

## PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

### COMUNE DI CEMBRA – LISIGNAGO & LONA LASES

#### RELAZIONE TECNICA / STUDIO DI COMPATIBILITÀ'

Collegamento Lona – Cembra per la valorizzazione della  
viabilità esistente a scopo turistico ed agricolo

COMMITTENTE: Comune di Cembra – Lisignago

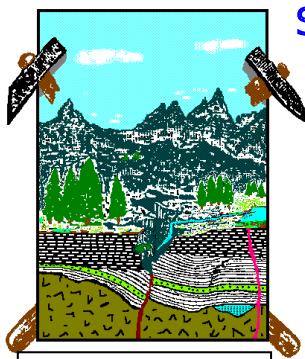
il geologo



il progettista

il committente

Novembre 2021



1883/21  
Compatibilità  
ponte Cembra

#### STUDIO GEOLOGICO ASSOCIATO GEOALP

dott. geol. Franca Bazzanella

dott. geol. Gianfranco Bazzoli

dott. geol. Icilio Vigna

P.IVA 01332500220

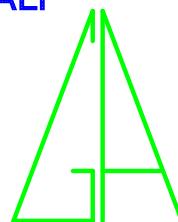
Viale Europa, 78 - Loc. San Cristoforo

Pergine Valsugana (TN) - 38057

Tel. 0461-985577 E-mail: [geoalp.tn@virgilio.it](mailto:geoalp.tn@virgilio.it)

E-mail PEC: [geoalp@pec-legal.it](mailto:geoalp@pec-legal.it)

Web homepage: <http://www.geoalp.eu>



Lo Studio Geologico Associato GeoAlp ha scelto di utilizzare per le sue relazioni i fonts a risparmio di toner "ecofonts". Ciò può comportare un aspetto più chiaro del carattere nel formato pdf delle relazioni. Lo riteniamo un sacrificio accettabile nell'ottica di un uso consapevole delle risorse.



## INDICE

1. INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO
2. PENALITA' DA FRANA
3. PENALITA' LITOGEOMORFOLOGICA
4. PENALITA' DA CROLLO

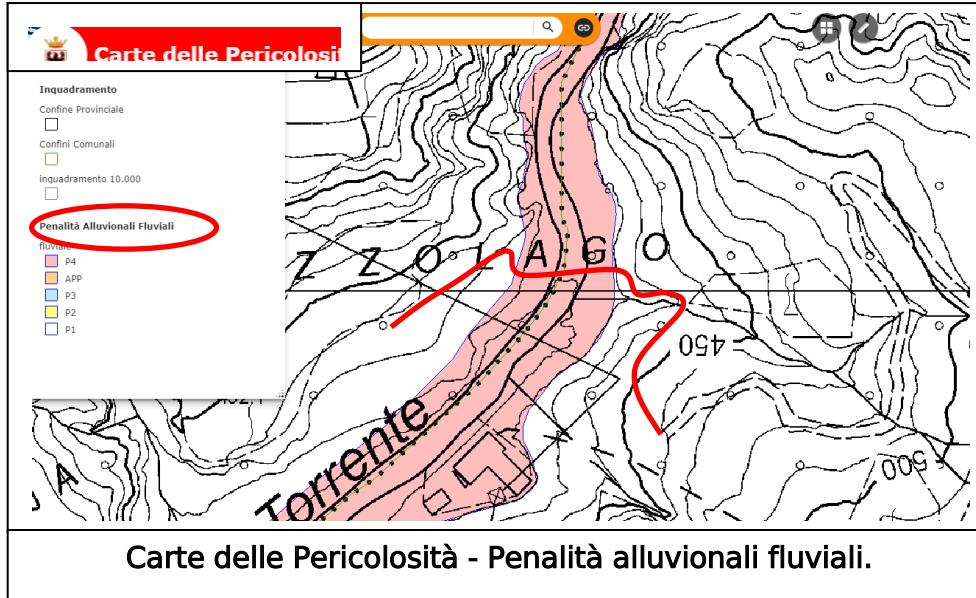
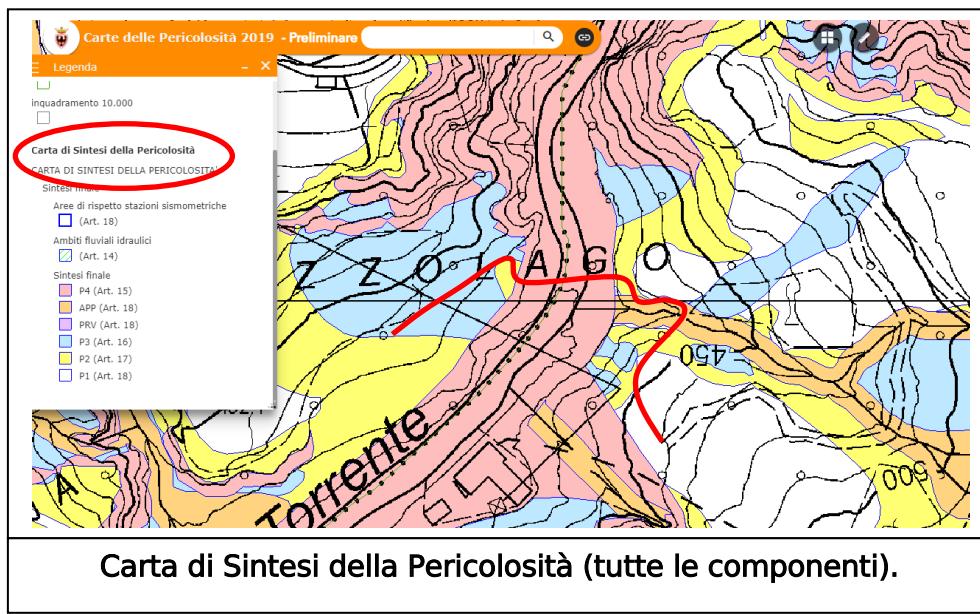


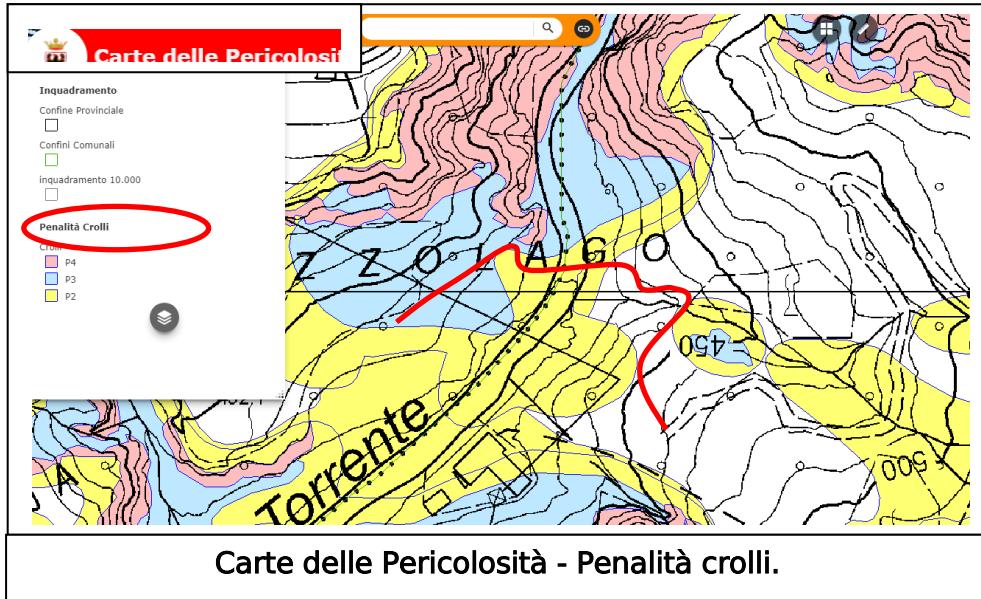
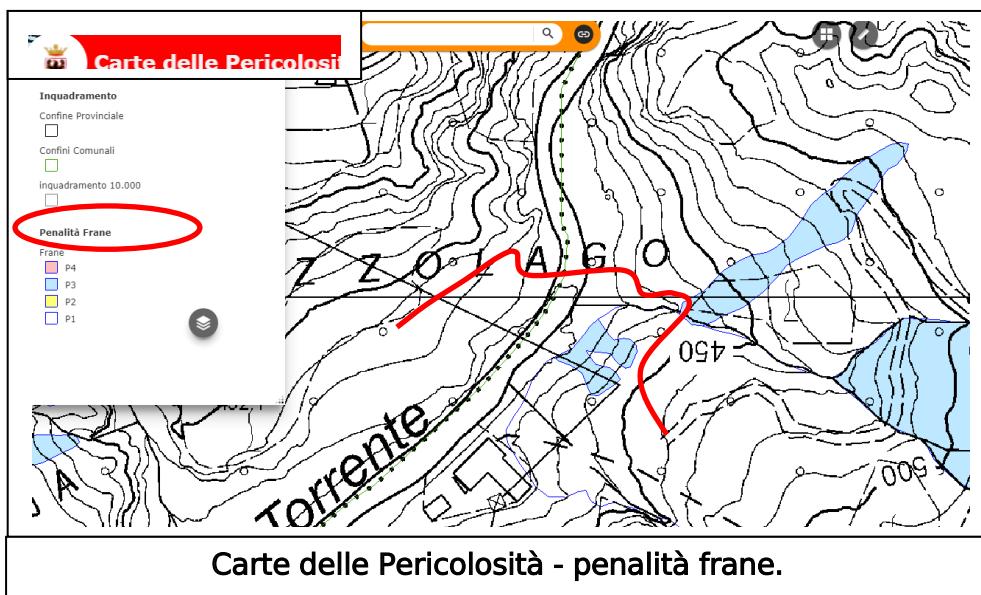
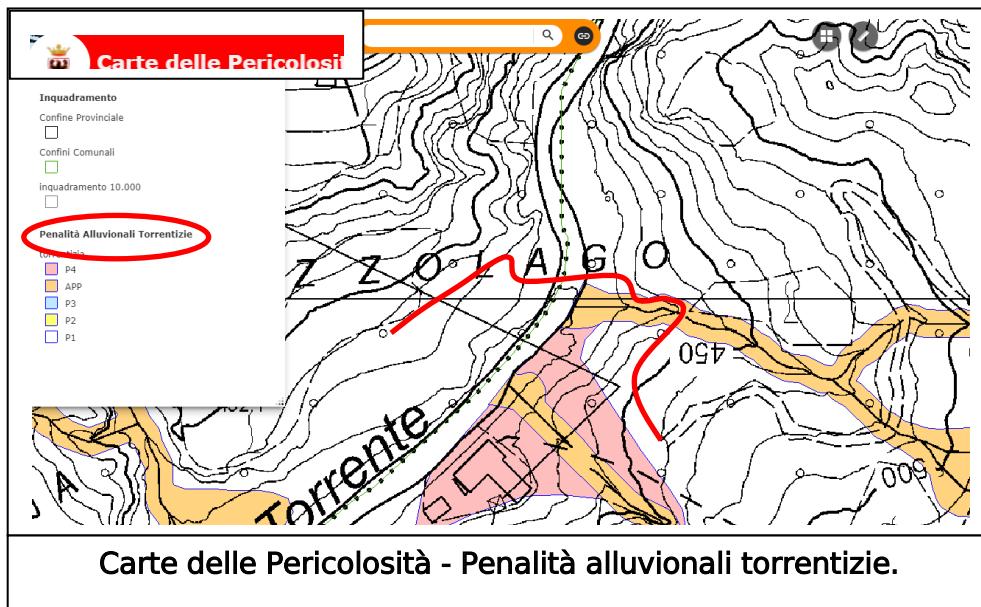
## 1. INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO

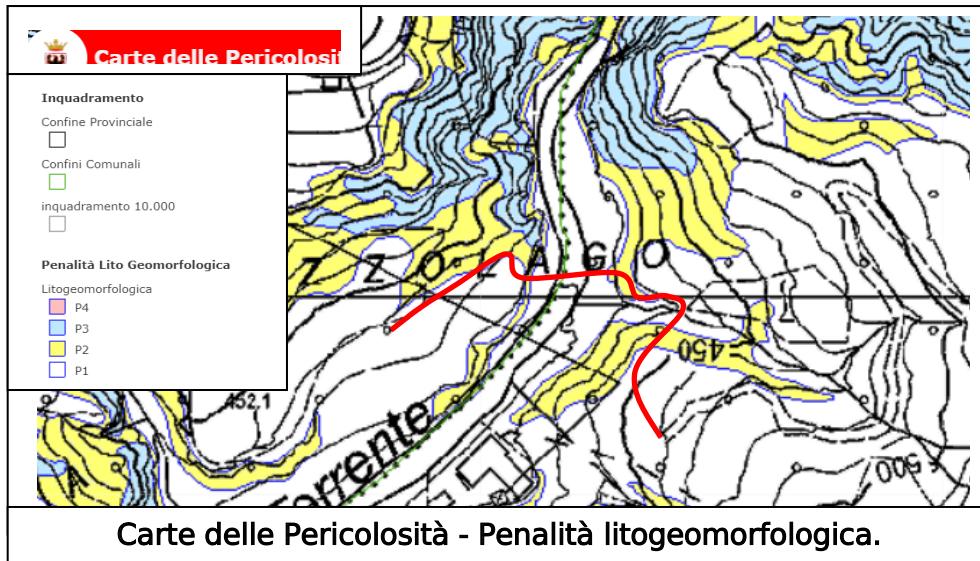
Il progetto in esame è il : "Collegamento Lona – Cembra per la valorizzazione della viabilità esistente a scopo turistico ed agricolo" commissionato dal Comune di Cembra - Lisignago allo Studio Tecnico Associato AIA, ing. Zanetti Andrea di Trento.

Le figure a seguire presentano l'inquadramento dell'area di interesse (il tracciato è indicato dalla linea rossa) rispetto alla Carta di Sintesi della Pericolosità.

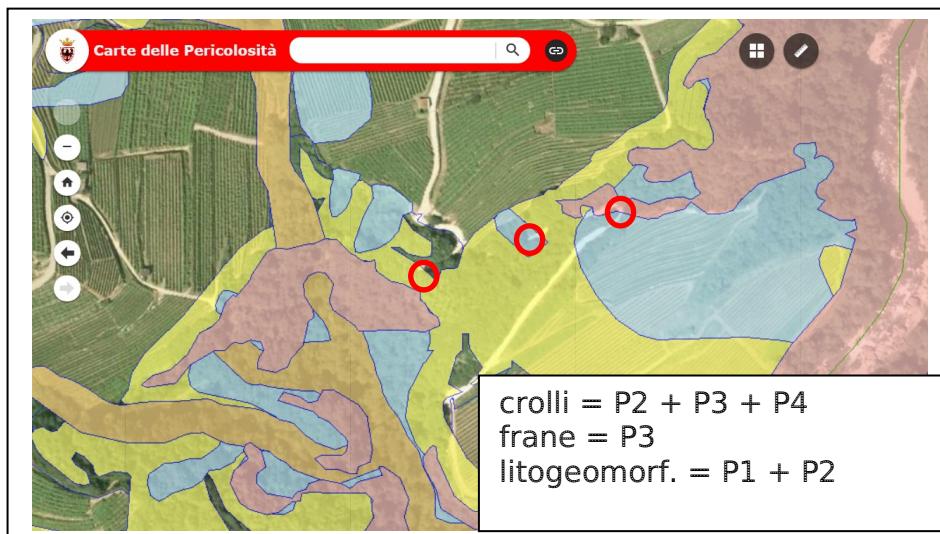
Carta di Sintesi della Pericolosità del P.U.P. (in vigore dal 02 ottobre 2020)	fluviale = P4 torrentizia = APP crolli = P2 + P3 frane = P3 litogeomorf. = P1 + P2	Area a trascurabile sismicità (area sismica 4)
---	--	--







Per quanto attiene a 3 interventi puntuali sulla strada esistente che sale a Cembra, la carta della pericolosità segnala:



I contenuti del presente studio di compatibilità sono sviluppati in maniera commisurata alla natura e all'importanza dell'intervento da effettuare.

I punti trattati, per ciascuna tipologia di pericolosità, vengono così suddivisi:

- Individuazione del tipo di fenomeno;
- Analisi della pericolosità;
- Massimi effetti prevedibili;
- Definizione della vulnerabilità di quanto si intende realizzare;
- Definizione delle opere di messa in sicurezza;
- Cronoprogramma opere;
- Conclusioni;

Lo Studio di Compatibilità riferito alla pericolosità Fluviale ed alla pericolosità Torrentizia sono contenuti in elaborati redatti da altri professionisti.

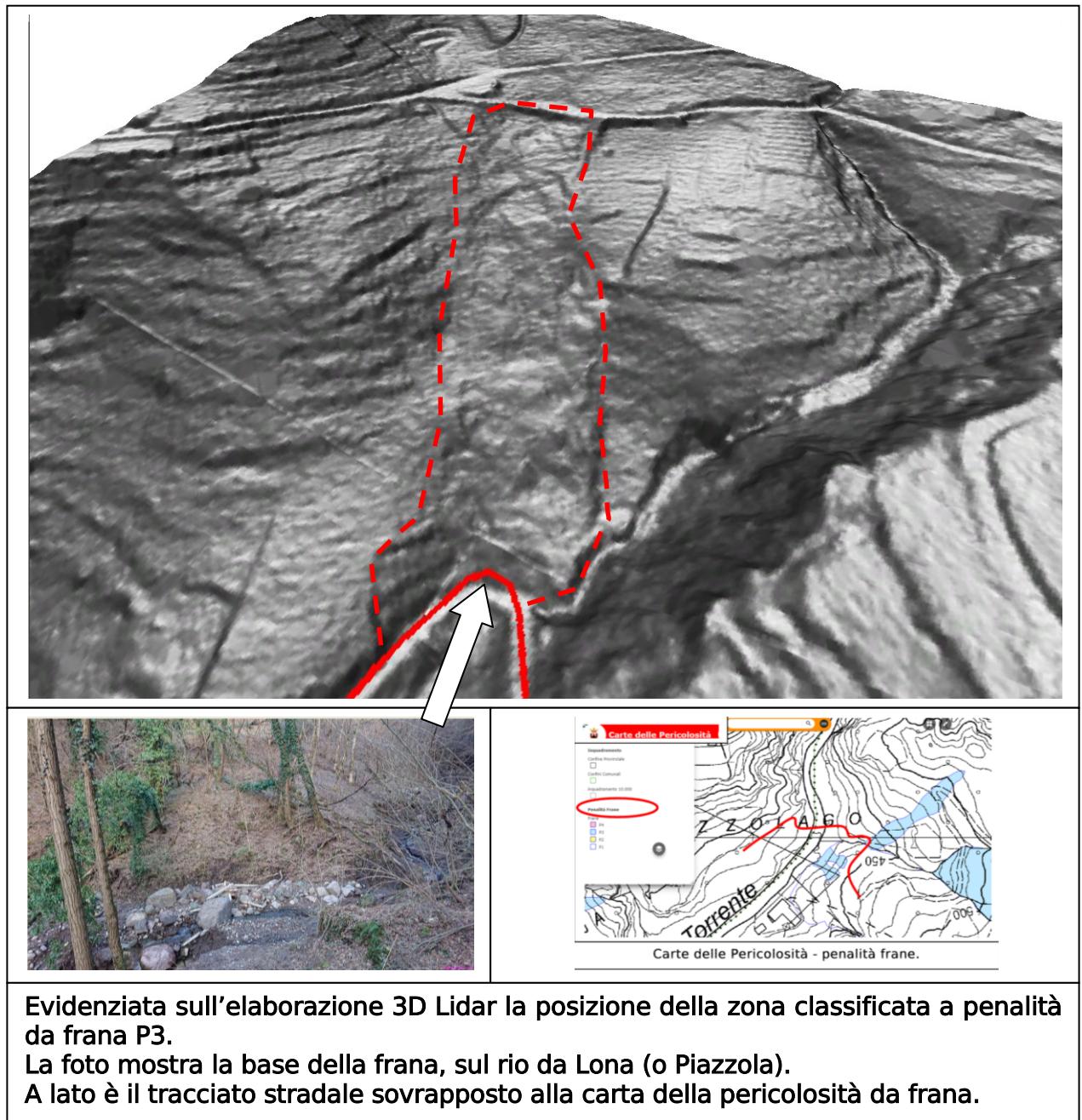
Nei capitoli a seguire si torneranno le indicazioni per rendere compatibili le opere relativamente alle componenti: frana, litogeomorfologica e crolli riferite al tracciato, mentre i tre interventi puntuali sono opere esenti da questa disciplina (punto j, art. 5) – fermo restando che si è tenuto conto di tale classificazione nella progettazione di detti interventi puntuali.



## 2. PENALITA' DA FRANA

### - Individuazione del tipo di fenomeno:

Il fenomeno di frana segnalato sulla Carta della Pericolosità è limitato alla zona dell'attraversamento del Rio da Lona, dove è evidente la presenza di terreno colluviale dovuto a fenomeni di lento colamento della copertura sciolta.





### - Analisi della pericolosità:

Il movimento del terreno pare attivato, nei periodi di prolungate precipitazioni, dalla presenza di filtrazioni idriche che saturano il terreno in varie posizioni della frana e che formano anche, nei periodi di piogge prolungate, delle piccole scaturigini proprio a lato del tratto di strada interessato.

Da quanto è stato possibile osservare, il movimento è molto lento: vi sono delle piante con tronco arcuato che indicano i fenomeni di creep (soluflussi superficiali).

Nel periodo dei sopralluoghi, non sono state individuate specifiche nicchie di trazione: i fenomeni erosivi collegati alla colata detritica del Rio Lona del 05/12/2020 hanno in parte scalzato il piede della zona di interesse, per cui – in mancanza degli interventi previsti - sarebbe ipotizzabile un ringiovanimento della stessa.

### - Massimi effetti prevedibili:

Gli effetti massimi prevedibili causati dal processo sono l'interruzione della viabilità in progetto dovuta al materiale che potrebbe scendere dal pendio.

Una possibilità è anche che il materiale vada ad ostruire il corso del Rio di Lona, con conseguenti tracimazioni e rifluimenti (dam break) del materiale da parte dell'acqua del rivo stesso.

Il fenomeno atteso potrebbe quindi coinvolgere la scarpata di monte del nuovo tracciato - anche a seguito dei fenomeni erosivi di scalzamento dovuti all'erosione del Rio di Lona – mentre meno esposto appare il tracciato stesso, che è posto sul fondovalle con briglie e selciatore cementato a sostegno dello stesso.

Eventuali utenti della strada sarebbero coinvolti dal verificarsi del fenomeno.

### - Definizione della vulnerabilità di quanto si intende realizzare:

La sede stradale della viabilità in progetto non verrebbe compromessa dal fenomeno franoso in quanto la strada risulta appoggiata sul fondovalle, che viene ricostruito con le opportune opere di sostegno.

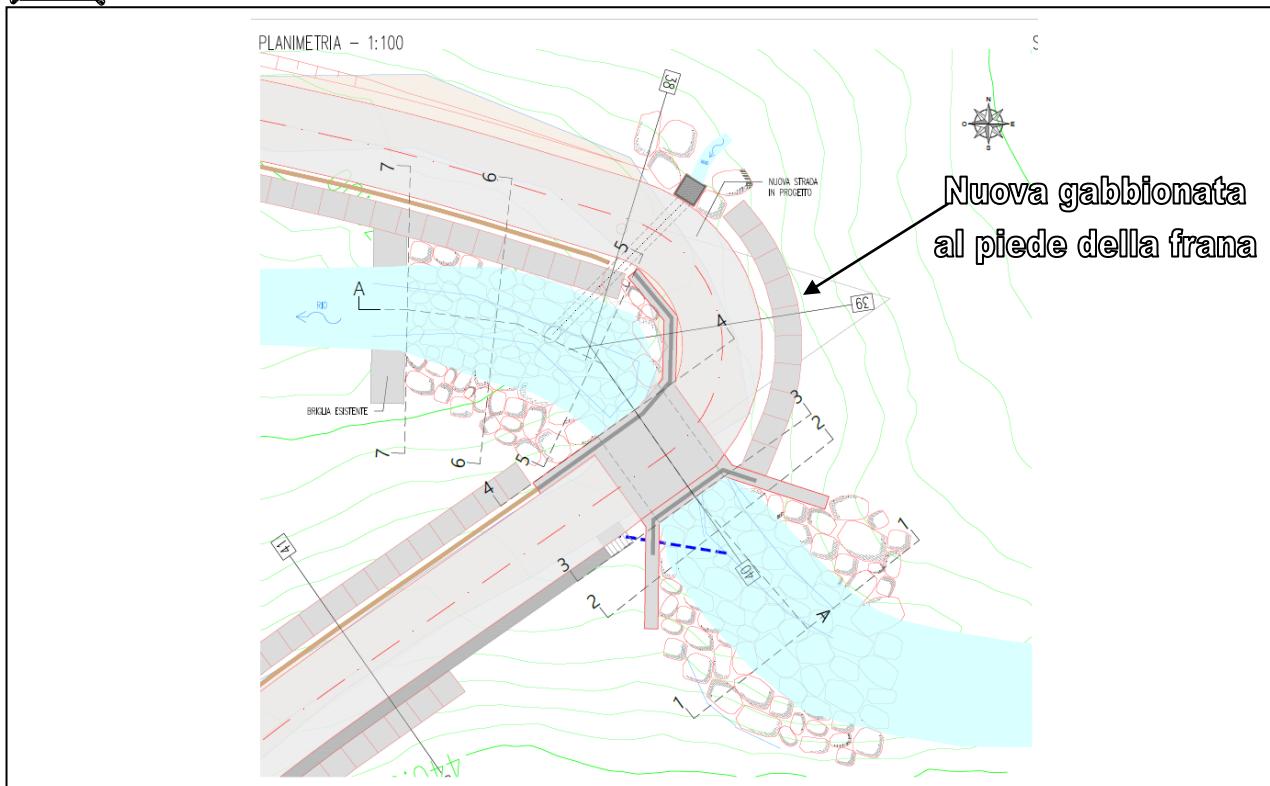
I danni attesi, con riferimento alle opere e non facendo riferimento ai potenziali fruitori delle stesse, sono pertanto essenzialmente riferibili alla scarpata di raccordo fra la strada ed il versante.

### - Definizione delle opere di messa in sicurezza:

Sono in previsione delle nuove opere di sostegno inter poste fra la sede stradale ed il versante: queste opere comprendono anche la captazione delle filtrazioni presenti.

La ricostruzione del piede del versante in frana è un intervento che migliorerà la situazione idrogeologica del versante, andando anche a "cicatrizzare" la nicchia erosiva operata dalla recente colata del Rio di Lona.

Questo intervento, illustrato nell'immagine a seguire e per i cui dettagli si rinvia agli elaborati di progetto, conseguirà la stabilizzazione locale del fenomeno, inteso come il piede scalzato; qualora si volesse intervenire per bonificare tutto il versante a monte, fino alla quota della soprastante strada, si dovrebbero mettere in atto delle opere di drenaggio anche a quote superiori.



#### - Cronoprogramma opere:

Le opere di ricostruzione, rinforzo e drenaggio della scarpata stradale devono essere contestuali alla realizzazione del progetto.

#### - Conclusioni:

Come riferito nella relazione geologica, il settore di tracciato esposto alla pericolosità per frana è limitato alla zona di attraversamento (destra idrogr.) del Rio di Lona: sul versante sono presenti terreni colluviali con filtrazioni idriche che determinano lenti fenomeni di creep.

Sulla scarpata di raccordo fra la strada ed il versante sono anche presenti delle piccole scaturigini idriche: la colata detritica del 05/12/2020 ha scalzato il piede della frana.

Il progetto prevede il completo rifacimento di questo settore di alveo e della viabilità adiacente, con realizzazione di opere di sostegno e di uno scatolare per facilitare il deflusso del Rio di Lona: a queste opere sono abbinati dei sistemi di drenaggio delle acque presenti sulla scarpata.

La messa in opera di tali opere garantiranno la stabilità locale della scarpata e quindi della sede stradale.

Volendo intervenire anche sulla parte superiore del versante si dovranno, eventualmente, mettere in opera sistemi di drenaggio e smaltimento delle acque (anche di piattaforma della soprantante strada comunale) che formano delle zone umide in vari punti dei terreni colluviali.

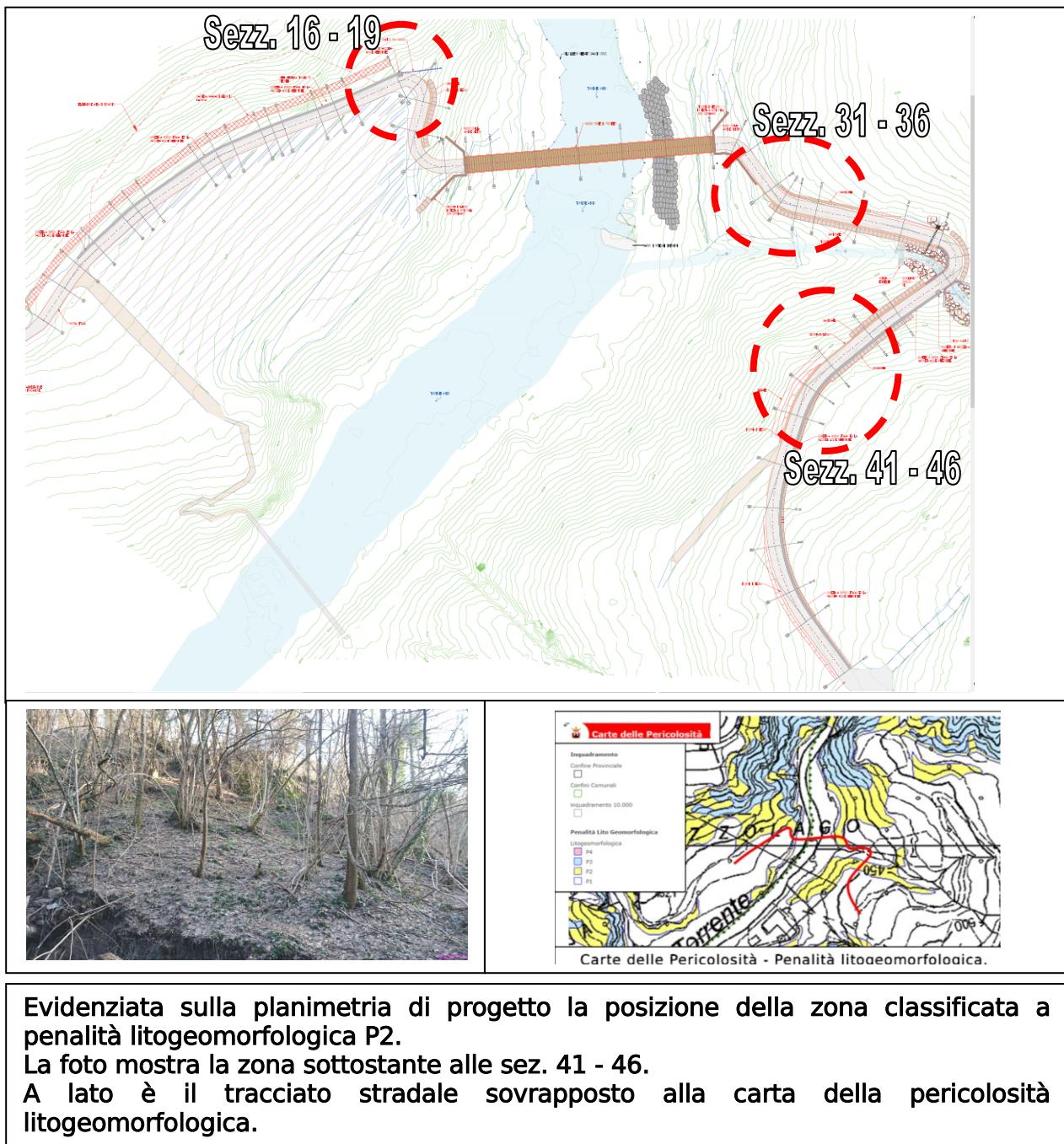
Pertanto la conclusione dello studio in ordine alla compatibilità dell'intervento è favorevole alla realizzazione di quanto in progetto, perché i lavori previsti otterranno di stabilizzare la scarpata stradale e migliorheranno la situazione idrogeologica locale, compromessa a livello locale dalla recente colata detritica e correlate erosioni provocate dal Rio di Lona.



### 3. PENALITA' LITOGEOMORFOLOGICA

#### - Individuazione del tipo di fenomeno:

Il fenomeno è indicato essere presente sulle scarpentine presenti poco prima e poco dopo l'attraversamento del Rio da Lona, rispettivamente fra le sezioni, 31 – 36 e 41 – 46, oltre che nel tratto iniziale fra le Sezz. 16 – 19.





### - Analisi della pericolosità:

Il fenomeno atteso è l'erosione e conseguente instabilità di dette scarpine: la pericolosità attribuita è litogeomorfologica e non da frana: pertanto questo esprime una predisposizione al dissesto più che una situazione di dissesto oramai conclamato.

Come descritto nella relazione geologica e relazione geotecnica, tale attribuzione è confermata dalle osservazioni di campagna, grazie alle quali si è osservata una fragilità idrogeologica di dette scarpate ma che non è ancora evoluta a livello di dissesto.

### - Massimi effetti prevedibili:

Gli effetti massimi prevedibili causati dal processo erosivo atteso, per i tratti fra le Sezz. 16-19 e 31-36 e con riferimento alle opere e non agli utenti, sono l'arrivo sulla sede stradale di materiale eroso e proveniente dalla scarpata di monte.

Nel tratto compreso fra le Sezz. 41 – 46 è anche temuta la possibilità che l'erosione e la fragilità della scarpata di valle, sottostante la sede stradale, possa arrivare a destabilizzare il ciglio della viabilità stessa.

### - Definizione della vulnerabilità di quanto si intende realizzare:

Per i tratti fra le Sezz. 16-19 e 31-36 i fenomeni erosivi a monte della sede stradale possono provocare l'instabilità della rampa e l'arrivo di materiale sulla sede stradale: si tratta di una vulnerabilità ridotta per le opere ma comunque non accettabile nei riguardi degli utenti.

Come detto sopra, nella zona delle Sezz. 41-46 è anche la stessa sede stradale che potrebbe subire l'instabilità per la presenza delle sottostanti nicchie erosive, il cui arretramento porterebbe alla rovina del piano stradale, oltre che mettere a repentaglio gli utenti stradali, circostanza non ammissibile.

### - Definizione delle opere di messa in sicurezza:

Si era già identificata questa tipologia di criticità ed infatti il progetto, ha già previsto l'adozione di opere di sostegno proprio nelle aree interessate dalla classificazione a pericolosità litogeomorfologica.

Si tratta di gabbionate di sostegno ed anche di viminate a scopo di prevenire l'erosione: il dettaglio di tali interventi è già contenuto negli elaborati di progetto.

Queste sono dunque opere di progetto e non opere aggiuntive che siano risultate necessarie a seguito dell'entrata in vigore della carta di sintesi della pericolosità.

Con riferimento a quanto esposto e per sostanziare le affermazioni precedenti, a seguire si riportano le verifiche di stabilità globali che si riferiscono alle opere in progetto, coinvolgendo anche le aree di cui si è discussa la compatibilità relativa alla pericolosità lito geomorfologica.



## Sezioni di verifica della stabilità globale ai fini della compatibilità:

A seguire si riportano le sezioni tipo riferite alle diverse tratte omogenee del tracciato sulle quali si sono inserite le informazioni idrogeologiche e geotecniche.

I parametri dei terreni e della roccia del substrato, modellata considerandola come **un mezzo continuo equivalente**, sono quelli indicati nella relazione geotecnica.

Si riportano, per ciascuna sezione le verifiche in condizioni di quiete ed anche in condizioni di sisma, con lo stimolo sismico di entità come indicato nella relazione geologica.

In merito alle verifiche esse sono state eseguite secondo (NTC 2018 par. 6.8.2) l'Approccio 1, combinazione 2: (A2+M2+R2).

Per le azioni permanenti del terreno e dell'acqua: A2 = 1 NTC-18 tab. 6.2.I,

**Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni**

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G <sub>1</sub>	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti G <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti G<sub>2</sub> si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

- i parametri di resistenza del terreno M2 = NTC-18 tab. 6.2.II

**Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

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	$\gamma_Y$	$\gamma_Y$	1,0	1,0

Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità strutturali. Il valore di progetto della resistenza si ottiene, per il caso (a), applicando al valore caratteristico della resistenza unitaria al taglio  $\tau_R$  un coefficiente parziale  $\gamma_{R,R} = 1,0$  (M1) e  $\gamma_{R,R} = 1,25$  (M2) oppure procedendo come previsto ai punti b) e c) di cui sopra.

Tale metodologia, riferendosi a fenomeni comportanti deformazioni a scala di grande dimensione, è in linea con quanto definito dalle NTC-18 ove, trattando della stabilità dei pendii al par. 7.11.3.5.2 Metodi di analisi, si riporta:



La condizione di stato limite deve essere valutata con riferimento ai valori caratteristici dei parametri geotecnici e riferita alla superficie di scorrimento critica, caratterizzata dal minore margine di sicurezza. L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della stabilità del pendio deve essere valutata e motivata dal progettista.

In terreni saturi e in siti con accelerazione orizzontale massima attesa  $a_{max} > 0,15g$ , nell'analisi statica delle condizioni successive al sisma si deve tenere conto della possibile riduzione della resistenza al taglio per incremento delle pressioni interstiziali o per decadimento delle caratteristiche di resistenza indotti dalle azioni sismiche.

Nell'analisi di stabilità di frane quiescenti, che possono essere riattivate dall'azione del sisma, si deve fare riferimento ai valori dei parametri di resistenza attinti a grandi deformazioni. L'eventuale incremento di pressione interstiziale indotto dal sisma, da considerare in dipendenza della natura dei terreni, deve considerarsi uniformemente distribuito lungo la superficie di scorrimento critica.

- il rapporto fra le forze e le azioni ( $R_d/E_d$ ) viene di seguito definito come "Fattore di Sicurezza (Fs)": quando tale rapporto è superiore al valore prescelto di Fs allora la superficie di scivolamento è verificata. Per un fronte di scavo al Fs calcolato va applicato un ulteriore fattore riduttivo parziale che vale, NTC 2018 - Cap. 6.8.2., tab. 6.8.I: R<sub>2</sub> = 1,1.

Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

COEFFICIENTE	R <sub>2</sub>
$\gamma_R$	1,1

Per i pendii il valore di Fs va scelto di caso in caso, considerando la complessità della situazione, l'affidabilità dei dati disponibili, la possibile incertezza del modello geologico e del modello geotecnico di riferimento ed anche in base alla valutazione sulle conseguenze di un'eventuale franamento (rif. NTC-18 par. 6.3.4.).

#### 6.3.4. VERIFICHE DI SICUREZZA

Le verifiche di sicurezza devono essere effettuate con metodi che tengano conto del tipo di frana e dei possibili cinematicismi, considerando forma e posizione della eventuale superficie di scorrimento, le proprietà meccaniche dei terreni e degli ammassi rocciosi e il regime delle pressioni interstiziali.

Nel caso di pendii in frana le verifiche di sicurezza devono essere eseguite lungo le superfici di scorrimento che meglio approssimano quella/e riconosciuta/e con le indagini.

Negli altri casi, la verifica di sicurezza deve essere eseguita lungo superfici di scorrimento cinematicamente possibili, in numero sufficiente per ricercare la superficie critica alla quale corrisponde il grado di sicurezza più basso.

Quando sussistano condizioni tali da non consentire una agevole valutazione delle pressioni interstiziali, le verifiche di sicurezza devono essere eseguite assumendo le condizioni più sfavorevoli che ragionevolmente si possono prevedere.

La valutazione del coefficiente di sicurezza dei pendii naturali, espresso dal rapporto tra la resistenza al taglio disponibile ( $r_t$ ) e la tensione di taglio agente ( $t$ ) lungo la superficie di scorrimento, deve essere eseguita impiegando sia i parametri geotecnici, congruenti con i caratteri del cinematicismo atteso o accertato, sia le azioni presi con il loro valore caratteristico.

L'adeguatezza del margine di sicurezza ritenuto accettabile dal progettista deve comunque essere giustificata sulla base del livello di conoscenze raggiunto, dell'affidabilità dei dati disponibili e del modello di calcolo adottato in relazione alla complessità geologica e geotecnica, nonché sulla base delle conseguenze di un'eventuale frana.

Il Fs minimo ritenuto accettabile, nel caso presente, è di Fs >= 1,1.

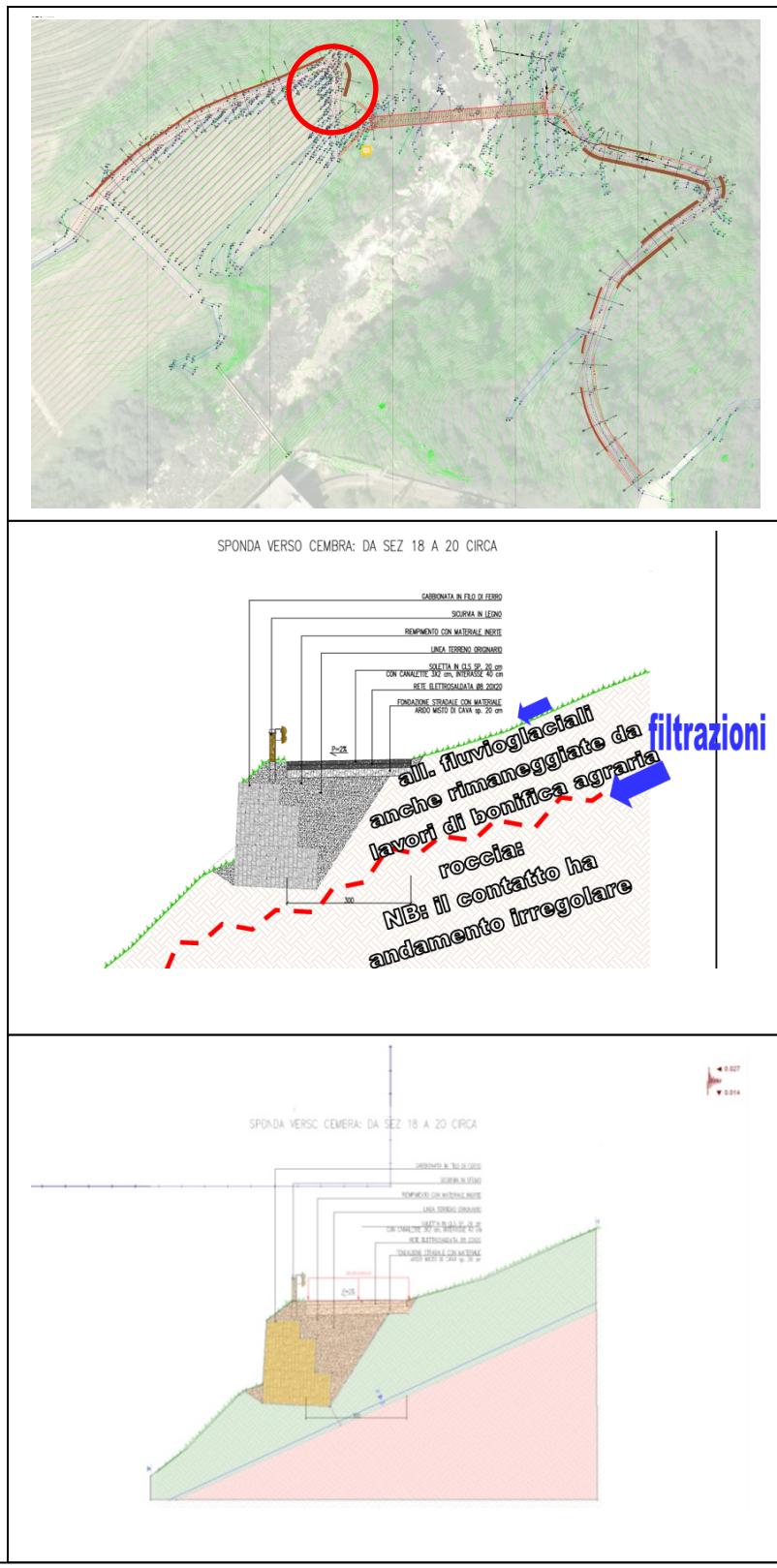
La verifica di stabilità è stata eseguita utilizzando il programma "Slide" vers. 5.043 della Rocscience di Toronto (Canada): si sono analizzate con il metodo di Bishop, oltre 5000 potenziali superfici di scivolamento per ogni sezione, ottenendo il corrispondente valore del rapporto fra forze resistenti e forze destabilizzanti, un tempo definito come Fattore di sicurezza (Fs).

Le verifiche si sono focalizzate sulle superfici di potenziale scivolamento che passano esternamente alle opere di sostegno: per il dimensionamento interno di tali opere si rinvia alla relazione di calcolo strutturale.

Trattandosi di terreni complessi ed ammassi rocciosi, si prescrive che queste elaborazioni siano soggette a verifica in sede esecutiva, una volta che sarà possibile prendere compiuta e diretta visione dell'effettiva situazione geotecnica e tensionale dei terreni presenti nei diversi punti considerati.



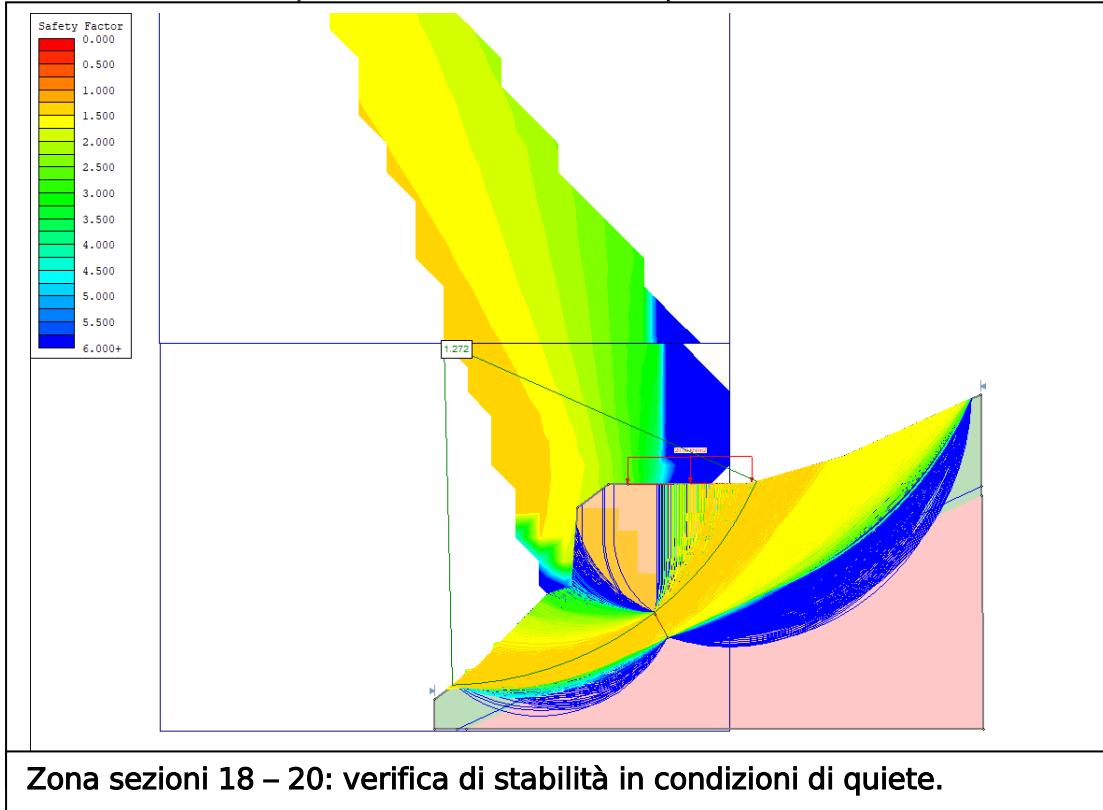
Sezz. 18 – Sez. 20



Zona sezioni 18 – 20: ubicazione, modello geologico e modello numerico della sezione tipo di verifica.



Verifica in condizioni di quiete e con i coefficienti parziali



### Project Summary

- File Name: Sez-18-20.slim
- Slide Modeler Version: 6.02
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 15/06/2021, 15:44:13

### General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Maximum
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

### Design Standard

- Selected Type: Eurocode 7 - Design Approach 1, Combination 2

Type	Partial Factor
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1.3
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1.25
Coefficient of shearing resistance	1.25
Undrained strength	1.4
Weight density	1
Shear strength (other models)	1.25
Earth resistance	1



Tensile and plate strength	1.1
Shear strength	1.1
Compressive strength	1.1
Bond strength	1.1
Seismic Coefficient	1

## Analysis Options

### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Corps of Engineers #1
- Corps of Engineers #2
- GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
- Janbu simplified
- Janbu corrected
- Lowe-Karafiath
- Ordinary/Fellenius
- Spencer
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

## Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

## Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

## Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Create Tension Crack
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

## Loading

- 1 Distributed Load present

### Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kPa]: 20
- Orientation: Vertical
- Load Action: Variable

## Material Properties

Property	alluvioni antiche in destra	dreno	gabbionate	roccia destra
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	18.4	17	20	24
Cohesion [kPa]	17.1	0	20	270



Friction Angle [deg]	26.7	38	15	32
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1

## Global Minimums

### Method: ordinary/fellenius

- FS: 1.133210
- Center: -2.634, 2.783
- Radius: 4.140
- Left Slip Surface Endpoint: -3.874, -1.167
- Right Slip Surface Endpoint: 1.507, 2.783
- Left Slope Intercept: -3.874 -1.167
- Right Slope Intercept: 1.507 3.486
- Resisting Moment=681.623 kN-m
- Driving Moment=601.499 kN-m
- Total Slice Area=12.8462 m<sup>2</sup>

### Method: bishop simplified

- FS: 1.271500
- Center: -4.355, 6.861
- Radius: 8.249
- Left Slip Surface Endpoint: -4.165, -1.386
- Right Slip Surface Endpoint: 3.198, 3.543
- Resisting Moment=2017.46 kN-m
- Driving Moment=1586.68 kN-m
- Total Slice Area=14.7099 m<sup>2</sup>

### Method: janbu simplified

- FS: 1.083330
- Center: -2.634, 2.783
- Radius: 4.140
- Left Slip Surface Endpoint: -3.874, -1.167
- Right Slip Surface Endpoint: 1.507, 2.783
- Left Slope Intercept: -3.874 -1.167
- Right Slope Intercept: 1.507 3.486
- Resisting Horizontal Force=146.592 kN
- Driving Horizontal Force=135.316 kN
- Total Slice Area=12.8462 m<sup>2</sup>

### Method: janbu corrected

- FS: 1.166620
- Center: -3.205, 3.948
- Radius: 5.320
- Left Slip Surface Endpoint: -4.055, -1.304
- Right Slip Surface Endpoint: 2.096, 3.490
- Resisting Horizontal Force=173.717 kN
- Driving Horizontal Force=148.906 kN
- Total Slice Area=13.5773 m<sup>2</sup>

### Method: spencer

- FS: 1.251640
- Center: -3.205, 3.948
- Radius: 5.320
- Left Slip Surface Endpoint: -4.055, -1.304
- Right Slip Surface Endpoint: 2.096, 3.490
- Resisting Moment=1125.33 kN-m
- Driving Moment=899.089 kN-m
- Resisting Horizontal Force=168.814 kN



- Driving Horizontal Force=134.874 kN
- Total Slice Area=13.5773 m<sup>2</sup>

**Method: corp of eng#1**

- FS: 1.282110
- Center: -3.775, 5.696
- Radius: 6.979
- Left Slip Surface Endpoint: -4.023, -1.279
- Right Slip Surface Endpoint: 2.848, 3.496
- Resisting Horizontal Force=188.396 kN
- Driving Horizontal Force=146.941 kN
- Total Slice Area=14.1812 m<sup>2</sup>

**Method: corp of eng#2**

- FS: 1.332280
- Center: -4.346, 6.861
- Radius: 8.258
- Left Slip Surface Endpoint: -4.177, -1.396
- Right Slip Surface Endpoint: 3.219, 3.549
- Resisting Horizontal Force=207.618 kN
- Driving Horizontal Force=155.836 kN
- Total Slice Area=14.8399 m<sup>2</sup>

**Method: lowe-karafiat**

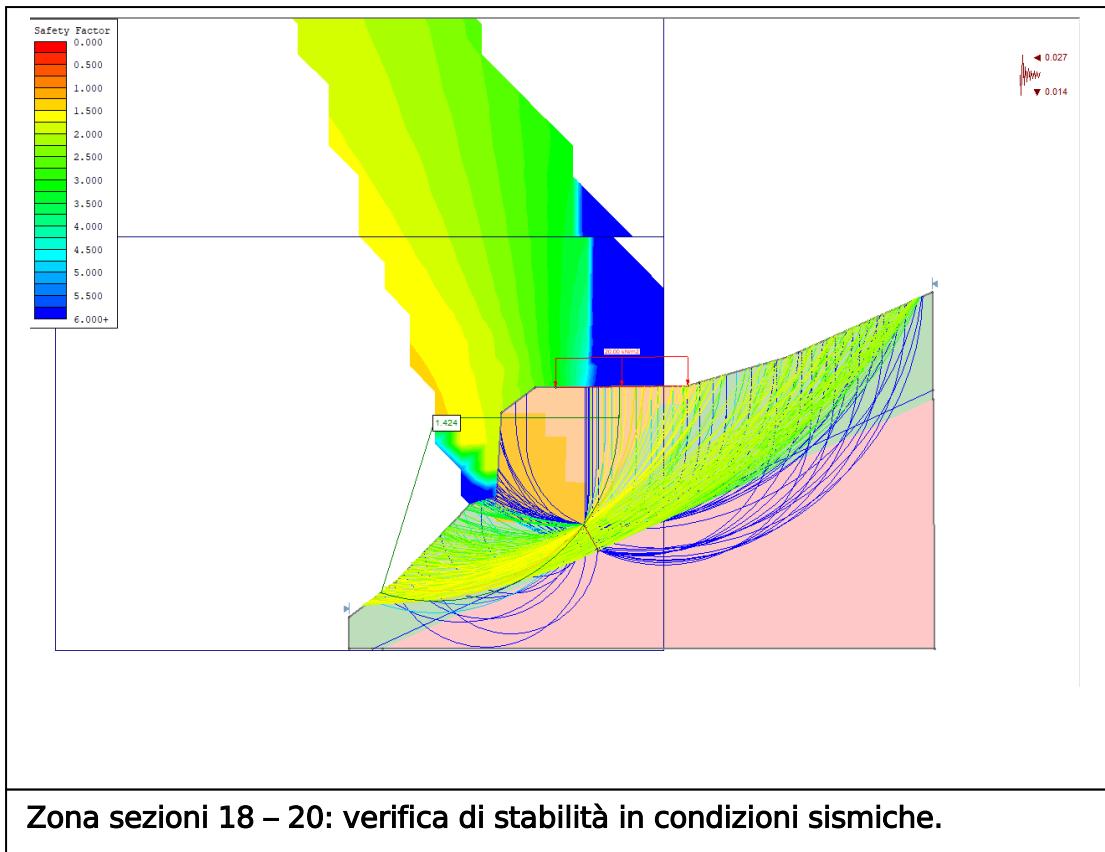
- FS: 1.252730
- Center: -3.775, 5.696
- Radius: 6.979
- Left Slip Surface Endpoint: -4.023, -1.279
- Right Slip Surface Endpoint: 2.848, 3.496
- Resisting Horizontal Force=187.247 kN
- Driving Horizontal Force=149.471 kN
- Total Slice Area=14.1812 m<sup>2</sup>

**Method: gle/morgenstern-price**

- FS: 1.257240
- Center: -3.205, 3.948
- Radius: 5.320
- Left Slip Surface Endpoint: -4.055, -1.304
- Right Slip Surface Endpoint: 2.096, 3.490
- Resisting Moment=1130.37 kN-m
- Driving Moment=899.089 kN-m
- Resisting Horizontal Force=168.922 kN
- Driving Horizontal Force=134.359 kN
- Total Slice Area=13.5773 m<sup>2</sup>



## Verifica in condizioni sismiche



Zona sezioni 18 – 20: verifica di stabilità in condizioni sismiche.

### Project Summary

- File Name: Sez-18-20+sisisma-nofattori parziali.slim
- Slide Modeler Version: 6.02
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 15/06/2021, 15:44:13

### General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Maximum
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

### Analysis Options

#### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Corps of Engineers #1
- Corps of Engineers #2
- GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
- Janbu simplified
- Janbu corrected
- Lowe-Karafiath
- Ordinary/Fellenius
- Spencer
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes



- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

## Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

## Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

## Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Create Tension Crack
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

## Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.027
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.014
- 1 Distributed Load present

## Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kPa]: 20
- Orientation: Vertical

## Material Properties

Property	alluvioni antiche in destra	dreno	gabbionate	roccia destra
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	18.4	17	20	24
Cohesion [kPa]	17.1	0	20	270
Friction Angle [deg]	26.7	38	15	32
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1

## Global Minimums

### Method: ordinary/fellenius

- FS: 1.423900
- Center: -2.634, 2.783
- Radius: 4.140
- Left Slip Surface Endpoint: -3.874, -1.167
- Right Slip Surface Endpoint: 1.507, 2.783
- Left Slope Intercept: -3.874 -1.167
- Right Slope Intercept: 1.507 3.486
- Resisting Moment=840.5 kN-m
- Driving Moment=590.282 kN-m
- Total Slice Area=12.8462 m<sup>2</sup>

### Method: bishop simplified

- FS: 1.598280
- Center: -4.355, 6.861
- Radius: 8.249



- *Left Slip Surface Endpoint: -4.165, -1.386*
- *Right Slip Surface Endpoint: 3.198, 3.543*
- *Resisting Moment=2457.14 kN-m*
- *Driving Moment=1537.36 kN-m*
- *Total Slice Area=14.7099 m<sup>2</sup>*

#### *Method: janbu simplified*

- *FS: 1.348280*
- *Center: -2.634, 2.783*
- *Radius: 4.140*
- *Left Slip Surface Endpoint: -3.874, -1.167*
- *Right Slip Surface Endpoint: 1.507, 2.783*
- *Left Slope Intercept: -3.874 -1.167*
- *Right Slope Intercept: 1.507 3.486*
- *Resisting Horizontal Force=181.641 kN*
- *Driving Horizontal Force=134.72 kN*
- *Total Slice Area=12.8462 m<sup>2</sup>*

#### *Method: janbu corrected*

- *FS: 1.458470*
- *Center: -2.634, 2.783*
- *Radius: 4.140*
- *Left Slip Surface Endpoint: -3.874, -1.167*
- *Right Slip Surface Endpoint: 1.507, 2.783*
- *Left Slope Intercept: -3.874 -1.167*
- *Right Slope Intercept: 1.507 3.486*
- *Resisting Horizontal Force=196.485 kN*
- *Driving Horizontal Force=134.72 kN*
- *Total Slice Area=12.8462 m<sup>2</sup>*

#### *Method: spencer*

- *FS: 1.588690*
- *Center: -3.775, 5.696*
- *Radius: 6.979*
- *Left Slip Surface Endpoint: -4.023, -1.279*
- *Right Slip Surface Endpoint: 2.848, 3.496*
- *Resisting Moment=1992.39 kN-m*
- *Driving Moment=1254.1 kN-m*
- *Resisting Horizontal Force=229.783 kN*
- *Driving Horizontal Force=144.636 kN*
- *Total Slice Area=14.1812 m<sup>2</sup>*

#### *Method: corp of eng#1*

- *FS: 1.603980*
- *Center: -4.355, 6.861*
- *Radius: 8.249*
- *Left Slip Surface Endpoint: -4.165, -1.386*
- *Right Slip Surface Endpoint: 3.198, 3.543*
- *Resisting Horizontal Force=242.756 kN*
- *Driving Horizontal Force=151.346 kN*
- *Total Slice Area=14.7099 m<sup>2</sup>*

#### *Method: corp of eng#2*

- *FS: 1.664810*
- *Center: -4.355, 6.861*
- *Radius: 8.263*
- *Left Slip Surface Endpoint: -4.184, -1.401*
- *Right Slip Surface Endpoint: 3.215, 3.548*
- *Resisting Horizontal Force=252.586 kN*



- *Driving Horizontal Force=151.721 kN*
- *Total Slice Area=14.8421 m<sup>2</sup>*

**Method: lowe-karafiat**

- *FS: 1.575750*
- *Center: -3.775, 5.696*
- *Radius: 6.979*
- *Left Slip Surface Endpoint: -4.023, -1.279*
- *Right Slip Surface Endpoint: 2.848, 3.496*
- *Resisting Horizontal Force=229.448 kN*
- *Driving Horizontal Force=145.612 kN*
- *Total Slice Area=14.1812 m<sup>2</sup>*

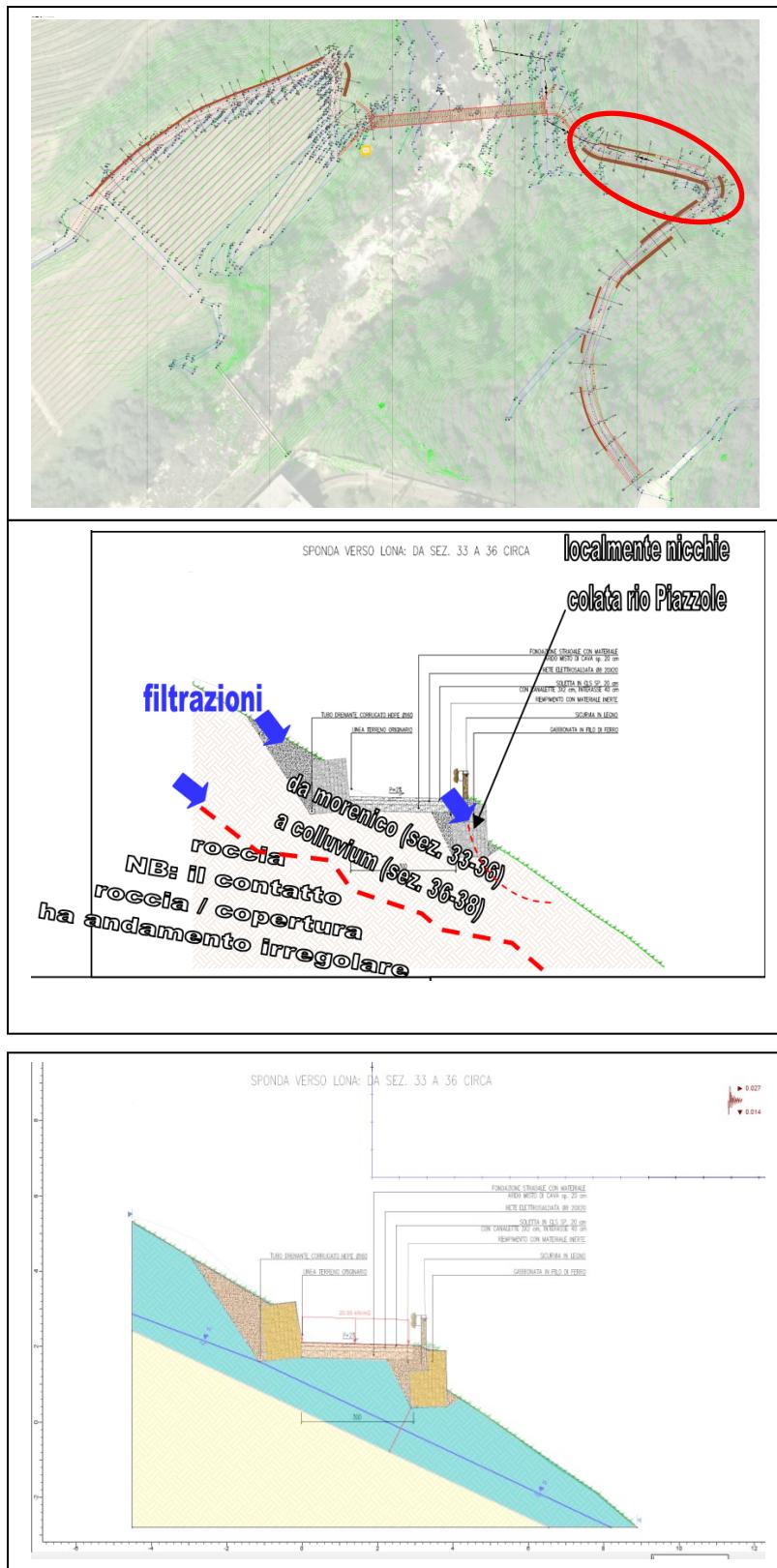
**Method: gle/morgenstern-price**

- *FS: 1.583940*
- *Center: -3.205, 3.948*
- *Radius: 5.320*
- *Left Slip Surface Endpoint: -4.055, -1.304*
- *Right Slip Surface Endpoint: 2.096, 3.490*
- *Resisting Moment=1387.11 kN-m*
- *Driving Moment=875.73 kN-m*
- *Resisting Horizontal Force=208.665 kN*
- *Driving Horizontal Force=131.737 kN*
- *Total Slice Area=13.5773 m<sup>2</sup>*

Le verifiche di stabilità globale eseguite consentono di concludere che le opere in progetto sono stabili e compatibili con la situazione riconosciuta.



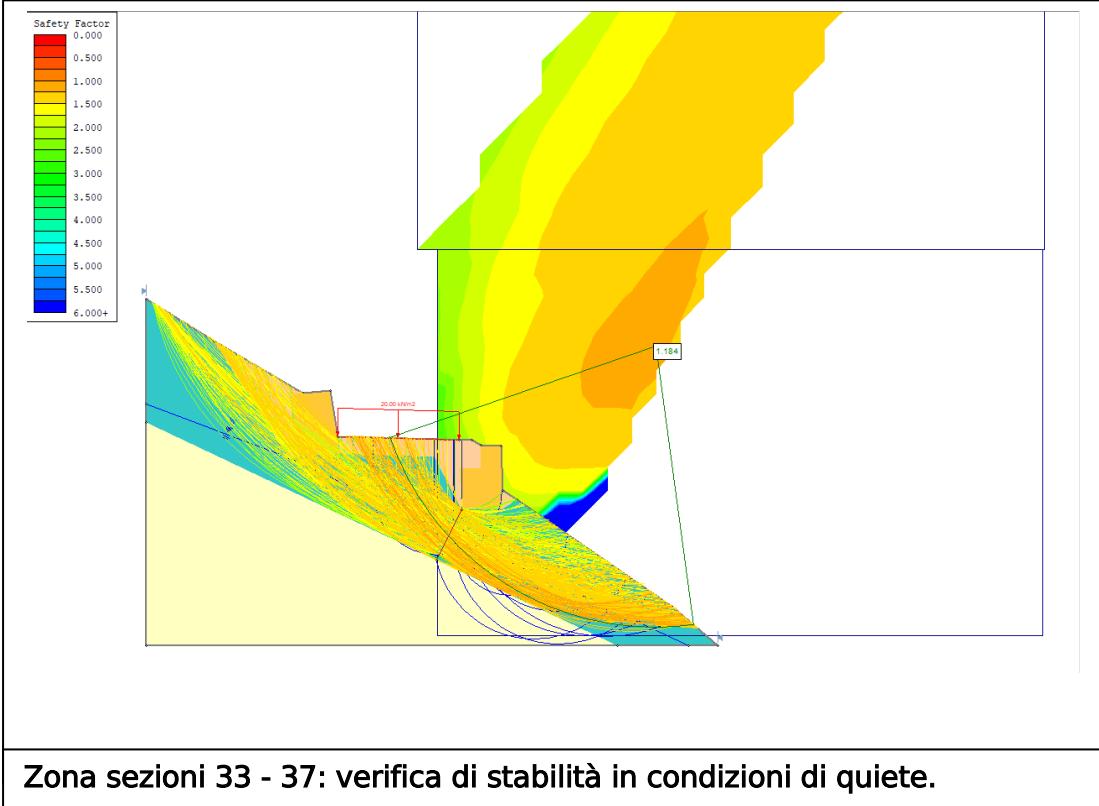
Sez. 33 – Sez. 37



Zona sezioni 33 - 37: ubicazione, modello geologico e modello numerico della sezione tipo di verifica.



## Verifica in condizioni di quiete e con i coefficienti parziali



### Project Summary

- File Name: Sez-33-37-noisima+sifattoriparziali.slim
- Slide Modeler Version: 6.02
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 15/06/2021, 16:22:44

### General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Maximum
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

### Design Standard

- Selected Type: Eurocode 7 - Design Approach 1, Combination 2

Type	Partial Factor
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1.3
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1.25
Coefficient of shearing resistance	1.25
Undrained strength	1.4
Weight density	1
Shear strength (other models)	1.25
Earth resistance	1



Tensile and plate strength	1.1
Shear strength	1.1
Compressive strength	1.1
Bond strength	1.1
Seismic Coefficient	1

## Analysis Options

### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Corps of Engineers #1
- Corps of Engineers #2
- GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
- Janbu simplified
- Janbu corrected
- Lowe-Karafiat
- Ordinary/Fellenius
- Spencer
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

## Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

## Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

## Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Create Tension Crack
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

## Loading

- 1 Distributed Load present

### Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kPa]: 20
- Orientation: Vertical
- Load Action: Variable

## Material Properties

Property	roccia sinistra	dreno	gabbionate	fra rio e spalla sinistra
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	24	17	20	18.4
Cohesion [kPa]	307	0	20	12.1



Friction Angle [deg]	35.75	38	15	27.7
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1

## Global Minimums

### Method: ordinary/fellenius

- FS: 1.183650
- Center: 7.433, 4.224
- Radius: 6.585
- Left Slip Surface Endpoint: 1.207, 2.077
- Right Slip Surface Endpoint: 8.325, -2.301
- Resisting Moment=1056.87 kN-m
- Driving Moment=892.896 kN-m
- Total Slice Area=11.5626 m<sup>2</sup>

### Method: bishop simplified

- FS: 1.269230
- Center: 8.000, 6.481
- Radius: 8.792
- Left Slip Surface Endpoint: 0.378, 2.100
- Right Slip Surface Endpoint: 8.329, -2.305
- Resisting Moment=1701.81 kN-m
- Driving Moment=1340.81 kN-m
- Total Slice Area=12.5577 m<sup>2</sup>

### Method: janbu simplified

- FS: 1.131490
- Center: 7.433, 4.224
- Radius: 6.585
- Left Slip Surface Endpoint: 1.207, 2.077
- Right Slip Surface Endpoint: 8.325, -2.301
- Resisting Horizontal Force=134.779 kN
- Driving Horizontal Force=119.116 kN
- Total Slice Area=11.5626 m<sup>2</sup>

### Method: janbu corrected

- FS: 1.207360
- Center: 7.433, 4.224
- Radius: 6.585
- Left Slip Surface Endpoint: 1.207, 2.077
- Right Slip Surface Endpoint: 8.325, -2.301
- Resisting Horizontal Force=143.816 kN
- Driving Horizontal Force=119.116 kN
- Total Slice Area=11.5626 m<sup>2</sup>

### Method: spencer

- FS: 1.262350
- Center: 7.433, 5.352
- Radius: 7.616
- Left Slip Surface Endpoint: 0.549, 2.095
- Right Slip Surface Endpoint: 8.232, -2.221
- Resisting Moment=1449.65 kN-m
- Driving Moment=1148.38 kN-m
- Resisting Horizontal Force=157.661 kN
- Driving Horizontal Force=124.895 kN
- Total Slice Area=12.7141 m<sup>2</sup>

### Method: corp of eng#1

- FS: 1.269540



- *Center: 8.000, 6.481*
- *Radius: 8.792*
- *Left Slip Surface Endpoint: 0.378, 2.100*
- *Right Slip Surface Endpoint: 8.329, -2.305*
- *Resisting Horizontal Force=161.386 kN*
- *Driving Horizontal Force=127.122 kN*
- *Total Slice Area=12.5577 m<sup>2</sup>*

#### *Method: corp of eng#2*

- *FS: 1.307600*
- *Center: 8.000, 6.481*
- *Radius: 8.792*
- *Left Slip Surface Endpoint: 0.378, 2.100*
- *Right Slip Surface Endpoint: 8.329, -2.305*
- *Resisting Horizontal Force=166.016 kN*
- *Driving Horizontal Force=126.962 kN*
- *Total Slice Area=12.5577 m<sup>2</sup>*

#### *Method: lowe-karafiat*

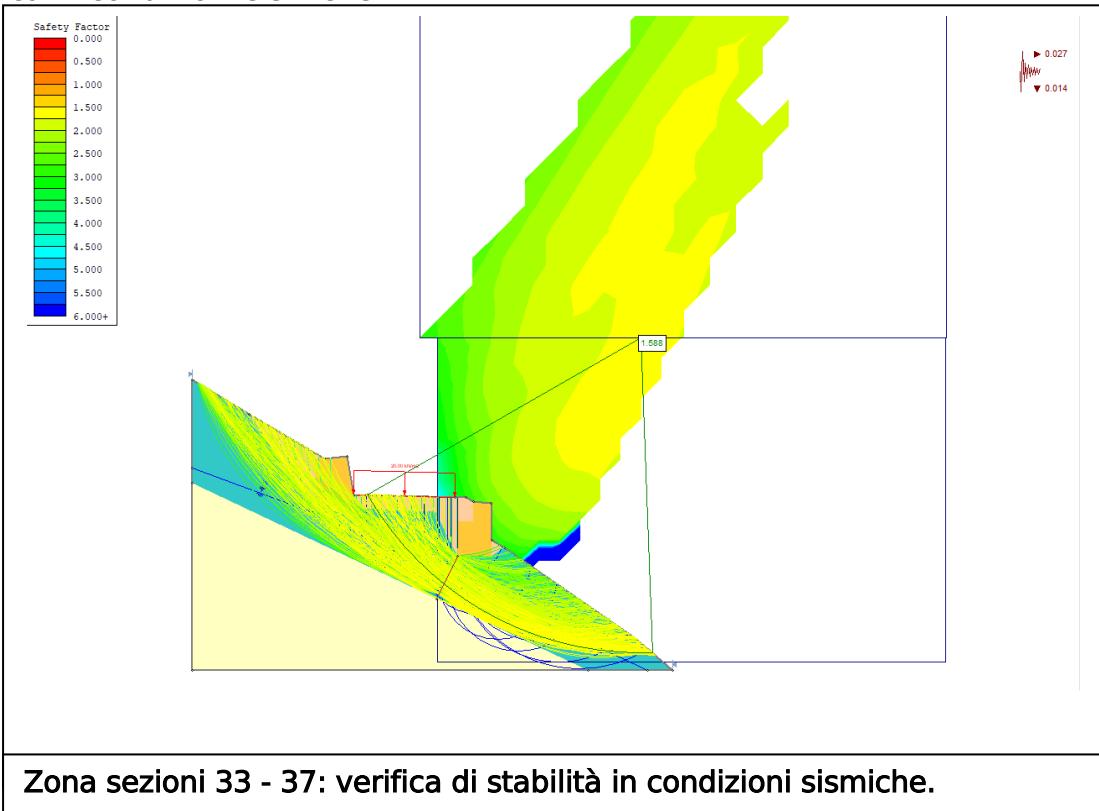
- *FS: 1.261420*
- *Center: 7.433, 5.352*
- *Radius: 7.616*
- *Left Slip Surface Endpoint: 0.549, 2.095*
- *Right Slip Surface Endpoint: 8.232, -2.221*
- *Resisting Horizontal Force=157.61 kN*
- *Driving Horizontal Force=124.946 kN*
- *Total Slice Area=12.7141 m<sup>2</sup>*

#### *Method: gle/morgenstern-price*

- *FS: 1.264640*
- *Center: 7.433, 5.352*
- *Radius: 7.616*
- *Left Slip Surface Endpoint: 0.549, 2.095*
- *Right Slip Surface Endpoint: 8.232, -2.221*
- *Resisting Moment=1452.29 kN-m*
- *Driving Moment=1148.38 kN-m*
- *Resisting Horizontal Force=157.812 kN*
- *Driving Horizontal Force=124.788 kN*
- *Total Slice Area=12.7141 m<sup>2</sup>*



## Verifica in condizioni sismiche



### Project Summary

- File Name: Sez-33-37+sisisma-nofattori parziali.slim
- Slide Modeler Version: 6.02
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 15/06/2021, 16:22:44

### General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Maximum
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

### Analysis Options

#### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Corps of Engineers #1
- Corps of Engineers #2
- GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
- Janbu simplified
- Janbu corrected
- Lowe-Karafiath
- Ordinary/Fellenius
- Spencer
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1



- Steffensen Iteration: Yes

## Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

## Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

## Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Create Tension Crack
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

## Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.027
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.014
- 1 Distributed Load present

### Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kPa]: 20
- Orientation: Vertical

## Material Properties

Property	roccia sinistra	dreno	gabbionate	fra rio e spalla sinistra
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	24	17	20	18.4
Cohesion [kPa]	307	0	20	12.1
Friction Angle [deg]	35.75	38	15	27.7
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1

## Global Minimums

### Method: ordinary/fellenius

- FS: 1.486400
- Center: 7.433, 4.224
- Radius: 6.585
- Left Slip Surface Endpoint: 1.207, 2.077
- Right Slip Surface Endpoint: 8.325, -2.301
- Resisting Moment=1301.07 kN-m
- Driving Moment=875.319 kN-m
- Total Slice Area=11.5626 m<sup>2</sup>

### Method: bishop simplified

- FS: 1.588120
- Center: 8.000, 6.481
- Radius: 8.792
- Left Slip Surface Endpoint: 0.378, 2.100
- Right Slip Surface Endpoint: 8.329, -2.305
- Resisting Moment=2065.55 kN-m



- Driving Moment=1300.63 kN-m
- Total Slice Area=12.5577 m<sup>2</sup>

#### Method: janbu simplified

- FS: 1.420820
- Center: 7.433, 4.224
- Radius: 6.585
- Left Slip Surface Endpoint: 1.207, 2.077
- Right Slip Surface Endpoint: 8.325, -2.301
- Resisting Horizontal Force=166.531 kN
- Driving Horizontal Force=117.207 kN
- Total Slice Area=11.5626 m<sup>2</sup>

#### Method: janbu corrected

- FS: 1.516090
- Center: 7.433, 4.224
- Radius: 6.585
- Left Slip Surface Endpoint: 1.207, 2.077
- Right Slip Surface Endpoint: 8.325, -2.301
- Resisting Horizontal Force=177.697 kN
- Driving Horizontal Force=117.207 kN
- Total Slice Area=11.5626 m<sup>2</sup>

#### Method: spencer

- FS: 1.580890
- Center: 7.433, 5.352
- Radius: 7.616
- Left Slip Surface Endpoint: 0.549, 2.095
- Right Slip Surface Endpoint: 8.232, -2.221
- Resisting Moment=1763.64 kN-m
- Driving Moment=1115.6 kN-m
- Resisting Horizontal Force=193.21 kN
- Driving Horizontal Force=122.216 kN
- Total Slice Area=12.7141 m<sup>2</sup>

#### Method: corp of eng#1

- FS: 1.585080
- Center: 8.000, 6.481
- Radius: 8.792
- Left Slip Surface Endpoint: 0.378, 2.100
- Right Slip Surface Endpoint: 8.329, -2.305
- Resisting Horizontal Force=197.166 kN
- Driving Horizontal Force=124.388 kN
- Total Slice Area=12.5577 m<sup>2</sup>

#### Method: corp of eng#2

- FS: 1.626240
- Center: 8.000, 6.481
- Radius: 8.792
- Left Slip Surface Endpoint: 0.378, 2.100
- Right Slip Surface Endpoint: 8.329, -2.305
- Resisting Horizontal Force=201.418 kN
- Driving Horizontal Force=123.855 kN
- Total Slice Area=12.5577 m<sup>2</sup>

#### Method: lowe-karafiath

- FS: 1.574100
- Center: 7.433, 5.352
- Radius: 7.616
- Left Slip Surface Endpoint: 0.549, 2.095

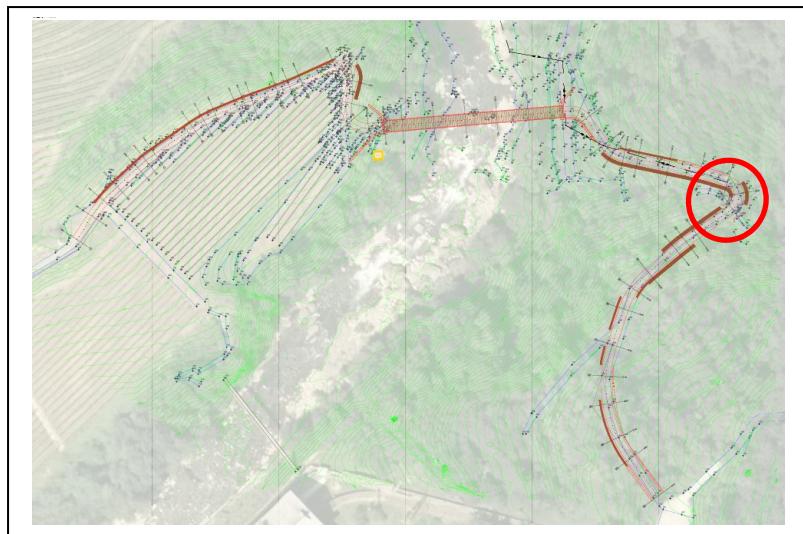


- *Right Slip Surface Endpoint: 8.232, -2.221*
- *Resisting Horizontal Force=193.023 kN*
- *Driving Horizontal Force=122.624 kN*
- *Total Slice Area=12.7141 m<sup>2</sup>*

*Method: gle/morgenstern-price*

- *FS: 1.581610*
- *Center: 7.433, 5.352*
- *Radius: 7.616*
- *Left Slip Surface Endpoint: 0.549, 2.095*
- *Right Slip Surface Endpoint: 8.232, -2.221*
- *Resisting Moment=1764.44 kN-m*
- *Driving Moment=1115.6 kN-m*
- *Resisting Horizontal Force=193.45 kN*
- *Driving Horizontal Force=122.312 kN*
- *Total Slice Area=12.7141 m<sup>2</sup>*

Le verifiche di stabilità globale eseguite consentono di concludere che le opere in progetto sono stabili e compatibili con la situazione riconosciuta.

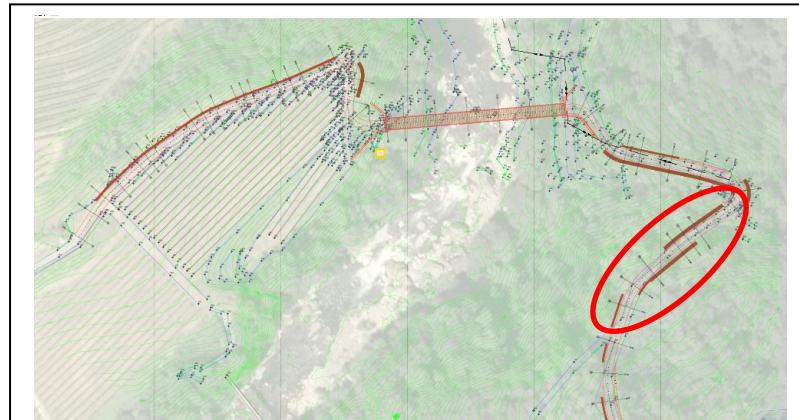


E' la zona del nuovo attraversamento sul rio Piazzole (o di Lona): a causa della colata detritica del 05/12/2010 tutta la zona è stata diffusamente erosa fino al fondo della vallecola.

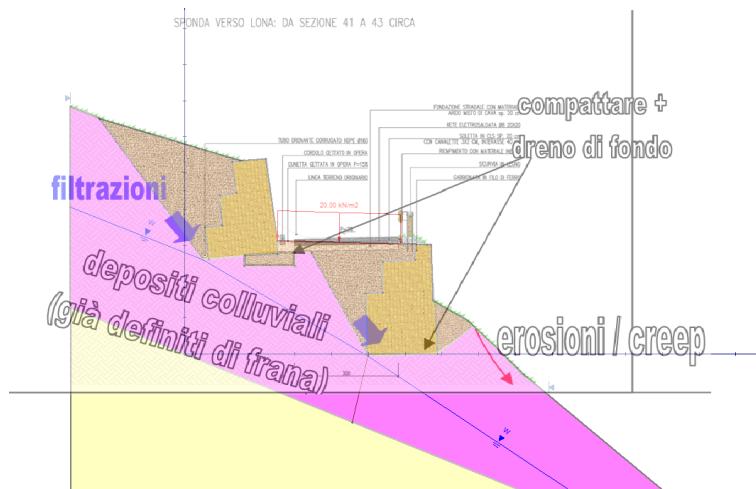
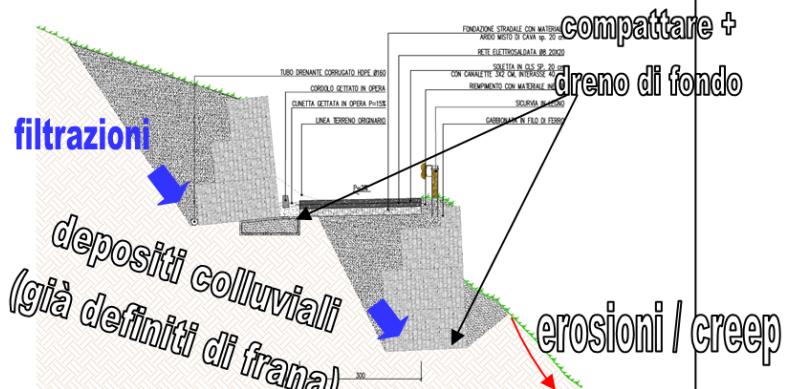
Le nuove opere saranno pertanto realizzate ricostruendo completamente il profilo locale del versante: utilizzando i materiali indicati, fra cui le scogliere cementate appoggiate alle briglie, non si ravvisano problematiche di stabilità globale dei manufatti in progetto.



## Sez. 41 – Sez. 47



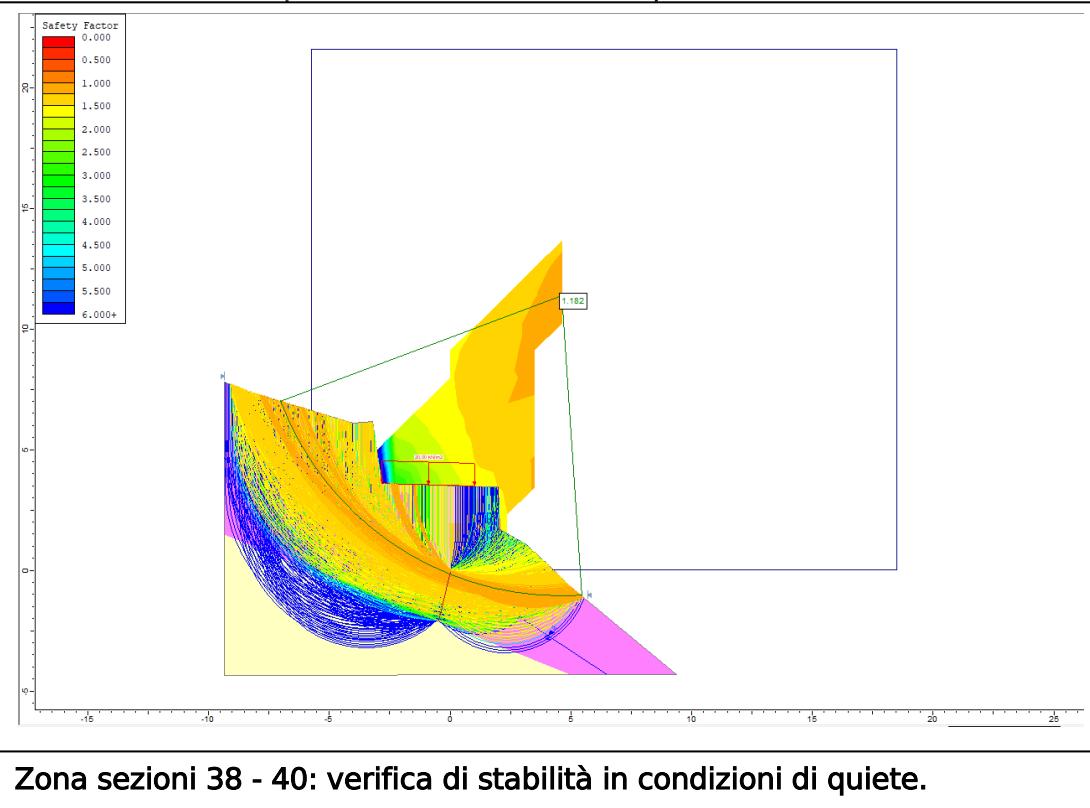
SPONDA VERSO LONA: DA SEZIONE 41 A 43 CIRCA



Zona sezioni 41 - 43: ubicazione, modello geologico e modello numerico della sezione tipo di verifica.



## Verifica in condizioni di quiete e con i coefficienti parziali



Zona sezioni 38 - 40: verifica di stabilità in condizioni di quiete.

### Project Summary

- File Name: Sez-41-44.slim
- Slide Modeler Version: 6.02
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 23/07/2021, 14:44:03

### General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Maximum
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

### Design Standard

- Selected Type: Eurocode 7 - Design Approach 1, Combination 2

Type	Partial Factor
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1.3
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1.25
Coefficient of shearing resistance	1.25
Undrained strength	1.4
Weight density	1
Shear strength (other models)	1.25
Earth resistance	1



Tensile and plate strength	1.1
Shear strength	1.1
Compressive strength	1.1
Bond strength	1.1
Seismic Coefficient	1

## Analysis Options

### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Corps of Engineers #1
- Corps of Engineers #2
- GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
- Janbu simplified
- Janbu corrected
- Lowe-Karafiath
- Ordinary/Fellenius
- Spencer
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

## Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

## Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

## Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Create Tension Crack
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

## Loading

- 1 Distributed Load present

### Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kPa]: 20
- Orientation: Vertical
- Load Action: Variable

## Material Properties

Property	roccia sinistra	dreno	gabbionate	frana sinistra
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	24	17	20	19.5
Cohesion [kPa]	307	0	20	10.9



Friction Angle [deg]	35.75	38	15	29.7
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1

## Global Minimums

### Method: ordinary/fellenius

- FS: 1.182060
- Center: 4.639, 11.388
- Radius: 12.467
- Left Slip Surface Endpoint: -7.037, 7.019
- Right Slip Surface Endpoint: 5.448, -1.053
- Resisting Moment=4829.51 kN-m
- Driving Moment=4085.67 kN-m
- Total Slice Area=33.0524 m<sup>2</sup>

### Method: bishop simplified

- FS: 1.272200
- Center: 4.639, 11.388
- Radius: 12.467
- Left Slip Surface Endpoint: -7.037, 7.019
- Right Slip Surface Endpoint: 5.448, -1.053
- Resisting Moment=5197.8 kN-m
- Driving Moment=4085.67 kN-m
- Total Slice Area=33.0524 m<sup>2</sup>

### Method: janbu simplified

- FS: 1.152310
- Center: 3.484, 9.121
- Radius: 10.367
- Left Slip Surface Endpoint: -6.642, 6.900
- Right Slip Surface Endpoint: 5.453, -1.057
- Resisting Horizontal Force=369.103 kN
- Driving Horizontal Force=320.315 kN
- Total Slice Area=36.6203 m<sup>2</sup>

### Method: janbu corrected

- FS: 1.234520
- Center: 4.639, 11.388
- Radius: 12.467
- Left Slip Surface Endpoint: -7.037, 7.019
- Right Slip Surface Endpoint: 5.448, -1.053
- Resisting Horizontal Force=371.955 kN
- Driving Horizontal Force=301.296 kN
- Total Slice Area=33.0524 m<sup>2</sup>

### Method: spencer

- FS: 1.262610
- Center: 4.639, 11.388
- Radius: 12.467
- Left Slip Surface Endpoint: -7.037, 7.019
- Right Slip Surface Endpoint: 5.448, -1.053
- Resisting Moment=5158.59 kN-m
- Driving Moment=4085.67 kN-m
- Resisting Horizontal Force=358.021 kN
- Driving Horizontal Force=283.557 kN
- Total Slice Area=33.0524 m<sup>2</sup>

### Method: corp of eng#1

- FS: 1.284940



- *Center: 4.639, 11.388*
- *Radius: 12.467*
- *Left Slip Surface Endpoint: -7.037, 7.019*
- *Right Slip Surface Endpoint: 5.448, -1.053*
- *Resisting Horizontal Force=359.931 kN*
- *Driving Horizontal Force=280.116 kN*
- *Total Slice Area=33.0524 m<sup>2</sup>*

#### *Method: corp of eng#2*

- *FS: 1.430390*
- *Center: 4.639, 12.521*
- *Radius: 13.571*
- *Left Slip Surface Endpoint: -7.875, 7.271*
- *Right Slip Surface Endpoint: 5.417, -1.027*
- *Resisting Horizontal Force=430.318 kN*
- *Driving Horizontal Force=300.839 kN*
- *Total Slice Area=36.4573 m<sup>2</sup>*

#### *Method: lowe-karafiat*

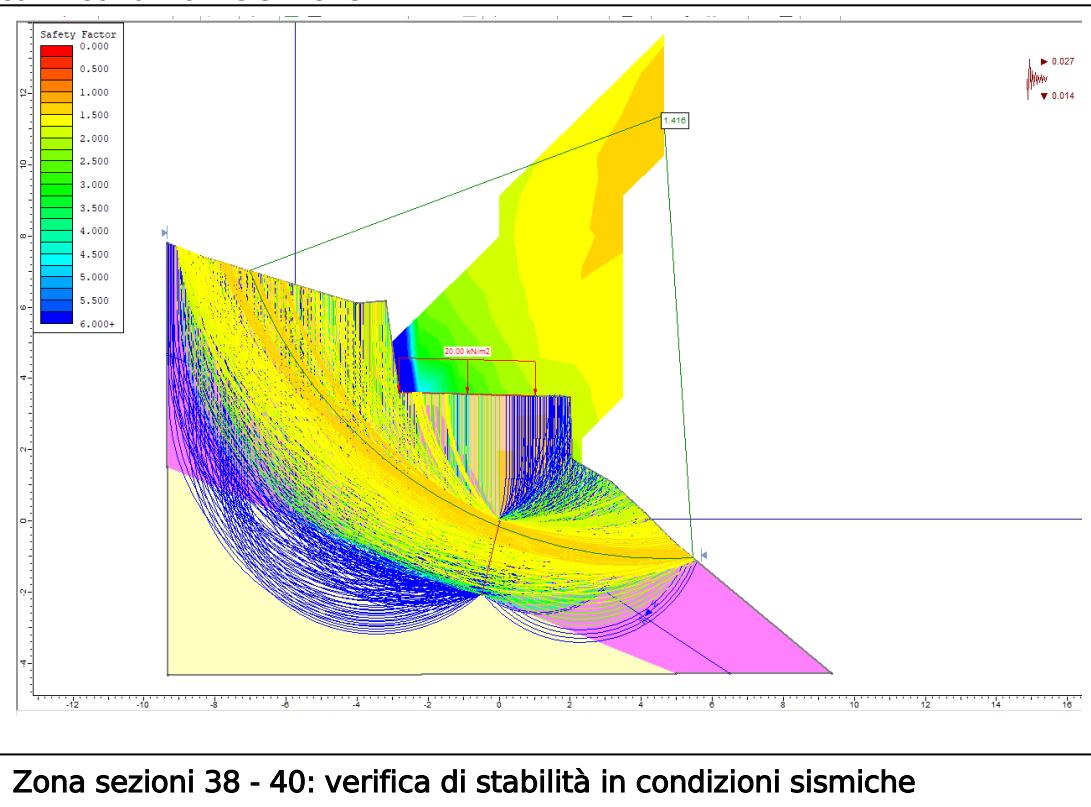
- *FS: 1.247110*
- *Center: 4.639, 11.388*
- *Radius: 12.467*
- *Left Slip Surface Endpoint: -7.037, 7.019*
- *Right Slip Surface Endpoint: 5.448, -1.053*
- *Resisting Horizontal Force=356.883 kN*
- *Driving Horizontal Force=286.168 kN*
- *Total Slice Area=33.0524 m<sup>2</sup>*

#### *Method: gle/morgenstern-price*

- *FS: 1.268670*
- *Center: 4.639, 11.388*
- *Radius: 12.467*
- *Left Slip Surface Endpoint: -7.037, 7.019*
- *Right Slip Surface Endpoint: 5.448, -1.053*
- *Resisting Moment=5183.35 kN-m*
- *Driving Moment=4085.67 kN-m*
- *Resisting Horizontal Force=358.729 kN*
- *Driving Horizontal Force=282.76 kN*
- *Total Slice Area=33.0524 m<sup>2</sup>*



## Verifica in condizioni sismiche



Zona sezioni 38 - 40: verifica di stabilità in condizioni sismiche

### Project Summary

- File Name: Sez-41-44+sisisma-nofattori parziali.slim
- Slide Modeler Version: 6.02
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 23/07/2021, 14:44:03

### General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Maximum
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

### Analysis Options

#### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Corps of Engineers #1
- Corps of Engineers #2
- GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
- Janbu simplified
- Janbu corrected
- Lowe-Karafiath
- Ordinary/Fellenius
- Spencer
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1



- Steffensen Iteration: Yes

## Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

## Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

## Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Create Tension Crack
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

## Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.027
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.014
- 1 Distributed Load present

## Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kPa]: 20
- Orientation: Vertical

## Material Properties

Property	roccia sinistra	dreno	gabbionate	frana sinistra
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	24	17	20	19.5
Cohesion [kPa]	307	0	20	10.9
Friction Angle [deg]	35.75	38	15	29.7
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1

## Global Minimums

### Method: ordinary/fellenius

- FS: 1.415940
- Center: 4.639, 11.388
- Radius: 12.467
- Left Slip Surface Endpoint: -7.037, 7.019
- Right Slip Surface Endpoint: 5.448, -1.053
- Resisting Moment=5887.17 kN-m
- Driving Moment=4157.77 kN-m
- Total Slice Area=33.0524 m<sup>2</sup>

### Method: bishop simplified

- FS: 1.529630
- Center: 4.639, 11.388
- Radius: 12.467
- Left Slip Surface Endpoint: -7.037, 7.019
- Right Slip Surface Endpoint: 5.448, -1.053
- Resisting Moment=6359.84 kN-m



- Driving Moment=4157.77 kN-m
- Total Slice Area=33.0524 m<sup>2</sup>

#### Method: janbu simplified

- FS: 1.371620
- Center: 3.484, 9.121
- Radius: 10.367
- Left Slip Surface Endpoint: -6.642, 6.900
- Right Slip Surface Endpoint: 5.453, -1.057
- Resisting Horizontal Force=451.664 kN
- Driving Horizontal Force=329.293 kN
- Total Slice Area=36.6203 m<sup>2</sup>

#### Method: janbu corrected

- FS: 1.471410
- Center: 3.484, 9.121
- Radius: 10.367
- Left Slip Surface Endpoint: -6.642, 6.900
- Right Slip Surface Endpoint: 5.453, -1.057
- Resisting Horizontal Force=484.525 kN
- Driving Horizontal Force=329.293 kN
- Total Slice Area=36.6203 m<sup>2</sup>

#### Method: spencer

- FS: 1.518490
- Center: 4.639, 11.388
- Radius: 12.467
- Left Slip Surface Endpoint: -7.037, 7.019
- Right Slip Surface Endpoint: 5.448, -1.053
- Resisting Moment=6313.55 kN-m
- Driving Moment=4157.77 kN-m
- Resisting Horizontal Force=438.916 kN
- Driving Horizontal Force=289.047 kN
- Total Slice Area=33.0524 m<sup>2</sup>

#### Method: corp of eng#1

- FS: 1.532540
- Center: 4.639, 12.521
- Radius: 13.524
- Left Slip Surface Endpoint: -7.818, 7.254
- Right Slip Surface Endpoint: 5.365, -0.984
- Resisting Horizontal Force=464.596 kN
- Driving Horizontal Force=303.154 kN
- Total Slice Area=35.6843 m<sup>2</sup>

#### Method: corp of eng#2

- FS: 1.715850
- Center: 4.639, 12.521
- Radius: 13.571
- Left Slip Surface Endpoint: -7.875, 7.271
- Right Slip Surface Endpoint: 5.417, -1.027
- Resisting Horizontal Force=531.399 kN
- Driving Horizontal Force=309.699 kN
- Total Slice Area=36.4573 m<sup>2</sup>

#### Method: lowe-karafiath

- FS: 1.489360
- Center: 4.639, 11.388
- Radius: 12.467
- Left Slip Surface Endpoint: -7.037, 7.019



- *Right Slip Surface Endpoint: 5.448, -1.053*
- *Resisting Horizontal Force=436.323 kN*
- *Driving Horizontal Force=292.96 kN*
- *Total Slice Area=33.0524 m<sup>2</sup>*

*Method: gle/morgenstern-price*

- *FS: 1.520940*
- *Center: 4.639, 11.388*
- *Radius: 12.467*
- *Left Slip Surface Endpoint: -7.037, 7.019*
- *Right Slip Surface Endpoint: 5.448, -1.053*
- *Resisting Moment=6323.74 kN-m*
- *Driving Moment=4157.77 kN-m*
- *Resisting Horizontal Force=439.13 kN*
- *Driving Horizontal Force=288.722 kN*
- *Total Slice Area=33.0524 m<sup>2</sup>*

La conclusione complessiva delle verifiche eseguite sulle diverse sezioni tipo reperite nel progetto stradale è che le opere sono state progettate correttamente e che si avranno condizioni di stabilità, sia in quiete e sia in caso di sisma.

**- Cronoprogramma opere:**

Le opere di compatibilizzazione riferite a questa componente della pericolosità sono già previste dal progetto: la realizzazione dei lavori in progetto sarà pertanto contestuale agli interventi di contrasto della pericolosità.

In ogni caso si consideri che, essendo la stessa pista del cantiere ad essere soggetta a questa tipologia di pericolosità, è da mettersi in conto di intervenire a prevenzione del possibile manifestarsi dei fenomeni attesi già nelle fasi iniziali dei lavori, in modo che le operazioni di cantiere possano avvenire in tutta sicurezza.

**- Conclusioni:**

Si è riconosciuto come nelle zone classificate a pericolosità litogeomorfologica siano effettivamente presenti dei potenziali dei fenomeni erosivi e di dissesto derivanti dalla combinazione dell'accentuata acclività dei luoghi e dalla complessa natura idrogeologica dei terreni.

Queste osservazioni erano già state riconosciute in fase di indagine geologica e pertanto nel progetto sono già state previste ed inserite le necessarie opere di compatibilizzazione a contrasto di tale pericolosità.

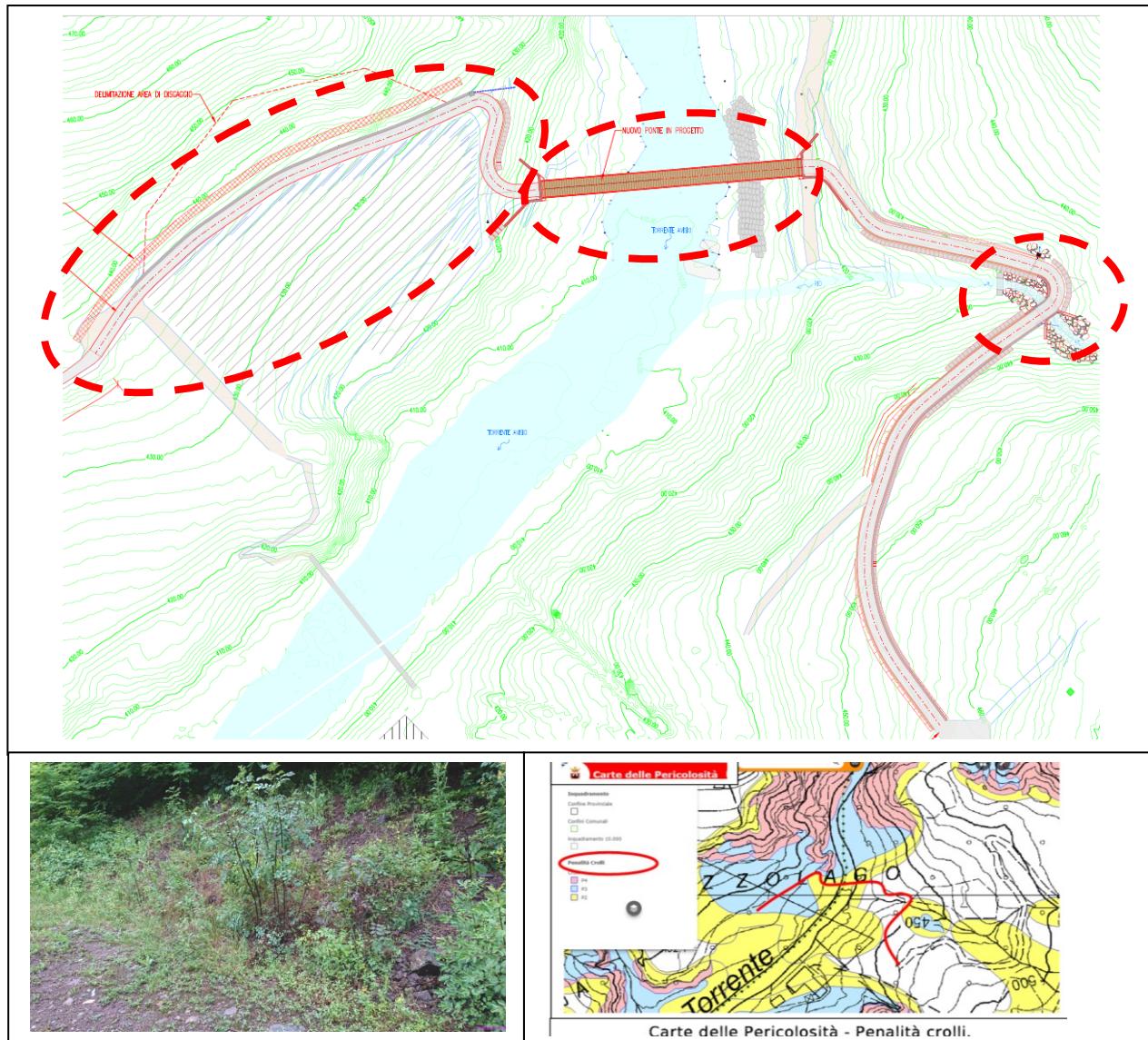
Si conclude che la realizzazione del progetto è compatibile con la componente della pericolosità lito geomorfologica.



#### 4. PENALITA' DA CROLLO

##### - Individuazione del tipo di fenomeno:

Il fenomeno, sulla Carta di Sintesi della Pericolosità è indicato essere presente su varie posizioni del tracciato: vale anche per questa tipologia di pericolosità l'osservazione che già in fase di indagine geologica si era riconosciuto l'esistenza di questa tipologia di pericolo e che pertanto sono già state previste le opere di compatibilizzazione.



Evidenziata sulla planimetria di progetto la posizione delle zone classificate a penalità da crollo P2 + P3.

La foto mostra la zona delle sez. 3 – 17, le maggiormente coinvolte dal fenomeno.  
A lato è il tracciato stradale sovrapposto alla carta della pericolosità da crollo.



### - Analisi della pericolosità:

Il fenomeno atteso è il rotolamento di frammenti rocciosi dai versanti soprastanti: in corrispondenza dell'attraversamento del Rio di Lona le opere previste per il rinforzo locale già mettono in sicurezza la sede stradale nei confronti del fenomeno atteso. Particolare riferimento al nuovo scatolare che di fatto sopralza la sede stradale dall'alveo ove il fenomeno si può esplicare.

Una seconda zona è presso l'alveo dell'Avisio: anche qui si andranno a realizzare le spalle del ponte che di fatto rinforzano la sponda dell'alveo ed eliminano la possibilità che si inneschi il rilascio di frammenti rocciosi dalle stesse scarpate dell'alveo.

L'ultima zona segnalata è quella fra il tornante e il termine (inizio) del tratto di intervento (Sez. 1 – 18).

Questa è la zona che è effettivamente più esposta alla pericolosità da crollo.

Si riprende quanto indicato nella relazione geologica:

*"Sulla parte terminale del tracciato, al raccordo fra il terrazzo ed il versante soprastante, si sono trovati anche degli elementi detritici di spigolo decimetrico che rappresentano dei frammenti distaccati dagli affioramenti rocciosi vulcanodetritici presenti a monte della strada."*



raccordo terrazzo con versante

Questi frammenti rocciosi provengono sia dal disfacimento di piccoli affioramenti presenti sul versante, ma anche dal distacco di elementi lapidei appartenenti a muretti a secco ormai abbandonati ed ammalorati.



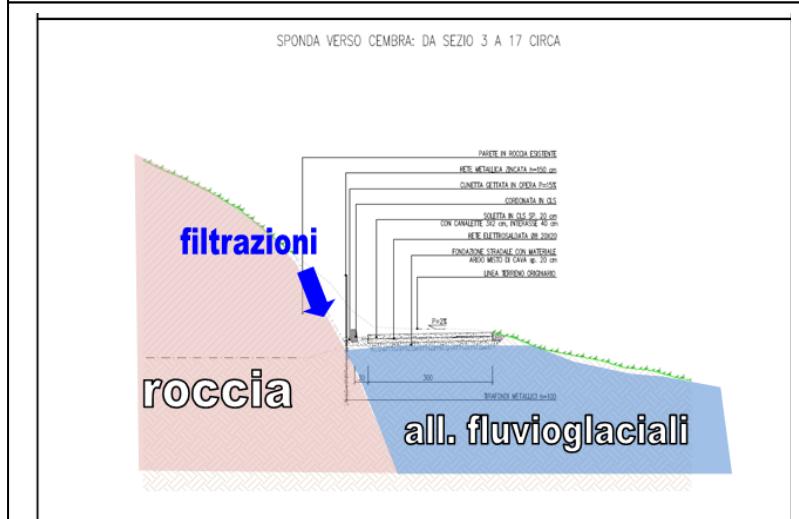
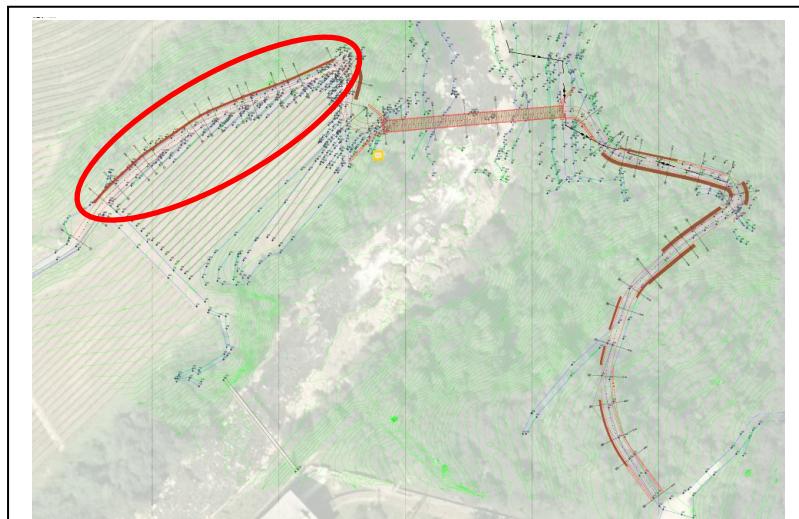
origine dei distacchi che possono arrivare sulla strada di interesse posta fra il terrazzo ed il pendio

...



e poi ancora:

Sez. 1 – Sez. 17



Sezione tipo, con situazione geologica e foto del tratto fra Sez. 1 – Sez. 17.

In questo tratto la nuova viabilità segue di fatto una capezzagna esistente, per cui gli interventi in progetto saranno limitati alla preparazione del sottofondo ed alla realizzazione di un muretto interposto fra viabilità e versante.

La matrice del terreno attualmente in posto è piuttosto fine, per cui si dovrà predisporre un sottofondo drenante che consenta lo sgrondo delle filtrazioni provenienti dal versante.



Per questo tratto, inoltre, si ricorda che vi è la possibilità del rotolamento di massi di spigolo da decimetrico a pluridecimetrico provenienti dal soprastante versante.

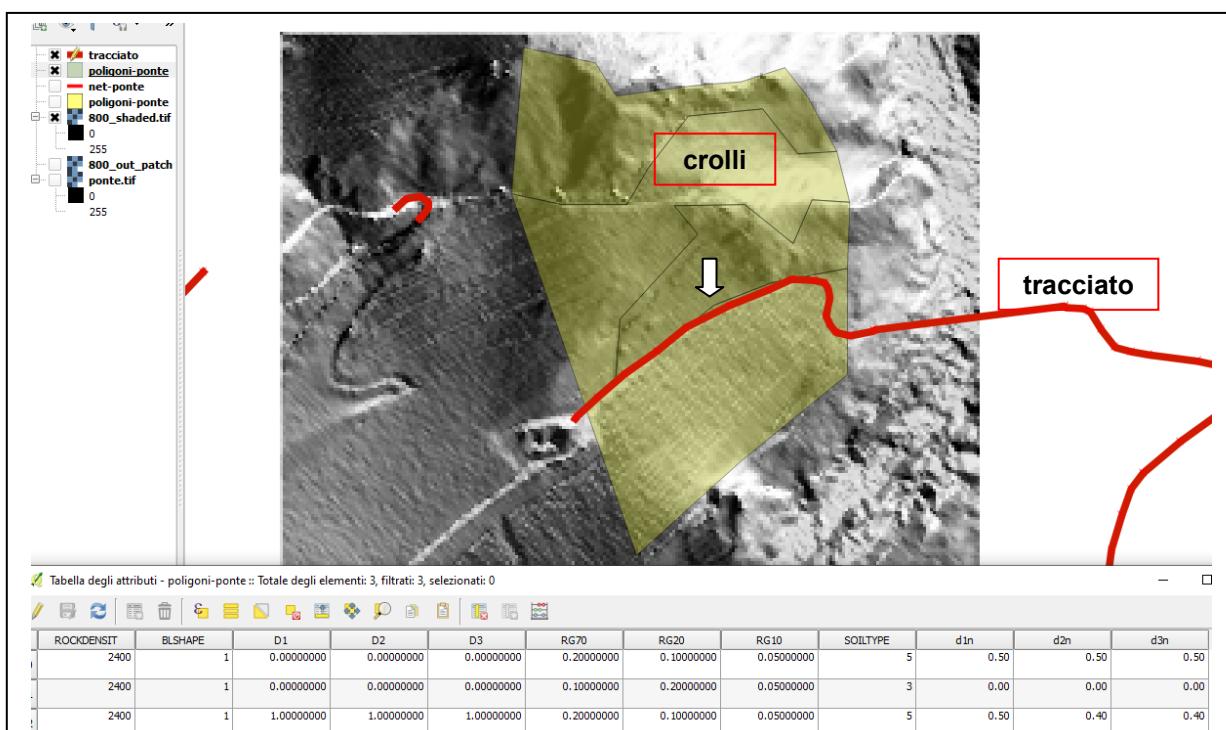
Pertanto va previsto, preliminarmente ai lavori, un intervento di ricognizione e disgaggio leggero del tratto di pendio soprastante: sul bordo di monte va prevista anche la posa di una rete di protezione (date le energie residue in gioco, dopo il disgaggio, si potrà posizionare anche una semplice barriera fissa) interposta a protezione della sede stradale. ...”.

Per definire numericamente la pericolosità geologica da crollo sono state eseguite delle simulazioni delle traiettorie di rotolamento

Utilizzando il rilievo PAT LiDAR quale base topografica, si è inizialmente ricostruito il modello numerico del versante: date le dimensioni del problema da analizzare si è scelto di utilizzare i dati con precisione di 1 metro, cioè generando una griglia di punti con maglia quadrata di 1 x 1 m cui associare le varie caratteristiche geomorfologiche e geologiche del modello (attributi).

Oltre ad annotare le posizioni dei potenziali punti sorgente si è preso nota delle loro dimensioni e delle caratteristiche morfologiche del terreno del versante (es. rugosità), della presenza di vegetazione, del tipo di suolo, eccetera.

Queste informazioni sono state ordinate in apposito ambiente GIS (utilizzato il software QGIS ®) generando uno shape file contenente tutte queste - ed altre - caratteristiche delle aree di interesse.



Definizione dell'area del modello numerico del versante per le verifiche di rotolamento massi: indicate le aree e gli attributi associati ai diversi poligoni, suddivisi in sotto-unità geologicamente omogenee



Per la simulazione delle traiettorie di rotolamento dei massi lungo il versante si è utilizzato uno specifico programma – Rocky for 3D (Rockyfor3D\_v52\_install2021) - messo a punto da Ecorisq.org.

Si tratta di un programma di recente concezione, utilizzato anche presso il Servizio Geologico della PAT, che fornisce ottimi riscontri fra le simulazioni e la realtà oggettiva di campagna.

Per eseguire le simulazioni di caduta massi con la definizione delle varie traiettorie, questo codice necessita della preparazione preliminare di numerosi elaborati (griglie vettoriali), che elenchiamo di seguito:

- 1 griglia con il modello digitale del terreno:

si è utilizzato il rilievo Lidar PAT (DTM con precisione 1 x 1m) ritagliando la zona di interesse.

- 1 griglia con il peso di volume dei diversi litotipi:

l'area di interesse è stata suddivisa in varie sotto-aree litologicamente omogenee e per ciascuna area i valori sono stati definiti sulla base dei rilievi di campagna e sulla scorta anche dei dati di letteratura specializzata.

- 1 griglia con la tipologia geometrica dei massi:

la scelta della forma dei massi (prisma a 3 assi) deriva dalle osservazioni di campagna sui massi già rotolati e dalle indicazioni ottenute dallo studio delle fratturazioni dei punti sorgente individuati sulle pareti rocciose soprastanti.

- 3 griglie con le dimensioni degli assi del masso di progetto:

anche in questo caso i parametri utilizzati sono stati definiti in funzione dei rilievi sui massi e sulle pareti rocciose con frammenti pericolanti: si sono così suddivise numerose aree caratterizzate da volumetrie di massi specifiche per ciascuna sotto-area. il programma consente poi anche di aumentare e diminuire fino al 50%, in modo statisticamente casuale, delle dimensioni dei 3 assi dei massi di progetto.

- 3 griglie con la definizione della "rugosità" del terreno:

duranti i rilievi di campagna, particolarmente alla base delle pareti rocciose, ma non solo, si sono definiti, traguardando il pendio verso il basso, i parametri delle asperità che i massi incontreranno rotolando lungo il pendio e suddividendo il pendio in zone ad asperità omogenea.

- 1 griglia con la definizione del tipo di sottosuolo:

per tale elaborato ci si è basati sulle osservazioni di campagna eseguite durante i rilevamenti geologici.

Per raccogliere le informazioni necessarie, in campagna si è pertanto rilevato tenendo sempre registrati tutti i dati di input necessari alla definizione dei parametri richiesti dal programma.

A seguire si riporta una scheda – tipo, utilizzata in campagna che esemplifica le registrazioni dei dati eseguite.



Table 1: Field recording sheet for rockfall simulation with Rockyfor3D

General									
Date*		Nr. Polygon*		* each polygon represents a homogeneous unit; size depends on the mapping scale					
Location*		Slope angle*	(° / %)						
Name*		Zone*	<input type="checkbox"/> start / source <input type="checkbox"/> transit <input type="checkbox"/> deposit						
Polygon characteristics									
1. Dominating rock (deposited in the polygon or potentially falling from release area)									
Block shape	<input type="checkbox"/> 1. rectangle <input type="checkbox"/> 2. ellipsoid		<input type="checkbox"/> 3. Sphere		<input type="checkbox"/> 4. Disc				
Block dimensions (d1, d2, d3):	..... (m)	x	..... (m)	x	..... (m)				
Rock density (kg.m <sup>-3</sup> ):									
2. Soil / underground type in the polygon									
Material constituting the underground	<input type="checkbox"/> river / swamp / other material in which a rock could penetrate completely	<input type="checkbox"/> fine soil material (depth > ~100 cm)	<input type="checkbox"/> fine soil material (depth < ~100 cm) / sand/gravel mix in the valley	<input type="checkbox"/> scree (Ø <~10 cm) / medium compact soil with small rock fragments	<input type="checkbox"/> talus slope (Ø > ~10 cm) / compact soil with large rock fragments	<input type="checkbox"/> bedrock with thin weathered material or soil cover	<input type="checkbox"/> bedrock	<input type="checkbox"/> asphalt road	
(soiltype) values needed for Rockyfor3D	0	1	2	3	4	5	6	7	
3. Surface roughness in the polygon									
MOH: typical obstacle height normal to the slope surface (m) that block encounters in 70%, 20% and 10% of the cases during a rebound on the slope surface. Should be measured looking down the slope!			MOH for 70% of the sample area (rg70)			0 - 100 (m)			
			MOH for 20% of the sample area (rg20)			0 - 100 (m)			
			MOH for 10% of the sample area (rg10)			0 - 100 (m)			
Lying tree stems*	Mean height = m		Area covered = %						
4. Forest*									
Representative plot size: ..... m x ..... m									
DBH* (cm)	* DBH: Tree diameter at breast height Record all the DBH ≥ 5 cm measured in the plot: e.g., 8, 31, 17, 13, ...								
Stems / ha									
Mean DBH (cm)		Coniferous (%)							
Stddev DBH (cm)									
Species*									
5. Rockfall activity indicators / silent witnesses*									
Mean nr. of rockfall impacts on trees*		Height(s) of rockfall impacts on trees (m)*							
Depth impact craters (m)*		Fresh, deposited rocks in Polygon*		Yes / No					
6. Remarks / sketch*									

Scheda di campagna utilizzata per il rilevamento geologico.

Table 2: The soiltypes used by Rockyfor3D and the related R<sub>n</sub> values

Soiltype	General description of the underground	mean R <sub>n</sub> value	R <sub>n</sub> value range
0	River, or swamp, or material in which a rock could penetrate completely	0	0
1	Fine soil material (depth > ~100 cm)	0.23	0.21 - 0.25
2	Fine soil material (depth < ~100 cm), or sand/gravel mix in the valley	0.28	0.25 - 0.31
3	Scree (Ø <~10 cm), or medium compact soil with small rock fragments, or forest road	0.33	0.30 - 0.36
4	Talus slope (Ø > ~10 cm), or compact soil with large rock fragments	0.38	0.34 - 0.42
5	Bedrock with thin weathered material or soil cover	0.43	0.39 - 0.47
6	Bedrock	0.53	0.48 - 0.58
7	Asphalt road	0.35	0.32 - 0.39



Size of the surface roughness (MOH)	Possible Rg values (in m)
No roughness, obstacles absent	0
> 0 – 10 cm	0.03, 0.05, 0.08, 0.1
> 10 – 50 cm	0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.5
> 50 cm – 1 m	0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1
> 1 – 2.5 m	1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 2, 2.5
> 2.5 – 10 m	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
> 10 m	100

Valori tabellati di alcuni dei parametri necessari per l'utilizzo del codice utilizzato. Tab. 2 = tipi di suolo.

Si sono predisposte tutte le griglie sopra elencate (con codici Grass e Saga si è eseguita la conversione da raster a griglia vettoriale) e poi si sono definiti anche gli altri parametri necessari alle simulazioni (fra parentesi è il parametro utilizzato):

- numero di massi lasciati rotolare da ogni cella sorgente (10)
- possibile variazione statistica % del volume dei massi considerati (50%)
- altezza iniziale (velocità) di caduta dei massi (0 m/s).

Con questi assunti iniziali il codice - programma ha generato 189.480 massi aventi dimensioni da 0.06 a 0.15 m<sup>3</sup> (media 1.1 m<sup>3</sup>) che sono stati lasciati rotolare lungo il pendio partendo, in numero di 0.11, da ogni cella di 1 m<sup>2</sup> presente sul pendio ed interessata dalla presenza di rocce affioranti o altri elementi (es. massi erratici) che possono rotolare verso il sito.

Circa la scelta delle dimensioni del masso di progetto si è fatto riferimento a quanto osservato sulle pareti rocciose e sul pendio dove si sono osservati anche i massi già precipitati nel passato.

Si può affermare che la simulazione è eseguita considerando massi di dimensioni grandi (maggiori) in riferimento a quelli già rotolati nel passato.

La simulazione è stata eseguita senza tener conto della presenza del bosco, data la non remota possibilità che un incendio o un forte vento possa distruggere il bosco.

```
Rockyfor3D v5.2.6 - Simulations completed on Fri Jun 11 18:01:59 2021
simulation started on Fri Jun 11 18:01:50 2021

simulation settings:
- rock volume variation = +/- 50
- nr. of simulations per source cell = 10
- nr. of simulated falling rocks (total nr. simulations) = 24140
- additional initial fallheight = 0.000000 m
- Simulation without forest and with nets

Overall simulated block volumes:
- min = 0.060000 m3
- mean = 0.110000 m3
- max = 0.150000 m3

Overall simulated energy values:
- maximum of the mean energy values = 102.500000 kj
- maximum energy value = 237.000000 kj
```

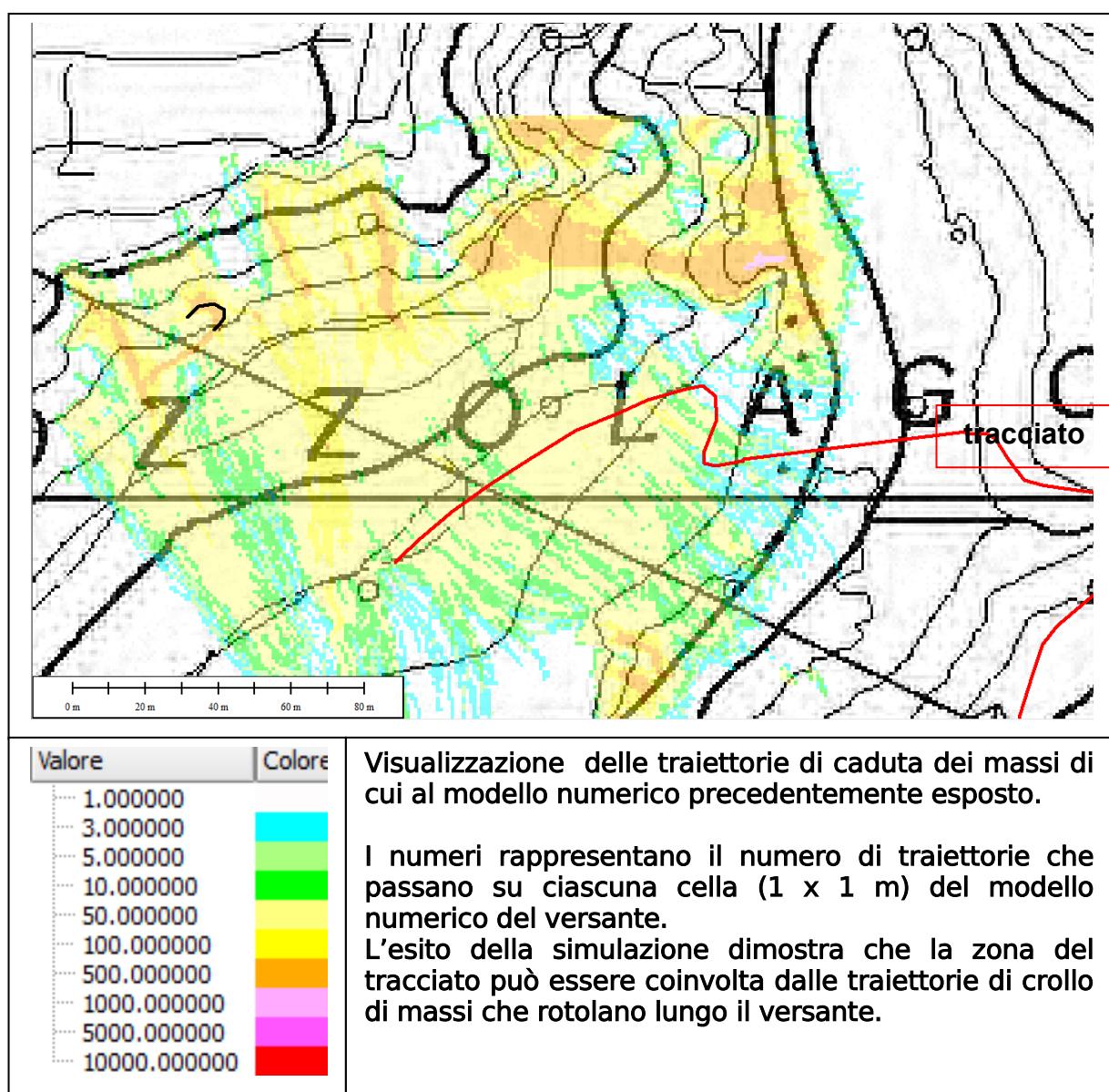


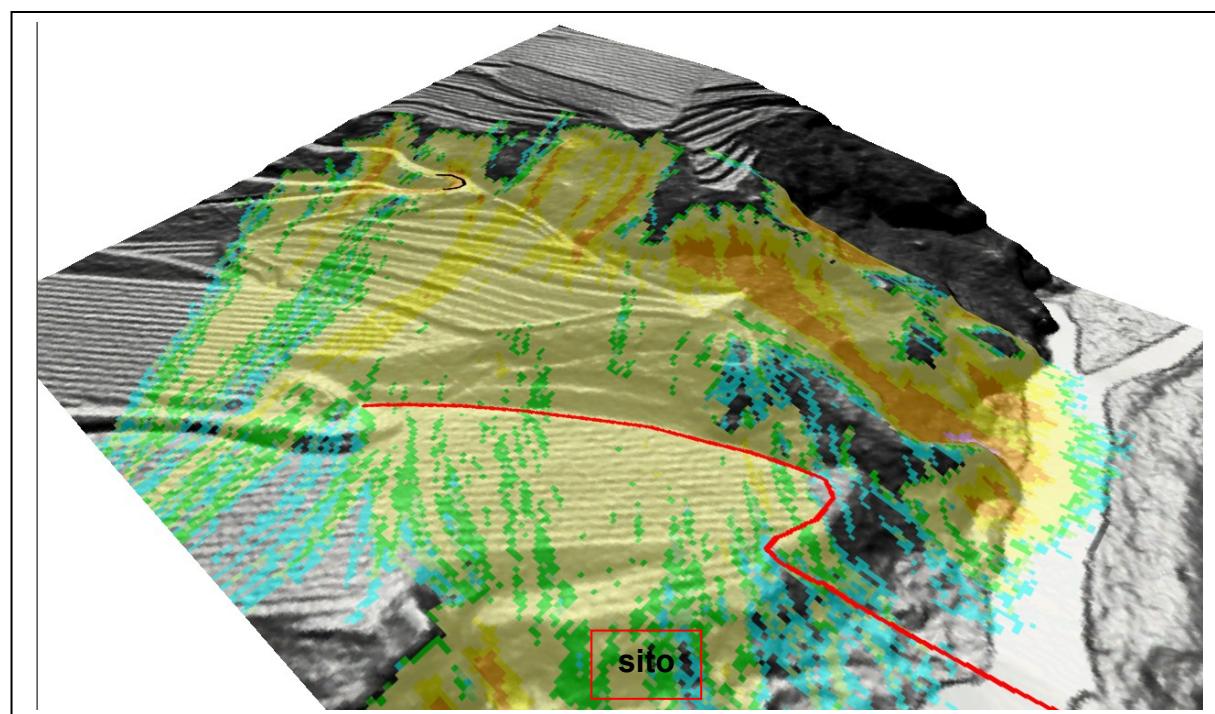
Prima di passare al commento dei risultati si vuole ricordare ancora che le simulazioni hanno comportato il "lancio" virtuale di un numero notevolissimo di massi, 10 da ogni 1 m<sup>2</sup> di versante di interesse dal quale può effettivamente innescarsi il rotolamento.

Ciò comporta che questi calcoli simulano degli eventi che possono sì accadere sul versante ma non in un singolo istante, bensì in un periodo di tempo non quantificabile, ma comunque molto elevato.

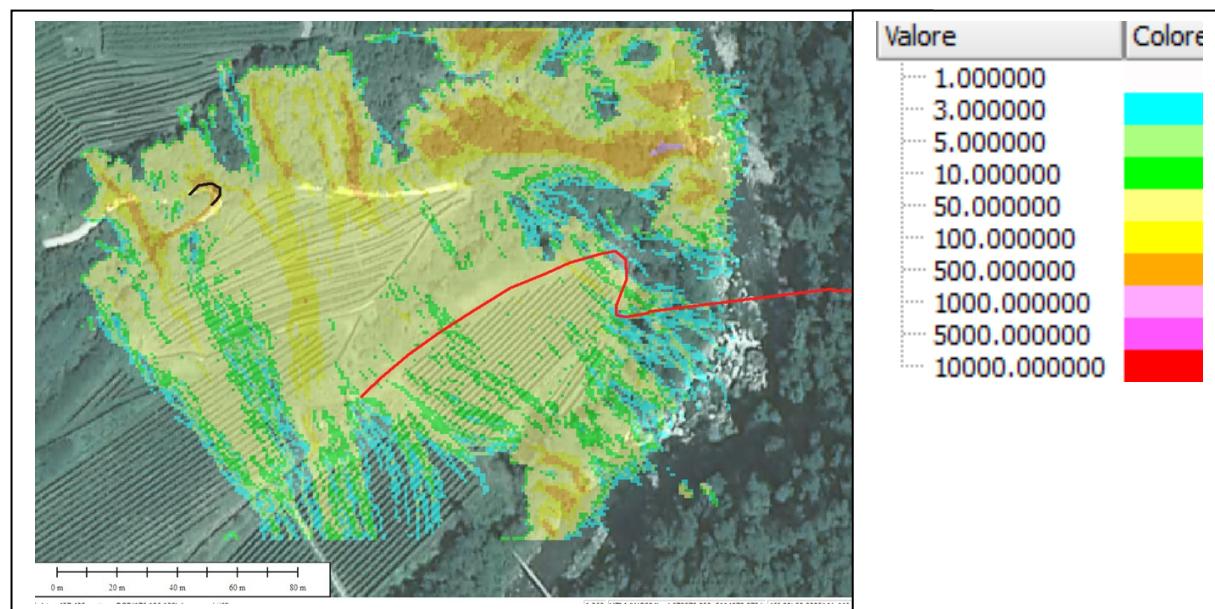
Appare pertanto una situazione di pericolo, che ancorchè reale (basta un singolo masso per determinare il pericolo), risulta enfatizzata.

A seguire si riportano degli elaborati grafici che illustrano le caratteristiche delle traiettorie dei massi simulati.



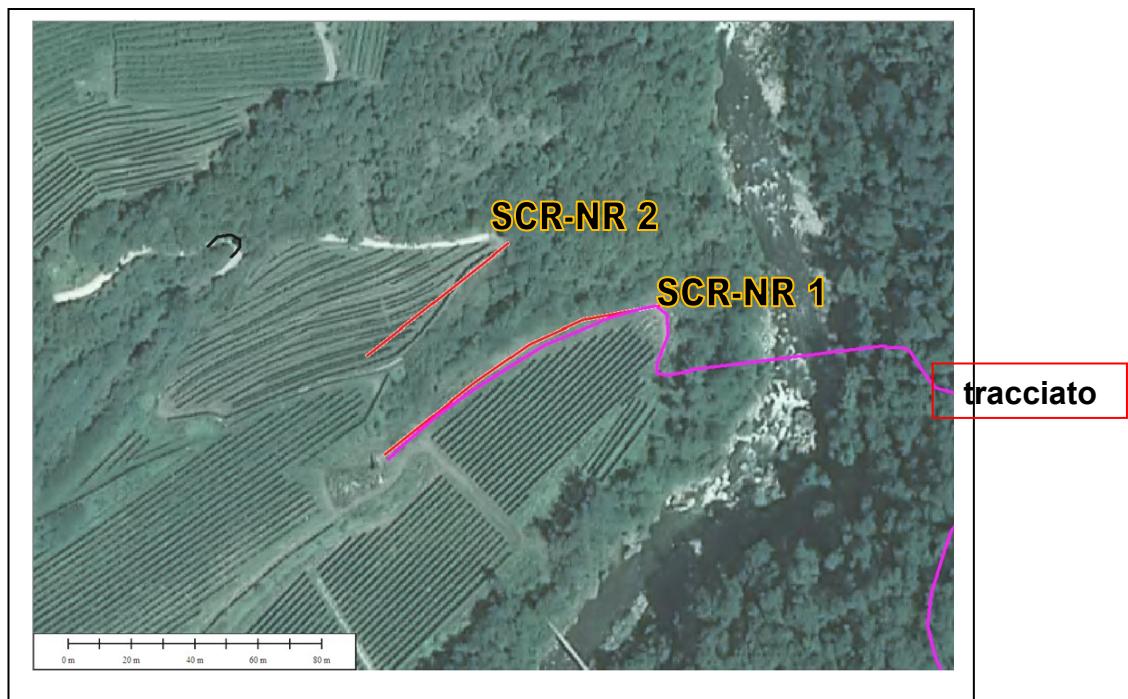


A seguire è la visualizzazione delle traiettorie di caduta sovrapposte all'ortofoto del sito.





Per quantificare numericamente la pericolosità, si sono simulate delle barriere paramassi virtuali (definite SCR NR – screen number) poste in corrispondenza della strada che scende il versante (screen nr 2) ed in corrispondenza del tracciato in progetto (screen nr 1).



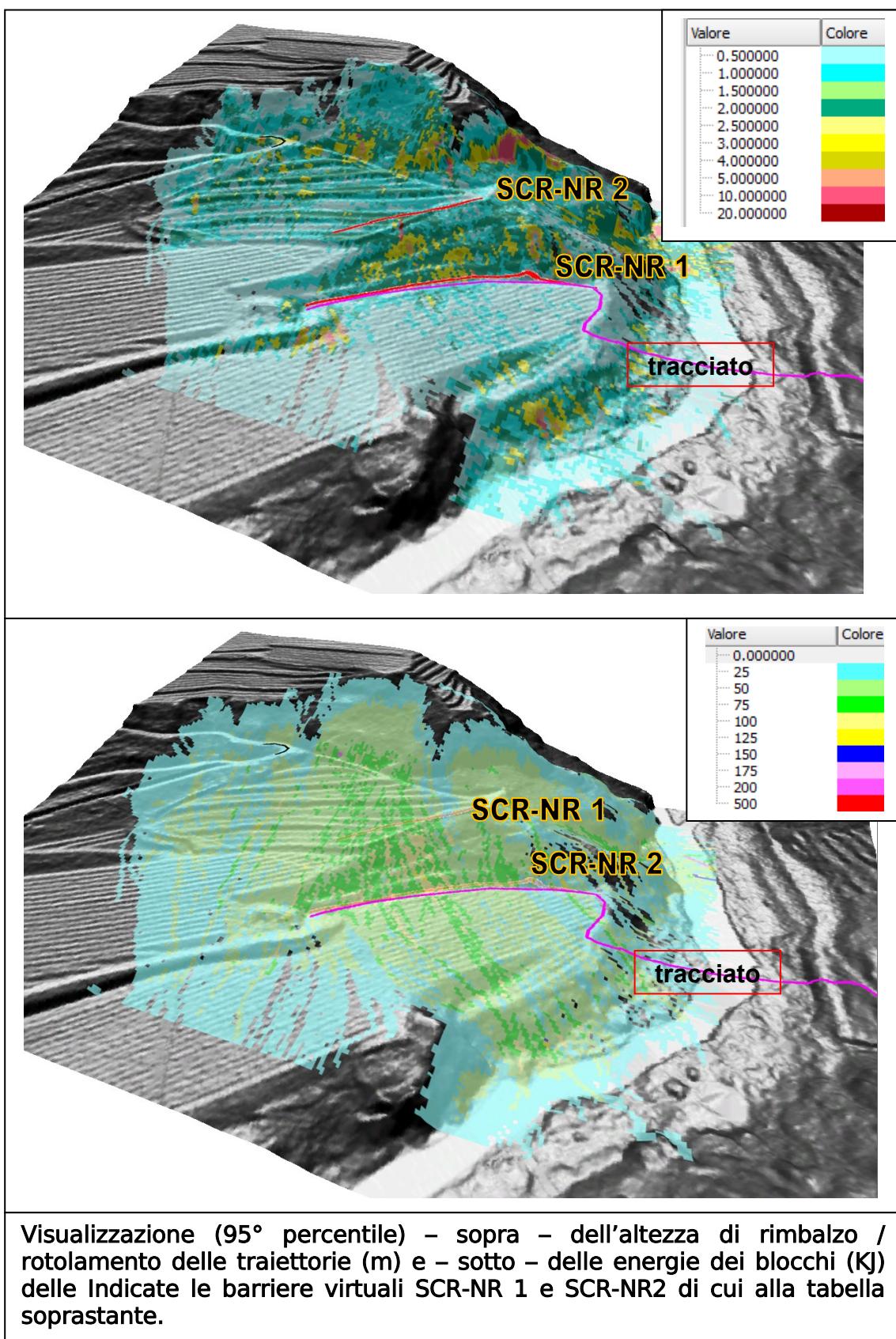
Si riportano, per tutte e due le barriere virtuali indicate, le caratteristiche cinematiche delle traiettorie dei massi lasciati rotolare dal pendio.

Rockyfor3D_v5.2.6_CalC_SCR_11-6-2021_18h01.txt - Blocco note di Windows															-
scr_nr	n	E_50	E_90	E_95	E_98	Ph_50	Ph_90	Ph_95	Ph_98	V_50	V_95	Vrot_50	Vrot_95	Imp_a50	Imp_a'
1	1379	13.0	39.0	50.0	63.0	0.3	0.6	1.0	1.5	8.0	15.8	30.7	54.7	-37.5	-3
2	1017	14.1	35.1	46.1	56.1	0.3	0.8	1.0	1.3	8.7	14.8	31.5	53.5	-32.5	-19
Output rasters (for explanation see also: <a href="http://www.ecorisq.org/docs/Rockyfor3D.pdf">www.ecorisq.org/docs/Rockyfor3D.pdf</a> , chapter 4)															
- E_mean.asc: mean kinetic energy (Etrans + Erot) per raster cell [kJ]															
- E_95.asc: 95% CL of the kinetic energy values per raster cell [kJ]															
- Ph_mean.asc: mean normal passage height per raster cell [m]															
- Ph_95.asc: 95% CL of the normal passage heights per raster cell [m]															
- Nr_passages.asc: number of blocks passed through each raster cell [-]															
- Nr_sourcecells.asc: number of source cells the simulated blocks originated from per raster cell [-]															
- Reach_probability.asc: (Nr_passages*100)/(Nr_sourcecells*Nr_simulations_per_source_cell) [%]															
- Nr_deposited.asc: 1 number of blocks stopped in each raster cell [-]															
- Rvol_deposit.asc: maximum block volume stopped in each raster cell [m³]															
- Traj_time.asc: minimum time needed to reach a raster cell from the defined source areas [s]															
- V_max.asc: absolute maximum simulated velocity per raster cell (m/s)															
- EL_angles.asc: minimum recalculated Energy Line angle in each raster cell [°]															

I vari suffissi (50, 90, 95, 98) indicano i percentili: cioè, ad esempio, E 50 è l'energia del 50% dei massi, Ph 95 è l'altezza del 95% dei massi, ecc.



Si riportano comunque le visualizzazioni della distribuzione delle energie cinematiche totali delle traiettorie e le altezze delle stesse: per entrambe le tipologie di visualizzazione si riporta, come da normativa UNI 11211-4 “Opere di difesa dalla caduta massi” il riferimento al 95 percentile.



**- Massimi effetti prevedibili:**

Gli effetti massimi prevedibili causati dal processo di crollo sono l'arrivo di massi sulla viabilità: il danno, piuttosto che alla sede stradale, è ovviamente riferito agli utenti della stessa, con conseguenze prevedibili non accettabili.

**- Definizione della vulnerabilità di quanto si intende realizzare:**

Le conseguenze dell'impatto di massi dotati delle caratteristiche cinematiche precedentemente esposte non sono gravi nei riguardi delle opere in progetto, mentre sono del tutto inaccettabili per le persone e veicoli utenti della viabilità.

**- Definizione delle opere di messa in sicurezza:**

Il progetto, poiché si era già identificata questa tipologia di criticità, ha già previsto l'adozione di opere di mitigazione della pericolosità: sono infatti già in conto degli interventi attivi di ricognizione e disgaggio sul versante ed anche degli interventi passivi di protezione, quali la costruzione di un muretto con rete metallica.

Circa il dimensionamento di tali opere si richiama ancora alla metodologia prevista dalle norme UNI 11211-4 "Opere di difesa dalla caduta massi".

## 5.3.2.2

## Verifiche

Le barriere devono essere verificate alla stato limite ultimo (MEL); in presenza di impatti multipli o ripetuti, si deve eseguire anche la verifica allo stato limite di esercizio (SEL).

Nel caso di una verifica agli stati limite ultimi (approccio MEL) occorre applicare adeguati coefficienti di sicurezza sia ai valori caratteristici delle azioni, calcolati mediante l'analisi delle traiettorie, sia al valore della resistenza energetica della barriera in rapporto alla classe di livello energetico adottata.

Nel caso di una verifica agli stati limite di esercizio (approccio SEL) occorre applicare adeguati coefficienti di sicurezza alle azioni, mentre le resistenze devono essere considerate con i valori della classe di livello energetico adottata<sup>6)</sup>. Lo stato limite di esercizio è il massimo livello di energia ammissibile per cui la barriera mantiene la sua funzionalità anche dopo un primo urto.

Quanto detto sopra è espresso dalla seguente relazione:

$$(E_{Sd} < E_{barriera} / \gamma_E) \quad (5)$$

dove:

$E_{Sd}$  è l'energia cinetica sollecitante di progetto;

$E_{barriera}$  è il valore energetico MEL o SEL;

$\gamma_E$  è il coefficiente di sicurezza da applicare ai valori energetici MEL e SEL;

il valore di  $\gamma_E$  è posto pari a:

= 1,20 nel caso di approccio al livello energetico MEL,

= 1,00 nel caso di approccio al livello energetico SEL<sup>7)</sup>.

Per casi specifici di progetti al MEL, in cui per motivi morfologici sia necessario installare barriere paramassi di sole 1 o 2 campate, è necessario adottare una delle due soluzioni seguenti:

- applicare comunque  $\gamma_E = 1,2$  e ricorrere a due stendimenti paralleli;
- applicare il coefficiente  $\gamma_E = 2,00$ .

6) Secondo le prescrizioni delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" attualmente in vigore: "D.M. 14 gennaio 2008". Vedere inoltre punto 2.4.3.2 dell'ETAG 027 "Falling rock protections kits".

7) Secondo le prescrizioni delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" attualmente in vigore: "D.M. 14 gennaio 2008". Vedere inoltre punto 2.4.3.2 dell'ETAG 027 "Falling rock protections kits".



In corrispondenza della barriera virtuale screen- nr 1 (qui considerata nella sua interezza, ma si potrà anche differenziare l'intervento su più tratte omogenee) il dimensionamento risulta che l'opera paramassi di difesa dovrà avere i seguenti requisiti minimi: altezza:  $H \geq 1.5$  m, energia:  $MEL \geq 80$  kJ.

#### - Cronoprogramma opere:

Le opere di compatibilizzazione riferite a questa componente della pericolosità sono già previste dal progetto: la realizzazione dei lavori in progetto sarà pertanto contestuale alla messa in sicurezza.

Essendo la stessa pista del cantiere ad essere soggetta a questa tipologia di pericolosità è da mettersi in conto di intervenire a contrasto del pericolo da crollo già nelle fasi iniziali dei lavori, in modo che le operazioni di cantiere possano avvenire in sicurezza.

Questa raccomandazione potrà trovare particolar applicazione agli interventi di riconoscimento sul versante con il disgaggio delle situazioni di maggior criticità e pericolosità.

#### - Conclusioni:

Si è riconosciuto come nelle zone classificate a pericolosità da crollo siano effettivamente possibili fenomeni di rotolamento: poichè tale circostanza era stata riconosciuta già in fase preliminare di indagine geologica, il progetto ha già previsto delle opere a contrasto di tale pericolosità.

il settore di tracciato interessato ha uno sviluppo di circa 100 m e dovrà essere interessato da operazioni di verifica sul pendio per eliminare le situazioni più evidenti a cui seguirà la posa di una rete paramassi avente un dimensionamento minimo di altezza =  $H \geq 1.5$  m, e di energia di assorbimento =  $MEL \geq 80$  kJ.

San Cristoforo, novembre 2021

Studio Geologico Associato GeoAlp  
dott. geol. Icilio Vigna

