

G.M.C Spa

Via Fossone Basso, 8 - 19034 Luni (SP)



**CAVA 37 – FOSSAGRANDE – BACINO di TORANO
COMUNE DI CARRARA**

**OTTEMPERANZA A 1) PRESCRIZIONI DI CUI
ALL'AUTORIZZAZIONE ALLA COLTIVAZIONE CAVA n.37 FOSSA
GRANDE DD. n.20 DEL 19/02/2015 2) ORDINANZA
DIRIGENZIALE n.810 DEL 13/09/2022 E STUDIO DI CUI ALL'ART.
32 NTA PABE BACINO DI TORANO SCHEDA n.15 CARRARA**



Novembre 2022

Dott. Geol. Emanuele Sirgiovanni
Ordine Geologi Toscana n°654

PhD Geol. Luca Vaselli
Ordine Geologi Toscana n°1714

La Ditta
G.M.C. spa
Il Legale Rappresentante

<u>1 - Premessa</u>	<i>pag. 3</i>
<u>2 – Stato attuale</u>	<i>pag. 4</i>
<u>3 – Indagini geofisiche e ricostruzione geologico-stratigrafica</u>	<i>pag. 7</i>
<u>4 – Caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti</u>	<i>pag. 8</i>
<u>5 – Verifiche di stabilità, metodologie e normativa di riferimento</u>	<i>pag. 11</i>
<u>6 – Verifiche allo stato attuale</u>	<i>pag. 18</i>
<u>7 – Indicazioni di progetto</u>	<i>pag. 31</i>
<u>8 – Verifiche allo stato di progetto</u>	<i>pag. 34</i>
<u>9 – Manutenzione delle opere</u>	<i>pag. 42</i>
<u>10 - Conclusioni</u>	<i>pag. 42</i>
<u>Tavole e allegati fuori testo</u>	
<u>Tav. n°1 – Stato attuale (Inq. Edoardo Remedi)</u>	
<u>Tav. n°2 – Inquadramento generale Ravaneto Ravalunga, planimetria e sezioni</u>	
<u>Tav. n° 3 – Interventi di riassetto idrogeologico, planimetria e sezioni</u>	
<u>All. n°1 - Indagini geofisiche (Relazione specialistica P3 snc)</u>	
<u>All. n°2 - Tabulati verifiche stabilità</u>	

1 - Premessa

La società G.M.C. Spa, concessionaria da molti anni dell'agro marmifero all'interno del quale è ubicata Cava 37 Fossagrande, all'interno del bacino estrattivo di Torano, in Comune di Carrara (cfr. Tav. 1), ha la necessità di valutare le condizioni geomorfologiche e idrogeologiche del "ravaneto" denominato Ravalunga per una serie di motivi che si seguito si esplicitano.

- 1) La società GMC Spa è stata oggetto dell'ORDINANZA DIRIGENZIALE N° 810 DEL 13/09/2022 DEL SETTORE Servizi Ambientali / Marmo U.O. Gestione cave, che, tra le altre cose, ordinava

La sospensione dello scarico nel Ravaneto R1;

La presentazione di una verifica di stabilità del ravaneto R1 entro 60 giorni dal ricevimento della presente;

La presentazione, nel caso si rendesse necessario, di un eventuale progetto di messa in sicurezza del ravaneto R1 entro 60 giorni dalla presentazione della verifica di stabilità di cui al punto precedente;

- 2) La società GMC Spa è titolare di autorizzazione all'escavazione di cui alla Determinazione Dirigenziale n°20 del 19/2/2015, attualmente in regime di proroga, che, tra le varie prescrizioni, riportava la necessità di predisporre un piano congiunto con la confinante cava 36 "Rutola" per la gestione del ravaneto posto a Ovest del tratto finale della strada di arroccamento (ravaneto Ravalunga).
- 3) Le NTA del PABE relativo al Bacino di Torano, all'interno del quale ricade l'area in parola, prevedono, all'art. 32 quanto riportato di seguito, estratto direttamente dalle suddette NTA

Art. 32 Ravaneti a pericolosità geomorfologica

1. I titolari di autorizzazione all'escavazione che hanno nella propria disponibilità ravaneti che insistono in aree definite a "Pericolosità geologica elevata e molto elevata" nelle Tavole del Q.P. devono presentare all'Amministrazione comunale un apposito studio sulla stabilità dei ravaneti e gli eventuali progetti di messa in sicurezza e, nel caso di ravaneti classificati R1, di risistemazione ambientale entro ventiquattro mesi dall'entrata in vigore del PABE.

Lo studio che la presente relazione illustra ed accompagna, pertanto, è finalizzato a rispondere a tutte tre le esigenze sopra riportate.

Come meglio illustrato nel seguito, lo studio si è articolato su una serie di rilievi di campagna, siano essi topografici che geomorfologici, di osservazioni e valutazioni, di indagini geofisiche appositamente eseguite in sito e di verifiche e calcoli di stabilità.

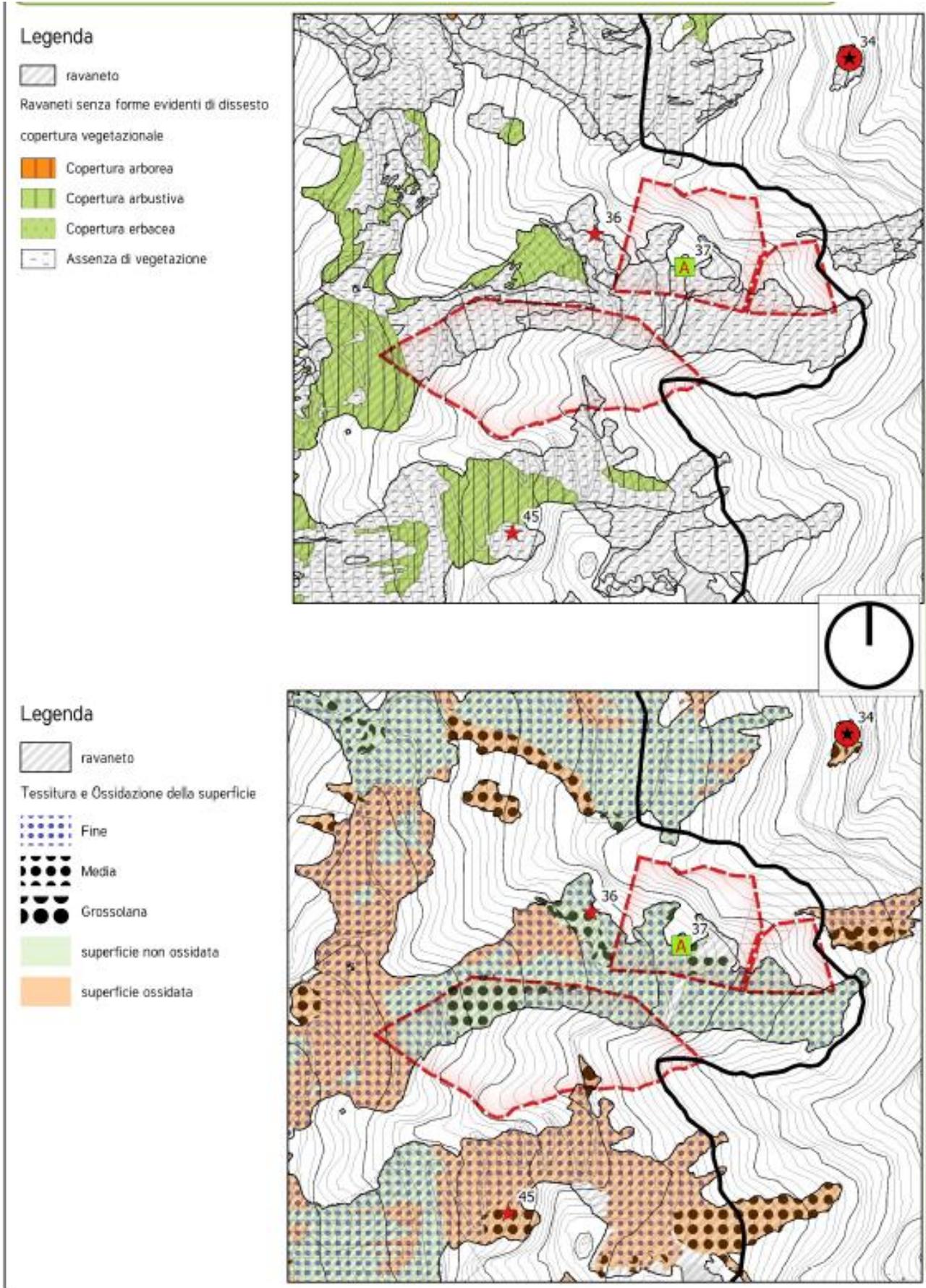
2 – Stato Attuale

Lo stato attuale del ravaneto Ravalunga è stato rilevato dall'Ing. Edoardo Remedi mediante drone topografico con "appoggio" di punti a terra. All'interno della Tav. n°1 è riportata la relativa restituzione grafica.

Sulla base del rilievo topografico sono state elaborate una serie di sezioni, ritenute significative sia per le successive valutazioni di stabilità che per la ricostruzione geologico-stratigrafica dell'area.

Nei quadri A-B-C-D-E riportati in Tav. n°2 sono illustrate le principali caratteristiche del ravaneto oggetto di studio, sia per quanto riguarda sovrapposizione con aree in disponibilità alla cava/demanio idrico/reticolo idrografico LR 79/2012 (quadro A), aree a pericolosità geomorfologica ai sensi del PABE BACINO DI TORANO SCHEDA n.15 CARRARA e Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale (quadro B), sia per quanto riguarda estensione, pendenze, spessori del deposito detritico, caratteristiche del deflusso idrico superficiale, presenza di strade di arroccamento e/o opere di contenimento (quadro C-D-E). Come evidenziato nel quadro B di TAV. 2 gran parte del ravaneto oggetto di studio coincide con aree perimetrate a pericolosità geomorfologica elevata e molto elevata.

Il ravaneto in parola può essere inquadrato anche in base a quanto riferito nel quadro conoscitivo del PABE del Bacino di Torano, che riporta le due cartografie di seguito, relative alla presenza di evidenti dissesti, allo stato della copertura vegetazionale, alla tessitura e al grado di ossidazione superficiale.



Dall'esame delle due cartografie risulta l'assenza di fenomeni evidenti di dissesto, la parziale copertura vegetazionale di tipo erbaceo/arbustivo nella porzione Nord del ravaneto Ravalunga e di tipo arbustivo in corrispondenza del settore Ovest. Le stesse aree interessate da copertura vegetazionale sono contraddistinte da superfici ossidate, mentre la tessitura è di natura mista, con prevalenza di "fine".

In particolare si evidenzia che sul ravaneto oggetto del presente studio (Ravaneto Ravaluga) non sono state osservate opere di contenimento realizzate tramite bastioni in blocchi di marmo. L'unica opera presente è rappresentata dalla riesta in materiale detritico di altezza variabile tra 1.5 e 2.0 m realizzata lungo lato valle del tratto della strada di arroccamento esistente compreso tra i due tornanti di quota 739 e 753.2 m. Tale opera ha funzione di contenimento acque AMD e difesa da eventuali rotolamenti di materiale detritico verso valle.

Per quanto riguarda il Ravaneto Fossagrande invece è stata osservata la presenza in corrispondenza del lato monte della strada di arroccamento sul ravaneto e relative diramazioni verso la cava di alcuni bastioni in blocchi di marmo realizzati da una singola fila o dalla sovrapposizione di n.2 file di blocchi di marmo (e quindi opera di altezza inferiore a 2.5 m) la cui funzione è soltanto quella di sostenere localmente il piede dell'accumulo detritico e non svolge quindi azione di contenimento/sostegno del ravaneto.

Nella Tav. n°2 (Quadro C) è stato anche ricostruito, con l'ausilio della cartografia di dettaglio, dell'ortofoto aggiornata e delle osservazioni effettuate direttamente in sito, l'andamento effettivo del reticolo idrografico, con particolare riferimento al Fosso di Ravalunga, che si è potuto constatare che corre accostato alla parete rocciosa che delimita verso Sud il ravaneto in oggetto. Sono state, inoltre, tracciate le principali linee di flusso delle acque superficiali lungo il versante; il loro andamento è, al momento attuale, piuttosto incontrollato e diffuso e ha provocato locali fenomeni di erosione. Si è, infine, constatata la presenza di un asse di deflusso concentrato in corrispondenza del settore Nord del ravaneto, in corrispondenza del limite della porzione di ravaneto interessata da copertura vegetazionale.

3 – Indagini geofisiche e ricostruzione geologico-stratigrafica

Per poter condurre le opportune verifiche di stabilità di qualsiasi versante è di assoluta importanza ricostruire l'assetto stratigrafico dello stesso; nel caso specifico, l'obiettivo della campagna di indagini geognostiche svolta è stato quello di valutare gli spessori di materiale detritico che poggiano sul substrato roccioso (substrato roccioso costituito dalla Fm. dei Marmi dell'unità tettonica delle Alpi Apuane).

A tale scopo sono state svolte una serie di indagini geofisiche consistenti nella realizzazione di alcune linee MASW, associate a una serie di misurazioni HVSr.

L'ubicazione delle stazioni di misura HVSr e delle stese sismiche MASW è riportata nel quadro D di TAV.2.

Le linee MASW, eseguite laddove è stato logisticamente possibile collocarle, sono state utili per la definizione del profilo verticale di velocità delle onde sismiche di taglio V_s , con particolare riferimento alle velocità che caratterizzano la copertura detritica; le misurazioni HVSr, eseguite quanto più diffusamente possibile sul versante, compatibilmente con l'accessibilità in sicurezza allo stesso, hanno avuto lo scopo di consentire una stima indiretta degli spessori di detrito presenti, in base ai picchi frequenza registrati.

Per i dettagli relativi alla metodologia di indagine, alla strumentazione utilizzata e ai risultati ottenuti, si rimanda all'elaborato allegato (ALLEGATO 1), curato dalla società specializzata P3 snc di Pisa, che si è occupata di svolgere ed elaborare le indagini geofisiche.

Come sopra riferito, gli esiti delle indagini geofisiche sono stati utilizzati per la ricostruzione dell'assetto geometrico del ravaneto in esame. Detta ricostruzione è sintetizzata in una serie di sezioni sia longitudinali che trasversali che sono state elaborate non solo sulla base dei dati ricavati dalle indagini geofisiche condotte, ma anche in considerazione delle evidenze geologiche e dell'assetto geomorfologico del sito.

Nell'ambito della ricostruzione di cui sopra, si sono rivelate di particolare utilità e di interesse le sezioni trasversali, che possono appoggiarsi al dato certo e visibile, rappresentato dagli affioramenti rocciosi; l'andamento della superficie di contatto tra i materiali detritici costituenti il ravaneto ed il substrato geologico ricostruito lungo le sezioni trasversali ha quindi consentito di valutare l'entità delle variazioni laterali dello spessore dei depositi e di estrapolare il dato relativo allo spessore del deposito anche sulle sezioni longitudinali non allineate con i punti di misurazione HVSR o non passanti attraverso le stese sismiche MASW.

Le sezioni geologico-tecniche descrittive dell'assetto geometrico tridimensionale del ravaneto oggetto di studio sono riportate nel quadro E di TAV.2.

4 – Caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti

Come ben noto, il materiale costituente il deposito detritico che forma il ravaneto è piuttosto eterogeneo in termini di granulometria, in considerazione delle modalità con cui si è formato e messo in posto.

Il materiale che forma il ravaneto in parola, come molti altri presenti nei pressi dei bacini estrattivi apuani, sulla base della nomenclatura proposta da *Baroni et al.*, è formato dalle seguenti tipologie:

- *informi*: blocchi con dimensioni minime superiori ai 50 cm, non utilizzabili a scopi commerciali per la forma irregolare;
- *pezzame*: clasti con dimensioni variabili dai 30 ai 50cm;
- *sassi*: clasti di dimensione variabile tra i 10 e 30cm;
- *fine*: clasti di dimensione inferiori ai 10 cm;
- *terre*: elementi con dimensioni dalle argille alle ghiaie.

Esistono diversi approcci per la definizione dei valori di resistenza che può offrire un materiale come quello che forma il ravaneto in parola; nell'ambito del presente studio sono stati valutati e applicati vari metodi presenti in letteratura, sono state effettuate analisi di carattere strettamente geomorfologico e geometrico e, infine, sono state condotte valutazioni in *back-analysis*.

Tra gli approcci teorici si è ritenuto di riferirsi a quello che indica l'accumulo detritico che forma il ravaneto come un assemblaggio di particelle e clasti di varia

pezzatura fino ai blocchi metrici, che manifesta un comportamento variabile, riconducibile a quello di un rockfill, cioè di un ammasso di materiale incoerente di granulometria controllata, utilizzato, per esempio, per la costruzione dei paramenti delle dighe in terra. Come riportato ampiamente nella letteratura scientifica i rockfill hanno risposta meccanica paragonabile a quella di un giunto in roccia.

Come noto (*Leps, 1970; Marsal, 1973; Barton & Kjaernsli, 1981; Linero & Palma, 2006; Barton, 2008*) gli accumuli detritici derivanti dalla lavorazione dei materiali lapidei mostrano una resistenza al taglio che a parità di ogni altra condizione (densità relativa, dimensioni dei clasti, distribuzione granulometrica e forma dei clasti) varia in funzione del livello tensionale normale σ_n .

Secondo Barton & Kjaernsli (1981), in uno stesso accumulo detritico l'angolo di attrito ϕ può variare fra 35° e 60°, in relazione allo spessore dell'accumulo stesso lungo la sezione considerata.

I risultati di prove triassiali su tali materiali sono caratterizzati da involucri di rottura non-lineari, esprimibili attraverso una relazione generale del tipo:

$$\tau = A \cdot \sigma_n^B \quad (\text{Eq.1})$$

dove i termini A e B sono delle costanti caratteristiche del materiale e σ_n è la tensione normale sul piano di rottura.

Tramite l'Eq.1 è possibile calcolare i valori dell'angolo di attrito istantaneo ϕ^* per un determinato livello tensionale attraverso la seguente formula:

$$\phi^* = \arctg \cdot A \cdot B \cdot \sigma_n^{B-1} \quad (\text{Eq.2})$$

Per tali materiali il valore dell'angolo di attrito istantaneo ϕ^* diminuisce all'aumentare di σ_n , ovvero, all'aumentare dello spessore del deposito.

Come suggerito da Panei et al., (2000), il valore di ϕ^* ricavato dall'Eq.2 può essere impiegato nei calcoli che vengono solitamente effettuati nelle verifiche di stabilità dei pendii.

In particolare, è possibile affrontare il problema della stabilità di tali corpi detritici utilizzando un approccio semplificato che prevede di assimilare il materiale in questione ad un mezzo continuo di tipo granulare, svolgendo quindi i calcoli mediante l'applicazione di metodi dell'equilibrio limite con l'ulteriore assunzione di un criterio di rottura di tipo lineare.

Panei et al. (2000) hanno effettuato una serie di prove triassiali su campioni di marmo di Carrara ridotti per frantumazione ad un detrito caratterizzato da un passante di circa il 100% a 25 mm di diametro.

L'involuppo di rottura ricostruito tramite tali prove è, anche in questo caso, di tipo non-lineare (vd Eq. 1) e, tenendo conto della sottostima di cui sono affette le misure sperimentali su campioni che hanno subito una riduzione nell'assortimento granulometrico rispetto a quello reale del materiale in situ (effetto scala), può essere descritto dalla seguente relazione (Eq.3):

$$\tau = 4.000 \cdot \sigma^{0.761} \text{ (Eq.3)}$$

L'Eq.3 permette di calcolare un valore incrementato di 5° dell'angolo di attrito mobilizzato. Secondo Marachi et al., (1972) infatti, considerando i rapporti dimensionali degli accumuli detritici e il materiale utilizzato per le prove triassiali, un incremento di 5° dell'angolo di attrito può ritenersi del tutto cautelativo.

Il valore dell'angolo di attrito istantaneo ϕ^* è stato quindi ricavato attraverso l'Eq.2 ponendo i termini A e B, rispettivamente, pari a 4 e 0.761, e considerando uno spessore variabile del corpo detritico che va da pochi metri in corrispondenza dei margini laterali del deposito, come ben illustrato dalla ricostruzione delle sezioni trasversali F e G, fino al valore massimo di circa 18-20 metri nella porzione centrale.

Il dato ottenuto con la metodologia sopra illustrata, dell'ordine dei 40°-42° è stato, poi valutato tenendo conto dell'assetto geometrico e geomorfologico del versante, contraddistinto da settori con pendenze differenti, generalmente più marcate nella porzione di testa del ravaneto e meno accentuate in quella basale.

Inoltre, per tarare con maggiore accuratezza i parametri di resistenza del corpo detritico ricavati, al fine di verificare la loro congruenza rispetto alle condizioni di stabilità effettivamente osservate, sono state effettuate delle simulazioni numeriche in *back-analysis*.

L'analisi congiunta e comparata dei dati disponibili, valutata con l'ausilio delle osservazioni in sito e dei calcoli effettuati porta a indicare come valore di riferimento per la definizione della resistenza al taglio del materiale che costituisce il ravaneto in parola il dato di $\phi = 45^\circ$; a vantaggio di sicurezza, l'eventuale contributo alla resistenza al taglio del materiale fornito da parte della coesione è stato considerato nullo.

5 – Verifiche di stabilità: metodologie e normativa di riferimento

Sulla base della ricostruzione geologico stratigrafica e della parametrizzazione geotecnica riportate ai precedenti paragrafi, sono state impostate le verifiche di stabilità che di seguito si illustrano.

Come si può notare dall'elaborato grafico allegato (vedi Tav. n°2) per il ravaneto Ravalunga sono state prese in considerazione due distinte sezioni: la sezione D, con direzione Est-Ovest che intende rappresentare la porzione alta del ravaneto e la sezione E, con direzione NordEst-SudOvest, che si riferisce alla porzione intermedia e bassa dello stesso ravaneto. Tale scelta è stata dettata dal fatto che, al fine di ottenere una corretta rappresentazione della sezione da sottoporre a verifica di stabilità, la traccia di sezione deve essere ortogonale all'andamento delle curve di livello, per cui è stato necessario adottare due diverse direzioni delle sezioni di verifica, in funzione della diversa orientazione del ravaneto oggetto di studio.

Dalle verifiche è stato escluso il settore Nord del ravaneto, in quanto, come già riportato sopra, tale porzione appare in stato di rinaturalizzazione, con diffusa presenza di vegetazione spontanea; tali evidenze inducono a pensare che la zona Nord del ravaneto Ravalunga, così come perimetrata nella cartografia di cui alla Tav. n°2 sia, sostanzialmente, stabile e, in ogni caso, sconsigliano qualsiasi tipologia di intervento che porterebbe all'interruzione del processo di rinaturalizzazione.

Le verifiche di stabilità, siano esse allo stato attuale che a quello di progetto, sono state eseguite con il software Slope di Geostru (Version: 2022.30.6.1495), con il metodo dell'equilibrio limite.

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri, tra cui quello utilizzato nello specifico caso oggetto del presente studio, a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.).

Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a n , il problema presenta le seguenti incognite:

- n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;
- n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i ;
- $(n-1)$ forze normali E_j agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$ forze tangenziali X_j agenti sull'interfaccia dei conci;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_j ;
- $(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_j ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F .

Complessivamente le incognite sono $(6n-2)$.

Mentre le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n ;
- equazioni relative al criterio di rottura n .

Totale numero di equazioni $4n$.

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a:

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a $(n-2)$ in quanto si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le (n-2) indeterminazioni; nel caso specifico è stato utilizzato il metodo di Bishop

Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

I valori di F e di DX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre DX = 0 ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di Bishop ordinario, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

Il software utilizzato permette di verificare una grande quantità di potenziali superfici di scorrimento; in effetti, in presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso specifico sono state ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne vengono esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia m'n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Tutte le sezioni prese in considerazione sono state verificate, in conformità con la normativa di riferimento rappresentata dalle NTC2018 (vedi § 6.3), assimilando il pendio in questione ad un pendio naturale.

Le verifiche sono state eseguite con riferimento a tre possibili scenari: condizioni statiche, condizioni sismiche e condizioni post sismiche. Nelle condizioni statiche sono stati utilizzati i parametri di resistenza del terreno caratteristici come definiti al precedente paragrafo, nelle condizioni sismiche è stato valutato l'effetto sismico secondo i parametri di seguito riportati e con riferimento alle condizioni SLV; la verifica nello scenario post sismico è stata condotta in condizioni statiche e con i parametri di resistenza del terreno opportunamente ridotti applicando un coefficiente riduttivo pari a 1,1. In tutte le verifiche è stata considerata, a scopo del tutto cautelativo, la presenza di falda acquifera, con un livello posto indicativamente due metri al di sopra del contatto tra detrito soprastante e roccia sottostante. La presenza della falda acquifera è del tutto cautelativa in quanto i depositi detritici che formano il corpo del ravaneto sono caratterizzati da granulometria da grossolana a molto grossolana, pur con presenza di materiale fine di riempimento, ma mai tale da inficiarne la permeabilità che risulta molto elevata. A sua volta, il substrato roccioso su cui poggia il corpo detritico non può ritenersi impermeabile in quanto caratterizzato dalla presenza di numerose fratture che, talora, presentano anche fenomeni di carsismo.

Inoltre, considerata l'elevata inclinazione del pendio e della superficie di contatto tra il detrito e il substrato roccioso, che determina sia un predominante ruscellamento superficiale che un rapido deflusso subsuperficiale verso valle delle acque di infiltrazione, l'eventuale formazione in risalita, a partire dal contatto detrito/roccia di una falda acquifera è fortemente contrastata.

Sulla base di quanto sopra si ritiene del tutto improbabile l'instaurarsi di una falda acquifera all'interno del corpo detritico e pertanto le verifiche sono state condotte nelle condizioni più gravose realisticamente ipotizzabili.

Nelle condizioni sismiche, i parametri dello spettro sono stati calcolati con l'ausilio del software "*Geostru PS parametri sismici*", tenendo conto, come risulta dalle indagini geofisiche eseguite in sito, di una categoria di suolo di tipo B; nella tabella che segue si riporta la sintesi dei parametri utilizzati per le verifiche in condizioni sismiche.

*Parametri sismici**Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii**Sito in esame.*

latitudine: 44,10671
longitudine: 10,14468
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 18488 Lat: 44,0856 Lon: 10,0798 Distanza: 5687,797
Sito 2 ID: 18489 Lat: 44,0876 Lon: 10,1493 Distanza: 2158,508
Sito 3 ID: 18267 Lat: 44,1375 Lon: 10,1466 Distanza: 3430,453
Sito 4 ID: 18266 Lat: 44,1355 Lon: 10,0770 Distanza: 6281,983

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T2
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,051 g
Fo: 2,451
Tc: 0,238 [s]*

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,065 g
Fo: 2,460
Tc: 0,255 [s]*

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,163 g
Fo: 2,395
Tc*: 0,288 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]

ag: 0,209 g
Fo: 2,385
Tc*: 0,293 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,200
Cc: 1,470
St: 1,200
Kh: 0,015
Kv: 0,007
Amax: 0,725
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,200
Cc: 1,450
St: 1,200
Kh: 0,019
Kv: 0,009
Amax: 0,916
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,200
Cc: 1,410
St: 1,200
Kh: 0,056
Kv: 0,028
Amax: 2,302
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,200
Cc: 1,410
St: 1,200
Kh: 0,084
Kv: 0,042
Amax: 2,951
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Coordinate WGS84

latitudine: 44.105751

longitudine: 10.143667

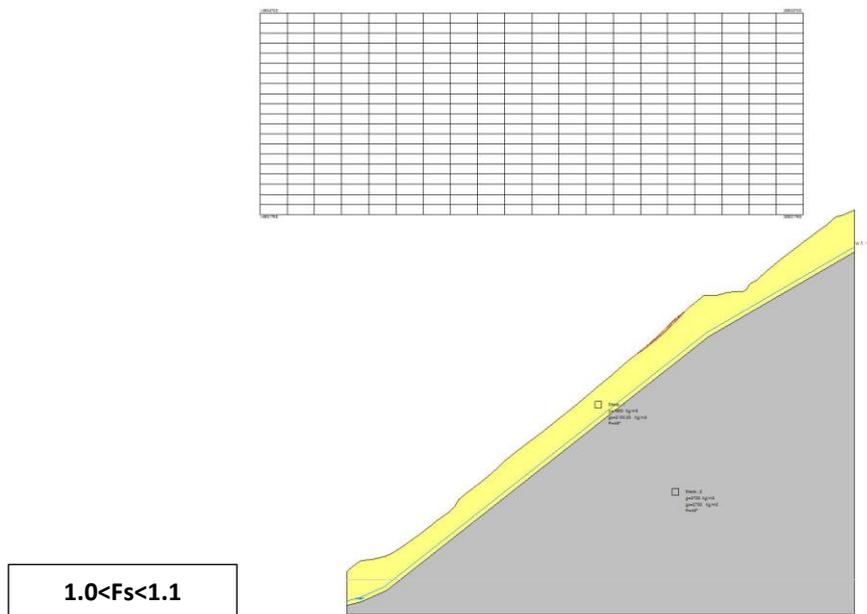
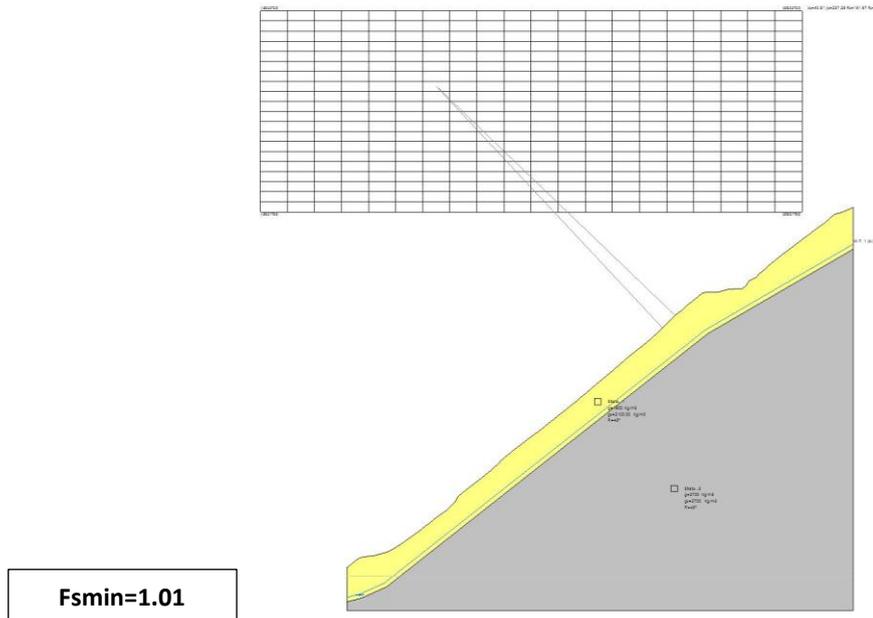
6 – Verifiche allo stato attuale

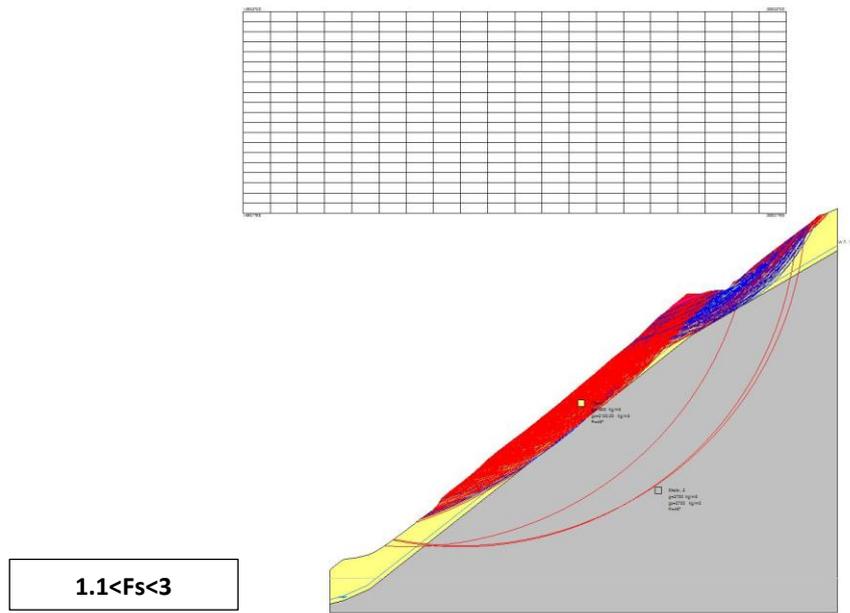
Sulla base dei presupposti sopra descritti sono state effettuate le verifiche dello stato attuale nei tre scenari sopra indicati, tra i quali il più severo risulta quello in condizioni sismiche.

Il software utilizzato consente l'individuazione della superficie di scorrimento con fattore di sicurezza (Fs) minimo e poi di "isolare" i cerchi di scorrimento caratterizzati da prefissati intervalli di valore del fattore di sicurezza; nell'ambito delle varie verifiche effettuate, si è scelto di evidenziare, oltre alla superficie di scorrimento contraddistinta dal valore di Fs minimo, quelle, dove presenti, con $Fs < 1$, quelle con $1 < Fs < 1.1$ e, infine, quelle con $1.1 < Fs < 3$.

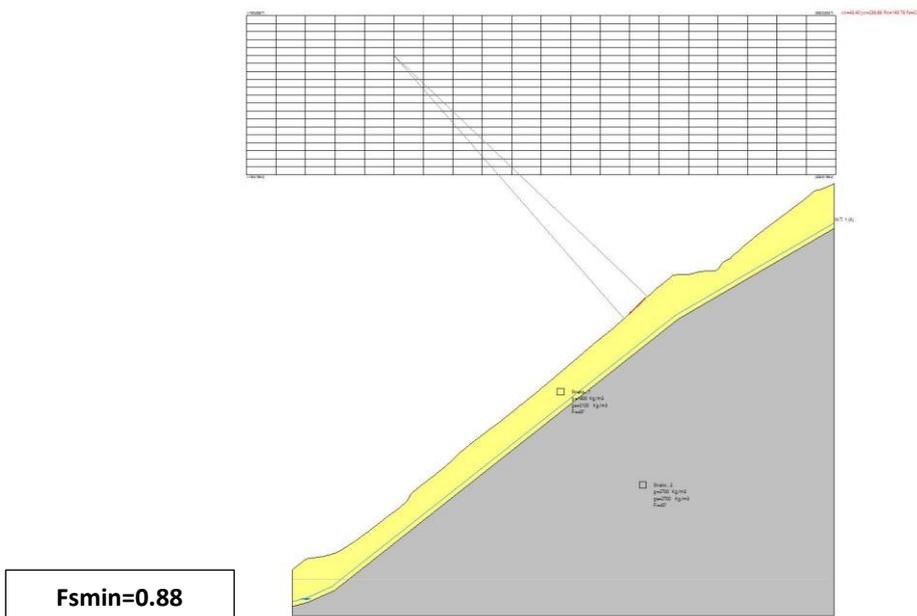
Nelle immagini che seguono sono riportati gli esiti delle verifiche effettuate allo stato attuale sia per la sezione D che per la sezione E, nei tre scenari valutati (statico, sismico e post sisma); si rimanda ai tabulati riportati in allegato per i dettagli del calcolo.

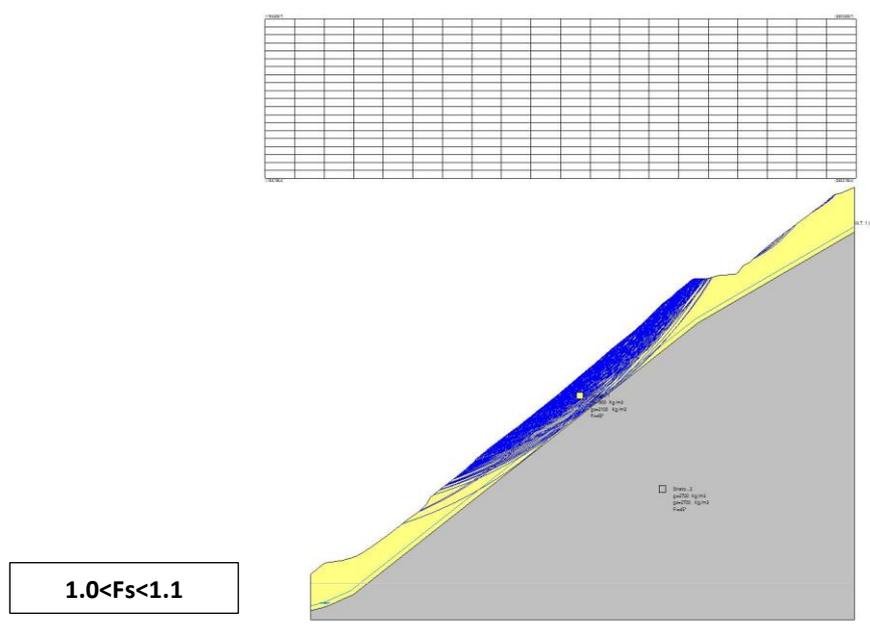
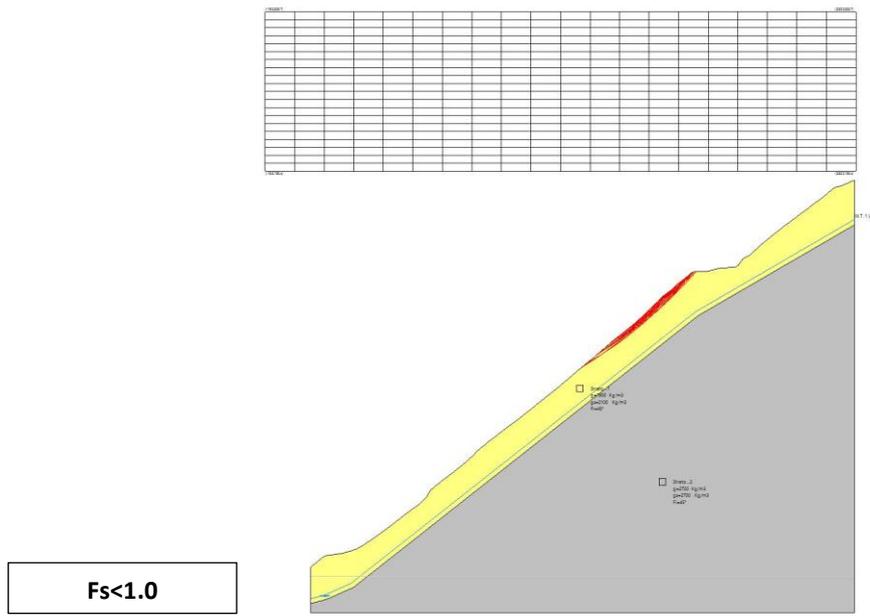
Stato attuale – Sezione D – condizioni statiche

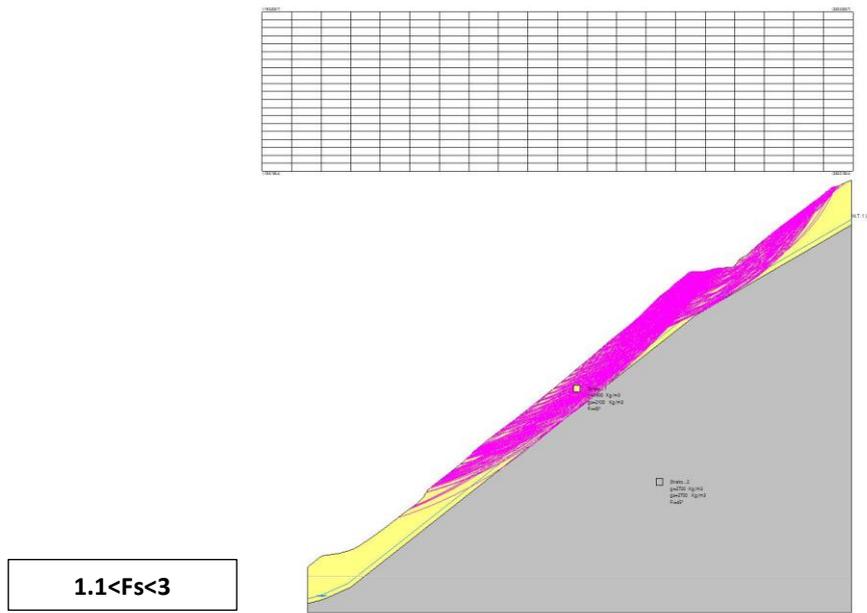




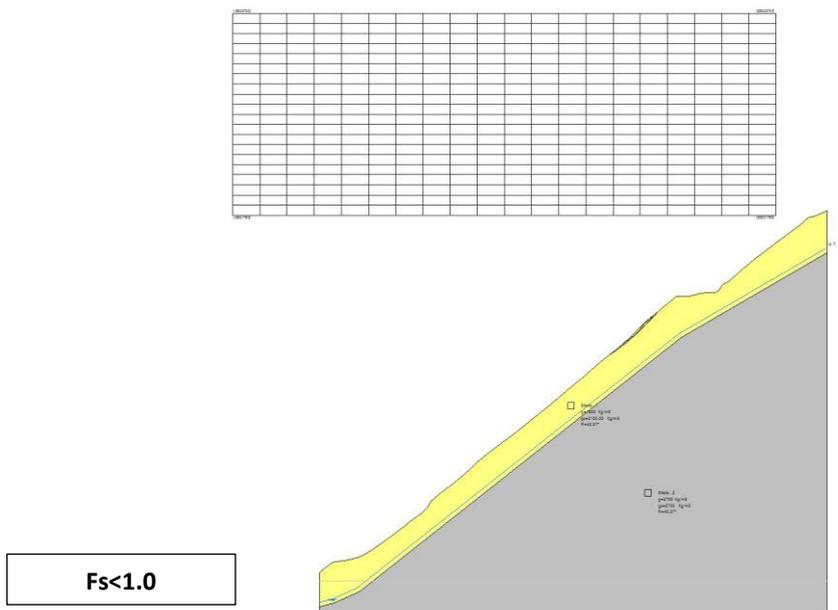
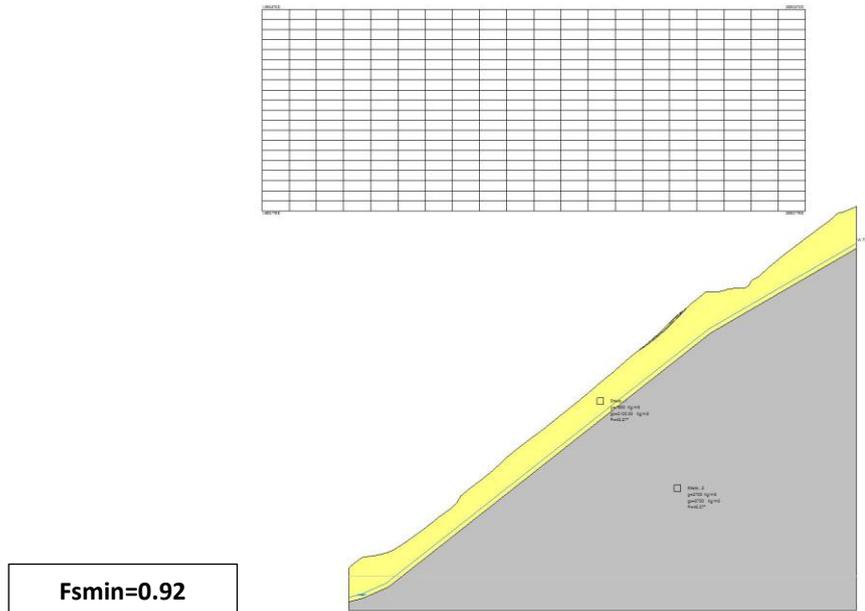
Stato attuale – Sezione D – condizioni sismiche

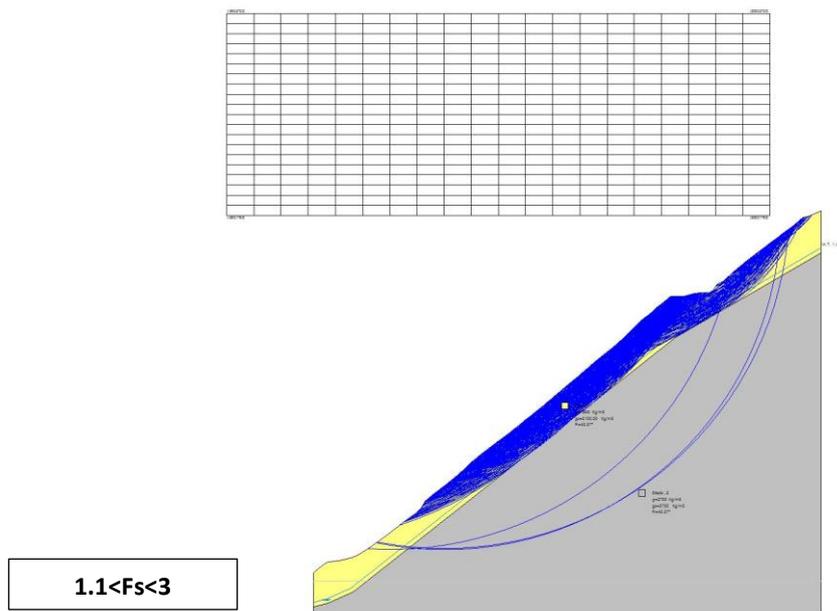
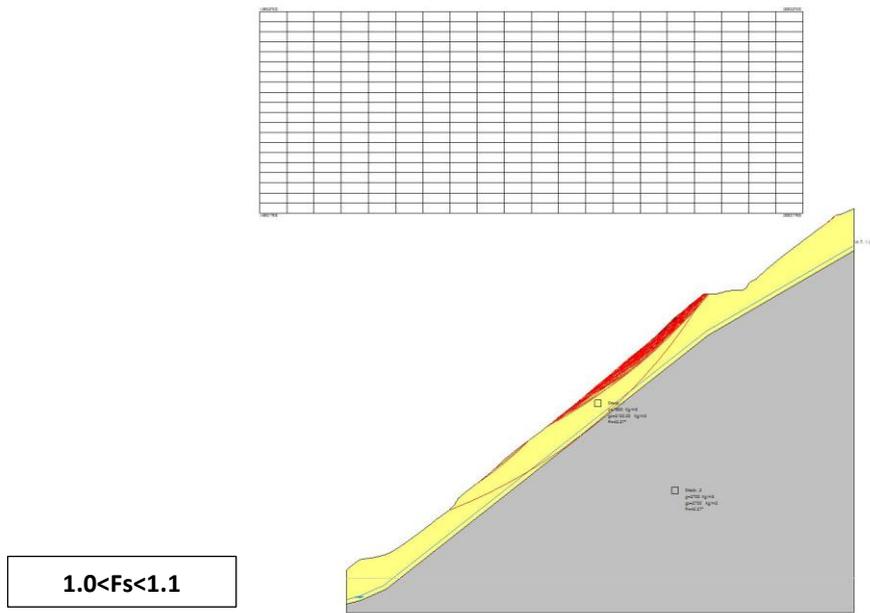




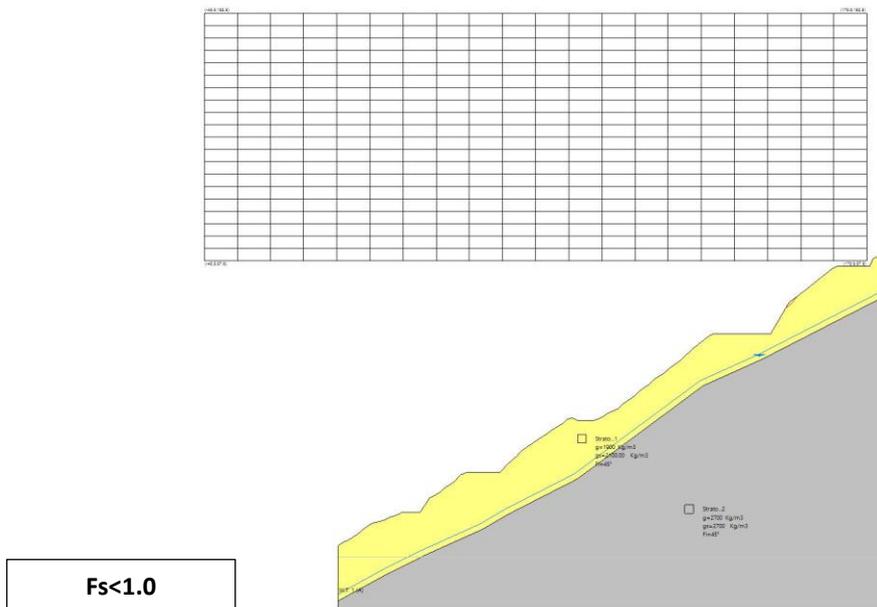
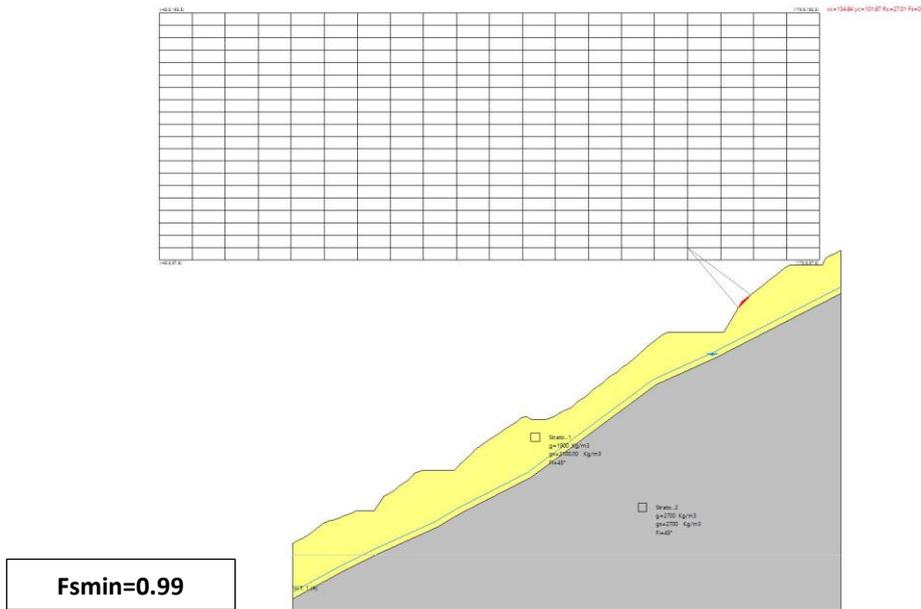


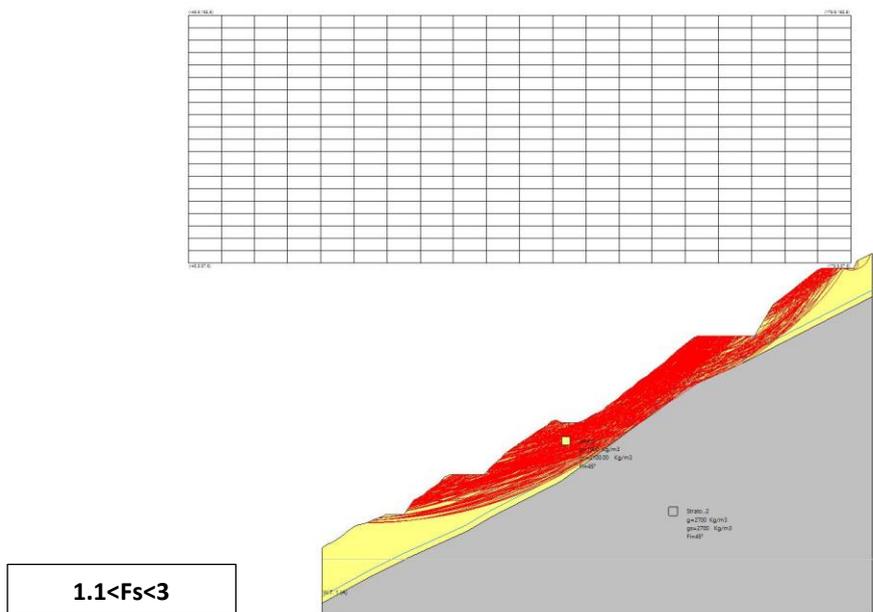
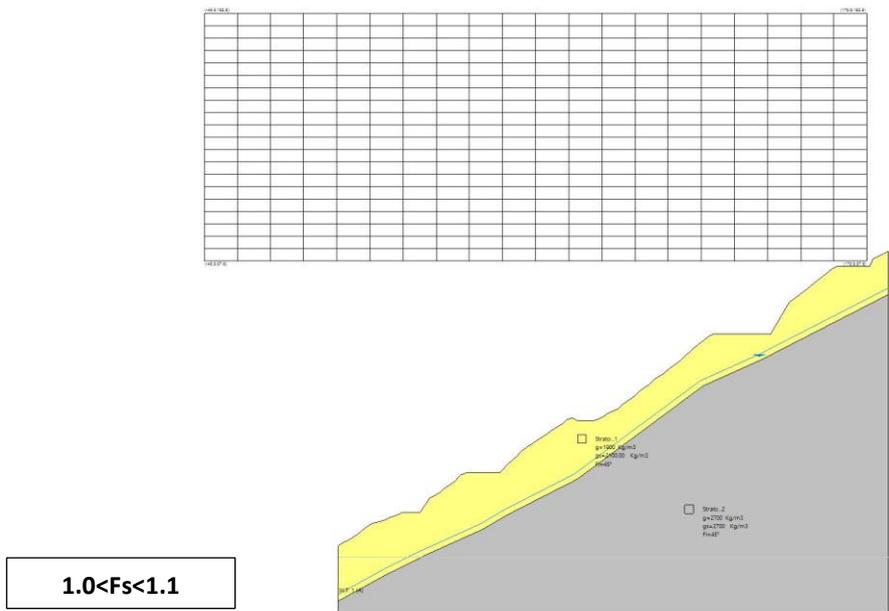
Stato attuale – Sezione D – condizioni post sismiche



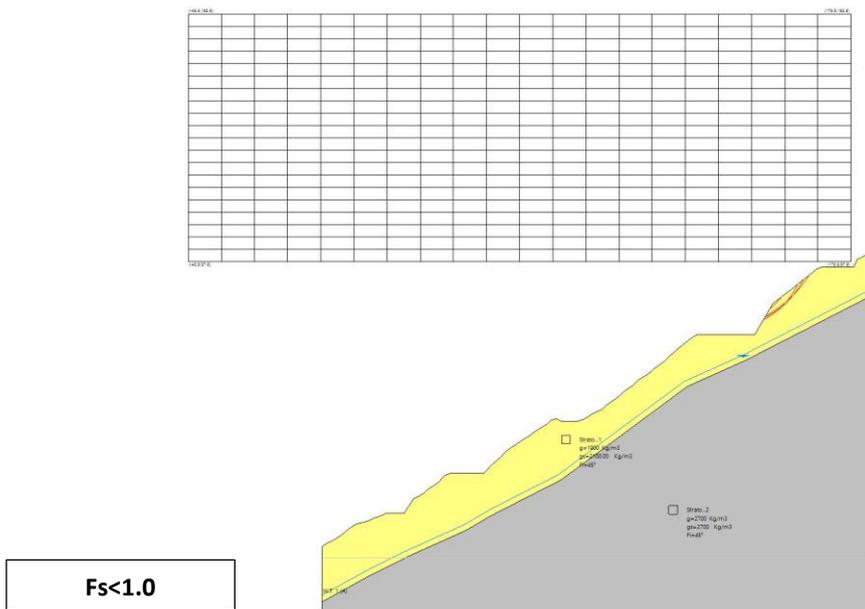
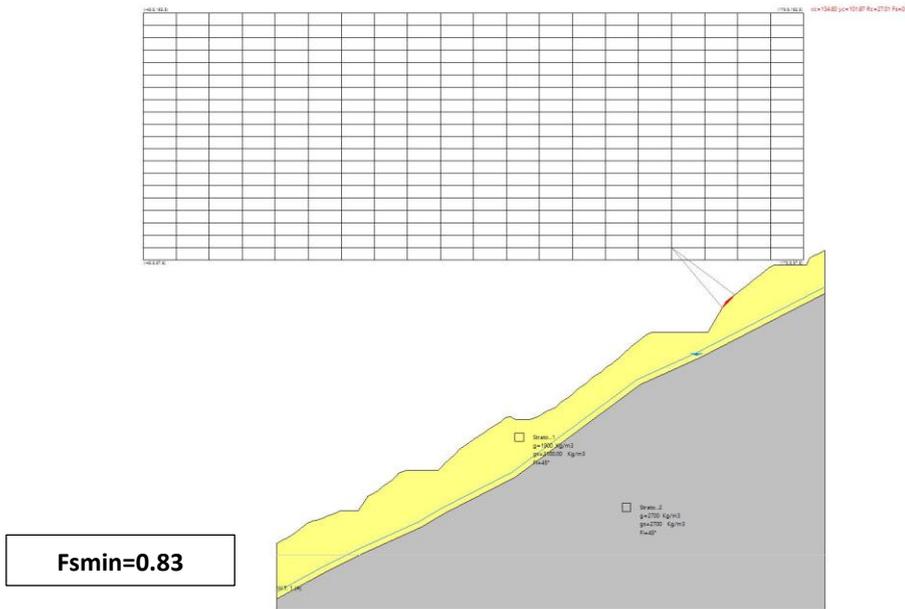


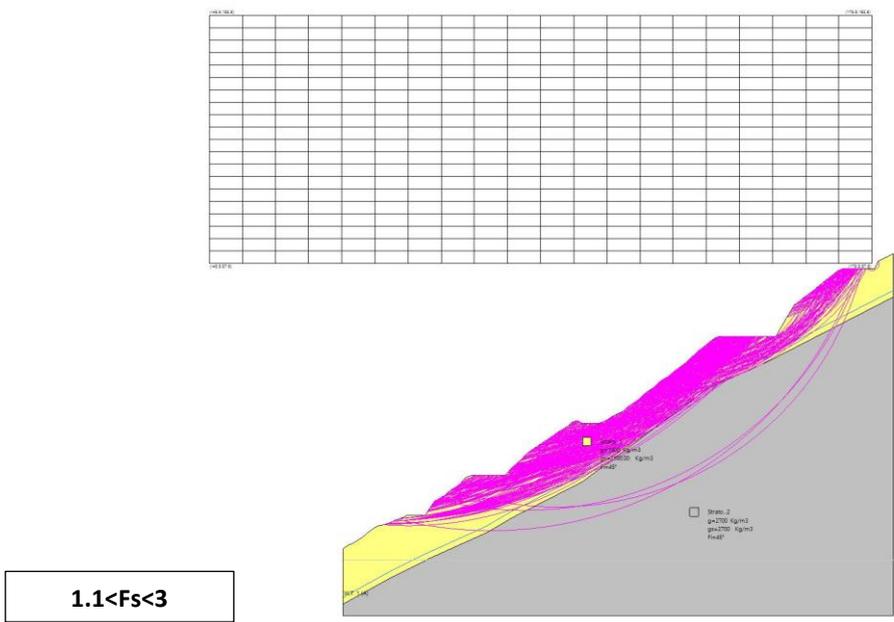
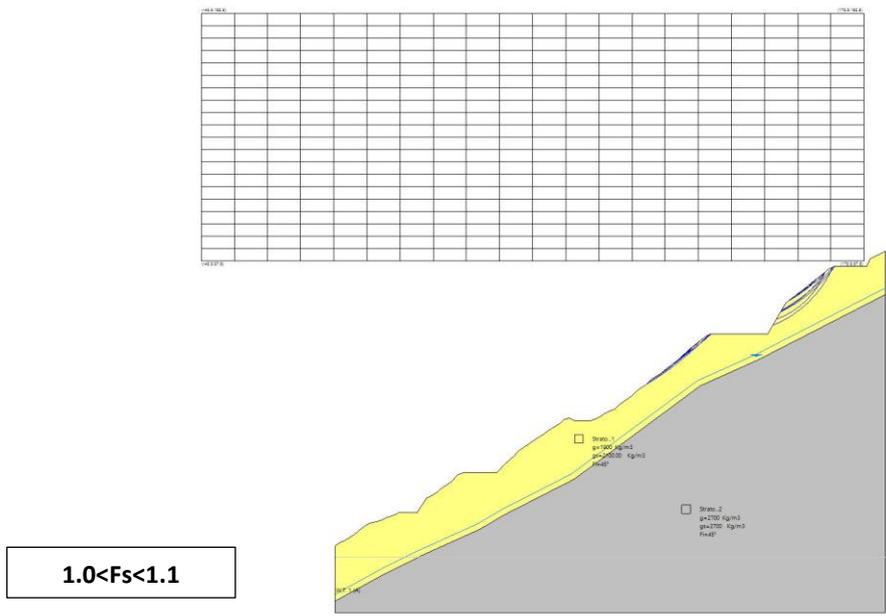
Stato attuale – Sezione E – condizioni statiche



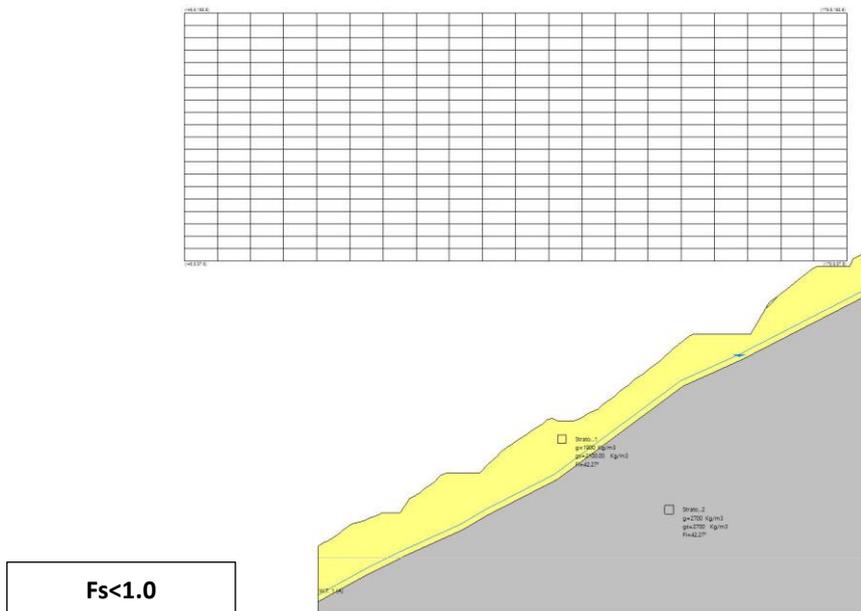
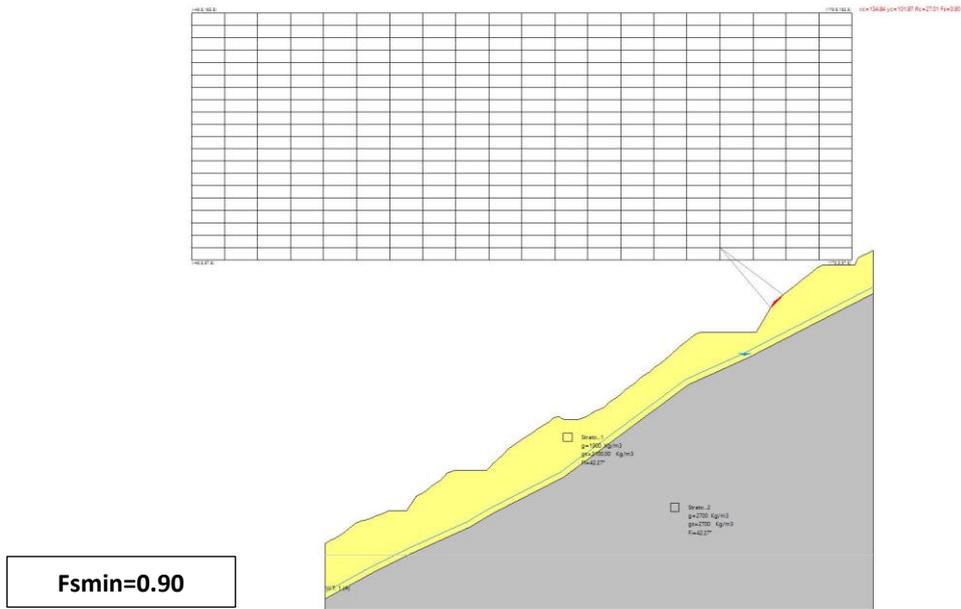


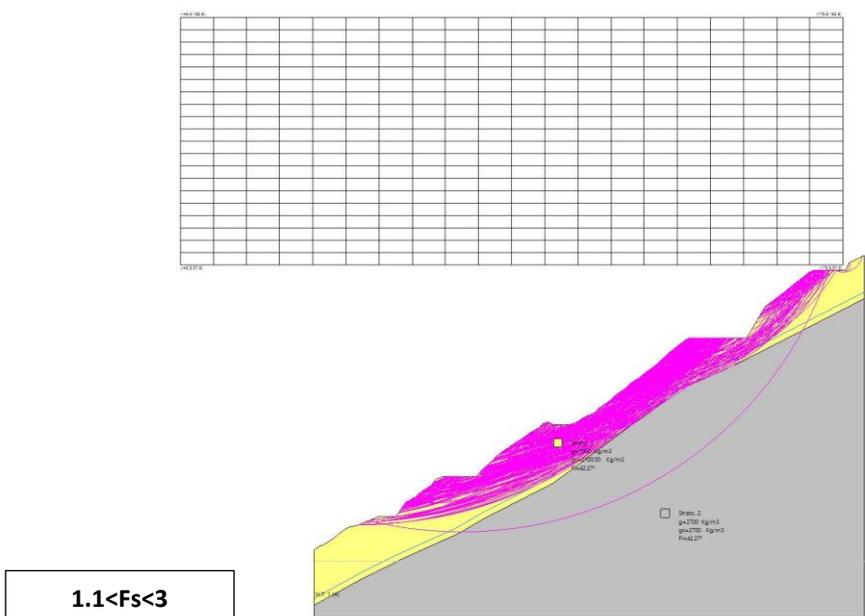
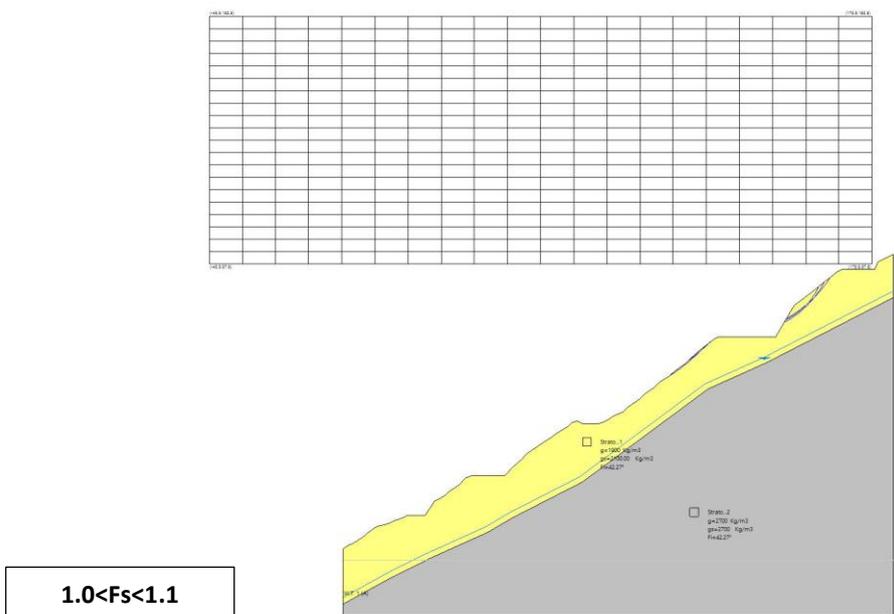
Stato attuale – Sezione E – condizioni sismiche





Stato attuale – Sezione E – condizioni post sisma





Gli esiti delle verifiche sopra descritte possono essere riassunti nella seguente tabella

Stato attuale	Condizioni statiche	Condizioni sismiche	Condizioni post sisma
Sezione D – Fs min	1.01	0.88	0.92
Sezione E – Fs min	0.99	0.83	0.90

7 – Indicazioni di progetto

Sulla base di quanto si può osservare dalle immagini sopra riportate e dai tabulati in allegato, si ritiene che non vi siano fenomeni di instabilità alla scala dell'intero versante; le verifiche eseguite evidenziano condizioni di equilibrio limite e/o instabilità localizzate in alcune specifiche zone del ravaneto.

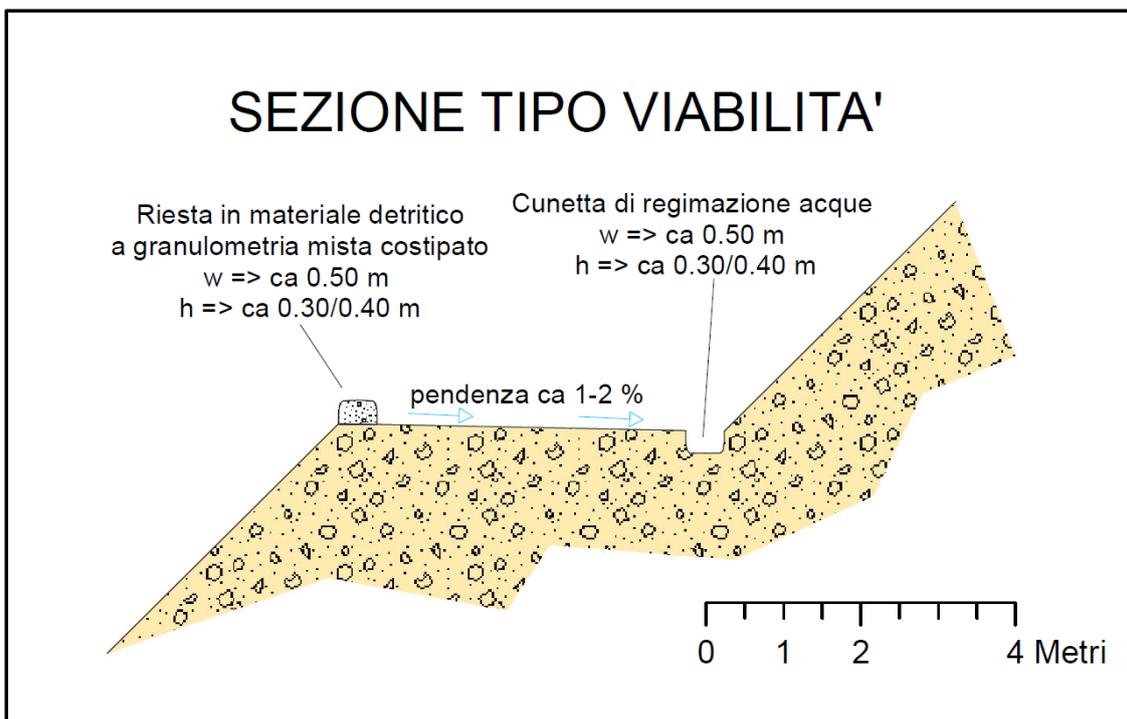
In particolare, nello scenario più severo, quello sismico, si può notare una zona di instabilità nella porzione più alta della Sezione D, dove sono presenti numerose superfici di scorrimento caratterizzate da un F_s inferiore a uno; gli esiti della verifica descritta hanno orientato le scelte progettuali, che, come meglio illustrato e rappresentato negli elaborati grafici di progetto, prevedono la riprofilatura, con asportazione di materiale, del versante stesso, oltre alla corretta regimazione delle acque.

Analogo ragionamento può essere effettuato per la sezione E, dove è evidenziata una zona di instabilità nella porzione alta della sezione, che, tuttavia, coinvolge un settore molto ristretto del versante; è stata, infatti, rilevata una piccola porzione del pendio dove è presente un sovraccumulo di materiale che, in fase progettuale, sarà eliminato, con leggero riporto immediatamente a valle, al pari di altre due piccole aree presenti sul pendio.

Viste le condizioni generali del versante, caratterizzate, con l'esclusione delle due zone di cui si è detto sopra, da generali condizioni di stabilità, sia pure con valori del fattore di sicurezza di poco superiori all'unità, si ritiene particolarmente utile la realizzazione di un corretto e articolato sistema di regimazione delle acque meteoriche e superficiali.

Tale sistema si può esplicitare mediante la realizzazione di una nuova viabilità nella porzione alta del ravaneto; tale viabilità avrà il duplice scopo di consentire la raccolta e l'allontanamento delle acque superficiali, intercettate nelle varie porzioni del versante e quello di consentire l'accesso all'area anche in futuro per la necessaria manutenzione delle opere regimazione e della strada stessa. Detta viabilità, come è riportato nella sezione tipo di cui nella Tav. n°3, sarà realizzata con leggera pendenza contro monte (dell'ordine del 2%), con cunetta laterale (delle dimensioni indicative di $L = 0,50$ m e

H=0,30 m) per la raccolta e deflusso delle acque superficiali; la sezione sarà completata da una piccola riesta, realizzata in materiale detritico di granulometria assortita e opportunamente compattata con mezzo meccanico, posta sul lato valle, di altezza indicativamente pari a circa 0,30-0,40 m, la cui finalità è quella di contenere le eventuali acque che tendessero a ruscellare liberamente sul versante.



Nella porzione bassa del ravaneto, esiste già un tratto di strada, che dovrà essere oggetto di manutenzione per ottenere una sezione tipo simile a quella sopra descritta, con realizzazione di apposita cunetta atta alla regimazione, raccolta e allontanamento delle acque superficiali.

Le acque raccolte dalla cunetta stradale saranno convogliate, nelle diverse porzioni di ravaneto, verso il più vicino impluvio naturale, come indicato nella tavola di progetto.

Si ritiene opportuno, inoltre, creare, nella posizione indicata negli elaborati grafici allegati, due vasche delle dimensioni indicative di circa 100 mq, con profondità dell'ordine dei 50 cm, da realizzarsi mediante semplice scavo, con la finalità di laminare la velocità di scorrimento delle acque superficiali. A tale scopo contribuisce, inoltre,

anche la vasca già presente nella porzione intermedia del ravaneto, come riportata nelle tavole di progetto.

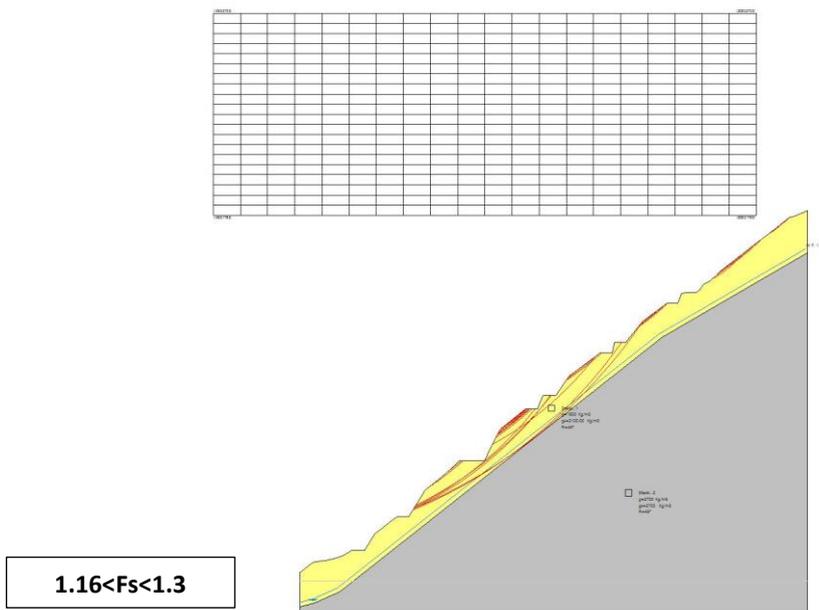
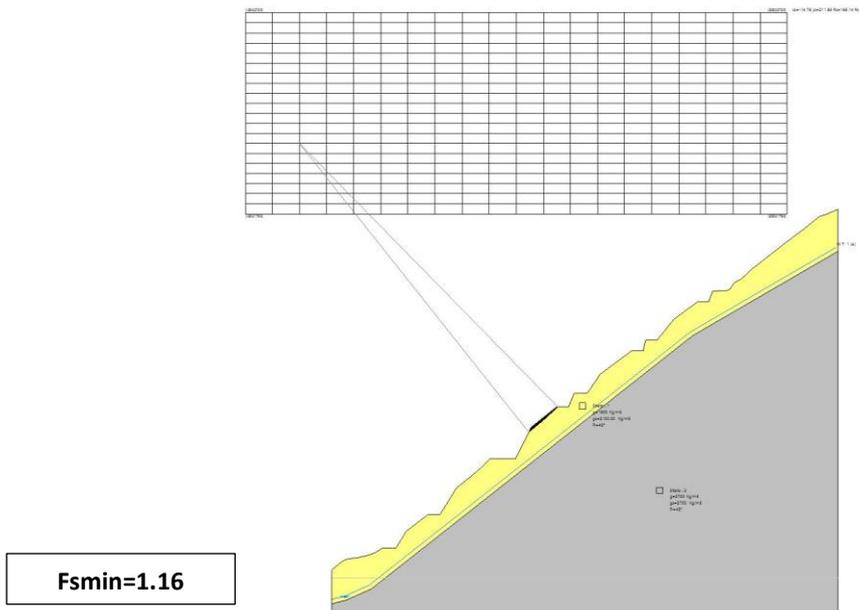
Per completare gli interventi in programma, come sopra accennato, è prevista l'asportazione di tre sovraccumuli di materiale detritico nelle posizioni indicate nella tavola grafica allegata (vedi Tav. n°3).

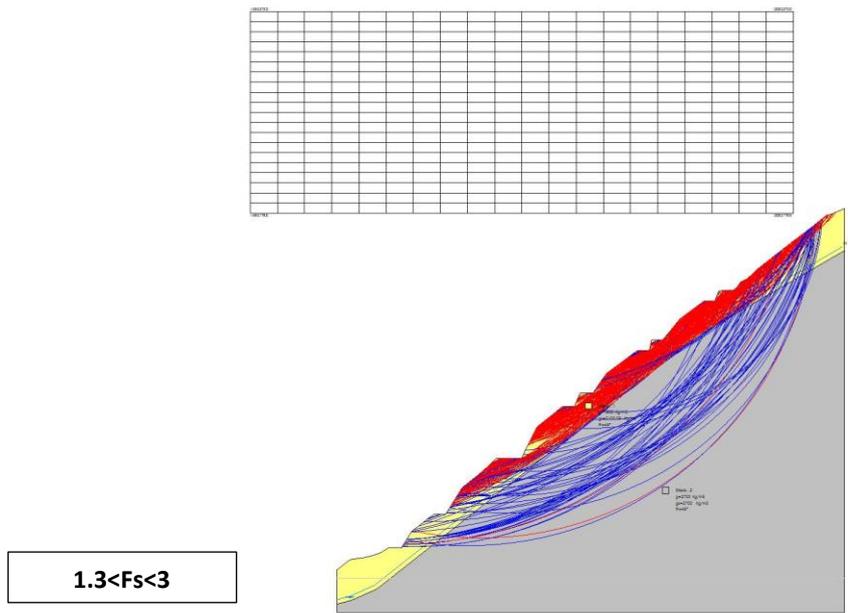
È evidente che, nell'ambito delle opere di sistemazione della viabilità esistente e/o realizzazione della nuova viabilità, così come nel corso delle operazioni di riprofilatura del versante, potrà essere necessaria la posa in opera di piccole bastionature al fine di garantire la stabilità locale; l'opportunità e le dimensioni di tali opere potranno essere decise in fase esecutiva a giudizio della Direzione Lavori. Tali opere non si devono intendere come interventi di stabilizzazione a scala di versante, ma solo come interventi locali.

8 – Verifiche allo stato di progetto

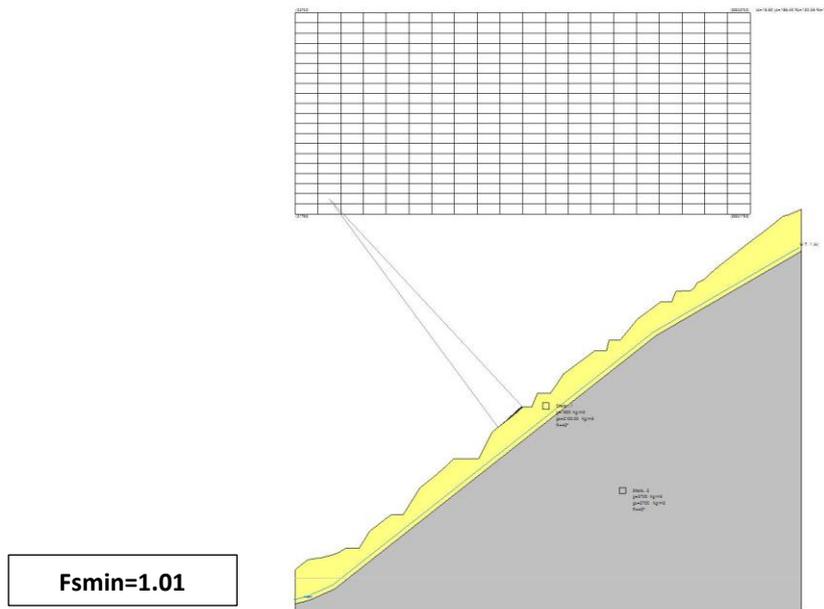
Sulla base delle indicazioni di progetto sopra descritte, è stato ricavato lo stato di progetto come riportato nella tavola grafica allegata (vedi Tav. n°3), da cui derivano le sezioni di progetto che sono state sottoposte a verifica di stabilità secondo i principi, le modalità e i metodi già descritti in precedenza.

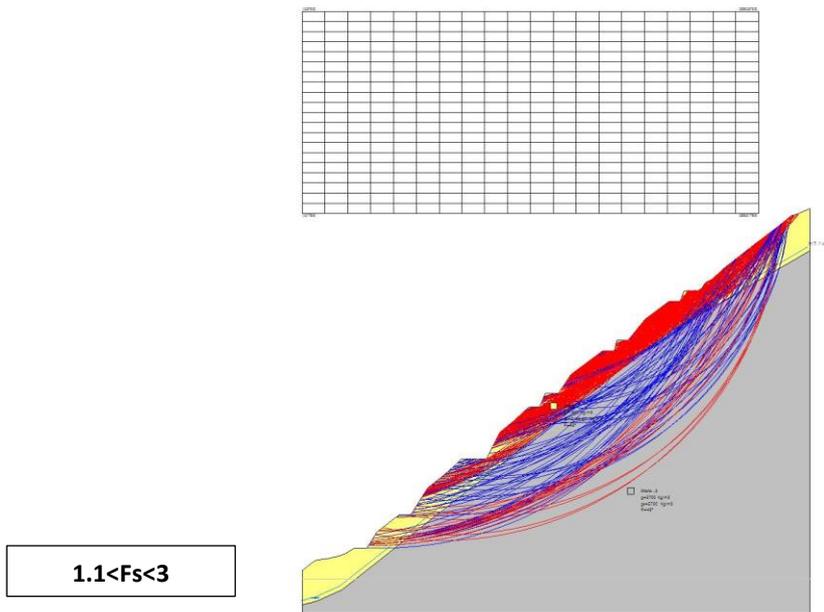
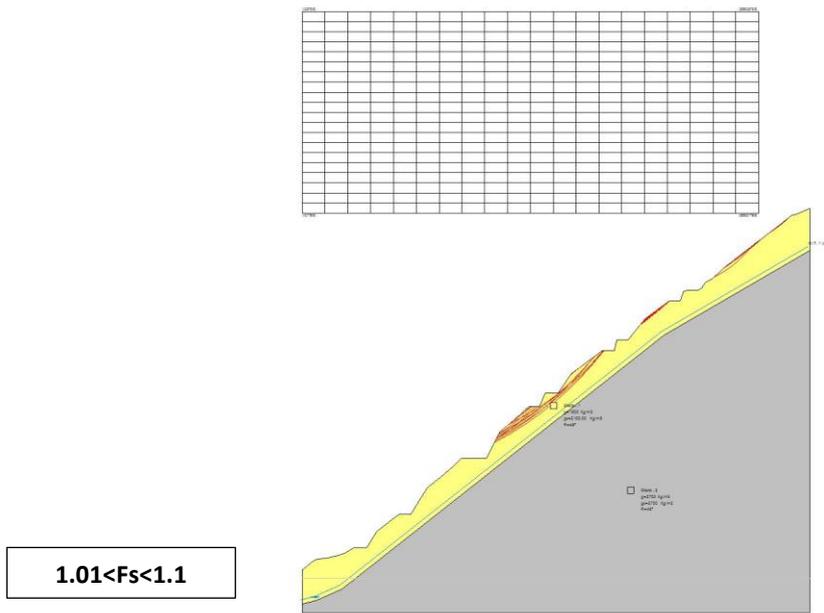
Stato di progetto – Sezione D – condizioni statiche



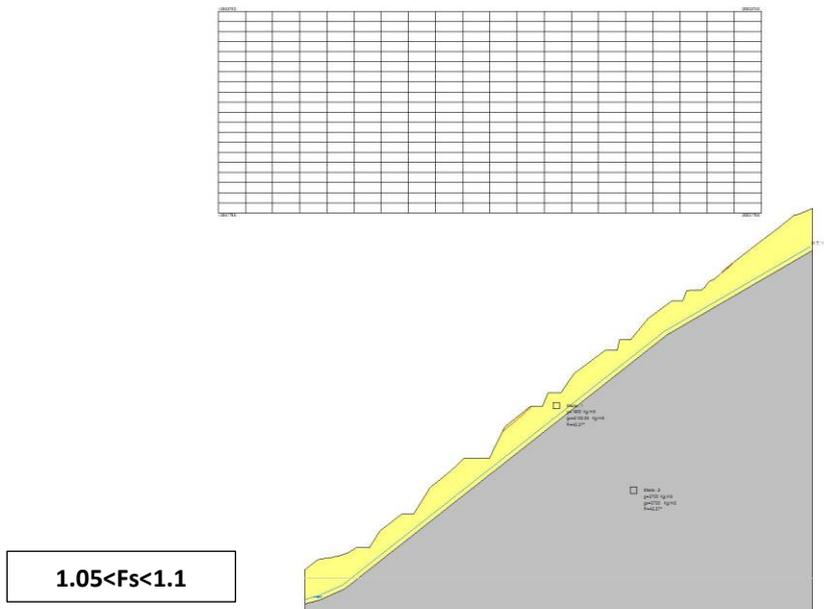
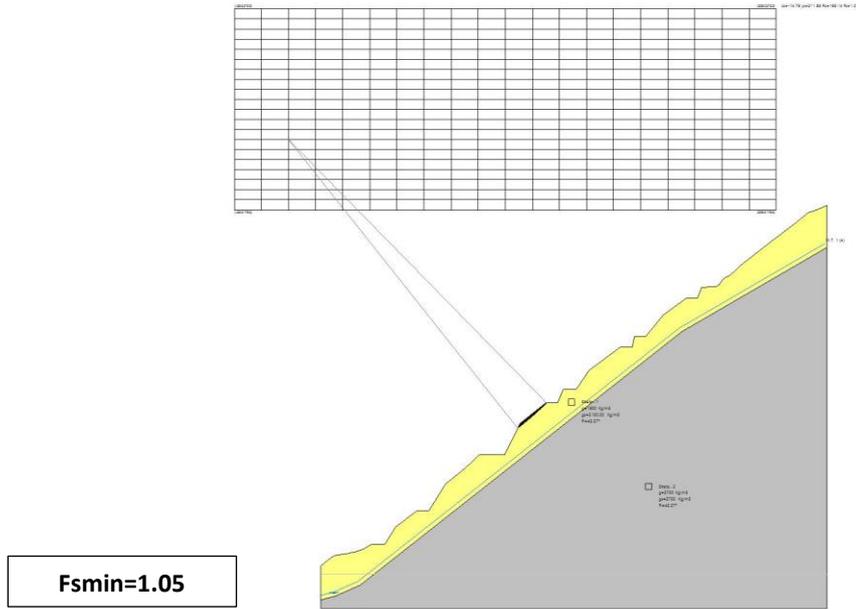


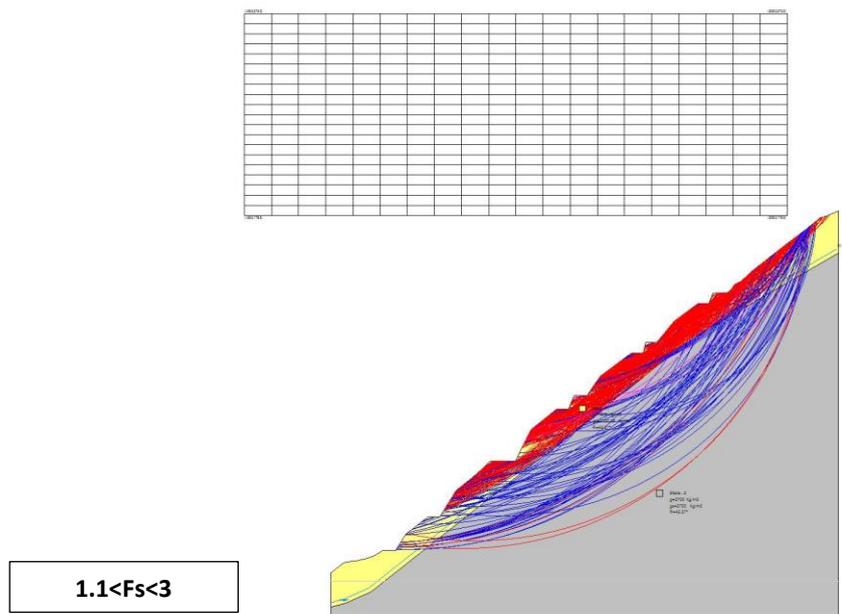
Stato di progetto – Sezione D – condizioni sismiche



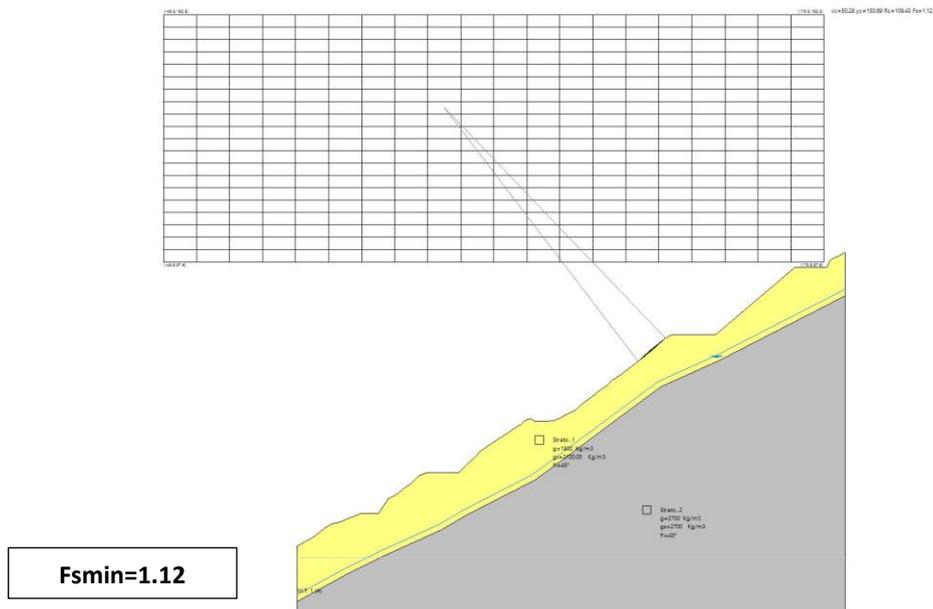


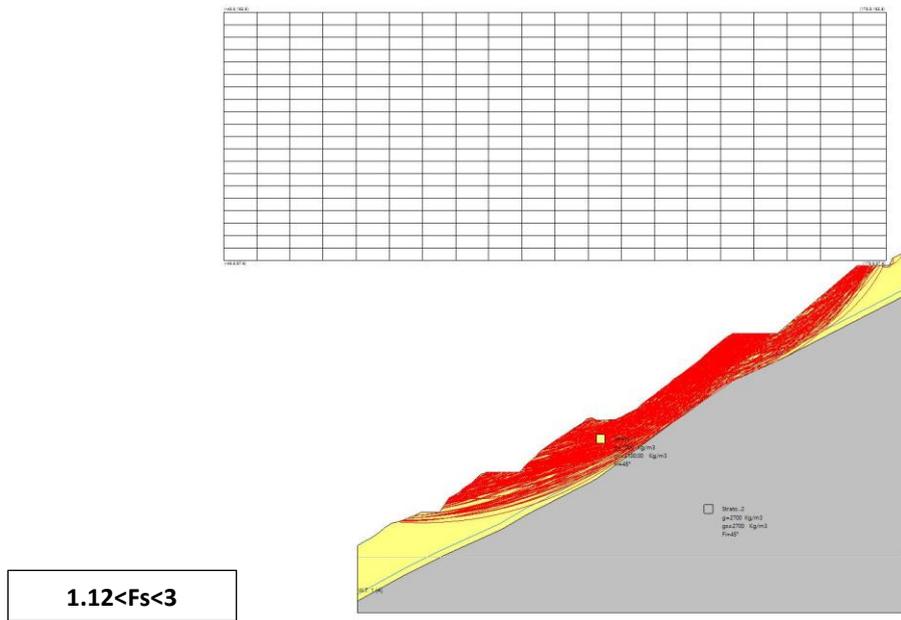
Stato di progetto – Sezione D – condizioni post sisma



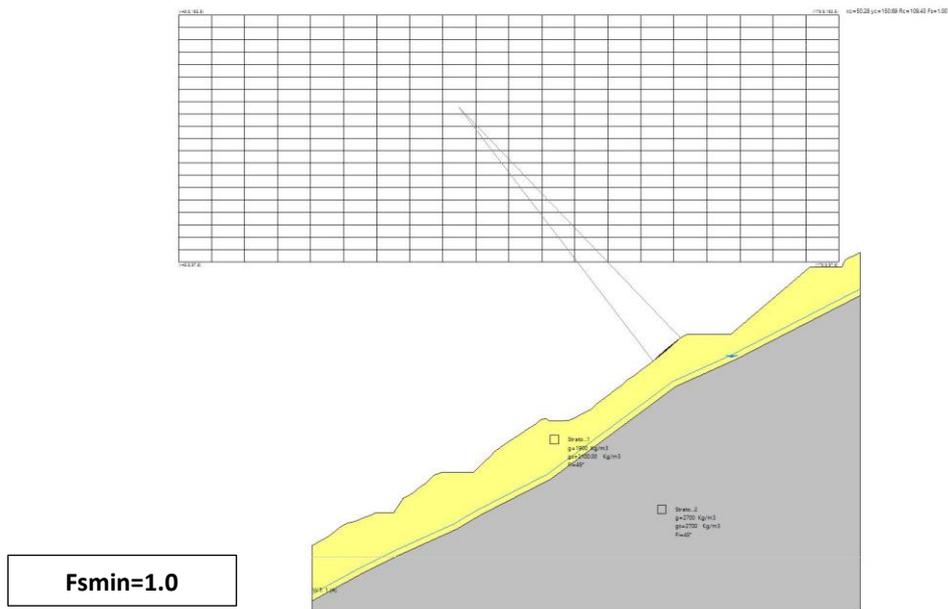


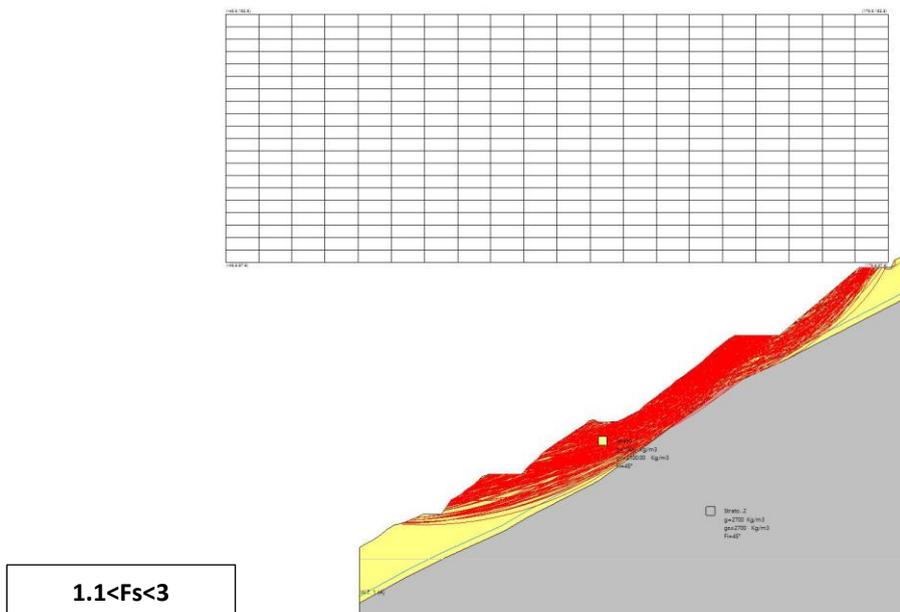
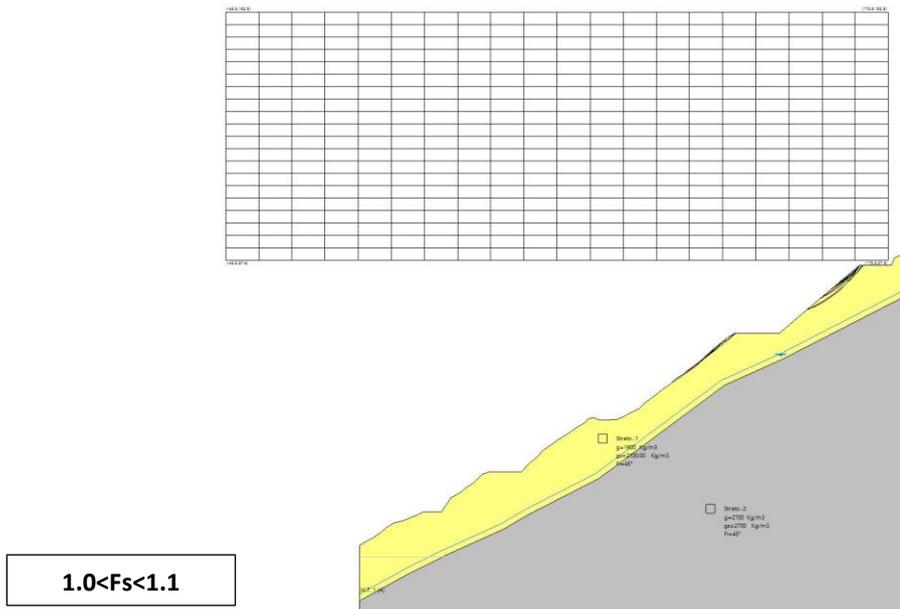
Stato di progetto – Sezione E – condizioni statiche



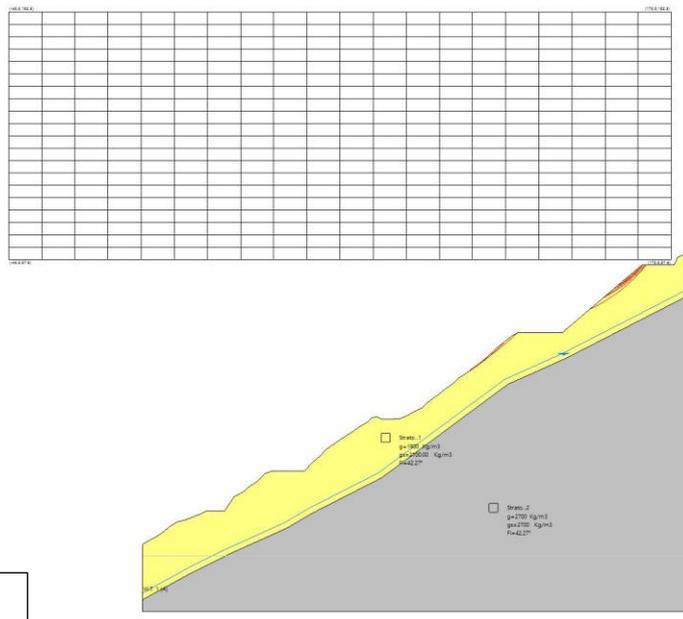
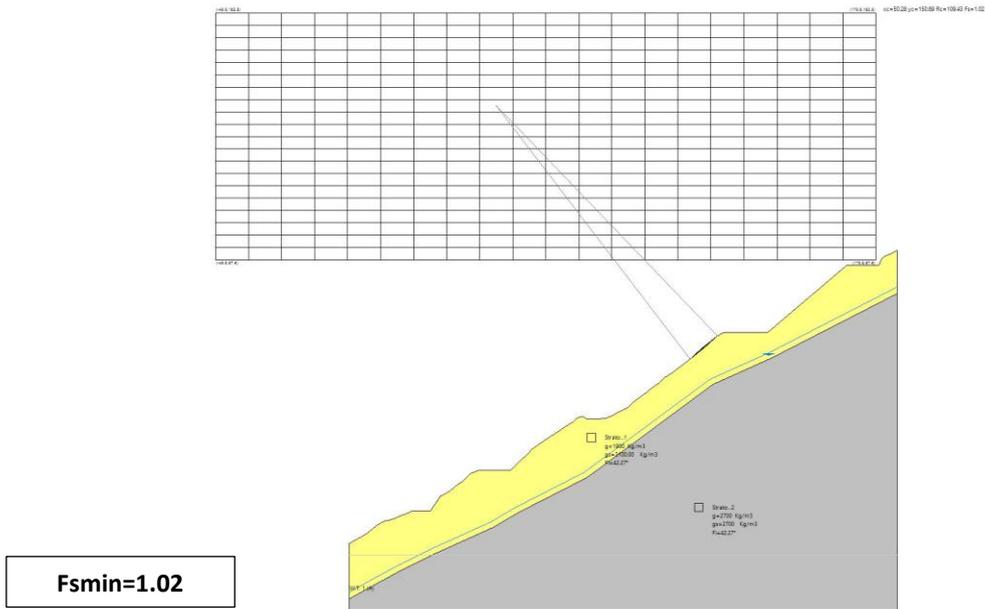


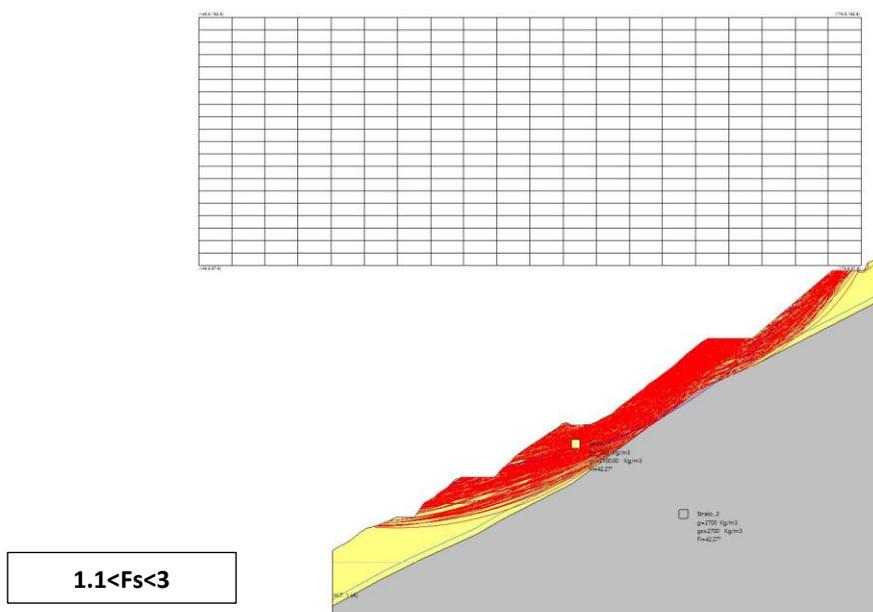
Stato di progetto – Sezione E – condizioni sismiche





Stato di progetto – Sezione E – condizioni post sisma





Gli esiti delle verifiche sopra descritte possono essere riassunti nella seguente tabella

Stato di progetto	Condizioni statiche	Condizioni sismiche	Condizioni post sisma
Sezione D – Fs min	1.16	1.01	1.05
Sezione E – Fs min	1.12	1.00	1.02

9 – Manutenzione delle opere

Le opere previste dal progetto, così come sopra descritte e come riportate negli elaborati grafici, affinché mantengano, nel tempo, la loro efficacia e ed efficienza hanno bisogno di costante e attenta manutenzione.

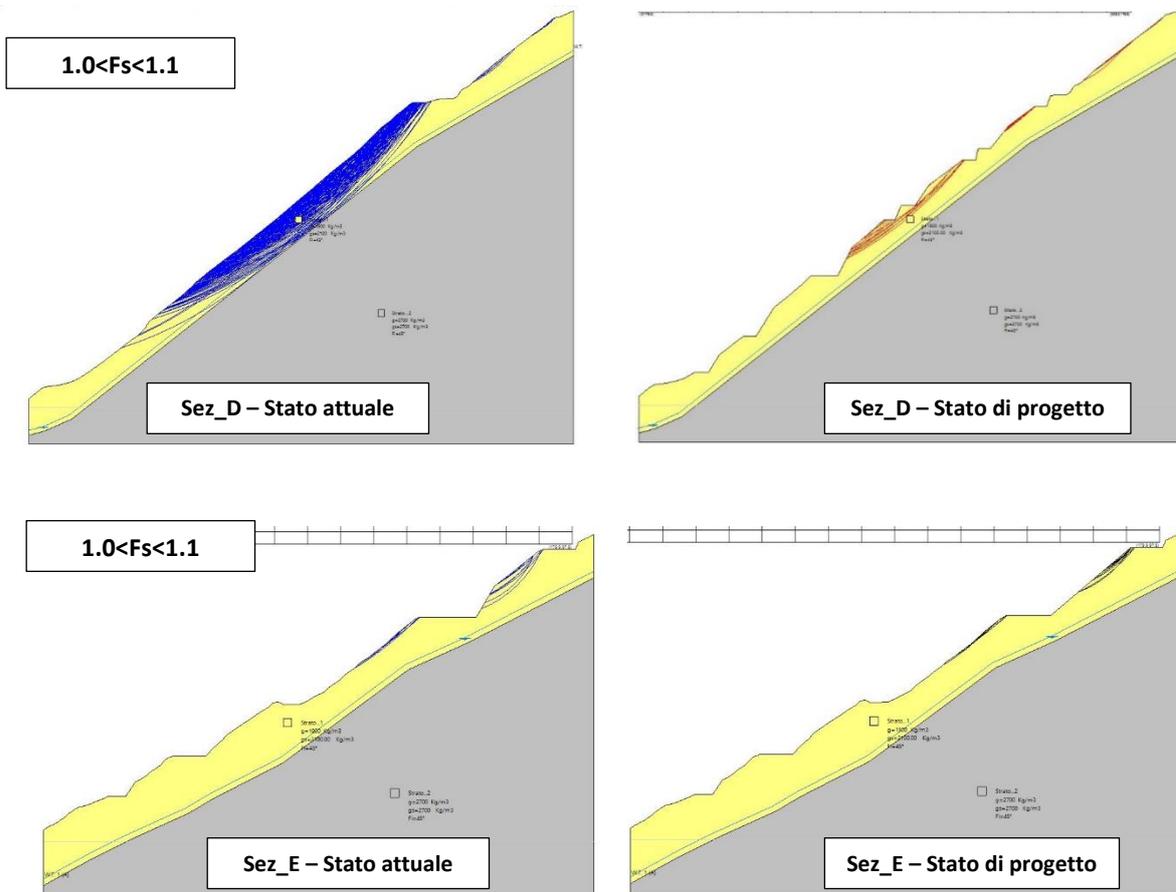
Detta manutenzione deve essere volta al mantenimento dell’efficacia del sistema di regimazione, raccolta/laminazione e allontanamento delle acque meteoriche e superficiali; affinché ciò avvenga è necessario che sia effettuata una verifica delle opere dopo ogni evento meteorico rilevante, con la tempestiva esecuzione di eventuali interventi di ripristino. Si ritiene, inoltre, opportuno che almeno una volta l’anno sia effettuata una manutenzione straordinaria, finalizzata al recupero delle opere in perfetta corrispondenza con il progetto; il periodo dell’anno più indicato per la realizzazione della manutenzione straordinaria è quello di fine estate / inizio autunno.

10 – Conclusioni

Lo studio eseguito e sopra illustrato ha permesso di ricostruire l'assetto idrogeologico-geomorfologico del ravaneto Ravalunga, definendo in particolare estensione, pendenze, spessori del deposito detritico e caratteristiche del deflusso idrico superficiale delle acque meteoriche, individuando, inoltre, le zone maggiormente critiche dal punto di vista della stabilità locale e complessiva del deposito.

A seguito delle verifiche di stabilità condotte lungo le sezioni maggiormente significative (SEZ_D e SEZ_E) sono state riscontrate i) condizioni di instabilità per settori di pendio piuttosto localizzati, generalmente riconducibili a sovraccumuli di detrito di limitate dimensioni e ii) condizioni di stabilità prossime a quelle di equilibrio limite ($1 < F_s < 1.1$) per porzioni più consistenti del versante, specie per il settore medio-alto della sezione di verifica SEZ_D.

Gli interventi proposti, volti, essenzialmente, al miglioramento della regimazione idraulica del versante e all'alleggerimento della porzione alta del ravaneto, offrono un evidente miglioramento delle condizioni di stabilità nell'assetto di progetto, sia a livello locale, dove non si riscontrano più situazioni di instabilità ($F_s < 1$), sia a livello globale del pendio, dove sono significativamente ridotte le situazioni riconducibili a condizioni di stabilità prossime a quelle di equilibrio limite. Tale condizione è ben evidente se si confrontano, in particolare, le superfici di scorrimento delle sezioni D ed E di stato attuale e stato di progetto, in condizioni sismiche (condizioni di verifica più gravose).



Dall’osservazione dello stato di progetto della sezione D, risulta evidente come i volumi interessati da condizioni di stabilità prossime a quelle di equilibrio limite siano significativamente inferiori rispetto a quelli dello stato attuale; in analoga direzione vanno anche gli interventi di progetto nella sezione E, dove, data la situazione di partenza decisamente più favorevole, i benefici, pur presenti, appaiono meno consistenti.

Allegati:

Tav. n°1 – Planimetria stato attuale (Ing. E. Remedi)

Tav. n°2 – Inquadramento generale Ravaneto Ravalunga, planimetria e sezioni

Tav. n° 3 – Interventi di riassetto idrogeologico, planimetria e sezioni

All. n°1 - Indagini geofisiche (Relazione specialistica P3 snc)

All. n°2 - Tabulati verifiche stabilità

Carrara, novembre '22

Dott. Geol. Emanuele Sirgiovanni

Ordine Geologi Toscana n°654

PhD Geol. Luca Vaselli

Ordine Geologi Toscana n°1714