

S.S. 67 "Tosco Romagnola"
Lavori di adeguamento della S.S. 67 nel tratto tra la
località S.Francesco in Comune di Pelago e l'abitato di
Dicomano.
Variante di Rufina (FI) – LOTTI 2A e 2B

PROGETTO DEFINITIVO

cod. FI462

PROGETTAZIONE:
RAGGRUPPAMENTO
TEMPORANEO PROGETTISTI

MANDATARIA:



MANDANTI:



sinergo



IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE:

Ing. Riccardo Formichi – Società Pro Iter Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. 18045

IL GEOLOGO:

Geol. Massimo Mezzanica – Società Pro Iter Srl
Ordine Geologi della Lombardia n. 762

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Ing. Massimo Mangini – Società Erre.Vi.A Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Varese n. 1502

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Francesco Pisani

PROTOCOLLO:

DATA:



ASSE PRINCIPALE

OPERE DI SOSTEGNO: MURO IN TERRA RINFORZATA

MURO IN TERRA RINFORZATA 0+612.30/00+897.38

Relazione tecnica e di calcolo

CODICE PROGETTO		NOME FILE			REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	P01-OS03-STR-RE01-A.pdf				
ACNO0113	D 20	CODICE ELAB.	P01	OS03	STR	RE01
D						
C						
B						
A	EMISSIONE		10/2023	Ing. Marino	Ing. Bonasio	Ing. Formichi
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  MANDANTI   			REV. A	FOGLIO 2 di 38
					Data Ott '23

Sommario

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
2.1	Documenti progettuali	4
3	OPERE OGGETTO DELLA RELAZIONE	5
4	MATERIALI IMPIEGATI	6
4.1	Elementi preassemblati con paramento rinverdibile e rinforzi in rete metallica a doppia torsione	6
4.2	Requisiti richiesti per il rilevato strutturale	7
5	ISTRUZIONI OPERATIVE PER LA REALIZZAZIONE DEL RILEVATO STRUTTURALE	8
5.1	Posa degli elementi di rinforzo	8
5.2	Idrosemina a spessore (eventuale).....	9
5.3	Compattazione	9
5.4	Condizioni climatiche	9
6	CONDIZIONI DI CARICO VERIFICATE	10
7	COEFFICIENTI DI SICUREZZA PARZIALI.....	11
8	IPOTESI DI CALCOLO	12
9	METODO DI CALCOLO	14
9.1	Generazione delle superfici di rottura	16
9.2	Carichi dinamici dovuti a forze di natura sismiche	17
10	ESITO DELLE VERIFICHE	20
10.1	Coefficienti di sovradimensionamento – Valori minimi ottenuti	20
11	CONCLUSIONI	21
12	ALLEGATI DI CALCOLO	22
	Allegato 1:.....	22
	REPORT di calcolo SEZIONE DI CALCOLO (sez. 21)	22

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. A	FOGLIO 3 di 38
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  ENERVIA s.r.l. ENERGIA VALUTA AMBIENTE	 sinergo	 D_VA DVisionArchitecture	
					Data Ott '23

1 PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto è stata redatta la presente relazione di calcolo inerente alla realizzazione di opere in terre rinforzate a sostegno del rilevato stradale nel tratto di nuova realizzazione denominato OS03 relativo alla variante all'abitato del comune di Rufina (FI) nell'ambito del progetto "lavori di adeguamento della S.S. 67 nel tratto tra la località S. Francesco in comune di Pelago e l'abitato di Dicomano – Variante di Rufina – Lotti 2A e 2B".

Al fine di sostenere le scarpate della rampa in progetto, si è optato per un'opera di sostegno realizzata in terre rinforzate a paramento rinverdibile con lo scopo di inserire l'opera nel contesto ambientale e naturale circostante cercando di contenerne al massimo l'impatto visivo.

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  ENERGIA VALORI AMBIENTE	  D_VA D_VisionArchitecture	A	4 di 38
				Data Ott '23	

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nella redazione della presente relazione si è fatto riferimento alla seguente normativa:

1. Nuove Norme tecniche sulle Costruzioni Approvate con D.Min. 17/01/2018
2. Norme tecniche sulle Costruzioni Approvate con D.Min. 14/01/2008
3. Circolare al D.M. del 14/01/2008
4. Eurocodice 7 “Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali”, aprile 1997.
5. Eurocodice 8 “Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 1: Regole generali – azioni sismiche e requisiti generali per le strutture”, ottobre 1997.
6. Eurocodice 8 “Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”, febbraio 1998.
7. UNI EN 14475 – Esecuzione di lavori geotecnici speciali – Terra rinforzata
8. UNI 10006 – Costruzione e manutenzione delle strade – Tecniche di impiego delle terre
9. ASTM D 3282 – Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes

2.1 DOCUMENTI PROGETTUALI

Nella redazione della presente relazione si è fatto riferimento alla seguente documentazione:

1. Relazione geotecnica generale T00-GE03-GET-RE01 A e i rispettivi profili geotecnici
2. Relazione sismica T00-GE04-GET-RE01 A

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITOVIA s.r.l. ENERGIA VALUTA AMBIENTE  sinergo  D_VA DivisionArchitecture	REV. A	FOGLIO 5 di 38
			Data Ott '23	

3 OPERE OGGETTO DELLA RELAZIONE

La presente relazione riguarda il dimensionamento delle opere in terre rinforzate a sostegno del rilevato stradale di nuova costruzione per la realizzazione della variante all'abitato di Rufina.

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 di rottura, coefficiente di aderenza 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.

Nello specifico il rilevato rinforzato verrà realizzato con il paramento esterno avente inclinazione pari a 65° ed interasse verticale tra i rinforzi pari a 0,73m ed i rinforzi saranno costituiti da rete metallica a doppia torsione.

Oggetto della presente relazione di calcolo è la sezione più alta del rilevato (sez. 21), considerata la più gravosa.

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    CITEVIA s.r.l. <small>ENERGIA VALUTA AMBIENTE</small> D_VA <small>D_VisionArchitecture</small>	A	6 di 38
			Data Ott '23	

4 MATERIALI IMPIEGATI

4.1 ELEMENTI PREASSEMBLATI CON PARAMENTO RINVERDIBILE E RINFORZI IN RETE METALLICA A DOPPIA TORSIONE

La struttura di sostegno in terra rinforzata con paramento rinverdibile è realizzata in elementi marcati CE in accordo con la ETA 16/0767 per gli specifici impieghi come “sistemi in rete metallica per il rinforzo del terreno per opere di sostegno”. La struttura è costituita da elementi di armatura planari orizzontali, larghi 3.0 m, in rete metallica a doppia torsione, realizzati in accordo con le “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 LL.PP. (n.69/2013), ed in accordo con la UNI EN 10223-3:2013.

La rete metallica a doppia torsione deve essere realizzata con maglia esagonale tipo 8x10 (UNI-EN 10223-3), tessuta con filo in acciaio trafilato, avente un diametro pari 2.70 mm, galvanizzato con lega eutettica di Zinco - Alluminio (5%), conforme all’EN 10244-2 (Classe A) con un quantitativo non inferiore a 245 g/mq. Oltre a tale trattamento il filo sarà ricoperto da un rivestimento di materiale plastico che dovrà avere uno spessore nominale di 0.50 mm, portando il diametro esterno al valore nominale di 3.70 mm.

La rete deve presentare una resistenza a corrosione in SO₂ tale per cui dopo 28 cicli la percentuale di ruggine rossa non deve essere superiore al 5% (test eseguito in accordo alla EN ISO 6988) ed una resistenza a corrosione in test in nebbia salina tale per cui dopo 6000h la percentuale di ruggine rossa non deve essere superiore al 5% (test eseguito in accordo alla EN ISO 9227). Inoltre, dovrà avere una resistenza all’abrasione del rivestimento polimerico superiore ai 100.000 secondo test eseguito in accordo alla EN60229-2008. Cicli, una resistenza a raggi U.V. tale per cui, dopo esposizione di 2500 ore ai raggi QUV-A (ISO 4892-3 Mode 1), le prestazioni meccaniche del polimero di base non variano in misura maggiore al 25%. Infine, dovrà possedere una certificazione ambientale (EPD) emessa da ente terzo accreditato in accordo a ISO 14025 e EN 15804 presentando un coefficiente Global Warming Potential (GWP 100 anni) <1.5 kgCO₂-Equiv. per kg di prodotto realizzato.

La resistenza a trazione nominale della rete dovrà essere non inferiore a 50 kN/m (test eseguiti in accordo alla UNI EN 10223-3:2013); la capacità di carico massimo a punzonamento della rete dovrà essere non inferiore a 65 kN (test eseguiti in accordo alla UNI 11437).

Ogni singolo elemento è provvisto di barrette di rinforzo galvanizzate con lega eutettica di Zinco-Alluminio (5%), con un quantitativo non inferiore a 265 g/mq e plasticate, aventi diametro pari a 3.40/4.40 mm e inserite all’interno della doppia torsione delle maglie, in corrispondenza dello spigolo superiore ed inferiore del paramento. Il paramento in vista sarà provvisto inoltre di un elemento di irrigidimento interno assemblato in fase di produzione in stabilimento, costituito da un pannello di rete elettrosaldato con diametro non inferiore a 8 mm e da un idoneo ritentore di fini. Il paramento sarà fissato con pendenza variabile, per mezzo di elementi a squadra realizzati in tondino metallico e preassemblati alla struttura. Gli elementi di rinforzo contigui saranno posti in opera e legati tra loro con punti metallici meccanizzati galvanizzati con Galmac lega eutettica di Zinco - Alluminio (5%) classe A secondo la UNI EN 10244-2, con diametro 3.00 mm e carico di rottura minimo pari a 1700 MPa.

L’Appaltatore, prima dell’inizio dei lavori, dovrà fornire alla D.L. una documentazione contenente le certificazioni del Produttore tra le quali, schede tecniche del materiale, Certificato comprovante la Marcatura CE (FPC Factory production Certificate) e la DOP (Declaration of Performance), ISO 9001, 14001, 14025 e EN 15804, polizza assicurativa RC prodotto, certificato BBA o assimilabile.

La mancata presentazione della presente documentazione implica la non accettazione del prodotto.

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITELVA s.r.l. ENERGIA VARIETA' AMBIENTE	 sinergo	A	7 di 38
				Data Ott '23	

Il posizionamento e le lunghezze dei singoli rinforzi in rete metallica a doppia torsione, sono riportate negli elaborati grafici di dettaglio e nei tabulati di dimensionamento allegati.

4.2 REQUISITI RICHIESTI PER IL RILEVATO STRUTTURALE

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 ASTM D 3282 o UNI 10006 dovrà appartenere ai A1-a, A1-b, A3, A2-4, A2-5 con esclusione di pezzature superiori a 150mm.

Il materiale con dimensioni superiori a 100 mm è ammesso con percentuale inferiore al 15% del totale. In ogni caso dovranno essere esclusi i materiali che, da prove opportune, presentino parametri geomeccanici (angoli d'attrito e coesione) minori di quelli previsti in progetto.

Il peso di volume del terreno di riempimento, compattato in opera, dovrà essere superiore a 18-19 kN/mc.

Le caratteristiche e l'idoneità dei materiali saranno accertate mediante le seguenti prove di laboratorio.

- analisi granulometrica;
- determinazione del contenuto naturale d'acqua;
- determinazione del limite liquido e dell'indice di plasticità sull'eventuale porzione di passante al setaccio 0,4 UNI 2332;
- prova di compattazione AASHTO.

Le prove andranno distribuite in modo tale da essere sicuramente rappresentative dei risultati conseguiti in sede di preparazione dei piani di posa degli elementi di rinforzo, in relazione alle caratteristiche dei terreni utilizzati.

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l. MANDANTI  entevia INGEGNERIA VALUTAZIONE AMBIENTE E TERRITORIO  sinergo  D_VA D_VisionArchitecture	REV. A	FOGLIO 8 di 38
		Data Ott '23	

5 ISTRUZIONI OPERATIVE PER LA REALIZZAZIONE DEL RILEVATO STRUTTURALE

5.1 POSA DEGLI ELEMENTI DI RINFORZO

Preparazione del piano di posa

Il piano di posa delle terre rinforzate dovrà essere predisposto fino a raggiungere la quota d'imposta del primo corso da eseguire, secondo le indicazioni riportate negli elaborati di progetto.

Si dovrà provvedere innanzitutto al taglio delle piante ed alla estirpazione delle ceppaie, radici, arbusti ecc, il terreno dovrà quindi essere adeguatamente rullato e compattato fino ad ottenere le caratteristiche previste nel capitolato.

Il piano di fondazione dovrà essere regolare ed idoneo per la posa e compattazione del primo strato di riporto con ottenimento dei requisiti richiesti.

Non si dovrà operare in presenza di ristagni d'acqua o con terreni rammolliti né in presenza di elevato contenuto organico (nell'eventualità questi dovranno essere bonificati, per completa sostituzione). Nel caso in cui il piano di posa si trovi localmente depresso, in condizioni favorevoli ai ristagni d'acqua, si dovranno eseguire delle canalette di scolo laterale in pendenza con adeguato recapito.

Prima di eseguire il primo riporto occorre eseguire almeno 2-3 passate con un rullo liscio.

Il materiale proveniente dallo scavo di preparazione del piano di posa dei rilevati e dallo scavo di sbancamento per bonifica potrà essere reimpiegato, se ritenuto idoneo, nella sistemazione a verde delle scarpate.

Ogni qualvolta i rilevati dovranno poggiare su declivi con pendenza superiore al 20%, ultimata l'asportazione del terreno vegetale e fatta eccezione per diverse e più restrittive prescrizioni derivanti dalle specifiche condizioni di stabilità globale del pendio, si dovrà provvedere all'esecuzione di una gradonatura con banche in leggera contropendenza (tra 1% e 2%) e alzate verticali contenute in altezza.

Elementi preassemblati con paramento rinverdibile e rinforzi in rete metallica a doppia torsione

Come accennato in precedenza, il paramento esterno delle opere avrà inclinazione a 65° e sarà realizzato mediante la posa di armature costituite da rinforzi in rete metallica a doppia torsione come indicato negli elaborati di progetto.

Gli elementi dovranno essere posti in opera per strati costanti, secondo le modalità di seguito riportate:

1. Apertura e predisposizione del singolo elemento al di sopra del piano di appoggio preventivamente rullato e regolarizzato, avendo cura di stendere il telo di rete di rinforzo eliminando le linee di piegatura preformate in fase di produzione e messa in posizione gli elementi;
2. Posizionamento degli elementi a squadra per dare l'inclinazione al paramento; per l'assemblaggio e la legatura degli elementi è necessario essere provvisti di pinze e tenaglie; in generale, per le operazioni di legatura, si consiglia un intervallo tra punto e punto massimo di 20 cm al fine di dare una continuità strutturale;
3. Riempimento della parte a tergo del paramento con terreno vegetale che subirà una compattazione "leggera" per permettere l'attecchimento della vegetazione;
4. Riempimento in corrispondenza degli elementi di rinforzo in rete con materiale idoneo (terreno strutturale) per strati di spessore "morbido" di 35 cm;

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    ENERGIA VALUTA AMBIENTE S.p.A. D_VisionArchitecture	A	9 di 38
			Data Ott '23	

5. Compattazione del materiale posto in opera mediante rullatura secondo le indicazioni successivamente riportate;
6. Risagomatura del piano di posa per la posa dell'elemento successivo;
7. Ripetizione delle azioni da 1 a 6 fino a completamento della struttura.

5.2 IDROSEMINA A SPESSORE (EVENTUALE)

Per favorire la crescita della vegetazione, sul paramento potrà eventualmente essere eseguita una idrosemina a spessore; nell'eventualità si consiglia l'applicazione della miscela mediante idonea idroseminatrice con adeguata pompa così da garantire l'omogeneità del prodotto applicato e l'integrità della semente.

Si rimanda al periodo stagionale adeguato l'eventuale esecuzione delle opere di rinverdimento previa definizione della tipologia di essenze da parte delle figure preposte (Committente, Collaudatore, Direzione Lavori, ecc.).

5.3 COMPATTAZIONE

Le operazioni di compattazione, il tipo, le caratteristiche dei mezzi di compattazione, nonché le modalità esecutive di dettaglio (numero di passate, velocità operativa, frequenza) devono essere tali da garantire la prevista densità finale del materiale.

In ogni modo, deve ritenersi esclusa la possibilità di compattazione con pale meccaniche. Nel caso in cui lo sviluppo planimetrico dei manufatti sia modesto e gli spazi di lavoro disponibili siano esigui, si useranno mezzi di compattazione leggeri quali piastre vibranti e costipatori vibranti azionati a mano. Ogni strato sarà messo in opera con un grado di compattazione pari al 95% del valore fornito dalle prove Proctor (ASTM D 1557).

La compattazione dovrà essere condotta con metodologia atta ad ottenere un addensamento uniforme. A tale scopo, i mezzi dovranno operare con sistematicità lungo direzioni parallele, garantendo una sovrapposizione fra ciascuna passata e quella adiacente pari al 10% del mezzo costipante. La compattazione a tergo delle opere eseguite dovrà essere tale da escludere una riduzione dell'addensamento e nello stesso tempo il danneggiamento delle opere stesse. In particolare, si dovrà fare in modo che i compattatori a rullo operino ad una distanza non inferiore a 0.50 m dal paramento esterno e procedere quindi ad una successiva compattazione con "rana compattatrice" o piastra vibrante della porzione di terreno posta ad una distanza inferiore a 0.50 m dal paramento.

Questo procedimento consente di non generare deformazioni locali indotte dal passaggio o urto meccanico dei mezzi contro i componenti del sistema. Durante la costruzione, nel caso di danni causati dalle attività di cantiere o dovuti ad eventi meteorologici si dovrà provvedere al ripristino delle condizioni iniziali.

5.4 CONDIZIONI CLIMATICHE

La costruzione dei rilevati in presenza di gelo o di pioggia persistenti non sarà consentita in linea generale, tranne per quei materiali meno suscettibili all'azione del gelo e delle acque meteoriche (es. ghiaia).

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. A	FOGLIO 10 di 38
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  ENERGIA VALUTA AMBIENTE S	  D_VA D_VisionArchitecture	Data Ott '23	

6 CONDIZIONI DI CARICO VERIFICATE

Il dimensionamento della struttura è stato condotto, sulla base dei dati forniti, secondo gli Stati Limite Ultimi (SLU - SLV) sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche.

In accordo con le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018 - capitolo 6 – sono stati applicati coefficienti parziali ai carichi, ai parametri geotecnici ed alle resistenze (come definiti nel capitolo successivo).

Per quanto riguarda la stabilità globale si è utilizzato l'Approccio 1 Combinazione 2: A2+M2+R2 (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno).

Per quanto riguarda le verifiche agli SLU di tipo geotecnico (**GEO**) cioè per le verifiche esterne a scorrimento della fondazione, verifica di capacità portante della fondazione e verifica a ribaltamento della struttura si è utilizzato l'Approccio 2: A1+M1+R3 (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno).

Per quanto riguarda le verifiche agli SLU di tipo strutturale (**STR**), per le verifiche di resistenza degli elementi strutturali si è utilizzato l'Approccio 2: A1+M1+R3 (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno).

In accordo con le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018 - capitolo 7.11 – sono state condotte anche le verifiche in condizioni sismiche applicando i coefficienti parziali dei parametri geotecnici ed alle resistenze (come definiti nel capitolo successivo), mentre i coefficienti parziali dei carichi (M2) sono stati posti pari ad 1.

Per quanto riguarda la stabilità globale si è utilizzato l'Approccio 1 Combinazione 2: M2+R2+kh±kv (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno).

Per quanto riguarda le verifiche agli SLU di tipo geotecnico (**GEO**) cioè per le verifiche esterne a scorrimento della fondazione, verifica di capacità portante della fondazione e verifica a ribaltamento della struttura si è utilizzato l'Approccio 2: M1+R3+kh±kv (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno).

Per quanto riguarda invece le verifiche agli SLU di tipo strutturale (**STR**), per le verifiche di resistenza degli elementi strutturali si è utilizzato l'Approccio 2: M1+R3+kh±kv (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno).

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. A	FOGLIO 11 di 38
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  ENERVIA s.r.l. ENERGIA VALUTA AMBIENTE	 sinergo	 D_VA D_VisionArchitecture	
				Data Ott '23	

7 COEFFICIENTI DI SICUREZZA PARZIALI

Il progetto strutturale e geotecnico delle opere in esame sarà condotto in conformità alle indicazioni del D.M. 17/01/2018 (rif. Cap. 6 e Cap. 7).

Nell'ambito delle verifiche allo Stato Limite Ultimo si sono adottati i seguenti coefficienti parziali (Rif. D.M. 17/01/2018 Tab. 6.2.I, Tab. 6.2.II, Par. 7.11.6.2.2 e Par. 7.11.4) :

Coefficients PARZIALI DEI PARAMETRI DI RESISTENZA γ_R				
$R_d = R_k / \gamma_R$	R2	R2(*)	R3	R3(*)
Stabilità	1,10	1,20	1,00	1,20
Scorrimento - Slittamento per attrito	1,00	1,00	1,10	1,00
Ribaltamento	1,00	1,00	1,15	1,00
Capacità portante della Fondazione - Punzonamento	1,00	1,00	1,40	1,20

Coefficients PARZIALI DEI PARAMETRI GEOTECNICI γ_M				
	M1	M1(*)	M2	M2(*)
Peso unità di volume (γ_v)	1,00	1,00	1,00	1,00
Angolo di attrito $\tan\Phi'_k$ (γ_Φ)	1,00	1,00	1,25	1,00
Coesione efficace c'_k (γ_c)	1,00	1,00	1,25	1,00
Resistenza non drenata c_{uk} (γ_{cu})	1,00	1,00	1,40	1,00

Coefficients PARZIALI DELLE AZIONI γ_F					
		A1	A1(*)	A2	A2(*)
PERMANENTI: (Pesi, spinte geostatiche del terreno; sovraccarichi permanenti) (γ_{G1})	Favorevole	1,00	1,00	1,00	1,00
	Sfavorevole	1,30	1,00	1,00	1,00
VARIABILI: (sovraccarichi variabili; sisma; spinte relative indotte) (γ_{Q1})	Favorevole	0,00	1,00	0,00	1,00
	Sfavorevole	1,50	1,00	1,30	1,00

Nota:

Coefficienti parziali dei carichi e delle spinte (i carichi permanenti non strutturali sono assimilati ai sovraccarichi permanenti in quanto compiutamente definiti).

I coefficienti parziali di riduzione delle prestazioni dei rinforzi definiti nel report di calcolo di MacStars W come "Fs Rottura Rinforzi" e "Fs Sfilamento Rinforzi" sono posti pari all'unità poiché non definiti nelle "Nuove Norme Tecniche 2018".

(*) condizioni sismiche: nel caso di verifiche sismiche i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici vengono posti pari all'unità (Rif. 7.11.6.2.2 del D.M. 17/01/2018).

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENERVIA ENERGIA VALUTA AMBIENTE S.p.A.	A	12 di 38
			Data Ott '23	

8 IPOTESI DI CALCOLO

Nei calcoli di stabilità e resistenza si sono assunte le caratteristiche fisiche e geomeccaniche dei terreni come riportate negli allegati di calcolo.

Si sono considerati agenti il carico stradale pari a 20 kPa; per le verifiche in condizioni sismiche i sovraccarichi suddetti vengono moltiplicati per il fattore $\psi_{2j} = 0.2$ in accordo con D.M. 17/01/2018 cap. 5.1.3.12.

Il calcolo dei rinforzi viene inoltre eseguito tenendo conto delle azioni sismiche dell'area oggetto del progetto secondo quanto riportato nella relazione sismica e secondo quanto prescritto dal D.M. 17/01/2018 per cui:

- Comune di costruzione o coordinate topografiche: Rufina (FI)
- Vita nominale dell'opera - V_N (Rif. D.M. 17/01/2018 tab 2.4.I) 50 anni
- Classe d'uso (Rif. D.M. 17/01/2018 tab 2.4.II) Classe IV
- Coefficiente d'uso - C_U (Rif. D.M. 17/01/2018 tab 2.4.II) $C_U = 2.0$
- Categoria del Sottosuolo (Rif. D.M. 17/01/2018 tab. 3.2.II e tab. 3.2.IV) B
- Categoria Topografica (Rif. D.M. 17/01/2018 Tab. 3.2.III e Tab. 3.2.V) T1

Accelerazione orizzontale massima attesa su suolo rigido: $a_g/g = 0,224$

Coefficiente di sottosuolo: $S = S_s \times S_t = 1,19 \times 1,00 = 1,19$

Coefficiente di riduzione: $\beta_m = 0,38$ (valore riferito allo stato limite ultimo SLV);

Coefficiente sismico orizzontale k_h : $= S \times a_g/g \times \beta_m = 1,19 \times 0,224 \times 0,38 = \mathbf{0,101}$

Coefficiente sismico verticale k_v : $= k_h / 2 = \mathbf{\pm 0,051}$

Si è inoltre tenuto conto della presenza di falda il cui livello è stato definito nei profili geotecnici di progetto.

Il dimensionamento delle strutture in progetto è stato eseguito con riferimento a quanto riportato nella relazione geotecnica generale circa i parametri geotecnici del terreno in sito e con riferimento ai parametri geotecnici assunti per il terreno strutturale da porre tra i rinforzi.

I dati geotecnici suddetti ed i carichi considerati sono riportati nella seguente tabella.

DATI GEOTECNICI	ACC – Argille e calcari di Canetolo	$\gamma_1 = 22 \text{ kN/mc}$	$\varphi_1 = 30^\circ$	$c'_1 = 40 \text{ kPa}$
	ACC alt - Argille e calcari di Canetolo alterati	$\gamma_2 = 21 \text{ kN/mc}$	$\varphi_2 = 23^\circ$	$c'_2 = 7 \text{ kPa}$
	Terreno Strutturale	$\gamma_3 = 18 \text{ kN/ mc}$	$\varphi_3 = 34^\circ$	$c'_3 = 0 \text{ kPa}$
CARICHI ACCIDENTALI ESTERNI	Dinamico	Carico stradale 20 kPa (4 kPa in condizioni sismiche)		
	Sismico	$K_h = 0,101$ $K_v = 0,051$		

La veridicità dei dati geotecnici in fase esecutiva deve essere verificata attraverso prove di laboratorio e di cantiere. Sarà compito della DD.LL. verificare che i materiali posti in opera

<p>CODIFICA DOCUMENTO</p> <p>P 01 OS 03-STR-RE 01</p>	<p>PROGETTAZIONE</p> <p>MANDATARIA</p> <p> PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.</p> <p>MANDANTI</p> <p> ENERGIA s.p.a. ENERGIA VALUTA AMBIENTE</p> <p> sinergo</p> <p> D_VA D_VisionArchitecture</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>13 di 38</p>
		<p>Data</p> <p>Ott '23</p>	

corrispondono a quelli di progetto al fine di assicurare, nella costruzione dei rilevati, i coefficienti di sicurezza previsti.

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENTEVIA INGEGNERIA VARELLA ASSOCIATI S.p.A.	A	14 di 38
			Data Ott '23	

9 METODO DI CALCOLO

L'esame delle condizioni di stabilità dei rilevati viene condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite. La valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità viene condotta mediante un programma di calcolo denominato MacStars W cui la ricerca delle superfici critiche viene svolta attraverso la generazione automatica di un elevato numero di superfici di potenziale scivolamento.

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:

$$\tau = c + (\sigma - u) * \tan(\phi')$$

dove:

τ = tensione tangenziale massima

c = coesione

σ = pressione normale totale

u = pressione interstiziale

ϕ' = angolo di attrito

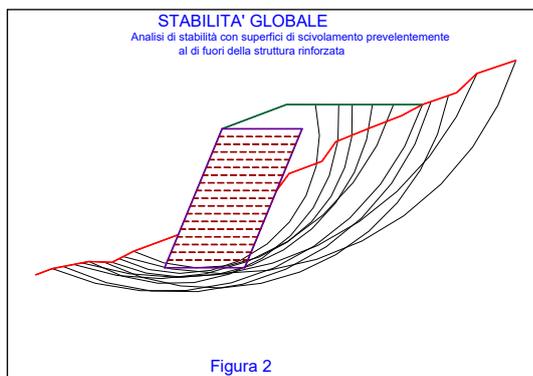
Applicando al valore della tensione tangenziale massima il coefficiente di sicurezza si ottiene la forza tangenziale mobilitata. In particolare, in questa sede si fa riferimento al metodo di BISHOP modificato che prevede l'utilizzo di superfici di scorrimento circolari.

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.

Verifica di stabilità globale

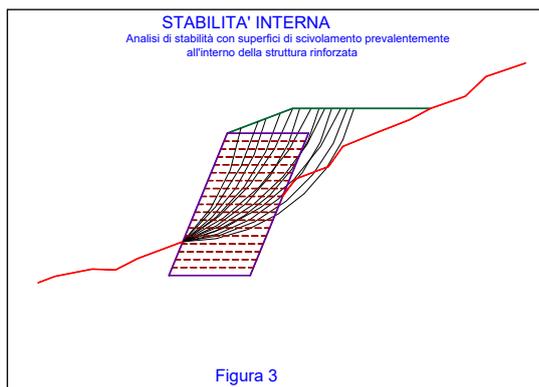
La verifica di stabilità globale, o stabilità di base, è da intendersi come la verifica di stabilità con i metodi all'equilibrio limite di un pendio, rinforzato o meno. Può quindi essere utilizzato per valutare la stabilità del pendio in assenza di rinforzi, prima delle ipotesi di progetto di rinforzo. 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. 2).



CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENERVIA ENERGIA VALLE D'AOSTA S.p.A.	A	15 di 38
			Data Ott '23	

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. 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 dal 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 (fornito dall'utente);
- 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 nel 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 nel 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.

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio S.r.l. MANDANTI    D_VA D_VisionArchitecture	REV. A	FOGLIO 16 di 38
		Data Ott '23	

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.

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 paramento.

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.

9.1 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.

La ricerca della superficie critica è sostanzialmente guidata dall'utente mediante l'utilizzo di alcuni parametri geometrici quali:

- l'estensione del tratto da cui partono le superfici;
- l'estensione del tratto in cui terminano le superfici;
- l'ampiezza dell'angolo di partenza delle superfici;
- la lunghezza di ogni singolo tratto della superficie di scorrimento;
- una quota minima sotto la quale le superfici non possono arrivare;
- un profilo geometrico all'interno del quale le superfici non possono entrare (ad esempio un profilo roccioso).

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    EITRIZIA s.r.l. <small>INGEGNERIA VALUTAZIONE AMBIENTE E</small> D_VA D_VisionArchitecture	A	17 di 38
			Data Ott '23	

Il risultato finale può dipendere anche sensibilmente da tali scelte per cui è sempre opportuno eseguire più calcoli con differenti parametri. Ogni singola superficie viene generata mediante successione di tratti (della lunghezza stabilita dall'utente) la cui inclinazione è generata in modo casuale, ma comunque parzialmente guidata per rispettare i vincoli imposti.

9.2 CARICHI DINAMICI DOVUTI A FORZE DI NATURA SISMICHE

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 % dell'accelerazione g, danno luogo a forze orientate verso l'esterno del pendio e verso l'alto.

Il contributo dei teli di rinforzo viene introdotto nel calcolo solo se essi intersecano la superficie di scivolamento. La resistenza a trazione nei rinforzi può mobilitarsi per l'aderenza tra il rinforzo stesso ed i materiali (terreno o altri rinforzi) che si trovano sopra e/o sotto. Tale contributo viene simulato con una forza stabilizzante diretta verso l'interno del rilevato applicata nel punto di contatto tra superficie di scorrimento e rinforzo stesso. Il modulo di tale forza è determinato scegliendo il minore tra il valore della resistenza a rottura del rinforzo ed il valore della resistenza allo sfilamento del rinforzo nel tratto di ancoraggio o nel tratto interno alla porzione di terreno instabile.

Per tenere conto dell'effetto dei rinforzi è stato implementato un modello di comportamento 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 rigidezza dei rinforzi stessi. Per ciascun rinforzo vengono 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.

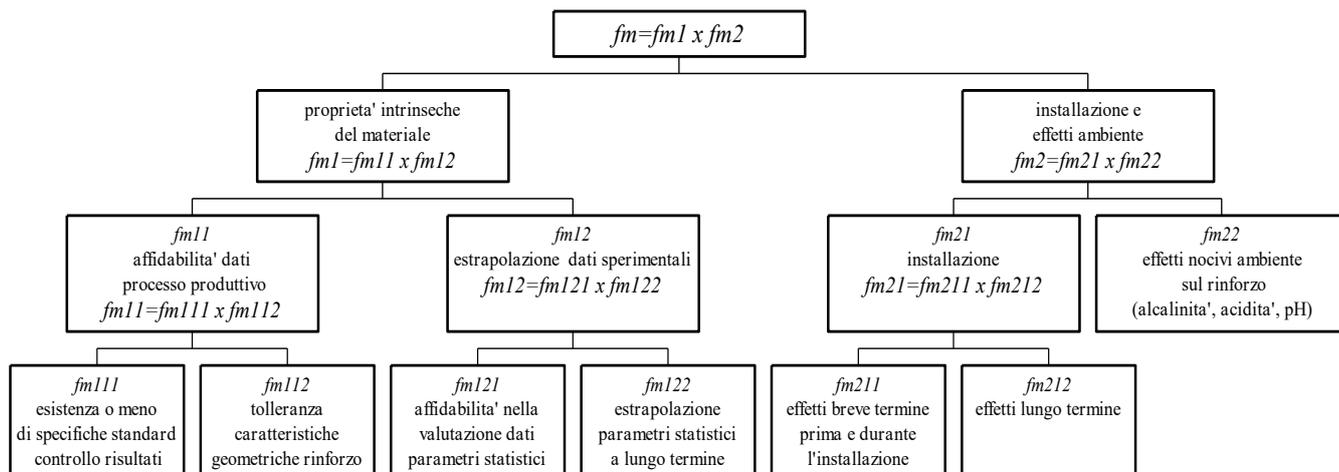
Nel primo caso una lunghezza di ancoraggio inferiore al minimo stabilito comporta l'annullamento completo della trazione nel rinforzo. Nel secondo e terzo caso la trazione nel rinforzo viene limitata al minore dei due valori di sfilamento. Ai fini del calcolo strutturale si è tenuto conto che si tratta di un'opera permanente per cui si è fatto riferimento alle prestazioni a lungo termine dei materiali.

A tale proposito viene valutato il parametro di resistenza di lavoro T_d . Mancando in Italia uno specifico riferimento normativo, la stima della resistenza di lavoro degli elementi di rinforzo è stata determinata facendo riferimento allo schema illustrato di seguito che la normativa inglese BS8006 prescrive per i rinforzi in genere.

La resistenza di lavoro T_d è valutata secondo la formula: $T_d = T_b / f_m$

Dove f_m è il fattore di sicurezza complessivo che consente di passare dalla resistenza a trazione nominale T_b a quella di progetto e si compone secondo lo schema indicato di seguito:

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l. MANDANTI ENERVIA s.p.a. ENERGIA VERDE AMBIENTE sinergo D_VA D_VisionArchitecture	REV. A	FOGLIO 18 di 38
		Data Ott '23	



La valutazione di dettaglio dei fattori parziali di sicurezza è riportata nei **certificati BBA** relativi agli elementi preassemblati considerati; di seguito sono riportati i fattori parziali di sicurezza riferiti ad una vita di progetto pari a 120 anni:

ELEMENTI tipo TERRAMESH VERDE o SIMILARI – 120 ANNI			
Fattore	Significato	Valore	Note
F_{creep}	Creep	1.0	Acciaio insensibile al creep
f_{m111}	Controlli di qualità	1.0	Resistenza a trazione minima
f_{m112}	Tolleranze in produzione	1.04	Diametro filo 2.7 ± 0.06 mm
f_{m121}	Affidabilità dati disponibili	1.0	Centinaia di test di trazione eseguiti
f_{m122}	Affidabilità estrapolazione alla vita utile di progetto	1.0	Test di trazione eseguiti da oltre 20 anni
f_{m211}	Installazione: effetti a breve termine	1.0	Nessun danneggiamento dell'acciaio
f_{m212}	Installazione: effetti a lungo termine	1.0 - 1.15	Rispettivamente per sabbie e ghiaie
f_{m22}	Degradazione chimica e biologica	1.05	Alta stabilità chimica del polimero
f_m		1.09 - 1.26	

La resistenza nominale del rinforzo metallico T_b , è pari alla resistenza a trazione ultima e nel caso del Terramesh si fa riferimento alle procedure di prova descritte nel Par. 9.3 della UNI EN 10223-3:2013 che tengono in conto le caratteristiche geometriche delle reti a doppia torsione; tale procedura di prova è parte integrante del sistema di controllo qualità alla base della marcatura CE del Terramesh ETA 16/0767.

Il valore minimo di resistenza a trazione così determinato risulta pari a:

$$T_b = 50 \text{ kN/m}$$

Per rinforzi realizzati in rete metallica doppia torsione, che non subiscono effetti di creep alle condizioni di carico di lavoro, tale coefficiente di riduzione non viene applicato.

La tabella seguente mostra i valori della resistenza a trazione dei rinforzi e il valore dei coefficienti di sicurezza applicati:

- f_{m11} , fattore di sicurezza di estrapolazione dati;
- f_{m21} fattore di sicurezza dovuto ai danni da installazione;
- f_{m22} fattore di sicurezza legato a fattori ambientali e chimici;
- f_{creep} fattore di sicurezza legato al creep.

Pertanto, il fattore di sicurezza globale f_m è ottenuto come:

$$f_m = f_{m11} * f_{m21} * f_{m22} * f_{creep}$$

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    ENERVIA s.p.a. ENERGIA VERDE AMBIENTE D_VA D_VisionArchitecture	A	19 di 38
			Data Ott '23	

		Elementi tipo TERRAMESH VERDE o similari (mesh 8x10 wire 2.7/3.7mm)
		Ghiaia e Pietrisco
Resistenza caratteristica a trazione (UTS)	kN/m	50
Coefficiente di sicurezza per estrapolazione dati f_{m11}		1.04
Coefficiente di danno da installazione f_{m21}	-	1.15
Coefficiente fattori ambientali/chimici f_{m22}	-	1.05
Coefficiente di creep – f_{creep}	-	-
Coefficiente di sicurezza globale - f_m	-	1.26
Resistenza a trazione di progetto	kN/m	39.6

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VA D_VisionArchitecture		A	20 di 38
				Data Ott '23	

10 ESITO DELLE VERIFICHE

La sezione verificata secondo la combinazione più gravosa per il dimensionamento, di cui nel seguito si riportano i tabulati di calcolo, è la sezione 21:

Muro MS03 - Sezione 21

Hmuro = 8,02 m

Lmuro = 8,00 m

10.1 COEFFICIENTI DI SOVRADIMENSIONAMENTO – VALORI MINIMI OTTENUTI

Nella verifica di stabilità esterna ed interna si definiscono i cosiddetti coefficienti di sovradimensionamento, cioè i rapporti fra le capacità di resistenza della struttura e le azioni agenti sulla struttura stessa.

Poiché nel calcolo si introducono sia coefficienti di sicurezza parziali che fattori di amplificazione dei carichi, è sufficiente che i fattori di sovradimensionamento siano maggiori od uguali a 1,00 per garantire la sicurezza nei confronti del criterio considerato. I valori minimi ottenuti nella struttura in oggetto sono riportati in dettaglio di seguito e nei tabulati di calcolo allegati.

SEZIONE DI CALCOLO

Coefficienti Minimi di Sovradimensionamento (+kv)					
OS03 - Sezione 21	Stabilità Esterna				Stabilità Interna
	Globale	Scorrimento	Ribaltamento	Capacità Portante	
Sismica	1.05	1.67	3.66	1.93	1.10
Statica	1.25	2.48	6.25	1.92	1.53
Condizione soddisfare	da ≥ 1.00	≥ 1.00	≥ 1.00	≥ 1.00	≥ 1.00

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  ENERGIA VALUTA AMBIENTE		 D_VA DVisionArchitecture	A
					Data
					Ott '23

11 CONCLUSIONI

Si è data illustrazione della relazione di calcolo per il dimensionamento di opere in terre rinforzate a sostegno del rilevato stradale” nel tratto di nuova realizzazione denominato OS03 relativo alla variante all’abitato del comune di Rufina (FI) nell’ambito del progetto “*lavori di adeguamento della S.S. 67 nel tratto tra la località S. Francesco in comune di Pelago e l’abitato di Dicomano – Variante di Rufina – Lotti 2A e 2B*”.

Di tali opere sono state verificate, nella sezione ritenuta più significativa, le condizioni di stabilità in relazione alle condizioni normali ed eccezionali cui potrà essere soggetta: si esprime pertanto giudizio positivo in merito alla loro fattibilità.

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. A	FOGLIO 22 di 38
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  ENERVIA s.p.a. ENERGIA VERDE AMBIENTE	 sinergo	 D_VA DVisionArchitecture	
					Data Ott '23

12 ALLEGATI DI CALCOLO

Allegato 1:

REPORT di calcolo SEZIONE DI CALCOLO (sez. 21)

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_: Anas - Variante di Rufina (Fi) Lotti 2A e 2B - Muri in terra verde

Sezione_: Sez 21 (MS03)

Località_: Rufina (FI)

Data_: 25/09/2023

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

SOMMARIO

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI   D_VA D_VisionArchitecture	A	24 di 38
			Data Ott '23	

Strato: ACC ALT

Descrizione:

Terreno : ACC ALT

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
0.00	32.71	16.16	28.40	20.00	27.56	25.00	26.64
33.75	25.35	35.25	25.15	36.75	24.96	38.05	24.83
38.30	24.79	40.79	24.31	42.08	24.31	50.00	24.34
55.00	24.27	60.00	24.14				

Strato: RIL

Descrizione:

Terreno : RIL

X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
16.16	28.40	23.25	33.13	24.75	33.19	35.25	32.80
36.75	32.74	38.05	31.88	38.30	31.88	42.08	24.31

PROFILI FALDE FREATICHE

Falda: WL

Descrizione: Falda

X [m]	Y [m]	Y [m]	P [kN/m ²]	X [m]	Y [m]	Y [m]	P [kN/m ²]
0.00	29.21			16.16	24.90		
20.00	24.06			25.00	23.14		
33.75	21.85			35.25	21.65		
36.75	21.46			38.05	21.33		
38.30	21.29			40.79	20.81		
50.00	20.84			55.00	20.77		
60.00	20.64						

BLOCCHI RINFORZATI

Blocco : TMV1

Dati principali.....[m].....: Larghezza.....= 8.00 Altezza.....= 2.92
 Coordinate Origine.....[m].....: Ascissa.....= 42.42 Ordinata.....= 23.58
 Inclinazione paramento...[°].....: 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo.....: Ghiaia
 Rilevato strutturale.....: RIL
 Terreno di riempimento a tergo.....: RIL
 Terreno di copertura.....: RIL
 Terreno di fondazione.....: ACC ALT

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 :

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

Lunghezza.....[m].....= 8.00
 Interasse.....[m].....= 0.73
 Risvolto.....[m].....= 0.65

Blocco : TMV2

Dati principali.....[m].....: Larghezza.....= 6.00 Altezza.....= 2.19
 Arretramento.....[m].....= 0.00 da TMV1

CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VA D_VisionArchitecture	A	25 di 38
			Data Ott '23	

Inclinazione paramento...[°].....: 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo.....: Ghiaia
Rilevato strutturale.....: RIL
Terreno di riempimento a tergo.....: RIL
Terreno di copertura.....: RIL
Terreno di fondazione.....: RIL

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 :

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

Lunghezza.....[m]..... = 6.00
Interasse.....[m]..... = 0.73
Risolto.....[m]..... = 0.65

Blocco : TMV3

Dati principali.....[m].....: Larghezza..... = 4.00 Altezza..... = 2.92
Arretramento.....[m]..... = 0.00 da TMV2
Inclinazione paramento...[°].....: 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo.....: Ghiaia
Rilevato strutturale.....: RIL
Terreno di riempimento a tergo.....: RIL
Terreno di copertura.....: RIL
Terreno di fondazione.....: RIL

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 :

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

Lunghezza.....[m]..... = 4.00
Interasse.....[m]..... = 0.73
Risolto.....[m]..... = 0.65

CARICHI

In condizioni statiche:

Pressione : CS

Descrizione : Carico stradale

Classe : Variabile - sfavorevole

Intensità.....[kN/m²]..... = 20.00 Inclinazione.....[°]..... = 0.00

Ascissa.....[m] : Da = 24.75 To = 35.25

In condizioni sismiche:

Pressione : CS

Descrizione : Carico stradale

Classe : Variabile - sfavorevole

Intensità.....[kN/m²]..... = 4.00 Inclinazione.....[°]..... = 0.00

Ascissa.....[m] : Da = 24.75 To = 35.25

<p>CODIFICA DOCUMENTO</p> <p>P 01 OS 03-STR-RE 01</p>	<p>PROGETTAZIONE</p> <p>MANDATARIA</p>  <p>MANDANTI</p>   	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>26 di 38</p>
		<p>Data</p> <p>Ott '23</p>	

Sisma :

Classe : Sisma

Accelerazione...[m/s²]...: Orizzontale.....= 0.99 Verticale.....= 0.50

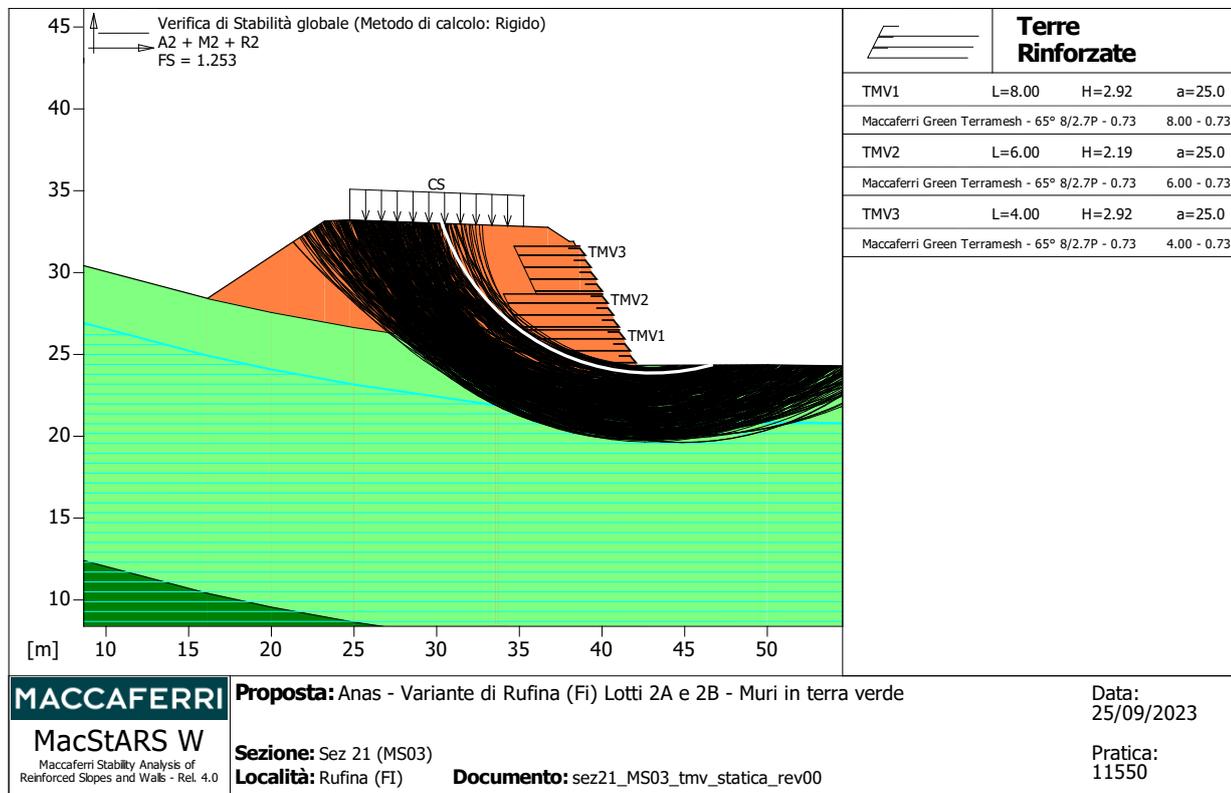
CODIFICA DOCUMENTO P 01 OS 03-STR-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. A	FOGLIO 27 di 38
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VA D_VisionArchitecture	Data Ott '23	

PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI

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

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 IN CONDIZIONI STATICHE



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.....: 1.253

Intervallo di ricerca delle superfici

Segmento di partenza, ascisse [m]		Segmento di arrivo, ascisse [m]	
Primo punto	Secondo punto	Primo punto	Secondo punto
44.00	59.00	20.00	36.00

Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....:	200
Numero totale superfici di prova.....:	2000
Lunghezza segmenti delle superfici..... [m]:	1.00
Angolo limite orario..... [°]:	0.00
Angolo limite antiorario..... [°]:	0.00

Blocco : TMV1

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

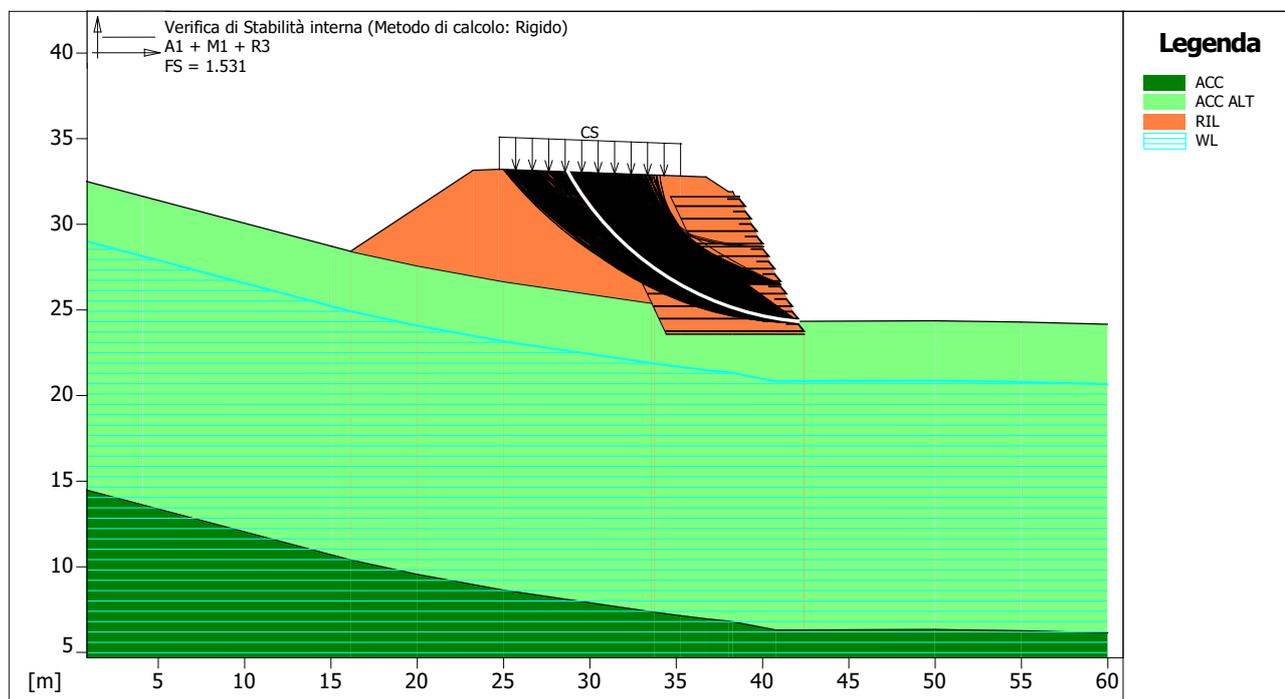
Y	Tb	Tp	Td	Tb/Td	Tp/Td
[m]	rottura [kN/m]	sfilamento [kN/m]	agente [kN/m]	1/Fmax	
0.730	50.0	980.5	39.7	1.26	24.70
1.460	50.0	683.3	39.7	1.26	17.21
2.190	50.0	476.9	39.7	1.26	12.01

Fattore

1.30	Classe
1.25	Variable - 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

<p>CODIFICA DOCUMENTO</p> <p>P 01 OS 03-STR-RE 01</p>	<p>PROGETTAZIONE</p> <p>MANDATARIA</p>  <p>MANDANTI</p>   	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>29 di 38</p>
		<p>Data</p> <p>Ott '23</p>	

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



Legenda

- ACC
- ACC ALT
- RIL
- WL

MACCAFERRI
MacStARS W
Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Slopes and Walls - Rel. 4.0

Proposta: Anas - Variante di Rufina (Fi) Lotti 2A e 2B - Muri in terra verde
Sezione: Sez 21 (MS03)
Località: Rufina (FI) **Documento:** sez21_MS03_tmv_statica_rev00

Data: 25/09/2023
Pratica: 11550

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 : 1.531

Intervallo di ricerca delle superfici

Blocco	Segmento di arrivo, ascisse [m]	
TMV1	Primo punto	Secondo punto
	25.00	39.00
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....:	1	
Numero totale superfici di prova.....:	2000	
Lunghezza segmenti delle superfici..... [m].....:	1.00	
Angolo limite orario..... [°].....:	0.00	
Angolo limite antiorario..... [°].....:	0.00	

Blocco : TMV1

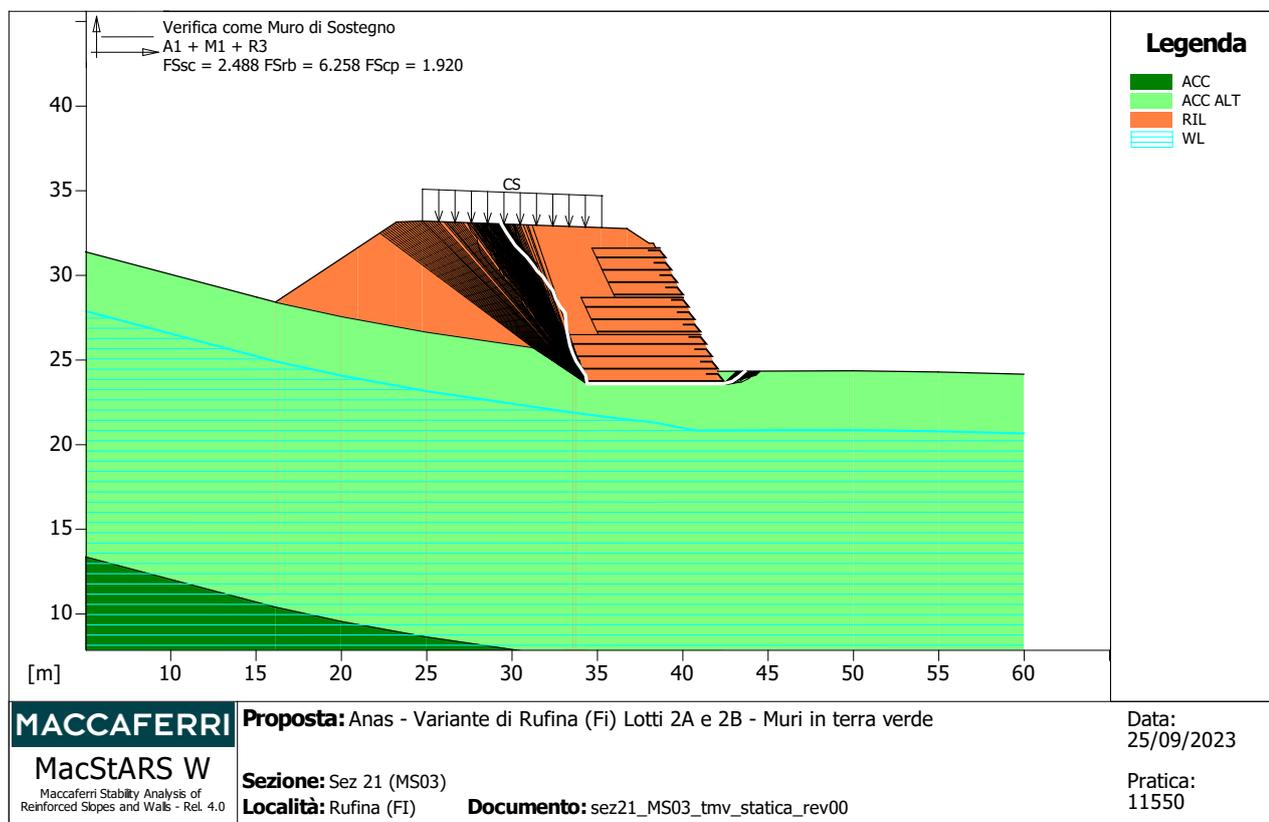
Maccaferri - Green Terramesh - 65° - 8/2.7P - 0.73

Y	Tb	Tp	Td	Tb/Td	Tp/Td
[m]	rottura [kN/m]	sfilamento [kN/m]	agente [kN/m]	1/Fmax	
1.460	50.0	841.8	39.7	1.26	21.20
2.190	50.0	563.8	39.7	1.26	14.20

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

<p>CODIFICA DOCUMENTO</p> <p>P 01 OS 03-STR-RE 01</p>	<p>PROGETTAZIONE</p> <p>MANDATARIA</p>  <p>MANDANTI</p>   	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>31 di 38</p>
		<p>Data</p> <p>Ott '23</p>	

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



MACCAFERRI
MacStARS W
Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Slopes and Walls - Rel. 4.0

Proposta: Anas - Variante di Rufina (Fi) Lotti 2A e 2B - Muri in terra verde
Sezione: Sez 21 (MS03)
Località: Rufina (FI) **Documento:** sez21_MS03_tmv_statica_rev00

Data: 25/09/2023
 Pratica: 11550

Verifica come muro di sostegno :

Combinazione di carico : A1 + M1 + R3

Stabilità verificata sul blocco : TMV1

Forza Stabilizzante.....[kN/m]..... : 570.89

Forza Instabilizzante.....[kN/m]..... : 208.63

Classe scorrimento.....: Coeff. parziale R - Scorrimento

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento..... : 2.488

Momento Stabilizzante.....[kN*m/m]..... : 6907.70

Momento Instabilizzante.....[kN*m/m]..... : 959.79

Classe momento.....: Coeff. parziale R - Ribaltamento

Coefficiente di sicurezza al ribaltamento..... : 6.258

Pressione ultima calcolata con metodo dell'equilibrio limite.

Pressione ultima.....[kN/m²]..... : 413.48

Pressione media agente.....[kN/m²]..... : 153.85

Classe pressione.....: Coeff. parziale R - Capacità portante

Coefficiente di sicurezza sulla capacità portante..... : 1.920

Fondazione equivalente.....[m]..... : 8.00

Eccentricità forza normale.....[m]..... : -0.90

Braccio momento.....[m]..... : 4.60

Forza normale.....[kN]..... : 1213.00

Pressione estremo di valle.....[kN/m²]..... : 24.44

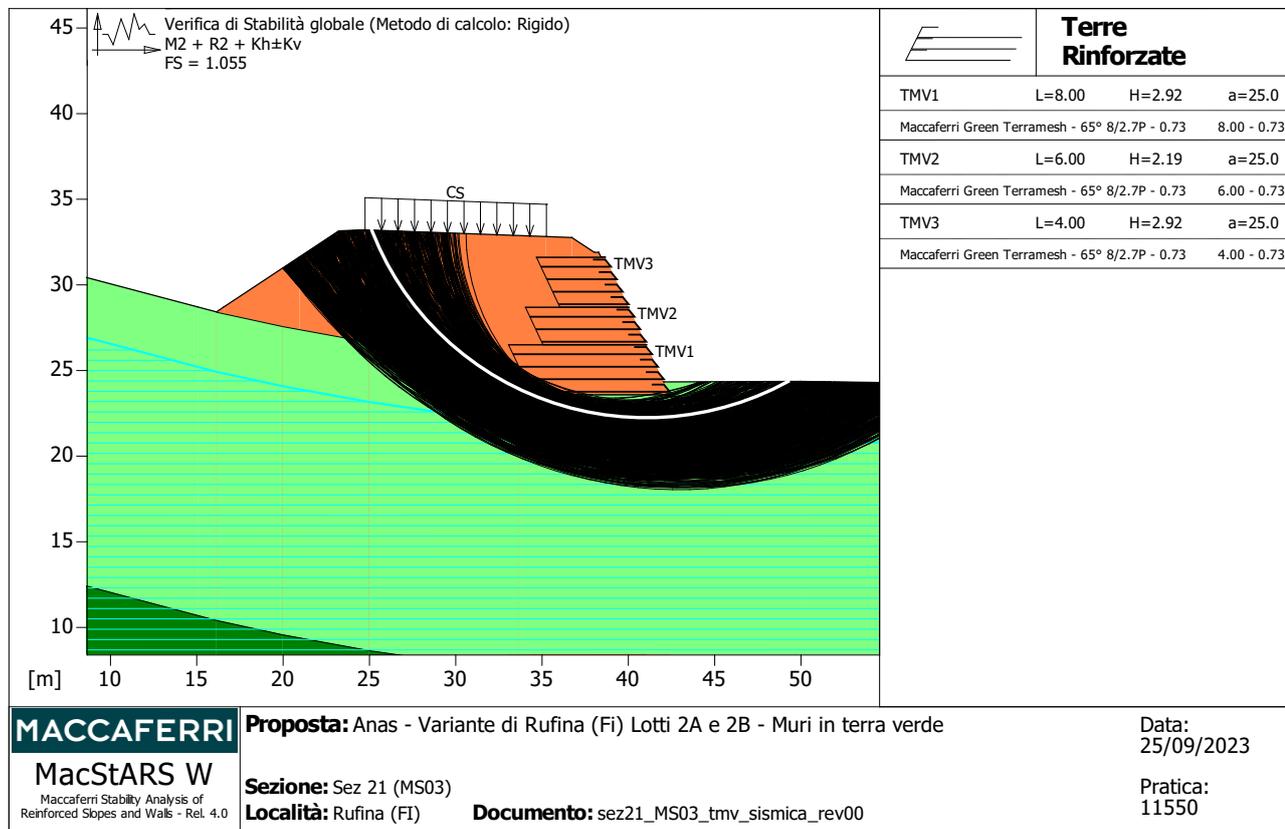
Pressione estremo di monte.....[kN/m²]..... : 367.27

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

<p>CODIFICA DOCUMENTO</p> <p>P 01 OS 03-STR-RE 01</p>	<p>PROGETTAZIONE</p> <p>MANDATARIA</p> <p> PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.</p> <p>MANDANTI</p> <p> CITIZIA s.r.l. SICUREZZA SANITÀ AMBIENTE</p> <p> sinergo</p> <p> D_VA D_VisionArchitecture</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>33 di 38</p>
		<p>Data</p> <p>Ott '23</p>	

- 1.10 Coeff. parziale R - Scorrimento
- 1.40 Coeff. parziale R - Capacità portante
- 1.15 Coeff. parziale R – Ribaltamento

VERIFICHE IN CONDIZIONI SISMICHE



Verifica di stabilità globale :

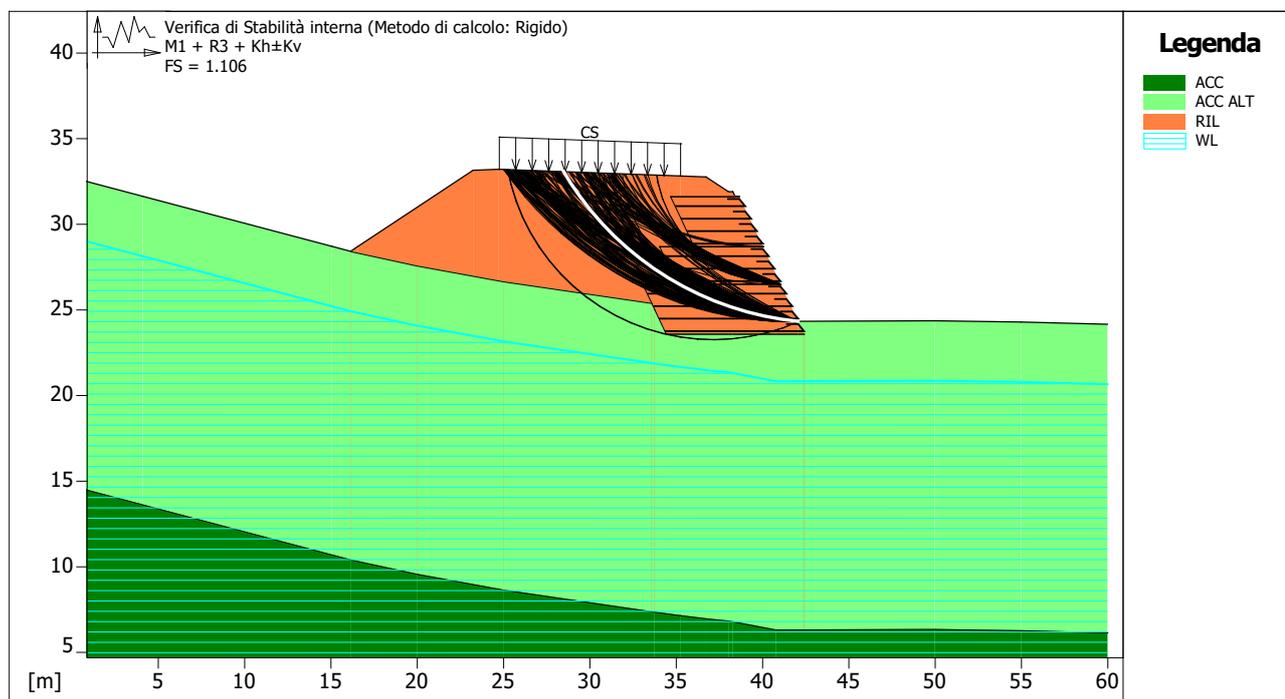
Combinazione di carico : M2 + R2 + Kh±Kv
 Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido
 Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop

Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 1.055

Intervallo di ricerca delle superfici

Segmento di partenza, ascisse [m]		Segmento di arrivo, ascisse [m]	
Primo punto	Secondo punto	Primo punto	Secondo punto
44.00	59.00	20.00	36.00
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....:		200	
Numero totale superfici di prova.....:		2000	
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
1.00	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



MACCAFERRI MacStARS W <small>Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Slopes and Walls - Rel. 4.0</small>	Proposta: Anas - Variante di Rufina (Fi) Lotti 2A e 2B - Muri in terra verde Sezione: Sez 21 (MS03) Località: Rufina (FI) Documento: sez21_MS03_tmv_sismica_rev00	Data: 25/09/2023 Pratica: 11550
--	---	--

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 : 1.106

Intervallo di ricerca delle superfici

Blocco	Segmento di arrivo, ascisse [m]	
TMV1	Primo punto	Secondo punto
	25.00	39.00
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	

Blocco : TMV1

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

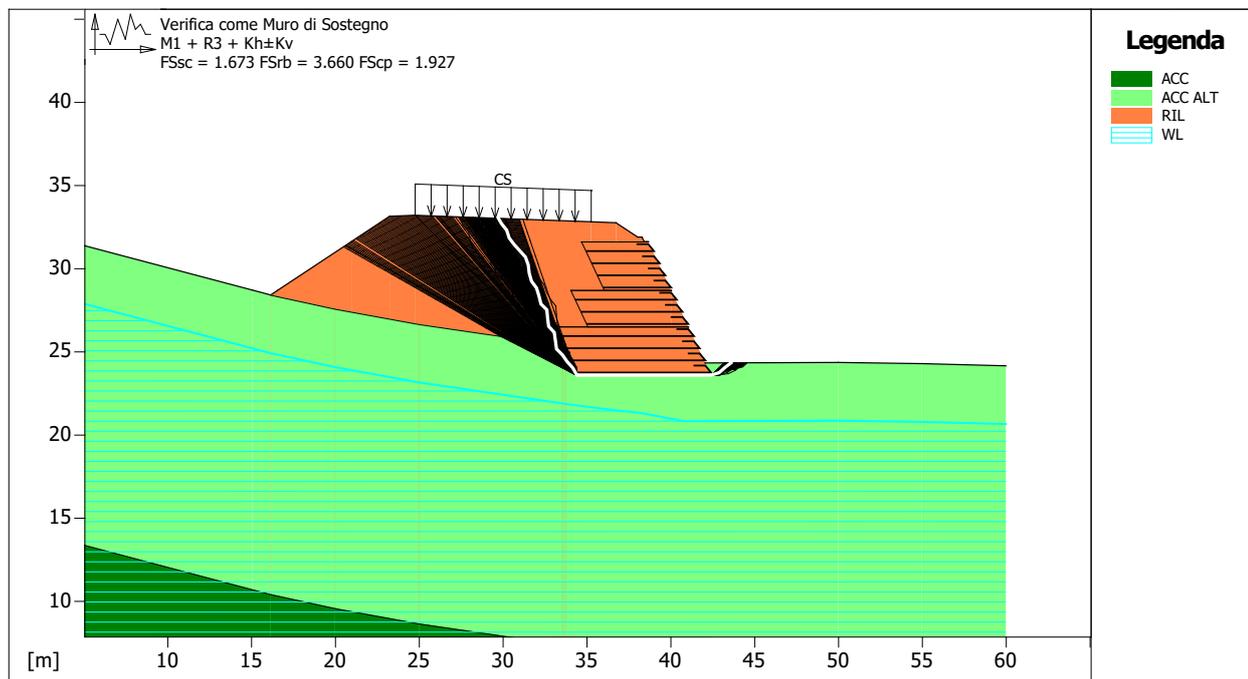
Y	Tb	Tp	Td	Tb/Td	Tp/Td
[m]	rottura [kN/m]	sfilamento [kN/m]	agente [kN/m]	1/Fmax	
1.460	50.0	798.9	39.7	1.26	20.12
2.190	50.0	505.2	39.7	1.26	12.73

Fattore

1.00	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

<p>CODIFICA DOCUMENTO</p> <p>P 01 OS 03-STR-RE 01</p>	<p>PROGETTAZIONE</p> <p>MANDATARIA</p>  <p>MANDANTI</p>   	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>36 di 38</p>
		<p>Data</p> <p>Ott '23</p>	

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



MACCAFERRI MacStARS W <small>Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Slopes and Walls - Rel. 4.0</small>	Proposta: Anas - Variante di Rufina (Fi) Lotti 2A e 2B - Muri in terra verde Sezione: Sez 21 (MS03) Località: Rufina (FI) Documento: sez21_MS03_tmrv_sismica_rev00	Data: 25/09/2023 Pratica: 11550
--	--	--

Verifica come muro di sostegno :

Combinazione di carico : M1 + R3 + Kh±Kv

Stabilità verificata sul blocco : TMV1

Forza Stabilizzante.....[kN/m]..... : 521.84

Forza Instabilizzante.....[kN/m]..... : 311.83

Classe scorrimento.....: Coeff. parziale R - Scorrimento

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento.....: 1.673

Momento Stabilizzante.....[kN*m/m]..... : 6435.90

Momento Instabilizzante.....[kN*m/m]..... : 1758.20

Classe momento.....: Coeff. parziale R - Ribaltamento

Coefficiente di sicurezza al ribaltamento.....: 3.660

Pressione ultima calcolata con metodo dell'equilibrio limite.

Pressione ultima.....[kN/m²]..... : 329.79

Pressione media agente.....[kN/m²]..... : 142.61

Classe pressione.....: Coeff. parziale R - Capacità portante

Coefficiente di sicurezza sulla capacità portante.....: 1.927

Fondazione equivalente.....[m]..... : 8.00

Eccentricità forza normale.....[m]..... : -0.26

Braccio momento.....[m]..... : 5.64

Forza normale.....[kN]..... : 1097.40

Pressione estremo di valle.....[kN/m²]..... : 115.89

Pressione estremo di monte.....[kN/m²]..... : 177.71

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

<p>CODIFICA DOCUMENTO</p> <p>P 01 OS 03-STR-RE 01</p>	<p>PROGETTAZIONE</p> <p>MANDATARIA</p> <p> PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.</p> <p>MANDANTI</p> <p> CITIZIA s.r.l. SICUREZZA SANITÀ AMBIENTE</p> <p> sinergo</p> <p> D_VA D_VisionArchitecture</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>38 di 38</p>
		<p>Data</p> <p>Ott '23</p>	

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