

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



DIREZIONE TECNICA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA

INTERVENTI VERSANTE

Relazione di calcolo interventi di stabilizzazione

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

IF1W 00 D 09 GE GB0000 003 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Aut.izzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	F.Bianchi	Dicembre 2018	M.E.D'Effremo	Dicembre 2018	D.Aprea	Dicembre 2018	2018 Dic

File: IF1W00D09GEGB000003A.doc

n. Elab.: 396\_1

## INDICE

1.	PREMESSA .....	4
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA.....	5
2.1	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....	5
2.1.1	<i>Geologia</i> .....	5
2.1.2	<i>Geotecnica generale</i> .....	5
2.1.3	<i>Interventi e monitoraggio</i> .....	6
2.2	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO .....	6
3.	MATERIALI .....	7
3.1	CARATTERISTICHE GABBIONI .....	7
3.2	CARATTERISTICHE CALCESTRUZZO MAGRO.....	7
3.3	CARATTERISTICHE DEL GEOTESSILE CON FUNZIONE DI FILTRO .....	7
4.	SISMICITÀ.....	8
5.	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	9
6.	OBIETTIVI DEGLI INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE DEI PENDII.....	12
7.	VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA DEL SISTEMA DI ASTE DRENANTI .....	13
8.	GABBIONATA: MODELLO GEOTECNICO E SEZIONE DI CALCOLO .....	16
8.1	SEZIONE DI CALCOLO.....	16
8.2	MODELLO GEOTECNICO .....	16
9.	GABBIONATA: CRITERI DI DIMENSIONAMENTO E DI VERIFICA.....	18
9.1	SOFTWARE DI CALCOLO – MACSTAR W .....	18
9.2	AZIONI DI CALCOLO.....	19
9.2.1	<i>Carichi variabili</i> .....	19
9.2.2	<i>Sisma</i> .....	19
9.2.2.1	<i>Azioni sull'opera</i> .....	19
9.2.2.2	<i>Stabilità globale dell'insieme terreno-opera</i> .....	19
9.3	APPROCCI PROGETTUALI .....	19

**Relazione di calcolo interventi di stabilizzazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	GB0000 003	A	3 di 32

9.4	COMBINAZIONI DELLE AZIONI.....	22
10.	GABBIONATA: VERIFICHE .....	23
10.1	DATI DI INPUT MODELLO .....	23
10.2	VERIFICHE GEOTECNICHE (GEO).....	23
10.2.1	<i>Scorrimento del piano di posa (A1+M1+R3 SLU e SLV).....</i>	<i>24</i>
10.2.1.1	<i>Combinazione di carico A1+M1+R3.....</i>	<i>24</i>
10.2.1.2	<i>Combinazione di carico A1+M1+R3+kh/kv .....</i>	<i>25</i>
10.2.2	<i>Capacità portante (A1+M1+R3 SLU e SLV).....</i>	<i>26</i>
10.2.2.1	<i>Combinazione di carico A1+M1+R3.....</i>	<i>26</i>
10.2.2.2	<i>Combinazione di carico A1+M1+R3+kh/kv .....</i>	<i>27</i>
10.2.3	<i>Ribaltamento (A1+M1+R3 SLU e SLV) .....</i>	<i>28</i>
10.2.3.1	<i>Combinazione di carico A1+M1+R3.....</i>	<i>28</i>
10.2.3.2	<i>Combinazione di carico A1+M1+R3+kh/kv .....</i>	<i>29</i>
10.2.4	<i>Analisi di stabilità (A2+M2+R2 SLU e SLV).....</i>	<i>30</i>
10.2.4.1	<i>Combinazione di carico A2+M2+R2.....</i>	<i>30</i>
10.2.4.2	<i>Combinazione di carico A2+M2+R2+kh/kv .....</i>	<i>31</i>
10.3	SINTESI DEI RISULTATI .....	32

## 1. PREMESSA

Nel seguito si riporta il dimensionamento delle opere previste in località Orsara (vedasi planimetria di Fig. 1) nell'area a nord della linea storica (da circa pk 40+800 a pk 41+450 del nuovo tracciato) il cui contesto geomorfologico dei versanti è caratterizzato dalla presenza di frane quiescenti o stabilizzate alcune delle quali attraversano la Strada Statale n. 90.

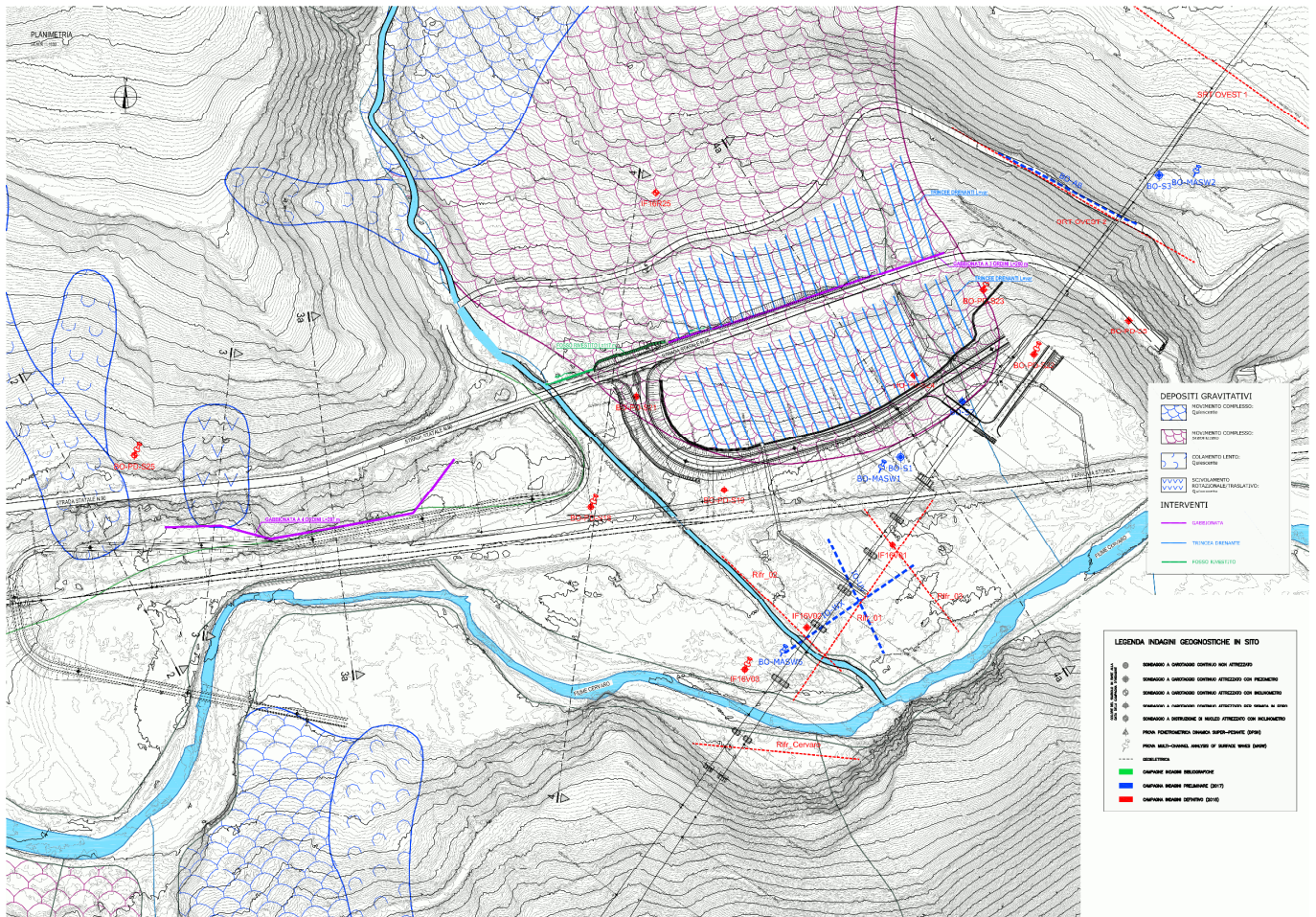


Fig. 1: Planimetria generale degli interventi

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA

### 2.1 Documentazione di riferimento

#### 2.1.1 Geologia

- Ref. 1 IF1W 00 D 69 G5 GE 0001 001 A - "Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e sismica"
- Ref. 2 IF1W 00 D 69 G5 GE 0001 001 A - "Carta geologica-geomorfologica con elementi geostrukturali tav.1/4"
- Ref. 3 IF1W 00 D 69 G5 GE 0001 002 A - "Carta geologica-geomorfologica con elementi geostrukturali tav.2/4"
- Ref. 4 IF1W 00 D 69 G5 GE 0001 003 A - "Carta geologica-geomorfologica con elementi geostrukturali tav.3/4"
- Ref. 5 IF1W 00 D 69 G5 GE 0001 004 A - "Carta geologica-geomorfologica con elementi geostrukturali tav.4/4"
- Ref. 6 IF1W 00 D 69 FZ GE 0001 002 A - "Profilo geologico in asse al tracciato - Binario dispari tav. 1"
- Ref. 7 IF1W 00 D 69 FZ GE 0001 003 A - "Profilo geologico in asse al tracciato - Binario dispari tav. 2"
- Ref. 8 IF1W 00 D 69 FZ GE 0001 004 A - "Profilo geologico in asse al tracciato - Binario dispari tav. 3"
- Ref. 9 IF1W 00 D 69 WZ GE 000 1 001 A - "Sezioni geologiche trasversali A-A e B-B (area frane lungo la SS90)"
- Ref. 10 IF1W 00 D 69 WZ GE 000 1 002 A - "Sezioni geologiche trasversali C-C e D-D (area frane lungo la SS90)"

#### 2.1.2 Geotecnica generale

- Ref. 11 IF1W 00 D 09 GE OC 0000 002 B - "Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto raccordo provvisorio alla pk 41+100"
- Ref. 12 IF1W 00 D 09 GE OC 0000 004 B - "Relazione Geotecnica viabilità interferita alla pk 41+100"
- Ref. 13 IF1W 00 D 09 GE OC 0000 006 B - "Relazione Sismica tratta allo scoperto raccordo provvisorio alla pk 41+100"
- Ref. 14 IF1W 00 D 09 GE OC 0000 008 B - "Relazione Sismica viabilità interferita alla pk 41+100"
- Ref. 15 IF1V 02 D09 GE OC 0000 001 B - "Relazione Geotecnica Generale tratte allo scoperto da pk 40+950 a pk 41+450"
- Ref. 16 IF1V 02 D09 GE OC 0000 005 B - "Relazione Sismica tratta allo scoperto da pk 40+950 a pk 41+450"
- Ref. 17 IF1W 00 D 09 F6 OC 0000 003 B - "Profilo Geotecnico tratta allo scoperto - raccordo provvisorio alla pk 41+100"
- Ref. 18 IF1W 00 D 09 F6 OC 0000 006 B - "Profilo Geotecnico viabilità interferita alla pk 41+100"
- Ref. 19 IF1V 02 D 09 F6 OC 0000 001 B - "Profilo Geotecnico tratta allo scoperto da pk 40+950 a pk 41+450"

### 2.1.3 Interventi e monitoraggio

- Ref. 20 IF1V 02 D09 GE GB 0000 001 B - "Interventi versante – relazione descrittiva dello stato di fatto e degli interventi di versante"
- Ref. 21 IF1V 02 D09 GE GB 0000 002 B - "Interventi versante – relazione geotecnica analisi di stabilità"
- Ref. 22 IF1W 00 D 09 RO GB 0000 001 B - "Relazione piano di monitoraggio"
- Ref. 23 IF1W 00 D 09 P7 GB 0000 001 B - "Planimetria monitoraggi"
- Ref. 24 IF1W 00 D 09 P7 GB 0000 002 B - "Planimetria di progetto - interventi sul versante"
- Ref. 25 IF2W 00 D 09 W8 GB 0000 001 B - "Sezioni - interventi sul versante"
- Ref. 26 IF2W 00 D 09 WB GB 0000 002 B - "Sezioni tipo e particolari costruttivi - interventi sul versante"
- Ref. 27 IF1W 00 D 09 P7 GB 0001 001 B - "Bonifica Ordigni Bellici - BOE"

### 2.2 Normativa e Standard di riferimento

- Ref. 28 Decreto Ministeriale del 17/01/2018: "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" (GU n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8)
- Ref. 29 Decreto Ministeriale del 14/01/2008: "Approvazione delle Nuove Norma Tecniche per le Costruzioni", G.U. n.29 del 04/02/2008, Supplemento Ordinario n.30.
- Ref. 30 Circolare 01/02/2009, n.617 – Istruzione per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008.
- Ref. 31 DM 06/05/2008 – "Integrazione al DM 14/01/2008 di approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".
- Ref. 32 RFI DTC SI MA IFS 001 A – "Manuale di progettazione delle opere civili"
- Ref. 33 RFI DTC SI SP IFS 001 A – "Capitolato generale tecnico d'appalto delle opere civili"
- Ref. 34 UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione Geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- Ref. 35 UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

### 3. MATERIALI

#### 3.1 Caratteristiche gabbioni

- Rete: metallica a doppia torsione con maglia esagonale tipo 8x10 cm
- Filo: acciaio trafilato galvanizzato, diametro 2.70mm
- Riempimento: pietrame sciolto, diametro >1.5/2.0 dimensione maglia rete
- Normativa di riferimento:  
UNI-EN 10223-3, per caratteristiche meccaniche rete  
UNI-EN 10218, per tolleranze sui diametri rete  
EN 10244, per galvanizzazione rete

#### 3.2 Caratteristiche calcestruzzo magro

Classe di resistenza:	C12/15
Tipo di cemento:	CEM I÷V
classe di esposizione ambientale:	X0

#### 3.3 Caratteristiche del geotessile con funzione di filtro

Si prevede l'utilizzo di un geotessile con funzione anticontaminante e di filtro con le seguenti caratteristiche principali:

resistenza (EN ISO 10319)	16 kN/m
deformazione (EN ISO 10319)	50%
permeabilità (EN ISO 11058):	0.04 m/s
porosità (EN ISO 12956):	$O_{90} = 70 \mu\text{m}$
trasmissività a 100 kPa (EN ISO 12958):	$4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
peso (EN ISO 9834):	220 g/m <sup>2</sup> .

#### 4. SISMICITÀ

L'azione sismica è variabile lungo la tratta al variare delle coordinate del punto considerato. In accordo con quanto riportata al Ref. 14 risulta per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) quanto segue.

Tab. 1: Azione sismica di riferimento.

Accelerazione di riferimento $a_g/g$	Categoria sottosuolo	Categoria topografica	Vita Nominale	Classe d'uso	Accelerazione massima attesa al sito $a_{max}/g$
0.272	C	T1	75	III	0.354



## 5. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

L'obiettivo degli interventi è quello di migliorare il drenaggio delle acque superficiali e di infiltrazione e localmente stabilizzare i fenomeni di dissesto superficiali.

La planimetria di Fig. 1 riporta l'ubicazione degli interventi che prevedono (vedasi anche la relazione Ref. 20) :

- **Aste di trincee drenanti.** La sezione tipo di trincea drenante prevede (Fig. 2):
  - ✓ prescavo di larghezza 5.0 m e profondità 1.0 m;
  - ✓ scavo a sezione obbligata di larghezza alla base di 0.8 m, inclinazione delle scarpate di 1(H)/3(V) e altezza 3.0 m;
  - ✓ geotessile con funzione anticontaminante e di filtro di adeguate caratteristiche di resistenza e porosità;
  - ✓ tubo drenante  $\Phi \geq 200$  mm rivestito con geotessile;
  - ✓ materiale drenante a riempimento dello scavo a sezione obbligata;
  - ✓ riporto di terreno compattato proveniente dagli scavi per la chiusura del prescavo.
  
- **Gabbionate.** Sono previste gabbionate a 3 e 4 ordini (Fig. 3 e Fig. 4) di altezza 3.0÷4.0 m e larghezza massima variabile da 2.0 m a 2.5 m. A tergo della gabbionata il riempimento avviene:
  - ✓ nella parte bassa con materiale drenante rivestito da geotessile con funzione anticontaminante e di filtro. E' previsto anche un tubo drenante per la raccolta e lo smaltimento delle acque di infiltrazione;
  - ✓ nella parte alta con materiale arido da rilevato.

Per la regimazione delle acque superficiali sono previsti fossi rivestiti che scaricano nei punti di recapito esistenti.

Relazione di calcolo interventi di stabilizzazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	GB0000 003	A	10 di 32

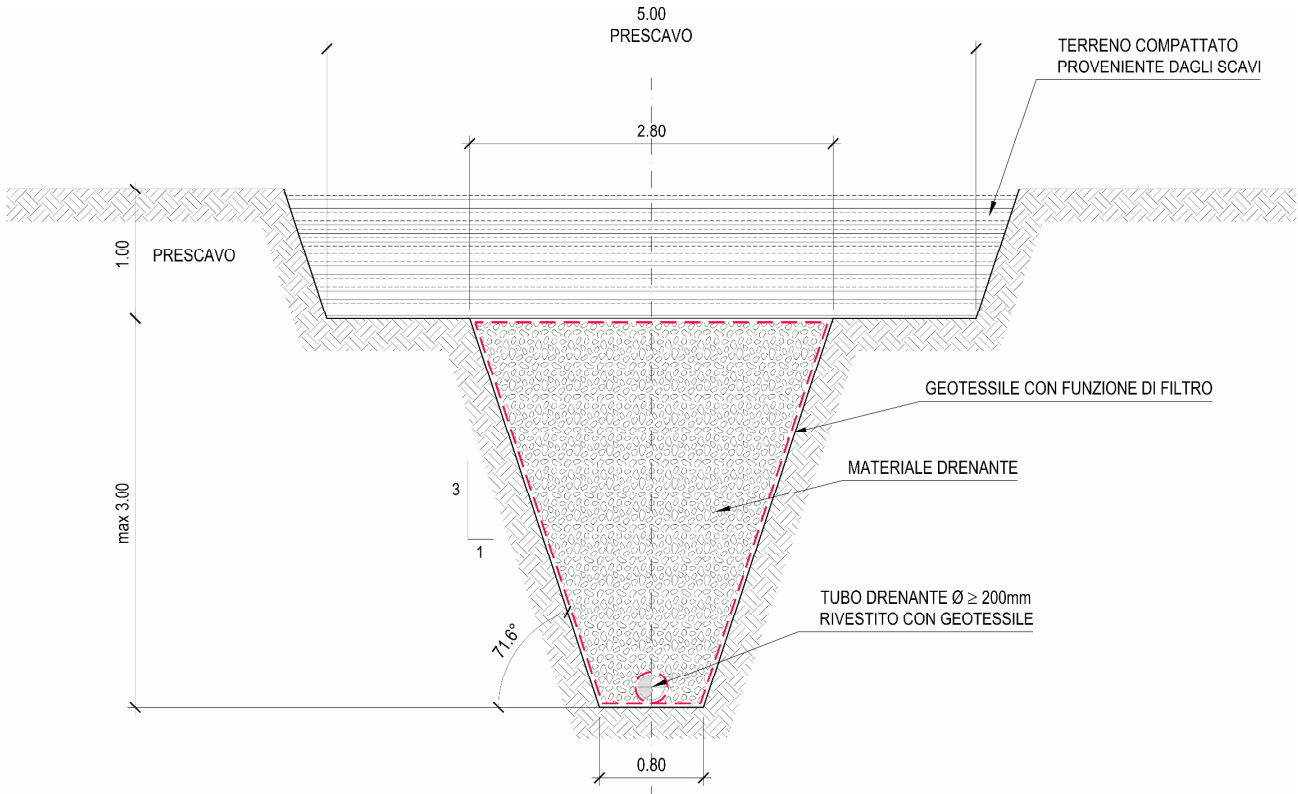


Fig. 2 – Sezione tipo trincea drenante

GABBIONATA BORDO STRADA A 3 ORDINI  
Sezione tipo  
SCALA 1:50

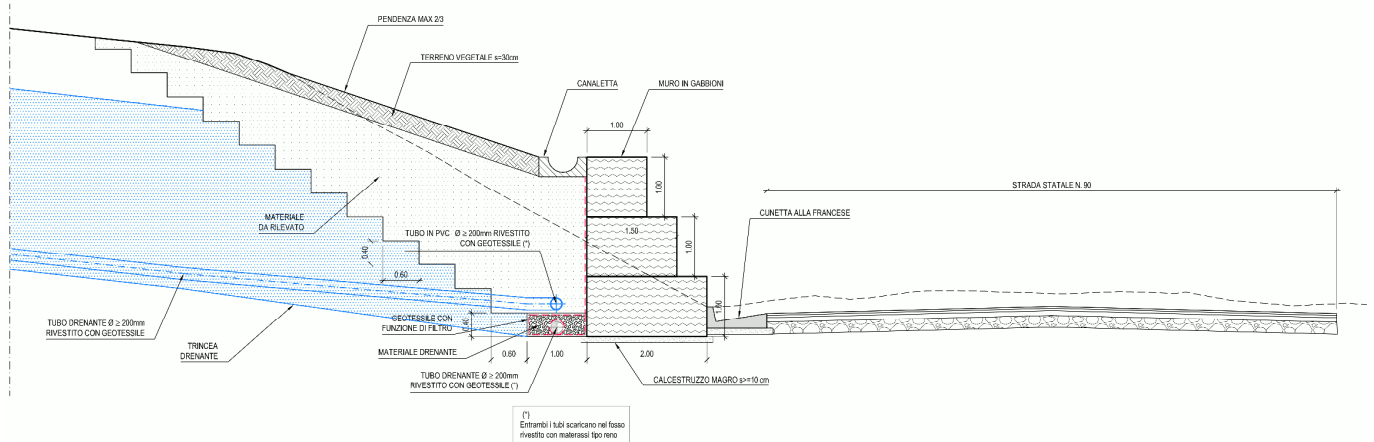


Fig. 3 – Sezione tipo gabbionata a 3 ordini

Relazione di calcolo interventi di stabilizzazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	GB0000 003	A	11 di 32

GABBIONATA PIEDE SCARPATA A 4 ORDINI

Sezione tipo

SCALA 1:50

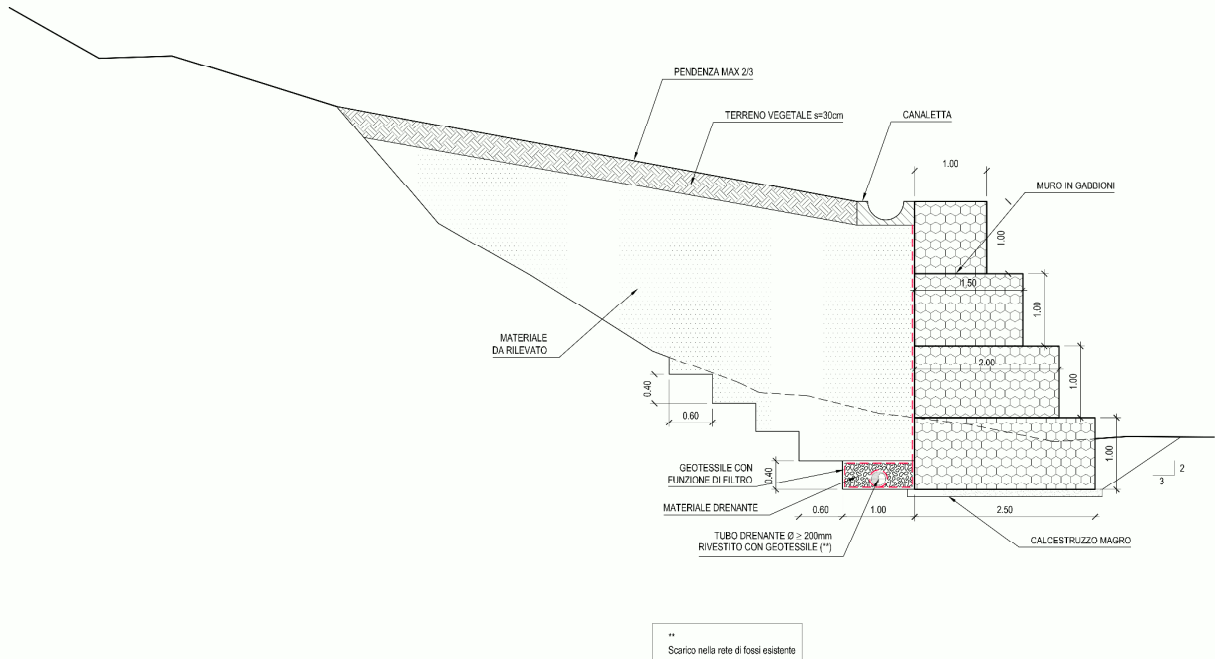


Fig. 4 – Sezione tipo gabbionata a 4 ordini

## 6. **OBIETTIVI DEGLI INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE DEI PENDII**

La quasi totalità della strumentazione di monitoraggio (piezometri e inclinometri) è stata installata recentemente per cui occorre proseguire le attività di monitoraggio almeno fino a tutto il prossimo periodo invernale/primaverile.

I dissesti rilevabili lungo la SS n. 90 sono legati a fenomeni di instabilità del ciglio stradale che coinvolgono i primi metri di coltre.

In tale contesto si prevedono:

- interventi di miglioramento della stabilità locale delle scarpate mediante gabbionate;
- aste di trincee drenanti al piede della frana complessa stabilizzata.

L'obiettivo di tali interventi è quello di migliorare il drenaggio delle acque, le condizioni locali di stabilità e di aumentare la sicurezza di quelle scarpate prossime alla linea storica e al tracciato del raccordo provvisorio.

Nel seguito viene valutata l'efficienza delle aste drenanti e riportato il dimensionamento delle gabbionate.

## 7. VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA DEL SISTEMA DI ASTE DRENANTI

L'analisi accurata del moto di filtrazione indotto dall'installazione di un sistema di drenaggio è in genere caratterizzata da notevoli difficoltà e incertezze in quanto il processo di drenaggio è influenzato dal regime delle piogge, dai livelli di infiltrazione e di evapotraspirazione, dalla presenza di discontinuità, dalla anisotropia e disomogeneità dei terreni nei riguardi della permeabilità, dalla successione stratigrafica dei terreni e dalle difficoltà di definizione delle condizioni al contorno. Tuttavia, si può pervenire ad una progettazione razionale di un intervento di drenaggio, se si introducono alcune ipotesi semplificative sulle condizioni di flusso e sulla geometria del problema.

Per quanto riguarda le condizioni di flusso si adotta l'ipotesi di "lama d'acqua", ovvero di pressione interstiziale nulla sul piano campagna. Questa condizione limite può essere adottata, prescindendo dalla natura del terreno, qualora si possa ipotizzare la presenza di apporto medio di acqua con portata per unità di area  $q$  maggiore della permeabilità verticale  $k_v$  del terreno.

Per valutare l'efficienza idraulica del sistema di trincee sono state sviluppate analisi di filtrazione in condizioni stazionarie utilizzando il programma di calcolo SEEP/w della Geo-Slope International.

Nella modellazione FEM le trincee drenanti sono state schematizzate di sezione rettangolare con larghezza media di 1.0 m, profondità 4.0 m e interasse 10.0 m; la Fig. 5 riporta il modello FEM. L'analisi è stata condotta sulla base delle seguenti assunzioni:

- si è considerato che la filtrazione avvenga all'interno di un terreno omogeneo caratterizzato da un unico valore di permeabilità pari a quella della coltre (vedasi Ref. 21):  
 $k \approx k_{coltre} \approx 6.0 \cdot 10^{-7} \text{ m/sec} = 1.0 \cdot 10^{-5} \text{ cm/sec} = 0.05184 \text{ m/gg};$
- per il materiale drenante di riempimento della trincea si è assunto una permeabilità pari a:  
 $k \approx k_{drenante} \approx 1.0 \cdot 10^{-4} \text{ m/sec} = 1.0 \cdot 10^{-2} \text{ cm/sec} = 8.64 \text{ m/gg};$
- lo strato di terreno sede del processo di drenaggio è limitato inferiormente da una formazione impermeabile posta ad una profondità pari a 20.0 m da p.c.;
- le condizioni iniziali sono idrostatiche con superficie libera coincidente con il piano campagna;
- la condizione al contorno imposta sul piano campagna è quella di lama d'acqua cioè si è ipotizzato la presenza di un apporto medio di acqua caratterizzato da una portata  $q$  per unità di area pari alla permeabilità verticale del terreno.

Nella Fig. 6 è riportata la mappa delle pressioni  $u$  e in Fig. 7 l'andamento delle pressioni  $u$  alla profondità di 10.0 m da cui risulta un abbassamento medio della falda, nell'ipotesi di perfetta efficienza dei dreni, pari a:

$$z_w \approx 2.9 \text{ m.}$$

Relazione di calcolo interventi di stabilizzazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	GB0000 003	A	14 di 32

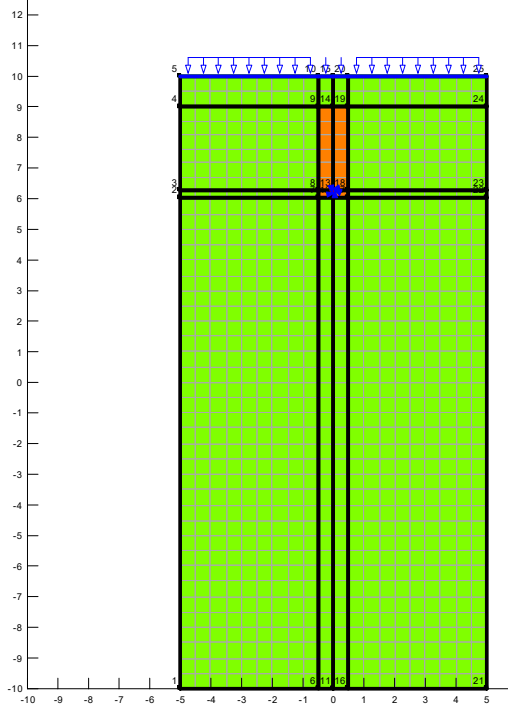


Fig. 5 – Modello FEM con interasse trincee di 10.0 m

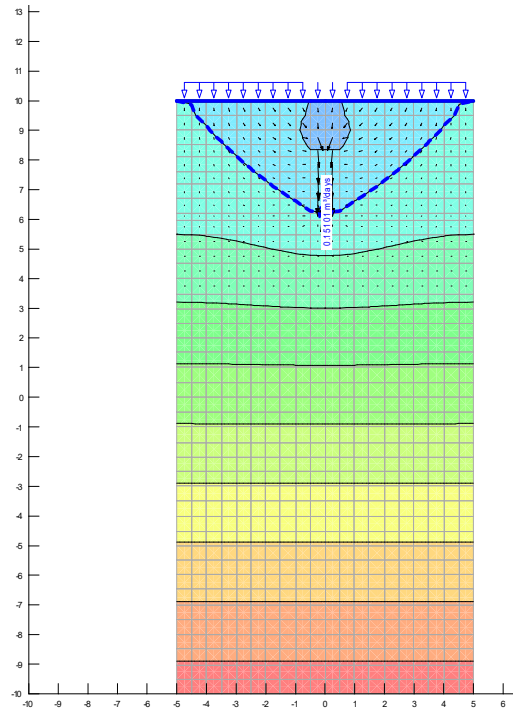


Fig. 6 – Mappa delle pressioni u

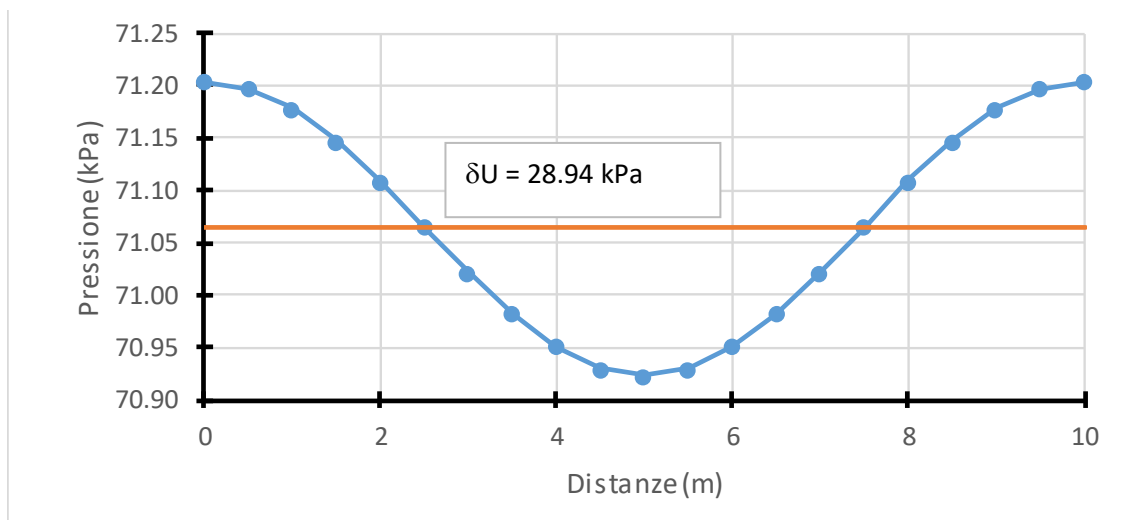


Fig. 7 – Andamento dell'altezza piezometrica sul piano di valutazione dell'efficienza idraulica (10.0 m da p.c.)

**Relazione di calcolo interventi di stabilizzazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	GB0000 003	A	15 di 32

Il sistema di aste drenanti previsti è quindi in grado di controllare durante eventi piovosi prolungati, innalzamenti anomali della falda. Il fatto che le letture piezometriche ad oggi disponibili ci indicano livelli di falda non a p.c., non significa che durante eventi piovosi importanti non si possa avere un regime di pressioni interstiziali nei primi metri.

La Fig. 8 evidenzia il meccanismo di innalzamento della falda per effetto dell'infiltrazione di acqua da p.c. mentre la Fig. 9 illustra il regime di pressioni interstiziali in prossimità del piano campagna per effetto dell'infiltrazione che è idrostatico fino alla profondità di avanzamento del fronte stesso. Di fatto quindi il regime di pressioni interstiziali durante un evento piovoso è molto variabile.

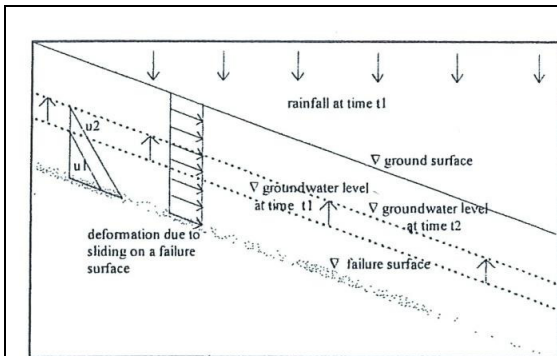


Fig. 8 – Innalzamento del livello di falda per infiltrazione da p.c.

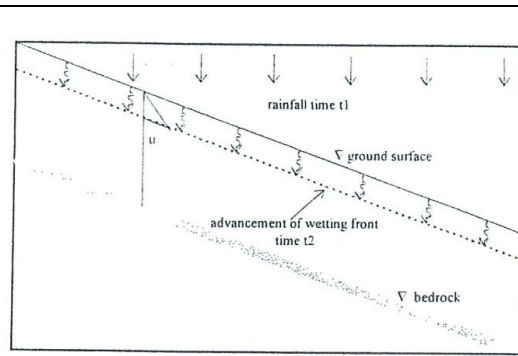


Fig. 9 – Infiltrazione da piano campagna e pressioni interstiziali in superficie

## 8. GABBIONATA: MODELLO GEOTECNICO E SEZIONE DI CALCOLO

### 8.1 Sezione di calcolo

La sezione di calcolo per la gabbionata è la sezione 3-3 di Fig. 10 la cui traccia planimetria è indicata nella planimetria di Fig. 1. Si tratta di una gabbionata a 4 ordini di gabbioni.

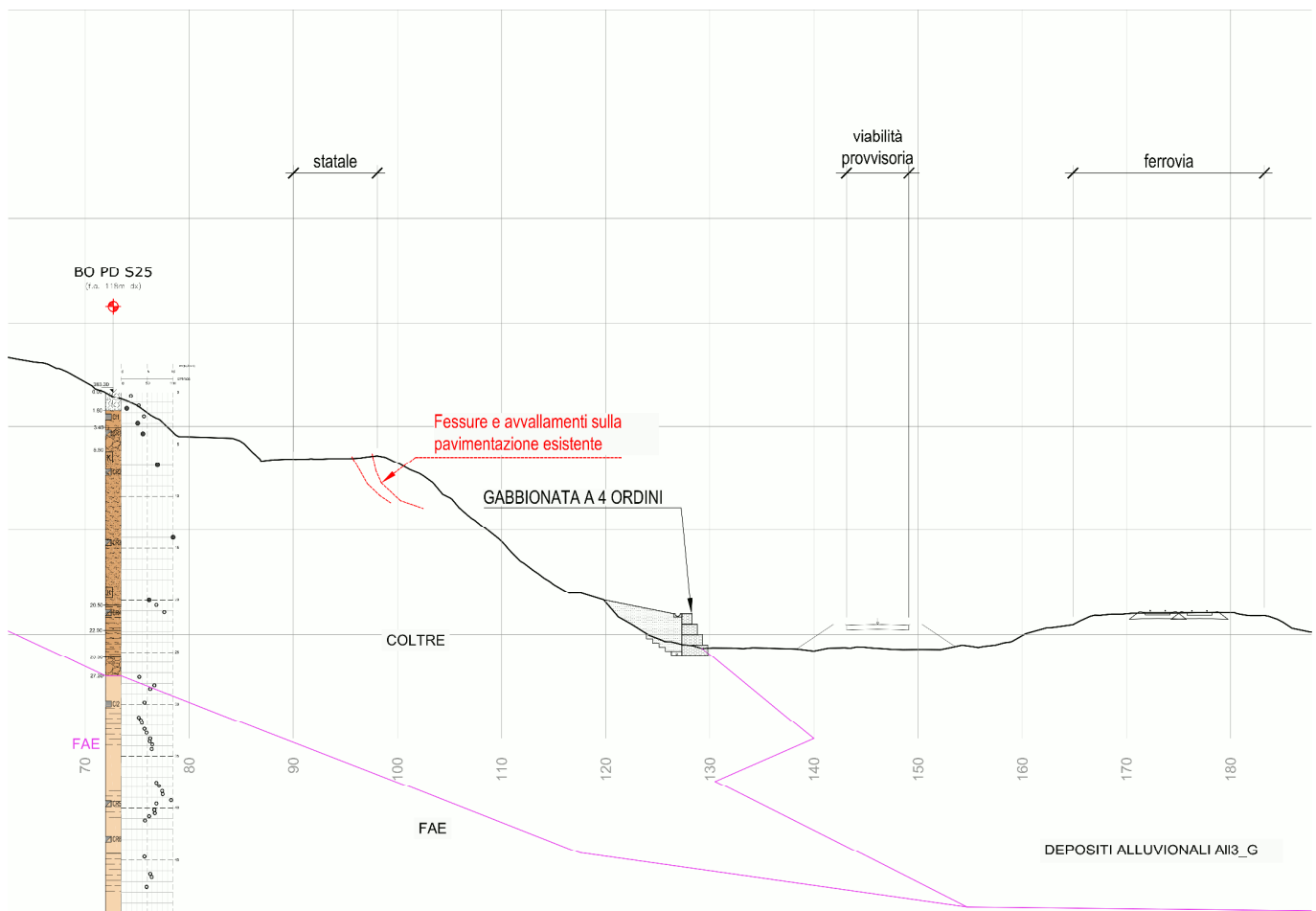


Fig. 10 – Sezione di calcolo gabbionata

### 8.2 Modello geotecnico

In accordo con quanto riportato in “Relazione geotecnica analisi di stabilità” [Ref. 21], l’area di studio ricade in una zona di versante prospiciente il tracciato ferroviario storico in località Orsara in cui sono presenti coltri eluvio colluviali e di frana di natura essenzialmente coesiva con inclusi eterometrici,



Relazione di calcolo interventi di stabilizzazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	GB0000 003	A	17 di 32

trovanti e blocchi litoidi che ricoprono la formazione di substrato, costituita dai Calcari e dalle marne argillose del Faeto.

Ai fini del dimensionamento della gabbionata si considera come terreno l'unità "coltre" le cui caratteristiche sono riportate nella seguente tabella.

Tab. 2: Parametri geotecnici caratteristici della coltre (valore medio indicato tra parentesi quadre []).

	Coltre	
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	17.0÷20.0 [18.5]	
IP [%]	8÷50 [30]	
$c_u$ [kPa]	$z \leq 10.0m$	50÷500 [70]
	$z > 10.0m$	80÷500 [100]
$\phi'$ [°]	21÷28 [22]	
$c'$ [kPa]	12÷32 [12]	
$E_u/C_u$	485	
$E_0$ [MPa]	$z \leq 10.0m$	24÷931 [113]
	$z > 10.0m$	181÷931 [243]
$E_{op,1}$ [MPa]	$z \leq 10.0m$	4÷186 [22]
	$z > 10.0m$	48÷186 [36]
$E_{op,2}$ [MPa]	$z \leq 10.0m$	2÷93 [11]
	$z > 10.0m$	18÷93 [24]
$c_c$ [-]	$1.3 \cdot 10^{-1}$	
$c_r$ [-]	$1.5 \cdot 10^{-2}$	
$c_{\alpha\epsilon}$	$1.5 \cdot 10^{-3} \div 4.0 \cdot 10^{-3}$ [ $2.0 \cdot 10^{-3}$ ]	
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$4.5 \cdot 10^{-8} \div 8.0 \cdot 10^{-7}$ [ $2.5 \cdot 10^{-7}$ ]	
$e_0$ [-]	0.50÷0.85 [0.7]	
OCR [-]	1÷6 [3]	
$u'$ [-]	0.3	
$k$ [m/s]	$1.8 \cdot 10^{-7} \div 9.0 \cdot 10^{-6}$ [ $6.0 \cdot 10^{-7}$ ]	

La falda di progetto lungo il versante è considerata a -5.0m da piano campagna.

## 9. GABBIONATA: CRITERI DI DIMENSIONAMENTO E DI VERIFICA

### 9.1 Software di calcolo – MacStar W

Il dimensionamento del muro in gabbioni è stato condotto utilizzando il programma di calcolo denominato MacStar W. Il programma consente la verifica dell'opera come muro di sostegno.

MACSTARS W consente le seguenti tipologie di verifica:

- Verifica di stabilità globale;
- Verifica di scorrimento;
- Verifica di capacità portante;
- Verifica al ribaltamento.

La verifica di stabilità globale fa riferimento ai metodi di stabilità all'equilibrio limite. La porzione di terreno soggetta a rottura viene divisa in conci e per ciascuno di questi si calcolano le forze alle quali sono assoggettati: forze esterne, peso, reazioni alla base e forze di contatto tra concio e concio. Nel codice di calcolo MACSTARS W si utilizzano il metodo semplificato di Bishop.

La verifica a scorrimento accerta la stabilità dell'opera allo scorrimento lungo un piano orizzontale scelto dall'utente, con parametri di verifica (coesione e angolo di attrito sulla superficie di scorrimento) scelti pure dall'utente in funzione del tipo di contatto alla base.

La verifica di capacità portante accerta la sicurezza nei confronti della rottura del terreno di fondazione. In particolare la pressione ultima dei terreni di fondazione viene calcolata con un metodo genare, che riprende i classici metodi dell'equilibrio limite (Terzaghi, Hansen, Meyerof), e che consente di tenere in conto situazioni stratigrafiche o geometriche complesse.

La verifica a ribaltamento accerta la stabilità dell'opera al ribaltamento attorno ad un punto alla base del muro.

I fattori di sicurezza riportati da programma sono forniti in rapporto ai coefficienti parziali per le resistenze  $\gamma_R$  valutati come riportato al §9.3.

L'analisi in condizione sismiche è eseguita mediante il metodo pseudostatico, ovvero l'azione sismica viene rappresentata da un'azione statica equivalente.

## 9.2 Azioni di calcolo

### 9.2.1 Carichi variabili

Non sono presenti carichi variabili.

### 9.2.2 Sisma

#### 9.2.2.1 Azioni sull'opera

La determinazione dei coefficienti sismici per il calcolo dell'opera di sostegno è stata condotta in accordo al paragrafo 7.11.6.2.1 del DM2018.

Assumendo:

$$\beta_m = 0.38;$$

i coefficienti sismici risultano:

$$k_h = 0.14$$

$$k_v = 0.07$$

In accordo con quanto riportato al §7.11.6.2.1 allo stato limite di ribaltamento il valore di  $\beta_m$  deve essere incrementato del 50%.

#### 9.2.2.2 Stabilità globale dell'insieme terreno-opera

La determinazione dei coefficienti sismici per le verifiche di stabilità dell'opera è stata condotta in accordo al paragrafo 7.11.4 del DM2018 Assumendo:

$$\beta_s = 0.38;$$

risulta:

$$k_h = 0.14$$

$$k_v = 0.07$$

## 9.3 Approcci progettuali

Al paragrafo 6.5.3.1.1 del DM 17/01/2018 sono presi in considerazione tutti i possibili meccanismi di collasso associabili ai muri di sostegno allo stato limite ultimo.

In particolare, per gli stati limite di tipo geotecnico (SLU-GEO) si individuano i seguenti meccanismi di collasso:

**Relazione di calcolo interventi di stabilizzazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	GB0000 003	A	20 di 32

- ✓ Scorrimento sul piano di posa;
- ✓ Collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;
- ✓ Ribaltamento;
- ✓ Stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno.

Come riportato al paragrafo 6.2.4.1 dell'NTC del 2018, in ognuna delle verifiche sopra riportate deve essere soddisfatta la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  rappresenta il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, definito dalla relazione:

$$E_d = E \left[ \gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

e dove  $R_d$  indica il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico definito dalla relazione seguente:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

Quindi le azioni e le resistenze di progetto sono espresse rispettivamente in funzione delle azioni di progetto  $\gamma_F \cdot F_k$ , dei parametri geotecnici di progetto  $\frac{X_k}{\gamma_M}$  e dei parametri geometrici di progetto  $a_d$ , mentre il coefficiente parziale  $\gamma_R$  opera direttamente sulla resistenza del sistema.

La verifica della condizione esposta deve essere condotta tenendo conto di diversi gruppi di combinazioni di coefficienti parziali, applicati rispettivamente sulle azioni (A), sui parametri geotecnici (M) e sulle resistenze (R).

In condizioni statiche, i coefficienti parziali  $\gamma_F$  associabili alle azioni, i coefficienti parziali legati ai parametri geotecnici  $\gamma_M$  e quelli associati alle resistenze  $\gamma_R$ , sono contenuti rispettivamente in tab.6.2.I, tab.6.2.II e 6.5.I delle NTC2018.

Tabella 9-1: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tabella 6.2. II NTC 2018)

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Tabella 9-2: Coefficienti parziali per le verifiche agli stati limite ultimi di muri di sostegno (Tabella 6.5. I NTC 2018)

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

In condizioni sismiche le verifiche sono svolte per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV); al paragrafo 7.11.6.2.2 dell'NTC2018 sono riportati coefficienti parziali sulle resistenze  $\gamma_R$  (vedasi anche Tabella 9-3).

Tabella 9-3: Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche degli stati limite (SLV) dei muri di sostegno (Tabella 7.11. III NTC 2018)

Verifica	Coefficiente parziale $\gamma_R$
Carico limite	1.2
Scorrimento	1.0
Ribaltamento	1.0
Resistenza del terreno a valle	1.2

Come indicato dalla normativa vigente, sono previste delle combinazioni di coefficienti distinte per le verifiche sopra citate, in particolare:

- la verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo l'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R2);
- rimanenti verifiche (ribaltamento, scorrimento e collasso per carico limite) devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3);

**Relazione di calcolo interventi di stabilizzazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	GB0000 003	A	22 di 32

- in condizioni sismiche le verifiche di scorrimento del piano di posa, di ribaltamento e di capacità portante devono essere condotte applicando dei coefficienti parziali unitari sulle azioni e sui parametri geotecnici;
- in condizioni sismiche la stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno è svolta in accordo al §7.11.4 delle NTC2018, in particolare i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici sono posti unitari, mentre le resistenze di progetto sono calcolate con un coefficiente parziale pari a  $\gamma_R=1.2$ .

#### 9.4 Combinazioni delle Azioni

Si sono considerate le combinazioni delle azioni nel seguito descritte:

*Combinazione fondamentale* impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_G \cdot G$$

*Combinazione sismica* impiegata per gli stati limite ultimi connessi all'azione sismica E (SLV)

$$G + E$$

dove:

G = Azioni permanenti dovute al peso proprio degli elementi;

$\gamma_G$  = coefficienti parziali sulle azioni agli SLU sono in accordo alla tab. 6.2.I di cui alle NTC 2018.

## 10. GABBIONATA: VERIFICHE

### 10.1 Dati di input modello

Nella seguente tabella si riassumono i parametri di input dei materiali forniti al software di calcolo.

Tabella 10-1: Parametri di input del materiale fornito al software MacStar.

Unità	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\varphi'_k$ (°)	$c'_k$ (kPa)
Coltre	18.5	22	12
Riempimento a tergo	18	38	0
Gabbionata	17.5	40	12.5

La falda lungo il versante è stata considerata a -5.0 da piano campagna.

### 10.2 Verifiche geotecniche (GEO)

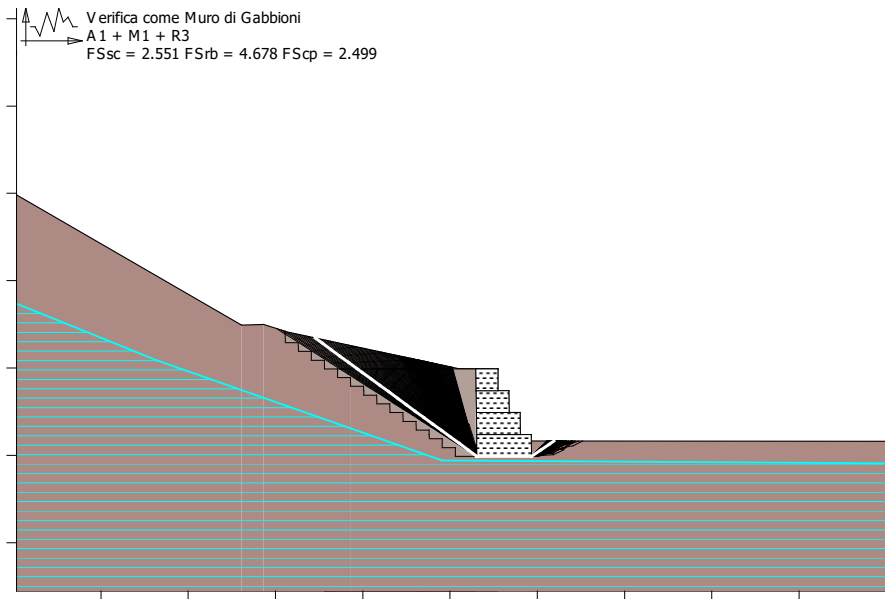
Di seguito si riporta una sintesi dei risultati con riferimento allo stato limite ultimo statico e sismico (SLU-SLV) di tipo geotecnico (GEO).

Relazione di calcolo interventi di stabilizzazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	GB0000 003	A	24 di 32

**10.2.1 Scorrimento del piano di posa (A1+M1+R3 SLU e SLV)**

10.2.1.1 Combinazione di carico A1+M1+R3



Combinazione di carico : A1 + M1 + R3

Stabilità verificata sul blocco : MURO

Forza Stabilizzante.....[kN/m].....: 99.62

Forza Instabilizzante.....[kN/m].....: 35.50

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

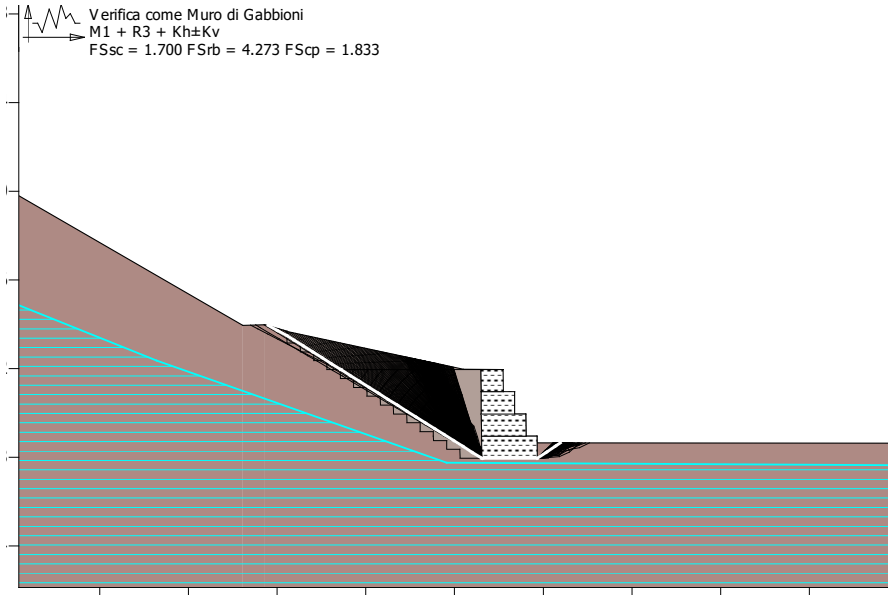
**Coefficiente di sicurezza allo scorrimento.....: 2.551**



**Relazione di calcolo interventi di stabilizzazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	GB0000 003	A	25 di 32

10.2.1.2 Combinazione di carico A1+M1+R3+kh/kv



Combinazione di carico : M1 + R3 + Kh±Kv

Stabilità verificata sul blocco : MURO

Forza Stabilizzante.....[kN/m].....: 96.37

Forza Instabilizzante.....[kN/m].....: 56.70

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

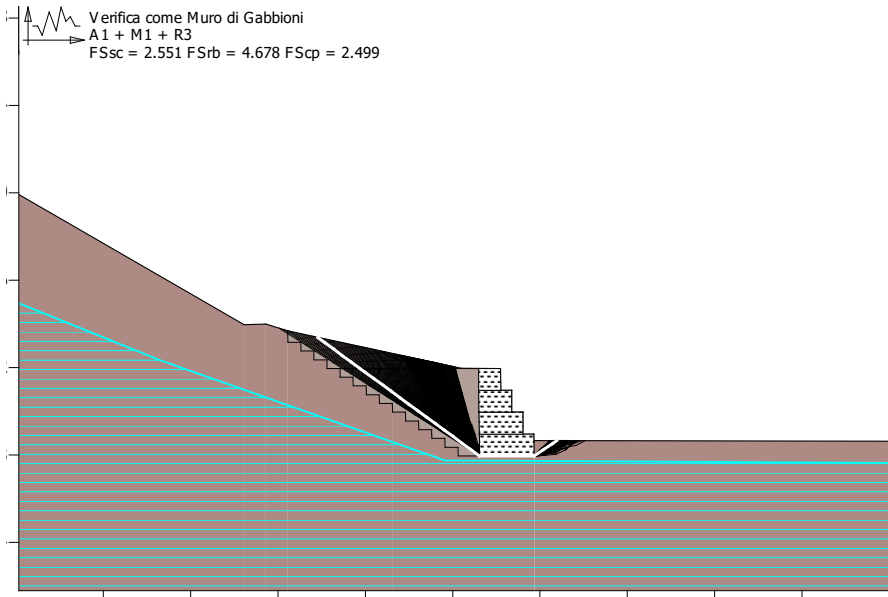
**Coefficiente di sicurezza allo scorrimento.....: 1.700**

Relazione di calcolo interventi di stabilizzazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	GB0000 003	A	26 di 32

## 10.2.2 Capacità portante (A1+M1+R3 SLU e SLV)

### 10.2.2.1 Combinazione di carico A1+M1+R3



Combinazione di carico : A1 + M1 + R3

Pressione ultima calcolata con Brinch Hansen.

Pressione ultima.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 208.49

Pressione media agente.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 59.58

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

**Coefficiente di sicurezza sulla capacità portante.....: 2.499**

Fondazione equivalente.....[m].....: 2.50

Eccentricità forza normale.....[m].....: 0.00

Braccio momento.....[m].....: 1.48

Forza normale.....[kN].....: 148.96

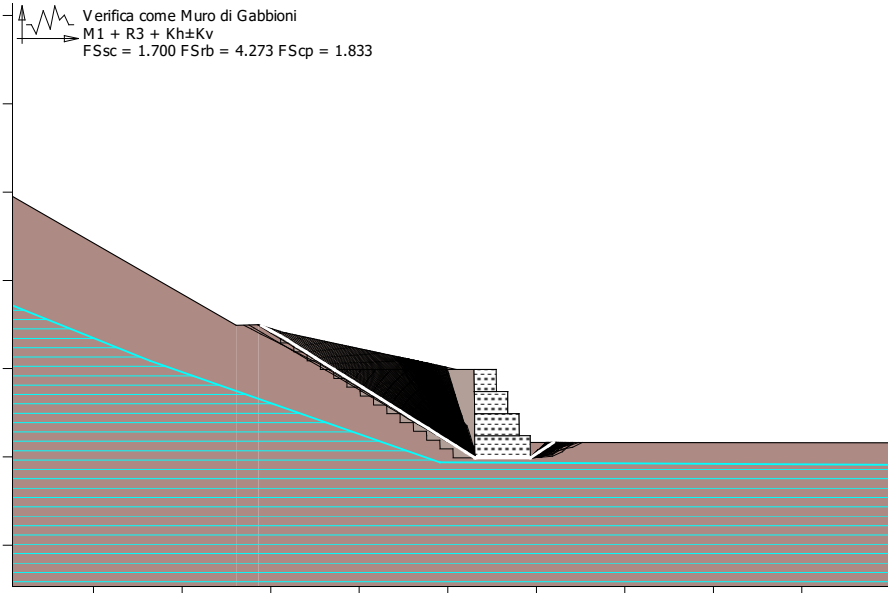
Pressione estremo di valle.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 59.58

Pressione estremo di monte.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 59.58

**Relazione di calcolo interventi di stabilizzazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	GB0000 003	A	27 di 32

10.2.2.2 Combinazione di carico A1+M1+R3+kh/kv



Combinazione di carico : M1 + R3 + Kh±Kv

Pressione ultima calcolata con Brinch Hansen.

Pressione ultima.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 126.47

Pressione media agente.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 57.50

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

**Coefficiente di sicurezza sulla capacità portante.....: 1.833**

Fondazione equivalente.....[m].....: 2.50

Eccentricità forza normale.....[m].....: 0.00

Braccio momento.....[m].....: 1.11

Forza normale.....[kN].....: 143.75

Pressione estremo di valle.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 57.50

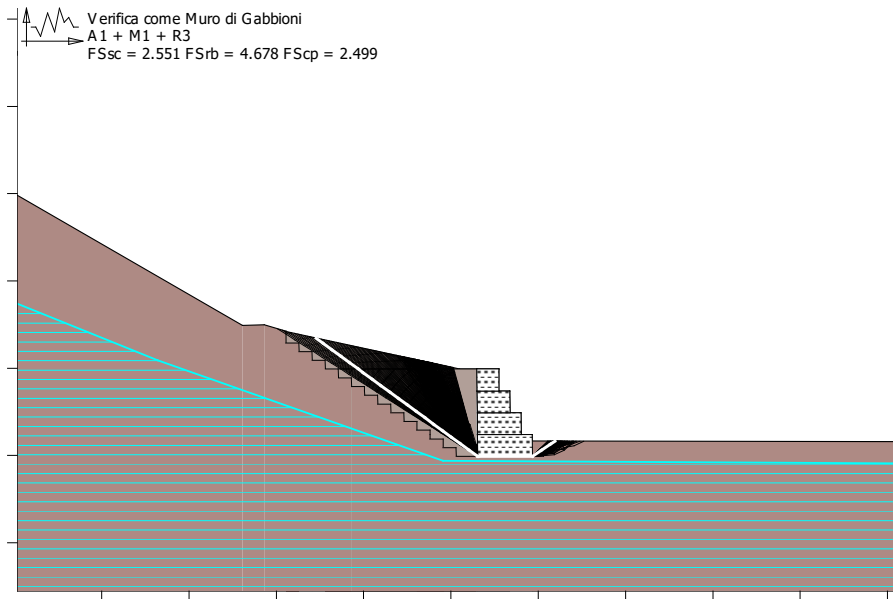
Pressione estremo di monte.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 57.50

Relazione di calcolo interventi di stabilizzazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	GB0000 003	A	28 di 32

**10.2.3 Ribaltamento (A1+M1+R3 SLU e SLV)**

**10.2.3.1 Combinazione di carico A1+M1+R3**



Combinazione di carico : A1 + M1 + R3

Momento Stabilizzante.....[kN\*m/m].....: 283.42

Momento Instabilizzante.....[kN\*m/m].....: 52.69

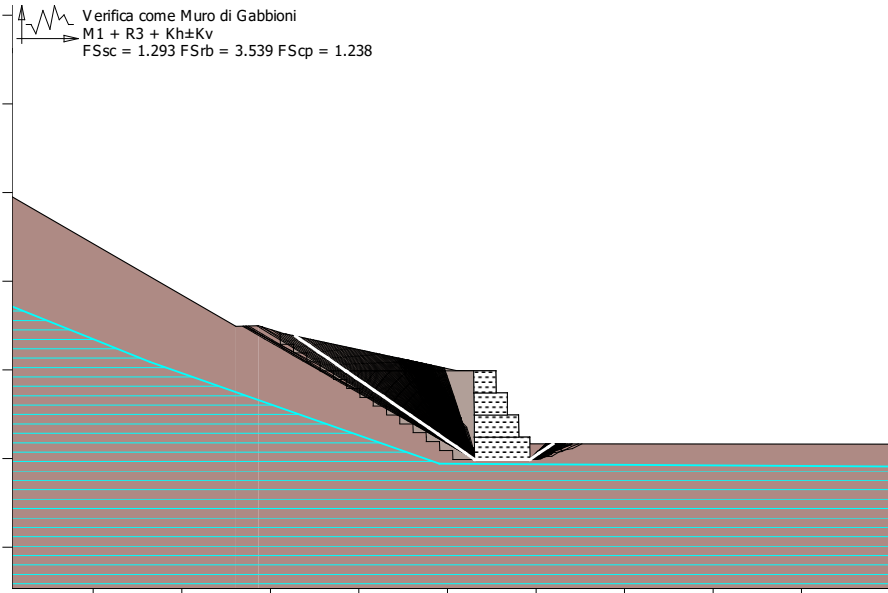
Classe momento.....: Coeff. parziale R - Ribaltamento

**Coefficiente di sicurezza al ribaltamento.....: 4.678**

**Relazione di calcolo interventi di stabilizzazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	GB0000 003	A	29 di 32

10.2.3.2 Combinazione di carico A1+M1+R3+kh/kv



Combinazione di carico : M1 + R3 + Kh±Kv

Momento Stabilizzante.....[kN\*m/m].....: 295.59

Momento Instabilizzante.....[kN\*m/m].....: 83.52

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

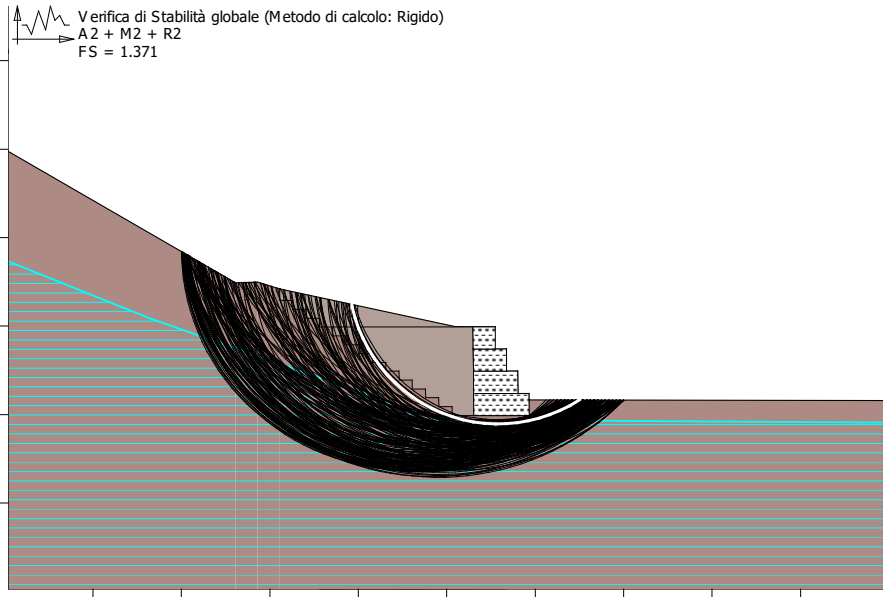
**Coefficiente di sicurezza al ribaltamento.....: 3.539**

**Relazione di calcolo interventi di stabilizzazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	GB0000 003	A	30 di 32

**10.2.4 Analisi di stabilità (A2+M2+R2 SLU e SLV)**

**10.2.4.1 Combinazione di carico A2+M2+R2**



Combinazione di carico : A2 + M2 + R2

Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido

Ricerca di superfici circolari critiche col metodo di Janbu

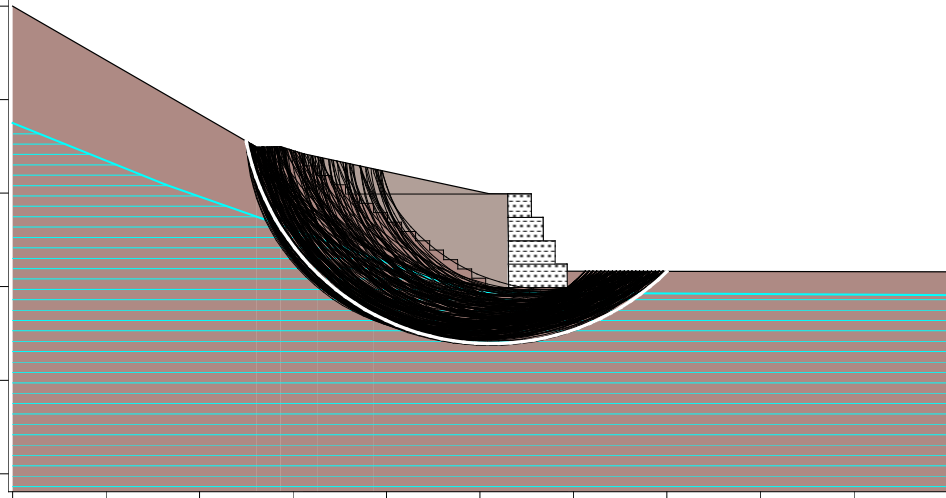
**Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 1.371**

**Relazione di calcolo interventi di stabilizzazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	GB0000 003	A	31 di 32

10.2.4.2 Combinazione di carico A2+M2+R2+kh/kv

Verifica di Stabilità globale (Metodo di calcolo: Rigido)  
M2 + R2 + Kh±Kv  
FS = 1.204



Combinazione di carico : M2 + R2 + Kh±Kv

Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido

Ricerca di superfici circolari critiche col metodo di Janbu

**Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 1.204**

