

S.S. 42 "DEL TONALE E DELLA MENDOLA"
VARIANTE EST DI EDOLO

PROGETTO DEFINITIVO



CESI
Shaping a Better Energy Future
Mandante

TECHINT
Engineering & Construction
Mandataria

IGEAG
ENGINEERING S.p.A.
SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA
Mandante

VISTO: IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO

RESPONSABILE
DELL'INTEGRAZIONE DELLE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

PROGETTISTA SPECIALISTA

IL COORDINATORE DELLA
SICUREZZA IN FASE DI
PROGETTAZIONE

Ing. Giancarlo LUONGO

Ing. Alessandro RODINO

Ing. Alessandro RODINO

Dott. Domenico TRIMBOLI

RETI E CHIODATURE
ROTATORIA NORD - INTERVENTI SUL VERSANTE
RELAZIONE DI CALCOLO

CODICE PROGETTO

NOME FILE

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

T00OM02STRRE01_A

COMI21 D 1810

CODICE ELAB. T00OM02STRRE01

A

-

C

B

A

EMISSIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA ANAS
E PER RICHIESTA MODIFICA TRACCIATO

Agosto 2021

M. Barale

A. Rodino

A. Rodino

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE	pag.
1. INTRODUZIONE	1
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	2
3. INQUADRAMENTO GENERALE	3
4. OPERE IN PROGETTO	5
5. PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO	7
6. METODO DI CALCOLO E CODICE UTILIZZATO	8
7. MODELLO DI CALCOLO	9
8. ANALISI DELLO STATO ATTUALE (ANTE OPERAM).....	10
9. VERIFICHE DI STABILITÀ A BREVE TERMINE	11
10. VERIFICHE DI STABILITÀ DI LUNGO TERMINE (<i>POST OPERAM</i>)	14
11. VERIFICHE DI STABILITÀ IN CONDIZIONI SISMICHE.....	15
12. VERIFICA DEGLI ANCORAGGI.....	23
12.1 Verifiche a sfilamento	23
12.2 Verifica dell'armatura.....	25
13. CONCLUSIONI.....	26

1. Introduzione

La presente relazione viene redatta nell'ambito del progetto dei "Lavori di Ammodernamento della SS. 42 del Tonale e della Mendola. Variante est di Edolo – LOTTO II".

Il progetto prevede la connessione della nuova variante in progetto con l'attuale S.S. 42 a nord dell'abitato di Edolo mediante una rotatoria del diametro di 34 m per la realizzazione della quale risulta necessario eseguire sbancamenti e riprofilature del versante roccioso presente a monte della strada attuale.

Nella presente relazione sono riportate le principali analisi e verifiche di stabilità del versante in oggetto sia in riferimento alle condizioni attuali, "ante-operam", sia nelle condizioni "post-operam", con le opere in progetto realizzate.

2. Normative di riferimento

- Legge 5 novembre 1971, n. 1086 "Norme tecniche per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica";
- Legge 2 febbraio 1974, n. 64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";
- D.M. Infrastrutture Trasporti 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni»";
- Circ. Min. Infrastr. Trasp. 21 gennaio 2019, n. 7 "Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 17/01/2018";
- Regolamento (UE) n. 305/2011 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 9/03/2011 "Condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione";
- UNI EN 1992-1-1:2005 "Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici";
- UNI EN 1998-1:2005 "Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici";

3. Inquadramento Generale

Ai fini delle analisi e delle verifiche riportate nella presente relazione, nel seguito si evidenziano le principali caratteristiche di Ubicazione e Classificazione dell'opera necessarie per la più corretta definizione delle azioni di calcolo, in accordo a quanto previsto dal D.M.17/01/2018.

la rotatoria in oggetto è ubicata a monte dell'abitato di Edolo e consente alla nuova variante stradale in progetto di connettersi alla attuale sede stradale della SS n. 42 "*del Tonale e della Mendola*".



Vista Satellitare

Per l'opera in oggetto si definiscono i seguenti parametri di classificazione:

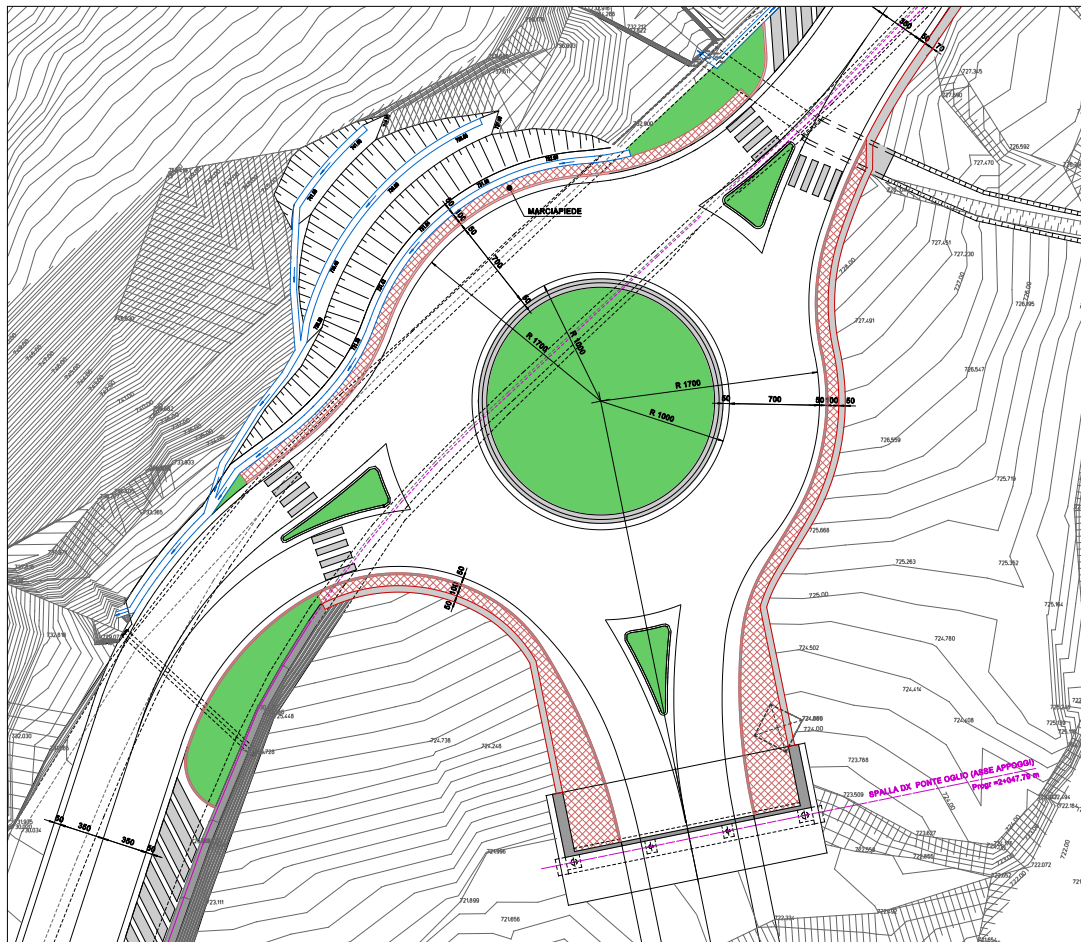
- Latitudine: 46.1877
- Longitudine: 10.3404
- Elevazione: 750 m s.l.m.
- Zona sismica: 3 (Ai sensi della DGR 11/07/2014 n. X/2129);

- Tipo di costruzione: 2 (costruzioni con livelli di prestazione ordinari);
- Vita nominale: $V_N \geq 50$ anni
- Classe d'uso: IV
- Coefficiente d'uso: $C_u = 2,0$
- Periodo di riferimento per le azioni sismiche: $V_R = V_N \cdot C_u = 100$ anni

4. Opere in progetto

Il progetto prevede l'esecuzione di sbancamenti e riprofilature del versante attuale presente a monte della strada statale al fine di ricavare lo spazio necessario alla costruzione della nuova rotondia.

Essendo il versante in oggetto caratterizzato da forte acclività in materiale roccioso, è prevista una riprofilatura dello stesso mediante sbancamenti di altezza massima di 5.00 m ciascuno, con inclinazione del fronte di 60° , e banche orizzontali di larghezza 1.50 m.



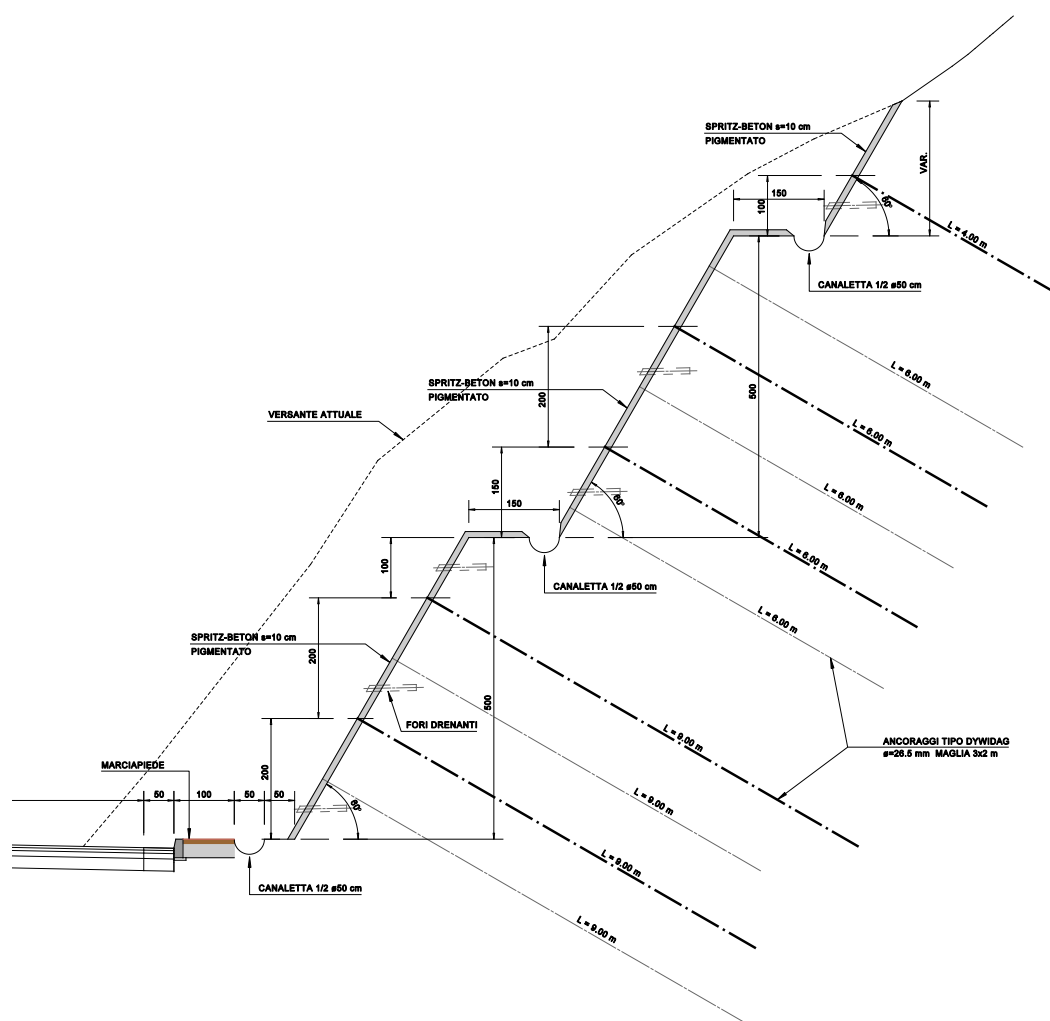
Planimetria generale

Gli interventi previsti sono (cfr. immagine seguente):

- chiodature con barre dywidag $\varnothing 26.5$ mm, della lunghezza di 9.00 m - 6.00 m e 4.00 m, disposte lungo le scarpate con maglia 3.0 m in orizzontale x 2.0 m in verticale;
- rivestimento delle superfici mediante getto di uno strato di spritz-beton, dello spessore di 10 cm, armato con una rete metallica elettrosaldata $\varnothing 10$ mm maglia 15x15 cm.

Si prevede l'utilizzo di spritz-beton pigmentato così da favorirne l'inserimento nel conteso ambientale.

- esecuzione di fori drenanti mediante perforazione 120 mm e inserimento di tubi in PVC $\varnothing 100$ mm L=80 cm, distribuiti secondo una maglia 2.0 m in orizzontale x 3.0 m in verticale;
- Posa lungo le banche di canalette metalliche semicircolari $\varnothing 50$ cm in acciaio zincato, per la raccolta e smaltimento delle acque.



Sezione tipo di intervento

5. Parametri geotecnici di calcolo

Il versante oggetto di analisi risulta caratterizzato dalla prevalente presenza di rocce costituite da micascisti quarzoso feldspatici appartenenti alle formazioni degli Scisti di Edolo.

Come risulta dalla documentazione a carattere geologico e geotecnico facente parte degli elaborati di progetto, a tale formazione sono associati i seguenti valori dei principali parametri geotecnici utili per le elaborazioni di calcolo, giudicati sufficientemente cautelativi (in accordo a quanto previsto dalla normativa NTC18 al §6.3.4 le verifiche di stabilità sono eseguite con riferimento ai parametri geotecnici "caratteristici"):

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

Strato	γ	ϕ_k	c_k
	[kN/m ³]	[°]	[kPa]
(D) Substrato roccioso	27.0	56	190.00

γ = densità naturale

ϕ_k = angolo di resistenza al taglio

c_k = coesione

6. Metodo di calcolo e codice utilizzato

Le verifiche di stabilità generale riportate nella presente relazione sono state effettuate mediante l'impiego del seguente software di calcolo:

Codice di calcolo: FLAC-Slope Rev. 7.00
Licenza n°: 213.039.0053.13918
Produttore: ITASCA Consulting Group, Inc. - Minneapolis
Distributore: Harpaceas s.r.l. - Milano

Il software FLAC-Slope é un applicativo alle differenze finite, facente parte del più generale software FLAC 2D, specificatamente dedicato alle verifiche di stabilità dei pendii mediante il calcolo del relativo fattore di sicurezza.

Il fattore di sicurezza viene calcolato riducendo iterativamente i parametri di resistenza del terreno (tipicamente la coesione e l'angolo di attrito interno) fino al raggiungimento della rottura ("*strenght reduction method*"); al raggiungimento della condizione di rottura viene quindi determinato il fattore di sicurezza ("*FoS*") mediante il rapporto tra i parametri di calcolo originari di input e quelli ridotti tramite le iterazioni di calcolo.

7. Modello di calcolo

Il modello di calcolo è stato costruito in riferimento ad una sezione trasversale tipologica di intervento caratterizzata dalla massima acclività del versante attuale e quindi giudicata maggiormente rappresentativa.

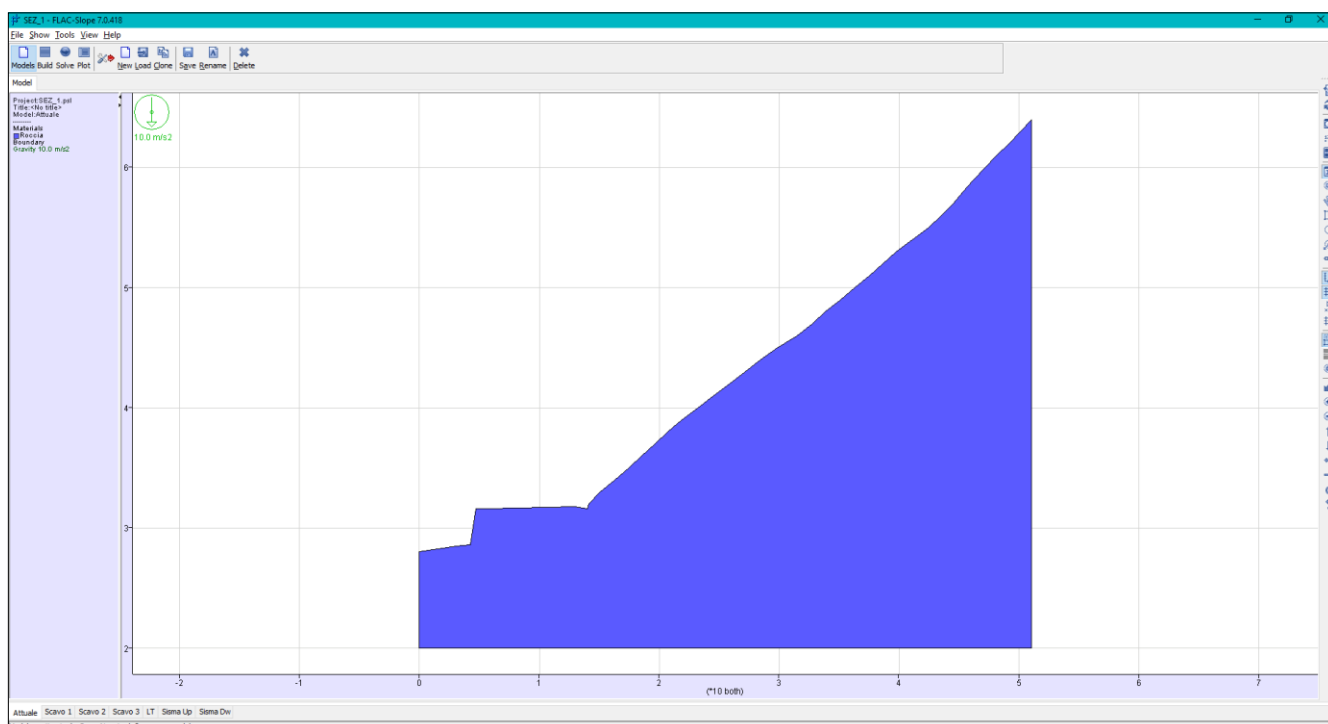
La sezione è adattata al profilo del versante attuale, attribuendo al materiale i parametri geotecnici relativi, e prevede anche la geometria delle sagomature in progetto.

Il modello viene suddiviso in una griglia di calcolo dove ciascuna zona si comporta secondo una prescritta legge sforzi-deformazioni e secondo un determinato criterio di resistenza in risposta alle forze applicate ed ai vincoli imposti sul contorno del modello.

La scelta del modello costitutivo da assegnare all'ammasso roccioso è stata indirizzata verso un modello di tipo *continuo equivalente*, con criterio di rottura di tipo Mohr-Coulomb.

Non si è ritenuto adeguato il ricorso al criterio di Hoek & Brown dal momento che gli strati interessati sono quelli più superficiali e quindi caratterizzati da livelli tensionali relativamente bassi.

La figura riportata di seguito rappresenta il modello di calcolo di cui sopra.

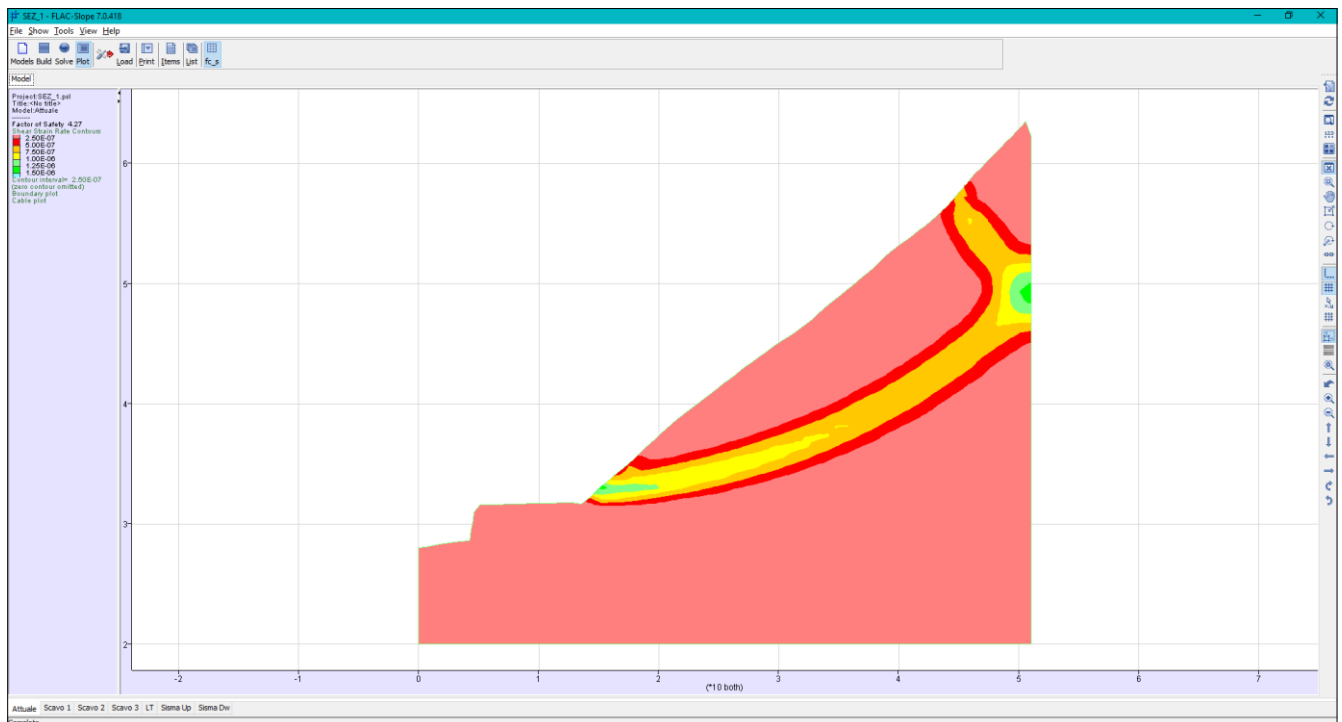


Modello di calcolo

8. Analisi dello stato attuale (ante operam)

Al fine di verificare le condizioni di stabilità attuali del versante, utili anche per poter poi fare dei confronti con le successive condizioni di progetto, si è eseguita una analisi di stabilità preliminare riferita alla geometria attuale del versante e con i parametri geotecnici del materiale riportati in precedenza.

La figura seguente riporta il risultato della simulazione effettuata.



Simulazione Stato Attuale (Fs = 4.27)

9. Verifiche di stabilità a breve termine

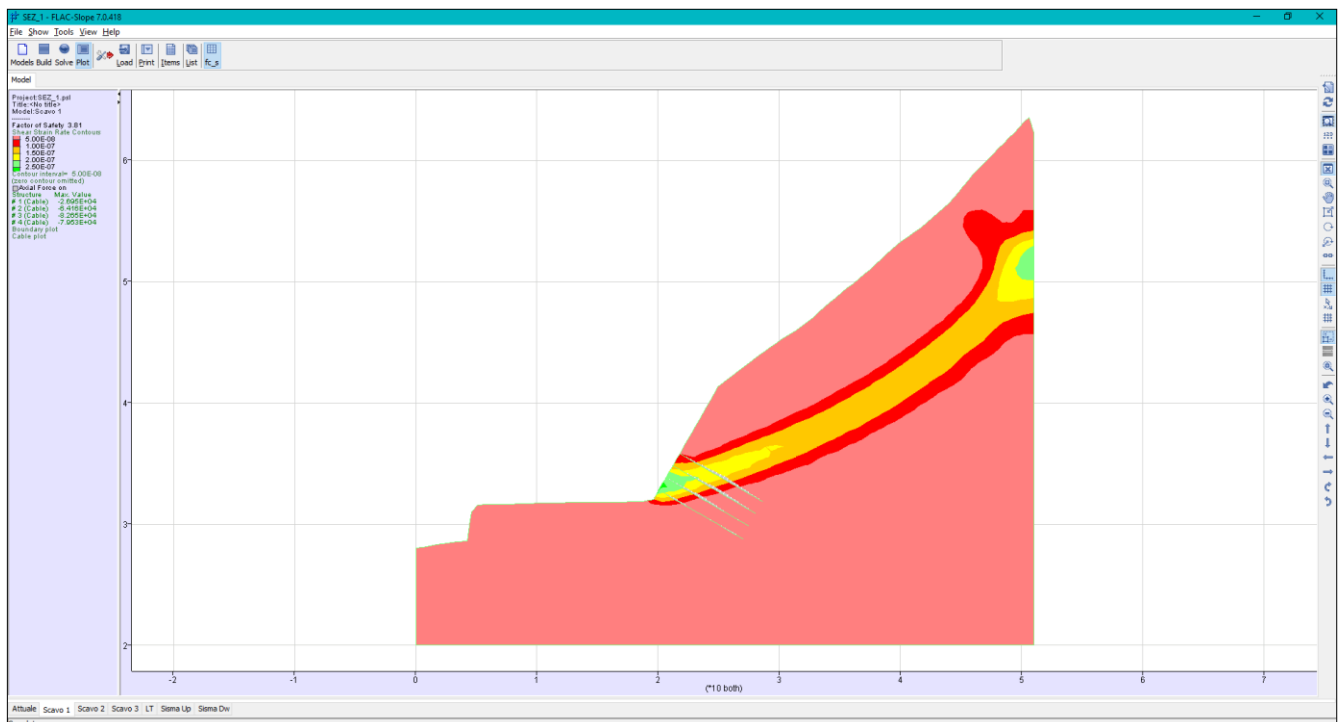
Per analizzare le condizioni di stabilità transitorie durante i lavori di sbancamento e riprofilatura, si è eseguita una serie di analisi di stabilità adattando di volta in volta il modello alle varie configurazioni dello sbancamento.

In particolare la successione delle fasi considerata è la seguente:

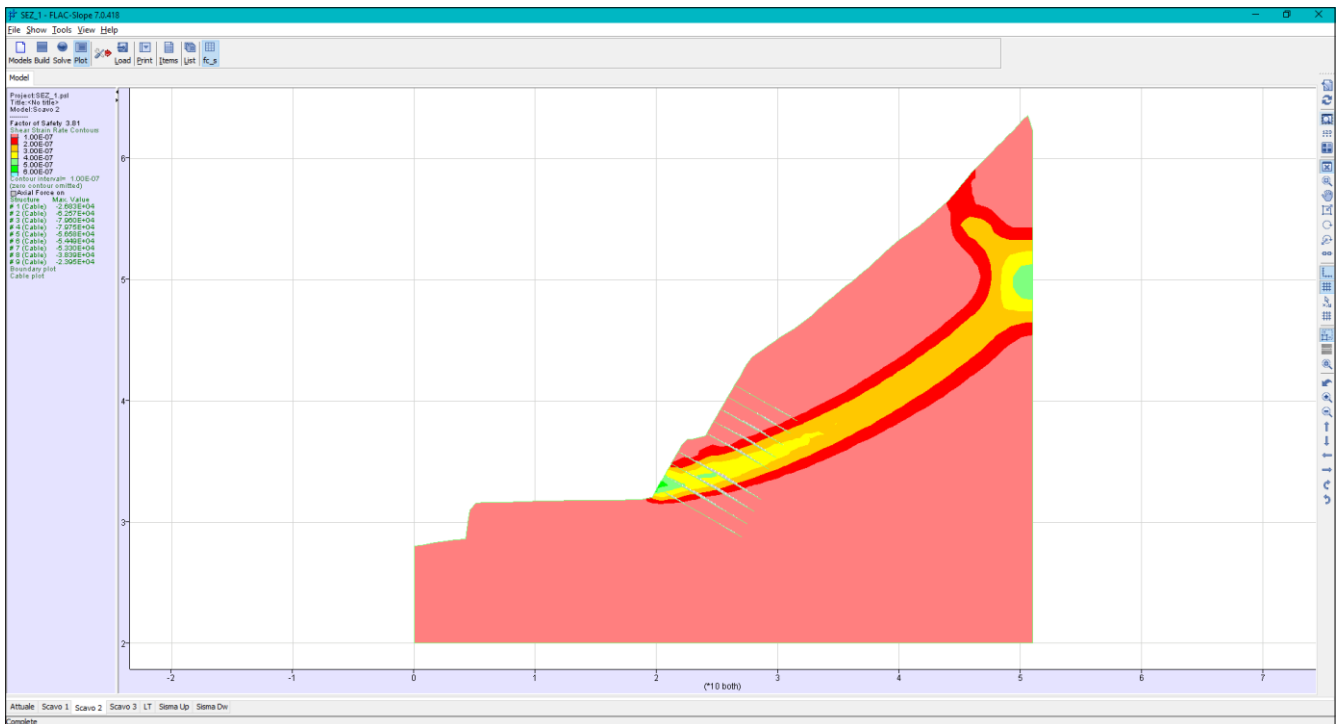
- Fase 1 lo scavo prevede una unica parete inclinata di 60° che si sviluppa dal piano stradale di base fino ad intercettare la superficie
- Fase 2 scavo della prima banca orizzontale posta a +5.00 m dal piano stradale e parete inclinata di 60° fino a intercettare la superficie
- Fase 3 scavo della seconda banca orizzontale posta a +10.00 m dal piano stradale e parete inclinata di 60° fino a intercettare la superficie

In ognuna delle predette fasi sono attivati i corrispondenti sistemi di ancoraggio previsti a progetto.

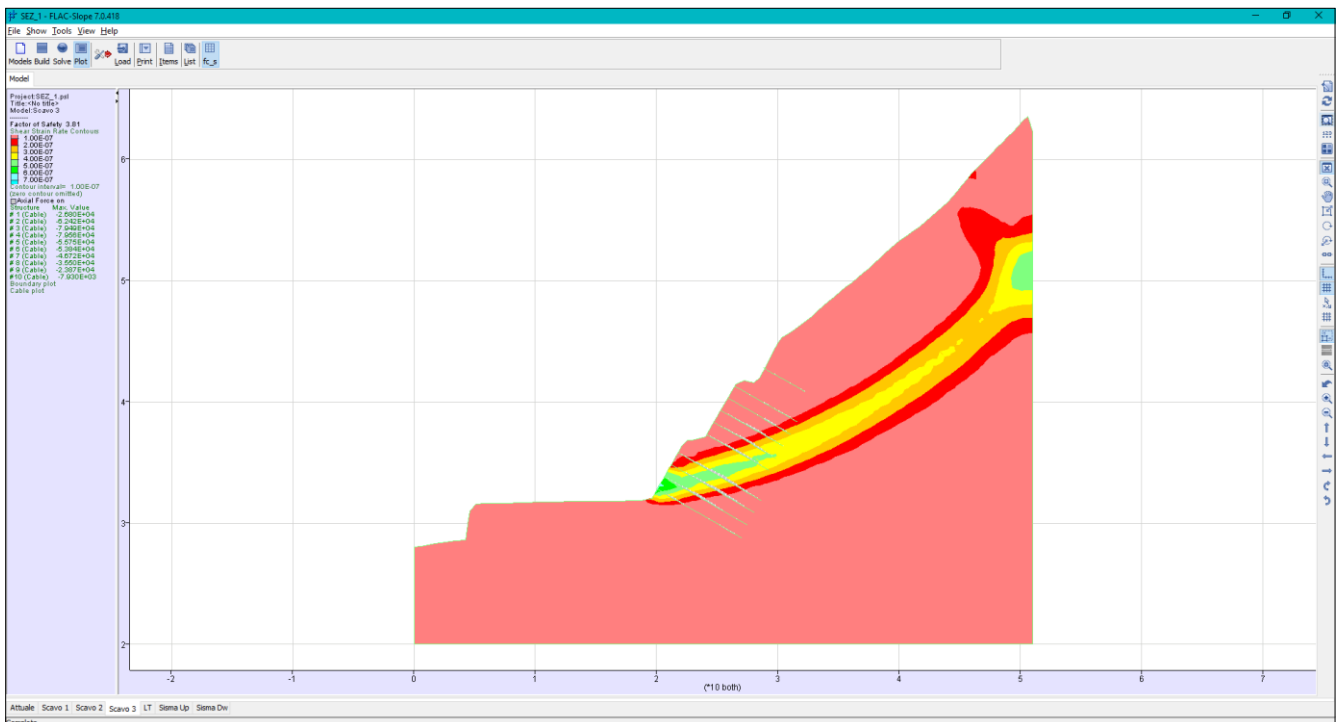
Nelle immagini che seguono vengono rappresentati i risultati dei fattori di sicurezza ottenuti per ognuna delle predette fasi.



Simulazione a Breve Termine - Fase 1 (Fs = 3.81)



Simulazione a Breve Termine - Fase 2 (Fs = 3.81)



Simulazione a Breve Termine - Fase 3 (Fs = 3.81)

Nella tabella seguente sono quindi riassunti i fattori di sicurezza ottenuti per ciascuna fase lavorativa.

Tabella riassuntiva dei fattori di sicurezza del versante durante i lavori

Analisi	F.S.
Stato attuale	4.27
Breve termine - Fase 1	3.81
Breve termine - Fase 2	3.81
Breve termine - Fase 3	3.81

Come si può vedere dai risultati ottenuti gli sbancamenti in progetto determinano condizioni di stabilità del versante lievemente peggiorativi rispetto allo stato preesistente, che rimane comunque sempre abbondantemente in condizioni di sicurezza.

Da evidenziare che i sistemi di ancoraggio previsti sono principalmente finalizzati non tanto alla stabilizzazione di dell'intero versante, che comunque come visto non presenta problemi in tal senso, quanto per la stabilità locale dei eventuali cunei di roccia che potrebbero trovarsi in condizioni di stabilità precarie a seguito degli sbancamenti.

Nel prospetto seguente sono riassunti i massimi valori delle sollecitazioni di trazione risultanti negli ancoraggi per ciascuna fase di scavo.

Tabella riassuntiva delle sollecitazioni di trazione nei tiranti

Breve termine - Fase 1	82.65 kN
Breve termine - Fase 2	79.75 kN
Breve termine - Fase 3	79.56 kN

10. Verifiche di stabilità di lungo termine (*post operam*)

L'analisi relativa all'ultima fase realizzativa (Fase 3), riportata in precedenza, rappresenta la situazione finale a termine lavori.

Nel presente capitolo si espongono i risultati relativi alle analisi di calcolo di lungo termine nelle quali, partendo dalla predetta configurazione, si é ipotizzato un possibile decadimento nel tempo dei parametri geotecnici dell'ammasso roccioso assunto pari a circa il 20%.

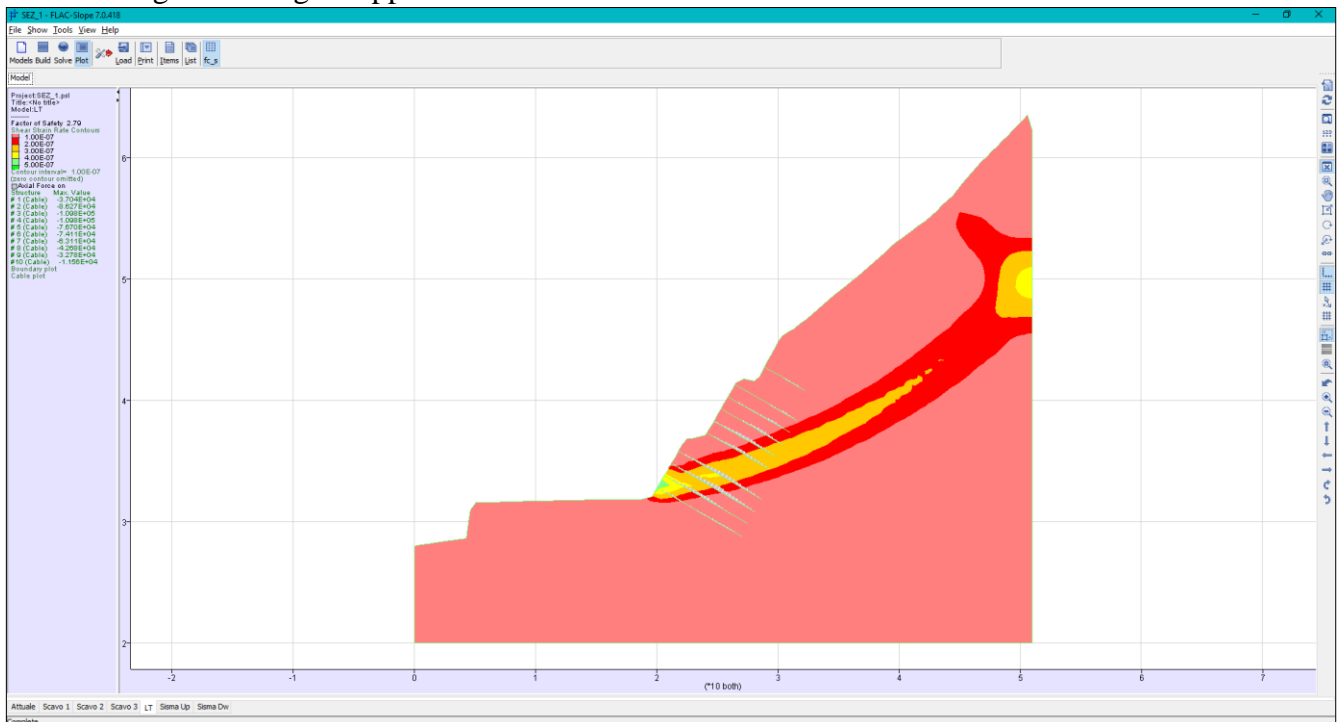
All'ammasso roccioso si sono quindi assegnati i seguenti parametri geotecnici di calcolo:

PARAMETRI GEOTECNICI DI LUGO TERMINE

Strato	γ [kN/m ³]	ϕ_k [°]	c_k [kPa]
(D) Substrato roccioso	27.0	45	150.00

- γ = densità naturale
- ϕ_k = angolo di resistenza al taglio
- c_k = coesione

L'immagine che segue rappresenta il risultato ottenuto.



Verifica di Stabilità a Lungo Termine ($F_s = 2.79$)

Massima sollecitazione di trazione nei tiranti a lungo Termine

Lungo termine	109.80 kN
---------------	-----------

11. Verifiche di stabilità in condizioni sismiche

La definizione delle azioni sismiche di progetto viene effettuata in funzione della "pericolosità sismica di base" del sito mediante i seguenti parametri:

- Accelerazione sismica al sito: a_g [m/s^2]
- Fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione: F_0
- Periodo del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione: T^*_c [s]

variabili in funzione delle coordinate geografiche di localizzazione dell'opera (latitudine e longitudine) ed in relazione alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento adottata e, pertanto, in relazione al particolare stato limite considerato.

Tali valori sono definiti interpolando tra i valori forniti per i vertici del reticolo di riferimento più prossimi al sito ("Allegato B - Tabella 1" del D.M. Infr. del 14/01/2008^(*)).

^(*) Per la definizione dei parametri sismici di cui sopra, il D.M. 17/01/18, al cap. 3.2, rimanda agli Allegati A e B del D.M. 14/01/08).

Nella tabella che segue sono riassunti, per i quattro vertici del reticolo di riferimento che racchiudono il sito in esame, i valori identificativi in termine di numero ed ubicazione geografica e le rispettive distanze dal sito di costruzione.

Posizione del sito		Nodi intorno al sito			
Comune:	Edolo - (BS)	ID	Longitudine	Latitudine	Dist. sito (Km)
Longitudine	10.3404	9169	10.3180	46.1940	1.8629
Latitudine	46.1877	9391	10.3210	46.1440	5.0885
Cerca con Google Map		9392	10.3930	46.1460	6.1628
Isola:	Sardegna	9170	10.3900	46.1960	3.9316

I parametri sismici per il sito di costruzione vengono quindi determinati come media ponderata tra i quattro vertici di cui sopra adottando come "peso" l'inverso delle relative distanze:

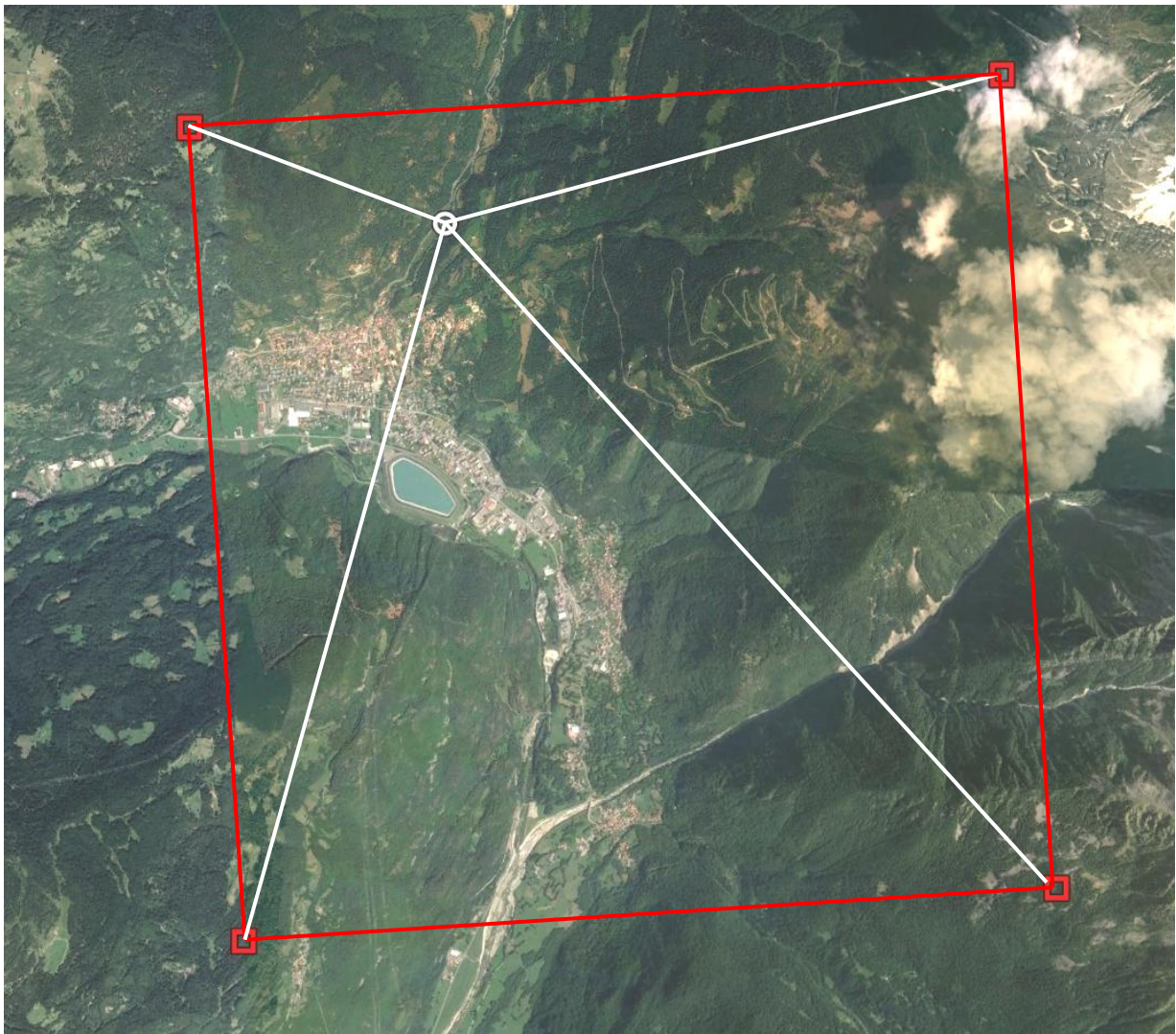
$$p = \frac{\sum_1^4 \frac{P_i}{d_i}}{\sum_1^4 \frac{1}{d_i}}$$

dove:

p = valore del parametro di interesse;

p_i = valori del parametro relativi ai quattro vertici del reticolo;

d_i = distanze dei quattro vertici dal punto in esame.



Localizzazione vertici del reticolo di riferimento e sito di costruzione

Per il sito oggetto di studio si riportano pertanto i valori base dei suddetti parametri per le verifiche allo Stato limite Ultimo (SLV), corrispondenti ad una probabilità di superamento del 10% nel periodo di riferimento (ossia per un Tempo di Ritorno TR = 949 anni):

- Accelerazione sismica al sito: $a_g = 0.0717 \text{ g}$;
- Fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione: $F_0 = 2.7974$;
- Periodo del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione: $T^*_C = 0.311 \text{ s}$;

Pericolosità sismica

Tipo costruzione (Art. 2.4.1) Classe d'uso (Art. 2.4.2) Cu:

Vita Nominale di progetto Vn (anni):

Periodo di rif. calcolato: $VR = \max(Vn \cdot Cu, VrMin) = \max(100.00, 100.00) = 100.00$ anni Vr:

Livello di sicurezza %:

Pvr % (Art. 3.2.1)

SLO	81.00
SLD	63.00
SLV	10.00
SLC	5.00

Periodo di ritorno Tr (anni)

SLO	60
SLD	101
SLV	949
SLC	1950

Posizione del sito

Comune:

Longitudine:

Latitudine:

Isola:

Nodi intorno al sito

ID	Longitudine	Latitudine	Dist. sito (Km)
9169	10.3180	46.1940	1.8629
9391	10.3210	46.1440	5.0885
9392	10.3930	46.1460	6.1628
9170	10.3900	46.1960	3.9316

Parametri di pericolosità sismica

	ag (g/10)	F0 (adim)	TC*(sec)
SLO	0.32440879	2.63051136	0.20897756
SLD	0.38216029	2.65858893	0.23000000
SLV	0.71671137	2.79738299	0.31078969
SLC	0.86049443	2.84424302	0.32903347

N.B. Dal valore tabellato, per ottenere ag in (g), dividerlo per 10; per ottenerlo in m/sec², moltipicarlo per 0.9806

La risposta sismica locale deve poi essere corretta in relazione alla "Categoria del Suolo" e alle "Condizioni Topografiche" proprie del sito di costruzione mediante i relativi coefficienti di amplificazione.

In relazione a quanto emerso dalle indagini geologiche e geognostiche, dal punto di vista sismico, l'ammasso roccioso interessato è ascrivibile alla categoria "A" secondo la classificazione di norma sotto riportata.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Tuttavia, anche al fine di tenere conto della possibile presenza di una fascia superficiale più degradata e scadente, a titolo cautelativo le azioni sismiche sono state definite con riferimento ad un sottosuolo di categoria "B".

A tale tipologia di sottosuolo si associa il seguente valore del coefficiente di Amplificazione Stratigrafica delle azioni sismiche:

$$S_S = 1.20$$

Il coefficiente di Amplificazione Topografica viene assunto per la categoria topografica T2 pari a:

$$S_T = 1.20$$

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le azioni sismiche sono rappresentate mediante forze statiche equivalenti pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

I valori dei coefficienti sismici di accelerazione orizzontale e verticale sono valutati mediante le seguenti espressioni (§7.11.3.5.2):

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g} \quad k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

dove:

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

g = accelerazione di gravità;

β_s = coefficiente funzione della categoria del suolo e della a_g (Tab. 7.11.I)

Tab. 7.11.I – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g (g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g (g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g (g) \leq 0,1$	0,20	0,20

L'accelerazione massima viene valutata con la seguente 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);

a_g = accelerazione orizzontale attesa su sito di riferimento rigido.

Nel caso specifico, con riferimento allo stato limite ultimo SLV, si ha pertanto:

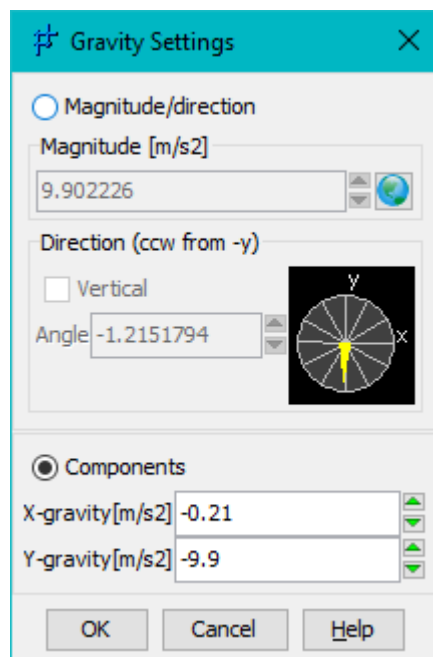
$$a_{\max} = 1.20 \cdot 1.20 \cdot 0.0717 \text{ g} = 0.103 \text{ g}$$

$$\beta_s = 0.20$$

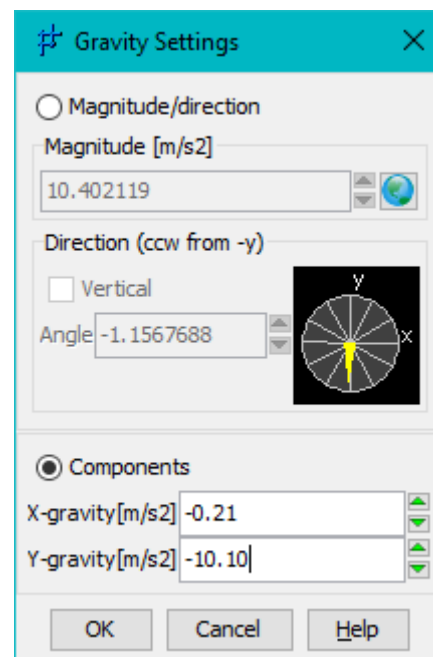
$$k_h = 0.20 \cdot 0.103 = 0.021$$

$$k_v = \pm 0.50 \cdot 0.021 = \pm 0.010$$

Nel modello di calcolo, le verifiche in condizioni sismiche sono quindi effettuate assegnando all'ammasso roccioso i parametri geotecnici ridotti di lungo termine e applicando le due componenti orizzontale e verticale del vettore gravità come illustrato nelle immagini seguenti.

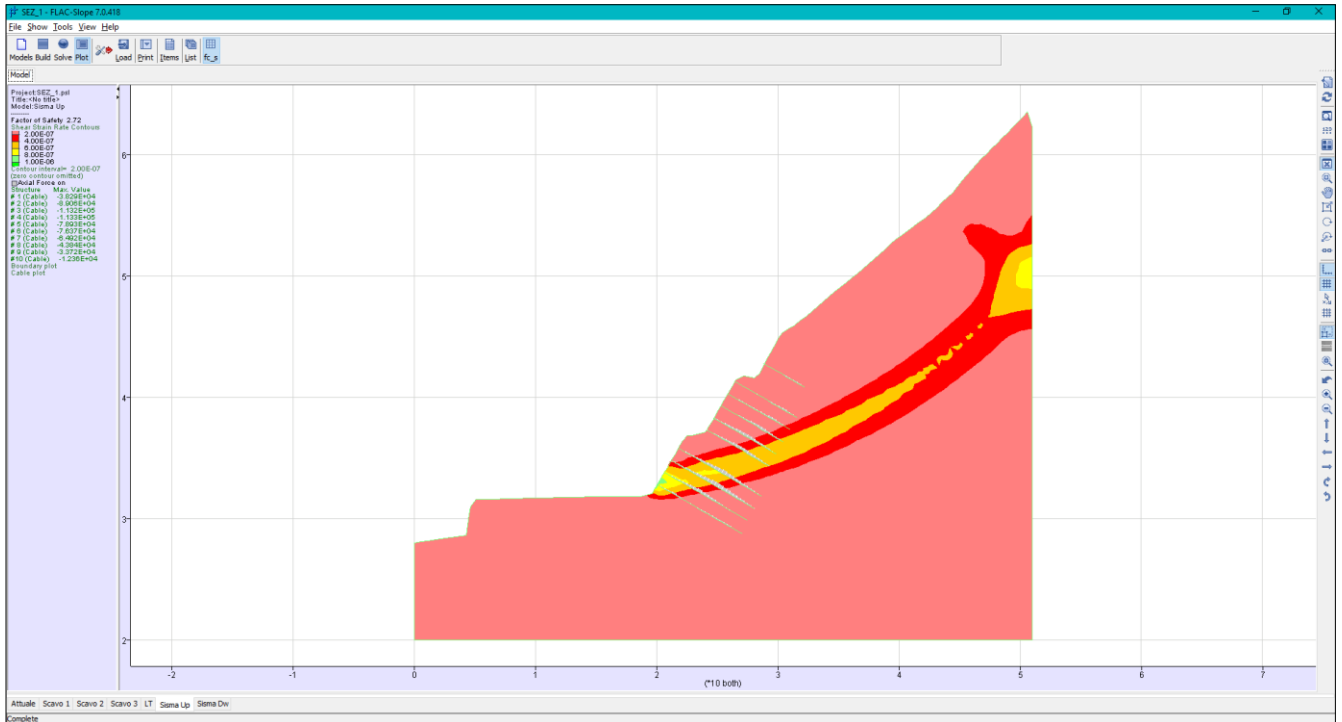


Sisma verso l'Alto

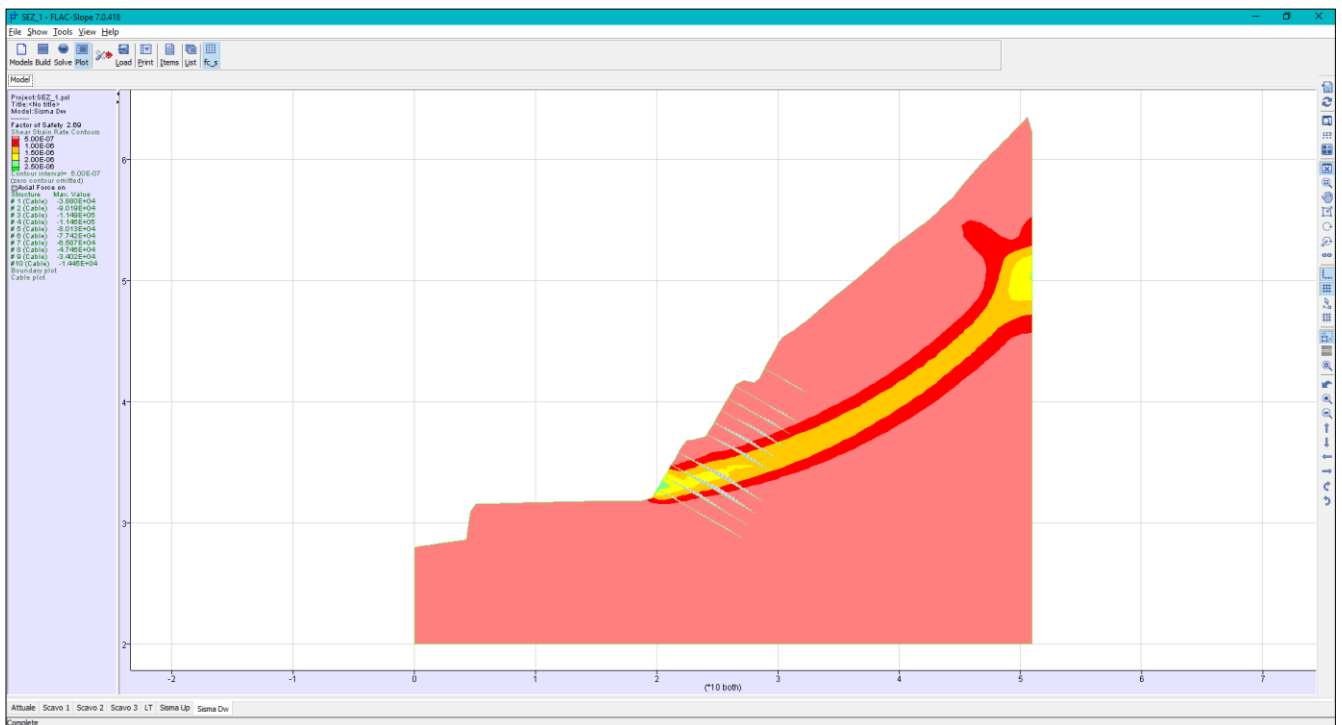


Sisma verso il basso

Nelle pagine che seguono si riportano i risultati delle analisi svolte.



Analisi Sismica a Lungo Termine (LT) - Sisma Sù ($F_s = 2.72$)



Analisi Sismica a Lungo Termine (LT) - Sisma Giù ($F_s = 2.69$)

Tabella riassuntiva dei fattori di sicurezza (Analisi Sismiche)

Analisi	F.S.
Sismica LT (sisma sù)	2.72
Sismica LT (sisma giù)	2.69

Come si può vedere dai risultati ottenuti, partendo dalla configurazione di Breve Termine a fine lavori, il decadimento nel lungo termine (LT) dei parametri geotecnici determina una riduzione dei fattori di sicurezza in condizioni statiche che passano da un valore di 3.81 a di 2.79.

Il fattore di sicurezza a lungo termine viene quindi ritenuto sufficientemente elevato anche in relazione al cospicuo abbattimento dei parametri geotecnici operato rispetto ai valori risultanti dalla caratterizzazione iniziale.

Nonostante le ipotesi particolarmente cautelative assunte, anche nelle condizioni sismiche si ottengono comunque fattori di sicurezza sufficientemente elevati.

12. Verifica degli ancoraggi

Con riferimento alle verifiche di stabilità di Lungo Termine eseguite, sia statiche che sismiche, nel prospetto seguente sono riassunti i corrispondenti massimi valori delle sollecitazioni di trazione risultanti nei tiranti.

Tabella riassuntiva delle massime sollecitazioni di trazione nei tiranti (Analisi LT)

Statica LT	109.8 kN
Sismica LT (sisma sù)	113.3 kN
Sismica LT (sisma giù)	114.9 kN

Le verifiche riportate nei paragrafi successivi fanno pertanto riferimento alle massime sollecitazioni di trazione ottenute di cui alla precedente tabella.

12.1 Verifiche a sfilamento

Le verifiche allo sfilamento per carico assiale di trazione sono effettuate verificando il soddisfacimento della relazione:

$$E_d \leq R_d$$

dove " E_d " è l'azione di trazione agente (v. tabella precedente), mentre " R_d " è la Resistenza di Progetto a trazione " $R_{a,d}$ " del tirante.

Tale verifica viene effettuata con riferimento alla combinazione A1+M1+R3 (§6.6.2), applicando i coefficienti parziali di sicurezza (R3) indicati della tabella 6.6.I.

Tab. 6.6.I - Coefficienti parziali per la resistenza degli ancoraggi

	Simbolo	Coefficiente parziale
Temporanei	γ_R	1,1
Permanenti	γ_R	1,2

La valutazione della resistenza " $R_{a,d}$ " viene effettuata a partire dal valore caratteristico $R_{k,cal}$ calcolato tramite la determinazione della tensione di aderenza " τ_{ak} " lungo la fondazione del tirante in funzione dello stato tensionale geostatico presente alle varie profondità utilizzando i parametri geotecnici caratteristici del terreno (§6.6.2), mediante la seguente relazione:

$$\tau_{ak} = c'_k + \sigma_{n,k} \cdot \tan\phi'_k$$

dove:

- c'_k = coesione del terreno;
 ϕ'_k = angolo di attrito al contatto ;

$$\begin{aligned} \sigma_{n,k} &= k_s \sigma_v = \text{tensione normale all'asse del tirante;} \\ \sigma_v &= \text{tensione geostatica verticale alle varie profondità;} \\ k_s &= \text{coeff. pari a } 1.1 \div 1.2 k_{0,d} \text{ essendo } k_{0,d} \text{ il coeff. di spinta a riposo.} \end{aligned}$$

Nel calcolo si é considerato il solo tratto di fondazione del tirante, adottando un valore del diametro "reso" pari a 9 cm.

Per le caratteristiche dell'ammasso roccioso interessato, in via cautelativa, nella valutazione della resistenza a sfilamento si é considerata la sola coesione di lungo termine assunta pari a 150 kPa.

Si ottiene pertanto:

$$R_{k,cal} = \pi \cdot D \cdot L \cdot \tau_{ak} = \pi \cdot 0.09 \text{ m} \cdot 9.0 \text{ m} \cdot 150 \text{ kPa} = 381.70 \text{ kN}$$

Il valore caratteristico della resistenza $R_{a,k}$ è ottenuto applicando al valore calcolato un opportuno fattore di correlazione (ξ), assunto cautelativamente pari a 1.80, (Tab. 6.6.III):

Tab. 6.6.III - Fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche, in funzione del numero n di profili di indagine

Numero di profili di indagine	1	2	3	4	≥ 5
$\xi_{a,3}$	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60
$\xi_{a,4}$	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55

$$R_{a,k} = R_{k,cal} / \xi = 381.70 / 1.80 = 212.06 \text{ kN}$$

Nel caso in esame, essendo gli ancoraggi di tipo permanente, per il coefficiente parziale (γ_R), si adotta un valore pari a (Tab. 6.6.I): $\gamma_R = 1.2$

Tab. 6.6.I - Coefficienti parziali per la resistenza degli ancoraggi

	Simbolo	Coefficiente parziale
Temporanei	γ_R	1,1
Permanenti	γ_R	1,2

$$R_{a,d} = R_{a,k} / \gamma_R = 212.06 / 1.2 = 176.71 \text{ kN}$$

Essendo $R_{a,d} > E_d$ la verifica è pertanto soddisfatta.

12.2 Verifica dell'armatura

I tiranti adottati sono costituiti da barre dywidag $\varnothing 26.5$ mm in acciaio Y1050H:

Area:	$A = 551 \text{ mm}^2$
Tensione caratteristica:	$f_{yk} = 950 \text{ N/mm}^2$
Coefficiente parz. :	$\gamma_s = 1.15$
Tensione di calcolo:	$f_{yd} = 826 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo:	$R_d = A \cdot f_{yd} = 455 \text{ kN} > E_d \rightarrow \text{ok!}$

Nel rispetto della gerarchia delle resistenze si verifica inoltre che la resistenza caratteristica al limite di snervamento dell'armatura sia superiore alla resistenza a sfilamento della fondazione:

$$R_{d,k} = A \cdot f_{yk} = 523 \text{ kN}$$

$$R_{a,d} = 176.71 \text{ kN}$$

$$R_{d,k} > R_{a,d} \rightarrow \text{ok!}$$

13. Conclusioni

La presente relazione è stata redatta nell'ambito del progetto dei "Lavori di Ammodernamento della SS. 42 del Tonale e della Mendola. Variante est di Edolo – LOTTO II".

Si sono in particolare riportate le principali analisi di calcolo e verifiche di stabilità del degli interventi di risagomatura del versante presente a monte della rotatoria prevista come connessione della nuova variante in progetto con l'attuale S.S. 42 a nord dell'abitato di Edolo.

Tutte le verifiche effettuate, riportate e non nella presente relazione, sono risultate positive ai sensi del D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni»".