

COMUNE DI PERGINE VALSUGANA

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

**PROGETTO PER LAVORI DI SOMMA URGENZA
PER LA MESSA IN SICUREZZA DELLA
S.P. 135 "SINISTRA FERSINA" AL KM 0.360 - LOC. PINTERI**

RELAZIONE GEOLOGICA

(caratterizzazione e modellazione geologica del sito)

RELAZIONE GEOTECNICA

(caratterizzazione e modellazione geotecnica)

Mario Cavattoni



Trento, settembre 2024



1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione è uno studio geologico-geotecnico relativo ai lavori di somma urgenza per la messa in sicurezza della S.P. 135 "Sinistra Fersina" al km 0.360, in loc. Pinteri.

A seguito delle abbondanti precipitazioni della seconda metà del mese di maggio 2024, si è verificato un piccolo smottamento che ha interessato il ripido versante situato subito a monte della strada provinciale che è stata solo parzialmente interessata dal fenomeno d'instabilità in quanto il materiale mobilizzato è stato per gran parte trattenuto dalle reti paramassi esistenti.

Per la messa in sicurezza della sede stradale il progetto prevede la realizzazione di due serie di "ombrelli" (2.0 * 2.5 m) ancorati al terreno (lunghezza ancoraggi 8.0 m), costituiti da un paramento in carpenteria metallica con pannelli a rete metallica a doppia torsione (tipo Maccaferri) e funi di rinforzo. Questo per dare maggior "piede" alla coltre di materiale sciolto mobilizzata.

L'intervento sarà completato con il ripristino delle barriere paramassi esistenti e la sostituzione di una campata che si presenta parzialmente danneggiata.

Lo studio è stato fatto in ottemperanza alle disposizioni del D.M. 17.01.2018 - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, ecc.", alle relative istruzioni da parte della Provincia Autonoma di Trento.

RELAZIONE GEOLOGICA

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO - IDROGEOLOGIA

L'area dove si sono verificati gli smottamenti che hanno in parte interessato la S.P. 135 si trova in sinistra orografica della Val dei Mocheni nella fascia di versante compresa fra le isoipse 596÷645, lungo un versante con pendenza media di 40°÷43° e geologicamente caratterizzato da depositi morenici frammentati ad eluvium, generalmente di natura ghiaioso-sabbiosa, con inglobati ciottoli e massi arrotondati e non, in matrice fine limosa non particolarmente abbondante.

Per un inquadramento della situazione morfologica locale si allega una planimetria, due sezioni e una vista prospettica "3D" tratte dal rilievo Lidar della PAT.

In considerazione della natura grossolana del *deposito detritico-eluviale* non è stato possibile prelevare campioni di terreno su cui eseguire significative prove di laboratorio. Poiché il deposito è tendenzialmente incoerente il suo angolo di attrito interno è stato valutato con il metodo suggerito dal Congresso Internazionale di Rotterdam (1948 - *formula di Chen*) che fornisce: $\phi = 36^\circ + \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4$ dove ϕ_1 è funzione della compattezza del materiale, ϕ_2 della forma dei grani, ϕ_3 del taglio dei grani e ϕ_4 della granulometria.

Nel nostro caso possiamo assumere: terreno di medio-bassa compattezza ($\phi_1 = -2^\circ$), forma degli elementi clastici media ($\phi_2 = 0^\circ$), taglio dei granuli corrispondente a ghiaia grossa ($\phi_3 = +2^\circ$) e granulometria media-dispersa ($\phi_4 = +2^\circ$), da cui risulta un angolo di attrito interno $\phi = 38^\circ$.

Come precedentemente detto, il materiale può essere considerato nel suo complesso incoerente; in realtà è dotato di un minimo di coesione legata alla frazione fine limosa. Sulla base dell'osservazione di scavi fatti in zona, ed utilizzando il grafico elaborato da *Biarez* che fornisce, in funzione dell'inclinazione della scarpata " β ", le curve $f(\text{tg}\phi, c/\gamma H)$, corrispondenti a differenti coppie di ϕ e c possibili, per questo terreno si stima una coesione $c = 0.2\div 0.3 \text{ t/m}^2$.

Il substrato roccioso è costituito da scisti quarzo-sericitici e da metavulcanoclastiti. Si tratta in generale di rocce scistose e discretamente fratturate, con volumi rocciosi unitari dell'ordine di pochi dm^3 .

Un piccolo affioramento roccioso è presente nella zona d'intervento 28÷30 metri a monte della strada provinciale; altri affioramenti si localizzano lungo la scarpata di monte della S.P., poche decine di metri a nord del sito in esame e poco a valle della strada rurale presente a monte della zona d'intervento.

Poiché il progetto prevede la realizzazione di ombrelli con ancoraggi lunghi 8.0 m si può affermare che questi ultimi saranno ammorsati sulla roccia, sia pur parzialmente, per quanto riguarda l'intervento più a monte, mentre per quello più a valle è molto probabile gli ancoraggi interessino la sola coltre quaternaria (maggiore accumulo di materiale sciolto franato).

Nella classificazione di *Bieniawski* (1979) il substrato roccioso rientra nella (**classe IV**) con **caratteristiche geomeccaniche scadenti** cui è possibile attribuire i seguenti parametri geomeccanici: $\phi \approx 15^\circ\div 25^\circ - c = 100\div 200 \text{ (KPa)}$.

La coltre di materiale sciolto grossolana facilita l'infiltrazione in profondità delle acque meteoriche impedendo fenomeni di ristagno e ruscellamenti superficiali. Una media-bassa permeabilità per fessurazione caratterizza il substrato roccioso favorendo l'instaurazione al suo tetto di falde a carattere temporaneo, causa principale dei fenomeni d'instabilità in oggetto. Il tratto di versante interessato dalle instabilità è delimitato a monte dalla strada che porta in località Falesina; con carreggiata dotata di canalette trasversali per lo smaltimento delle acque bianche.

Nel nostro caso non è da escludere che nell'innescò degli smottamenti abbia avuto un ruolo non secondario lo smaltimento concentrato delle acque bianche della sede stradale.

Il 4 settembre 2020 la Giunta Provinciale di Trento ha approvato le *Carte della Pericolosità* e la *Carta di Sintesi della Pericolosità* su tutto il territorio provinciale (Delibera di Giunta 1317 del 4/9/2020), con loro entrata in vigore il 2 ottobre 2020, il giorno successivo alla pubblicazione nel BUR.

Con l'entrata in vigore della *Carta di Sintesi della Pericolosità* cessano di applicarsi le disposizioni della Carta di Sintesi Geologica e le disposizioni in materia di uso del suolo del Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche (assetto idrogeologico PGUAP).

Si ritiene importante evidenziare l'art. 22 c. 2 della LP 15 del 4/8/2015:

"La carta di sintesi della pericolosità soddisfa i requisiti e i principi stabiliti, sotto il profilo urbanistico, dal capo IV dell'allegato del decreto del Presidente della Repubblica 15 febbraio 2006 (Norme di attuazione del piano generale di utilizzazione delle acque pubbliche). Le disposizioni del piano in materia di uso del suolo cessano di applicarsi a decorrere dalla data di approvazione della carta di sintesi della pericolosità".

In sintesi nelle aree definite dalla **CsdP** come **P4** (*pericolosità elevata* - art. 15), **P3** (*pericolosità media* - art. 16), **P2** (*pericolosità bassa* - art. 17) oltre che alla relazione geologica e geotecnica prevista dalle *NTC 2018* è necessario elaborare uno studio di compatibilità (a seconda della penalità rilevata ⁽¹⁾) e compilare il modello C1 dell'asseverazione.

La zona d'intervento ricade tra le aree con **pericolosità media (P3)** per **frane e crolli** e **pericolosità elevata (P4)** per **crolli**.

L'instabilità generale di questo versante è confermata dalla presenza di numerose incisioni vallive che si sono originate per successivi smottamenti (vedi planimetria allegata).

Gli interventi di consolidazione previsti rientrano tra quelli esclusi dall'applicazione del capo IV delle *Norme di Attuazione del PUP*.

¹⁾ *Come citato dalla stessa Normativa si ribadisce che gli studi e relazioni non sostituiscono ma integrano le relazioni e le verifiche tecniche, di tipo geologico, geotecnico, idraulico, valanghivo e sismico, richieste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni. Pertanto, in riferimento al Cap. 6.2.1 delle NTC 2018 dove si prevede che la relazione geologica illustri e caratterizzi i livelli delle pericolosità geologiche, gli studi di compatibilità sono da intendersi a ragione come un documento di approfondimento tecnico in aggiunta alla relazione.*

Tutto il territorio comunale di Pergine Valsugana è inserito nella zona a **bassa sismicità (zona sismica 3)** – (Delibera della Giunta Provinciale n. 1937 del 20 ottobre 2023).

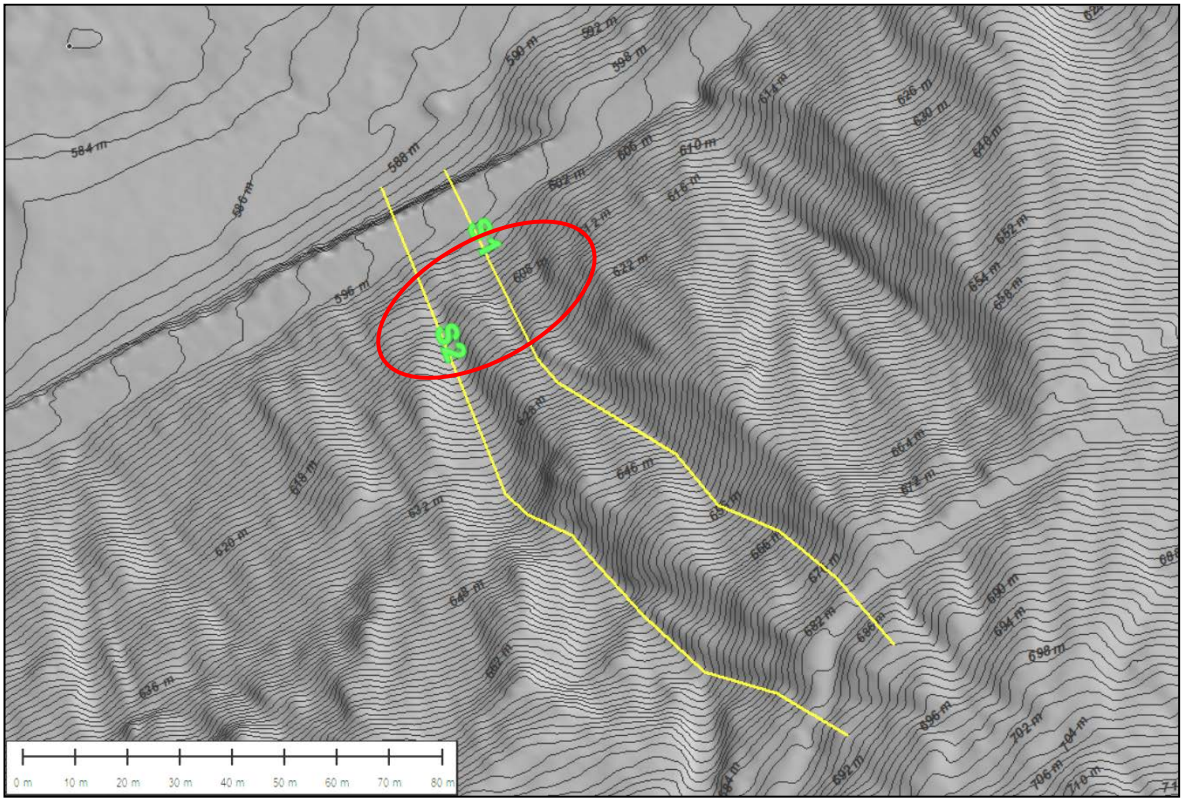
Il sito d'intervento rientra, sia pur di poco, tra le **aree di protezione idrogeologica** di pozzi captati a scopo potabile, così come riportato nella *Carta delle Risorse Idriche* della PAT per le quali la normativa riporta:

"La zona di protezione si identifica con il bacino idrogeologico delle emergenze naturali e artificiali della falda e rappresenta l'area di ricarica degli acquiferi. Essa è individuata al fine di assicurare la protezione del patrimonio idrico".

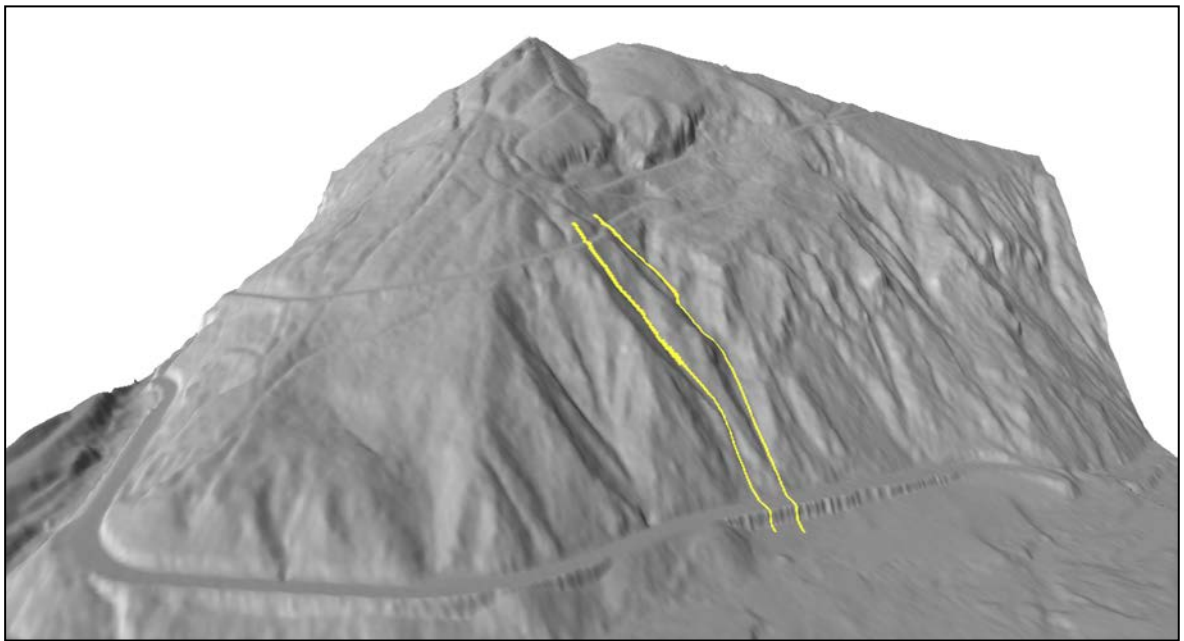
Per queste aree la Normativa riporta: "fermi restando i vincoli e le prescrizioni di carattere igienico-sanitario, gli strumenti di pianificazione territoriale possono adottare misure relative alla destinazione del territorio interessato, limitazioni e prescrizioni per gli insediamenti civili, turistici, produttivi, agro forestali e zootecnici".

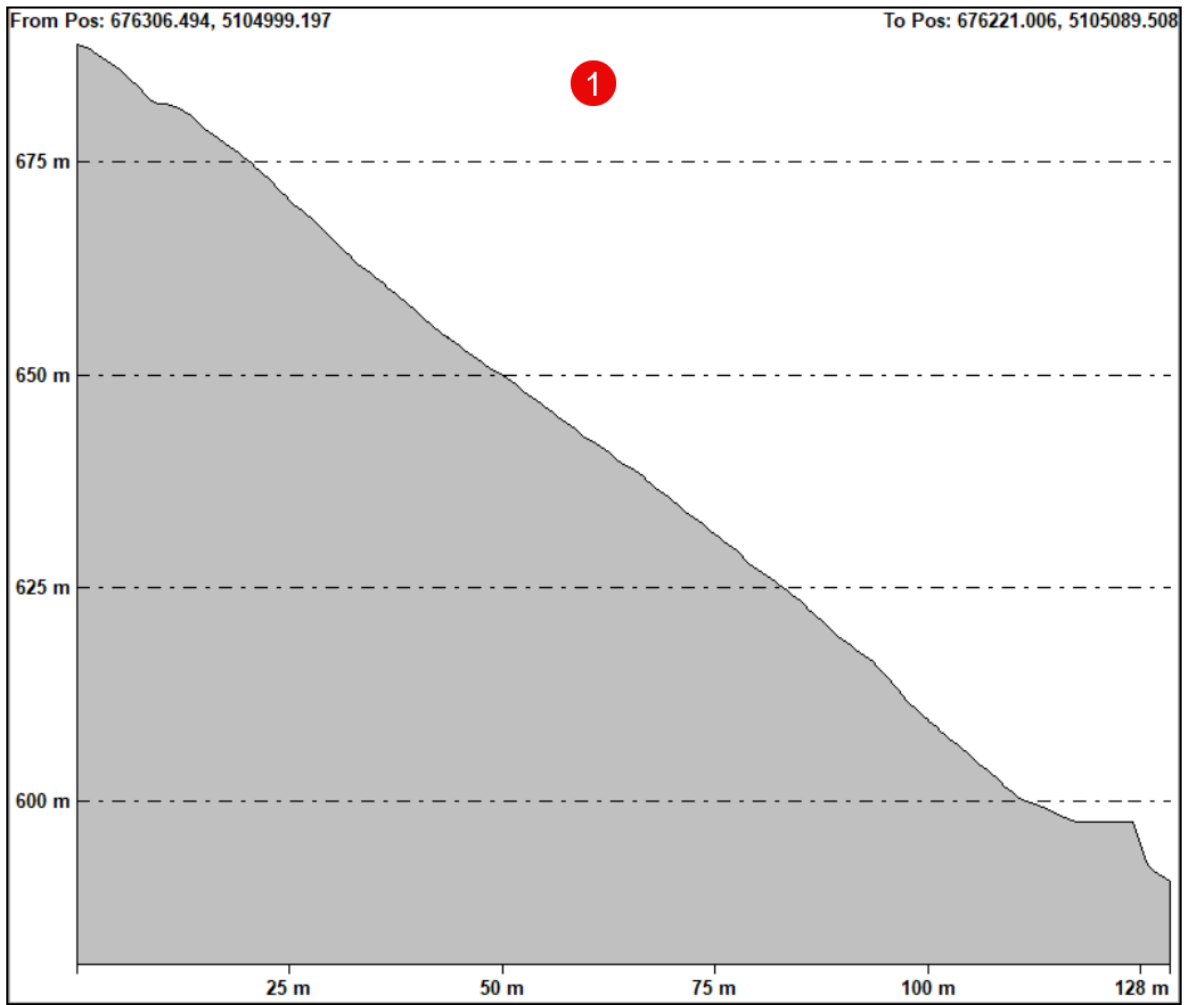
Ferme restando le disposizioni più restrittive che saranno eventualmente definite secondo quanto disposto dal punto precedente per le aree di protezione, gli interventi riguardanti la dispersione degli scarichi in suolo e sottosuolo - ad eccezione delle acque bianche non inquinate - lo stoccaggio di rifiuti, reflui e sostanze chimiche pericolose e la realizzazione di depositi di combustibili liquidi sono subordinati alle prescrizioni contenute in una relazione idrogeologica commisurata all'entità dell'intervento a firma di un geologo abilitato da allegarsi al progetto; tale relazione dovrà essere redatta anche nel caso in cui l'attività non richieda alcun tipo di provvedimento di carattere autoritativo o abilitativo comunque denominato e tenuta a disposizione degli organi di vigilanza; la relazione non dovrà avere alcuna approvazione da parte del Servizio Geologico della PAT salvo il caso i cui il Servizio stesso sia tenuto ad esaminare il progetto per aspetti diversi rispetto a quelli della tutela delle risorse idriche potabili.

La zona d'intervento ricade tra le aree soggette a **Vincolo Idrogeologico**. Relativamente a quest'ultimo aspetto preme sottolineare il fatto che le opere di consolidamento previste portano ad un miglioramento dell'assetto idrogeologico del versante.

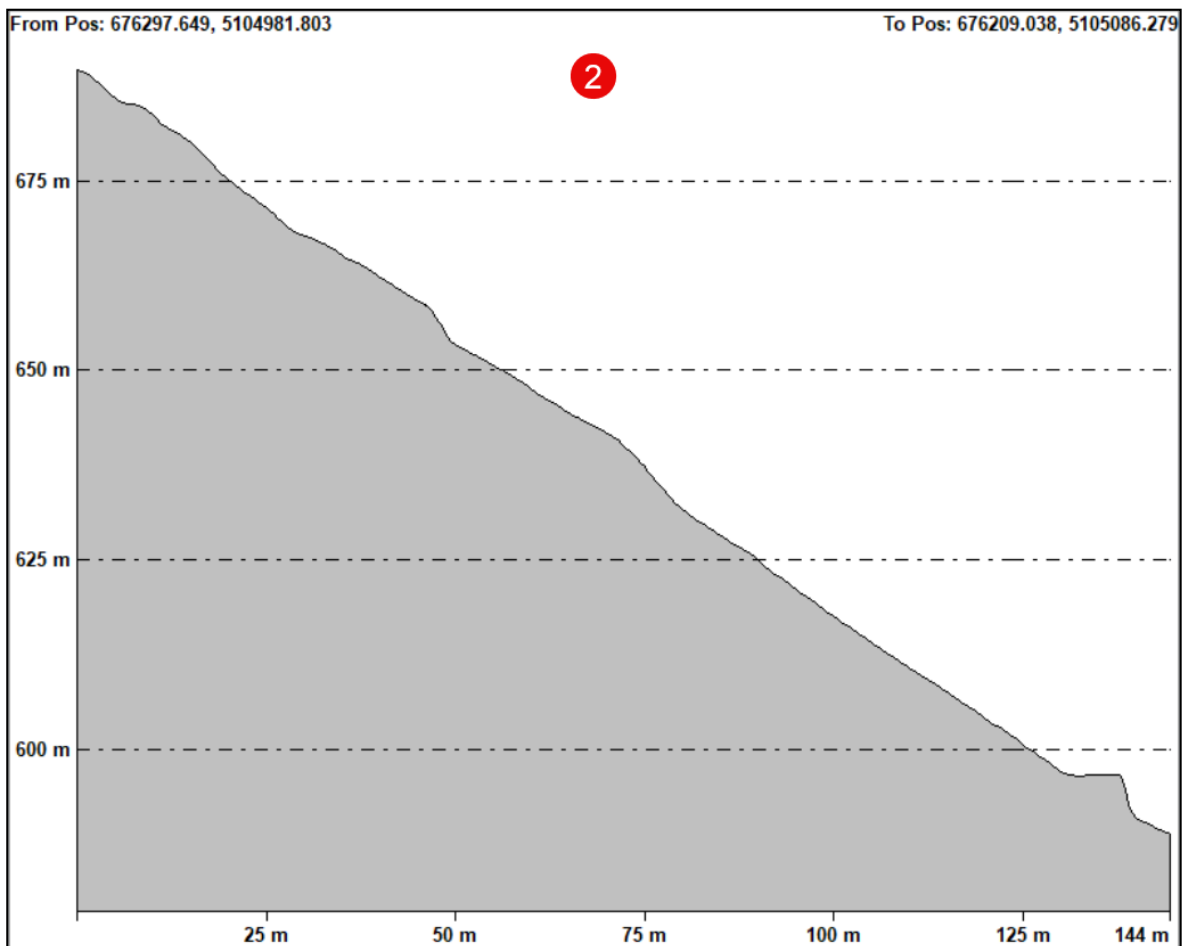


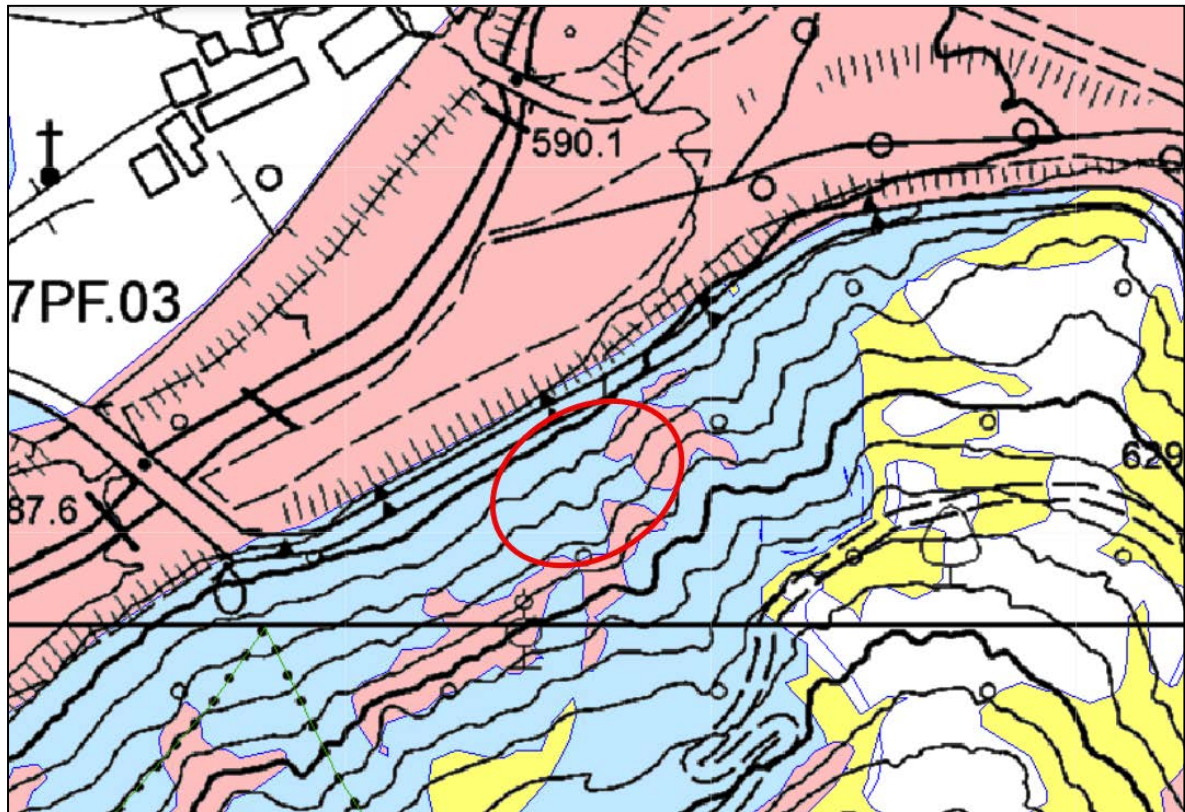
Planimetria e vista prospettica "3D" con traccia delle sezioni da rilievo Lidar della PAT





Sezioni da rilievo Lidar della PAT













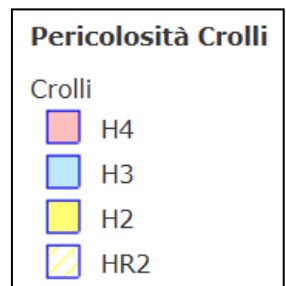
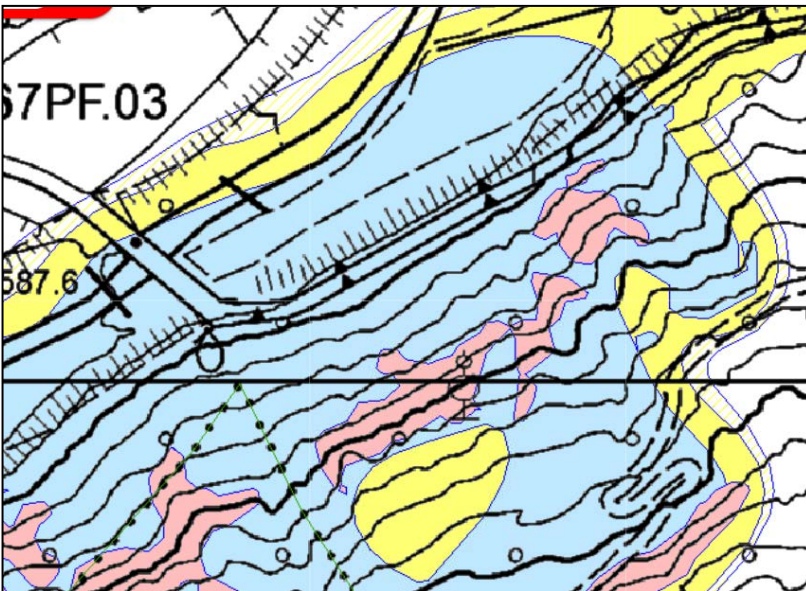
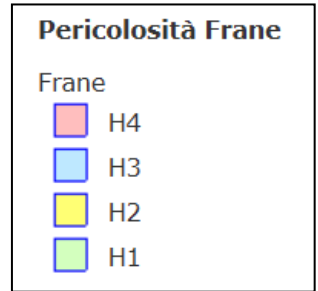
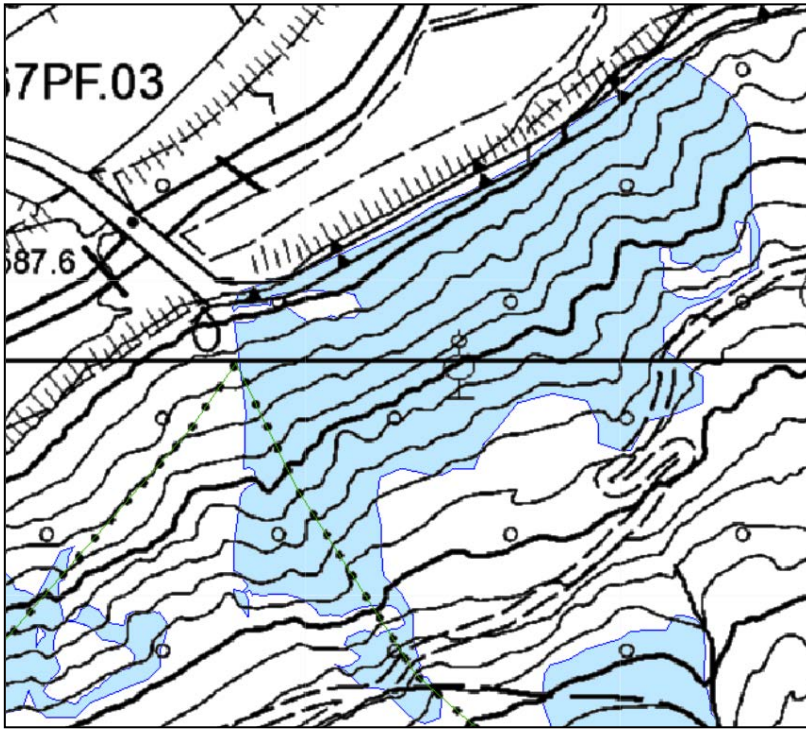


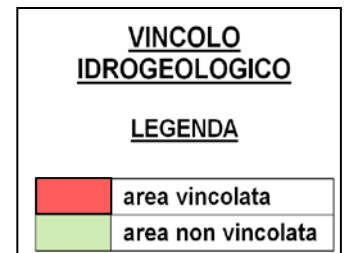
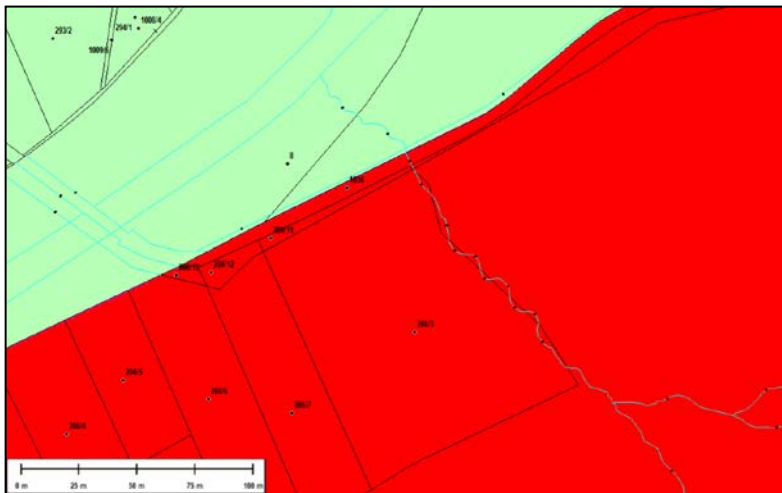
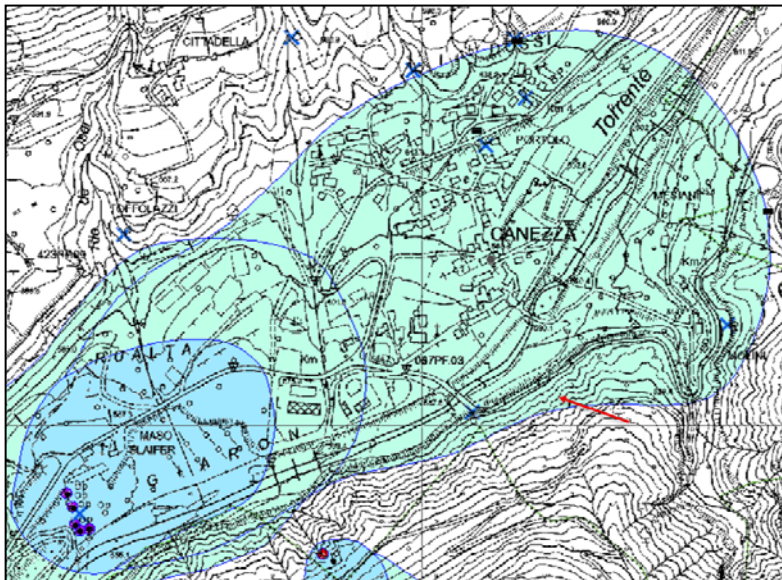
Legenda - CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITA'

Classi di Penalità

Con riferimenti alle norme di attuazione del Piano Urbanistico Provinciale (L.P. 27 maggio 2008, n. 5)

	P4 - elevata	art. 15
	PP - potenziale	art. 18
	PR4 - residua da valanga	art. 18
	P3 - media	art. 16
	P2 - bassa	art. 17
	P1 - penalità associata alla presenza di pericolosità trascurabile o assente	art. 18
	AFI - ambiti fluviali di interesse idraulico previsti dal Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche	art. 14
	IMP - aree riservate a interventi di mitigazione del pericolo	art. 18
	RSS - area di rispetto stazione sismometrica	art. 18
	stazione sismometrica	

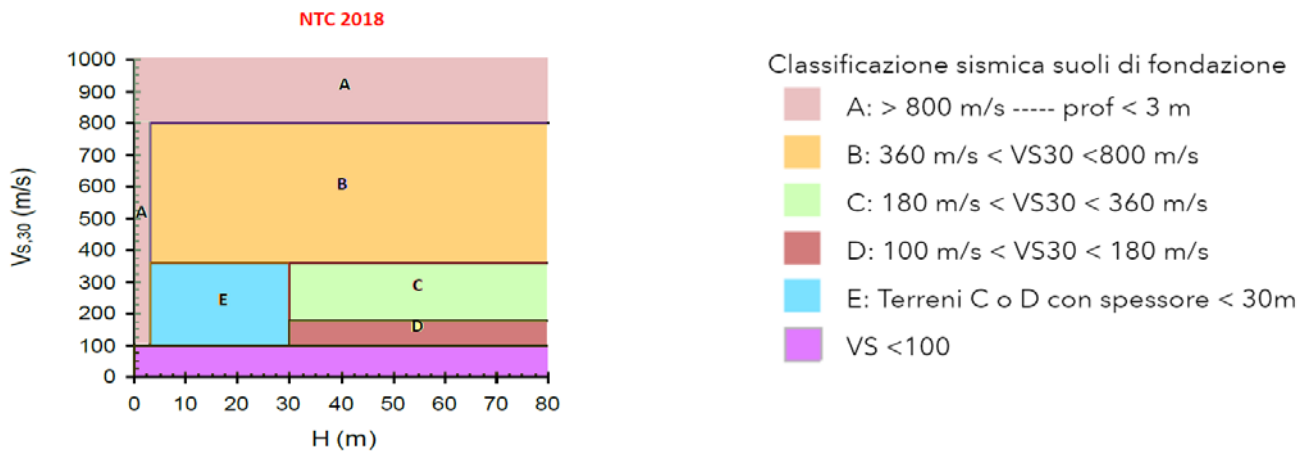




In base a quanto riportato nel § 3.2 delle NTC 2018, le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

In base ai dati emersi durante il sopralluogo la *categoria del sottosuolo* da considerare è la “**B**” mentre la *categoria topografica* è la “**T2**” ($\beta_{med} \geq 15^\circ$).

Qui di seguito, relativamente alla zona in oggetto, si riporta una tabella dei parametri di pericolosità sismica ed una tabella con i coefficienti sismici necessari per definire compiutamente gli spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti orizzontali.



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

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

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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

Coordinate
 Reticolo territorio nazionale Isole

Via

Lat. Long.

Datum

Parametri sismici
 Lat. (ED50) Long. (ED50)

Classe dell'edificio

Coefficiente d'uso Cu

Vita nominale anni

Interpolazione

Stato limite		Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
Px	Operatività (SLO)	90	0,043	2,538	0,272
	Danno (SLD)	151	0,052	2,518	0,300
	Salvaguardia vita (SLV)	1424	0,107	2,658	0,361
	Prevenzione collasso (SLC)	2475	0,128	2,621	0,372

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

Muri di sostegno

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti

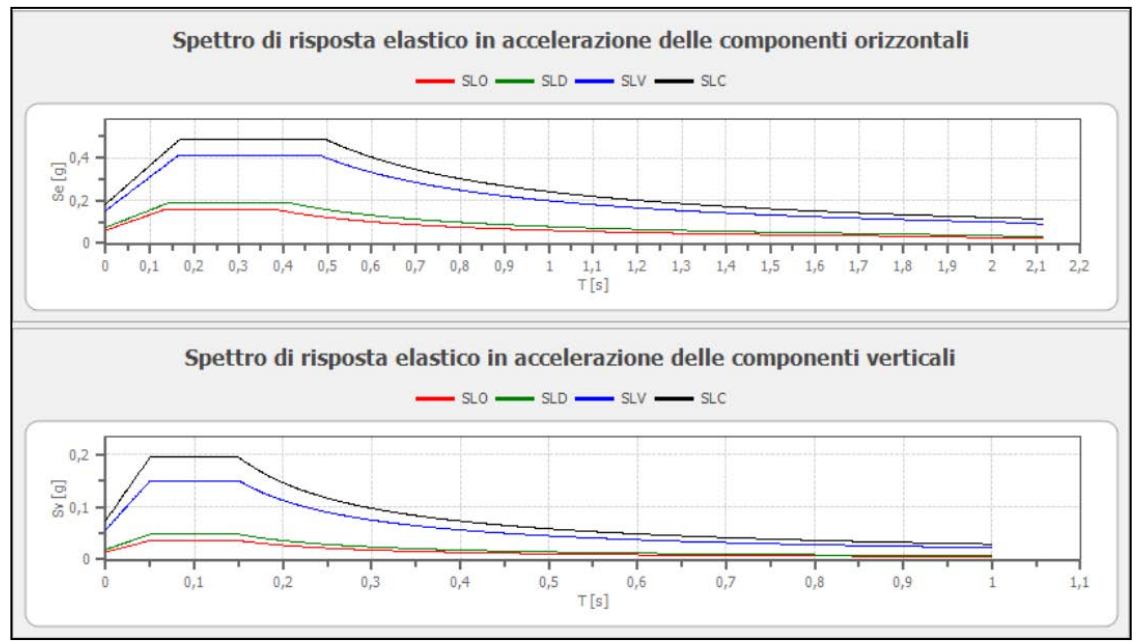
Paratie

Altezza paratia H: [m]

Spostamento ammissibile us: [m]

Stabilità dei pendii e fondazioni Fronti scavo e rilevati

		SLO	SLD	SLV	SLC
	Ss	1,20	1,20	1,20	1,20
	Cc	1,43	1,40	1,35	1,34
	St	1,20	1,20	1,20	1,20
Muri di sostegno spost. nullo	kh	0,061	0,075	0,154	0,185
	kv	0,031	0,037	0,077	0,092
	Amax [m/s ²]	0,602	0,732	1,509	1,813
	Beta	1,000	1,000	1,000	1,000
Stabilità dei pendii e fondazioni	kh	0,012	0,015	0,037	0,044
	kv	0,006	0,007	0,018	0,022
	Amax [m/s ²]	0,602	0,732	1,509	1,813
	Beta	0,200	0,200	0,240	0,240
Muri di sostegno	kh	--	0,035	0,058	--
	kv	--	0,018	0,029	--
	Amax [m/s ²]	0,602	0,732	1,509	1,813
	Beta	--	0,470	0,380	--
Fronti di scavo e rilevati	kh	--	0,035	0,058	--
	kv	--	0,018	0,029	--
	Amax [m/s ²]	0,602	0,732	1,509	1,813
	Beta	--	0,470	0,380	--



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,5	0,043	2,538	0,272	1,200	1,430	1,200	1,440	1,000	0,130	0,389	1,770	0,061	0,156
SLD	1,5	0,052	2,518	0,300	1,200	1,400	1,200	1,440	1,000	0,140	0,419	1,807	0,075	0,188
SLV	1,5	0,107	2,658	0,361	1,200	1,350	1,200	1,440	1,000	0,162	0,487	2,028	0,154	0,409
SLC	1,5	0,128	2,621	0,372	1,200	1,340	1,200	1,440	1,000	0,166	0,499	2,114	0,185	0,485

	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,5	0,043	2,538	0,272	1	1,430	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,014	0,036
SLD	1,5	0,052	2,518	0,300	1	1,400	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,019	0,048
SLV	1,5	0,107	2,658	0,361	1	1,350	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,057	0,150
SLC	1,5	0,128	2,621	0,372	1	1,340	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,075	0,195

3 INTERVENTO PER LA MESSA IN SICUREZZA DELLA S.P. 135

Come si è già avuto modo di dire in precedenza, per la messa in sicurezza della sede stradale il progetto prevede la realizzazione di due serie di “ombrelli” ancorati al terreno (lunghezza ancoraggi 8.0 m), costituiti da un paramento in carpenteria metallica con pannelli a rete metallica a doppia torsione (tipo Maccaferri) e funi di rinforzo. Questo per dare maggior “piede” alla coltre di materiale sciolto mobilizzata.

L'intervento sarà completato con il ripristino delle barriere paramassi esistenti e la sostituzione di una campata che si presenta parzialmente danneggiata.

Poiché la roccia affiora 25÷30 m a monte della provinciale si può affermare che, per quanto riguarda l'ombrello previsto più a monte gli ancoraggi interesseranno, sia pur parzialmente, il substrato, mentre per l'ombrello previsto subito a monte della S.P. gli ancoraggi interesseranno verosimilmente la sola coltre di materiale sciolto.

Per la valutazione della **trazione limite laterale** di un *ancoraggio* si può adottare il metodo proposto da **Bustamante & Doix** (1985) che si basa sulla seguente equazione:

$$T_L = \sum_i \pi * D_{si} * L_{si} * q_{si} \quad \text{dove:}$$

T_L	trazione limite di un tirante;
D_{si}	diametro medio del bulbo d'iniezione (1);
q_{si}	adesione unitaria limite mobilizzata lungo la superficie laterale del bulbo nello strato "i";
L_{si}	lunghezza del bulbo d'iniezione nello strato "i".

I parametri D_s e q_s si ricavano dalle tabelle e grafici allegati, in funzione del tipo di terreno attraversato e dei parametri di resistenza misurati: prove SPT (*Standard Penetration Test*) per i terreni sciolti e con prove pressiometriche (pressione limite laterale p_l).

Nel nostro caso non sono state fatti sondaggi meccanici con relative prove SPT o prove pressiometriche; comunque, per quanto riguarda la copertura di materiale sciolto il valore di N_{SPT} può essere ricavato con un'analisi a ritroso utilizzando la relazione attualmente adottata in Giappone (*Jiro Fukuni* 1982) che fornisce:

$$\phi = 0.3 * N_{SPT} + 27$$

Assumendo un angolo d'attrito interno $\phi = 38^\circ$ si ottiene un valore di $N_{SPT} \approx 36$.

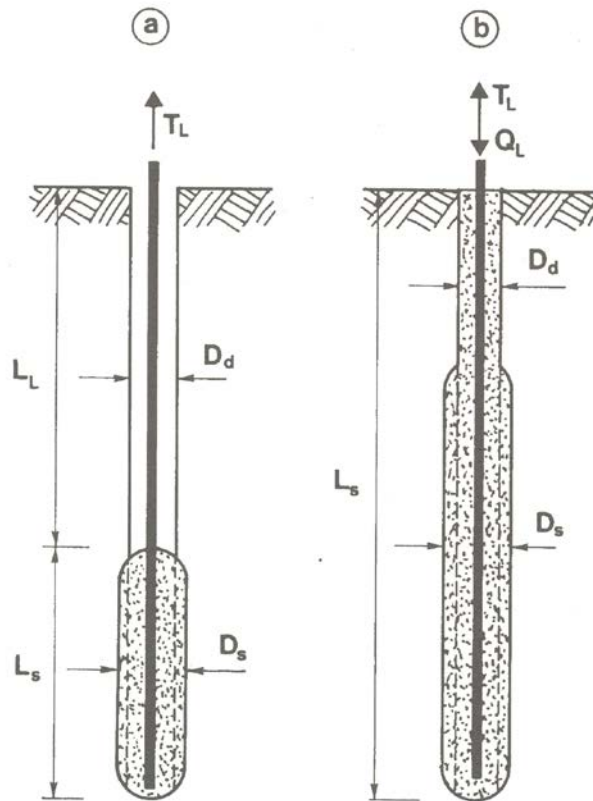
Per quanto riguarda gli ancoraggi ammorsati al substrato roccioso si può far riferimento al grafico allegato, tratto da una pubblicazione di *Bustamante e Gianeselli* (1981) che per le *rocce fratturate e alterate* riporta una pressione limite **$p_e = 2.5 \div 4.0$ Mpa.**

Per una trattazione più dettagliata della metodologia adottata si rimanda alla pubblicazione di *M. Bustamante e Doix* (1985 - *Metodo per il calcolo dei tiranti e dei micropali iniettati*).

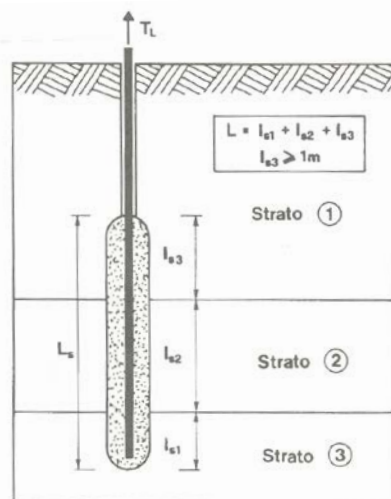
Per quanto riguarda i coefficienti di sicurezza da applicare per il dimensionamento degli ancoraggi si rimanda alle NTC 17.01.2018.

¹⁾ $D_s = D_d * \alpha$ (D_d = diametro della perforazione).

Per la scelta del coefficiente “ α ” vedi tabella allegata, dove le sigle IRS e IGU sono relative ai micropali e tiranti valvolati e non valvolati.



Rappresentazione schematica di un tirante (a) e di un micropalo (b).



Rappresentazione schematica di un tirante sigillato in un multistrato, in condizioni di lunghezza minimale nell'ultimo strato.

Valori dei coefficienti α per il calcolo del diametro medio della sigillatura di un tirante o di un micropalo iniettato.

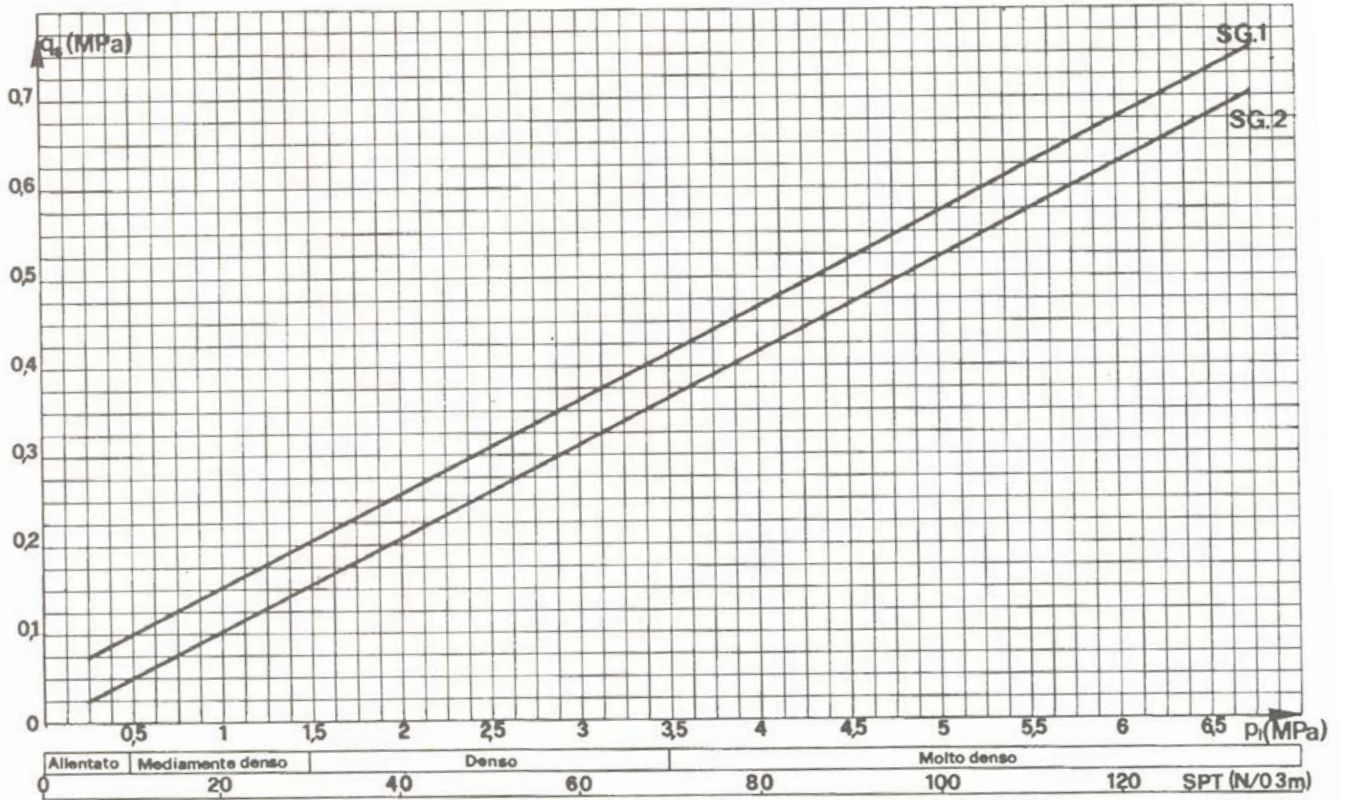
Suoli	Coefficiente α		Quantità minima di malta consigliata V_e
	IRS*	IGU**	
Ghiaia	1,8	1,3÷1,4	$1,5 \cdot V_s$
Ghiaia sabbiosa	1,6÷1,8	1,2÷1,4	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia ghiaiosa	1,5÷1,6	1,2÷1,3	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia grossolana	1,4÷1,5	1,1÷1,2	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia media	1,4÷1,5	1,1÷1,2	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia fina	1,4÷1,5	1,1÷1,2	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia limosa	1,4÷1,5	1,1÷1,2	$\begin{cases} 1,5 \div 2 \cdot V_s & \text{per IRS} \\ 1,5 \cdot V_s & \text{per IGU} \end{cases}$
Limo	1,4÷1,6	1,1÷1,2	$\begin{cases} 2 \cdot V_s & \text{per IRS} \\ 1,5 \cdot V_s & \text{per IGU} \end{cases}$
Argilla	1,8÷2	1,2	$\begin{cases} (2,5 \div 3) \cdot V_s & \text{per IRS} \\ (1,5 \div 2) \cdot V_s & \text{per IGU} \end{cases}$
Marna	1,8	1,1÷1,2	$(1,5 \div 2) \cdot V_s$ per strato compatto
Calcarei marnosi	1,8	1,1÷1,2	$(2 \div 6) \cdot V_s$ o più, per strato fratturato
Gesso alterato e fratturato	1,8	1,1÷1,2	
Roccia alterata e fratturata	1,2	1,1	$(1,1 \div 1,5) \cdot V_s$ se lo strato è finemente fessurato 2 o più se lo strato è fratturato

V_s : volume del bulbo della sigillatura;
 IRS : iniezione ripetitiva e selettiva;
 IGU : iniezione globale con processo di messa in pressione unico.
 * : con $p_i > p_l$
 ** : con $0,5 \cdot p_l < p_i < p_l$

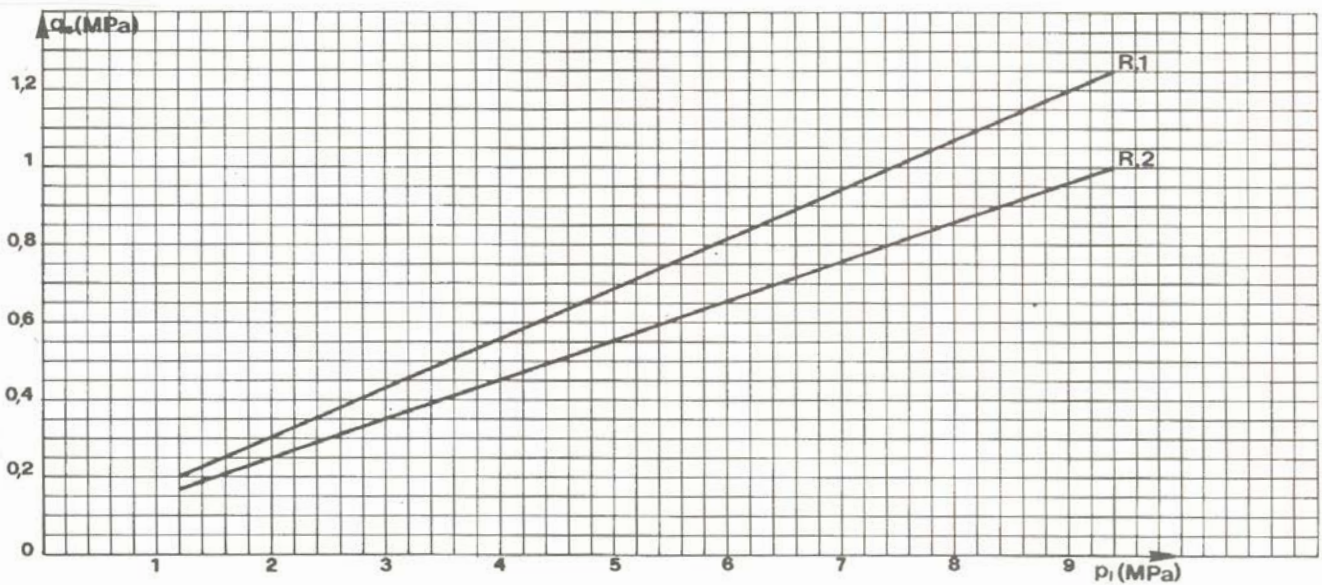
Orientamenti per la scelta degli abachi relativi al calcolo dell'attrito laterale unitario limite q_s .

Suoli	Metodo per l'iniezione	
	IRS*	IGU**
Ghiaia	SG 1	SG 2
Ghiaia sabbiosa		
Sabbia ghiaiosa		
Sabbia grossolana		
Sabbia media		
Sabbia fina		
Sabbia limosa		
Limo	AL 2	AL 2
Argilla	MC 1	MC 2
Marna		
Calcarei marnosi		
Gesso alterato e fratturato	$\geq R. 1$	$\geq R. 2$
Roccia alterata e fratturata		

* : con $p_i \leq p_l$
 **: con $0,5 \cdot p_l < p_i < p_l$



Grafici per il calcolo di q_s per le sabbie e le ghiaie.



Grafici per il calcolo di q_s per le rocce alterate e frammentate.

tabella - CRITERI DI SELEZIONE DELLE CATEGORIE (A+F) CHE DEFINISCONO LA RELAZIONE FRA PRESSIONE LIMITE E ADERENZA LATERALE LIMITE FRA PALO E TERRENO (Bustamante e Gianeselli - 1981)

TIPO DI TERRENO	PRESSIONI LIMITE P_c (MPa)	MODALITÀ ESECUTIVE DEL PALO									
		IRIVELL.		IRIVELLATO RIVEST.		BATTUTO		BATTUTO		MASSA	ALTA
		FUSTO CALCESTR.	FUSTO CALCESTR.	FUSTO METALL.	FUSTO CALCESTR.	FUSTO METALL.	FUSTO CALCESTR.	FUSTO METALL.	FUSTO METALL.	PRESSIONI	PRESSIONI
SABBIA ARGILLOSA, LIMOSA	< 0.7	A bis	A bis	A bis	A bis	A bis	A bis	A bis	A bis	A	-
CALCARE SFATTO TIPO CRATI (M.L.L.)	< 0.7	A bis	A bis	A bis	A bis	A bis	A bis	A bis	A bis	A	-
ARGILLA DA TENERA A COMPATTA	≤ 3	A*	A*	A bis	A bis	A bis	A*	A*	A bis	A	D**
LIMO DA TENERO A COMPATTO	≤ 3	A*	A*	A bis	A bis	A bis	A*	A*	A bis	A	D**
SABBIA E GHIAIA DI MEDIA COMPATTEZZA	1 ÷ 2	B*	A*	A bis	A bis	A bis	B*	B*	A	A	≅ D
SABBIA E GHIAIA DI ELEVATA COMPATTEZZA	> 2.5	C*	B*	A	A	A	C*	C*	A	B	≅ D
CALCARE MARCESO (GRATE) ALIERTO O FRATTURATO	> 1.5	C*	B*	A	A	A	C*	C*	B	C	≅ D
MASSA E CALCARE MANSUETO	1.5 ÷ 4	E*	C*	B	B	B	(F)	(F)	(E)	E	F
MASSA MOLTO COMPATTA	> 4.5	E	-	-	-	-	-	-	-	F	F
ROCCIA ALTERATA	2.5 ÷ 4	F	F	-	-	-	(F)	(F)	(F)	A	A
ROCCIA FRATTURATA	> 4.5	F	-	-	-	-	-	-	-	A	A

* esecuzione estremamente accurata

** $P_c \geq 1.5 \text{ MPa}$

() se la battitura è possibile

4 ANALISI DEL FENOMENO DI CADUTA MASSI

L'intervento prevede la realizzazione di due serie di "ombrelli" per consolidare la coltre di materiale sciolto.

La fila di ombrelli superiore è prevista poco a monte di una barriera paramassi (500 kJ). Per verificare se questo intervento può ridurre significativamente l'opera di protezione della barriera, a seguito dell'effetto "trampolino" si è ritenuto opportuno eseguire diverse verifiche di scoscendimento blocchi sulla base di una sezione di calcolo ricavata dal rilievo Lidar della PAT, la cui traccia (colore giallo) è riportata nella planimetria seguente. Come area sorgente è stato preso l'affioramento presente fra le isoipse 627÷642.

Sulla base dei dati emersi durante il sopralluogo sono stati considerati blocchi subspigolosi e con massa 50÷300 kg - ($V = 0.019\div 0.115 \text{ m}^3$). I massi di volumetria contenuta sono normalmente quelli che presentano un limite d'espandimento maggiore in quanto tendono ad affossarsi di meno nel terreno a seguito degli impatti.

Per le simulazioni è stato utilizzato il programma di calcolo RocFall2, edito dalla RocScience (Università di Toronto). Questo programma nella valutazione delle traiettorie dei blocchi tiene conto della loro dimensione e della loro forma. È evidente infatti che se il masso viene assimilato ad una sfera nel suo processo di rotolamento lungo un piano inclinato non subisce nessun fenomeno di proiezione. Profondamente diverso è il comportamento di un masso di forma prismatica che, a seguito della rotazione lungo il proprio asse (effetto "spin") subisce proiezioni sempre più accentuate, man mano che aumenta la velocità angolare. È evidente che questo determina una notevole variazione del limite di massimo espandimento dei blocchi in quanto la traslazione avviene per rimbalzi successivi, e non per rotolamento dove ha notevole influenza l'irregolarità del terreno e l'angolo d'attrito al rotolamento.

Il fenomeno di caduta massi è estremamente complesso in quanto intervengono diversi fattori. Per questa ragione il programma RocFall2 consente di eseguire una serie di elaborazioni statistiche che tengono conto delle possibili variazioni che possono riguardare il masso (volume - forma - coefficiente di restituzione normale funzione della velocità del blocco o della massa del blocco) e le caratteristiche del terreno (distribuzione e dimensioni delle irregolarità del terreno - coefficiente di restituzione normale - tangenziale, coefficiente d'attrito di rotolamento, coefficiente di attrito dinamico). Per consentire l'elaborazione statistica del fenomeno sono state considerati numerosi crolli anche se i massi potenzialmente mobilizzabili sono molto rari.

Nelle simulazioni è stata considerata una funzione che lega il coefficiente di restituzione normale (R_N) alla velocità del blocco quindi, in ultima analisi, alla sua massa. Questo fattore rappresenta una transizione da condizioni quasi elastiche a basse velocità a condizioni altamente anelastiche ad alte velocità d'impatto, quando si manifestano fenomeni di fratturazione della roccia e/o deformazioni del suolo. Questo settaggio consente di ottenere parabole dei massi più realistiche.

Nel calcolo è stata altresì considerata una certa rugosità, variabile in maniera random, sia per quanto riguarda il substrato roccioso che la copertura detritica media, come ben evidenziato durante il sopralluogo.

Nelle verifiche non è stata considerata la presenza del bosco in quanto l'instabilità avvenuta e la sistemazione dell'area con ombrelli porterà inizialmente a questo. Solo col tempo si avrà un nuovo bosco che porterà anche ad una maggiore stabilizzazione della coltre di materiale sciolto con l'apparato radicale delle piante.

Secondo quanto suggerito dal progetto di norma UNI, relativo alle opere di difesa passiva, il loro dimensionamento deve essere fatto considerando la velocità di progetto dei blocchi corrispondente al frattile 95% delle velocità calcolate nelle analisi delle traiettorie, moltiplicata per un determinato fattore di sicurezza che tiene conto dell'affidabilità dei dati, per quanto riguarda i coefficienti di restituzione e la precisione del rilievo topografico.

Analogamente alla velocità dei blocchi, l'altezza di intercettazione di progetto è definita come l'altezza di passaggio dei blocchi rispetto al pendio corrispondente al frattile del 95% delle possibili traiettorie.

In base a quanto sopra esposto, relativamente alla sezione di calcolo vengono forniti i grafici relativi al frattile 95%, sia per quanto riguarda la velocità dei blocchi, l'energia in gioco e l'altezza delle parabole.

Preme specificare che nei grafici delle parabole le "altezze calcolate" fanno riferimento al baricentro del masso.

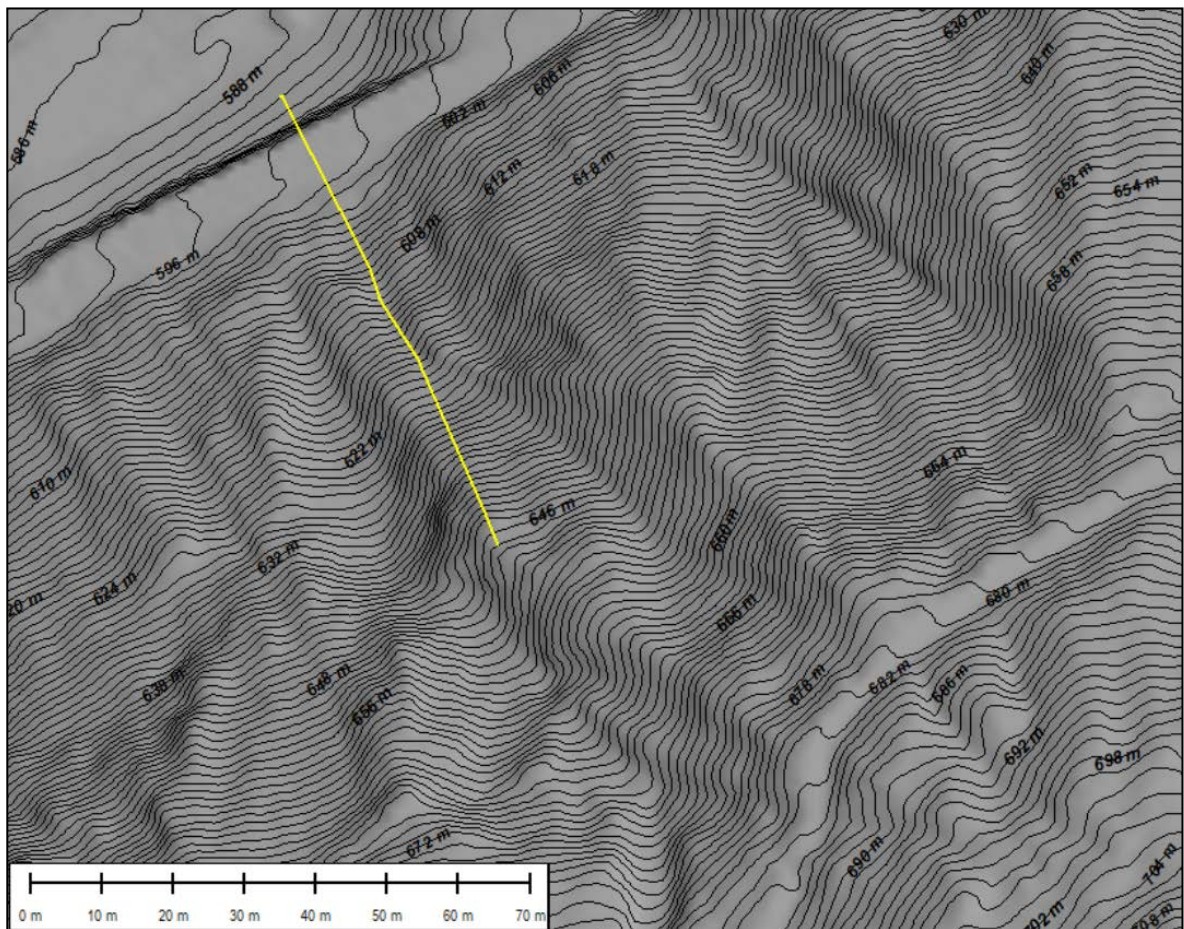
Per un maggiore approfondimento di quanto sopra si rimanda alla pubblicazione dell'UNI (codice progetto U71030324).

Come si può vedere nella sezione di calcolo solo due massi riescono a superare la barriera, in questo favoriti dall'effetto trampolino degli "ombrelli"; per poi interessare la sede stradale con energia e altezza delle parabole bassa.

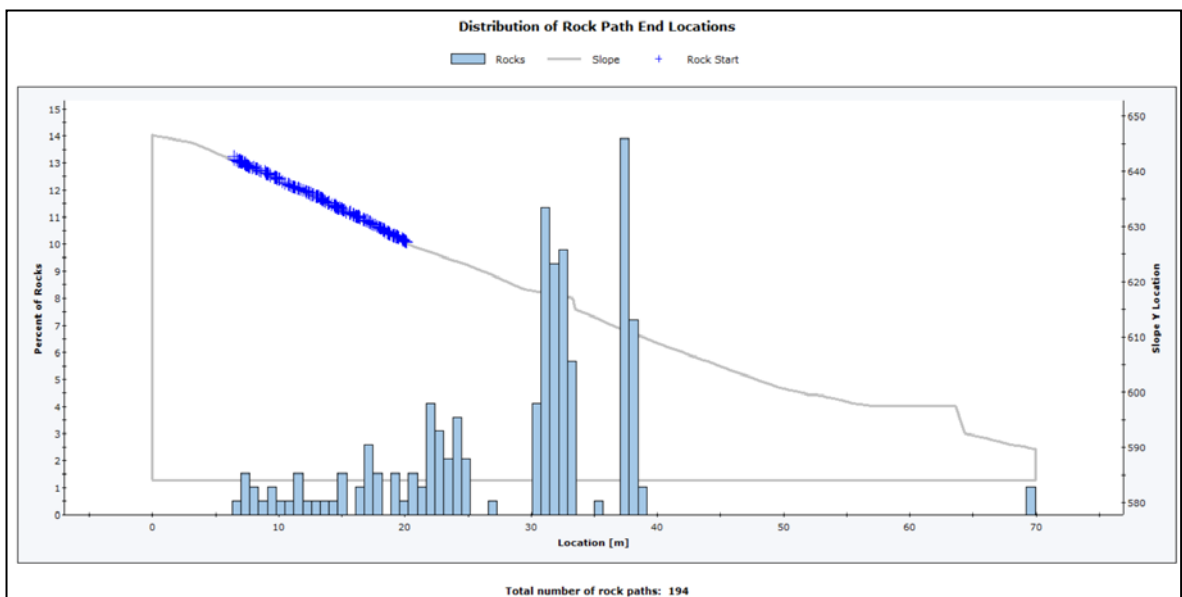
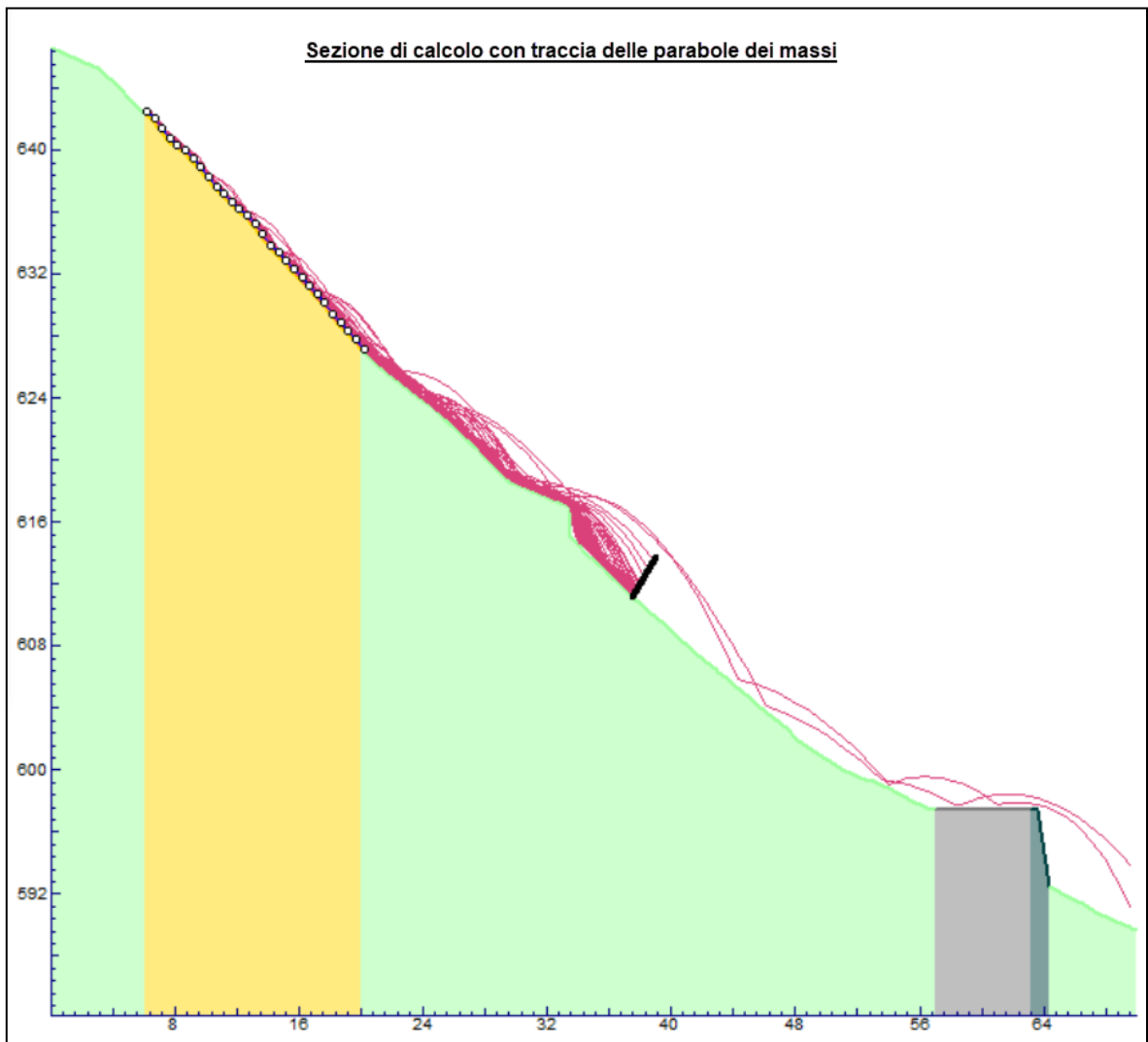
L'analisi del rischio legato al fenomeno di caduta massi può essere fatta con il metodo **Matterock** che pone i seguenti limiti relativamente alla **probabilità di accadimento**:

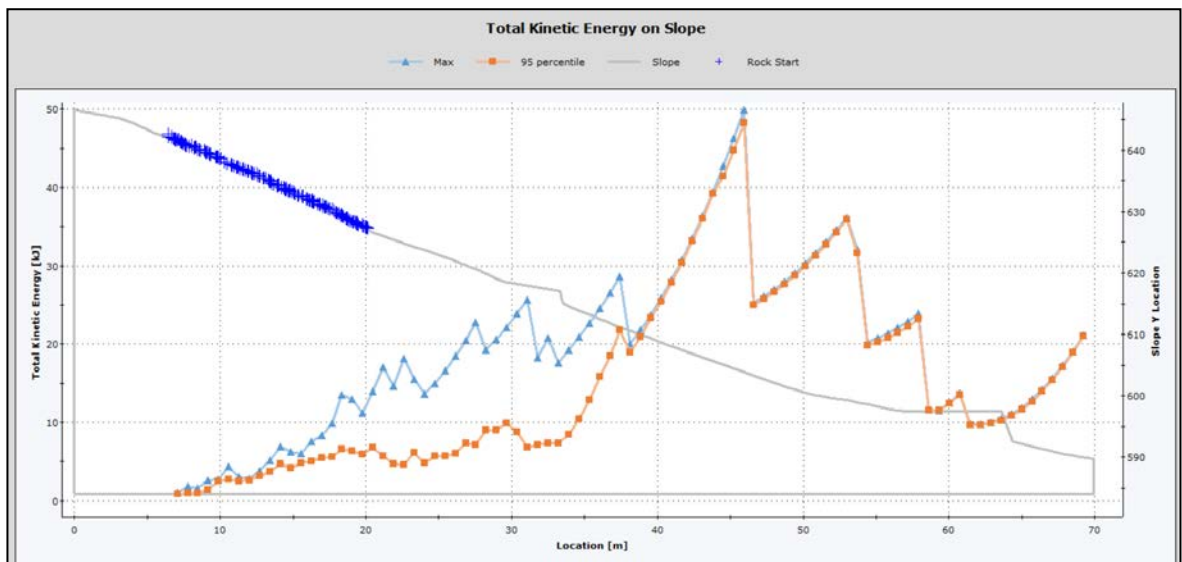
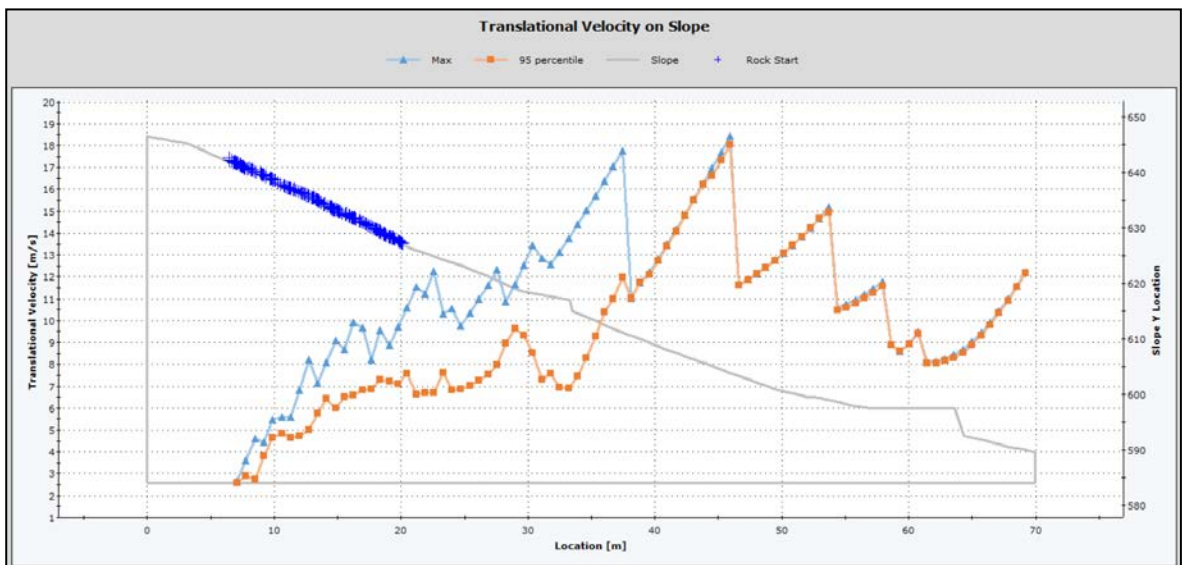
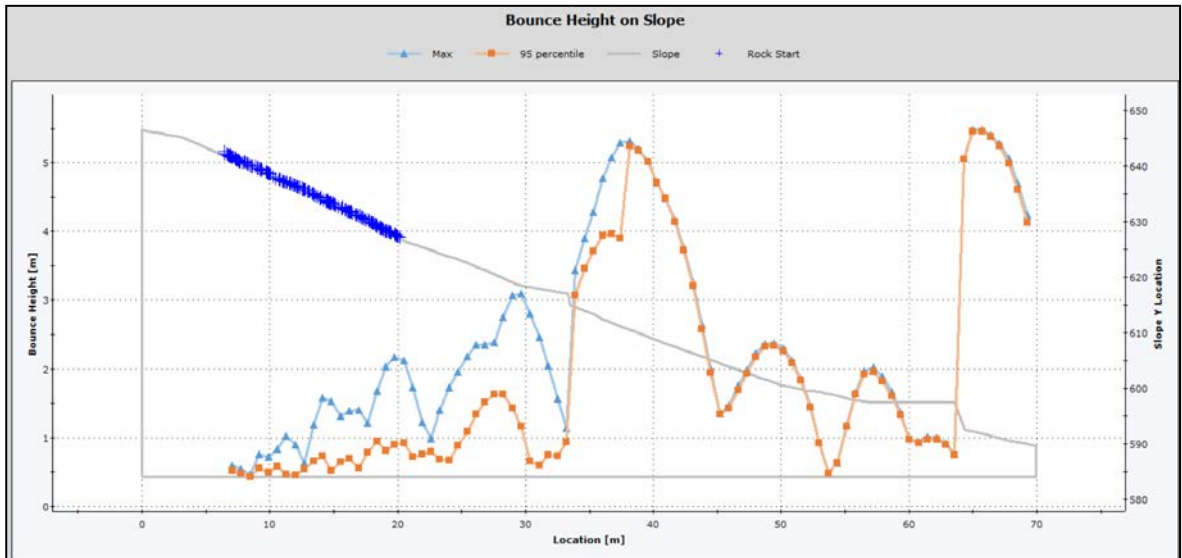
bassa: 0% ÷ 2% di arrivo dei massi
media: 2% ÷ 20% di arrivo dei massi
elevata: 20% ÷ 100% di arrivo dei massi

Per il tratto di strada provinciale sotteso dagli interventi di consolidamento previsti, relativamente al fenomeno di caduta massi, la probabilità di accadimento, nonché del rischio ad essa legato, risulta quindi molto basso.



Planimetria con traccia della sezione di calcolo





Project Settings

General Settings

Engine	Rigid Body
Units	Metric (m, kg, kJ)
Rock throw mode	Number of rocks controlled by seeder
Use tangential CRSP damping	Yes

Engine Conditions

Maximum steps per rock	20000
Normal velocity cutoff (m/s)	0.1
Stopped velocity cutoff (m/s)	0.1
Maximum timestep (s)	0.01
Switch velocity (m/s)	-1e-09

Random Number Generation

Sampling method	Monte-Carlo
Material Properties Sampling	Per segment
Random seed	Pseudo-random seed: 12345234

Slope Geometry		
Vertex	X	Y
1	0	646.574
2	0.5	646.326
3	1	646.099
4	1.5	645.91
5	2	645.712
6	2.5	645.488
7	3	645.25
8	3.5	644.888
9	4	644.437
10	4.5	643.859
11	5	643.298
12	5.5	642.802
13	5.884	642.473
14	6	642.384
15	6.5	641.893
16	7	641.259
17	7.5	640.667
18	8	640.227
19	8.5	639.857
20	9	639.329
21	9.5	638.792
22	10	638.189
23	10.5	637.558
24	11	637.036
25	11.5	636.589
26	12	636.124
27	12.5	635.643
28	13	635.133
29	13.5	634.444
30	14	633.759
31	14.5	633.265
32	15	632.769
33	15.5	632.224
34	16	631.681
35	16.5	631.134
36	17	630.596
37	17.5	630.01
38	18	629.356
39	18.5	628.729
40	19	628.185
41	19.5	627.647
42	20	627.105
43	20.5	626.577
44	21	626.142
45	21.5	625.727
46	22	625.333
47	22.5	624.926
48	23	624.519
49	23.5	624.134
50	24	623.781

51	24.5	623.42
52	25	623.004
53	25.5	622.532
54	26	622.045
55	26.5	621.575
56	26.77	621.345
57	27	621.142
58	27.5	620.651
59	27.909	620.21
60	28	620.112
61	28.5	619.579
62	29	619.036
63	29.5	618.616
64	33.326	617.006
65	33.5	615.06
66	34	614.49
67	34.5	613.994
68	35	613.556
69	35.347	613.22
70	35.5	613.065
71	36	612.546
72	36.5	612.074
73	37	611.61
74	37.5	611.112
75	38	610.674
76	38.315	610.424
77	38.5	610.279
78	39	609.843
79	39.5	609.383
80	40	608.943
81	40.5	608.494
82	41	608.028
83	41.5	607.595
84	42	607.157
85	42.5	606.738
86	42.954	606.357
87	43	606.322
88	43.5	605.941
89	44	605.556
90	44.5	605.128
91	45	604.682
92	45.5	604.235
93	46	603.8
94	46.5	603.398
95	47	603.003
96	47.5	602.585
97	48	602.133
98	48.5	601.694
99	49	601.332
100	49.5	600.983

101	50	600.654
102	50.5	600.359
103	51	600.077
104	51.5	599.818
105	52	599.584
106	52.5	599.437
107	53	599.29
108	53.5	599.053
109	54	598.82
110	54.5	598.564
111	55	598.294
112	55.5	598.021
113	56	597.783
114	56.5	597.595
115	57	597.485
116	63.1643	597.435
117	63.58	597.432
118	64.339	592.516
119	66	591.621
120	66.5	591.34
121	67	591.052
122	67.5	590.761
123	68	590.517
124	68.5	590.295
125	69	590.079
126	69.5	589.871
127	69.886	589.716
128	69.932	589.716


Slope Material Assignment

Material	From Vertex	To Vertex
detrito medio con asperità	1	14
roccia alterata	14	42
detrito medio con asperità	42	115
asphalt	115	116
calcestruzzo	116	118
detrito medio con asperità	118	128

Material Properties

asphalt

"asphalt" Properties


Color					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.4	Normal	0.04	0.12	0.12
Tangential Restitution	0.9	Normal	0.03	0.09	0.09
Dynamic Friction	0.5	Normal	0.04	0.12	0.12
Rolling Friction	0.1	Normal	0.01	0.03	0.03

"asphalt" Advanced Properties

Forest and Vegetation Damping	Disabled
Scarring	Disabled
Viscoplastic Damping	Disabled

detrito medio con asperità

"detrito medio con asperità" Properties


Color					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.32	Normal	0.04	0.12	0.12
Tangential Restitution	0.8	Normal	0.04	0.12	0.12
Dynamic Friction	0.56	Normal	0.04	0.12	0.12
Rolling Friction	0.65	Normal	0.04	0.12	0.12

"detrito medio con asperità" Advanced Properties

Forest and Vegetation Damping	Disabled
Scarring	Disabled
Viscoplastic Damping	Disabled

roccia alterata

"roccia alterata" Properties


Color					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.35	None			
Tangential Restitution	0.85	None			
Dynamic Friction	0.58	None			
Rolling Friction	0.4	None			
Slope Roughness	1	Normal	0.2	0.6	0.6
Spacing Slope Roughness	0	Normal	0.1	0.3	0.3
Amplitude					

"roccia alterata" Advanced Properties

Forest and Vegetation Damping	Disabled
Scarring	Disabled
Viscoplastic Damping	Disabled

asfalto - calcestruzzo

"asfalto - calcestruzzo" Properties

Color					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.44	None			
Tangential Restitution	0.71	None			
Dynamic Friction	0.56	None			
Rolling Friction	0.42	None			


"asfalto - calcestruzzo" Advanced Properties

Forest and Vegetation Damping	Disabled
Scarring	Disabled
Viscoplastic Damping	Disabled

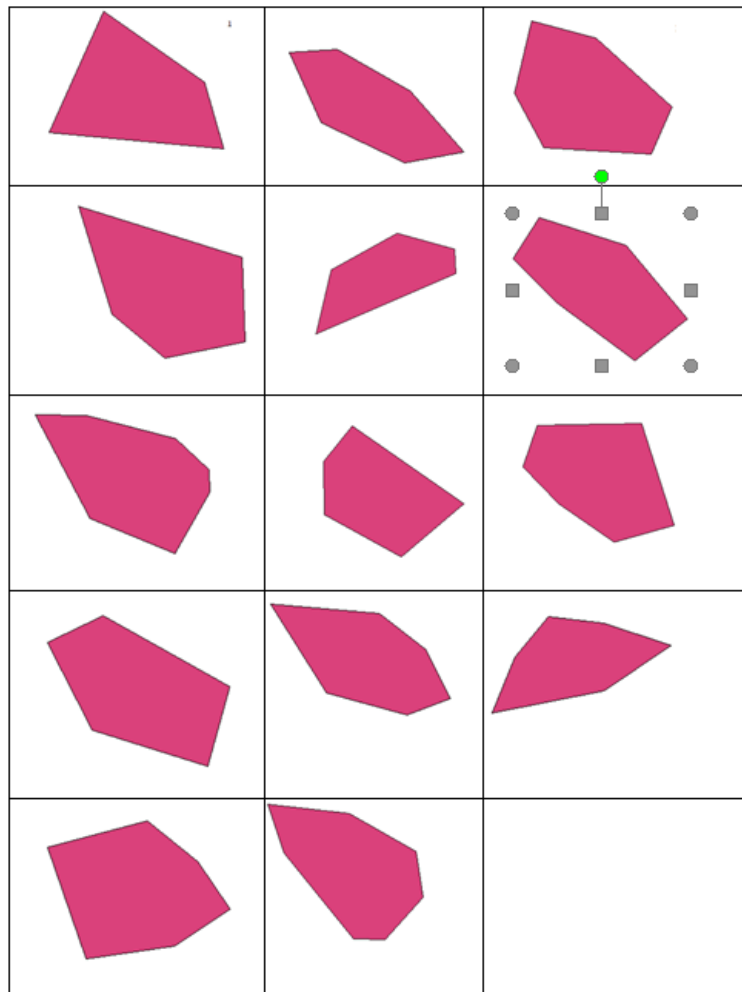
Rock Types

Group 1

Properties

Name	Group 1				
Color					
Smooth Shapes	None				
Polygons	Custom Polygon 2, Custom Polygon 3, Custom Polygon 5, Custom Polygon 10, Custom Polygon 12, Custom Polygon 13, Custom Polygon 14, Custom Polygon 15, Custom Polygon 16, Custom Polygon 77, Custom Polygon 78, Custom Polygon 79, Custom Polygon 103, Custom Polygon 104				
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Mass (kg)	100	Uniform		50	200
Density (kg/m3)	2600	None			

Custom Shapes



5. CONCLUSIONI

A seguito delle abbondanti precipitazioni della seconda metà del mese di maggio 2024, si è verificato un piccolo smottamento che ha interessato il ripido versante situato subito a monte della strada provinciale che è stata solo parzialmente interessata dal fenomeno d'instabilità in quanto il materiale mobilizzato è stato per gran parte trattenuto dalle reti paramassi esistenti.

Per la messa in sicurezza della sede stradale il progetto prevede la realizzazione di due serie di "ombrelli" (2.0 * 2.5 m) ancorati al terreno (lunghezza ancoraggi 8.0 m), costituiti da un paramento in carpenteria metallica con pannelli a rete metallica a doppia torsione (tipo Maccaferri) e funi di rinforzo. Questo per dare maggior "piede" alla coltre di materiale sciolto mobilizzata.

L'intervento sarà completato con il ripristino delle barriere paramassi esistenti e la sostituzione di una campata che si presenta parzialmente danneggiata.

In base a quanto emerso durante il sopralluogo si può affermare che gli ancoraggi della fila d'ombrelli superiore interesserà, sia pur parzialmente, il substrato roccioso che presenta caratteristiche geomeccaniche scadenti, mentre gli ancoraggi della fila d'ombrelli inferiore interesseranno verosimilmente la sola coltre quaternaria che presenta discrete caratteristiche geotecniche.

La fila di ombrelli superiore è prevista poco a monte di una barriera paramassi. Per verificare se questo intervento può ridurre significativamente l'opera di protezione della barriera, a seguito dell'effetto "trampolino" si è ritenuto opportuno eseguire diverse verifiche di scoscendimento blocchi sulla base di una sezione di calcolo ricavata dal rilievo Lidar della PAT

Solo una minima percentuale dei blocchi riesce a superare la barriera interessando poi la S.P., con energia e altezza delle parabole bassa.

Per il tratto di strada provinciale sotteso dagli interventi di consolidamento previsti, relativamente al fenomeno di caduta massi, la probabilità di accadimento, nonché del rischio ad essa legato, risulta quindi molto basso.

Il presente elaborato è stato redatto in ottemperanza ai contenuti del D.M. 17 gennaio 2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni".

Trento, settembre 2024



Mario Cavattoni