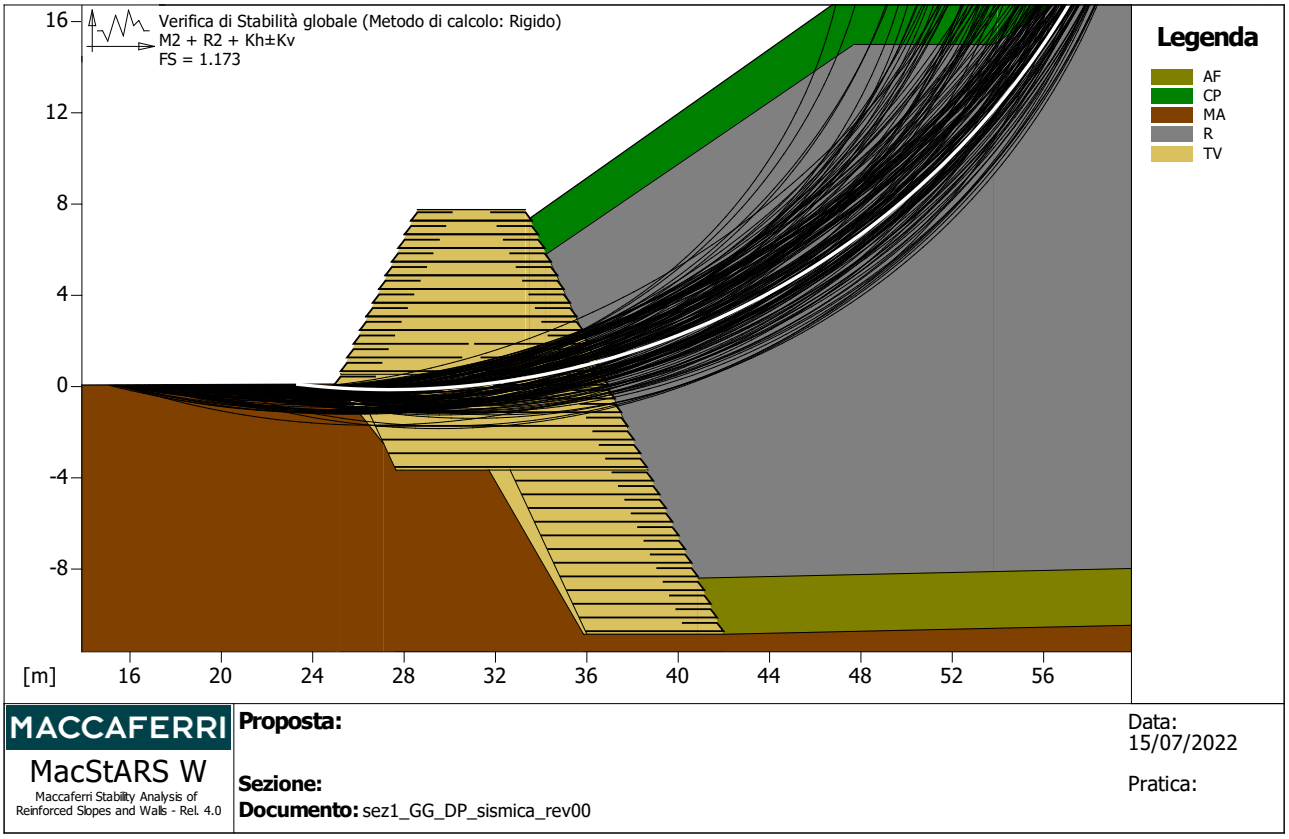
PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI

Linear Composites - ParaGrid 30°C - 100_Seismic

Carico di rottura Nominale Tr	[kN/m] :	100.00
Rapporto di Scorrimento plastico	:	0.00
Coefficiente di Scorrimento elastico	[m³/kN] :	1.10e-04
Rigidezza estensionale	[kN/m] :	1111.00
Lunghezza minima di ancoraggio	[m] :	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia)	:	1.24
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia)	:	1.23
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo)	:	1.23
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00

Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla)		:	1.23
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo		:	0.17
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia		:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia		:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo		:	0.70
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla		:	0.40
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 150_Seismic			
Carico di rottura Nominale Tr	[kN/m]	:	150.00
Rapporto di Scorrimento plastico		:	0.00
Coefficiente di Scorrimento elastico	[m³/kN]	:	1.10e-04
Rigidezza estensionale	[kN/m]	:	1667.00
Lunghezza minima di ancoraggio	[m]	:	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia)		:	1.23
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia)		:	1.22
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo)		:	1.22
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla)		:	1.22
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo		:	0.21
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia		:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia		:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo		:	0.70
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla		:	0.70
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 50_Seismic			
Carico di rottura Nominale Tr	[kN/m]	:	50.00
Rapporto di Scorrimento plastico		:	0.00
Coefficiente di Scorrimento elastico	[m³/kN]	:	1.10e-04
Rigidezza estensionale	[kN/m]	:	556.00
Lunghezza minima di ancoraggio	[m]	:	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia)		:	1.24
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia)		:	1.23
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo)		:	1.23
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla)		:	1.23
Coefficiente di sicurezza al Pull-out		:	1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo		:	0.16
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia		:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia		:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo		:	0.70
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla		:	0.40

VERIFICHE



Verifica di stabilità globale :
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 ..... : 1.173

Intervallo di ricerca delle superfici

Segmento di partenza, ascisse [m]		Segmento di arrivo, ascisse [m]	
Primo punto	Secondo punto	Primo punto	Secondo punto
15.00	24.00	35.00	60.00

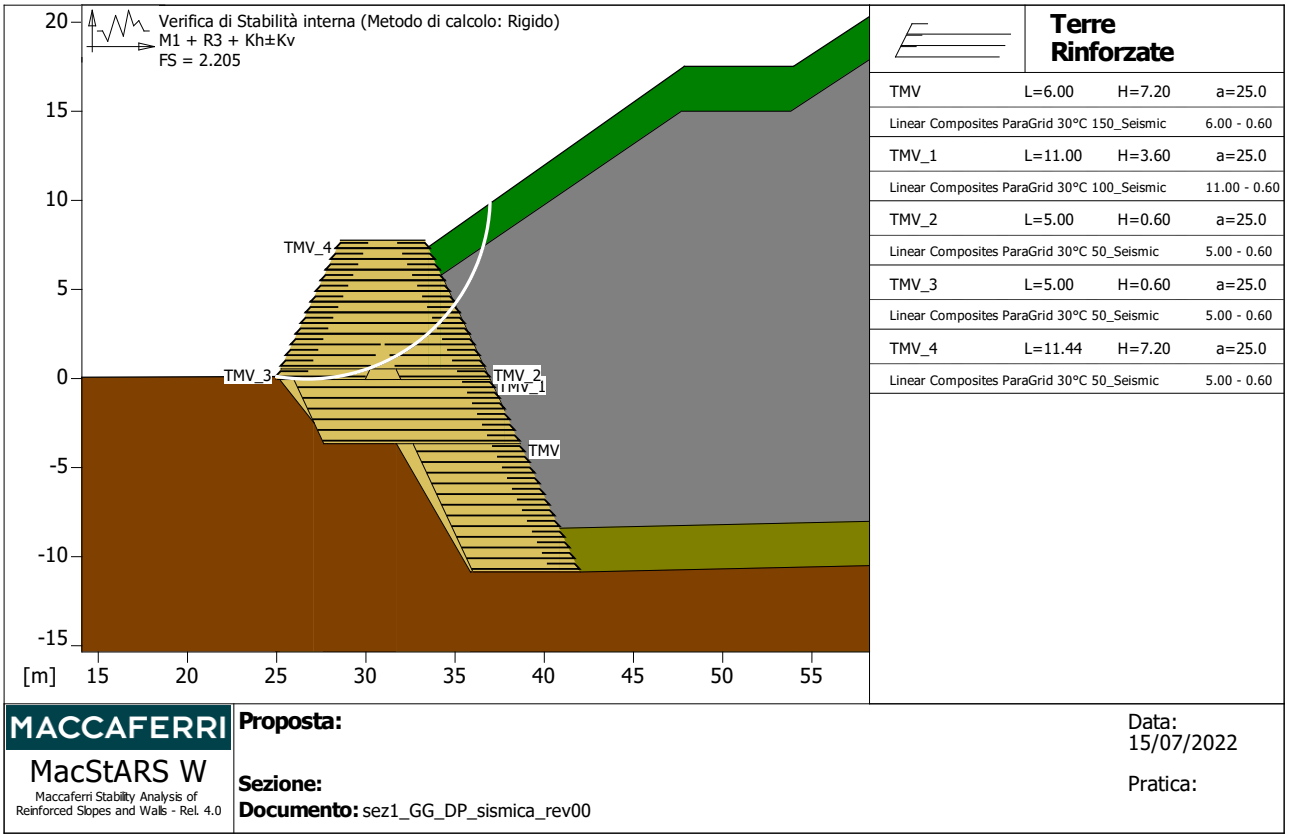
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza ..... : 100
Numero totale superfici di prova ..... : 1000
Lunghezza segmenti delle superfici ..... [m] ..... : 0.50
Angolo limite orario ..... [°] ..... : 0.00
Angolo limite antiorario ..... [°] ..... : 0.00

Blocco : TMV_4
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 50_Seismic

Y	Tb rottura	Tp sfilamento	Td agente	Tb/Td 1/Fmax	Tp/Td
[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]		
0.000	50.0	444.8	40.3	1.24	11.04

Fattore	Classe
1.00	Sisma
1.00	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
1.00	Coeff. Parziale - Coesione efficace

1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.20	Coeff. Parziale R - Stabilità



Verifica di stabilità interna :

Combinazione di carico : M1 + R3 + Kh±Kv
Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido
Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop
Coefficiente di sicurezza minimo calcolato ..... : 2.205

Intervallo di ricerca delle superfici

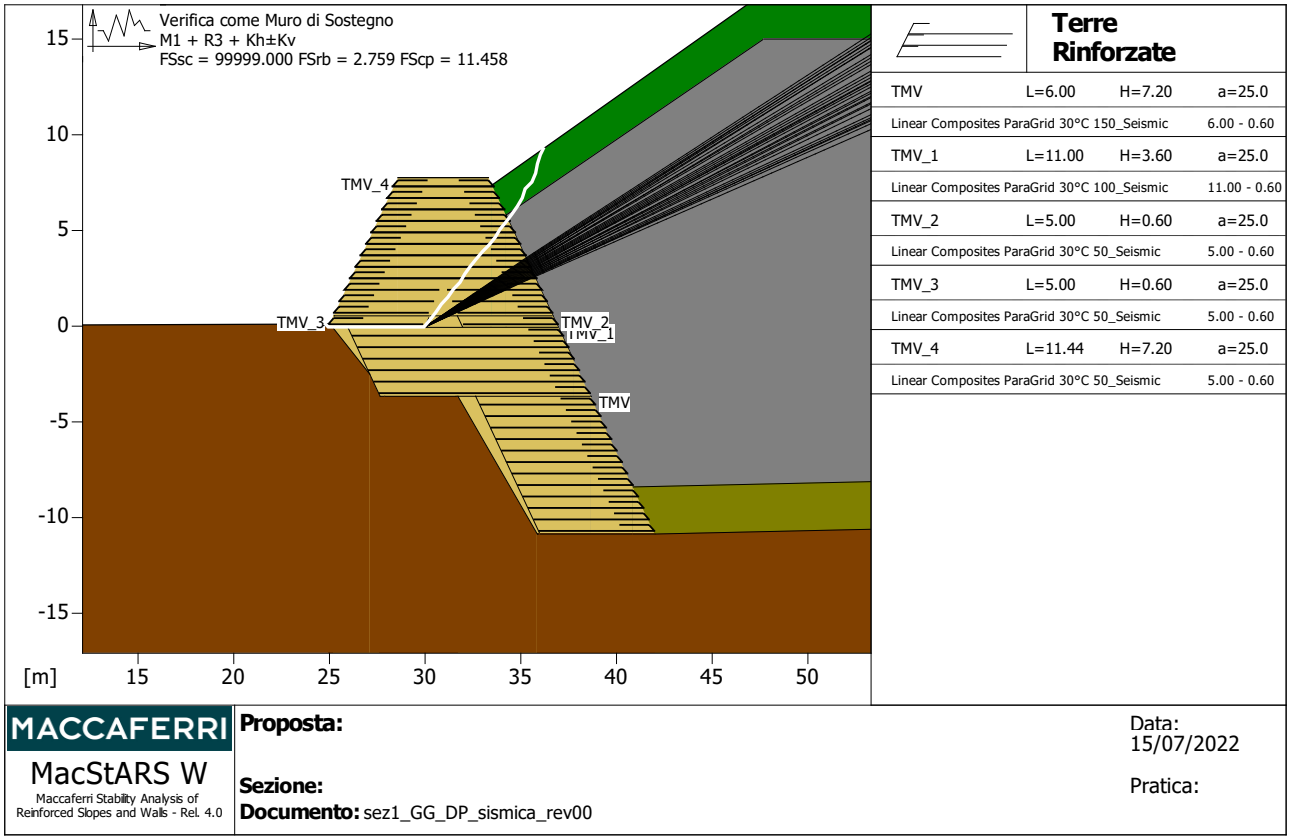
Blocco	Segmento di arrivo, ascisse [m]	
TMV_3	Primo punto	Secondo punto
	28.50	37.00

Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza ..... : 1
Numero totale superfici di prova ..... : 1000
Lunghezza segmenti delle superfici ..... [m] ..... : 0.50
Angolo limite orario ..... [°] ..... : 0.00
Angolo limite antiorario ..... [°] ..... : 0.00

Blocco : TMV_4
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 50_Seismic

Y	Tb rottura	Tp sfilamento	Td agente	Tb/Td 1/Fmax	Tp/Td
[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]		
1.200	50.0	201.4	40.3	1.24	5.00
1.800	50.0	422.3	40.3	1.24	10.48
1.800	50.0	303.4	40.3	1.24	7.53
2.400	50.0	311.3	40.3	1.24	7.72
2.400	50.0	169.5	40.3	1.24	4.21
3.000	50.0	244.6	40.3	1.24	6.07
3.000	50.0	68.3	40.3	1.24	1.69

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



Verifica come muro di sostegno :

Combinazione di carico : M1 + R3 + Kh±Kv
Stabilità verificata sul blocco : TMV_3

Forza Stabilizzante	[kN/m]	: 334.33
Forza Instabilizzante	[kN/m]	: -54.95
Classe scorrimento	: Coeff. parziale R - Scorrimento	
Coefficiente di sicurezza allo scorrimento		:99999.000
Momento Stabilizzante	[kN*m/m]	: 1701.10
Momento Instabilizzante	[kN*m/m]	: 616.66
Classe momento	: Coeff. parziale R - Ribaltamento	
Coefficiente di sicurezza al ribaltamento		: 2.759

Pressione ultima calcolata con metodo dell'equilibrio limite.

Pressione ultima	[kN/m²]	: 1440.90
Pressione media agente	[kN/m²]	: 104.80
Classe pressione	: Coeff. parziale R - Capacità portante	
Coefficiente di sicurezza sulla capacità portante		: 11.458
Fondazione equivalente	[m]	: 4.56
Eccentricità forza normale	[m]	: 0.22
Braccio momento	[m]	: -11.22
Forza normale	[kN]	: 475.17
Pressione estremo di valle	[kN/m²]	: 119.87
Pressione estremo di monte	[kN/m²]	: 70.20

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

1.00	Coeff. parziale R - Scorrimento
1.20	Coeff. parziale R - Capacità portante
1.00	Coeff. parziale R - Ribaltamento

Officine Maccaferri non è responsabile dei disegni e dei calcoli trasmessi al Cliente sulla base dei dati forniti dal medesimo, né è responsabile del progetto e delle verifiche sui luoghi che dovessero successivamente realizzarsi senza specifico incarico.
Il presente elaborato è stato realizzato sulla base dei prodotti di Officine Maccaferri ai soli fini dell'elaborazione dell'offerta. Pertanto Officine Maccaferri non è responsabile in caso di un uso dell'elaborato con prodotti diversi da quelli di Officine Maccaferri o, comunque, non controllato da parte di Officine Maccaferri stessa.

MACCAFERRI

MacStARS W – Rel. 4.0

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

Proposta :

Sezione :

Località :

Pratica :

File : sez1_GG_DV_sismica_rev00

Data : 15/07/2022

Verifiche condotte in accordo alla normativa : NTC 2018
_Verifiche di sicurezza (SLU)

SOMMARIO

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI 2
PROFILI STRATIGRAFICI 3
BLOCCHI RINFORZATI 3
Blocco : TMV 3
Blocco : TMV_1 3
Blocco : TMV_2 4
CARICHI 4
PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI 4
VERIFICHE 6
Verifica di stabilità globale : 6
Verifica di stabilità interna : 8
Verifica come muro di sostegno : 10

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Terreno : AF Descrizione : argilla di fondo
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 0.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 26.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 20.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 20.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

Terreno : CP Descrizione : copertura multistrato
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 5.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 39.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 18.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 18.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

Terreno : MA Descrizione : materiale antropico
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 20.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 30.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 20.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 20.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

Terreno : R Descrizione : rifiuti
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 10.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 30.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 10.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 10.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

Terreno : TV Descrizione : materiale tout venant
Classe coesione : Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione [kN/m²] : 0.00
Classe d'attrito : Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito [°] : 35.00

Rapporto di pressione interstiziale (Ru) : 0.00
Classe di peso : Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda [kN/m³] : 19.00
Peso specifico in falda [kN/m³] : 19.00

Modulo elastico [kN/m²] : 0.00
Coefficiente di Poisson : 0.30

PROFILI STRATIGRAFICI

Strato: A Descrizione:
Terreno : AF

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
40.85	-8.40	147.89	-6.02				

Strato: MA Descrizione:
Terreno : MA

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
0.00	0.00	25.05	0.09	27.89	-3.50	31.62	-3.50
35.86	-10.86	42.00	-10.86	147.89	-8.52		

Strato: RIL Descrizione:
Terreno : TV

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
25.05	0.09	28.46	7.30	33.44	7.30	34.23	5.81
40.85	-8.40	42.00	-10.86				

BLOCCHI RINFORZATI

Blocco : TMV
Dati principali [m] : Larghezza = 6.00 Altezza = 7.20
Coordinate Origine [m] : Ascissa = 42.00 Ordinata = -10.86
Inclinazione paramento [°] : 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo : Ghiaia
Rilevato strutturale : TV
Terreno di riempimento a tergo : MA
Terreno di copertura : TV
Terreno di fondazione : MA

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof
Affondamento fondazione [m] : 0.00
Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

Rinforzi :
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 150_Seismic
Lunghezza [m] = 6.00
Interasse [m] = 0.60
Risvolto [m] = 1.50

Blocco : TMV_1
Dati principali [m] : Larghezza = 11.00 Altezza = 3.60
Arretramento [m] = 0.00 da TMV
Inclinazione paramento [°] : 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo: Ghiaia
Rilevato strutturale: TV
Terreno di riempimento a tergo: MA
Terreno di copertura: TV
Terreno di fondazione: MA

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof
Affondamento fondazione [m] : 0.00
Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

Rinforzi :
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 100_Seismic
Lunghezza [m] = 11.00
Interasse [m] = 0.60
Risvolto [m] = 1.50

Blocco : TMV_2
Dati principali [m] : Larghezza = 12.00 Altezza = 7.80
Arretramento [m] = 0.00 da TMV_1
Inclinazione paramento [°] : 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo: Ghiaia
Rilevato strutturale: TV
Terreno di riempimento a tergo: MA
Terreno di copertura: TV
Terreno di fondazione: TV

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof
Affondamento fondazione [m] : 0.00
Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

Rinforzi :
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 50_Seismic
Lunghezza [m] = 5.00
Interasse [m] = 0.60
Risvolto [m] = 1.50

CARICHI

Pressione : VI Descrizione : viabilità impianto
Classe : Variabile - sfavorevole
Intensità [kN/m²] = 4.00 Inclinazione [°] = 0.00
Ascissa [m] : Da = 6.00 To = 25.00

Sisma :
Classe : Sisma
Accelerazione [m/s²] : Orizzontale = 1.36 Verticale = 0.69

PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI

Linear Composites - ParaGrid 30°C - 100_Seismic
Carico di rottura Nominale Tr [kN/m] : 100.00
Rapporto di Scorrimento plastico : 0.00
Coefficiente di Scorrimento elastico [m³/kN] : 1.10e-04
Rigidezza estensionale [kN/m] : 1111.00

Lunghezza minima di ancoraggio [m]	:	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia)	:	1.24
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia)	:	1.23
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo)	:	1.23
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla)	:	1.23
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo	:	0.17
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia	:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia	:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo	:	0.70
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla	:	0.40

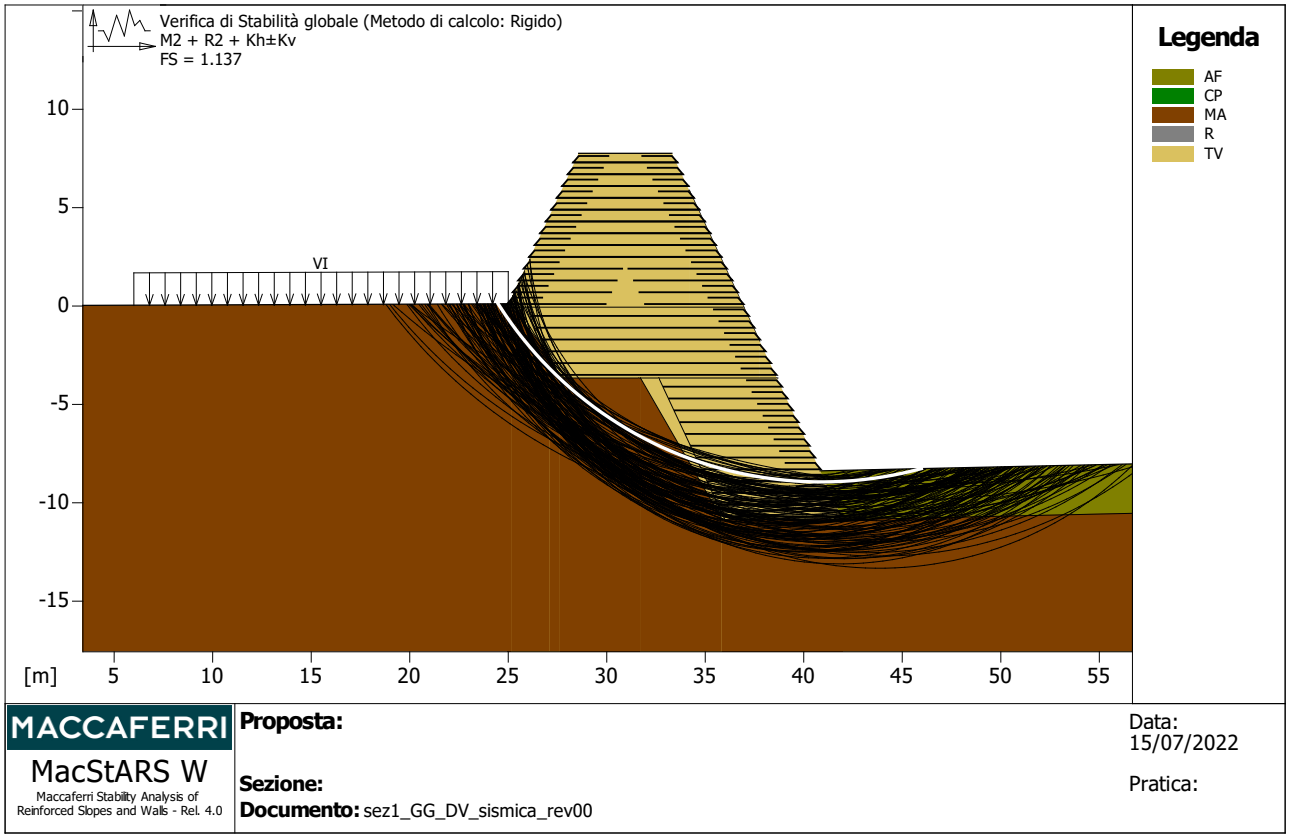
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 150_Seismic

Carico di rottura Nominale Tr [kN/m]	:	150.00
Rapporto di Scorrimento plastico	:	0.00
Coefficiente di Scorrimento elastico [m³/kN]	:	1.10e-04
Rigidezza estensionale [kN/m]	:	1667.00
Lunghezza minima di ancoraggio [m]	:	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia)	:	1.23
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia)	:	1.22
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo)	:	1.22
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla)	:	1.22
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo	:	0.21
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia	:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia	:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo	:	0.70
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla	:	0.70

Linear Composites - ParaGrid 30°C - 50_Seismic

Carico di rottura Nominale Tr [kN/m]	:	50.00
Rapporto di Scorrimento plastico	:	0.00
Coefficiente di Scorrimento elastico [m³/kN]	:	1.10e-04
Rigidezza estensionale [kN/m]	:	556.00
Lunghezza minima di ancoraggio [m]	:	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia)	:	1.24
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia)	:	1.23
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo)	:	1.23
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla)	:	1.23
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo	:	0.16
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia	:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia	:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo	:	0.70
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla	:	0.40

VERIFICHE



Verifica di stabilità globale :

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 ..... : 1.137

Intervallo di ricerca delle superfici

Segmento di partenza, ascisse [m]		Segmento di arrivo, ascisse [m]	
Primo punto	Secondo punto	Primo punto	Secondo punto
18.00	33.00	41.00	60.00

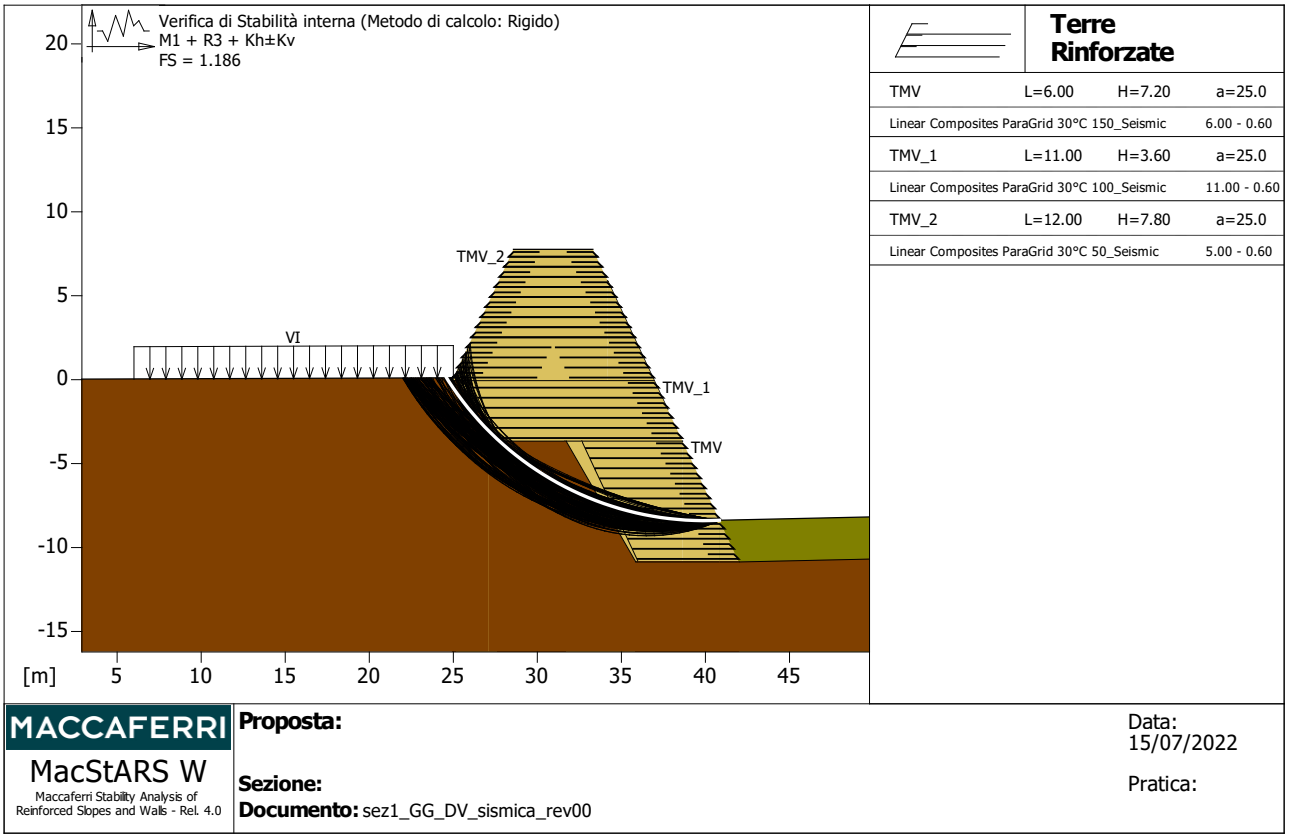
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza ..... : 100
Numero totale superfici di prova ..... : 1000
Lunghezza segmenti delle superfici ..... [m] ..... : 0.50
Angolo limite orario ..... [°] ..... : 0.00
Angolo limite antiorario ..... [°] ..... : 0.00

Blocco : TMV
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 150_Seismic

Y	Tb rottura	Tp sfilamento	Td agente	Tb/Td 1/Fmax	Tp/Td
[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]		
2.400	150.0	306.1	121.9	1.23	2.51

Fattore	Classe
1.00	Variabile - sfavorevole
1.00	Sisma
1.00	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio

1.00	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.20	Coeff. Parziale R - Stabilità



Verifica di stabilità interna :

Combinazione di carico : M1 + R3 + Kh±Kv
Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido
Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop
Coefficiente di sicurezza minimo calcolato ..... : 1.186

Intervallo di ricerca delle superfici

Blocco TMV	Segmento di arrivo, ascisse [m] Primo punto	Secondo punto
	22.00	36.00

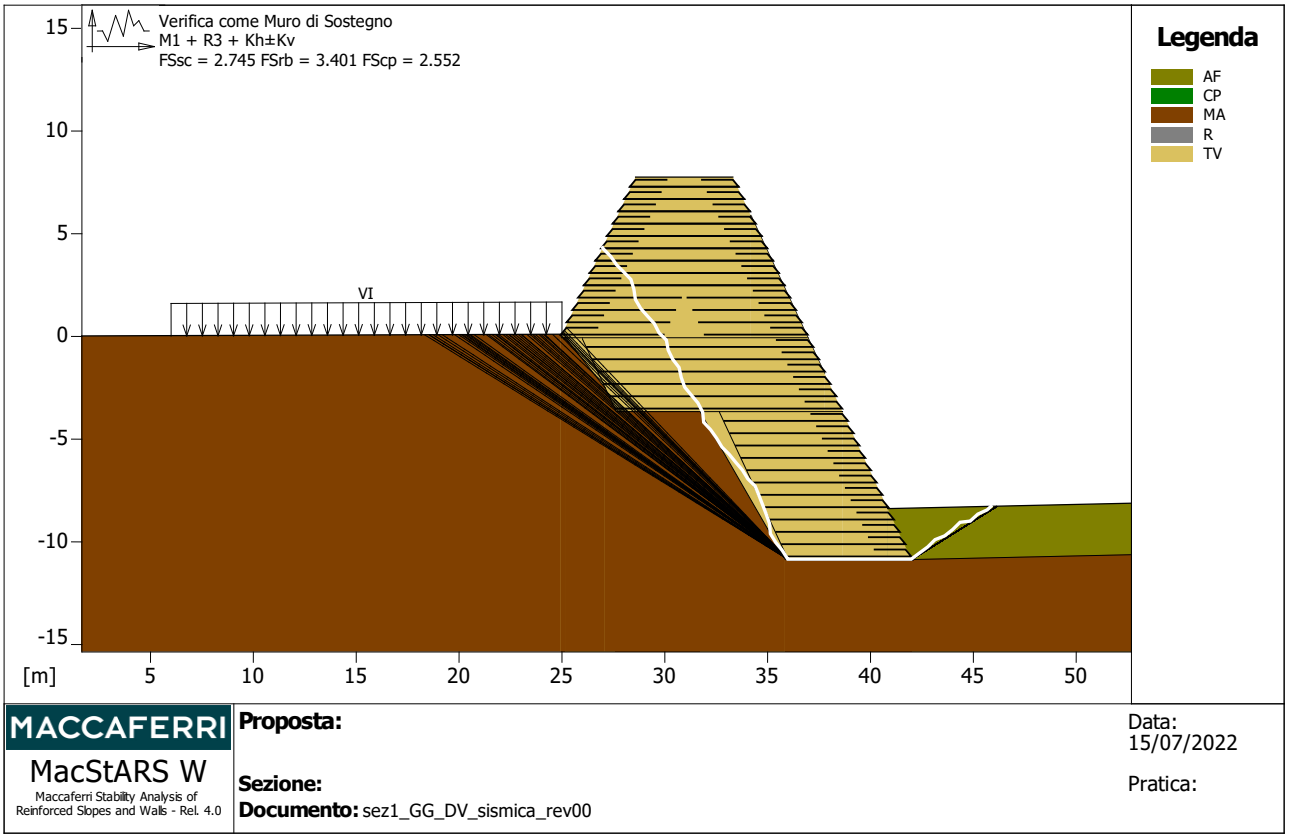
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza ..... : 1
Numero totale superfici di prova ..... : 1000
Lunghezza segmenti delle superfici ..... [m] ..... : 0.50
Angolo limite orario ..... [°] ..... : 0.00
Angolo limite antiorario ..... [°] ..... : 0.00

Blocco : TMV
Linear Composites - ParaGrid 30°C - 150_Seismic

Y [m]	Tb rottura [kN/m]	Tp sfilamento [kN/m]	Td agente [kN/m]	Tb/Td 1/Fmax	Tp/Td
3.000	150.0	256.0	121.9	1.23	2.10

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

1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.20	Coeff. Parziale R - Stabilità



Verifica come muro di sostegno :
Combinazione di carico : M1 + R3 + Kh±Kv
Stabilità verificata sul blocco : TMV
Forza Stabilizzante [kN/m] : 1634.70
Forza Instabilizzante [kN/m] : 595.43
Classe scorrimento : Coeff. parziale R - Scorrimento
Coefficiente di sicurezza allo scorrimento : 2.745
Momento Stabilizzante [kN*m/m] :24494.00
Momento Instabilizzante [kN*m/m] : 7202.80
Classe momento : Coeff. parziale R - Ribaltamento
Coefficiente di sicurezza al ribaltamento : 3.401
Pressione ultima calcolata con metodo dell'equilibrio limite.

Pressione ultima [kN/m²] : 1373.10
Pressione media agente [kN/m²] : 448.37
Classe pressione : Coeff. parziale R - Capacità portante
Coefficiente di sicurezza sulla capacità portante : 2.552
Fondazione equivalente [m] : 6.00
Eccentricità forza normale [m] : -3.59
Braccio momento [m] : 12.10
Forza normale [kN] : 2623.50
Pressione estremo di valle [kN/m²] :-42704.21
Pressione estremo di monte [kN/m²] :38263.62

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

1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.00	Coeff. parziale R - Scorrimento
1.20	Coeff. parziale R - Capacità portante
1.00	Coeff. parziale R - Ribaltamento

Officine Maccaferri non è responsabile dei disegni e dei calcoli trasmessi al Cliente sulla base dei dati forniti dal medesimo, né è responsabile del progetto e delle verifiche sui luoghi che dovessero successivamente realizzarsi senza specifico incarico.
Il presente elaborato è stato realizzato sulla base dei prodotti di Officine Maccaferri ai soli fini dell'elaborazione dell'offerta. Pertanto Officine Maccaferri non è responsabile in caso di un uso dell'elaborato con prodotti diversi da quelli di Officine Maccaferri o, comunque, non controllato da parte di Officine Maccaferri stessa.

PARAGRID™ 50/5

GEOGRIGLIE A NASTRI IN POLIESTERE AD ALTA TENACITA'

Le geogriglie ParaGrid™ sono strutture planari costituite da due ordini di nastri tra loro saldati ortogonalmente. I singoli nastri sono costituiti da filamenti di poliestere ad alta tenacità allineati ed incapsulati in una guaina protettiva di rivestimento di polietilene. Le geogriglie ParaGrid™ sono certificate CE (0038-CPR-5392) per applicazioni di rinforzo secondo EN 13249:2016, EN 13250:2016, EN 13251:2016, EN 13253:2016, EN 13254:2016, EN 13255:2016, EN 13257:2016, EN 13265:2016, e certificate BBA HAPAS (16/H249 Product Sheet 1) per conformarsi alla BS 8006 e per soddisfare I requisiti di Highways England e delle autorità autostradali locali.

ParaGrid™			50/5
Proprietà meccaniche			
Resistenza a trazione longitudinale (1)	EN ISO 10319	kN/m	57
Tolleranza (1)		kN/m	- 7
Deformazione nominale a rottura - longitudinale (1)		%	9.0
Resistenza a trazione trasversale (1)		kN/m	6
Tolleranza (1)		kN/m	- 1
Deformazione nominale a rottura - trasversale (1)		%	9.0
Proprietà fisiche			
Polimero della componente strutturale dei nastri			PET
Polimero del rivestimento protettivo			PE
Massa areica (2)	EN ISO 9864	g/m^2	244
Larghezza dei nastri longitudinali (3)		mm	24
Larghezza dei nastri trasversali (3)		mm	24
Dimensione della maglia (3)		mm	75 x 450
Apertura della maglia (3)		mm	51 x 426
Ampiezza del rotolo (4)		m	3.90
Lunghezza del rotolo (5)		m	100
Peso del rotolo (2)		kg	105
Proprietà ambientali e di sostenibilità			
Contenuto di SVHC (6)	ISO 14025 EN 15804	%	≤ 0.1
Potenziale di Riscaldamento Globale (GWP$_{100yrs}$) (6)		kg CO_2-Eq.	≤ 2.38E+00
Potenziale di eutrofizzazione (EP) (6)		kg Fosfato-Eq.	≤ 5.51E-04
Potenziale di acidificazione (AP) (6)		kg SO_2-Eq.	≤ 4.43E-03



(1) Test a breve termine in conformità alle norme EN ISO 10319:2015. I valori indicati sono i valori medi della resistenza ultima che, ridotti del valore della tolleranza, determinano i valori caratteristici della resistenza a trazione in accordo alle norme EN 13251:2016 al 95% del limite di confidenza;
(2) Valore nominale; è ammessa una tolleranza standard del 10%;
(3) Dimensioni medie misurate;
(4) Valore nominale; è ammessa una tolleranza standard dell'1%;
(5) Valore standard;
(6) Valore riportato nel certificato EPD S-P-01461 rilasciato in conformità alle norme ISO 14125 ed EN 15804+A1 a Maccaferri con riferimento alla famiglia di prodotti ParaGrid™ con validità fino a Dicembre 2023.

BBA APPROVAL INSPECTION TESTING CERTIFICATION
CERTIFICATE 16/H249

EPD®
THE INTERNATIONAL EPD® SYSTEM

bimstore
Collezione BIM di geogriglie ParaGrid™ disponibile per il download su bimstore.co

ParaGrid™ è un marchio registrato da Linear Composite Ltd.

© 2019 Maccaferri. All rights reserved. Maccaferri will enforce Copyright.

Il produttore, per il proprio processo di ottimizzazione e miglioramento delle caratteristiche tecniche dei prodotti, si riserva la facoltà di modificare gli standard e le caratteristiche dei prodotti senza alcun preavviso. Tutte le informazioni fornite sono date in buona fede sulla base della nostra esperienza e di analisi di laboratorio ma non costituiscono una garanzia prestazionale minima dei materiali. In ogni modo nessuna responsabilità per un errato utilizzo progettuale delle stesse potrà essere imputata al produttore o ai suoi distributori.

Officine Maccaferri Italia S.r.l.
Via JF Kennedy 10, 40069 Zola Predosa (BO) - Italy
T: (+39) 051 643 6000 F: (+39) 051 643 6201
E: info@it.maccaferri.com www.maccaferri.com/it

Azienda con Sistema Qualità Certificato da Bureau Veritas con accreditamento Accredia e Ukas

MACCAFERRI

SCHEDA TECNICA
Rev: 13, Data 28.10.2019

PARAGRID™ 100/5

GEOGRIGLIE A NASTRI IN POLIESTERE AD ALTA TENACITA'

Le geogriglie ParaGrid™ sono strutture planari costituite da due ordini di nastri tra loro saldati ortogonalmente. I singoli nastri sono costituiti da filamenti di poliestere ad alta tenacità allineati ed incapsulati in una guaina protettiva di rivestimento di polietilene. Le geogriglie ParaGrid™ sono certificate CE (0038-CPR-5392) per applicazioni di rinforzo secondo EN 13249:2016, EN 13250:2016, EN 13251:2016, EN 13253:2016, EN 13254:2016, EN 13255:2016, EN 13257:2016, EN 13265:2016, e certificate BBA HAPAS (16/H249 Product Sheet 1) per conformarsi alla BS 8006 e per soddisfare I requisiti di Highways England e delle autorità autostradali locali.

ParaGrid™			100/5
Proprietà meccaniche			
Resistenza a trazione longitudinale (1)	EN ISO 10319	kN/m	106
Tolleranza (1)		kN/m	- 6
Deformazione nominale a rottura - longitudinale (1)		%	9.0
Resistenza a trazione trasversale (1)		kN/m	6
Tolleranza (1)		kN/m	- 1
Deformazione nominale a rottura - trasversale (1)		%	9.0
Proprietà fisiche			
Polimero della componente strutturale dei nastri			PET
Polimero del rivestimento protettivo			PE
Massa areica (2)	EN ISO 9864	g/m^2	416
Larghezza dei nastri longitudinali (3)		mm	24
Larghezza dei nastri trasversali (3)		mm	24
Dimensione della maglia (3)		mm	75 x 450
Apertura della maglia (3)		mm	51 x 426
Ampiezza del rotolo (4)		m	3.90
Lunghezza del rotolo (5)		m	80
Peso del rotolo (2)		kg	140
Proprietà ambientali e di sostenibilità			
Contenuto di SVHC (6)	ISO 14025 EN 15804	%	≤ 0.1
Potenziale di Riscaldamento Globale (GWP$_{100yrs}$) (6)		kg CO_2-Eq.	≤ 2.38E+00
Potenziale di eutrofizzazione (EP) (6)		kg Fosfato-Eq.	≤ 5.51E-04
Potenziale di acidificazione (AP) (6)		kg SO_2-Eq.	≤ 4.43E-03



(1) Test a breve termine in conformità alle norme EN ISO 10319:2015. I valori indicati sono i valori medi della resistenza ultima che, ridotti del valore della tolleranza, determinano i valori caratteristici della resistenza a trazione in accordo alle norme EN 13251:2016 al 95% del limite di confidenza;
(2) Valore nominale; è ammessa una tolleranza standard del 10%;
(3) Dimensioni medie misurate;
(4) Valore nominale; è ammessa una tolleranza standard dell'1%;
(5) Valore standard;
(6) Valore riportato nel certificato EPD S-P-01461 rilasciato in conformità alle norme ISO 14125 ed EN 15804+A1 a Maccaferri con riferimento alla famiglia di prodotti ParaGrid™ con validità fino a Dicembre 2023.

BBA APPROVAL INSPECTION TESTING CERTIFICATION
CERTIFICATE 16/H249

EPD®
THE INTERNATIONAL EPD® SYSTEM

bimstore
Collezione BIM di geogriglie ParaGrid™ disponibile per il download su bimstore.co

ParaGrid™ è un marchio registrato da Linear Composite Ltd.

© 2019 Maccaferri. All rights reserved. Maccaferri will enforce Copyright.

Il produttore, per il proprio processo di ottimizzazione e miglioramento delle caratteristiche tecniche dei prodotti, si riserva la facoltà di modificare gli standard e le caratteristiche dei prodotti senza alcun preavviso. Tutte le informazioni fornite sono date in buona fede sulla base della nostra esperienza e di analisi di laboratorio ma non costituiscono una garanzia prestazionale minima dei materiali. In ogni modo nessuna responsabilità per un errato utilizzo progettuale delle stesse potrà essere imputata al produttore o ai suoi distributori.

Officine Maccaferri Italia S.r.l.
Via JF Kennedy 10, 40069 Zola Predosa (BO) - Italy
T: (+39) 051 643 6000 F: (+39) 051 643 6201
E: info@it.maccaferri.com www.maccaferri.com/it

Azienda con Sistema Qualità Certificato da Bureau Veritas con accreditamento Accredia e Ukas

MACCAFERRI

SCHEDA TECNICA
Rev: 13, Data 28.10.2019

PARAGRID™ 150/5

GEOGRIGLIE A NASTRI IN POLIESTERE AD ALTA TENACITA'

Le geogriglie ParaGrid™ sono strutture planari costituite da due ordini di nastri tra loro saldati ortogonalmente. I singoli nastri sono costituiti da filamenti di poliestere ad alta tenacità allineati ed incapsulati in una guaina protettiva di rivestimento di polietilene. Le geogriglie ParaGrid™ sono certificate CE (0038-CPR-5392) per applicazioni di rinforzo secondo EN 13249:2016, EN 13250:2016, EN 13251:2016, EN 13253:2016, EN 13254:2016, EN 13255:2016, EN 13257:2016, EN 13265:2016, e certificate BBA HAPAS (16/H249 Product Sheet 1) per conformarsi alla BS 8006 e per soddisfare I requisiti di Highways England e delle autorità autostradali locali.

ParaGrid™			150/5
Proprietà meccaniche			
Resistenza a trazione longitudinale (1)	EN ISO 10319	kN/m	160
Tolleranza (1)		kN/m	- 10
Deformazione nominale a rottura - longitudinale (1)		%	9.0
Resistenza a trazione trasversale (1)		kN/m	6
Tolleranza (1)		kN/m	- 1
Deformazione nominale a rottura - trasversale (1)		%	9.0
Proprietà fisiche			
Polimero della componente strutturale dei nastri			PET
Polimero del rivestimento protettivo			PE
Massa areica (2)	EN ISO 9864	g/m^2	567
Larghezza dei nastri longitudinali (3)		mm	33
Larghezza dei nastri trasversali (3)		mm	24
Dimensione della maglia (3)		mm	75 x 450
Apertura della maglia (3)		mm	42 x 426
Ampiezza del rotolo (4)		m	3.90
Lunghezza del rotolo (5)		m	50
Peso del rotolo (2)		kg	121
Proprietà ambientali e di sostenibilità			
Contenuto di SVHC (6)	ISO 14025 EN 15804	%	≤ 0.1
Potenziale di Riscaldamento Globale (GWP$_{100yrs}$) (6)		kg CO_2-Eq.	≤ 2.38E+00
Potenziale di eutrofizzazione (EP) (6)		kg Fosfato-Eq.	≤ 5.51E-04
Potenziale di acidificazione (AP) (6)		kg SO_2-Eq.	≤ 4.43E-03



(1) Test a breve termine in conformità alle norme EN ISO 10319:2015. I valori indicati sono i valori medi della resistenza ultima che, ridotti del valore della tolleranza, determinano i valori caratteristici della resistenza a trazione in accordo alle norme EN 13251:2016 al 95% del limite di confidenza;
(2) Valore nominale; è ammessa una tolleranza standard del 10%;
(3) Dimensioni medie misurate;
(4) Valore nominale; è ammessa una tolleranza standard dell'1%;
(5) Valore standard;
(6) Valore riportato nel certificato EPD S-P-01461 rilasciato in conformità alle norme ISO 14125 ed EN 15804+A1 a Maccaferri con riferimento alla famiglia di prodotti ParaGrid™ con validità fino a Dicembre 2023.

BBA APPROVAL INSPECTION TESTING CERTIFICATION
CERTIFICATE 16/H249

EPD®
THE INTERNATIONAL EPD® SYSTEM

bimstore
Collezione BIM di geogriglie ParaGrid™ disponibile per il download su bimstore.co

ParaGrid™ è un marchio registrato da Linear Composite Ltd.

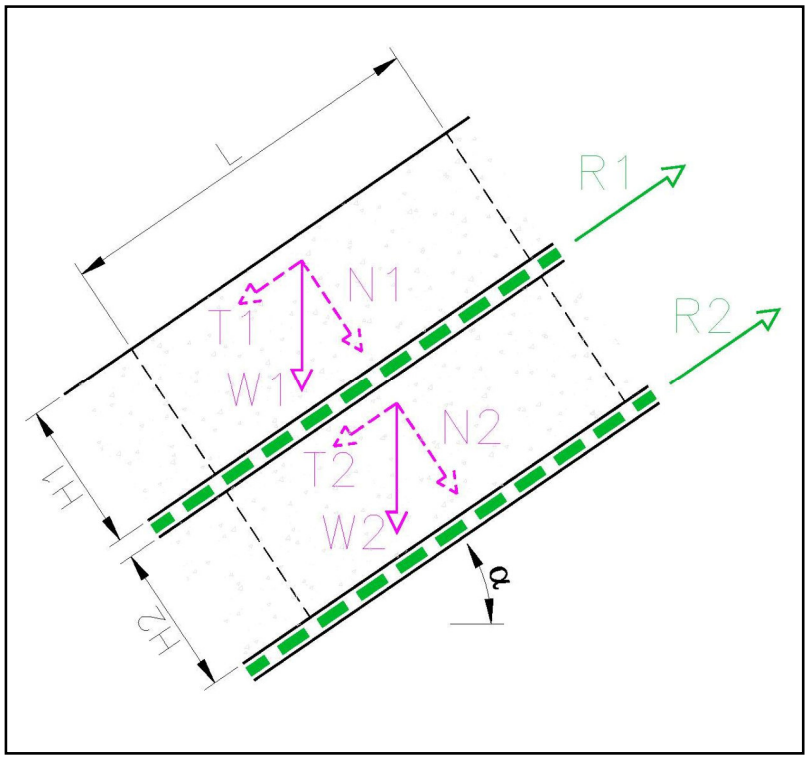
© 2019 Maccaferri. All rights reserved. Maccaferri will enforce Copyright.

Il produttore, per il proprio processo di ottimizzazione e miglioramento delle caratteristiche tecniche dei prodotti, si riserva la facoltà di modificare gli standard e le caratteristiche dei prodotti senza alcun preavviso. Tutte le informazioni fornite sono date in buona fede sulla base della nostra esperienza e di analisi di laboratorio ma non costituiscono una garanzia prestazionale minima dei materiali. In ogni modo nessuna responsabilità per un errato utilizzo progettuale delle stesse potrà essere imputata al produttore o ai suoi distributori.

Officine Maccaferri Italia S.r.l.
Via JF Kennedy 10, 40069 Zola Predosa (BO) - Italy
T: (+39) 051 643 6000 F: (+39) 051 643 6201
E: info@it.maccaferri.com www.maccaferri.com/it

Azienda con Sistema Qualità Certificato da Bureau Veritas con accreditamento Accredia e Ukas

CASO STATICO



IPOTESI:

- l'elemento di rinforzo assorbe la sollecitazione tangenziale decurtata dell'80% dell'attrito sviluppato (Fattr) alla base tra la 2a geogriglia e i geosintetici sottostanti considerando l'angolo di resistenza di interfaccia minore tra i geosintetici;
- allo strato sottostante si considera di trasmettere solo le sollecitazioni normali

FORMULE:

$$N_1 = W_1 \cos \alpha$$
$$T_1 = W_1 sen \alpha$$

$$N_2 = N_1 + W_2 \cos \alpha = (W_1 + W_2) \cos \alpha$$
$$T_2 = W_2 sen \alpha$$

$$T = T1 - 80\% * F_{attr}$$

$$F_{attr} = N2 * (\tan \phi i / \tan \alpha)$$

$$T = T2 - 80\% * F_{attr}$$

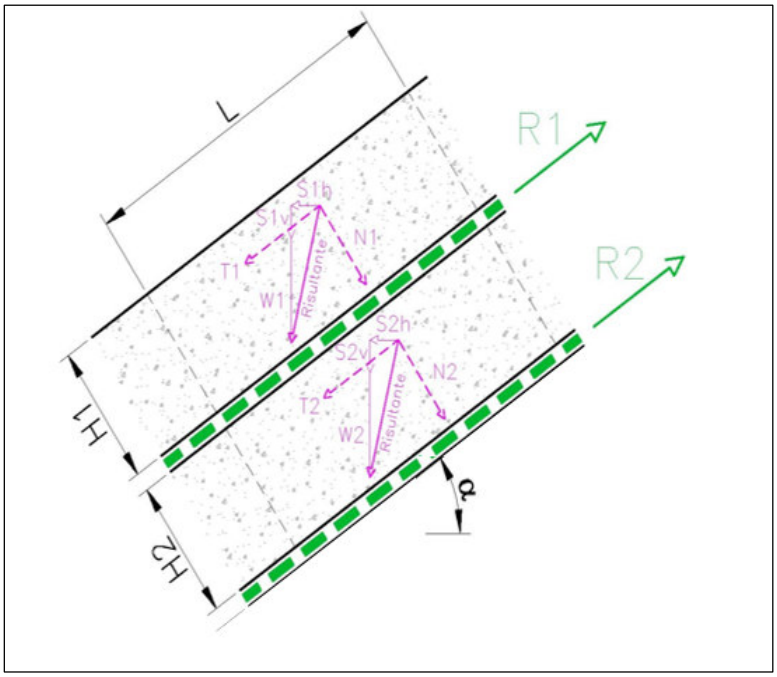
STRATO 1 - STATICO			
DATI			
Geometria del versante			
α	33	°	pendenza del versante
h	15	m	altezza del versante
L	27.54	m	lunghezza del versante
H1	0.50	m	spessore del terreno vegetale
Caratteristiche del terreno vegetale materiali			
ϕ	42	°	angolo d'attrito interno
γ	18.0	kN/m^3	peso specifico del vegetale
Caratteristiche del geosintetico di interfaccia			
RC1	200	kN/m	resistenza caratteristica a trazione
δ	42	°	angolo d'attrito di interfaccia
			(pull-out su singola faccia)
CALCOLO DELLA SOLLECITAZIONE			
W1	247,87	kN/m	peso del terreno
N1	207,88	kN/m	componente ortogonale al pendio
T1	135,00	kN/m	componente parallela al pendio
VERIFICA DI STABILITA' INTERNA DEL TERRENO VEGETALE			
γ_m	1.25		coeff di sicurezza parziale
$N\frac{tg\phi}{\gamma_m}/T \geq 1.1$			(NTC 2018, tabella 6.2.II, colonna M2)
		condizione verificata	
N tg**ϕ**/γ_m	149,74	kN/m	
T	135,00	kN/m	
R2	1,11		

VERIFICA DI STABILITA' ALL'INTERFACCIA GEOSINTETICO-TERRENO							
γ_m	1.25		coeff di sicurezza parziale				
$N \frac{tg\phi}{\gamma_m} / T \geq 1.1$			(NTC 14.01.08, tabella 6.2.II, colonna M2)				
		condizione verificata					
N tgδ/γ_m	149,74						
T	135,00						
R2	1,11						
VERIFICA DELLA RESISTENZA A TRAZIONE DEL GEOSINTETICO							
γ_m	1.60		Il riferimento normativo è la ISO/TR 20432: “Guidelines for the determination of the long-term strength of geosynthetics for soil reinforcement”				
$\frac{RC}{\gamma_m} \geq T$							
		condizione verificata					
RC/γ_m	125,00	kN/m					
T	86,79	kN/m					

STRATO 2 - STATICO							
DATI							
Geometria del versante							
α	33	°	pendenza del versante				
h	15	m	altezza del versante				
L	27.54	m	lunghezza del versante				
H2	0.50	m	spessore del terreno vegetale				
Caratteristiche del terreno vegetale materiali							
ϕ	42	°	angolo d'attrito interno				
γ	18	kN/m^3	peso specifico del vegetale				
Caratteristiche del geosintetico di interfaccia							
RC2	200	kN/m	resistenza caratteristica a trazione				
δ	25	°	angolo d'attrito di interfaccia				
			(pull-out su singola faccia)				
CALCOLO DELLA SOLLECITAZIONE							
W2	247,87	kN/m	peso del terreno				
N2	415,76	kN/m	componente ortogonale al pendio				
T2	135,00	kN/m	componente parallela al pendio				
VERIFICA DI STABILITA' INTERNA DEL TERRENO VEGETALE							
γ_m	1.25		coeff di sicurezza parziale				
			(NTC 2018, tabella 6.2.II, colonna M2)				
$N\frac{tg\phi}{\gamma_m}/T \geq 1.1$							
		condizione verificata					

$N\ tg\phi/\gamma_m$	299,48	kN/m					
T	135,00	kN/m					
R2	2,22						
VERIFICA DI STABILITA' ALL'INTERFACCIA GEOSINTETICO-TERRENO							
γ_m	1.25		coeff di sicurezza parziale				
			(NTC 2018, tabella 6.2.II, colonna M2)				
$N\frac{tg\phi}{\gamma_m}/T \geq 1.1$							
		condizione verificata					
$N\ tg\delta/\gamma_m$	155,10						
T	135,00						
R2	1,15						
VERIFICA DELLA RESISTENZA A TRAZIONE DEL GEOSINTETICO							
γ_m	1.6		Il riferimento normativo è la ISO/TR 20432: "Guidelines for the determination of the long-term strength of geosynthetics for soil reinforcement"				
$\frac{RC}{\gamma_m} \geq T$							
		condizione verificata					
RC/γ_m	125.00	kN/m					
T	92.15	kN/m					

CASO SISMICO



IPOTESI:

- l'elemento di rinforzo assorbe tutta la sollecitazione tangenziale

FORMULE:

$$N_1 = W_1 \cos\alpha + S_{1V} \cos\alpha - S_{1H} sen\alpha$$
$$T_1 = W_1 sen\alpha + S_{1V} sen\alpha + S_{1H} \cos\alpha$$

$$N_2 = N_1 + W_2 \cos\alpha + S_{2V} \cos\alpha - S_{2H} sen\alpha =$$
$$= (W_1 + W_2 + S_{1V} + S_{2V}) \cos\alpha - (S_{1H} + S_{2H}) sen\alpha$$
$$T_2 = W_2 sen\alpha + S_{2V} sen\alpha + S_{2H} \cos\alpha$$

STRATO 1 - PSEUDO STATICO				
DATI				
Geometria del versante				
α	33	°		pendenza del versante
h	15	m		altezza del versante
L	27.54	m		lunghezza del versante
H1	0.50	m		spessore del terreno vegetale
Caratteristiche del terreno vegetale materiali				
ϕ	42	°		angolo d'attrito interno
γ	18.0	kN/m^3		peso specifico del vegetale
Caratteristiche del geosintetico di interfaccia				
RC1	200	kN/m		resistenza caratteristica a trazione
δ	40	°		angolo d'attrito di interfaccia
				(pull-out su singola faccia)
CALCOLO DELLA SOLLECITAZIONE				
Peso del terreno				
W1	247.87	kN/m		peso del terreno
Sollecitazione sismica				
caso	1	2		
a_H	0,1300	0,1300	g	
a_V	0,0700	-0,0700	g	
$S1_H$	32,22	32,22	kN/m	
$S1_V$	17,35	-17,35	kN/m	
Componenti				
caso	1	2		
N1	204,88	175,78	kN/m	
T1	171,47	152,57	kN/m	
VERIFICA DI STABILITA' INTERNA DEL TERRENO VEGETALE				
γ_m	1			coeff di sicurezza parziale
				(NTC 2018, tabella 6.2.II, colonna M2)
caso	1	2		$N \frac{tg\ \phi}{\gamma_m} \geq T$
condizione	verificata	verificata		

N tgϕ/γ_m	184,5	158,3	kN/m				
T	171,5	152,6	kN/m				
R2	1,08	1,04					
VERIFICA DI STABILITA' ALL'INTERFACCIA GEOSINTETICO-TERRENO							
γ_m	1			coeff di sicurezza parziale			
				(NTC 2018, tabella 6.2.II, colonna M2)			
caso	1	2		$N \frac{tg\ \delta}{\gamma_m} \geq T$			
condizione	verificata	verificata					
N tgδ/γ_m	184,5	158,3	kN/m				
T	171,5	152,6	kN/m				
R2	1,08	1,04					
VERIFICA DELLA RESISTENZA A TRAZIONE DEL GEOSINTETICO							
γ_m	1.5			Il riferimento normativo è la ISO/TR 20432: “Guidelines for the determination of the long-term strength of geosynthetics for soil reinforcement”			
caso	1	2		$\frac{RC}{\gamma_m} \geq T$			
condizione	verificata	verificata					
RC/γ_m	125,0	125,0	kN/m				
T	117,8	101,9	kN/m				

STRATO 2 - PSEUDO-STATICO				
DATI				
Geometria del versante				
α	33	°		pendenza del versante
h	15	m		altezza del versante
L	27.54	m		lunghezza del versante
H2	0.50	m		spessore del terreno vegetale
Caratteristiche del terreno vegetale materiali				
ϕ	42	°		angolo d'attrito interno
γ	18	kN/m^3		peso specifico del vegetale
Caratteristiche del geosintetico di interfaccia				
RC2	200.00	kN/m		resistenza caratteristica a trazione
δ	25	°		angolo d'attrito di interfaccia
				(pull-out su singola faccia)
CALCOLO DELLA SOLLECITAZIONE				
Peso del terreno				
W2	247.87	kN/m		peso del terreno
Sollecitazione sismica				
caso	1	2		
a_H	0,1300	0,1300	g	
a_V	0,0700	-0,0700	g	
$S2_H$	32,22	32,22	kN/m	
$S2_V$	17,35	-17,35	kN/m	
Componenti				
caso	1	2		
N2	409,77	351,56	kN/m	
T2	171,47	152,57	kN/m	
VERIFICA DI STABILITA' INTERNA DEL TERRENO VEGETALE				
γ_m	1			coeff di sicurezza parziale
				(NTC 2018, tabella 6.2.II, colonna M2)
caso	1	2		

condizione	verificata	verificata		$N \frac{tg\ \phi}{\gamma_m} \geq T$			
N tgϕ/γ_m	369,0	316,5	kN/m				
T	171,5	152,6	kN/m				
R2	2,15	2,07					
VERIFICA DI STABILITA' ALL'INTERFACCIA GEOSINTETICO-TERRENO							
γ_m	1			coeff di sicurezza parziale			
				(NTC 2018, tabella 6.2.II, colonna M2)			
caso	1	2		$N \frac{tg\ \delta}{\gamma_m} \geq T$			
condizione	verificata	verificata					
N tgδ/γ_m	191,1	163,9	kN/m				
T	171,5	152,6	kN/m				
R2	1,11	1,07					
VERIFICA DELLA RESISTENZA A TRAZIONE DEL GEOSINTETICO							
γ_m	1.6			Il riferimento normativo è la ISO/TR 20432: “Guidelines for the determination of the long-term strength of geosynthetics for soil reinforcement”			
caso	1	2		$\frac{RC}{\gamma_m} \geq T$			
condizione	verificata	verificata					
RC/γ_m	125,0	125,0	kN/m				
T	64,2	51,3	kN/m				

SLOPE/W Analysis

Report generated using GeoStudio 2012. Copyright © 1991-2016 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

File Version: 8.15
Created By: benedetta
Last Edited By: benedetta
Revision Number: 54
Date: 30/11/2023
Time: 12:42:20
Tool Version: 8.15.6.13446
File Name: Sez. Long. Globale battente 2 m stat.gsz
Directory: Z:\187-2019_EGEA Project Imperia\WORK\Stabilità\SLOPE\
Last Solved Date: 30/11/2023
Last Solved Time: 12:45:08

Project Settings

Length(L) Units: Meters
Time(t) Units: Seconds
Force(F) Units: Kilonewtons
Pressure(p) Units: kPa
Strength Units: kPa
Unit Weight of Water: 9,807 kN/m³
View: 2D
Element Thickness: 1

Analysis Settings

SLOPE/W Analysis

Kind: SLOPE/W
Method: Morgenstern-Price
Settings
    Side Function
        Interslice force function option: Half-Sine
    PWP Conditions Source: Piezometric Line
    Apply Phreatic Correction: No
    Use Staged Rapid Drawdown: No
Slip Surface
    Direction of movement: Left to Right
    Use Passive Mode: No
    Slip Surface Option: Entry and Exit
    Critical slip surfaces saved: 1
    Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °
    Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
    Optimize Critical Slip Surface Location: No
    Tension Crack
        Tension Crack Option: (none)
F of S Distribution
    F of S Calculation Option: Constant
Advanced
    Number of Slices: 30
    F of S Tolerance: 0,001
    Minimum Slip Surface Depth: 0,1 m

Search Method: Root Finder
Tolerable difference between starting and converged F of S: 3
Maximum iterations to calculate converged lambda: 20
Max Absolute Lambda: 2

Materials

RIFIUTI

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 10 kN/m³
Cohesion': 8 kPa
Phi': 24,8 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

ARGINE TR

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion': 64 kPa
Phi': 29,3 °
Phi-B: 0 °

MATERIALE ANTROPICO

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion': 16 kPa
Phi': 24,8 °
Phi-B: 0 °

SUBSTRATO ROCCIOSO

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion': 16 kPa
Phi': 24,8 °
Phi-B: 0 °

COPERTURA

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion': 4 kPa
Phi': 32,9 °
Phi-B: 0 °

IMPERMEABILIZZAZIONE DI FONDO IN ARGILLA

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion': 0 kPa
Phi': 21,3 °
Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Range
Left-Zone Left Coordinate: (73,96918; 270,08315) m
Left-Zone Right Coordinate: (142,84204; 267,54158) m
Left-Zone Increment: 4

Right Projection: Range
Right-Zone Left Coordinate: (193,57988; 242,04158) m
Right-Zone Right Coordinate: (207,48263; 234,54041) m
Right-Zone Increment: 4
Radius Increments: 10

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (9,94444; 266,72097) m
Right Coordinate: (208,14946; 215,98611) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X (m)	Y (m)
Coordinate 1	51,55702	231,11951
Coordinate 2	53,25945	231,02439
Coordinate 3	180,95985	228,16278
Coordinate 4	182,11433	228,16233

Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0
Vert Seismic Coef.: 0

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	11,58562	265,04434
Point 2	9,94444	266,72097
Point 3	11,43444	267,54158
Point 4	33,70543	268,64126
Point 5	79,28057	270,27336
Point 6	126,42322	268,40087
Point 7	144,98044	267,54158
Point 8	169,6493	252,04589
Point 9	174,72252	252,04589
Point 10	190,128	242,04158
Point 11	189,12646	240,30727
Point 12	174,90363	249,54126
Point 13	168,78246	249,54126
Point 14	157,80876	256,74144
Point 15	145,15864	265,04158
Point 16	138,89534	265,04158
Point 17	126,2891	265,90417
Point 18	79,71046	267,76597
Point 19	33,74625	266,14095
Point 20	26,89094	265,90417
Point 21	22,06345	265,62742
Point 22	190,12748	242,04158

Point 23	194,12748	242,04158
Point 24	197,59158	234,54158
Point 25	194,70483	231,04158
Point 26	192,90483	231,04158
Point 27	186,72784	223,68328
Point 28	179,52831	223,68328
Point 29	189,12626	240,30741
Point 30	53,25945	229,02439
Point 31	55,3513	226,45003
Point 32	180,95985	226,16278
Point 33	190,45022	228,11754
Point 34	208,14886	226,95318
Point 35	208,14946	215,98611
Point 36	9,94444	215,98611
Point 37	9,94444	266,71854
Point 38	14,23143	262,34141
Point 39	15,46046	261,08584
Point 40	20,17486	261,03596
Point 41	24,37864	256,74141
Point 42	39,00927	246,56152
Point 43	208,14848	233,94332
Point 44	208,14835	234,54033
Point 45	168,60064	252,0459
Point 46	138,72485	267,54158
Point 47	34,38152	246,52253
Point 48	190,43081	228,09442

Regions

	Material	Points	Area (m²)
Region 1	COPERTURA	1;21;20;19;18;17;16;15;14;13;12;29;22;10;9;8;45;7;46;6;5;4;3;2	442,15
Region 2	ARGINE TR	22;29;11;32;28;27;48;33;26;25;24;23;10	159,06
Region 3	IMPERMEABILIZZAZIONE DI FONDO IN ARGILLA	30;31;28;32	317,31
Region 4	SUBSTRATO ROCCIOSO	27;28;31;30;42;47;41;40;39;38;1;37;36;35;34;48	2 914,6
Region 5	MATERIALE ANTROPICO	48;34;43;44;24;25;26;33	100,68
Region 6	RIFIUTI	1;38;39;40;41;47;42;30;32;11;29;12;13;14;15;16;17;18;19;20;21	5 328,3

Current Slip Surface

Slip Surface: 225
F of S: 1,475
Volume: 240,03879 m³
Weight: 3 254,308 kN
Resisting Moment: 125 093,36 kN-m
Activating Moment: 84 804,739 kN-m
Resisting Force: 1 861,8704 kN
Activating Force: 1 262,2583 kN

F of S Rank (Analysis): 1 of 275 slip surfaces
F of S Rank (Query): 1 of 275 slip surfaces
Exit: (193,57988; 242,04158) m
Entry: (142,84204; 267,54158) m
Radius: 59,743303 m
Center: (191,81593; 301,75884) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
Slice 1	143,76468	266,29158	0	11,49973	7,439509	4
Slice 2	144,83388	264,855	-351,90143	27,138574	12,539782	8
Slice 3	145,06954	264,55646	-349,02543	28,411862	13,128124	8
Slice 4	146,06222	263,36763	-337,5848	31,535809	14,571589	8
Slice 5	147,86938	261,30908	-317,79367	37,155957	17,168463	8
Slice 6	149,67654	259,42789	-299,74205	41,750647	19,291507	8
Slice 7	151,4837	257,70123	-283,20578	45,590464	21,065752	8
Slice 8	153,29086	256,11145	-268,01204	48,860926	22,576917	8
Slice 9	155,09802	254,64466	-254,02437	51,68726	23,882867	8
Slice 10	156,90518	253,28965	-241,1329	54,149247	25,020465	8
Slice 11	158,70808	252,03997	-229,27351	56,286146	26,007851	8
Slice 12	160,50673	250,88761	-218,36761	58,110743	26,850933	8
Slice 13	162,30538	249,82311	-208,32329	59,613622	27,54536	8
Slice 14	164,10402	248,84115	-199,08844	60,753918	28,072251	8
Slice 15	165,90267	247,93719	-190,61868	61,467316	28,401887	8
Slice 16	167,70132	247,10738	-182,87597	61,668216	28,494716	8
Slice 17	168,69155	246,6724	-178,82771	62,499491	28,878819	8
Slice 18	169,21588	246,45711	-176,83161	65,648729	30,333972	8
Slice 19	170,49484	245,95692	-172,20729	72,288269	33,40187	8
Slice 20	172,18591	245,33966	-166,5255	80,957886	37,407795	8
Slice 21	173,87698	244,77927	-161,40139	89,321351	41,272259	8
Slice 22	174,81308	244,48619	-158,73282	92,870989	42,912421	8
Slice 23	175,66066	244,24665	-156,56998	91,108242	42,097918	8

Slice 24	177,17471	243,84263	-152,94042	88,163808	40,737398	8
Slice 25	178,68877	243,48073	-149,72403	84,285275	38,945265	8
Slice 26	180,20282	243,16018	-146,91314	79,424523	36,699282	8
Slice 27	181,53709	242,90933	-144,62162	74,338265	34,349101	8
Slice 28	183,10287	242,66276	0	67,286553	31,090752	8
Slice 29	185,07994	242,40482	0	57,048739	26,360218	8
Slice 30	187,08292	242,212	0	40,78773	26,386766	4
Slice 31	189,11268	242,08538	0	17,572765	11,368332	4
Slice 32	190,99097	242,02746	0	7,6863901	4,313401	64
Slice 33	192,71691	242,02856	0	3,5731331	2,0051488	64

SLOPE/W Analysis

Report generated using GeoStudio 2012. Copyright © 1991-2016 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

File Version: 8.15
Created By: benedetta
Last Edited By: benedetta
Revision Number: 77
Date: 30/11/2023
Time: 12:49:35
Tool Version: 8.15.6.13446
File Name: Sez. Long. Globale battente 2 m pseudost.gsz
Directory: Z:\187-2019_EGEA Project Imperia\WORK\Stabilità\SLOPE\
Last Solved Date: 01/12/2023
Last Solved Time: 10:22:45

Project Settings

Length(L) Units: Meters
Time(t) Units: Seconds
Force(F) Units: Kilonewtons
Pressure(p) Units: kPa
Strength Units: kPa
Unit Weight of Water: 9,807 kN/m³
View: 2D
Element Thickness: 1

Analysis Settings

SLOPE/W Analysis

Kind: SLOPE/W
Method: Morgenstern-Price
Settings
- Side Function
  - Interslice force function option: Half-Sine
- PWP Conditions Source: Piezometric Line
- Apply Phreatic Correction: No
- Use Staged Rapid Drawdown: No

Slip Surface
- Direction of movement: Left to Right
- Use Passive Mode: No
- Slip Surface Option: Entry and Exit
- Critical slip surfaces saved: 1
- Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °
- Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
- Optimize Critical Slip Surface Location: No
- Tension Crack
  - Tension Crack Option: (none)

F of S Distribution
- F of S Calculation Option: Constant

Advanced
- Number of Slices: 30

F of S Tolerance: 0,001
Minimum Slip Surface Depth: 0,1 m
Search Method: Root Finder
Tolerable difference between starting and converged F of S: 3
Maximum iterations to calculate converged lambda: 20
Max Absolute Lambda: 2

Materials

RIFIUTI

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 10 kN/m³
Cohesion': 10 kPa
Phi': 30 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

ARGINE TR

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion': 80 kPa
Phi': 35 °
Phi-B: 0 °

MATERIALE ANTROPICO

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion': 20 kPa
Phi': 30 °
Phi-B: 0 °

SUBSTRATO ROCCIOSO

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion': 20 kPa
Phi': 30 °
Phi-B: 0 °

COPERTURA

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion': 5 kPa
Phi': 39 °
Phi-B: 0 °

IMPERMEABILIZZAZIONE DI FONDO IN ARGILLA

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion': 0 kPa
Phi': 26 °
Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Range
Left-Zone Left Coordinate: (73,96918; 270,08315) m
Left-Zone Right Coordinate: (142,84204; 267,54158) m
Left-Zone Increment: 4
Right Projection: Range
Right-Zone Left Coordinate: (173,64064; 252,04589) m
Right-Zone Right Coordinate: (207,48263; 234,54041) m
Right-Zone Increment: 4
Radius Increments: 10

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (9,94444; 266,72097) m
Right Coordinate: (208,14946; 215,98611) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X (m)	Y (m)
Coordinate 1	51,55702	231,11951
Coordinate 2	53,25945	231,02439
Coordinate 3	180,95985	228,16278
Coordinate 4	182,11433	228,16233

Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0,13
Vert Seismic Coef.: 0,07

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	11,58562	265,04434
Point 2	9,94444	266,72097
Point 3	11,43444	267,54158
Point 4	33,70543	268,64126
Point 5	79,28057	270,27336
Point 6	126,42322	268,40087
Point 7	144,98044	267,54158
Point 8	169,6493	252,04589
Point 9	174,72252	252,04589
Point 10	190,128	242,04158
Point 11	174,90363	249,54126
Point 12	168,78246	249,54126
Point 13	157,80876	256,74144
Point 14	145,15864	265,04158
Point 15	138,89534	265,04158
Point 16	126,2891	265,90417
Point 17	79,71046	267,76597

Point 18	33,74625	266,14095
Point 19	26,89094	265,90417
Point 20	22,06345	265,62742
Point 21	194,12748	242,04158
Point 22	197,59158	234,54158
Point 23	194,70483	231,04158
Point 24	192,90483	231,04158
Point 25	186,72784	223,68328
Point 26	179,52831	223,68328
Point 27	189,12626	240,30741
Point 28	53,25945	229,02439
Point 29	55,3513	226,45003
Point 30	180,95985	226,16278
Point 31	190,45022	228,11754
Point 32	208,14886	226,95318
Point 33	208,14946	215,98611
Point 34	9,94444	215,98611
Point 35	9,94444	266,71854
Point 36	14,23143	262,34141
Point 37	15,46046	261,08584
Point 38	20,17486	261,03596
Point 39	24,37864	256,74141
Point 40	39,00927	246,56152
Point 41	208,14848	233,94332
Point 42	208,14835	234,54033
Point 43	168,60064	252,0459
Point 44	138,72485	267,54158
Point 45	34,38152	246,52253
Point 46	190,43081	228,09442
Point 47	53,25945	231,02439
Point 48	180,95985	228,16278

Regions

	Material	Points	Area (m²)
Region 1	COPERTURA	1;20;19;18;17;16;15;14;13;12;11;27;10;9;8;43;7;44;6;5;4;3;2	442,15
Region 2	ARGINE TR	27;30;26;25;46;31;24;23;22;21;10	159,06
Region 3	IMPERMEABILIZZAZIONE DI FONDO IN ARGILLA	28;29;26;30	317,31
Region 4	SUBSTRATO ROCCIOSO	25;26;29;28;40;45;39;38;37;36;1;35;34;33;32;46	2 914,6
Region 5	MATERIALE ANTROPICO	46;32;41;42;22;23;24;31	100,68
Region 6	RIFIUTI	1;36;37;38;39;45;40;28;30;27;11;12;13;14;15;16;17;18;19;20	5 328,3

Current Slip Surface

Slip Surface: 246

F of S: 1,235
Volume: 187,92696 m³
Weight: 2 716,4029 kN
Resisting Moment: 145 693,03 kN-m
Activating Moment: 117 989,79 kN-m
Resisting Force: 1 743,4141 kN
Activating Force: 1 411,5649 kN
F of S Rank (Analysis): 1 of 275 slip surfaces
F of S Rank (Query): 1 of 275 slip surfaces
Exit: (189,846; 242,22471) m
Entry: (142,84204; 267,54158) m
Radius: 73,593354 m
Center: (198,86545; 315,26327) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
Slice 1	143,91124	266,34056	0	10,46973	8,4782199	5
Slice 2	145,02609	265,09056	0	23,801287	19,273902	5
Slice 3	145,11519	264,99512	-353,3374	24,24525	13,998002	10
Slice 4	145,94927	264,13045	-345,04087	26,045852	15,03758	10
Slice 5	147,53054	262,54239	-329,81432	29,418624	16,98485	10
Slice 6	149,1118	261,04699	-315,49642	32,254716	18,622269	10
Slice 7	150,69307	259,63675	-302,0137	34,696781	20,032196	10
Slice 8	152,27433	258,30533	-289,30401	36,852793	21,27697	10
Slice 9	153,8556	257,04732	-277,3142	38,80295	22,402894	10
Slice 10	155,43686	255,85805	-265,99846	40,604357	23,442936	10
Slice 11	157,01813	254,73344	-255,317	42,294037	24,418474	10
Slice 12	158,57961	253,68255	-245,35408	43,873116	25,330155	10
Slice 13	160,12131	252,70089	-236,06572	45,341716	26,178052	10
Slice 14	161,663	251,77184	-227,29331	46,706361	26,96593	10
Slice 15	163,2047	250,89312	-219,01451	47,933795	27,674589	10
Slice 16	164,7464	250,06269	-211,20932	48,97313	28,27465	10
Slice 17	166,28809	249,27874	-203,85986	49,755902	28,726584	10
Slice 18	167,82979	248,53961	-196,95005	50,197089	28,981303	10
Slice 19	168,69155	248,14019	-193,22235	51,177627	29,547417	10

Slice 20	169,21588	247,90853	-191,0657	54,344123	31,375594	10
Slice 21	170,49484	247,36444	-186,0109	61,100916	35,27663	10
Slice 22	172,18591	246,68222	-179,69192	69,986759	40,406874	10
Slice 23	173,87698	246,04802	-173,84403	78,604763	45,382481	10
Slice 24	174,81308	245,71145	-170,74895	82,303156	47,517749	10
Slice 25	175,66066	245,42859	-168,16119	80,706621	46,595989	10
Slice 26	177,17471	244,94353	-163,73695	77,943113	45,000477	10
Slice 27	178,68877	244,49418	-159,66296	74,111269	42,788161	10
Slice 28	180,20282	244,07987	-155,93258	69,185918	39,944509	10
Slice 29	181,53709	243,74155	-152,78316	63,984764	36,941621	10
Slice 30	182,8349	243,44086	0	58,137279	33,565574	10
Slice 31	184,27603	243,13429	0	50,898832	29,386455	10
Slice 32	185,80483	242,84278	0	39,371337	31,88228	5
Slice 33	187,4213	242,56978	0	23,359909	18,916481	5
Slice 34	189,03777	242,33362	0	7,3964629	5,9895376	5

SLOPE/W Analysis

Report generated using GeoStudio 2012. Copyright © 1991-2016 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

File Version: 8.15
Created By: benedetta
Last Edited By: benedetta
Revision Number: 75
Date: 26/07/2022
Time: 13:14:17
Tool Version: 8.15.6.13446
File Name: Sez. Long. Interfaccia-Statica.gsz
Directory: Z:\187-2019_EGEA Project Imperia\WORK\Stabilità\SLOPE\
Last Solved Date: 26/07/2022
Last Solved Time: 13:14:18

Project Settings

Length(L) Units: Meters
Time(t) Units: Seconds
Force(F) Units: Kilonewtons
Pressure(p) Units: kPa
Strength Units: kPa
Unit Weight of Water: 9,807 kN/m³
View: 2D
Element Thickness: 1

Analysis Settings

SLOPE/W Analysis

Kind: SLOPE/W
Method: Morgenstern-Price
Settings
- Side Function
  - Interslice force function option: Half-Sine
- PWP Conditions Source: Piezometric Line
- Apply Phreatic Correction: No
- Use Staged Rapid Drawdown: No

Slip Surface
- Direction of movement: Left to Right
- Use Passive Mode: No
- Slip Surface Option: Fully-Specified
- Critical slip surfaces saved: 1
- Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °
- Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
- Optimize Critical Slip Surface Location: No
- Tension Crack
  - Tension Crack Option: (none)

F of S Distribution
- F of S Calculation Option: Constant

Advanced
- Number of Slices: 30
- F of S Tolerance: 0,001
- Minimum Slip Surface Depth: 0,1 m
- Search Method: Root Finder
- Tolerable difference between starting and converged F of S: 3

Maximum iterations to calculate converged lambda: 20
Max Absolute Lambda: 2

Materials

RIFIUTI

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 10 kN/m³
Cohesion': 8 kPa
Phi': 24,8 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

ARGINE TR

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion': 0 kPa
Phi': 29,3 °
Phi-B: 0 °

MATERIALE ANTROPICO

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion': 16 kPa
Phi': 24,8 °
Phi-B: 0 °

SUBSTRATO ROCCIOSO

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 1,1 kN/m³
Cohesion': 0 kPa
Phi': 11,3 °
Phi-B: 0 °

COPERTURA

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion': 4 kPa
Phi': 32,9 °
Phi-B: 0 °

IMPERMEABILIZZAZIONE DI FONDO IN ARGILLA

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 1,1 kN/m³
Cohesion': 0 kPa
Phi': 11,3 °
Phi-B: 0 °

New Material

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 1,1 kN/m³
Cohesion': 0 kPa
Phi': 11,3 °
Phi-B: 0 °

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (9,94444; 266,72097) m

Right Coordinate: (208,14946; 215,98611) m

Fully Specified Slip Surfaces

Fully Specified Slip Surface 1

	X (m)	Y (m)
	11,18	269,26
	15,21444	260,61696
	20,10931	260,55266
	33,78922	246,31012
	38,83681	246,22171
	53,06461	228,60473
	180,4737	225,32074
	210,256	238,384

Fully Specified Slip Surface 2

	X (m)	Y (m)
	13,18	269,3
	20,06944	260,46296
	33,7963	246,30787
	38,87731	246,12269
	53,06713	228,56481
	180,47851	225,32908
	204,15	239,61667

Fully Specified Slip Surface 3

	X (m)	Y (m)
	22,91066	270,16672
	38,78472	246,08796
	53,03241	228,58796
	180,48878	225,34686
	215,7	231,46667

Fully Specified Slip Surface 4

	X (m)	Y (m)
	43,384	271,06528
	70,54	228
	180,48124	225,3338
	214,8016	234,0112

Fully Specified Slip Surface 5

	X (m)	Y (m)
	12,784	269,848
	20,09259	260,42824
	33,7963	246,28472
	38,7963	246,19213
	53,06713	228,4375
	180,49074	225,35026
	181,15773	225,4366
	190,65811	242,04158
	197,09491	248,76157

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X (m)	Y (m)
Coordinate 1	11,58562	265,04434
Coordinate 2	15,58506	261,83554
Coordinate 3	20,28935	261,79398
Coordinate 4	34,49074	247,37269
Coordinate 5	39,25926	247,33796
Coordinate 6	52	232
Coordinate 7	182,74474	229,25419

Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0
Vert Seismic Coef.: 0

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	11,58562	265,04434
Point 2	9,94444	266,72097
Point 3	11,43444	267,54158
Point 4	33,70543	268,64126
Point 5	79,28057	270,27336
Point 6	126,42322	268,40087
Point 7	144,98044	267,54158
Point 8	169,6493	252,04589
Point 9	174,72252	252,04589
Point 10	190,128	242,04158
Point 11	189,12646	240,30727
Point 12	174,90363	249,54126
Point 13	168,78246	249,54126
Point 14	157,80876	256,74144
Point 15	145,15864	265,04158
Point 16	138,89534	265,04158
Point 17	126,2891	265,90417
Point 18	79,71046	267,76597
Point 19	33,74625	266,14095
Point 20	26,89094	265,90417
Point 21	22,06345	265,62742
Point 22	190,12748	242,04158
Point 23	194,12748	242,04158
Point 24	197,59158	234,54158
Point 25	194,70483	231,04158
Point 26	192,90483	231,04158
Point 27	186,72784	223,68328
Point 28	179,52831	223,68328
Point 29	189,12626	240,30741
Point 30	53,25945	229,02439
Point 31	55,3513	226,45003
Point 32	180,95985	226,16278
Point 33	190,45022	228,11754
Point 34	208,14886	226,95318

Point 35	208,14946	215,98611
Point 36	9,94444	215,98611
Point 37	9,94444	266,71854
Point 38	14,23143	262,34141
Point 39	15,46046	261,08584
Point 40	20,17486	261,03596
Point 41	24,37864	256,74141
Point 42	39,00927	246,56152
Point 43	208,14848	233,94332
Point 44	208,14835	234,54033
Point 45	168,60064	252,0459
Point 46	138,72485	267,54158
Point 47	34,38152	246,52253
Point 48	190,43081	228,09442
Point 49	191,23843	242,04158
Point 50	180,62886	223,68328

Regions

	Material	Points	Area (m²)
Region 1	COPERTURA	1;21;20;19;18;17;16;15;14;13;12;29;22;10;9;8;45;7;46;6;5;4;3;2	442,15
Region 2	IMPERMEABILIZZAZIONE DI FONDO IN ARGILLA	30;31;28;32	317,31
Region 3	SUBSTRATO ROCCIOSO	27;50;28;31;30;42;47;41;40;39;38;1;37;36;35;34;48	2 914,6
Region 4	MATERIALE ANTROPICO	48;34;43;44;24;25;26;33	100,68
Region 5	RIFIUTI	1;38;39;40;41;47;42;30;32;11;29;12;13;14;15;16;17;18;19;20;21	5 328,3
Region 6	New Material	28;50;49;10;22;11;32	20,297
Region 7	ARGINE TR	29;11;22	0,0002435
Region 8	ARGINE TR	27;48;33;26;25;24;23;49;50	138,77

Current Slip Surface

Slip Surface: 3
F of S: 2,041
Volume: 5 894,0639 m³
Weight: 63 074,559 kN
Resisting Moment: 895 245,49 kN-m
Activating Moment: 438 685,19 kN-m
Resisting Force: 14 296,039 kN
Activating Force: 7 006,0577 kN
F of S Rank (Analysis): 1 of 5 slip surfaces
F of S Rank (Query): 1 of 5 slip surfaces
Exit: (208,14869; 230,15423) m
Entry: (24,224939; 268,17314) m
Radius: 82,556825 m
Center: (122,08098; 277,67787) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)

Slice 1	24,994162	267,00633	0	12,59076	8,1453277	4
Slice 2	26,327162	264,98436	-91,417728	34,09089	15,752202	8
Slice 3	30,298185	258,96086	-71,892166	78,555636	36,297799	8
Slice 4	33,72584	253,76158	-55,038348	116,07337	53,633428	8
Slice 5	34,118495	253,16598	-53,107659	120,20406	55,542071	8
Slice 6	36,222563	249,9744	-25,638663	142,07015	65,645627	8
Slice 7	38,214936	246,95224	3,8573168	163,41636	73,726625	8
Slice 8	38,630104	246,32249	0	195,61081	39,086897	0
Slice 9	38,896995	245,95006	0	202,6489	40,493246	0
Slice 10	39,134265	245,65862	0	203,86191	40,73563	0
Slice 11	42,444445	241,59283	0	234,93804	46,945253	0
Slice 12	48,814815	233,7683	0	292,92812	58,532814	0
Slice 13	52,516205	229,222	0	325,66032	65,073352	0
Slice 14	53,14593	228,58507	0	406,88202	81,303051	0
Slice 15	53,442901	228,57752	0	408,38217	81,602811	0
Slice 16	56,83313	228,49131	0	411,53799	82,233406	0
Slice 17	63,246684	228,32822	0	417,57695	83,440108	0
Slice 18	69,660239	228,16513	0	423,68372	84,66036	0
Slice 19	76,073793	228,00204	0	429,81519	85,88555	0
Slice 20	79,495515	227,91503	0	432,7885	86,479675	0
Slice 21	82,621625	227,83553	0	433,24111	86,570115	0
Slice 22	88,443955	227,68748	0	434,28171	86,778048	0
Slice 23	94,266285	227,53942	0	435,23561	86,968656	0
Slice 24	100,08862	227,39136	0	436,07772	87,136927	0
Slice 25	105,91095	227,24331	0	436,78523	87,2783	0
Slice 26	111,73328	227,09525	0	437,33792	87,388739	0
Slice 27	117,55561	226,94719	0	437,71848	87,464783	0
Slice 28	123,445	226,79743	0	437,87824	87,496705	0
Slice 29	129,49863	226,64349	0	436,95538	87,312301	0
Slice 30	135,64944	226,48708	0	434,76316	86,874252	0
Slice 31	141,85265	226,32934	0	434,67409	86,856454	0
Slice 32	148,23207	226,16712	0	414,49169	82,823613	0
Slice 33	154,64623	226,00401	0	373,19539	74,571797	0

Slice 34	160,50673	225,85499	0	335,82141	67,10374	0
Slice 35	165,90267	225,71777	0	301,35946	60,217563	0
Slice 36	168,69155	225,64685	0	284,6178	56,872248	0
Slice 37	169,21588	225,63352	0	285,20662	56,989907	0
Slice 38	172,18591	225,55799	0	285,79755	57,107985	0
Slice 39	177,60565	225,42018	0	267,53843	53,459454	0
Slice 40	180,72431	225,3878	0	256,67628	51,288982	0
Slice 41	181,33656	225,49421	0	246,18616	49,19285	0
Slice 42	182,229	225,64932	0	252,13759	141,49301	0
Slice 43	186,08671	226,3198	0	270,07855	151,56101	0
Slice 44	189,77834	226,96141	0	261,65417	52,283661	0
Slice 45	190,27941	227,0485	0	251,53468	50,261588	0
Slice 46	190,83462	227,145	0	266,95782	53,343437	0
Slice 47	192,07163	227,35999	0	281,79001	56,307201	0
Slice 48	193,51616	227,61105	0	283,63616	56,676098	0
Slice 49	194,41925	227,76802	0	271,77928	54,306859	0
Slice 50	196,1513	228,06905	0	201,97209	93,324208	16
Slice 51	200,23077	228,77807	0	124,3604	57,46257	16
Slice 52	205,50916	229,69547	0	103,18056	47,67611	16
Slice 53	208,14842	230,15418	0	86,521061	39,978343	16
Slice 54	208,14858	230,15421	0	40,862395	18,881077	16

SLOPE/W Analysis

Report generated using GeoStudio 2012. Copyright © 1991-2016 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

File Version: 8.15
Created By: benedetta
Last Edited By: benedetta
Revision Number: 88
Date: 26/07/2022
Time: 13:06:51
Tool Version: 8.15.6.13446
File Name: Sez. Long. Interfaccia-Sismica.gsz
Directory: Z:\187-2019_EGEA Project Imperia\WORK\Stabilità\SLOPE\
Last Solved Date: 26/07/2022
Last Solved Time: 13:06:52

Project Settings

Length(L) Units: Meters
Time(t) Units: Seconds
Force(F) Units: Kilonewtons
Pressure(p) Units: kPa
Strength Units: kPa
Unit Weight of Water: 9,807 kN/m³
View: 2D
Element Thickness: 1

Analysis Settings

SLOPE/W Analysis

Kind: SLOPE/W
Method: Morgenstern-Price
Settings
    Side Function
        Interslice force function option: Half-Sine
    PWP Conditions Source: Piezometric Line
    Apply Phreatic Correction: No
    Use Staged Rapid Drawdown: No
Slip Surface
    Direction of movement: Left to Right
    Use Passive Mode: No
    Slip Surface Option: Fully-Specified
    Critical slip surfaces saved: 1
    Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °
    Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
    Optimize Critical Slip Surface Location: No
    Tension Crack
        Tension Crack Option: (none)
F of S Distribution
    F of S Calculation Option: Constant
Advanced
    Number of Slices: 30
    F of S Tolerance: 0,001
    Minimum Slip Surface Depth: 0,1 m
    Search Method: Root Finder
    Tolerable difference between starting and converged F of S: 3

Maximum iterations to calculate converged lambda: 20
Max Absolute Lambda: 2

Materials

RIFIUTI

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 10 kN/m³
Cohesion': 10 kPa
Phi': 30 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

ARGINE TR

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion': 0 kPa
Phi': 35 °
Phi-B: 0 °

MATERIALE ANTROPICO

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion': 20 kPa
Phi': 30 °
Phi-B: 0 °

SUBSTRATO ROCCIOSO

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 1,1 kN/m³
Cohesion': 0 kPa
Phi': 14 °
Phi-B: 0 °

COPERTURA

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion': 5 kPa
Phi': 39 °
Phi-B: 0 °

IMPERMEABILIZZAZIONE DI FONDO IN ARGILLA

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 1,1 kN/m³
Cohesion': 0 kPa
Phi': 14 °
Phi-B: 0 °

New Material

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 1,1 kN/m³
Cohesion': 0 kPa
Phi': 14 °
Phi-B: 0 °

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (9,94444; 266,72097) m

Right Coordinate: (208,14946; 215,98611) m

Fully Specified Slip Surfaces

Fully Specified Slip Surface 1

	X (m)	Y (m)
	11,18	269,26
	15,21444	260,61696
	20,10931	260,55266
	33,78922	246,31012
	38,83681	246,22171
	53,06461	228,60473
	180,4737	225,32074
	210,256	238,384

Fully Specified Slip Surface 2

	X (m)	Y (m)
	13,18	269,3
	20,06944	260,46296
	33,7963	246,30787
	38,87731	246,12269
	53,06713	228,56481
	180,47851	225,32908
	204,15	239,61667

Fully Specified Slip Surface 3

	X (m)	Y (m)
	22,91066	270,16672
	38,78472	246,08796
	53,03241	228,58796
	180,48878	225,34686
	215,7	231,46667

Fully Specified Slip Surface 4

	X (m)	Y (m)
	43,384	271,06528
	70,54	228
	180,48124	225,3338
	214,8016	234,0112

Fully Specified Slip Surface 5

	X (m)	Y (m)
	12,784	269,848
	20,09259	260,42824
	33,7963	246,28472
	38,7963	246,19213
	53,06713	228,4375
	180,49074	225,35026
	181,15773	225,4366
	190,65811	242,04158
	197,09491	248,76157

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X (m)	Y (m)
Coordinate 1	11,58562	265,04434
Coordinate 2	15,58506	261,83554
Coordinate 3	20,28935	261,79398
Coordinate 4	34,49074	247,37269
Coordinate 5	39,25926	247,33796
Coordinate 6	52	232
Coordinate 7	182,74474	229,25419

Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0,13
Vert Seismic Coef.: -0,07

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	11,58562	265,04434
Point 2	9,94444	266,72097
Point 3	11,43444	267,54158
Point 4	33,70543	268,64126
Point 5	79,28057	270,27336
Point 6	126,42322	268,40087
Point 7	144,98044	267,54158
Point 8	169,6493	252,04589
Point 9	174,72252	252,04589
Point 10	190,128	242,04158
Point 11	189,12646	240,30727
Point 12	174,90363	249,54126
Point 13	168,78246	249,54126
Point 14	157,80876	256,74144
Point 15	145,15864	265,04158
Point 16	138,89534	265,04158
Point 17	126,2891	265,90417
Point 18	79,71046	267,76597
Point 19	33,74625	266,14095
Point 20	26,89094	265,90417
Point 21	22,06345	265,62742
Point 22	190,12748	242,04158
Point 23	194,12748	242,04158
Point 24	197,59158	234,54158
Point 25	194,70483	231,04158
Point 26	192,90483	231,04158
Point 27	186,72784	223,68328
Point 28	179,52831	223,68328
Point 29	189,12626	240,30741
Point 30	53,25945	229,02439
Point 31	55,3513	226,45003
Point 32	180,95985	226,16278
Point 33	190,45022	228,11754
Point 34	208,14886	226,95318

Point 35	208,14946	215,98611
Point 36	9,94444	215,98611
Point 37	9,94444	266,71854
Point 38	14,23143	262,34141
Point 39	15,46046	261,08584
Point 40	20,17486	261,03596
Point 41	24,37864	256,74141
Point 42	39,00927	246,56152
Point 43	208,14848	233,94332
Point 44	208,14835	234,54033
Point 45	168,60064	252,0459
Point 46	138,72485	267,54158
Point 47	34,38152	246,52253
Point 48	190,43081	228,09442
Point 49	191,23843	242,04158
Point 50	180,62886	223,68328

Regions

	Material	Points	Area (m²)
Region 1	COPERTURA	1;21;20;19;18;17;16;15;14;13;12;29;22;10;9;8;45;7;46;6;5;4;3;2	442,15
Region 2	IMPERMEABILIZZAZIONE DI FONDO IN ARGILLA	30;31;28;32	317,31
Region 3	SUBSTRATO ROCCIOSO	27;50;28;31;30;42;47;41;40;39;38;1;37;36;35;34;48	2 914,6
Region 4	MATERIALE ANTROPICO	48;34;43;44;24;25;26;33	100,68
Region 5	RIFIUTI	1;38;39;40;41;47;42;30;32;11;29;12;13;14;15;16;17;18;19;20;21	5 328,3
Region 6	New Material	28;50;49;10;22;11;32	20,297
Region 7	ARGINE TR	29;11;22	0,0002435
Region 8	ARGINE TR	27;48;33;26;25;24;23;49;50	138,77

Current Slip Surface

Slip Surface: 3
F of S: 1,268
Volume: 5 894,0639 m³
Weight: 63 074,559 kN
Resisting Moment: 1 014 276,2 kN-m
Activating Moment: 799 933,24 kN-m
Resisting Force: 16 680,573 kN
Activating Force: 13 160,088 kN
F of S Rank (Analysis): 1 of 5 slip surfaces
F of S Rank (Query): 1 of 5 slip surfaces
Exit: (208,14869; 230,15423) m
Entry: (24,224939; 268,17314) m
Radius: 82,556825 m
Center: (122,08098; 277,67787) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)

Slice 1	24,994162	267,00633	0	7,1739019	5,8093112	5
Slice 2	26,327162	264,98436	-91,417728	21,302688	12,299113	10
Slice 3	30,298185	258,96086	-71,892166	52,951586	30,571612	10
Slice 4	33,72584	253,76158	-55,038348	78,990433	45,605148	10
Slice 5	34,118495	253,16598	-53,107659	81,786568	47,219497	10
Slice 6	36,222563	249,9744	-25,638663	96,399563	55,656314	10
Slice 7	38,214936	246,95224	3,8573168	111,21539	61,983211	10
Slice 8	38,630104	246,32249	0	146,77195	36,594358	0
Slice 9	38,896995	245,95006	0	156,25646	38,959111	0
Slice 10	39,134265	245,65862	0	156,90546	39,120925	0
Slice 11	42,444445	241,59283	0	176,65098	44,044035	0
Slice 12	48,814815	233,7683	0	211,91458	52,836239	0
Slice 13	52,516205	229,222	0	231,01963	57,599664	0
Slice 14	53,14593	228,58507	0	358,98415	89,504802	0
Slice 15	53,442901	228,57752	0	360,41066	89,860469	0
Slice 16	56,83313	228,49131	0	363,78856	90,702675	0
Slice 17	63,246684	228,32822	0	370,46101	92,366304	0
Slice 18	69,660239	228,16513	0	377,50763	94,123223	0
Slice 19	76,073793	228,00204	0	384,87092	95,959097	0
Slice 20	79,495515	227,91503	0	388,6233	96,894671	0
Slice 21	82,621625	227,83553	0	390,02781	97,244856	0
Slice 22	88,443955	227,68748	0	392,95175	97,973875	0
Slice 23	94,266285	227,53942	0	395,94913	98,721207	0
Slice 24	100,08862	227,39136	0	398,95941	99,471752	0
Slice 25	105,91095	227,24331	0	401,92099	100,21016	0
Slice 26	111,73328	227,09525	0	404,77302	100,92125	0
Slice 27	117,55561	226,94719	0	407,45703	101,59045	0
Slice 28	123,445	226,79743	0	409,91228	102,20261	0
Slice 29	129,49863	226,64349	0	411,33095	102,55632	0
Slice 30	135,64944	226,48708	0	411,46926	102,59081	0
Slice 31	141,85265	226,32934	0	413,40521	103,0735	0
Slice 32	148,23207	226,16712	0	396,51451	98,862172	0
Slice 33	154,64623	226,00401	0	359,78944	89,705582	0

Slice 34	160,50673	225,85499	0	326,3637	81,371608	0
Slice 35	165,90267	225,71777	0	295,36023	73,641576	0
Slice 36	168,69155	225,64685	0	280,26944	69,879019	0
Slice 37	169,21588	225,63352	0	280,89519	70,035037	0
Slice 38	172,18591	225,55799	0	281,85193	70,273578	0
Slice 39	177,60565	225,42018	0	265,51122	66,199383	0
Slice 40	180,72431	225,3878	0	269,95821	67,30814	0
Slice 41	181,33656	225,49421	0	259,36178	64,666155	0
Slice 42	182,229	225,64932	0	298,18793	208,79343	0
Slice 43	186,08671	226,3198	0	306,82744	214,84288	0
Slice 44	189,77834	226,96141	0	262,30428	65,399803	0
Slice 45	190,27941	227,0485	0	252,2107	62,883191	0
Slice 46	190,83462	227,145	0	266,76434	66,511819	0
Slice 47	192,07163	227,35999	0	280,26177	69,877107	0
Slice 48	193,51616	227,61105	0	281,06318	70,076921	0
Slice 49	194,41925	227,76802	0	269,0521	67,082222	0
Slice 50	196,1513	228,06905	0	214,00869	123,55797	20
Slice 51	200,23077	228,77807	0	130,47654	75,330666	20
Slice 52	205,50916	229,69547	0	104,10702	60,106215	20
Slice 53	208,14842	230,15418	0	85,539061	49,386	20
Slice 54	208,14858	230,15421	0	41,242896	23,811597	20