

PROVINCIA DI AREZZO
COMUNE DI LATERINA



RIFACIMENTO DEL PONTE CATOLFI IN COMUNE DI LATERINA

COMMITTENTE

COMUNE DI LATERINA
via Trento , 21
52020 Laterina (AR)

CODICE COMMESSA 2 | 0 | 1 | 6 | _ | 0 | 1 | 2 |

LIVELLO PROGETTO ESECUTIVO

DATA GIUGNO 2017

OGGETTO DELL'ELABORATO

VERIFICHE DI STABILITA'
GABBIONI METALLICI

N. ELABORATO / TAVOLA

f.3

SCALA

REVISIONI

0	Prima emissione	30.06.2017
1	Aggiornamento prescrizioni validatore e Genio Civile	03.10.2017
2	Prescrizioni 2°validazione intermedia	16.10.2017
3		
4		

NOME FILE 2016_012_PEGETRE_f.5_Verifiche stabilita_R2

VERIFICATO FL

REDATTO MB

PROGETTISTA

ING. MICHELE TITTON



Cartiglio n.002 rev. 05 del 01.01.2012

PROGETTISTA DELLE STRUTTURE

ING. CARLO TITTON



its
engineering company

ITS srl
Corte delle Canne, 11
31053 Pieve di Soligo (TV) Via del Castello, 12
32043 Cortina d'Ampezzo (BL)
Tel.0438 82082 - Fax. 0438 980622 Tel.0436 5220 - Fax. 0438 980622 C.F. & P.IVA 02146140260
REA 351225 - Cap. Soc. € 100.000,00 i.v.
info@its-engineering.com

INDICE

1	PREMessa	2
2	TECNOLOGIA E CALCOLO DELLA TERRA RINFORZATA	4
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
4	MATERIALI IMPIEGATI	6
4.1	TERRE RINFORZATE: ELEMENTI TIPO TERRAMESH SYSTEM.....	6
5	PROCEDIMENTO DI CALCOLO	6
6	TEORIA E METODO DI CALCOLO	6
6.1	METODI UTILIZZATI NEL CODICE.....	7
6.2	GENERAZIONE DELLE SUPERFICI DI ROTTURA.....	7
6.3	MODELLO RIGIDO	8
7	CRITERI PROGETTUALI SULLA BASE DEL NUOVO TESTO UNICO SULLE COSTRUZIONI. (D.MIN. 14/01/2008)	10
7.1	VERIFICHE STATICHE.....	10
8	IPOTESI DI CALCOLO	12
8.1	CRITERI DI CALCOLO	13
8.1.1	Stati limite ultimi	13
8.1.2	Verifica di stabilità globale.....	14
8.1.3	Verifica di stabilità interna.....	14
8.1.4	Verifica di ribaltamento dell'opera di sostegno	14
8.1.5	Verifica allo scorrimento sul piano di posa dell'opera di sostegno.....	15
8.1.6	Verifica della capacità portante dell'opera di sostegno.....	15
9	RILEVATO STRUTTURALE E CONTROLLI.....	15

1 PREMESSA

La presente relazione tecnica è stata redatta nell'ambito dei lavori per il ripristino del Ponte Catolfi, ubicato nel territorio comunale di Laterina in provincia di Arezzo.

Qui di seguito sono illustrate le metodologie di calcolo inerenti alle verifiche di stabilità e come muro di sostegno effettuate sulle sezioni rappresentative per le quali è stata sviluppata una serie di report di verifica riportati negli allegati.

GABBIONI METALLICI

I gabbioni metallici saranno riempiti con pietrame di pezzatura 20x30cm (tavola di riferimento d.1.7) e utilizzati come opere di contenimento delle scarpate laterali Ovest ed Est del rilevato stradale a ridosso delle spalle destra e sinistra del ponte Catolfi. Essi saranno costituiti da singole unità di dimensioni (100x200xH100cm) combinate fra loro come specificato in tavola “d.1.6_opere di difesa idraulica”. Il posizionamento delle varie gabbionate fa riferimento alla tavola “d.1.6_opere di difesa idraulica” e tavola “d.1.4 SDP”.

In particolare la gabbionata localizzata a Nord-Est del ponte (spalla destra) sarà costituita da due file sovrapposte, quella inferiore formata da 7 unità e quella superiore da 6 unità, con un'estensione complessiva di 14 metri per un'altezza complessiva di 2 metri.

La gabbionata localizzata a Nord-Ovest (spalla destra) sarà costituita da due file sovrapposte, quella inferiore formata da 7 unità e quella superiore da 6 unità, con un'estensione complessiva di 14 metri per un'altezza complessiva di 2 metri.

La gabbionata localizzata a Sud-Ovest (spalla sinistra) sarà costituita da due file sovrapposte, quella inferiore formata da 4 unità e quella superiore da 3 unità, con un'estensione complessiva di 8 metri per un'altezza complessiva di 2 metri.

Nelle figure sottostanti sono indicati i posizionamenti delle gabbionate rispettivamente verso la spalla destra e la spalla sinistra. Nella tavola grafica sono indicate anche dei gabbioni sommitali per una estensione in pianta di 3x2 metri, gli stessi non hanno alcun funzione di sostegno ma solo di riempimento con funzione "estetica" formato tra la soletta del ponte ed il rilevato stradale nella parte terminale.

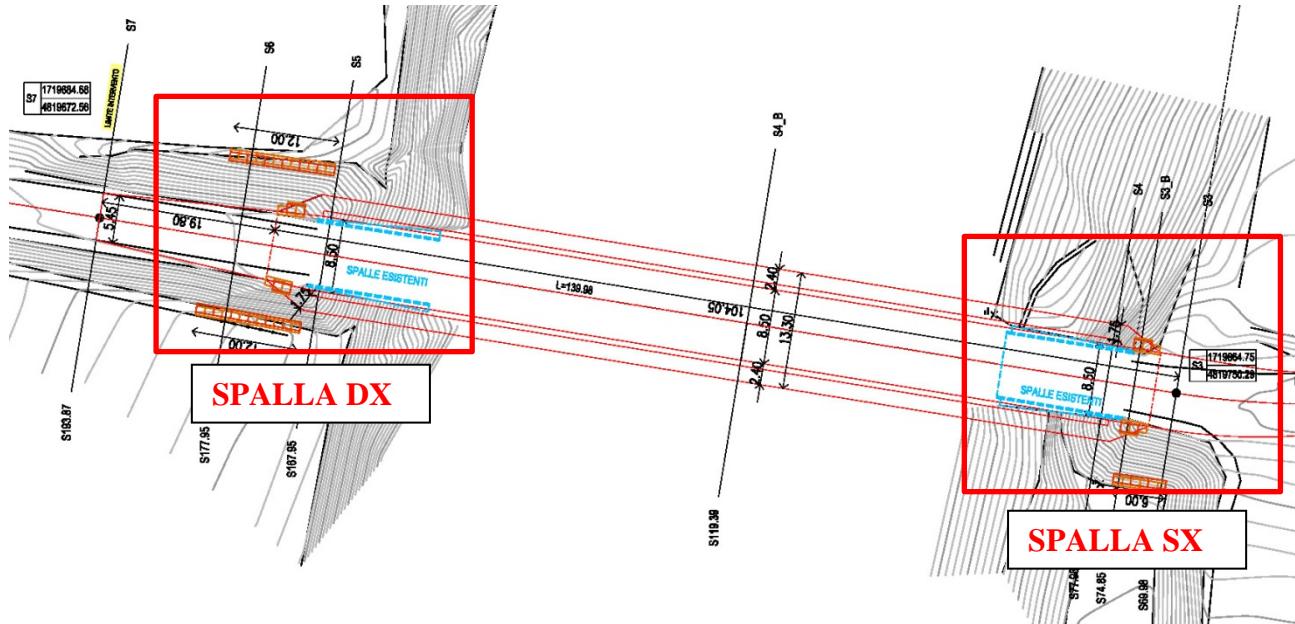
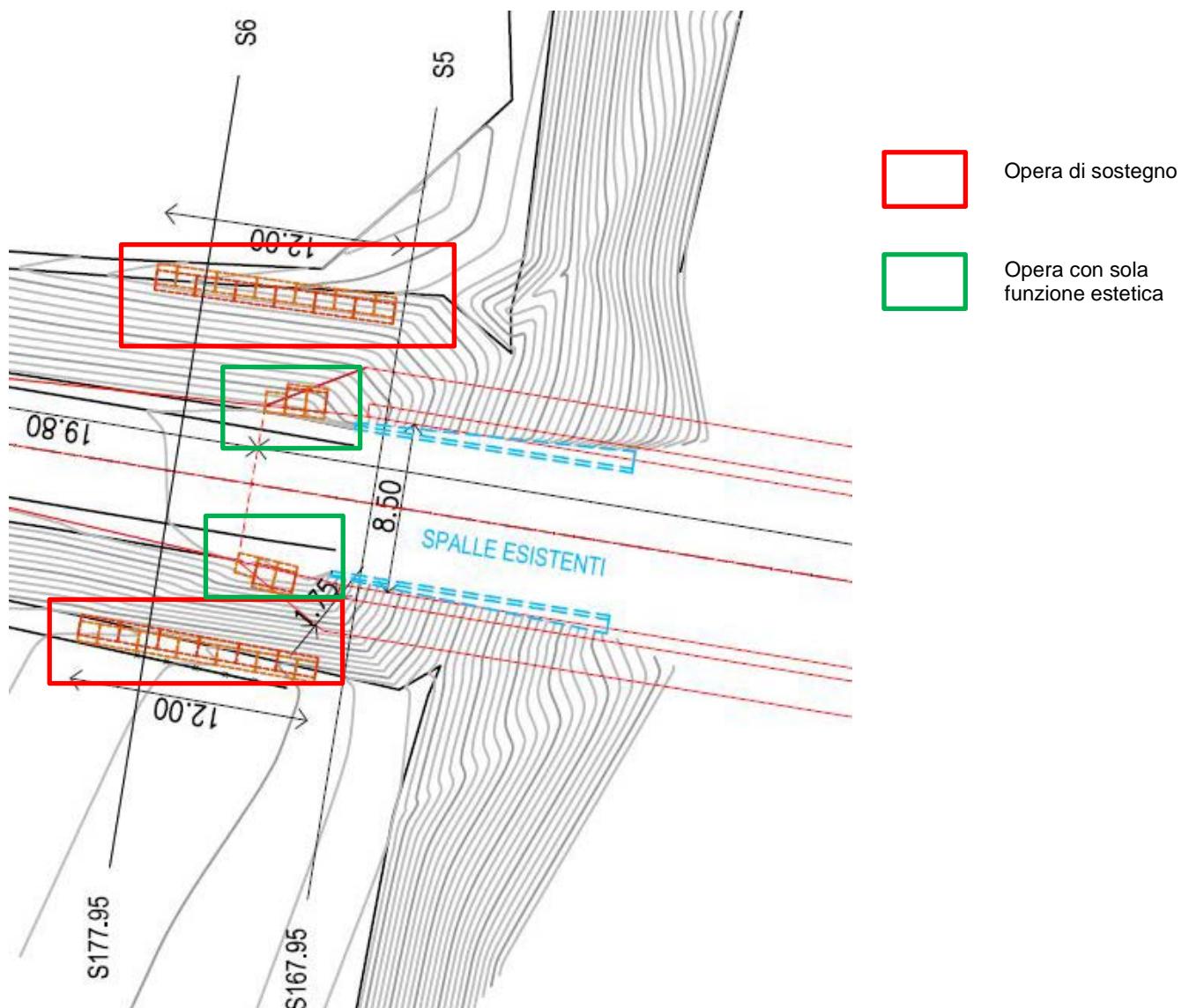


Figura 1 - Planimetria generale.



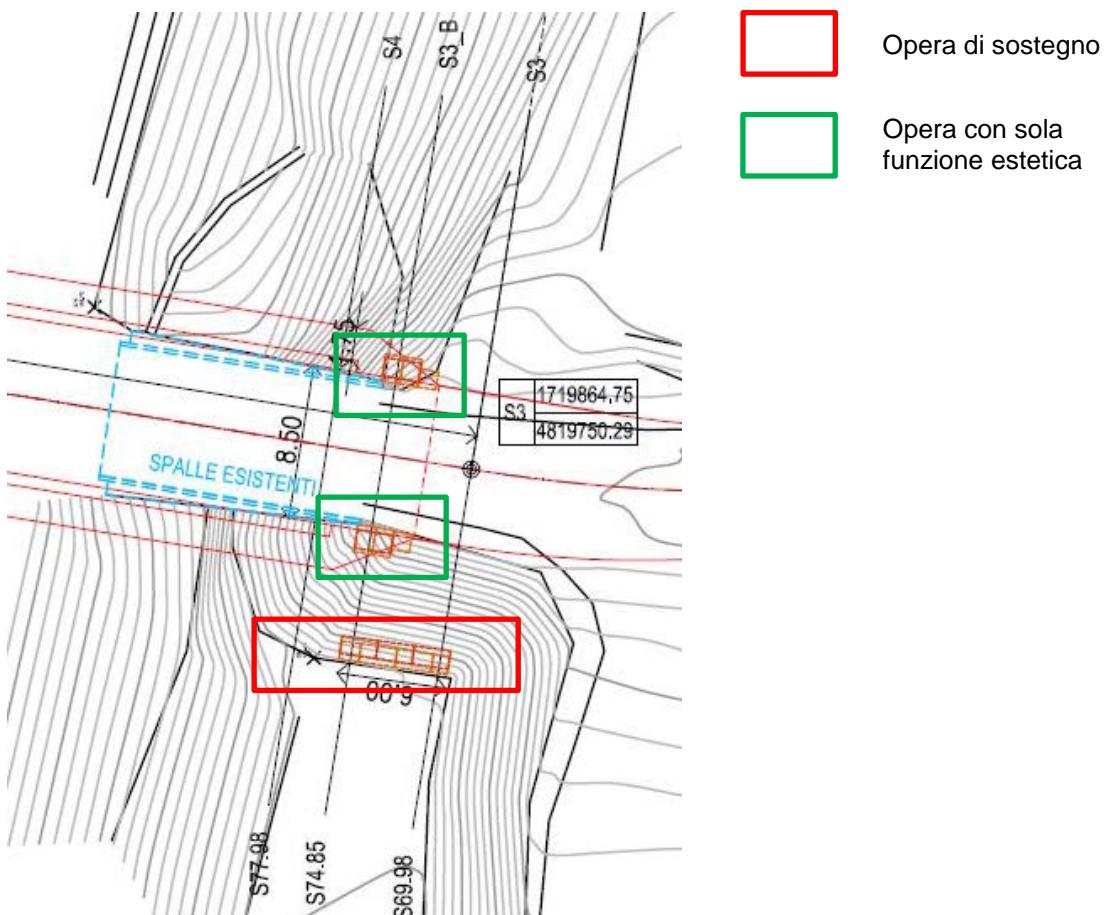


Figura 3 - Planimetria stradale, spalla sx.

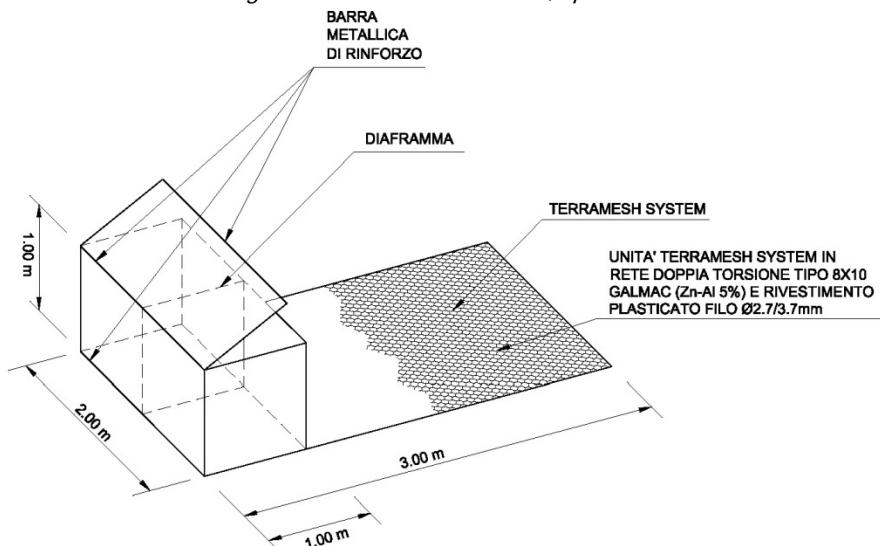


Figura 4 - Dettaglio tipologico terra rinforzata con paramento in gabbioni metallici (rif 2016_012_PEARCDCd.1.7_gabbioni metallici).

2 TECNOLOGIA E CALCOLO DELLA TERRA RINFORZATA

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

Così facendo, il regime di sollecitazioni che s'instaura nel rilevato strutturale con l'aumentare dei carichi, è tale da mobilitare la resistenza a trazione dei rinforzi in virtù della propria aderenza per attrito con il terreno.

Il terreno che costituisce il rilevato strutturale, invece, offrirà il suo contributo di resistenza alla compressione per effetto dei carichi verticali.

Nella progettazione di queste strutture è pertanto necessario individuare i meccanismi di rottura potenziali nel terreno al fine di valutare il contributo di stabilità offerto dalla presenza dei rinforzi.

Il dimensionamento di una struttura in terra rinforzata implica pertanto la scelta corretta della lunghezza e della spaziatura verticale dei rinforzi necessarie a garantire la stabilità, noti che siano i parametri geotecnici del rilevato strutturale (angolo d'attrito, peso specifico) e le caratteristiche meccaniche dei rinforzi (carico rottura, coeff. aderenza con il terreno).

I meccanismi di scivolamento schematizzati nel calcolo saranno in generale diversi secondo le caratteristiche dei rinforzi e soprattutto della geometria e della stratigrafia della scarpata.

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Nuove Norme tecniche sulle Costruzioni Approvate con D. Min. 14/01/2008
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche"
- Eurocodice 7 "Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali", aprile 1997.
- Eurocodice 8 "Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 1: Regole generali - azioni sismiche e requisiti generali per le strutture", ottobre 1997.
- Eurocodice 8 "Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici", febbraio 1998.
- UNI EN 14475 - Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Terra rinforzata
- UNI 10006 - Costruzione e manutenzione delle strade - Tecniche di impiego delle terre
- ASTM D 3282 - Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes
- UNI EN 13242 - Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade
- UNI EN 13285 - Miscele non legate - Specifiche
- UNI EN ISO 14688-1 - Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Identificazione e descrizione
- D.M. 11.03.1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- D.M. 16.01.1996 "Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".
- Circolare 156 del 04.07.1996 "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".
- D.M. 16.01.1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".
- Eurocodice 1 "Basi di calcolo e azioni sulle strutture - Parte 1: Basi di calcolo", ottobre 1996.
- Ordinanza 3274 del 20/03/03 del Consiglio dei Ministri – Allegato 1 – "Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – Individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone".
- Ordinanza 3274 del 20/03/03 del Consiglio dei Ministri – Allegato 4 – "Norme Tecniche per il progetto sismico delle opere di fondazione e sostegno dei terreni".
- Ordinanza n.3316 - Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20.03.03.

4 MATERIALI IMPIEGATI

4.1 Terre rinforzate: ELEMENTI TIPO TERRAMESH SYSTEM

La struttura di sostegno in terra rinforzata è prodotta in accordo con il regolamento 305/2011 (ex. Direttiva Europea 89/106/CEE), conforme alle “Linee Guida per la certificazione di idoneità tecnica all’impiego e l’utilizzo di prodotti in rete metallica a doppia torsione”, approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con parere nr. 69 (2013) e con UNI EN 10223-3:2013 e provvisti di marcatura CE in conformità con ETA-13/0295. La struttura è costituita da rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale, tipo 8x10, tessuta con filo d'acciaio, protetto con lega eutettica Zn-Al 5% e un ulteriore rivestimento polimerico a elevate prestazioni. La rete metallica a doppia torsione in maglia esagonale deve essere tessuta da filo d'acciaio con resistenza a trazione di 350-550 N/mm², in conformità a quanto previsto dalla UNI-EN 10223-3:2013. Le tolleranze sul filo devono essere in accordo alla UNI-EN 10218 (Classe T1). Il filo deve essere rivestito con lega eutettica di Zinco-alluminio 5% e con ulteriore rivestimento polimerico di spessore nominale 0,5 mm a protezione ulteriore in ambienti aggressivi.

5 PROCEDIMENTO DI CALCOLO

Il programma MAC.ST.A.R.S. permette di verificare la stabilità di pendii rinforzati realizzati con il Sistema Terramesh e non solo.

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

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

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

Nel calcolo sono state ipotizzate superficie di scorrimento circolari.

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

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

6 TEORIA E METODO DI CALCOLO

Le verifiche di stabilità globale e interna fanno riferimento ai metodi di stabilità all'equilibrio limite.

La porzione di terreno soggetta a rottura è divisa in conci e per ciascuno di questi si calcolano le forze alle quali sono assoggettate: forze esterne, peso, reazioni alla base e forze di contatto tra concio e concio.

Il numero di incognite che si ottengono è superiore al numero delle equazioni che si possono scrivere, che derivano da considerazioni di equilibrio, e quindi il problema si presenta iperstatico. Affinché si possa ottenere una soluzione è necessario porre delle semplificazioni. Tale problema è stato affrontato da diversi autori, che adottando diverse ipotesi sono giunti a differenti soluzioni: Fellenius, Bishop, Janbu, Spencer, Morgenstern e Price, Sarma, ed altri.

In tutti i metodi si utilizzano delle assunzioni comuni:

Relazione di calcolo terra rinforzata e gabbioni

- il pendio è analizzato in condizioni di deformazione piana, cioè si considera che le dimensioni longitudinali siano molto maggiori di quelle trasversali, così da trascurare gli effetti di bordo
- il coefficiente di sicurezza lungo una superficie è inteso come il fattore per il quale dividere i parametri di resistenza per portare il pendio alle condizioni di equilibrio limite ed è assunto costante lungo tutta la superficie di potenziale scivolamento
- l'equilibrio dell'intera porzione di terreno è studiato come sommatoria delle condizioni di equilibrio dei singoli conci

Nel seguito si descrivono alcune caratteristiche del codice MACSTARS W

6.1 Metodi utilizzati nel codice

Nel codice di calcolo di MACSTARS W si utilizzano i metodi semplificati di Bishop e Janbu.

In entrambi i metodi il criterio di rottura adottato è quello di Mohr-Coulomb:

$$\tau = c + (\sigma - u) \cdot \tan(\varphi')$$

dove:

τ = tensione tangenziale massima

c = coesione

σ = pressione normale totale

u = pressione interstiziale

φ' = angolo di attrito

Applicando al valore della tensione tangenziale massima il coefficiente di sicurezza si ottiene la forza tangenziale mobilitata.

6.2 Generazione delle superfici di rottura

Nel codice di calcolo MACSTARS W è possibile assegnare una superficie di scorrimento mediante le coordinate (da utilizzare quando siano acquisite informazioni tali da conoscere la posizione della superficie di rottura del pendio) oppure è possibile far eseguire una ricerca della superficie di potenziale scorrimento, cioè la ricerca di quella superficie che presenta il coefficiente di sicurezza minore e quindi la superficie che presenta la maggiore probabilità di generare un collasso del pendio, qualora uno o più parametri di resistenza fossero inferiori a quelli del calcolo o i carichi fossero superiori.

La generazione delle superfici può essere di due tipi:

- superfici circolari
- superfici casuali

Il metodo di calcolo associabile alle superfici generate è: Bishop per superfici circolari, Janbu per superfici circolari e casuali.

Nel caso di superficie assegnata è possibile il calcolo sia con il metodo di Janbu che con il metodo di Bishop, ma in questo caso la forma della superficie deve essere prossima a un arco di circonferenza.

Caratteristiche del metodo semplificato di Bishop sono:

- vale solo per superfici circolari e quasi circolari, cioè superfici che vengono assimilate a superfici circolari adottando un centro di rotazione fittizio
- ipotizza che le forze di interazione tra i conci siano solo orizzontali
- ottiene il coefficiente di sicurezza mediante scrittura della condizione di equilibrio alla rotazione intorno al centro della circonferenza
- non soddisfa l'equilibrio globale in direzione orizzontale

Caratteristiche del metodo semplificato di Janbu sono:

- vale per superfici di forma qualsiasi
- ipotizza inizialmente che le forze di interazione tra i conci siano solo orizzontali
- ottiene il coefficiente di sicurezza mediante scrittura della condizione di equilibrio alla traslazione verticale e quindi orizzontale
- consente di tenere in conto le forze di interazione verticali (tangenziale) tra i conci mediante applicazione al precedente coefficiente di sicurezza di un fattore correttivo che dipende dalla geometria del problema e dal tipo di terreno
- non soddisfa l'equilibrio globale alla rotazione del cuneo

Carichi dinamici dovute a forze di natura sismica

MACSTARS W riconduce il calcolo in presenza di carichi sismici al metodo pseudostatico, introducendo nel calcolo forze di massa in direzione orizzontale ed in direzione verticale, ottenute moltiplicando il peso totale di ogni concio per i due coefficienti di intensità sismica.

Valori positivi dei coefficienti di intensità sismica, **che vanno espressi come % di g**, danno luogo a forze orientate verso l'esterno del pendio e verso l'alto.

Per tenere conto dell'effetto dei rinforzi è stato implementato un modello di comportamento rigido.

6.3 MODELLO RIGIDO

Nel modello rigido si ipotizza che un qualsiasi rinforzo, che attraversi la superficie di potenziale scorrimento analizzata, fornisca la forza di rottura del rinforzo penalizzata del relativo coefficiente di sicurezza, indipendentemente dai valori di rigidità dei rinforzi stessi.

Per ciascun rinforzo devono essere verificate le seguenti condizioni:

deve essere garantito un ancoraggio minimo;

deve essere garantito lo sfilamento nella zona di ancoraggio;

deve essere garantito lo sfilamento all'interno della porzione di terreno instabile.

Nel primo caso una lunghezza di ancoraggio inferiore al minimo stabilito comporta l'annullamento completo della trazione nel rinforzo. Nel secondo e terzo caso la trazione nel rinforzo viene limitata al minore dei due valori di sfilamento.

Il calcolo delle forze ultime di sfilamento viene eseguito con il seguente procedimento, che si basa sulla considerazione che in tutti i punti del rinforzo sia raggiunta la condizione ultima (τ_u).

Sfilamento esterno (tratto di ancoraggio)

La zona di ancoraggio viene suddivisa in tratti e per ciascun tratto si calcola il valore della tensione tangenziale ultima (τ_u) dalla seguente relazione:

$$\tau_u = f \cdot \sigma_v$$

dove:

f = coefficiente di attrito totale del rinforzo sui materiali sopra e sotto il tratto interessato, potendo essere rinforzo su rinforzo (f_{rr}) o rinforzo su terreno (f_{tr}).

σ_v = tensione verticale efficace sul tratto considerato, ottenuta dalla relazione:

$$\sigma_v = (W + P_v - U) / dx$$

W = peso totale della colonna di terreno sovrastante

P_v = componente verticale del carico distribuito uniforme agente in sommità

U = pressione neutra

dx = larghezza del tratto considerato

Relazione di calcolo terra rinforzata e gabbioni

L'integrale delle tensioni tangenziali ultime fornisce la forza di sfilamento esterna ultima del rinforzo. Al valore così determinato può essere applicato un coefficiente di sicurezza definito dall'utente.

6.3.1.1.1.1 Sfilamento interno

Nel caso di rinforzi secondari il procedimento per il calcolo della forza di sfilamento ultima è identico a quella dello sfilamento esterno.

La lunghezza del rinforzo all'interno del blocco instabile viene suddivisa in tratti e per ciascun tratto si calcola il valore della tensione tangenziale ultima (τ_u) dalla seguente relazione:

$$\tau_u = f \cdot \sigma_v$$

dove il significato dei simboli è il medesimo del caso precedente. L'integrazione delle tensioni tangenziali ultime fornisce la forza ultima di sfilamento interno.

Nel caso di rinforzi principali è da aggiungere il contributo resistente dovuto al risvolto. Tale contributo (F_0) può essere calcolato mediante somma di due contributi:

$$F_0 = F_1 + \Delta F$$

Dove F_1 è il contributo che genera sfilamento nella parte risvoltata (orizzontale), mentre ΔF è l'ulteriore contributo che tiene conto delle forze radenti lungo il tratto subverticale, adiacente al parapetto.

F_1 viene calcolata con procedimento analogo a quello dello sfilamento esterno (integrazione delle forze tangenziali ultime), mentre ΔF viene calcolato, nell'ipotesi che il tratto in oggetto assuma una configurazione semicircolare, dalla relazione:

$$\Delta F = F_1 \cdot \pi \cdot f_{tr}$$

Al valore di forza ultima totale di sfilamento interno può essere applicato un coefficiente di sicurezza definito dall'utente.

Tutte le analisi sono state condotte distinguendo due tipi di verifica:

Verifica di stabilità globale

La verifica di stabilità globale, o stabilità di base, è da intendersi come la verifica di stabilità con i metodi all'equilibrio limite di un pendio, rinforzato o meno. Può quindi essere utilizzato per valutare la stabilità del pendio in assenza di rinforzi, prima delle ipotesi di progetto di rinforzo. A seguito del progetto, tale verifica è da utilizzare per valutare la stabilità dell'opera nei confronti di meccanismi di potenziale scivolamento profondi e quindi eventualmente esterni ai rinforzi stessi (fig. 1).

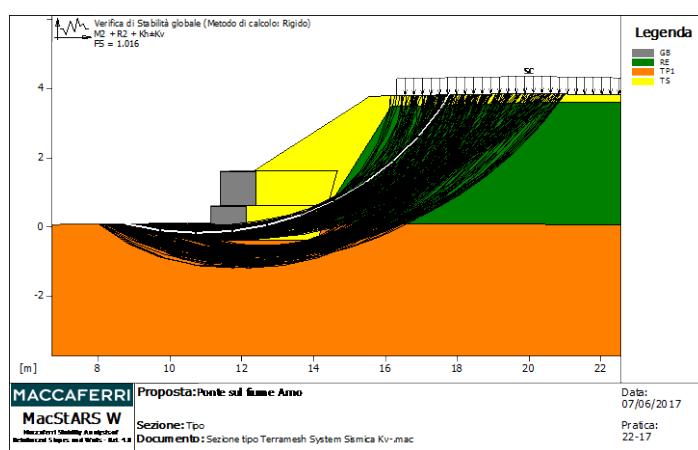


Figura 5 - Verifica di stabilità globale.

Verifica di stabilità interna

La verifica di stabilità interna (o stabilità di pendio) è quella verifica che consente di valutare il dimensionamento dell'opera, intesa come definizione dei rinforzi (tipologia, spaziatura, lunghezza, ecc.). In tale tipo di verifica le superfici di potenziale scivolamento partono dal piede di valle dell'opera di rinforzo e terminano nella parte superiore del pendio dopo aver attraversato l'opera progettata (fig. 2).

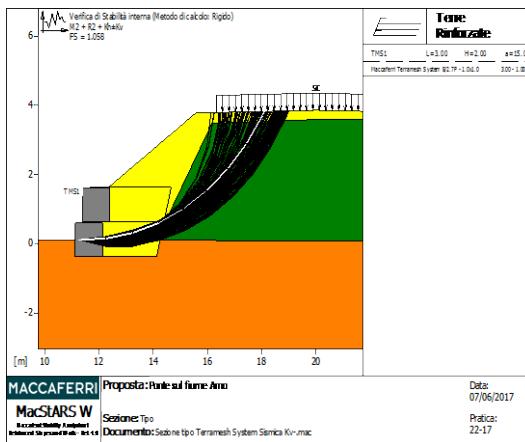


Figura 6 - Verifica di stabilità interna.

7 CRITERI PROGETTUALI SULLA BASE DEL NUOVO TESTO UNICO SULLE COSTRUZIONI. (D.Min. 14/01/2008)

Le verifiche di stabilità delle opere in terra rinforzata sono state eseguite secondo le prescrizioni del Nuovo Testo Unico sulle Costruzioni approvate con D.Min. 14/01/2008.

Le Nuove Norme tecniche sulle Costruzioni, approvate con D.Min. 14/01/2008 e in regime transitorio fino al 30/06/2009 (art.20 DL 248/2007 "Milleproroghe"), prescrivono che a meno di analisi dinamiche avanzate, le analisi della sicurezza dei muri di sostegno in condizioni sismiche può essere eseguita mediante:

- metodi pseudostatici
- metodi degli spostamenti.

Sono ammissibili spostamenti permanenti indotti dal sisma che non alterino significativamente la resistenza dell'opera e che siano compatibili con la sua funzione e con quella di eventuali strutture o infrastrutture interagenti con essa.

Gli stati limite ultimi delle opere di sostegno si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono le opere stesse. In condizioni sismiche devono essere considerati almeno gli stessi stati di limite ultimi considerati nelle verifiche statiche.

In particolare, adottando per l'analisi metodi pseudo-statici, si assume che:

1. il terreno sia assimilabile a un mezzo rigido perfettamente elastico;
2. la rottura sia raggiunta contemporaneamente in tutti i punti della superficie di scorrimento;
3. la resistenza sulla superficie di scorrimento sia espressa in termini di tensioni efficaci (Mohr-Coulomb – Tresca);
4. l'azione dinamica sismica sia rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità della massa potenzialmente instabile per un opportuno coefficiente sismico.

7.1 VERIFICHE STATICHE

Le opere di sostegno a gravità sono quasi sempre massicce, e questo porta alla semplificazione abitualmente adottata nello studio sotto sisma, e cioè di considerarle "corpi rigidi".

Gli usuali metodi di progetto e/o verifica si basano quindi su importanti ipotesi esemplificative sul comportamento delle opere di sostegno sotto sisma.

Sono definiti muri di sostegno o altre strutture miste a essi assimilabili:

- **muri**, per i quali la funzione di sostegno è affidata al peso proprio del muro e a quello del terreno direttamente agente su di esso (ad esempio muri a gravità, muri a mensola, muri a contrafforti);

- **strutture miste**, che esplicano la funzione di sostegno anche per effetto di trattamenti di miglioramento e per la presenza di particolari elementi di rinforzo e collegamento (ad esempio, ture, terra rinforzata, muri cellulari).

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

$$E_d \leq R_d$$

E_d = azioni o effetto delle azioni di progetto

R_d = azioni o effetto delle azioni resistenti del sistema geotecnico

In entrambi i termini:

le azioni si moltiplicano per i coefficienti γ_f

i parametri geotecnici si dividono per i coefficienti γ_m

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

Le verifiche da effettuare sono:

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

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

SLU di tipo strutturale (STR)

5. raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

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

VERIFICHE SISMICHE

Per la verifica delle opere di sostegno si possono usare metodi di analisi pseudo-statici, che consistono in analisi per la valutazione di condizioni di equilibrio limite dell'insieme manufatto-terreno-fondazione, in cui le forze d'inerzia indotte dal sisma, variabili nel tempo e nello spazio, sono trasformate in azioni statiche equivalenti.

In particolare, nella valutazione della spinta sismica del terrapieno, si considera che l'opera di sostegno possa spostarsi verso valle (o verso monte) di una quantità sufficiente a consentire la formazione di un cuneo di terreno in condizioni di equilibrio limite attivo.

Un'importante novità introdotte nelle Nuove Norme Tecniche 2008 è il calcolo della "Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche ed è funzione delle coordinate geografiche del sito di realizzazione dell'opera e del tempo di ritorno.

La pericolosità sismica è definita da:

a_g = accelerazione sismica massima attesa di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale

F_0 = valore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

I valori dei parametri a_g e F_0 relativi alla pericolosità sismica su reticolo geografico di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B al Testo unico 2008.

In alternativa il Ministero ha messo a disposizione sul sito <http://www.csip.it> il programma per il calcolo dei parametri di pericolosità sismica per area geografica Spettri-NTCver.1.0.3.xls.

Le nuove norme tecniche impongono per le opere di sostegno la verifica agli stati limite ultimi e in particolare (capitolo 7.1): "il rispetto dei vari stati limite untimi si considera conseguito quando siano soddisfatte le verifiche relative al solo **SLV** (Stato limite Ultimo di salvaguardia della vita)".

In condizioni sismiche la norma prescrive le stesse verifiche da realizzarsi in condizioni statiche con l'introduzione dei coefficienti sismici k_h e k_v che devono essere calcolati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m (a_{max} / g)$$

$$k_v = \pm 0.5 k_h$$

β_m = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

Il coefficiente di riduzione si applica solo ai muri in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, e si calcola in funzione della categoria del sottosuolo e della zona geografica tramite il valore di a_g (SLV di cui al capitolo precedente).

	Categoria del sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_m	β_m
$0.2 < a_g \leq 0.4$	0.31	0.31
$0.1 < a_g \leq 0.2$	0.29	0.24
$a_g \leq 0.1$	0.20	0.18

Tab. 7.11.II - Norme Tecniche 2008

Le verifiche devono essere effettuate impiegando i parametri geotecnici e le resistenze di progetto applicando i coefficienti parziali cioè riducendo i parametri del terreno e ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni.

E' importante segnalare che per le verifiche sismiche i carichi hanno fattori amplificativi pari a 1 sia favorevoli che sfavorevoli, deve essere comunque tenuto in conto il fattore di moltiplicazione Ψ relativo alla rarità della combinazione tra carico variabile e sisma.

Questo valore, che per esempio per i carichi stradali nelle precedenti norme veniva considerato pari a 0.2 (=20%) deve essere espressamente richiesto al committente dell'opera.

Le presenti norme infatti indicano i coefficienti Ψ relativi ai soli carichi sulle strutture paragonabili a edifici, dai quali non sono chiaramente recuperabili i valori relativi alle opere infrastrutturali.

8 IPOTESI DI CALCOLO

Il dimensionamento delle strutture in progetto è stato eseguito con riferimento a quanto riportato nelle tabelle dalla relazione geotecnica. Per le altezze delle sezioni di calcolo si rimanda ai relativi tabulati e agli eventuali disegni acclusi alla presente nota oltre che alle tavole di progetto. Per quanto riguarda le caratteristiche geotecniche e i carichi sono state assunti per tutte le opere di sottoscarpa quelli della tabella seguente.

DATI GEOTECNICI	TERRENI IN POSTO	$\gamma_1 = 20 \text{ KN/mc}$	$\phi = 30.0^\circ$	$c' = 0 \text{ kPa}$
	GABBIONI	$\gamma_1 = 17,5 \text{ KN/mc}$	$\phi = 40.0^\circ$	$c' = 13,72 \text{ kPa}$
	RILEVATO ESISTENTE	$\gamma_2 = 18 \text{ KN/mc}$	$\phi = 30.0^\circ$	$c' = 0 \text{ kPa}$
	RILEVATO STRUTTURALE	$\gamma_2 = 19 \text{ KN/mc}$	$\phi = 33.0^\circ$	$c' = 0 \text{ kPa}$
CARICHI ACCIDENTALI ESTERNI	STATICO	20 kPa (STRADALE)		
	SISMICO	$K_h = 0,065 \quad K_v = +0,033$ 4 kPa (STRADALE)		

I valori riportati nella tabella derivano dalla Relazione Geologica redatta dal dott. Geologo Gino Lucchetta, iscritto all'Albo dei Geologi della Regione Veneto al n. 242.

Le analisi sono state condotte in condizioni statiche e sismiche: i coefficienti di sicurezza risultano sempre superiori al valore di 1,00 per le verifiche sismiche e di 1,00 per le verifiche statiche.

Nel momento in cui si evidenziano venute d'acqua a tergo delle opere in terra rinforzata si dovrà prevedere un drenaggio. Le opere non possono in alcun caso venire a contatto con acque di infiltrazione.

8.1 CRITERI DI CALCOLO

Le verifiche strutturali contenute nella presente relazione sono state redatte in accordo a quanto prescritto dal D.M. 14/01/2008. In particolare sono state effettuate le prescritte verifiche agli SLU. Essendo le opere di tipo definitivo si eseguono anche le verifiche di tipo sismico.

8.1.1 Stati limite ultimi

In tutte le verifiche, dovrà risultare soddisfatta la condizione: $Ed \leq Rd$, in cui Ed rappresenta il valore di progetto delle azioni, mentre Rd rappresenta il valore di progetto della resistenza.

La struttura di sostegno dovrà soddisfare le verifiche di sicurezza di stabilità esterna dell'opera (SLU di tipo geotecnico) e di stabilità interna dell'opera (SLU di tipo strutturale).

Le analisi delle opere di sostegno di tipo geotecnico (GEO) e di tipo strutturale (STR) potranno essere eseguite secondo l'approccio 1 ovvero la combinazione A1+M1+R1 e A2+M2+R2 o l'approccio 2 combinazione A1+M1+R3 secondo quanto indicato dal D.M. 14/01/08. Le combinazioni di carico e i relativi coefficienti di sicurezza sono riportati negli estratti di verifica allegati.

Le sezioni oggetto di dimensionamento sono state analizzate con il codice di calcolo MACSTARS W con una schematizzazione bi-dimensionale. In particolare si sono condotte le seguenti verifiche SLU di tipo geotecnico (GEO) e di equilibrio di corpo rigido (EQU):

1. Verifiche di stabilità
 - Stabilità globale
 - Stabilità interna
2. Verifiche come muro si sostegno:
 - Verifica al ribaltamento
 - Verifica di scorrimento sul piano di posa
 - Verifica della capacità portante

Infine si sono condotte le verifiche SLU strutturali per le quali le attuali Norme nazionali non forniscono indicazioni a riguardo. Si è fatto pertanto riferimento alle Norme BS8006 –vers.1:2010, unitamente alle UNI-EN 14475:2006 per gli aspetti generali.

Le verifiche di carattere strutturale riguardano gli elementi di rinforzo ed i complementi strutturali. Le verifiche possono essere sintetizzate in:

- verifica a sfilamento del singolo rinforzo dal terreno (pull-out)
- verifica della resistenza di design dell'elemento di rinforzo

Le verifiche sono state condotte per la sezione più significativa (S6, rif. 2016_012_PETRAPT_d1.3_Sezioni stradali) e soggetta a maggiori sollecitazioni sia per le combinazioni di carico statiche e sismiche. In particolare le forze sismiche vengono schematizzate mediante forze orizzontali statiche equivalenti.

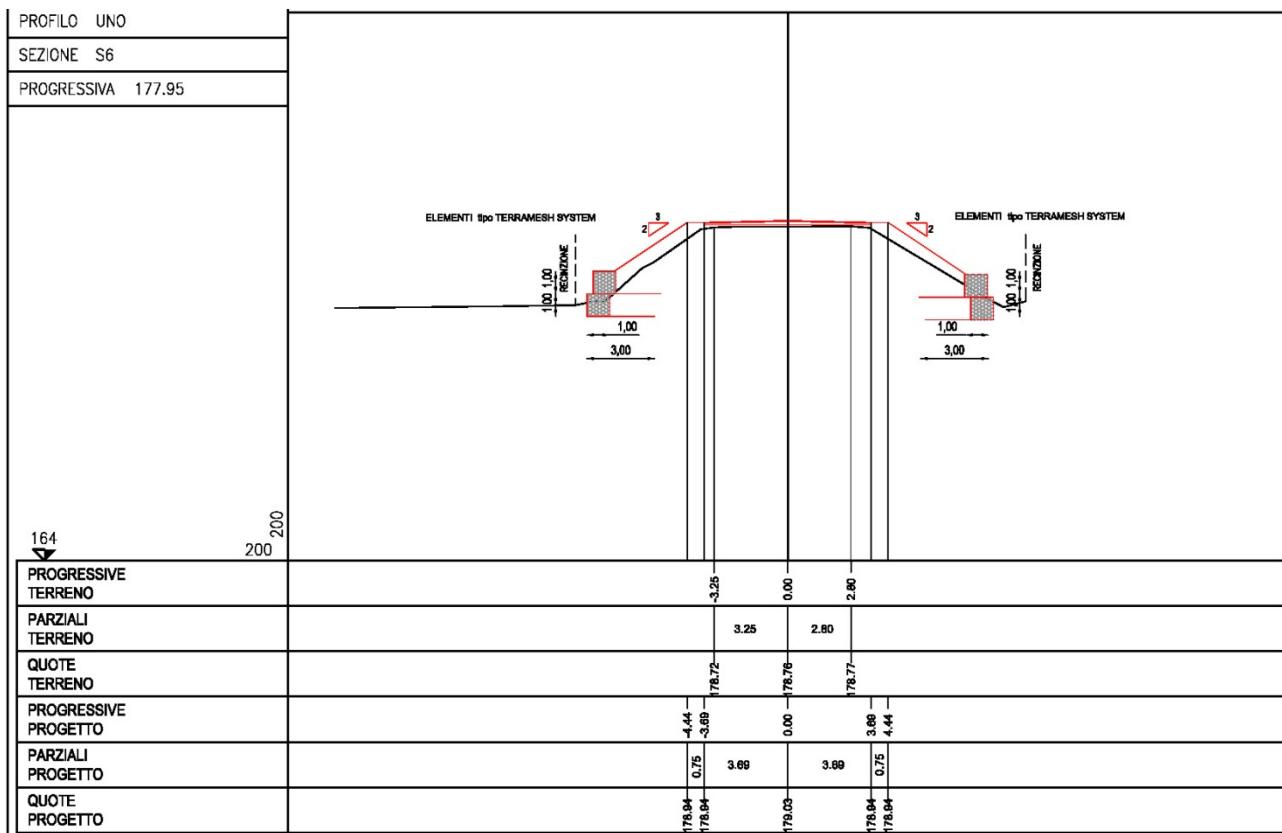
Relazione di calcolo terra rinforzata e gabbioni

Figura 7 - Sezione S6.

Le verifiche sono riportate nell'allegato report di calcolo.

8.1.2 Verifica di stabilità globale

La verifica viene condotta analizzando superfici di scorrimento circolari con il metodo di bishop, valutando quelle superfici passanti in profondità, al di sotto dell'opera di sostegno, analizzando quindi la stabilità globale del complesso opera-terreno. Per ogni superficie di scorrimento viene determinato un coefficiente di sicurezza; la verifica si ritiene soddisfatta qualora il minimo coefficiente di sicurezza risultai maggiore o uguale all'unità.

$$FS_{min} \geq 1$$

8.1.3 Verifica di stabilità interna

La verifica viene condotta analizzando superfici di scorrimento circolari con il metodo di bishop, valutando quelle superfici che attraversano l'opera di sostegno determinando quindi il corretto dimensionamento della stessa. Per ogni superficie di scorrimento viene determinato un coefficiente di sicurezza; la verifica si ritiene soddisfatta qualora il minimo coefficiente di sicurezza risultai maggiore o uguale all'unità.

$$FS_{min} \geq 1$$

8.1.4 Verifica di ribaltamento dell'opera di sostegno

Consiste nell'equilibrio delle forze rispetto ad un punto determinando il valore del momento dovuto alle forze stabilizzanti (pesi propri e azioni verticali) e confrontandolo con quello dato dalle forze instabilizzanti (spinte orizzontali). La verifica viene condotta come segue:

$$\frac{M_{stab}}{M_{instab}} \geq 1$$

8.1.5 Verifica allo scorrimento sul piano di posa dell'opera di sostegno

Consiste nella valutazione delle forze orizzontali agenti dovute alla spinta delle terre, forze instabilizzanti, da confrontarsi con le forze stabilizzanti consistenti in pesi propri e azioni verticali, in funzione del coefficiente di attrito opera-terreno. La verifica viene condotta come segue:

$$\frac{F_{stab}}{F_{instab}} \geq 1$$

8.1.6 Verifica della capacità portante dell'opera di sostegno

Consiste nel confronto tra le pressioni agenti al di sotto dell'opera di sostegno con la pressione limite ammissibile del terreno; in particolare la verifica si esplicita come segue:

$$\frac{\sigma_{ultima}}{\sigma_{Ed}} \geq 1$$

9 RILEVATO STRUTTURALE E CONTROLLI

Il terreno di riempimento che costituisce il rilevato strutturale dell'opera, potrà provenire sia da scavi precedentemente eseguiti sia da cave di prestito e facendo riferimento alle classificazioni secondo la Norma CNR UNI 10006 come previsto nel Capitolato Speciale Prestazionale.

Compattazione del rilevato - Prove di controllo

Le caratteristiche e l'idoneità dei materiali e della messa in opera saranno accertate mediante le prove di laboratorio definite e quantificate come previsto da Capitolato Speciale Prestazionale.

A rullatura eseguita la densità in situ dovrà risultare come segue:

- almeno pari al 95% della densità massima AASHTO mod. (CNR 69 - 1978), (CNR 22 - 1972).

Caratteristiche del piano di posa del rilevato

Il modulo di deformazione M_d al primo ciclo di carico su piastra dovrà risultare non inferiore a:

- 20 MPa: nell'intervallo compreso tra $0,5 \div 1,5$ daN/cm² sul piano di posa della terra rinforzata.

Nel caso tale valore non sia raggiunto, si dovrà provvedere a effettuare un intervento di bonifica del terreno in situ con la rimozione del medesimo per una profondità di almeno 0,50 m e con la messa in opera di materiale da rilevato proveniente da cava o dagli scavi.

ALLEGATI:

REPORT DI CALCOLO

VALIDAZIONE DEL SOFTWARE DI CALCOLO

REPORT 1 – VERIFICA STATICÀ

SOMMARIO

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI	2
PROFILI STRATIGRAFICI	3
BLOCCHI RINFORZATI	3
Blocco : TMS1	3
CARICHI	3
PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI	4
VERIFICHE	5
Verifica di stabilità globale :	5
Verifica di stabilità interna :	6
Verifica come muro di sostegno :	7
Verifica come muro di sostegno :	8

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Terreno : GB	Descrizione : GABBIONI
Classe coesione	: Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione.....	[kN/m ²]: 13.72
Classe d'attrito.....	: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito.....	[°]: 40.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....	: 0.00
Classe di peso.....	: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda.....	[kN/m ³]: 17.50
Peso specifico in falda.....	[kN/m ³]: 17.50
Modulo elastico.....	[kN/m ²]: 0.00
Coefficiente di Poisson.....	: 0.30

Terreno : RE	Descrizione : RILEVATO ESISTENTE
Classe coesione	: Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione.....	[kN/m ²]: 0.00
Classe d'attrito.....	: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito.....	[°]: 30.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....	: 0.00
Classe di peso.....	: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
Peso specifico sopra falda.....	[kN/m ³]: 18.00
Peso specifico in falda.....	[kN/m ³]: 19.00
Modulo elastico.....	[kN/m ²]: 0.00
Coefficiente di Poisson.....	: 0.30

Terreno : TP1	Descrizione : TERRENO IN POSTO 1
Classe coesione	: Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione.....	[kN/m ²]: 0.00
Classe d'attrito.....	: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito.....	[°]: 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/m ³]: 20.00
Peso specifico in falda.....	[kN/m ³]: 21.00
Modulo elastico.....	[kN/m ²]: 0.00
Coefficiente di Poisson.....	: 0.30

Terreno : TS	Descrizione : TERRENO STRUTTURALE
Classe coesione	: Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione.....	[kN/m ²]: 0.00
Classe d'attrito.....	: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito.....	[°]: 33.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....	: 0.00
Classe di peso.....	: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
Peso specifico sopra falda.....	[kN/m ³]: 19.00
Peso specifico in falda.....	[kN/m ³]: 20.00
Modulo elastico.....	[kN/m ²]: 0.00
Coefficiente di Poisson.....	: 0.30

PROFILI STRATIGRAFICI

Strato: RE

Terreno : RE

Descrizione: RILEVATO ESISTENTE

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
14.12	0.11	16.16	3.48	20.00	3.59	22.79	3.59
23.61	3.54	29.53	0.04				

Strato: TP1

Terreno : TP1

Descrizione: TERRENO IN POSTO 1

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
0.00	0.00	10.63	0.12	29.53	0.04	29.89	0.12
30.51	0.29						

Strato: TS

Terreno : TS

Descrizione: TERRENO STRUTTURALE

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
11.90	0.27	12.32	1.62	15.56	3.78	20.00	3.86
24.44	3.78	29.89	0.12				

BLOCCHI RINFORZATI

Blocco : TMS1

Dati principali [m] : Larghezza = 3.00 Altezza = 2.00
 Coordinate Origine [m] : Ascissa = 11.12 Ordinata = -0.37
 Inclinazione paramento [°] : 15.00

Terreno riempimento gabbioni : GB
 Rilevato strutturale - materiale tipo : Ghiaia
 Rilevato strutturale : TS
 Terreno di riempimento a tergo : TS
 Terreno di copertura : TS
 Terreno di fondazione : TP1

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof
 Affondamento fondazione [m] : 0.50
 Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

Rinforzi :

Tipo Terramesh System - 8/2.7P - 1.0x1.0
 Lunghezza [m] = 3.00
 Gabbione [m] : Altezza = 1.00 Larghezza = 1.00

CARICHI

Pressione : SC

Descrizione : SOVRACCARICO STRADALE

Classe : Variabile - sfavorevole

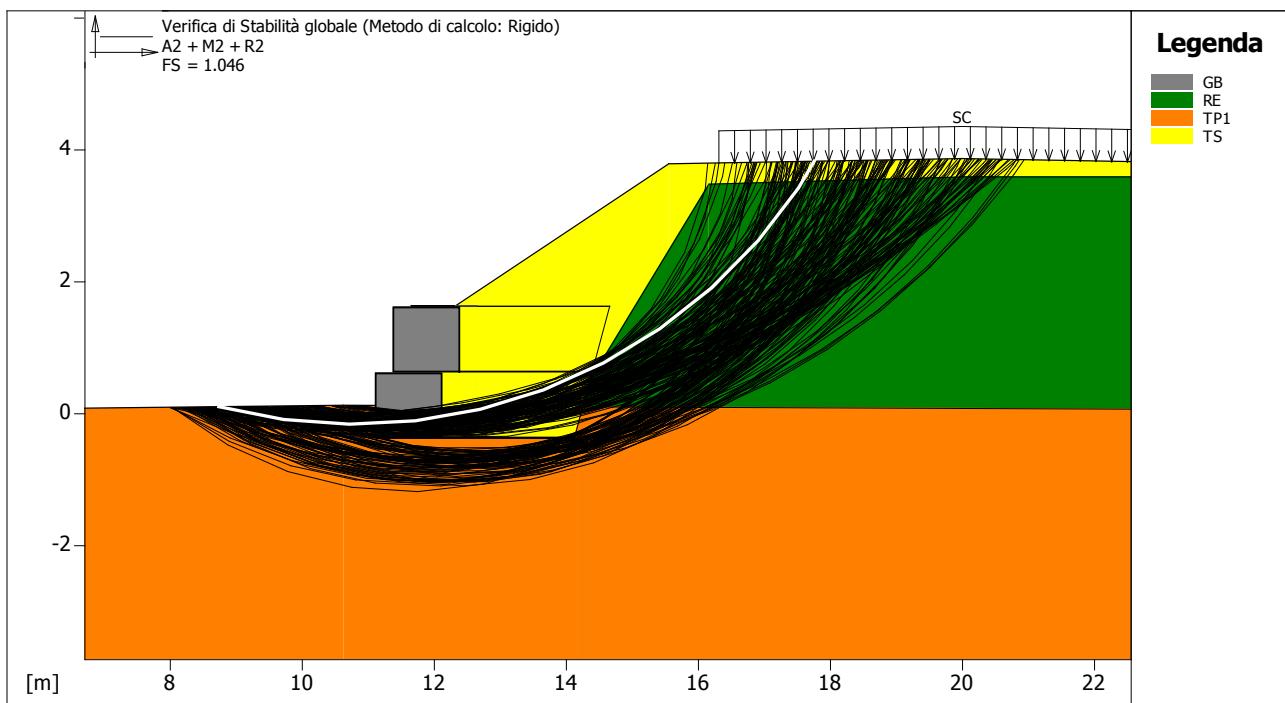
Intensità [kN/m²] = 20.00 Inclinazione [°] = 0.00
 Ascissa [m] : Da = 16.31 To = 23.69

PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI

Tipo Terramesh System - 8/2.7P - 1.0x1.0

Carico di rottura Nominale Tr	[kN/m] :	50.00
Rapporto di Scorrimento plastico	:	2.00
Coefficiente di Scorrimento elastico	[m ³ /kN] :	1.10e-04
Rigidezza estensionale	[kN/m] :	500.00
Lunghezza minima di ancoraggio	[m] :	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia)	:	1.26
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia)	:	1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo)	:	1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla)	:	1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out	:	1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo	:	0.30
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia	:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia	:	0.65
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo	:	0.50
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla	:	0.30

VERIFICHE



Verifica di stabilità globale :

Combinazione di carico : A2 + M2 + R2

Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido

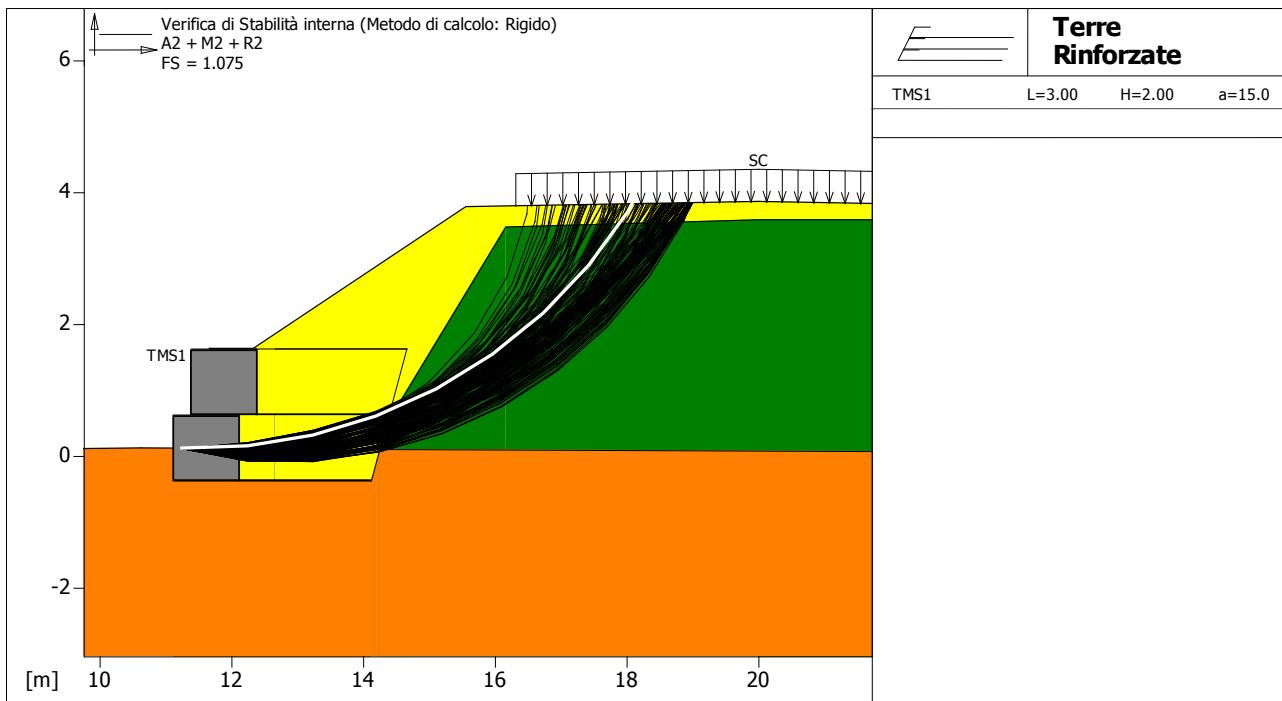
Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop

Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 1.046

Intervallo di ricerca delle superfici

Segmento di partenza, ascisse [m]	Segmento di arrivo, ascisse [m]		
Primo punto	Secondo punto	Primo punto	Secondo punto
8.00	11.00	16.00	21.00
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....	: 150		
Numero totale superfici di prova.....	: 1500		
Lunghezza segmenti delle superfici..... [m]	: 1.00		
Angolo limite orario..... [°]	: 0.00		
Angolo limite antiorario..... [°]	: 0.00		

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



Verifica di stabilità interna :

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.....: 1.075

Intervallo di ricerca delle superfici

Blocco	Segmento di arrivo, ascisse [m]	
	Primo punto	Secondo punto
TMS1	16.00	19.00

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

Numero totale superfici di prova.....: 1000

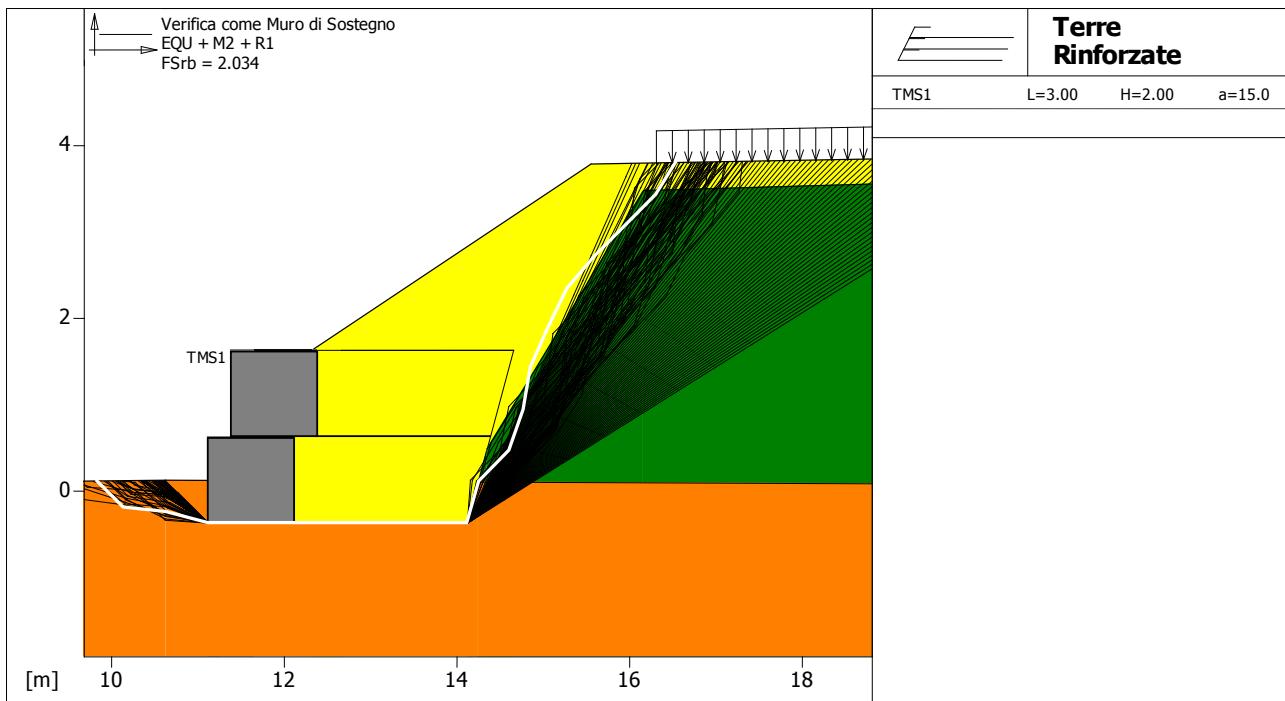
Lunghezza segmenti delle superfici..... [m].....: 1.00

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

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

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



Verifica come muro di sostegno :

Combinazione di carico : EQU + M2 + R1

Stabilità verificata sul blocco : TMS1

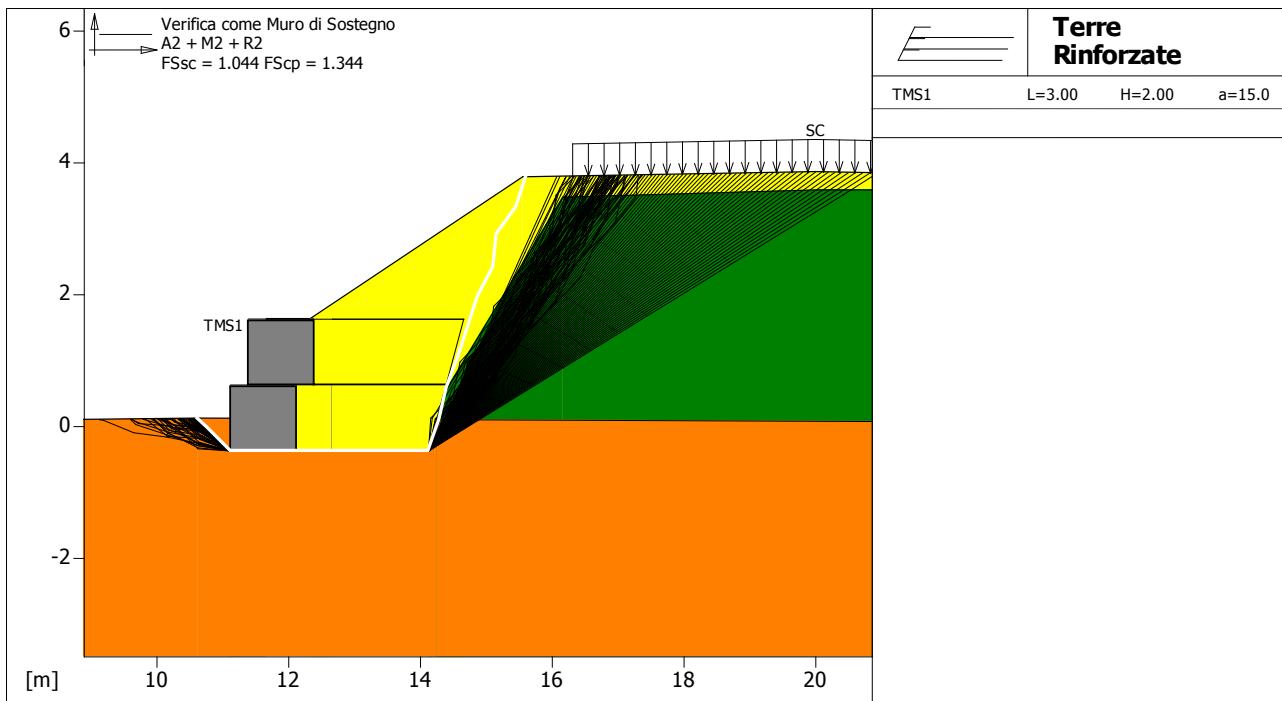
Momento Stabilizzante [kN*m/m]: 314.28

Momento Instabilizzante [kN*m/m]: 154.48

Classe momento : Coeff. parziale R - Ribaltamento

Coefficiente di sicurezza al ribaltamento : 2.034

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



Verifica come muro di sostegno :

Combinazione di carico : A2 + M2 + R2

Stabilità verificata sul blocco : TMS1

Forza Stabilizzante [kN/m]: 67.33

Forza Instabilizzante [kN/m]: 64.48

Classe scorrimento : Coeff. parziale R - Scorrimento

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento : 1.044

Pressione ultima calcolata con metodo dell'equilibrio limite.

Pressione ultima [kN/m²]: 101.99

Pressione media agente [kN/m²]: 75.90

Classe pressione : Coeff. parziale R - Capacità portante

Coefficiente di sicurezza sulla capacità portante : 1.344

Fondazione equivalente [m]: 2.10

Eccentricità forza normale [m]: 0.45

Braccio momento [m]: 2.13

Forza normale [KN]: 145.77

Pressione estremo di valle [kN/m²]: 92.32

Pressione estremo di monte [kN/m²]: 4.86

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	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.00	Coeff. parziale R - Scorrimento
1.00	Coeff. parziale R - Capacità portante

REPORT 2 – VERIFICA SISMICA 1

SOMMARIO

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI	2
PROFILI STRATIGRAFICI	3
BLOCCHI RINFORZATI	3
Blocco : TMS1	3
CARICHI	3
PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI	4
VERIFICHE	5
Verifica di stabilità globale :	5
Verifica di stabilità interna :	6
Verifica come muro di sostegno :	7
Verifica come muro di sostegno :	8

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Terreno : GB	Descrizione : GABBIONI
Classe coesione	: Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione	[kN/m ²]: 13.72
Classe d'attrito	: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito	[°]: 40.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru)	: 0.00
Classe di peso	: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda	[kN/m ³]: 17.50
Peso specifico in falda	[kN/m ³]: 17.50
Modulo elastico	[kN/m ²]: 0.00
Coefficiente di Poisson	: 0.30

Terreno : RE	Descrizione : RILEVATO ESISTENTE
Classe coesione	: Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione	[kN/m ²]: 0.00
Classe d'attrito	: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito	[°]: 30.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru)	: 0.00
Classe di peso	: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
Peso specifico sopra falda	[kN/m ³]: 18.00
Peso specifico in falda	[kN/m ³]: 19.00
Modulo elastico	[kN/m ²]: 0.00
Coefficiente di Poisson	: 0.30

Terreno : TP1	Descrizione : TERRENO IN POSTO 1
Classe coesione	: Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione	[kN/m ²]: 0.00
Classe d'attrito	: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito	[°]: 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/m ³]: 20.00
Peso specifico in falda	[kN/m ³]: 21.00
Modulo elastico	[kN/m ²]: 0.00
Coefficiente di Poisson	: 0.30

Terreno : TS	Descrizione : TERRENO STRUTTURALE
Classe coesione	: Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione	[kN/m ²]: 0.00
Classe d'attrito	: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito	[°]: 33.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru)	: 0.00
Classe di peso	: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
Peso specifico sopra falda	[kN/m ³]: 19.00
Peso specifico in falda	[kN/m ³]: 20.00
Modulo elastico	[kN/m ²]: 0.00
Coefficiente di Poisson	: 0.30

PROFILI STRATIGRAFICI

Strato: RE

Terreno : RE

Descrizione: RILEVATO ESISTENTE

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
14.12	0.11	16.16	3.48	20.00	3.59	22.79	3.59
23.61	3.54	29.53	0.04				

Strato: TP1

Terreno : TP1

Descrizione: TERRENO IN POSTO 1

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
0.00	0.00	10.63	0.12	29.53	0.04	29.89	0.12
30.51	0.29						

Strato: TS

Terreno : TS

Descrizione: TERRENO STRUTTURALE

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
11.90	0.27	12.32	1.62	15.56	3.78	20.00	3.86
24.44	3.78	29.89	0.12				

BLOCCHI RINFORZATI

Blocco : TMS1

Dati principali [m] : Larghezza = 3.00 Altezza = 2.00
 Coordinate Origine [m] : Ascissa = 11.12 Ordinata = -0.37
 Inclinazione paramento [°] : 15.00

Terreno riempimento gabbioni : GB
 Rilevato strutturale - materiale tipo : Ghiaia
 Rilevato strutturale : TS
 Terreno di riempimento a tergo : TS
 Terreno di copertura : TS
 Terreno di fondazione : TP1

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof
 Affondamento fondazione [m] : 0.50
 Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

Rinforzi :

Tipo Terramesh System - 8/2.7P - 1.0x1.0
 Lunghezza [m] = 3.00
 Gabbione [m] : Altezza = 1.00 Larghezza = 1.00

CARICHI

Pressione : SC

Descrizione : SOVRACCARICO STRADALE

Classe : Variabile - sfavorevole

Intensità [kN/m²] = 4.00 Inclinazione [°] = 0.00
 Ascissa [m] : Da = 16.31 To = 23.69

Sisma :

Classe : Sisma

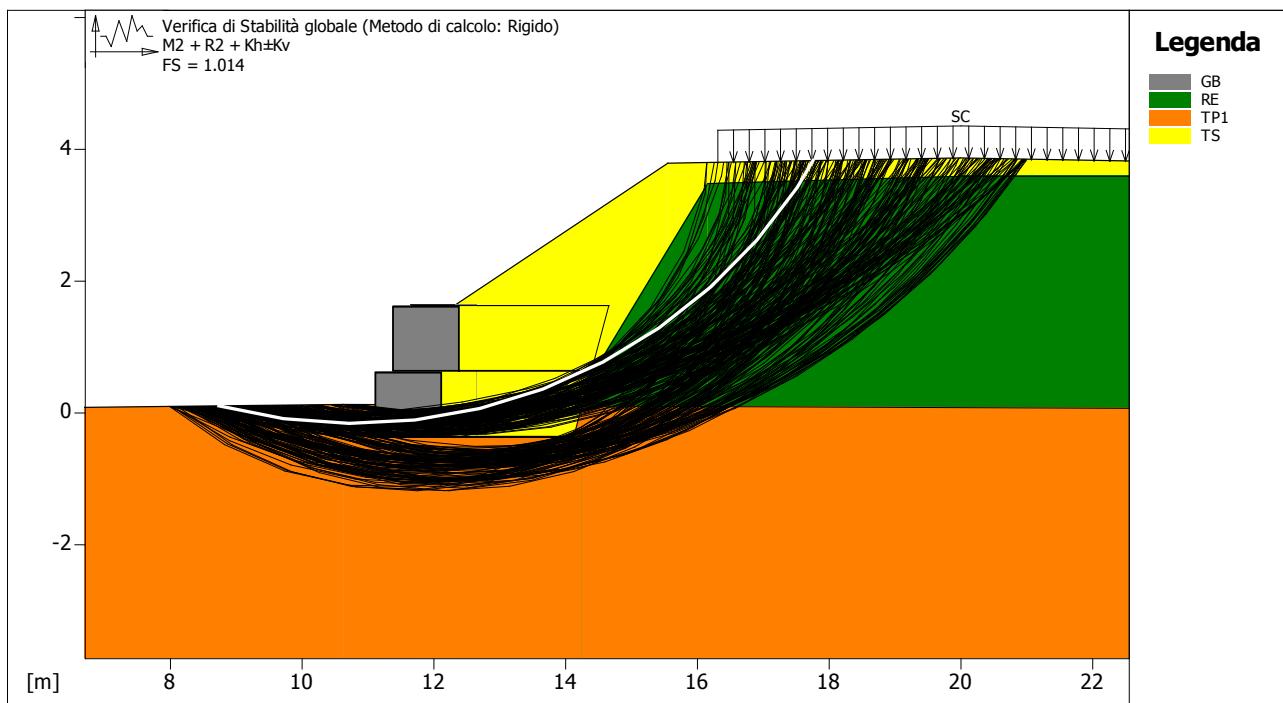
Accelerazione [m/s²] : Orizzontale = 0.64 Verticale = 0.32

PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI

Tipo Terramesh System - 8/2.7P - 1.0x1.0

Carico di rottura Nominale Tr	[kN/m] ..:	50.00
Rapporto di Scorrimento plastico .....	..... :	2.00
Coefficiente di Scorrimento elastico	[m ³ /kN] ..:	1.10e-04
Rigidezza estensionale	[kN/m] ..:	500.00
Lunghezza minima di ancoraggio	[m] ..:	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia) .....	..... :	1.26
Coefficiente di sicurezza al Pull-out .....	..... :	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia) .....	..... :	1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out .....	..... :	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo) .....	..... :	1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out .....	..... :	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla) .....	..... :	1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out .....	..... :	1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo .....	..... :	0.30
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia .....	..... :	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia .....	..... :	0.65
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo .....	..... :	0.50
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla .....	..... :	0.30

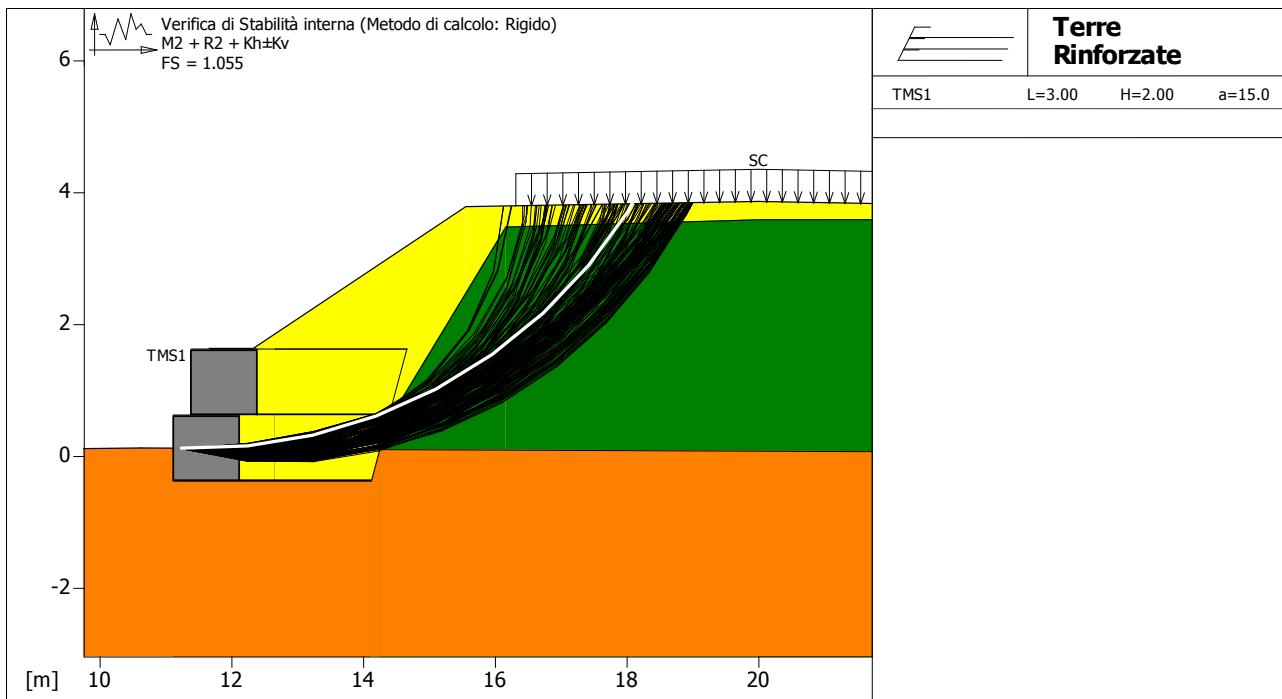
VERIFICHE



Intervallo di ricerca delle superfici

Segmento di partenza, ascisse [m]	Segmento di arrivo, ascisse [m]
Primo punto	Secondo punto
8.00	11.00
16.00	21.00
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....	: 150
Numero totale superfici di prova.....	: 1500
Lunghezza segmenti delle superfici..... [m]	: 1.00
Angolo limite orario..... [°]	: 0.00
Angolo limite antiorario..... [°]	: 0.00

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



Verifica di stabilità interna :

Combinazione di carico : $M_2 + R_2 + K_h \pm K_v$

Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido

Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop

Coefficiente di sicurezza minimo calcolato : 1.055

Intervallo di ricerca delle superfici

Blocco	Segmento di arrivo, ascisse [m]	
	Primo punto	Secondo punto
TMS1	16.00	19.00

Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza : 1

Numero totale superfici di prova : 1000

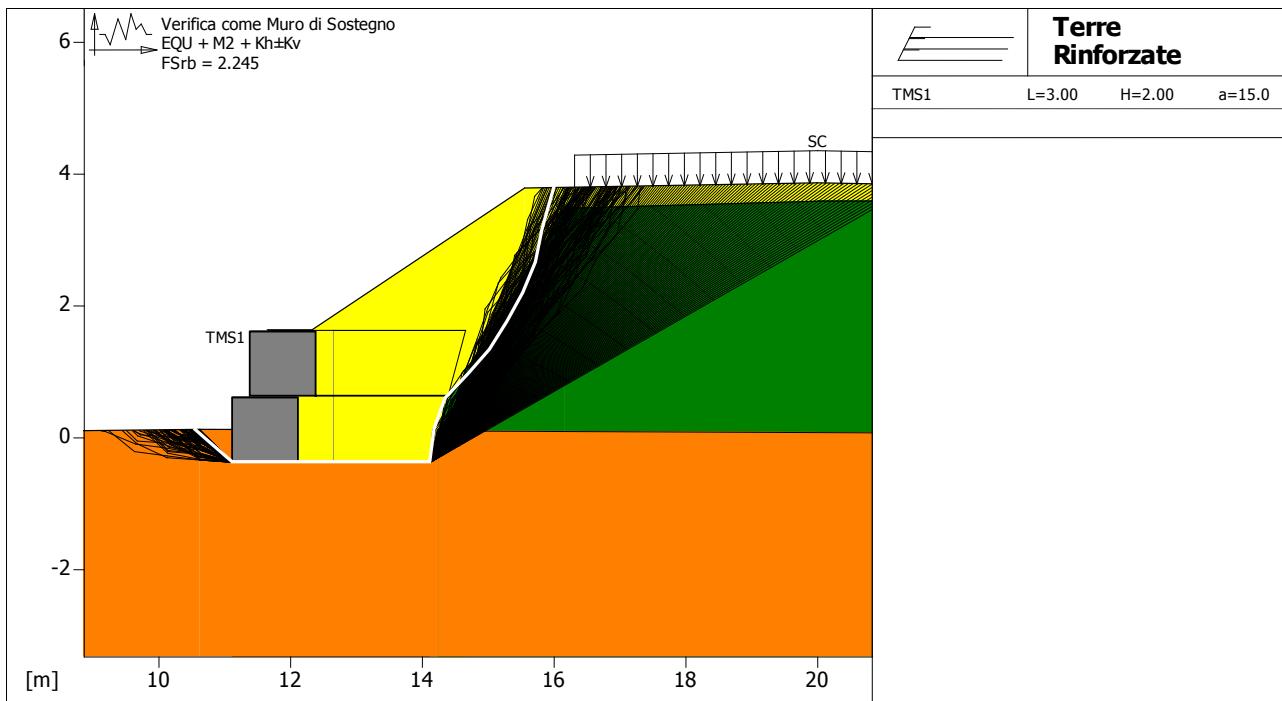
Lunghezza segmenti delle superfici [m] : 1.00

Angolo limite orario [°] : 0.00

Angolo limite antiorario [°] : 0.00

Fattore

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



Verifica come muro di sostegno :

Combinazione di carico : EQU + M2 + Kh±Kv

Stabilità verificata sul blocco : TMS1

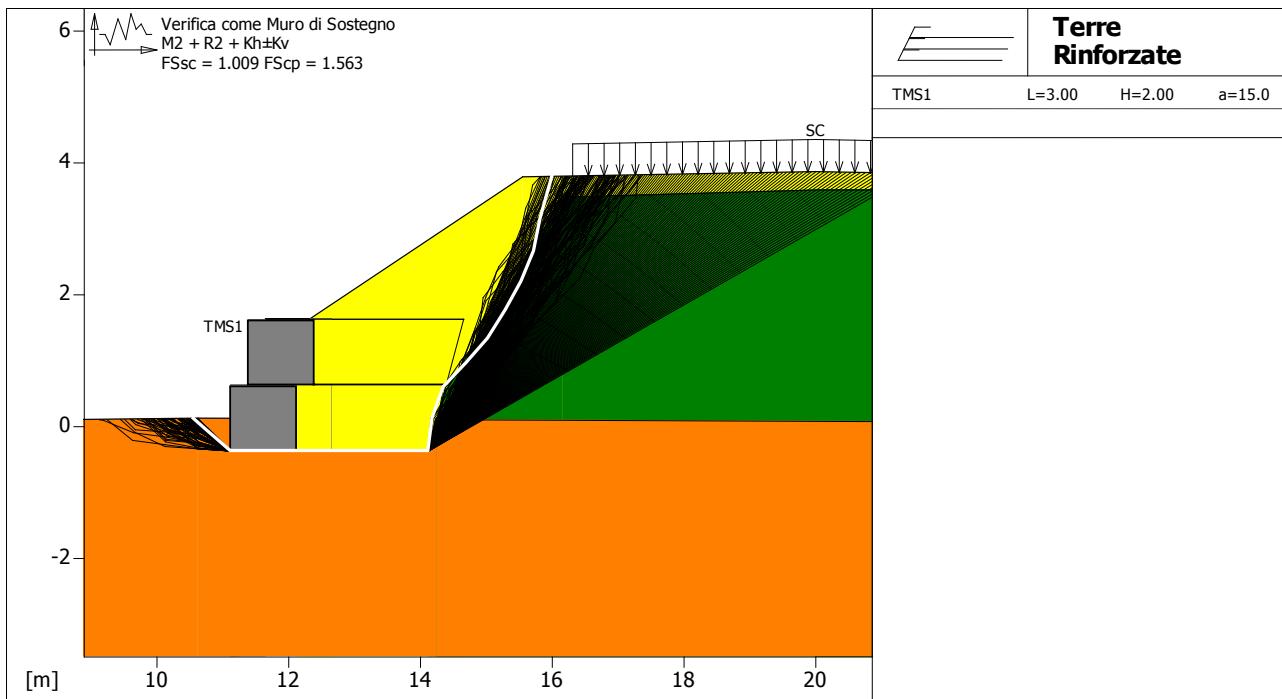
Momento Stabilizzante [kN*m/m]: 290.58

Momento Instabilizzante [kN*m/m]: 129.43

Classe momento : Coeff. parziale R - Ribaltamento

Coefficiente di sicurezza al ribaltamento : 2.245

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



Verifica come muro di sostegno :

Combinazione di carico : M2 + R2 + Kh±Kv

Stabilità verificata sul blocco : TMS1

Forza Stabilizzante [kN/m]: 65.11

Forza Instabilizzante [kN/m]: 64.51

Classe scorrimento : Coeff. parziale R - Scorrimento

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento : 1.009

Pressione ultima calcolata con metodo dell'equilibrio limite.

Pressione ultima [kN/m²]: 105.93

Pressione media agente [kN/m²]: 67.80

Classe pressione : Coeff. parziale R - Capacità portante

Coefficiente di sicurezza sulla capacità portante : 1.563

Fondazione equivalente [m]: 2.29

Eccentricità forza normale [m]: 0.36

Braccio momento [m]: 2.01

Forza normale [kN]: 140.96

Pressione estremo di valle [kN/m²]: 80.51

Pressione estremo di monte [kN/m²]: 13.46

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

REPORT 3 – VERIFICA SISMICA 2

SOMMARIO

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI	2
PROFILI STRATIGRAFICI	3
BLOCCHI RINFORZATI	3
Blocco : TMS1	3
CARICHI	3
PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI	4
VERIFICHE	5
Verifica di stabilità globale :	5
Verifica di stabilità interna :	6
Verifica come muro di sostegno :	7
Verifica come muro di sostegno :	8

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Terreno : GB	Descrizione : GABBIONI
Classe coesione	: Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione	[kN/m ²]: 13.72
Classe d'attrito	: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito	[°]: 40.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru)	: 0.00
Classe di peso	: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda	[kN/m ³]: 17.50
Peso specifico in falda	[kN/m ³]: 17.50
Modulo elastico	[kN/m ²]: 0.00
Coefficiente di Poisson	: 0.30

Terreno : RE	Descrizione : RILEVATO ESISTENTE
Classe coesione	: Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione	[kN/m ²]: 0.00
Classe d'attrito	: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito	[°]: 30.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru)	: 0.00
Classe di peso	: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
Peso specifico sopra falda	[kN/m ³]: 18.00
Peso specifico in falda	[kN/m ³]: 19.00
Modulo elastico	[kN/m ²]: 0.00
Coefficiente di Poisson	: 0.30

Terreno : TP1	Descrizione : TERRENO IN POSTO 1
Classe coesione	: Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione	[kN/m ²]: 0.00
Classe d'attrito	: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito	[°]: 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/m ³]: 20.00
Peso specifico in falda	[kN/m ³]: 21.00
Modulo elastico	[kN/m ²]: 0.00
Coefficiente di Poisson	: 0.30

Terreno : TS	Descrizione : TERRENO STRUTTURALE
Classe coesione	: Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione	[kN/m ²]: 0.00
Classe d'attrito	: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito	[°]: 33.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru)	: 0.00
Classe di peso	: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
Peso specifico sopra falda	[kN/m ³]: 19.00
Peso specifico in falda	[kN/m ³]: 20.00
Modulo elastico	[kN/m ²]: 0.00
Coefficiente di Poisson	: 0.30

PROFILI STRATIGRAFICI

Strato: RE

Terreno : RE

Descrizione: RILEVATO ESISTENTE

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
14.12	0.11	16.16	3.48	20.00	3.59	22.79	3.59
23.61	3.54	29.53	0.04				

Strato: TP1

Terreno : TP1

Descrizione: TERRENO IN POSTO 1

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
0.00	0.00	10.63	0.12	29.53	0.04	29.89	0.12
30.51	0.29						

Strato: TS

Terreno : TS

Descrizione: TERRENO STRUTTURALE

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
11.90	0.27	12.32	1.62	15.56	3.78	20.00	3.86
24.44	3.78	29.89	0.12				

BLOCCHI RINFORZATI

Blocco : TMS1

Dati principali [m] : Larghezza = 3.00 Altezza = 2.00
 Coordinate Origine [m] : Ascissa = 11.12 Ordinata = -0.37
 Inclinazione paramento [°] : 15.00

Terreno riempimento gabbioni : GB
 Rilevato strutturale - materiale tipo : Ghiaia
 Rilevato strutturale : TS
 Terreno di riempimento a tergo : TS
 Terreno di copertura : TS
 Terreno di fondazione : TP1

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof
 Affondamento fondazione [m] : 0.50
 Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

Rinforzi :

Tipo Terramesh System - 8/2.7P - 1.0x1.0
 Lunghezza [m] = 3.00
 Gabbione [m] : Altezza = 1.00 Larghezza = 1.00

CARICHI

Pressione : SC

Descrizione : SOVRACCARICO STRADALE

Classe : Variabile - sfavorevole

Intensità [kN/m²] = 4.00 Inclinazione [°] = 0.00
 Ascissa [m] : Da = 16.31 To = 23.69

Sisma :

Classe : Sisma

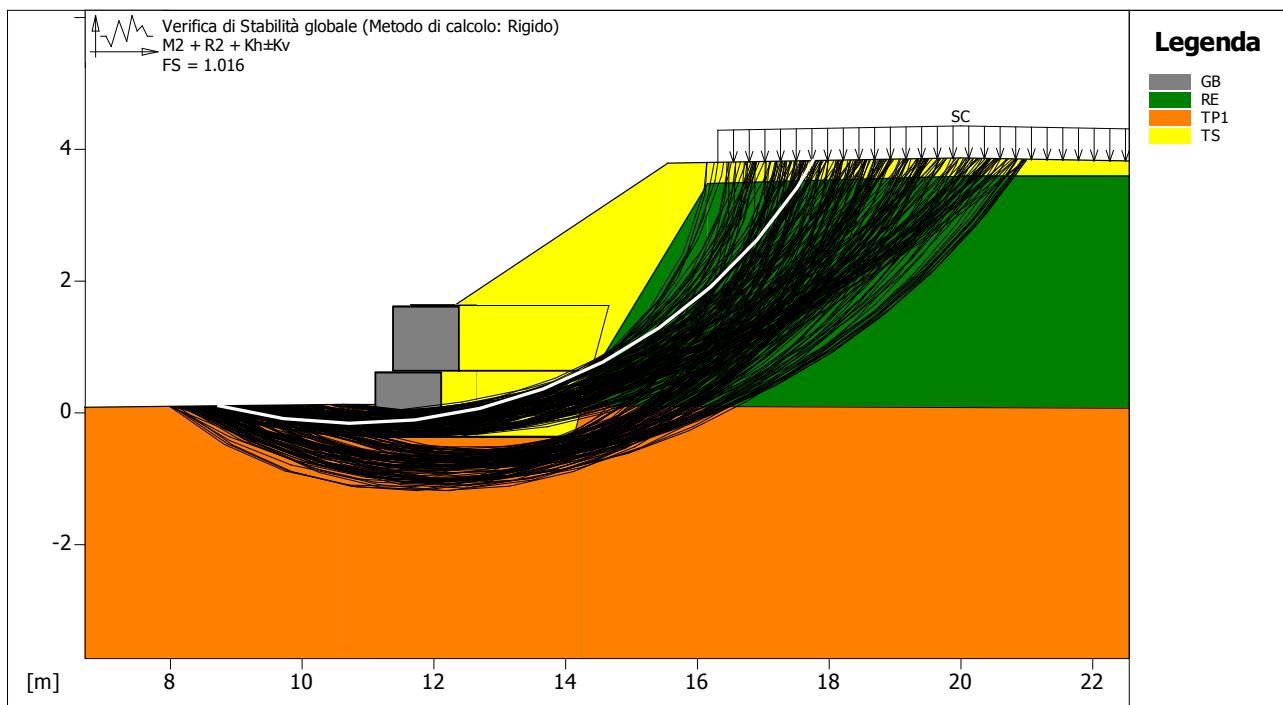
Accelerazione [m/s²] : Orizzontale = 0.64 Verticale = -0.32

PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI

Tipo Terramesh System - 8/2.7P - 1.0x1.0

Carico di rottura Nominale Tr	[kN/m] ..:	50.00
Rapporto di Scorrimento plastico .....	.....	2.00
Coefficiente di Scorrimento elastico	[m ³ /kN] ..:	1.10e-04
Rigidezza estensionale	[kN/m] ..:	500.00
Lunghezza minima di ancoraggio	[m] ..:	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia) .....	.....	1.26
Coefficiente di sicurezza al Pull-out .....	.....	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia) .....	.....	1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out .....	.....	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo) .....	.....	1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out .....	.....	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla) .....	.....	1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out .....	.....	1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo .....	.....	0.30
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia .....	.....	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia .....	.....	0.65
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo .....	.....	0.50
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla .....	.....	0.30

VERIFICHE



Verifica di stabilità globale :

Combinazione di carico : M2 + R2 + Kh±Kv

Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido

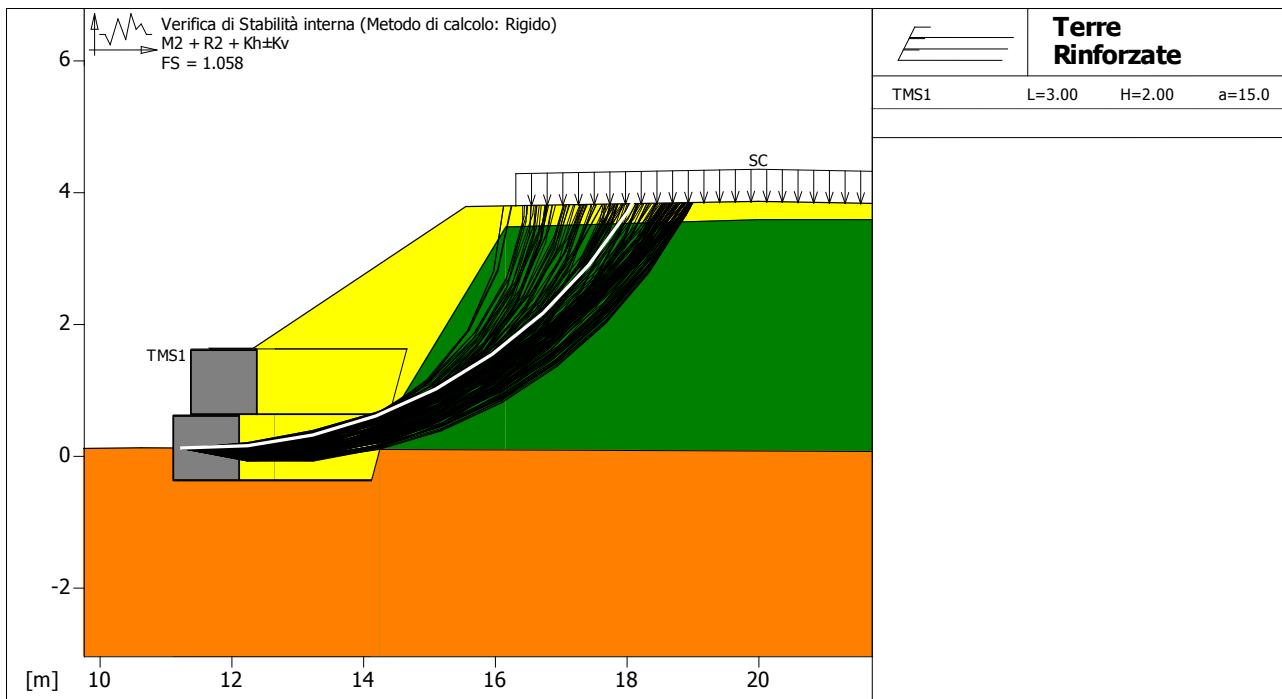
Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop

Coefficiente di sicurezza minimo calcolato : 1.016

Intervallo di ricerca delle superfici

Segmento di partenza, ascisse [m]	Segmento di arrivo, ascisse [m]
Primo punto	Secondo punto
8.00	11.00
16.00	21.00
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....	: 150
Numero totale superfici di prova.....	: 1500
Lunghezza segmenti delle superfici..... [m]	: 1.00
Angolo limite orario..... [°]	: 0.00
Angolo limite antiorario..... [°]	: 0.00

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



Verifica di stabilità interna :

Combinazione di carico : M2 + R2 + Kh \pm Kv

Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido

Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop

Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 1.058

Intervallo di ricerca delle superfici

Blocco	Segmento di arrivo, ascisse [m]	
	Primo punto	Secondo punto
TMS1	16.00	19.00

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

Numero totale superfici di prova.....: 1000

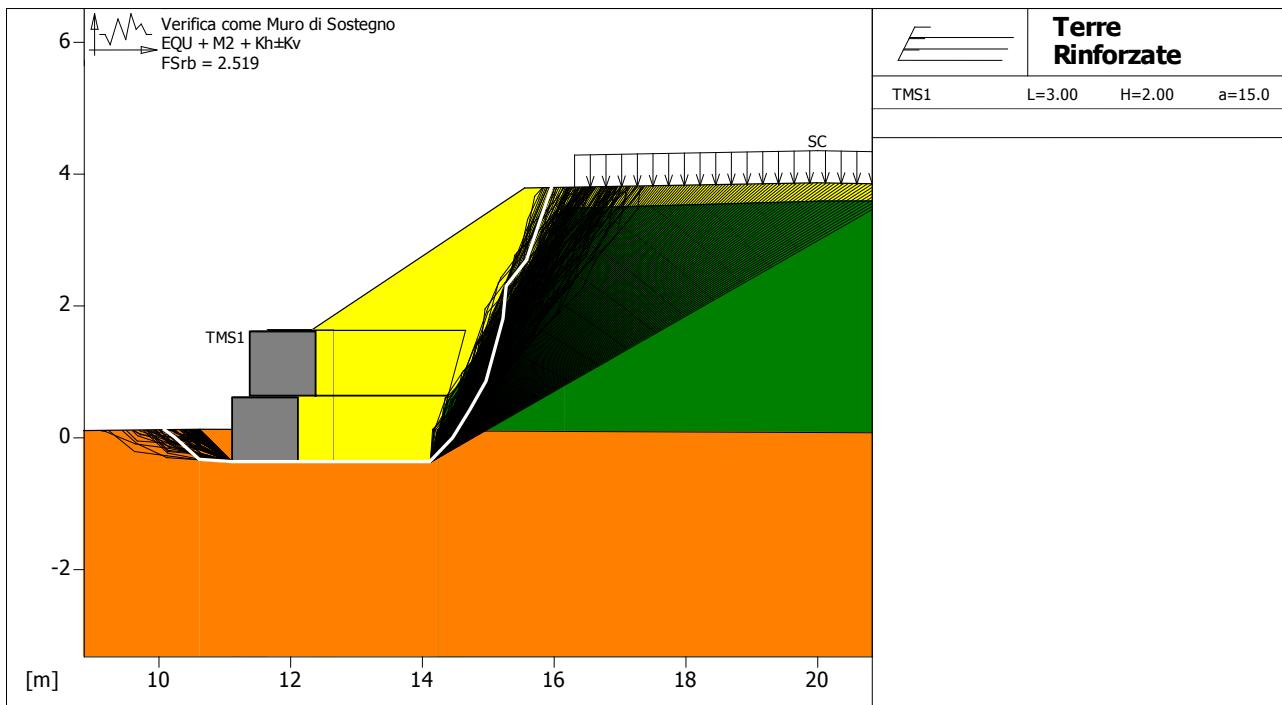
Lunghezza segmenti delle superfici..... [m].....: 1.00

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

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

Fattore

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



Verifica come muro di sostegno :

Combinazione di carico : EQU + M2 + Kh±Kv

Stabilità verificata sul blocco : TMS1

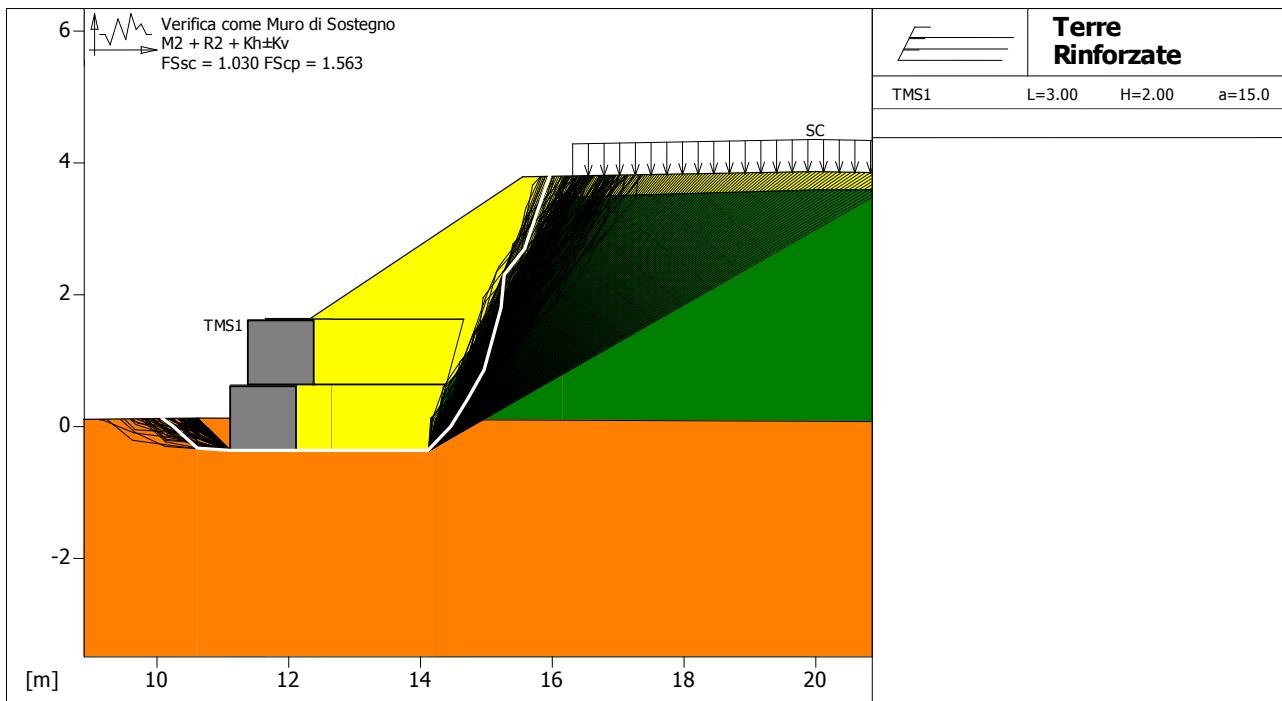
Momento Stabilizzante [kN*m/m]: 290.58

Momento Instabilizzante [kN*m/m]: 115.36

Classe momento : Coeff. parziale R - Ribaltamento

Coefficiente di sicurezza al ribaltamento : 2.519

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



Verifica come muro di sostegno :

Combinazione di carico : M2 + R2 + Kh±Kv

Stabilità verificata sul blocco : TMS1

Forza Stabilizzante [kN/m]: 69.55

Forza Instabilizzante [kN/m]: 67.51

Classe scorrimento : Coeff. parziale R - Scorrimento

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento : 1.030

Pressione ultima calcolata con metodo dell'equilibrio limite.

Pressione ultima [kN/m²]: 110.79

Pressione media agente [kN/m²]: 70.91

Classe pressione : Coeff. parziale R - Capacità portante

Coefficiente di sicurezza sulla capacità portante : 1.563

Fondazione equivalente [m]: 2.33

Eccentricità forza normale [m]: 0.34

Braccio momento [m]: 1.71

Forza normale [kN]: 150.58

Pressione estremo di valle [kN/m²]: 83.96

Pressione estremo di monte [kN/m²]: 16.43

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

Roma, 27/10/2011

TO WHOM IT MAY CONCERN

SUBJECT: Validation of Macstars W software

This is to declare that the comparative checks made with both hand calculations and other commercial softwares (Pangeo, Flac, Plaxis, Geoslope, Slope-W, Talren: see bibliography) have shown that the software Macstars-W developed by Officine Maccaferri S.p.A. for the design and check of reinforced soil structures is fully reliable and its numerical results are comparable with those of the above referred softwares.

Name: Prof. Eng. Quintilio Napoleoni

Designation: Assistant Professor in Geotechnical Engineering at the Engineering Faculty of the University of Rome "Sapienza"

(Office Stamp)



BIBLIOGRAFIA

- [1] GIVANNI I. 2001 - Limiti dei metodi tradizionali nelle verifiche di stabilità di opere in terra rinforzata con geomateriali, Università degli Studi di Ferrara - Tesi di Laurea
- [2] COEN G. 2001 - Analisi di strutture in terra rinforzata; Università degli Studi di Roma "La Sapienza" - Tesi di Laurea
- [3] EEG SIMECSOL 2003 - Norinter – Soutements en remblai renforce; Rapporto non pubblicato
- [4] VICARI M., DURAN DA SILVA J. - Lessons learned from the numerical modelling of a retaining wall with non-uniform reinforcements, INFOGEO 2005, Belo Horizonte
- 5) NAPOLEONI Q. 2010 – Verifica di terre rinforzate con software all'equilibrio globale e agli elementi finiti. Rapporto non pubblicato