

VARIANTE ALLA S.S. 1 "VIA AURELIA"
Viabilità di accesso all'hub portuale di La Spezia
Lavori di costruzione della variante alla S.S. 1 Via Aurelia - 3°Lotto
2° Stralcio Funzionale B dallo Svincolo di Buon Viaggio allo Svincolo di San Venerio
COMPLETAMENTO

PRECEDENTI LIVELLI DI PROGETTAZIONE DELL'APPALTO INTEGRATO ORIGINALE

PD n°1861 del 09/07/03 aggiornato al 10/12/08 - Delibera CIPE n°60 del 02/04/08

PE n° 103 del 14/07/2011 - D.A. CDG-103321-P del 20/07/11

PVT n°112 del 21/01/16 aggiornata al 28/10/16 - D.A. CDG-92950-P del 21/02/17

Progetto Esecutivo Cantierabile Opere da Completare

PROGETTO ESECUTIVO

COD. GE266

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTA:

*Dott. Ing. Antonio Scalamandrè
Ordine Ing. di Frosinone n. 1063*

IL GEOLOGO

*Dott. Geol. Flavio Capozucca
Ordine Geol. del Lazio n. 1599*

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. Emiliano Paiella

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Fabrizio Cardone

PROTOCOLLO

DATA

GALLERIA ARTIFICIALE da Pk 2+308 A Pk 2+444

GALLERIA FELETTINO I

COMPLETAMENTO GALLERIA NATURALE

RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATA

CODICE PROGETTO

NOME FILE

T00GN01OSTRE05A.dwg

REVISIONE

SCALA

PROGETTO

LIV. PROG.

DPGE0266 E 20

CODICE ELAB.

T00GN01OSTRE05

A

-

D

C

B

A

Emissione

Luglio 2020

Ing.

Ing.

Ing.

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

VARIANTE ALLA S.S.1 “VIA AURELIA”

Viabilità di accesso all’hub portuale di La Spezia

Lavori di costruzione della variante alla S.S. 1 Via Aurelia – 3°Lotto

2°Stralcio Funzionale B dallo Svincolo di Buon Viaggio allo Svincolo di San Venerio

COMPLETAMENTO



Opere maggiori – Galleria naturale Felettino I

Imbocco Nord
Relazione di calcolo gabbionata

-	24.07.2020	CHI	CR
Versione	Data	Redatto	Verificato

Lombardi Ingegneria S.r.l. – Socio Unico

Via Giotto 36, IT-20145 Milano

Telefono +39 02 583 03 324, Fax +39 02 583 03 190

milano@lombardi.group, www.lombardi.group

Unità locale Torino

Via R. Montecuccoli 9, IT-10121 Torino, Italy

Telefono: +39 011 192 149 20, Fax: +39 02 583 03 190

torino@lombardi.group, www.lombardi.group

INDICE

1.	INTRODUZIONE	1
1.1	Premessa	1
1.2	Normativa di riferimento	2
1.3	Riferimenti bibliografici	2
1.4	Documenti di progetto	2
2.	DESCRIZIONE DELLE OPERE	3
3.	CRITERI DI VERIFICA	4
3.1	Criteri normativi di verifica	4
3.2	Verifiche di sicurezza in presenza di sisma	6
3.3	Definizione delle azioni	6
3.3.1	Spinta delle terre	6
4.	PROGRAMMI DI CALCOLO	10
5.	PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO	11
6.	RISULTATI E VERIFICHE	12
6.1	Stabilità globale del pendio	12
6.1.1	Verifica in condizioni statiche	12
6.1.2	Verifica in condizioni sismiche	13
6.2	Verifica allo scorrimento	14
6.2.1	Coefficienti parziali di sicurezza	14
6.2.2	Verifiche	14
6.2.3	Verifica	17

1. INTRODUZIONE

1.1 Premessa

La presente relazione di calcolo tratta le analisi e le verifiche relative all’opera di sostegno in gabbioni necessaria alla stabilizzazione del rilevato per il posizionamento in quota delle vasche antincendio ubicate sul fianco dell’imbocco nord della galleria Felettino I. Tale opera si inquadra nell’ambito della fase di completamento del Progetto Esecutivo “Variante alla SS n. 1 Aurelia (Aurelia bis) - Viabilità di accesso all’hub portuale di La Spezia” e specificatamente ricade nel 3°Lotto, tra la località di Felettino e il raccordo autostradale.

1.2 Normativa di riferimento

- [1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: "Aggiornamento delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".
- [2] Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

1.3 Riferimenti bibliografici

- [3] Lancellotta R. (1993): "Geotecnica". Edizioni Zanichelli.
- [4] Terrasol -"Manuale Talren v.5" - <http://www.terrasol.fr/en>

1.4 Documenti di progetto

- [5] IMBOCCO NORD - SISTEMAZIONE DEFINITIVA - PLANIMETRIA E PROFILO LONGITUDINALE (P01 GN02 TRA PF01 A)
- [6] IMBOCCO NORD - SISTEMAZIONE DEFINITIVA - SEZIONI TRASVERSALI (P01 GN02 TRA SZ01 A)

2. DESCRIZIONE DELLE OPERE

La presente relazione di calcolo tratta le analisi e le verifiche relative all'opera di sostegno in gabbioni necessaria per il posizionamento in quota delle vasche antincendio ubicate sul fianco dell'imbocco nord della galleria naturale Felettino I.

La gabbionata è costituita da blocchi di dimensioni 1.00 m x 1.00 m x 1.00 m disposti l'uno sull'altro come mostrato nelle figure seguenti. L'altezza della gabbionata è pari a 3m.

La sezione di calcolo (F5) indicata in figura è situata alla pk 1+785.

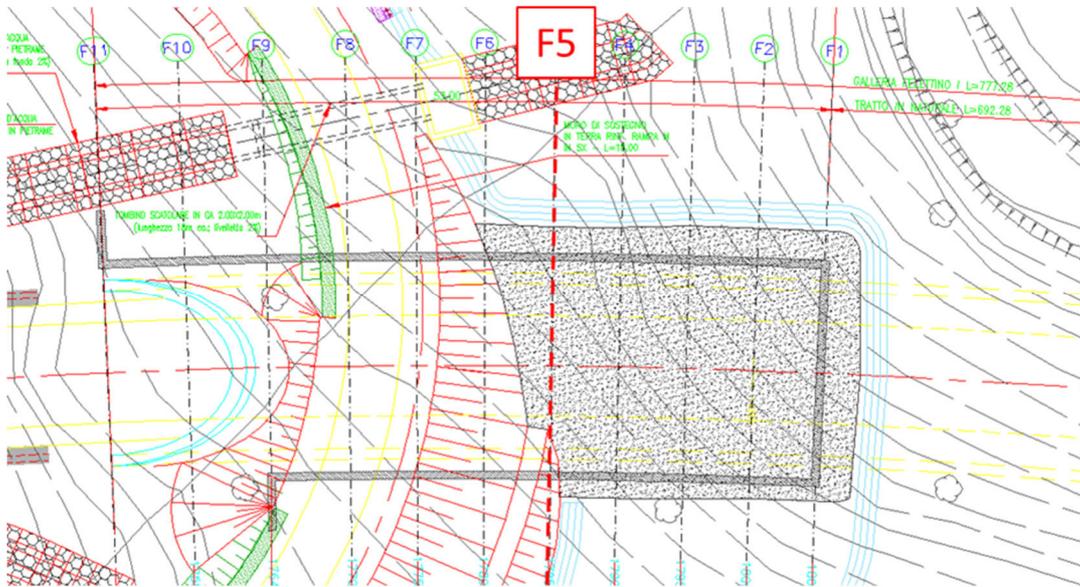


Figura 1: planimetria sistemazione definitiva

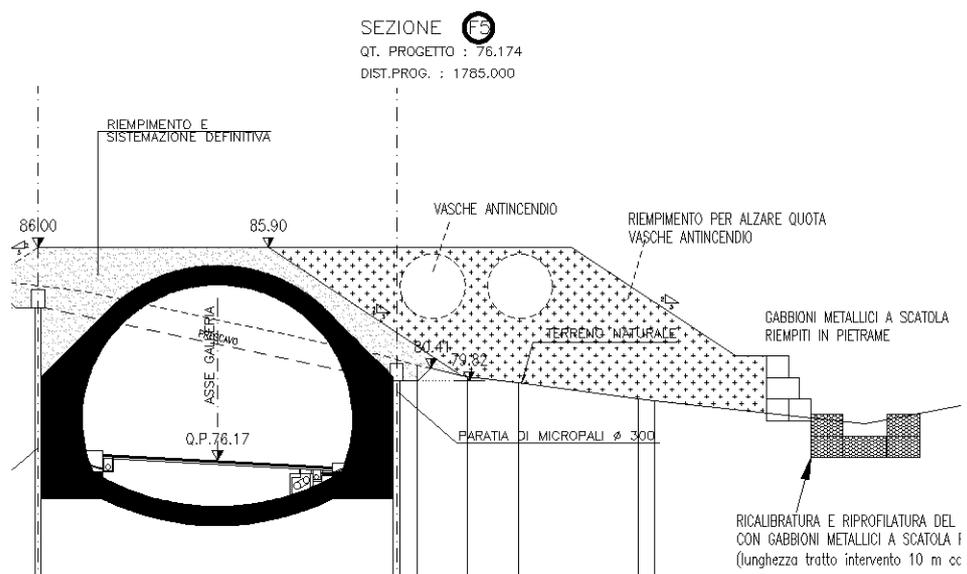


Figura 2: Sezione trasversale di calcolo.

3. CRITERI DI VERIFICA

3.1 Criteri normativi di verifica

La redazione della presente relazione è stata condotta nel rispetto della normativa del 2018.

Per i muri di sostegno o per altre strutture miste ad essi assimilabili devono essere effettuate le verifiche con riferimento almeno ai seguenti stati limite, accertando che la condizione [6.2.1] delle NTC 2018 sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:

SLU di tipo geotecnico (GEO)

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

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata, analogamente a quanto previsto al § 6.8 delle NTC 2018, secondo l'Approccio 1, con la Combinazione 2 (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabella 1 e Tabella 2 per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tabella 3 per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

Tabella 1 : Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F (\gamma_{FE})$	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0.8	0.8	0.8
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

(1) Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tabella 2: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo resistenza a taglio	$\tan\phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	$\gamma_{cu'}$	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1.0	1.0

Tabella 3: Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di opere di materiali sciolti e fronti scavo

Verifica	Coefficiente Parziale (R2)
γ_R	$\gamma_R = 1.1$

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabella 1, Tabella 2 e Tabella 4.

Tabella 4: Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi dei muri di sostegno

Verifica	Coefficiente Parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 1.4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1.1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1.15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1.4$

Nella verifica a ribaltamento i coefficienti R3 della Tabella 4 si applicano agli effetti delle azioni stabilizzanti.

3.2 Verifiche di sicurezza in presenza di sisma

Nelle verifiche di sicurezza in presenza di sisma si deve controllare che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni nel rispetto della condizione [6.2.1] delle NTC 2018, ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1) delle NTC 2018 e impiegando le resistenze di progetto con i coefficienti parziali γ_R indicati nella Tabella 5.

Tabella 5: Coefficienti parziali γ_R per le verifiche degli stati limite (SLV) in presenza di sisma dei muri di sostegno.

Verifica	Coefficiente parziale (γ_R)
Carico limite	1.2
Scorrimento	1.0
Ribaltamento	1.0
Resistenza del terreno a valle	1.2

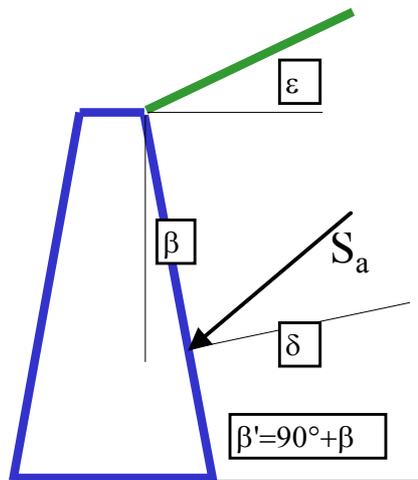
Relativamente alla verifica di stabilità globale del complesso gabbione-terreno, le resistenze di progetto verranno calcolate impiegando un coefficiente parziale pari a $\gamma_R = 1.2$, applicando coefficienti unitari sull'amplificazione delle azioni e sulla riduzione dei parametri meccanici dei terreni.

3.3 Definizione delle azioni

3.3.1 Spinta delle terre

Essendo i gabbioni un'opera di sostegno flessibile, si è considerato, come spinta delle terre sul paramento monte della gabbionata, la spinta attiva.

Il coefficiente di spinta è stato calcolato, per il caso statico, mediante la formula di Coulomb, e per il caso dinamico mediante la formula di Mononobe e Okabe. I parametri considerati e le formule utilizzate sono riportati di seguito:



Spinta attiva

Calcolo della spinta attiva

Per il calcolo della spinta attiva è stato adottato il metodo di *Coulomb*, il quale è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dalla briglia e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta S_t è applicata ad $1/3 H$ di valore

$$S_t = \frac{1}{2} \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_a$$

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi - \beta)}{\cos^2 \beta \cdot \cos(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \varepsilon)}{\cos(\beta + \delta) \cdot \cos(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

Con:

γ_t = peso unità di volume del terreno;

β = inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

φ = angolo di resistenza al taglio del terreno;

δ = angolo di attrito terra-muro;

ε = inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;

H= altezza della parete.

Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Mononobe & Okabe* riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo ε , di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo β , di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità θ tale che:

$$\tan\theta = \left(\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right)$$

con k_h coefficiente sismico orizzontale e k_v verticale.

Avendo indicato con:

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\varphi - \beta - \theta)}{\cos^2 \beta \cdot \cos \theta \cdot \cos(\beta + \delta + \theta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \varepsilon - \theta)}{\cos(\beta + \delta + \theta) \cdot \cos(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

Calcolo coefficienti sismici

Nelle verifiche, i valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v possono essere valutati mediante le espressioni (NTC 2018):

$$k_h = \beta_m \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right); \quad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

dove

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

a_{\max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T), di cui al § 3.2.3.2 delle NTC2018 ;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Nella precedente espressione, il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito è pari a:

$\beta_m = 0.38$ nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)

$\beta_m = 0.47$ nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD).

4. PROGRAMMI DI CALCOLO

Le analisi di stabilità globale dell'insieme opera terreno sono state condotte con il metodo dell'equilibrio limite, implementato mediante il codice di calcolo Talren 5 .

Il codice riproduce in condizioni bidimensionali la geometria del pendio, e consente di eseguire in maniera automatica la ricerca della superficie di scorrimento critica del pendio, cui corrisponde, cioè il coefficiente di sicurezza minore.

L'analisi di stabilità che verrà presentata nei capitoli successivi è stata eseguita con il metodo dell'equilibrio limite di Bishop, il quale considera come superfici di scorrimento critiche solo quelle circolari, o di neoformazione; per ulteriori approfondimenti circa il metodo di Bishop si rimanda alla bibliografia [4].

Le verifiche di ribaltamento, allo scorrimento e del carico limite della gabbionata sono state condotte implementata un foglio di calcolo Excel.

5. PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

In Tabella 6 si riportano i parametri geotecnici adottati per il dimensionamento delle opere oggetto della presente relazione.

Tabella 6: Parametri geotecnici di riferimento

Terreno di riempimento	Angolo di attrito terreno di riempimento	(°)	φ'	38.0
	Peso Unità di Volume terreno di riempimento	(kN/m ³)	γ'	20.0
	Angolo di attrito contatto terreno-gabbioni	(°)	δ	25.3
Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	(kPa)	$c1'$	0.0
	Angolo di attrito del terreno di Fondazione	(°)	$\varphi1'$	35.0
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	(kN/m ³)	$\gamma1$	21.0

6. RISULTATI E VERIFICHE

6.1 Stabilità globale del pendio

La verifica è stata eseguita con riferimento allo Stato Limite Ultimo Approccio 1 (GEO) – combinazione 2 (A2+M2+R2)

6.1.1 Verifica in condizioni statiche

Tale verifica è svolta mediante un calcolo all'equilibrio limite per mezzo del software Talren V5; tra i metodi di calcolo possibili si è scelto di considerare il metodo di Bishop. La verifica di stabilità globale si considera soddisfatta quando la superficie di scorrimento più critica fra quelle possibili corrisponde ad un fattore di sicurezza ≥ 1.1 ; ovvero, in accordo alla terminologia della normativa (Par. 6.8.2 delle NTC 2018).

Nella figura sottostante si riporta le superfici di scorrimento critiche per le sezioni esaminate; dall'esame di queste figure, si evince che la stabilità globale delle opere è sempre verificata

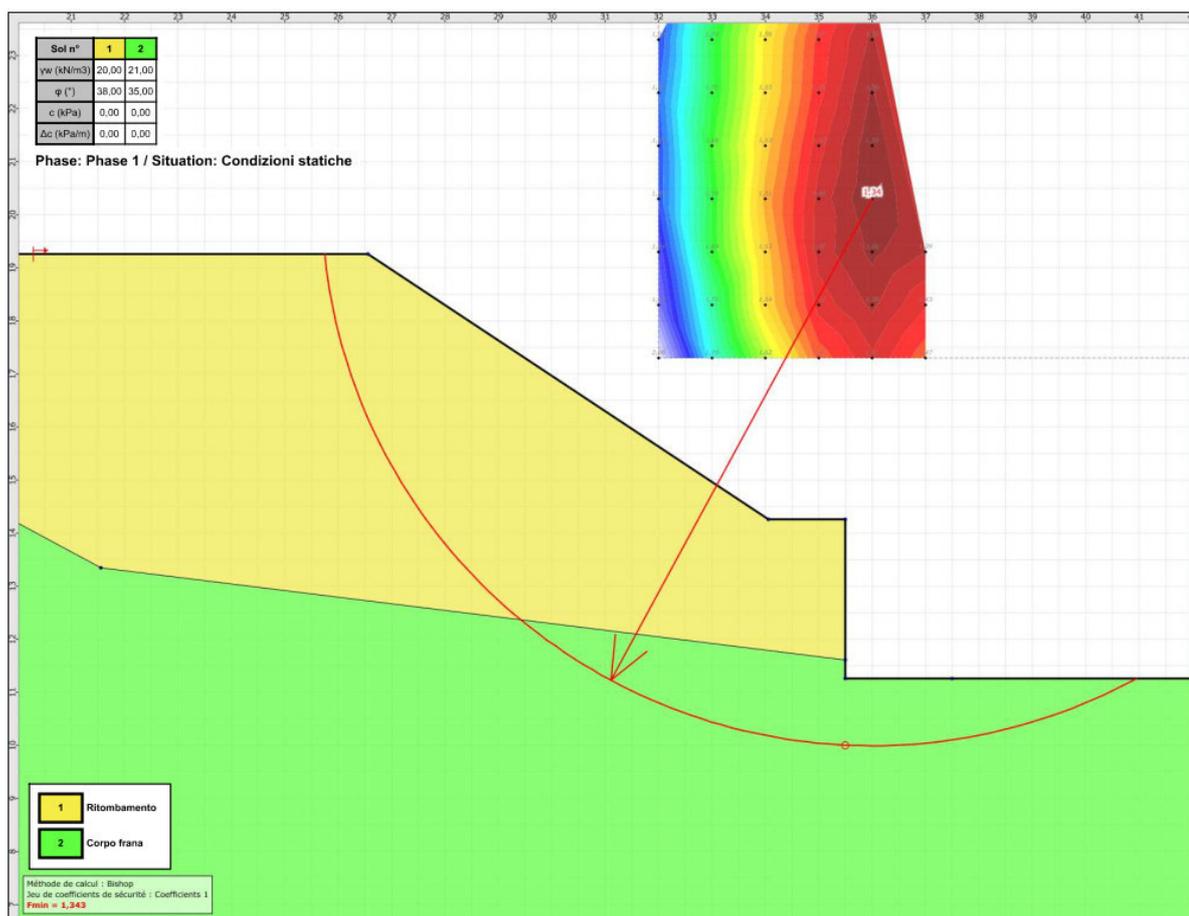


Figura 3: Risultati dell'analisi Talren per la condizione statica (FSmin=1.343)

6.1.2 Verifica in condizioni sismiche

La verifica di stabilità globale nella condizione sismica viene fatta sulla base di quanto definito al Par.7.11.3.5.2 delle NTC 18, i coefficienti sismici k_h (orizzontale) e k_v (verticale) sono definiti come:

$$K_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$K_v = \pm 0,5K_h$$

essendo:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito = 0,38 (Par 7.11.4 delle NTC 18)

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

L'accelerazione massima attesa è stata valutata con la relazione

$$a_{max} = S \cdot a_g = (S_s \cdot S_T) \cdot a_g$$

dove

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (S_T), descritto al Par 3.2.3.2 delle NTC 18;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Con le formule espresse sopra, si calcolano l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito e i coefficienti sismici k_h (orizzontale) e k_v (verticale)

La tabella seguente riporta parametri sismici usati per le verifiche

Tabella 7: parametri sismici usati per le verifiche

Dati Sismici	Accelerazione sismica	a_g/g	0.13	(-)
	Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	S_s	1.2	(-)
	Coefficiente Amplificazione Topografico	S_T	1.2	(-)
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	β_m	0.38	(-)
	Coefficiente sismico orizzontale	k_h	0.071136	(-)
	Coefficiente sismico verticale	k_v	0.0356	(-)

Nella figura sottostante si riporta le superfici di scorrimento critiche per le sezioni esaminate; dall'esame di queste figure, si evince che la stabilità globale delle opere è sempre verificata

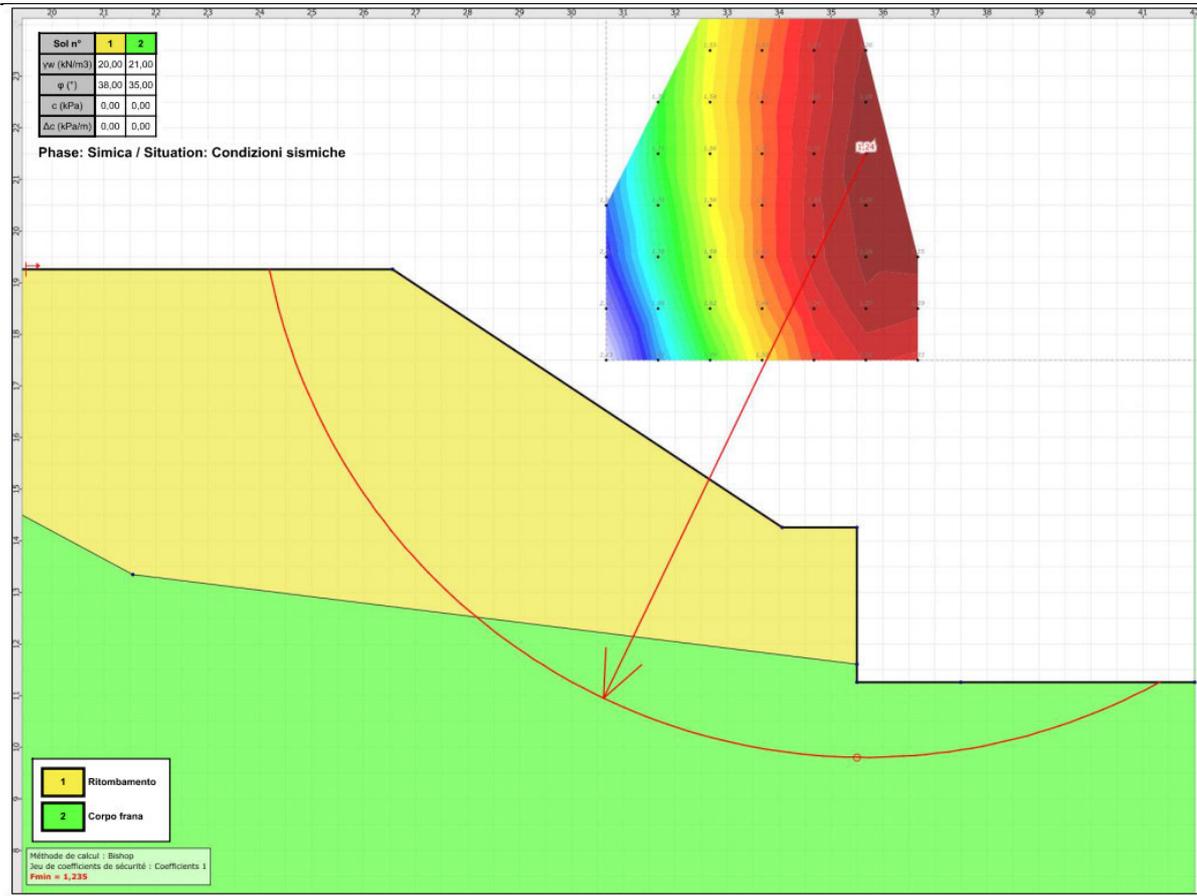


Figura 4: Risultati dell'analisi Talren per le condizioni sismiche (FSmin=1.235)

6.2 Verifica allo scorrimento

6.2.1 Coefficienti parziali di sicurezza

La verifica allo scorrimento è stata eseguita con riferimento allo stato limite ultimo Approccio 2 (A1+M1+R3).

6.2.2 Verifiche

Condizioni statiche:

FORZE VERTICALI		
- Peso del Muro (Pm)		
Pm1 =	(kN/m)	25.00
Pm2 =	(kN/m)	37.50
Pm3 =	(kN/m)	50.00
Pm =	(kN/m)	112.5 0
MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO		
Mm1 =	(kNm/m)	37.50

Variante alla S.S.1 " Via Aurelia" Viabilità di accesso all'hub di La Spezia
 Lavori di costruzione della variante alla S.S.1 Aurelia – 3° Lotto
 2° Stralcio funzionale B dallo Svincolo di Buon Viaggio allo Svincolo di S. Venerio
 Completamento – PE

GALLERIA FELETTINO I_RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATA

15

Mm2 =	(kNm/m)	46.88
Mm3 =	(kNm/m)	50.00
Mm =	(kNm/m)	134.38
INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO		
- Inerzia orizzontale e verticale del muro (Ps)		
Ps h =	(kN/m)	8.00
Ps v =	(kN/m)	4.00
- Incremento orizzontale di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs h)		
MPs1 h=	(kNm/m)	4.45
MPs2 h=	(kNm/m)	4.00
MPs3 h=	(kNm/m)	1.78
MPs h=	(kNm/m)	10.23
- Incremento verticale di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs v)		
MPs1 v=	(kNm/m)	1.33
MPs2 v=	(kNm/m)	1.67
MPs3 v=	(kNm/m)	1.78
MPs v=	(kNm/m)	4.78
CONDIZIONE STATICA		
SPINTE DEL TERRENO		
- Spinta totale condizione statica		
St =	(kN/m)	39.83
- Componente orizzontale condizione statica		
Sth =	(kN/m)	36.00
- Componente verticale condizione statica		
Stv =	(kN/m)	17.04
MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO		
MSt1 =	(kNm/m)	36.00
MSt2 =	(kNm/m)	34.08
VERIFICA ALLO SCORRIMENTO		
Risultante forze verticali (N)		
N =	(kN/m)	129.5
Risultante forze orizzontali (T)		
T =	(kN/m)	36.00
Coefficiente di attrito alla base (f)		
f =	(-)	0.70
Fs scorr.		2.52
VERIFICA AL RIBALTAMENTO		
Momento stabilizzante (Ms)		

Variante alla S.S.1 " Via Aurelia" Viabilità di accesso all'hub di La Spezia
 Lavori di costruzione della variante alla S.S.1 Aurelia – 3° Lotto
 2° Stralcio funzionale B dallo Svincolo di Buon Viaggio allo Svincolo di S. Venerio
 Completamento – PE
 GALLERIA FELETTINO I_RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATA

16

Ms =	(kNm/m)	120.9
Momento ribaltante (Mr)		
Mr =	(kNm/m)	10.34
Fs ribaltamento	Ms / Mr	11.70

VERIFICA CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE		
Risultante forze verticali (N)		
N =	(kN/m)	129.5 4
Risultante forze orizzontali (T)		
T =	(kN/m)	36.00
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)		
MM =	(kNm/m)	132.4 6
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)		
M =	(kNm/m)	-2.92
Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)		
Fondazione Nastriforme		
$q_{lim} = c'N_c * i_c + q_0 * N_q * i_q + 0,5 * \gamma_1 * B * N_\gamma * i_\gamma$		
coesione terreno di fondaz.	(kPa)	0.00
angolo di attrito terreno di fondaz.	(°)	35.00
peso unità di volume terreno fondaz.	(kN/m ³)	21.00
eccentricità	(m)	-0.02
larghezza equivalente	(m)	1.95
I valori di Nc, Nq e Nγ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)		
$N_q = \text{tg}^2(45 + \varphi'/2) * e(3.14 * \text{tg}(\varphi'))$ (1 in cond. nd)	(-)	33.30
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\varphi')$ (2+p in cond. nd)	(-)	46.12
$N_\gamma = 2 * (N_q + 1) * \text{tg}(\varphi')$ (0 in cond. nd)	(-)	48.03
I valori di ic, iq e iγ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)		
$i_q = (1 - T / (N + B * c' \cot \varphi'))^m$ (1 in cond. nd)	(-)	0.52
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$	(-)	0.51
$i_\gamma = (1 - T / (N + B * c' \cot \varphi'))^{m+1}$	(-)	0.38
(fondazione nastriforme m = 2)		
qlim	(kN/m ²)	371.1 7
FS carico limite		5.601

6.2.3 Verifica

Condizioni sismiche:

CONDIZIONE SISMICA +		
SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO		
- Spinta condizione sismica +		
Sst1 stat =	(kN/m)	30.64
Sst1 sism =	(kN/m)	11.42
- Componente orizzontale condizione sismica +		
Sst1h stat =	(kN/m)	27.70
Sst1h sism =	(kN/m)	10.32
- Componente verticale condizione sismica +		
Sst1v stat =	(kN/m)	13.11
Sst1v sism =	(kN/m)	4.89
MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO		
- Condizione sismica +		
MSst1 stat =	(kNm/m)	27.70
MSst1 sism=	(kNm/m)	10.32
MSst2 stat =	(kNm/m)	26.22
VERIFICA ALLO SCORRIMENTO		
Risultante forze verticali (N)		
N =	(kN/m)	134.50
Risultante forze orizzontali (T)		
T =	(kN/m)	46.02
Coefficiente di attrito alla base (f)		
f =	(-)	0.70
Fs =		2.05
VERIFICA AL RIBALTAMENTO		
Momento stabilizzante (Ms)		
Ms =	(kNm/m)	134.38
Momento ribaltante (Mr)		
Mr =	(kNm/m)	21.83
Fr =	-	6.16
VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE		
Risultante forze verticali (N)		
N =	(kN/m)	134.50
Risultante forze orizzontali (T)		
T =	(kN/m)	46.02
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)		
MM =	(kNm/m)	126.91
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)		
M =	(kNm/m)	7.59
Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)		

Variante alla S.S.1 " Via Aurelia" Viabilità di accesso all'hub di La Spezia
 Lavori di costruzione della variante alla S.S.1 Aurelia – 3° Lotto
 2° Stralcio funzionale B dallo Svincolo di Buon Viaggio allo Svincolo di S. Venerio
 Completamento – PE

GALLERIA FELETTINO I_RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATA

18

Fondazione Nastriforme		
$q_{lim} = c'N_c * i_c + q_0 * N_q * i_q + 0,5 * \gamma_1 * B * N_\gamma * i_\gamma$		
coesione terreno di fondaz.	(kN/mq)	0.00
angolo di attrito terreno di fondaz.	(°)	35.00
peso unità di volume terreno fondaz.	(kN/m3)	21.00
	(kN/m2)	0.00
eccentricità	(m)	0.06
larghezza equivalente	(m)	1.89
I valori di N_c , N_q e N_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)		
$N_q = \text{tg}^2(45 + \varphi'/2) * e^{(3.14 * \text{tg}(\varphi'))}$ (1 in cond. nd)	(-)	33.30
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\varphi')$ (2+p in cond. nd)	(-)	46.12
$N_\gamma = 2 * (N_q + 1) * \text{tg}(\varphi')$ (0 in cond. nd)	(-)	48.03
I valori di i_c , i_q e i_γ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)		
	(-)	0.43
$i_q = (1 - T / (N + B * c' \cot \varphi'))^m$ (1 in cond. nd)	(-)	0.42
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$	(-)	0.28
$i_\gamma = (1 - T / (N + B * c' \cot \varphi'))^{m+1}$		
q_{lim}	(kN/m2)	270.94
FS carico limite		3.80

CONDIZIONE SISMICA -		
SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO		
- Spinta condizione sismica -		
Sst1 stat =	(kN/m)	30.64
Sst1 sism =	(kN/m)	9.46
- Componente orizzontale condizione sismica -		
Sst1h stat =	(kN/m)	27.70
Sst1h sism =	(kN/m)	8.55
- Componente verticale condizione sismica -		
Sst1v stat =	(kN/m)	13.11
Sst1v sism =	(kN/m)	4.05
MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO		
- Condizione sismica -		
MSst1 stat =	(kNm/m)	27.70
MSst1 sism =	(kNm/m)	8.55
MSst2 stat =	(kNm/m)	26.22
MSst2 sism =	(kNm/m)	8.09
VERIFICA ALLO SCORRIMENTO		
Risultante forze verticali (N)		
N =	(kN/m)	125.6
Risultante forze orizzontali (T)		
T =	(kN/m)	44.25

Variante alla S.S.1 " Via Aurelia" Viabilità di accesso all'hub di La Spezia
 Lavori di costruzione della variante alla S.S.1 Aurelia – 3° Lotto
 2° Stralcio funzionale B dallo Svincolo di Buon Viaggio allo Svincolo di S. Venerio
 Completamento – PE

GALLERIA FELETTINO I_RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATA

19

Coefficiente di attrito alla base (f)		
f =	(-)	0.70
Fs =		1.99
VERIFICA AL RIBALTAMENTO		
Momento stabilizzante (Ms)		
Ms =	(kNm/m)	134.3
Momento ribaltante (Mr)		
Mr =	(kNm/m)	30.39
Fr =	Ms / Mr	4.42
VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE		
Risultante forze verticali (N)		
N =	(kN/m)	125.6
T =	(kN/m)	44.25
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)		
MM =	(KNm/m)	117.4
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)		
M =	(Nm/m)	8.21
Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitrario (Brinch-Hansen, 1970)		
Fondazione Nastriforme		
$q_{lim} = c'N_c * i_c + q_0 * N_q * i_q + 0,5 * \gamma_1 * B * N_\gamma * i_\gamma$		
coesione terreno di fondaz.	(kN/mq)	0.00
angolo di attrito terreno di fondaz.	(°)	35.00
peso unità di volume terreno fondaz.	(kN/m3)	21.00
	(kN/m2)	0.00
eccentricità	(m)	0.07
larghezza equivalente	(m)	1.87
I valori di Nc, Nq e Nγ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)		
$N_q = \text{tg}^2(45 + \varphi'/2) * e^{(3.14 * \text{tg}(\varphi'))}$ (1 in cond. nd)	(-)	33.30
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\varphi')$ (2+p in cond. nd)	(-)	46.12
$N_\gamma = 2 * (N_q + 1) * \text{tg}(\varphi')$ (0 in cond. nd)	(-)	48.03
I valori di ic, iq e iγ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)		
	(-)	0.42
$i_q = (1 - T / (N + B * c' \cot \varphi'))^m$ (1 in cond. nd)	(-)	0.40
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$	(-)	0.27
$i_\gamma = (1 - T / (N + B * c' \cot \varphi'))^{m+1}$		
qlim		256.36
FS carico limite		3.81

Variante alla S.S.1 " Via Aurelia" Viabilità di accesso all'hub di La Spezia
Lavori di costruzione della variante alla S.S.1 Aurelia – 3° Lotto
2° Stralcio funzionale B dallo Svincolo di Buon Viaggio allo Svincolo di S. Venerio
Completamento – PE

GALLERIA FELETTINO I_RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATA

20

Nella tabella sottostante sono riepilogati i coefficienti di sicurezza dimensionanti.

Coefficienti di sicurezza			
	Scorrimento	Ribaltamento	Carico limite
Statico	2.52	11.70	5.60
Sismico	1.99	4.42	3.80

In tutti i casi i coefficienti di sicurezza dedotti dalle analisi per la configurazione dell'opera in progetto risultano superiori ai valori minimi richiesti da normativa. Le verifiche risultano dunque soddisfatte.