

COMUNE DI FIEROZZO

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

**PROGETTO PER LAVORI DI SOMMA URGENZA
PER LA MESSA IN SICUREZZA DELLA
S.P. 135 "SINISTRA FERSINA" AL KM 9,960
IN LOC. FILZERHOF A MONTE DELL'ABITATO DI SAN FELICE**

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 9,960, in loc. Filzerhof.

A seguito delle abbondanti precipitazioni della seconda metà del mese di maggio 2024, si è verificato un cedimento, di oltre un metro, della porzione più esterna della carreggiata della strada provinciale, in un tratto di circa 30 m di sviluppo, alla testata di una piccola ma incisa vallecchia. Preme sottolineare il fatto che in passato si sono manifestati altri cedimenti, sempre nello stesso punto, come evidente dai diversi strati di asfalto, per uno spessore complessivo di circa un metro o poco più.

In concomitanza dello smottamento che ha coinvolto il ciglio stradale si sono verificate due piccole colate detritiche che hanno interessato la copertura morenica-eluviale e che sono state innescate da emergenze temporanee, molto probabilmente legate al subaffioramento roccioso meno permeabile che favorisce il sostentamento delle acque di percolazione.

Le due colate hanno movimentato di blocchi del deposito morenico con $V_{\max} \approx 0.07 \text{ m}^3$.

Durante i mesi estivi, nel corso dei quali è stato operato l'esbosco delle piante malate colpite dal *bostrico*, si sono avute forti precipitazioni che hanno causato un notevole allargamento della fascia interessata dall'instabilità con colate detritiche di una certa rilevanza che hanno riguardato anche la strada provinciale e la creazione di nuove fessure di trazione e/o l'allargamento di quelle esistenti.

Il materiale movimentato che poi si è arrestato lungo il versante notevolmente acclive si presenta molto instabile quando saturo, mentre elevata è la sua "compattezza" quando asciutto. È quindi facile prevedere una sua ulteriore movimentazione in caso di piogge di una certa consistenza.

Per la messa in sicurezza della sede stradale il progetto prevede la realizzazione di una "berlinese" di micropali disposti a cavalletto con cordolo di calcestruzzo armato sommitale alla "berlinese", con funzione di fondazione per l'installazione di un tratto di barriera stradale tipo H2.

Per il consolidamento del versante a monte della S.P.135 il progetto prevede la posa subito a monte della strada di alcune serie di "ombrelli" ancorati al terreno, costituiti da un paramento in carpenteria metallica con pannelli a rete metallica a doppia torsione (tipo Maccaferri) e funi di rinforzo.

Alcuni "ombrelli" sono previsti anche nella parte sommitale delle zone instabili per consolidare le scarpate principali delle frane che nei casi in esame presentano un'altezza massima di 2.5÷3.0 m.

Gli interventi di consolidazione del versante saranno completati con la posa, nei tratti maggiormente "critici" di *biostuoie*, ammorsate al terreno con rete metallica, ed eventuali funi d'acciaio di rinforzo. Quest'ultimo intervento è volto al rapido rinverdimento del corpo di frana per limitare la sua erosione ad opera delle acque meteoriche, ed alla veloce crescita delle piante ad alto fusto che favoriscono una stabilizzazione del terreno con il loro apparato radicale.

Non si prevede la realizzazione di barriere paramassi in quanto gli affioramenti rocciosi che potrebbero costituire un'area sorgente sono rari e di pochi metri

quadri di estensione. Come si è già avuto modo di dire in precedenza i massi che hanno raggiunto la strada provinciale sono quelli movimentati dalle colate detritiche.

Gli interventi saranno completati con la posa lungo gli impluvi di canalette per la raccolta delle emergenze idriche, causa principale dei fenomeni d'instabilità, e il loro smaltimento nella porzione inferiore del versante sotto strada, in un tratto meno acclive dove non possono creare problemi di stabilità.

Durante i sopralluoghi eseguiti si è potuto constatare che anche nelle aree fittamente boscate e rinverdite che non sono state interessate da questi ultimi fenomeni d'instabilità, sono ben evidenti forme morfologiche connesse a vecchi fenomeni franosi (nicchie di frana – zone di accumulo), a testimonianza che tutta questa porzione del versante est della Val dei Mocheni si trova in precario stato di "equilibrio". Instabilità dovute alle emergenze idriche e alle elevate pendenze (vedi viste prospettiche "3D").

Per la stesura della relazione, al fine di meglio conoscere la situazione stratigrafica locale, dove è prevista la posa dei micropali è stata fatta un'indagine geofisica MASW (*Multichannel Analisis of Surface Waves*) per valutare lo spessore della copertura di materiale sciolto ed il grado di compattezza del substrato roccioso dove "impostare" i micropali.

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 è verificato il cedimento della banchina esterna della strada provinciale si trova in sinistra orografica della Val dei Mocheni a q. 1243, lungo un versante con pendenza media di $37^{\circ}\div 38^{\circ}$ e geologicamente caratterizzato da depositi morenici generalmente di natura ghiaioso-sabbiosa, con inglobati ciottoli e massi più o meno arrotondati, in matrice fine limosa non particolarmente abbondante.

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

In considerazione della natura grossolana del *deposito di frana* 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 bassa compattezza (vedi dati indagine geofisica - $\phi_1 = -4^{\circ}$), forma degli elementi clastici media-arrotondata ($\phi_2 = -2^{\circ}$), 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 $\phi = 34^{\circ}$.

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 "**B**", 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 $c = 0.2\div 0.3 \text{ t/m}^2$.

Un angolo d'attrito più o meno simile emerge anche dall'indagine geofisica, di cui si parlerà più in dettaglio successivamente, che lega le V_s ai valori di N_{SPT} (Standard Penetration Test) e, in ultima analisi ai valori dell'angolo d'attrito interno del terreno.

Al deposito morenico non rimaneggiato, che presenta un discreto grado di compattezza, sempre utilizzando le relazioni di *Chen*, è possibile attribuire un angolo d'attrito interno $\phi = 37^{\circ}\div 38^{\circ}$ e una coesione $c = 0.5\div 0.7 \text{ kg/cm}^2$; questo anche in base al confronto con terreni con caratteristiche analoghe presenti in zona.

Nel tratto di versante esaminato, fino alla strada forestale di q. 1420 sono stati rilevati due piccoli affioramento rocciosi, di pochi metri quadri di sviluppo costituiti da ignimbriti riodacitiche e filladi quarzifere.

Le rocce si presentano discretamente fratturate per cui eventuali blocchi mobilizzabili hanno volumetrie di pochi dm^3 .

Per quanto riguarda il substrato roccioso filladico che presenta *caratteristiche geomeccaniche scendenti o molto scendenti*, Bieniawski (1979) suggerisce i seguenti parametri geotecnici: $\phi \approx 15^\circ \div 18^\circ$ - $c \approx 10$ (t/m²).

Come si è già avuto modo di dire in precedenza, al fine di valutare le caratteristiche della copertura di materiale sciolto e la profondità del tetto del substrato roccioso è stata fatta un'indagine geofisica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) a cura della Ditta GG Service di Torbole.

L'indagine ha evidenziato uno strato superficiale di 4÷5 m di spessore con $V_s = 180 \div 280$ m/sec, costituito da materiale di riporto e dal deposito di frana con medio-scendenti caratteristiche geotecniche. Segue fino ad 8÷10 m di profondità un deposito con $V = 280 \div 400$ m/sec costituito verosimilmente dai depositi morenici compatti, non rimaneggiati.

Il substrato con $V_s = 450 \div 800$ m/sec è con ogni probabilità costituito dal substrato roccioso più o meno fratturato-alterato (filladi).

Per una migliore analisi dei risultati dell'indagine geofisica si rimanda all'allegata relazione della G.G. Service.

Più o meno sullo stesso sito è stata fatta anche un'indagine geofisica MASW da parte del Servizio Geologico della PAT di cui si allega l'elaborato.

La prospezione ha evidenziato una certa variabilità della coltre più superficiale e, in accordo con i risultati dell'indagine eseguita dalla Ditta GG Service, la presenza di un livello "compatto", con $V_s > 600$ m/sec., a partire da 8.5 m di "profondità", ascrivibile al substrato roccioso più o meno alterato-fratturato, in base anche alle correlazioni con i vicini affioramenti.

In sostanza nell'area d'intervento la situazione stratigrafica può essere così schematizzata:

<i>LITOLOGIA</i>	<i>Spessore (m)</i>	<i>Angolo d'attrito interno</i>	<i>Coesione</i>
<i>riporto e deposito di frana</i>	<i>4.0÷5.0 m</i>	<i>$\phi = 34^\circ$</i>	<i>$c = 0.2 \div 0.3$ (t/m²)</i>
<i>deposito fluvioglaciali</i>	<i>4.5÷6.0 m</i>	<i>$\phi = 38^\circ$</i>	<i>$c = 0.5 \div 0.7$ (t/m²)</i>
<i>substrato filladico</i>	<i>////</i>	<i>$\phi \approx 15^\circ \div 18^\circ$</i>	<i>$c \approx 10$ (t/m²)</i>

Poiché il progetto prevede micropali di 12.0 m di lunghezza, questi ultimi potranno essere "ammorsati" direttamente sulla roccia verosimilmente costituita dalle filladi alterate e fratturate.

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 penality rilevata ⁽¹⁾) e compilare il modello C1 dell'asseverazione.

La zona d'intervento ricade tra le aree con **pericolosità bassa (P2)** per **problemi litogeomorfologici** (elevata pendenza), **crolli** e **DGPV** (*Deformazioni Gravitative Profonde di Versante*).

Per quanto riguarda la **DGPV** si precisa che interessa gran parte del versante orografico sinistro della Val dei Mocheni ma che comunque i movimenti ad essa associati sono molto lenti e non hanno nessuna influenza nel fenomeno d'instabilità in esame.

Per quanto attiene i crolli si specifica che le possibili *“aree sorgente”* sono irrilevanti, di pochi m² e che i volumi mobilizzabili sono ridotti, di pochi dm³.

Per completezza di trattazione sono state fatte delle verifiche di caduta massi, considerando cautelativamente come zone di distacco quasi gran parte del versante, dove la movimentazione dei massi avviene a seguito di schianti.

Le verifiche hanno evidenziato che la quasi totalità dei blocchi tende a fermarsi lungo il versante, non interessando la strada provinciale. La possibilità che la S.P. 135 possa essere interessata da questo fenomeno è estremamente bassa, molto inferiore rispetto ad altre strade della provincia, tenuto anche conto che nel caso in esame le zone in frana saranno rivestite con biostuoie e rete metallica.

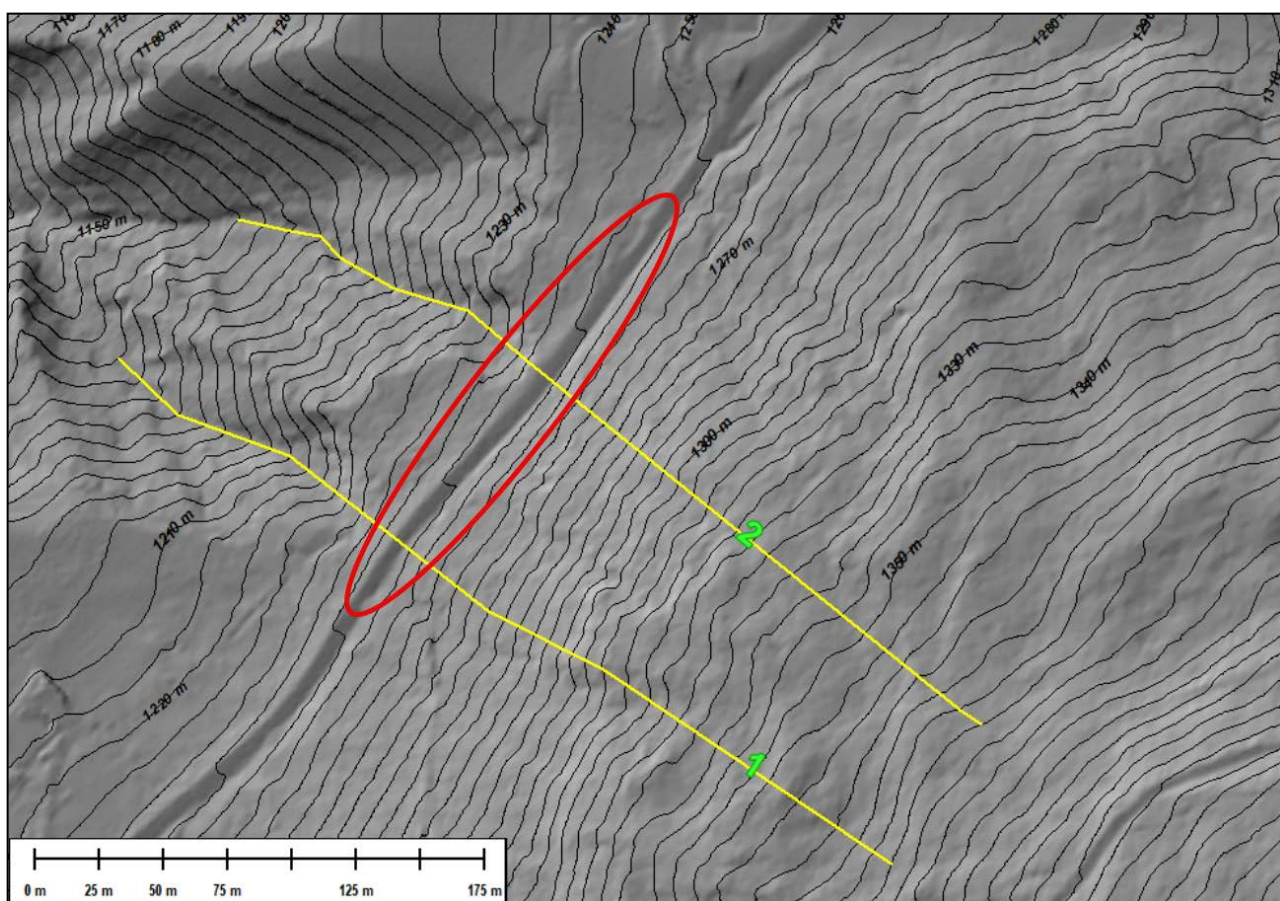
Alla luce di quanto sopra, relativamente alla zona in esame, non si ritiene necessario prevedere barriere paramassi.

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.*

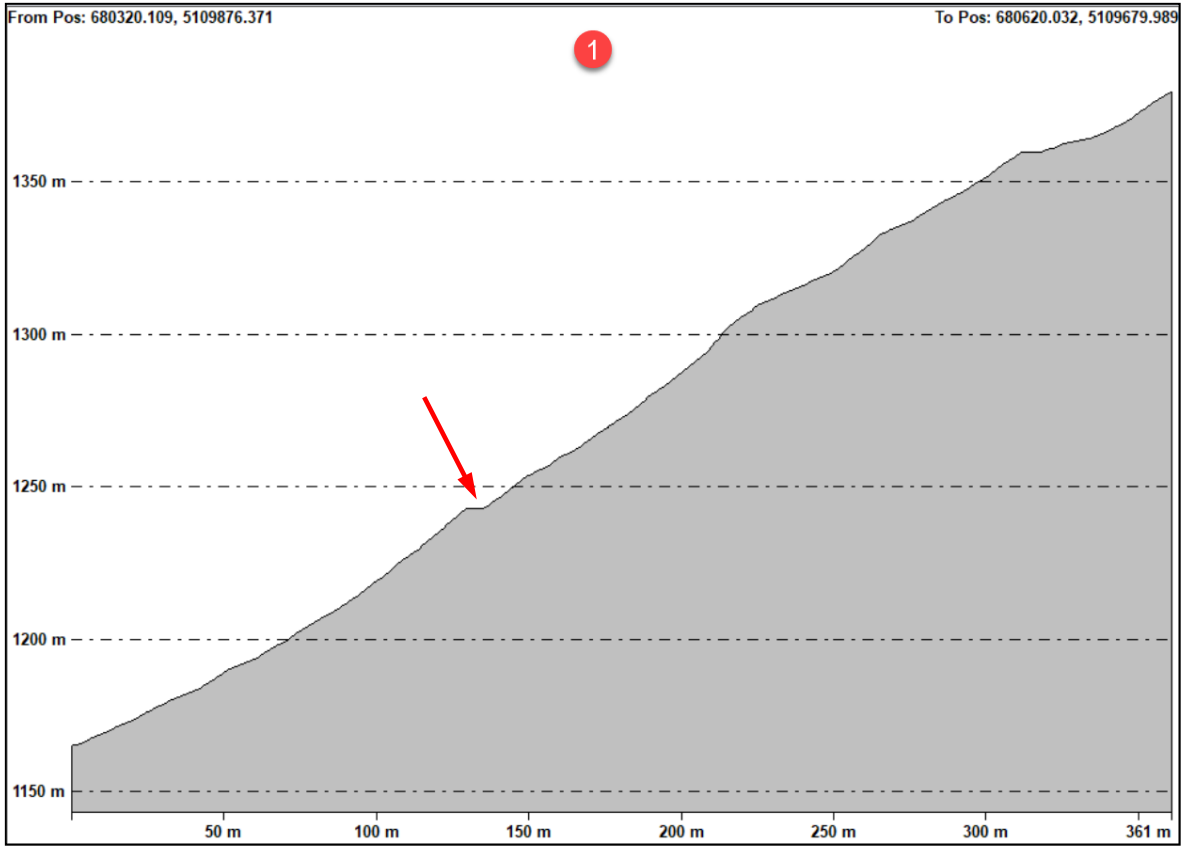
In base agli eventi d'instabilità che si sono verificati ultimamente ed in passato il sito in esame potrebbe invece rientrare tra quelli con pericolosità per frana. Ciò è in parte confermato dalla morfologia irregolare del sito (vedi viste prospettiche "3D").

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

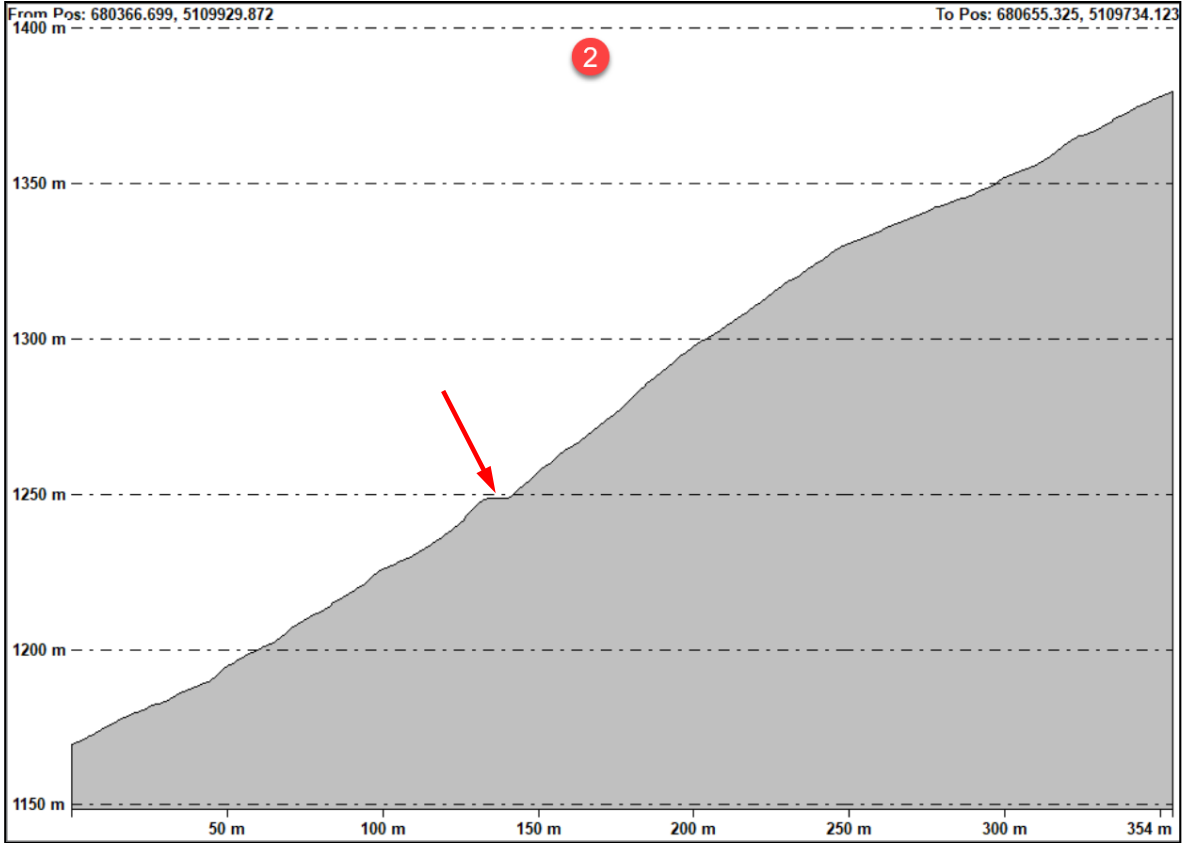
Il sito d'intervento non rientra tra le **aree di rispetto** e/o di **protezione idrogeologica** di sorgenti o pozzi captati a scopo potabile, così come riportato nella *Carta delle Risorse Idriche* della PAT, mentre ricade tra le aree soggette a **Vincolo Idrogeologico**. Relativamente a quest'ultimo aspetto preme sottolineare il fatto che l'intervento previsto porta ad un miglioramento dell'assetto idrogeologico della zona.

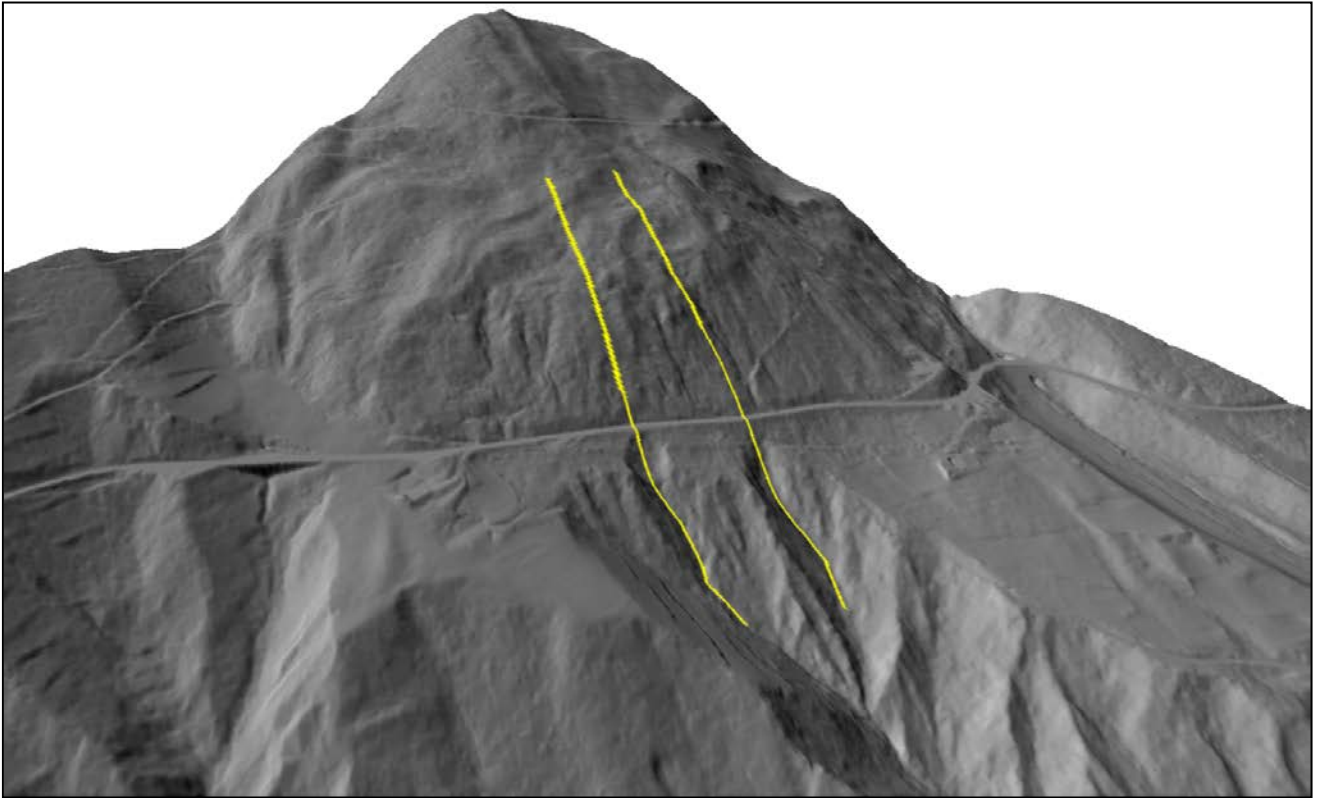


Planimetria con traccia delle sezioni da rilievo Lidar della PAT

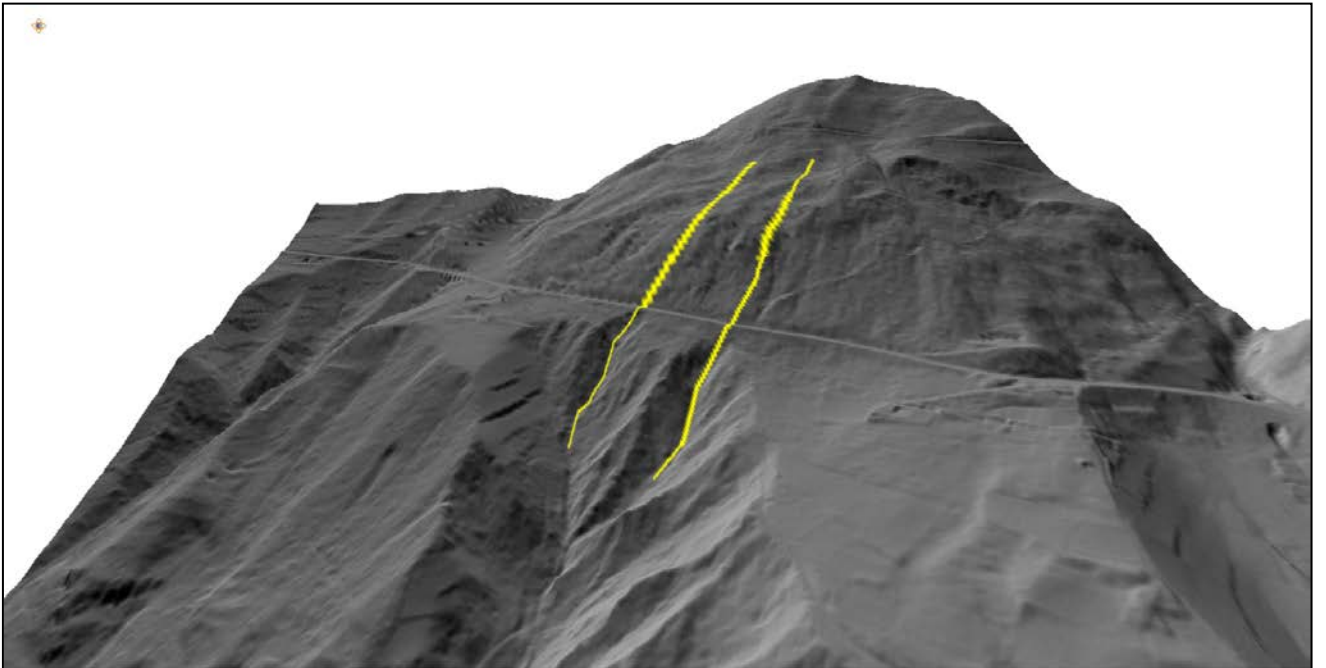


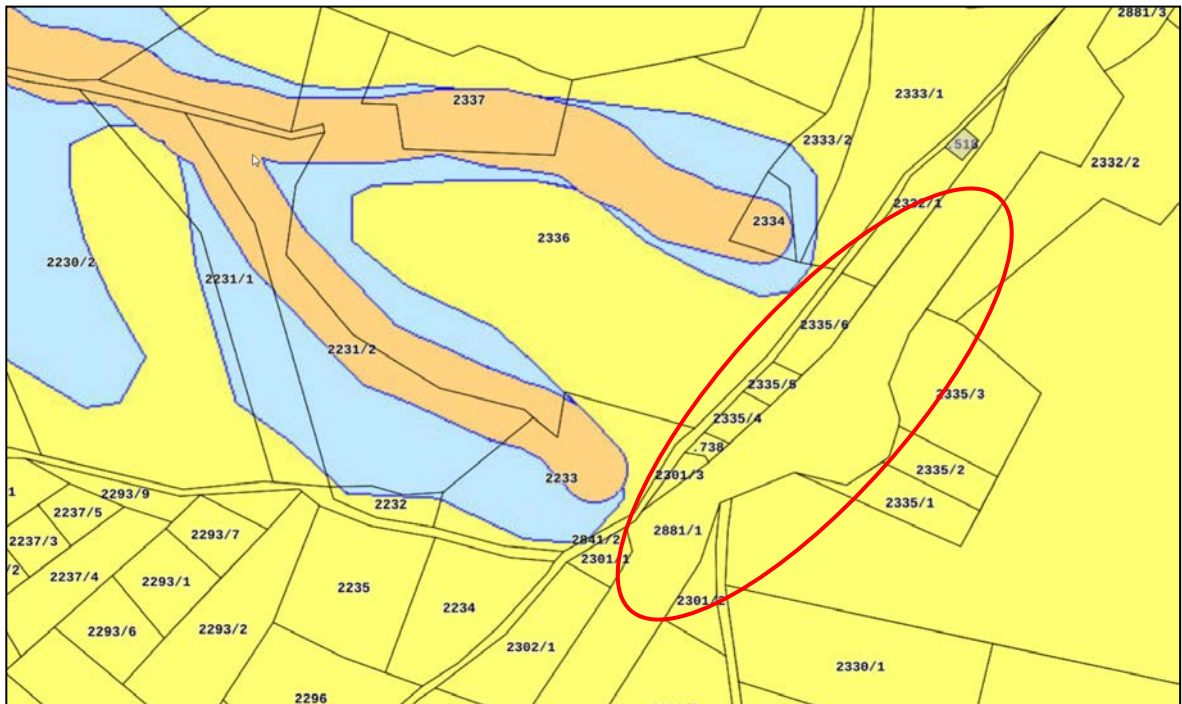
Sezioni da rilievo Lidar della PAT





Viste prospettiche "3D" da rilievo Lidar della PAT















Legenda - CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITA'

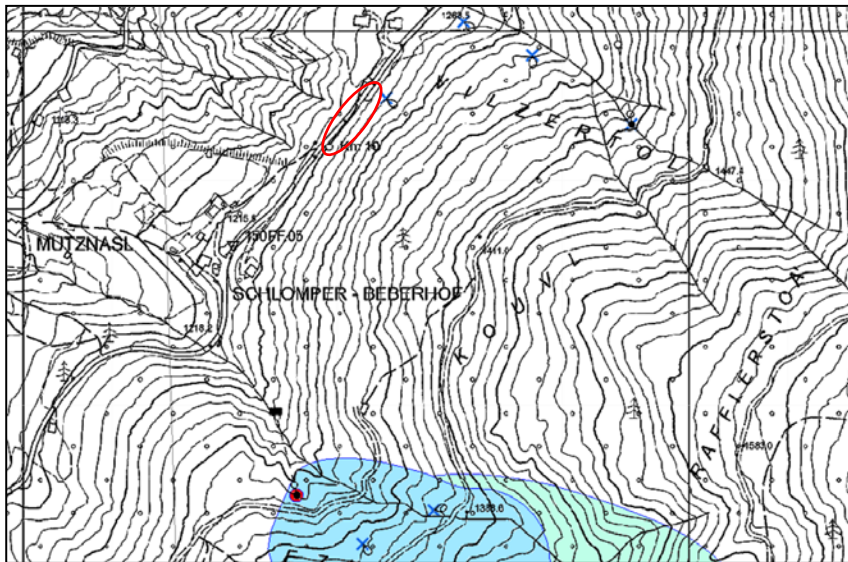
Classi di Penalità

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
	AF1 - 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	

Carta di Sintesi della Pericolosità 1AGG: P2

CSP	P2
CSP fluviale	
CSP fluviale residua	
CSP lacuale	
CSP torrentizia	
CSP FRANE	
CSP Crolli	P2
CSP DGPV	P2
CSP valanghiva	
CSP Piccola Età Glaciale (PEG)	
CSP Permafrost e Rock Glacier	
CSP Litogeomorfologica	P2
CSP incendi boschivi	P1



CARTA DELLE RISORSE IDRICHE DELLA PAT

Legenda**Zona di Tutela Assoluta**

- Sorgenti
- Sorgenti Minerali
- Acque Superficiali
- Pozzi

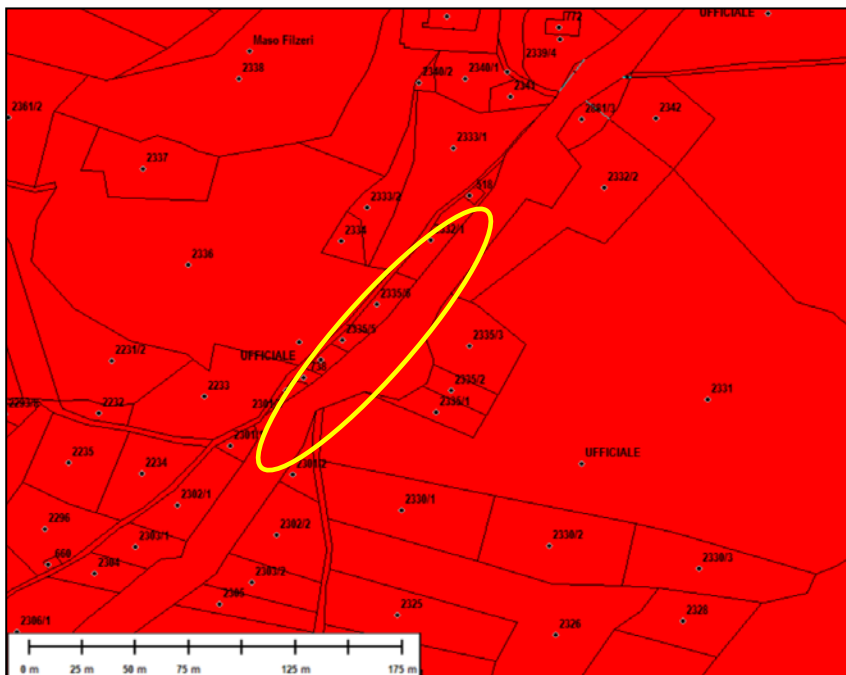
Zona di Rispetto Idrogeologico

- Sorgenti, Sorgenti Minerali, Acque Superficiali e Pozzi

Zona di Protezione Idrogeologica

- Sorgenti, Sorgenti Minerali, Acque Superficiali e Pozzi

• altre sorgenti non disciplinate dall'art.21 del P.U.P.

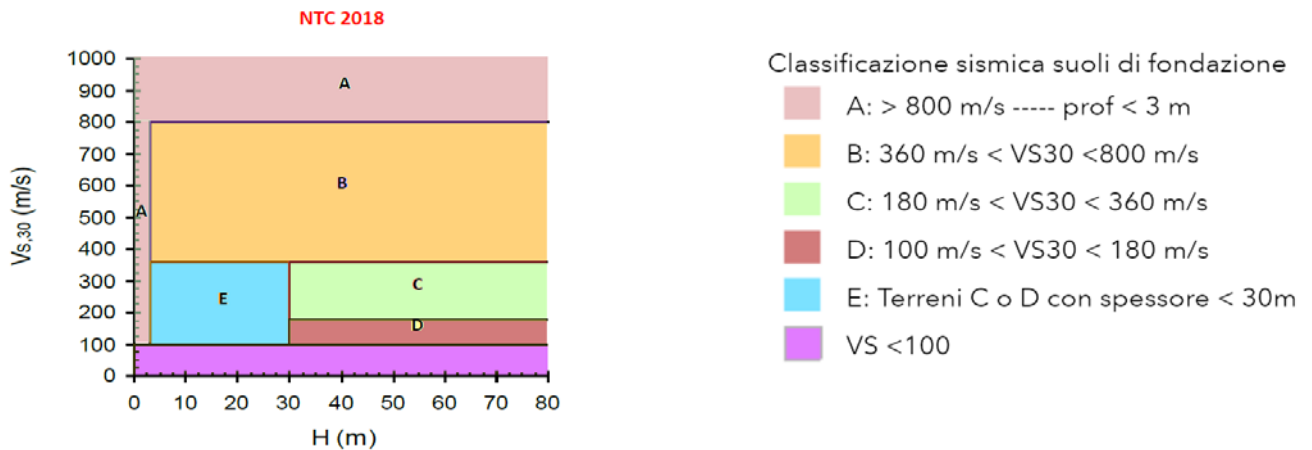
**VINCOLO IDROGEOLOGICO****LEGENDA**

	area vincolata
	area non vincolata

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 dell’indagine geofisica eseguita 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>Depositati 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>Depositati 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 territoriale nazionale Isole

Via: Fierozzo

Lat. 46,11817628 Long. 11,33533739

Datum: WGS84

Parametri sismici
 Lat. (ED50) 46,11907425 Long. (ED50) 11,33635926

Classe dell'edificio: III. Costruzioni il cui uso preveda affo...

Coefficiente d'uso Cu: 1,5

Vita nominale: 100 anni

Interpolazione: Media ponderata

	Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
Px	Operatività (SLO)	90	0,041	2,540	0,271
	Danno (SLD)	151	0,050	2,517	0,302
	Salvaguardia vita (SLV)	1424	0,103	2,648	0,378
	Prevenzione collasso (SLC)	2475	0,123	2,628	0,392

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2

Muri di sostegno

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti

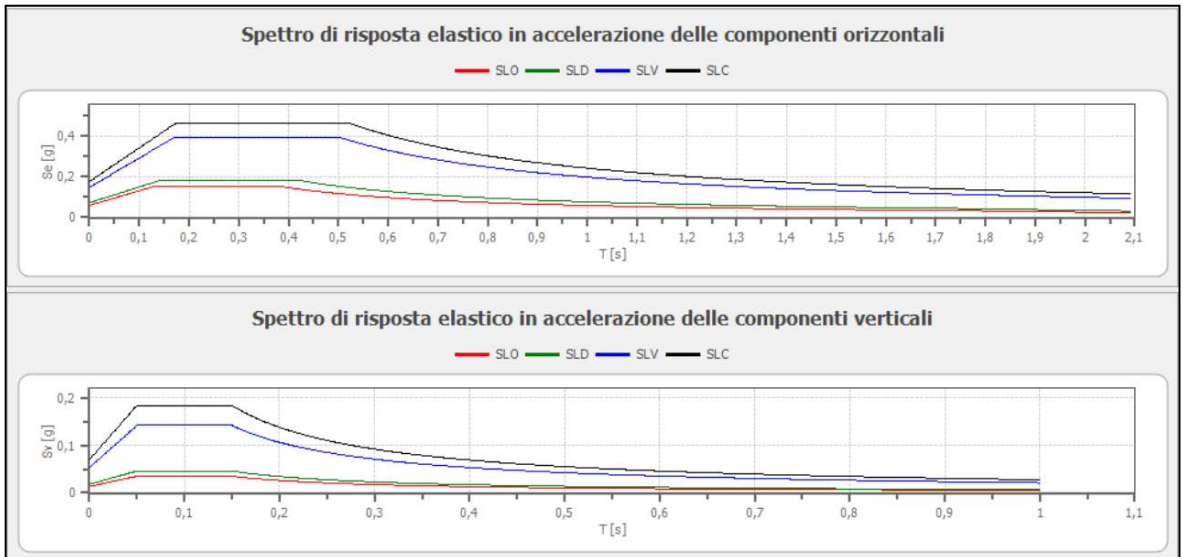
Paratie

Altezza paratia: H: [] [m]

Spostamento ammissibile: us: [] [m]

Stabilità dei pendii e fondazioni Fronti scavo e rilevati

		SLO	SLD	SLV	SLC
Muri di sostegno spost. nullo	Ss	1,20	1,20	1,20	1,20
	Cc	1,43	1,40	1,34	1,33
	St	1,20	1,20	1,20	1,20
	kh	0,060	0,072	0,148	0,177
	kv	0,030	0,036	0,074	0,088
Stabilità dei pendii e fondazioni	Amax [m/s²]	0,585	0,708	1,451	1,735
	Beta	1,000	1,000	1,000	1,000
	kh	0,012	0,014	0,036	0,042
	kv	0,006	0,007	0,018	0,021
Muri di sostegno	Amax [m/s²]	0,585	0,708	1,451	1,735
	Beta	--	0,470	0,380	--
	kh	--	0,034	0,056	--
	kv	--	0,017	0,028	--
Fronti di scavo e rilevati	Amax [m/s²]	0,585	0,708	1,451	1,735
	Beta	--	0,470	0,380	--
	kh	--	0,034	0,056	--
	kv	--	0,017	0,028	--



	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	0,041	2,540	0,271	1,200	1,430	1,200	1,440	1,000	0,129	0,387	1,766	0,060	0,152
SLD	1,5	0,050	2,517	0,302	1,200	1,400	1,200	1,440	1,000	0,141	0,423	1,801	0,072	0,182
SLV	1,5	0,103	2,648	0,378	1,200	1,340	1,200	1,440	1,000	0,169	0,506	2,011	0,148	0,392
SLC	1,5	0,123	2,628	0,392	1,200	1,330	1,200	1,440	1,000	0,174	0,522	2,091	0,177	0,465

	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	0,041	2,540	0,271	1	1,430	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,014	0,035
SLD	1,5	0,050	2,517	0,302	1	1,400	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,018	0,046
SLV	1,5	0,103	2,648	0,378	1	1,340	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,053	0,141
SLC	1,5	0,123	2,628	0,392	1	1,330	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,070	0,183

3 INTERVENTO PER MESSA IN SICUREZZA DELLA CARREGGIATA

Come si è già avuto modo di dire in precedenza, per la messa in sicurezza della carreggiata il progetto prevede la realizzazione di un banchettone su micropali con disposizione a cavalletto - quinconce.

L'indagine geofisica eseguita ha evidenziato un livello con $V_s > 650$ m/sec. a partire da 8.5÷10.0 m di profondità (verticale-laterale). Questo livello è ragionevolmente costituito dalle filladi fratturate e parzialmente alterate.

I micropali previsti presenteranno una lunghezza di 12 metri e pertanto potranno essere ammorsati alla roccia.

Per la valutazione della **trazione limite laterale** di un *tirante* e/o di un *micropalo* 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 (2);
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 allegate 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).

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 cautelativamente un angolo d'attrito interno $\phi = 33^\circ$ (livello superficiale) e $\phi = 38^\circ$ (livello intermedio) si ottiene rispettivamente $N_{SPT} \approx 20$ e $N_{SPT} \approx 36$.

In alternativa il valore di N_{SPT} può essere ricavato in via indiretta dal valore delle V_s (es. formula di *Iyisan*).

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

Nei grafici le rette contrassegnate con il n°1 sono relative alle iniezioni tipo **IRS** (valvolati), mentre le curve n°2 riguardano le iniezioni tipo **IGU** (non valvolati).

In presenza di micropali di modesta lunghezza, e di un terreno superficiale con caratteristiche geotecniche scadenti, l'Autore consiglia di tener conto di un'iniezione tipo **IGU** per i cinque metri superficiali.

Relativamente ai tiranti gli abachi di cui sopra sono validi per uno spessore del terreno di almeno 5.0 m al di sopra del bulbo d'iniezione. Tale valore può essere

²⁾ $D_s = D_d * \alpha$ (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.

opportunamente ridotto solo in presenza di un materiale particolarmente compatto. Questo non è il nostro caso.

La **portanza limite di un micropalo** è data dalla seguente formula:

$$Q_L = Q_L^P + Q_L^S \quad \text{dove:}$$

Q_L	= carico limite applicato alla testa del micropalo;
Q_L^P	= resistenza di punta limite del micropalo;
Q_L^S	= attrito limite lungo la sigillatura.

Analogamente ai tiranti la **portata limite laterale** di un micropalo è data da:

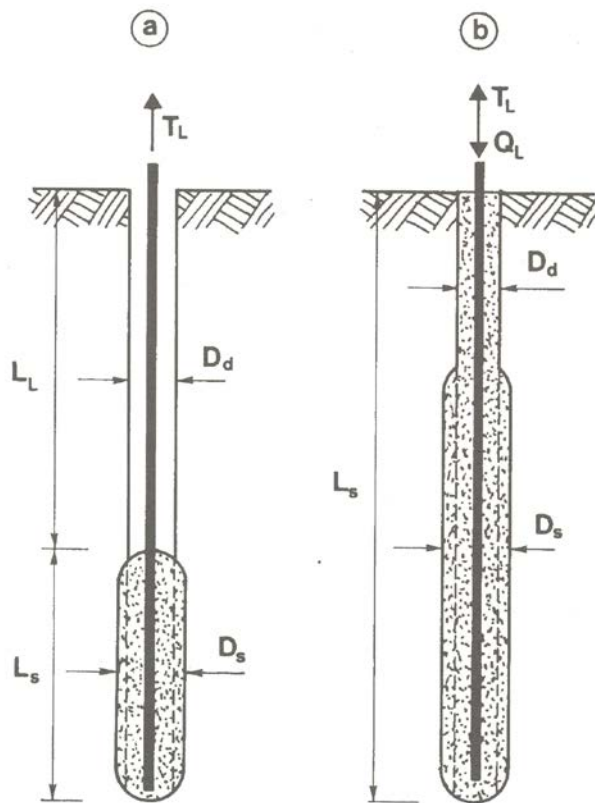
$$Q_L^S = \sum_i \pi \cdot D_{si} \cdot L_{si} \cdot q_{si} \quad \text{dove:}$$

D_s	= diametro medio del bulbo d'iniezione;
q_c	= adesione unitaria limite mobilizzata lungo la superficie laterale del bulbo nello strato "i";
L_{si}	= lunghezza del bulbo d'iniezione nello strato "i".

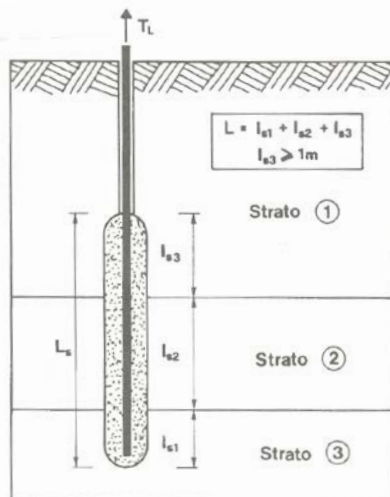
La **resistenza alla punta** Q_L^P non supera in genere il 15%÷20% del termine rappresentativo dell'attrito laterale e può pertanto essere calcolata in maniera speditiva, ma con sufficiente precisione per la pratica corrente, con la seguente espressione semplificata: $Q_L^P = 0.15 \cdot Q_L^S$

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 dei micropali-tiranti si rimanda alle NTC 17.01.2018.



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.

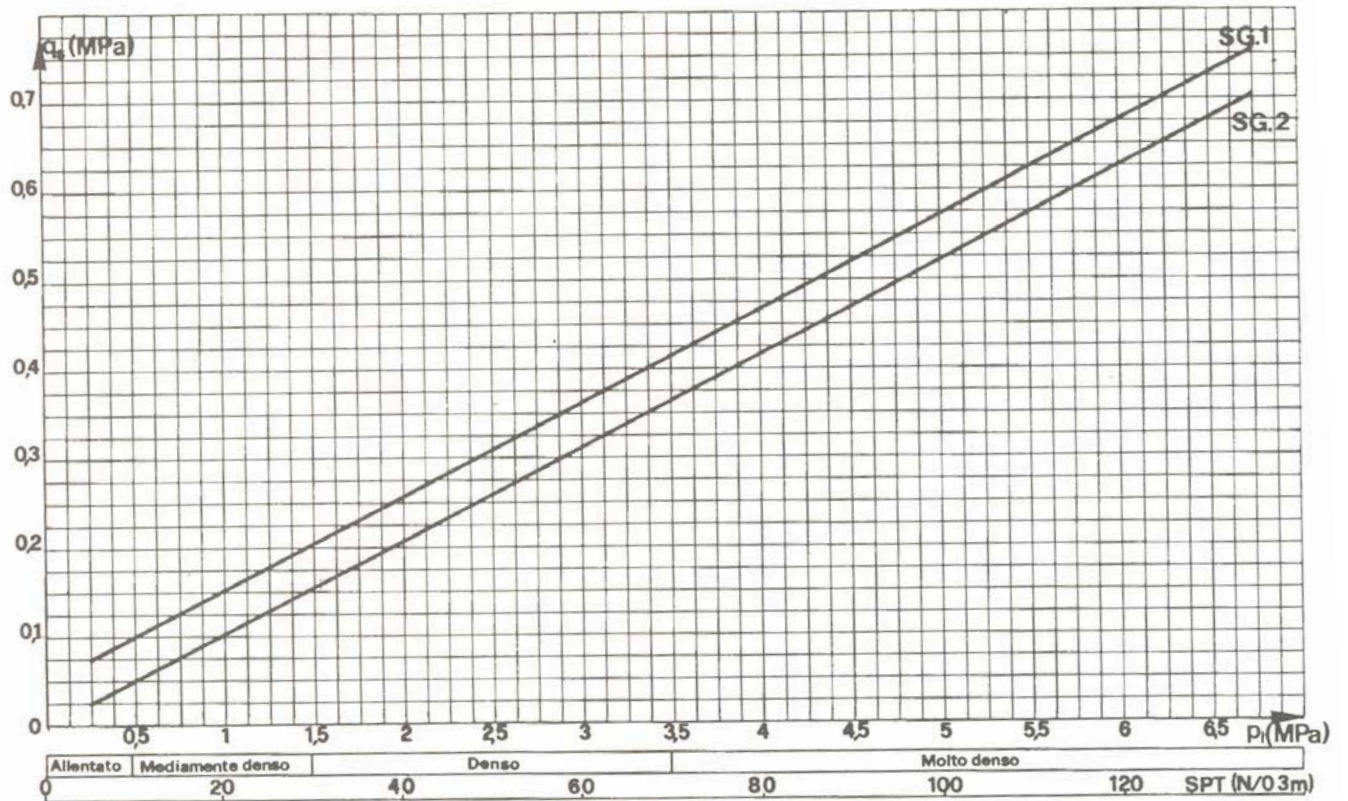
Suoli	Coefficiente α		Quantità minima di malta consigliata V_e
	IRS*	IGU**	
Ghiaia	1,8	1,3÷1,4	$1,5 \cdot V_s$
Ghiaia sabbiosa	1,6÷1,8	1,2÷1,4	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia ghiaiosa	1,5÷1,6	1,2÷1,3	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia grossolana	1,4÷1,5	1,1÷1,2	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia media	1,4÷1,5	1,1÷1,2	$1,5 \cdot V_s$
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 $0,5 \cdot p_l < p_i < p_l$

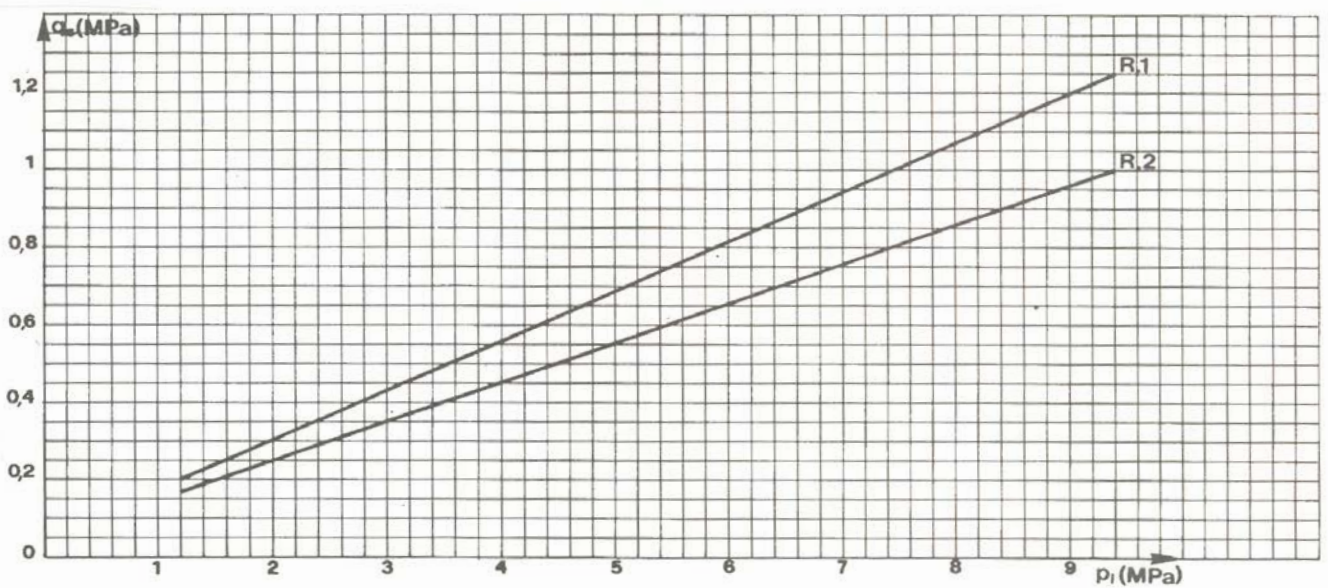
Orientamenti per la scelta degli abachi relativi al calcolo dell'attrito laterale unitario limite q_s .

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	PRESSIONE LIMITE P_c (MPa)	MODALITA' ESECUTIVE DEL PALO							
		IRIVELL.		IRIVELLAID RIVEST.		BATTUTO		INFIATTATO	
		FUSTO CALCESTR.	FUSTO CALCESTR.	FUSTO METALL.	FUSTO CALCESTR.	FUSTO METALL.	FUSTO METALL.	BASSA PRESSIONE	ALTA PRESSIONE
SABBIA ARGILLOSA, LIMOSA	< 0.7	A bis	A bis	A bis	A bis	A bis	A bis	A	-
CALCARE SFATTO TIPO CRAL (M.L.E.)	< 0.7	A bis	A bis	A bis	A bis	A bis	A bis	A	-
ARGILLA DA TENERA A COMPATTA	≤ 3	A ^x A bis	A ^x A bis	A bis	A ^x A bis	A bis	A bis	A	D ^{xx}
LIMO DA TENERO A COMPATTO	≤ 3	A ^x A bis	A ^x A bis	A bis	A ^x A bis	A bis	A bis	A	D ^{xx}
SABBIA E GIUNTA DI MEDIA COMPATTEZZA	1 ÷ 2	B ^x A	A ^x A bis	A bis	B ^x A	A	A	A	≥ D
SABBIA E GIUNTA DI ELEVATA COMPATTEZZA	> 2.5	C ^x A	B ^x A	A	C ^x B	A	A	B	≥ D
CALCARE MAROSO (GRAIE) ALIERATO O FRATTURATO	> 1.5	C ^x B	B ^x A	A	C ^x B	A	B	C	≥ D
MARMA E CALCARE MAROSO	1.5 ÷ 4	E ^x C	C ^x B	B	(F)	(F)	(E)	E	F
MARMA MOLTO COMPATTO	> 4.5	E	-	-	-	-	-	F	A-I
ROCCIA ALTERATA	2.5 ÷ 4	F	F	-	(F)	(F)	(F)	A-I	A-I
ROCCIA FRATTURATA	> 4.5	F	-	-	-	-	-	A-I	A-I

x esecuzione estremamente accurata xx $P_c \geq 1.5 \text{ MPa}$ () se la dattilatura è possibile

4 ANALISI DEL FENOMENO DI CADUTA MASSI

Al fine di verificare se per l'area in esame sussiste effettivamente il pericolo legato al fenomeno di caduta massi 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. Nella stessa planimetria sono riportate anche le fessure di trazione rilevate con GPS (colore rosso) e la cabina elettrica che costituisce un punto di riferimento in campagna (colore verde). È verosimile che siamo in presenza di un'unica fessura di trazione che in alcuni tratti risulta celata dalla fitta vegetazione arbustiva.

Cautelativamente si è ipotizzato la movimentazione dei massi lungo gran parte del versante a seguito di smottamenti o schianto di piante.

Per quanto riguarda la forma ed i volumi considerati ($V = 0.018 \div 0.074 \text{ m}^3$) nelle verifiche ci si è basati su quanto emerso durante il sopralluogo. I massi di volumetria contenuta sono normalmente quelli che presentano un limite di massimo 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 cautelativamente non è stata considerata la presenza del bosco in quanto questa barriera naturale potrebbe venir meno a seguito di un incendio e/o di un fenomeno tipo VAIA.

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).

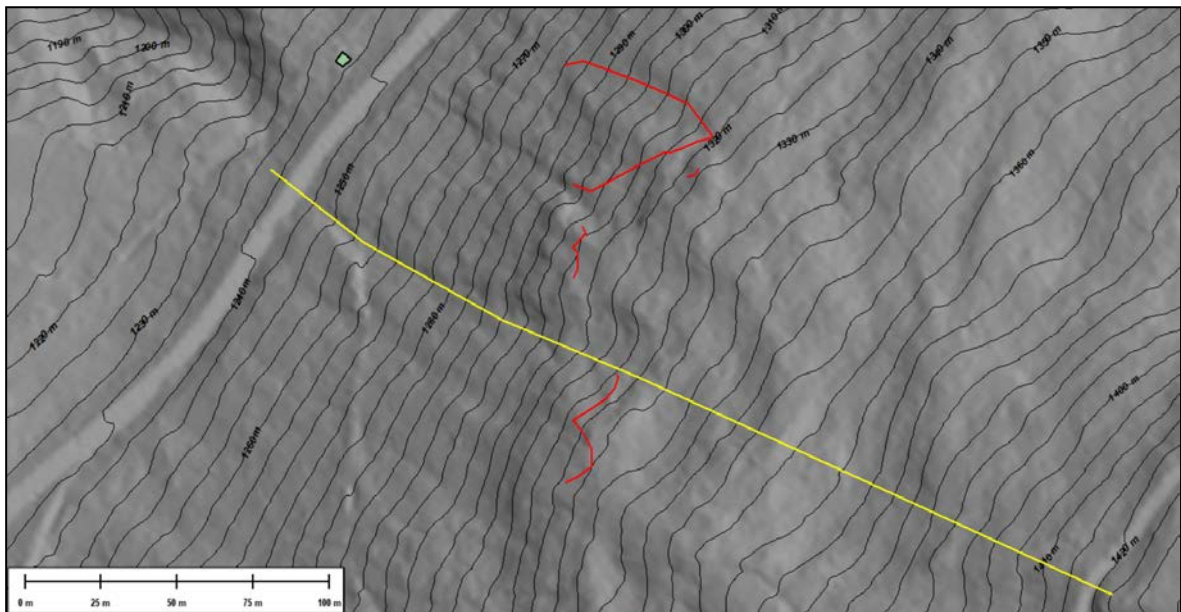
Come si può vedere nei grafici allegati, in accordo anche con quanto emerso durante il sopralluogo, nella porzione inferiore della sezione in corrispondenza della sede stradale, arriva circa il 2% dei massi considerati e con una energia praticamente nulla.

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**:

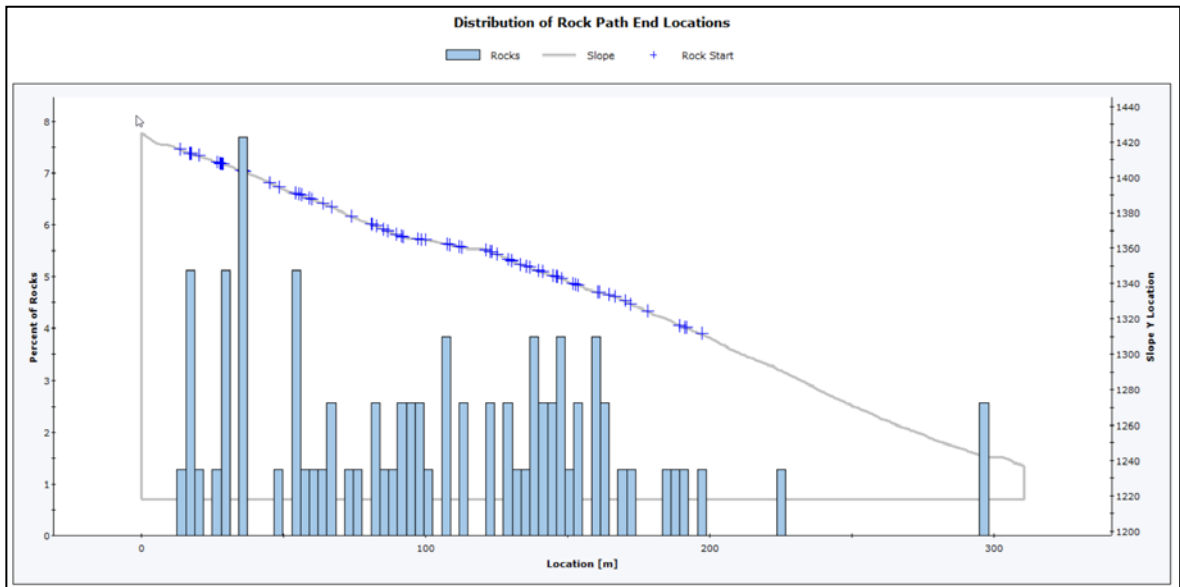
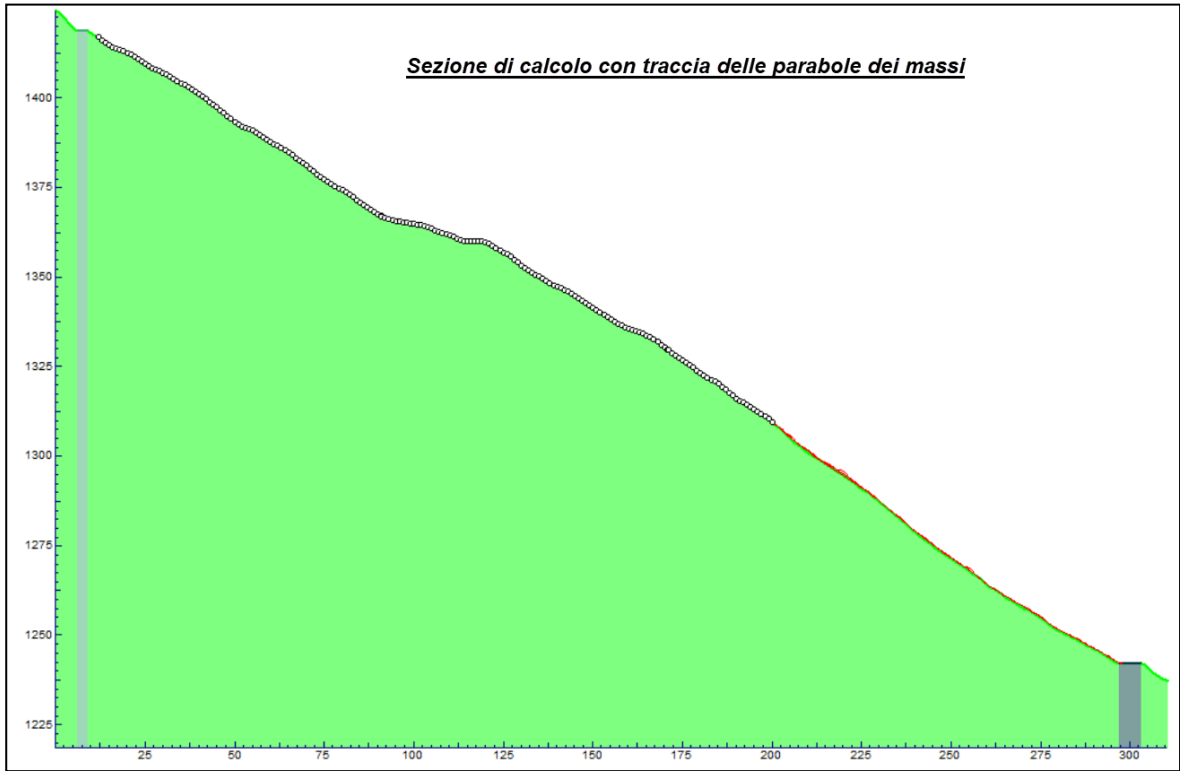
bassa: 0% ÷ 2% di arrivo dei massi
media: 2% ÷ 20% di arrivo dei massi
elevata: 20% ÷ 100% di arrivo dei massi

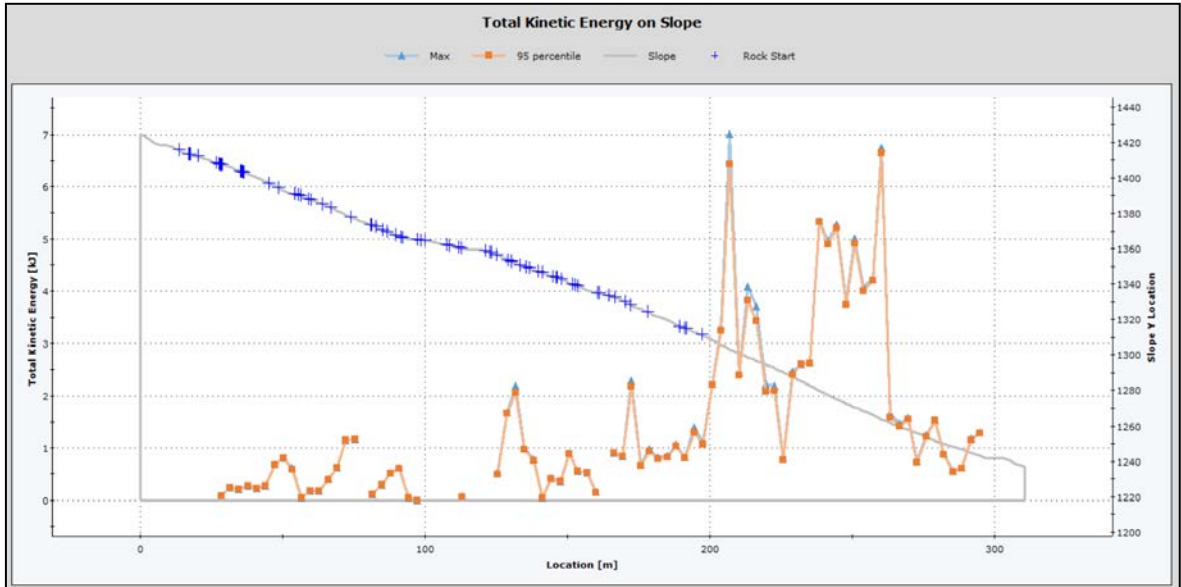
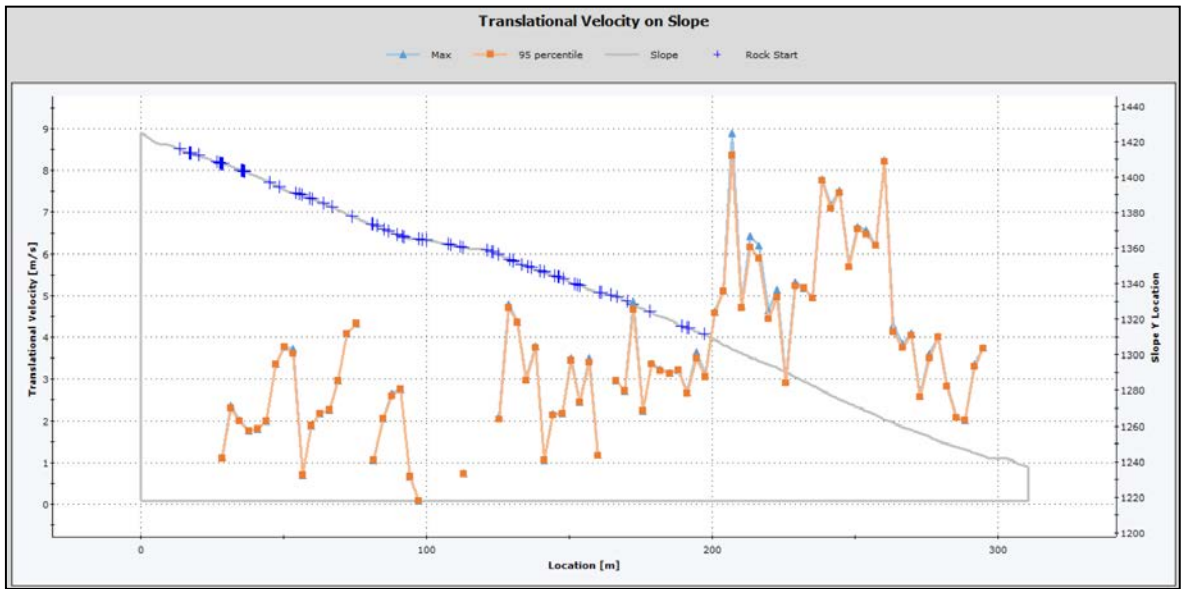
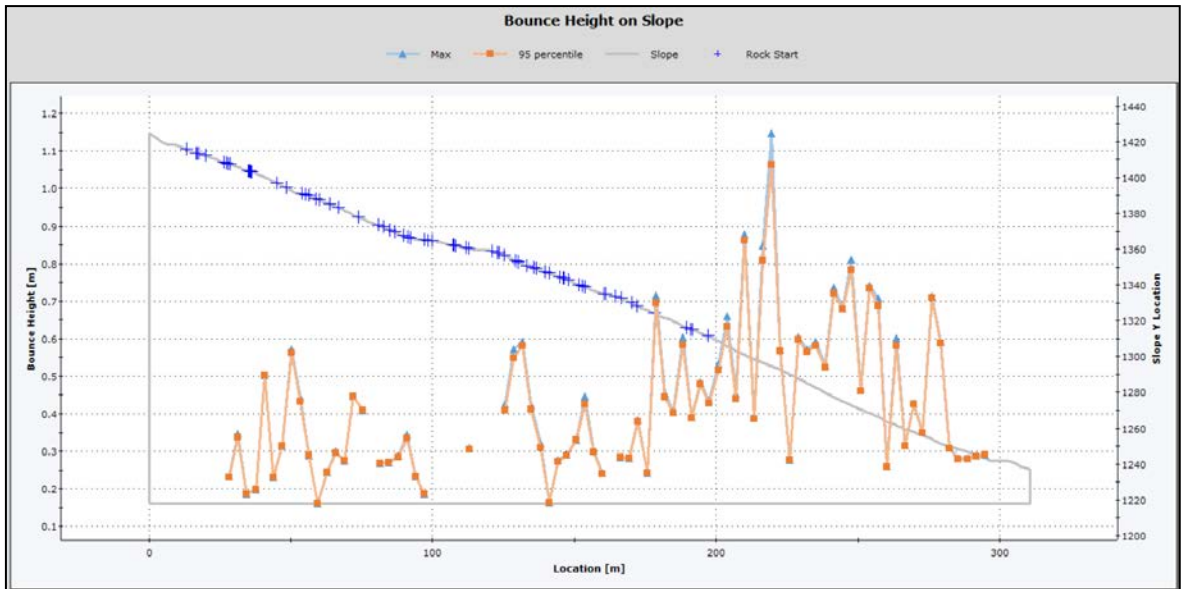
Per l'area in esame, relativamente al fenomeno di caduta massi, la probabilità di accadimento, nonché del rischio ad essa legato, è bassa o molto bassa, tenuto anche conto che nel caso in esame la movimentazione dei blocchi dovrebbe avvenire a seguito dello schianto di piante.

Relativamente al sito in esame il rischio legato ai crolli risulta molto inferiore rispetto ad altre strade della provincia per cui, a breve, non si ritiene necessario prevedere opere di difesa al fine di ridurre ulteriormente il rischio.



Planimetria con traccia della sezione di calcolo (giallo) e fessure di trazione rilevate (rosso)





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	1424.55
2	1	1423.8
3	2	1422.91
4	3	1421.79
5	4	1420.5
6	5	1419.26
7	6	1418.74
8	7	1418.64
9	8	1418.58
10	9	1418.5
11	10	1418.13
12	11	1417.38
13	12	1416.59
14	13	1415.9
15	14	1415.22
16	15	1414.59
17	16	1413.88
18	17	1413.34
19	18	1413.03
20	19	1412.69
21	20	1412.29
22	21	1411.82
23	22	1411.3
24	23	1410.66
25	24	1410.03
26	25	1409.33
27	26	1408.64
28	27	1408.05
29	28	1407.56
30	29	1407.21
31	30	1406.73
32	31	1406.22
33	32	1405.57
34	33	1404.9
35	34	1404.28
36	35	1403.72
37	36	1403.22
38	37	1402.66
39	38	1402.08
40	39	1401.52
41	40	1400.89
42	41	1400.16
43	42	1399.39
44	43	1398.63
45	44	1397.93
46	45	1397.12
47	46	1396.17
48	47	1395.46
49	48	1394.69
50	49	1393.84

51	50	1393.06
52	51	1392.37
53	52	1391.71
54	53	1391.25
55	54	1390.9
56	55	1390.56
57	56	1390.1
58	57	1389.45
59	58	1388.74
60	59	1388.03
61	60	1387.44
62	61	1386.87
63	62	1386.31
64	63	1385.67
65	64	1385.06
66	65	1384.37
67	66	1383.66
68	67	1382.98
69	68	1382.25
70	69	1381.49
71	70	1380.72
72	71	1379.93
73	72	1379.15
74	73	1378.36
75	74	1377.65
76	75	1377.04
77	76	1376.42
78	77	1375.71
79	78	1375.01
80	79	1374.44
81	80	1373.91
82	81	1373.33
83	82	1372.69
84	83	1371.94
85	84	1371.19
86	85	1370.51
87	86	1369.85
88	87	1369.22
89	88	1368.58
90	89	1367.95
91	90	1367.28
92	90.787	1366.74
93	91	1366.63
94	92	1366.26
95	93	1365.88
96	94	1365.63
97	95	1365.37
98	96	1365.16
99	97	1364.97
100	98	1364.82
101	99	1364.71
102	100	1364.51

103	101	1364.29
104	102	1364.1
105	103	1363.91
106	104	1363.56
107	105	1363.13
108	106	1362.66
109	107	1362.34
110	108	1361.98
111	109	1361.62
112	110	1361.24
113	111	1360.86
114	112	1360.47
115	113	1360.05
116	114	1359.85
117	115	1359.76
118	116	1359.77
119	117	1359.76
120	118	1359.73
121	119	1359.69
122	120	1359.51
123	121	1359.08
124	122	1358.45
125	123	1357.8
126	124	1357.08
127	125	1356.5
128	126	1355.95
129	127	1355.32
130	128	1354.59
131	129	1353.69
132	130	1352.88
133	131	1352.13
134	132	1351.43
135	133	1350.9
136	134	1350.32
137	135	1349.81
138	136	1349.2
139	137	1348.6
140	138	1347.93
141	139	1347.4
142	140	1346.99
143	141	1346.58
144	142	1346.1
145	143	1345.52
146	144	1344.93
147	145	1344.39
148	146	1343.73
149	147	1343.04
150	148	1342.37
151	149	1341.8
152	150	1341.08
153	151	1340.33
154	152	1339.72

155	153	1339.19
156	154	1338.62
157	155	1337.98
158	156	1337.3
159	157	1336.65
160	158	1336.07
161	159	1335.64
162	160	1335.3
163	161	1334.93
164	162	1334.63
165	163	1334.32
166	164	1333.91
167	165	1333.4
168	166	1332.84
169	167	1332.26
170	168	1331.64
171	169	1330.81
172	170	1330.03
173	170.79	1329.4
174	171	1329.24
175	172	1328.38
176	173	1327.6
177	174	1327.02
178	175	1326.42
179	176	1325.82
180	177	1325.18
181	178	1324.41
182	179	1323.59
183	180	1322.76
184	181	1322.18
185	182	1321.49
186	183	1320.93
187	184	1320.48
188	185	1319.78
189	186	1319.05
190	187	1318.16
191	188	1317.31
192	189	1316.54
193	190	1315.8
194	191	1315.15
195	192	1314.64
196	193	1314.12
197	194	1313.49
198	195	1312.74
199	196	1312.09
200	197	1311.46
201	198	1310.77
202	199	1309.98
203	200	1309.24
204	201	1308.52
205	202	1307.7
206	203	1306.68
207	204	1305.72
208	205	1304.91
209	206	1303.94
210	207	1303.28
211	208	1302.48

212	209	1301.75
213	210	1301.01
214	211	1300.26
215	212	1299.55
216	213	1298.88
217	214	1298.26
218	215	1297.62
219	216	1296.97
220	217	1296.35
221	218	1295.69
222	219	1295.06
223	219.75	1294.63
224	220	1294.47
225	221	1293.83
226	222	1293.14
227	223	1292.36
228	224	1291.56
229	225	1290.81
230	226	1290.12
231	227	1289.37
232	228	1288.58
233	229	1287.75
234	230	1287.03
235	231	1286.17
236	232	1285.27
237	233	1284.54
238	234	1283.77
239	235	1282.86
240	236	1282.15
241	237	1281.25
242	238	1280.37
243	239	1279.5
244	240	1278.63
245	241	1277.75
246	242	1276.93
247	243	1276.23
248	244	1275.4
249	245	1274.65
250	246	1273.94
251	247	1273.26
252	248	1272.51
253	249	1271.84
254	250	1271.15
255	251	1270.56
256	252	1269.87
257	253	1269.27
258	254	1268.54
259	255	1267.86
260	256	1267.15
261	257	1266.4
262	258	1265.62
263	259	1264.74
264	260	1263.89
265	261	1263.26
266	262	1262.73
267	263	1262.09
268	264	1261.33

269	265	1260.57
270	266	1260.01
271	267	1259.48
272	268	1258.87
273	269	1258.27
274	270	1257.64
275	271	1257.03
276	271.4	1256.79
277	272	1256.46
278	273	1256
279	274	1255.41
280	275	1254.71
281	276	1253.91
282	277	1253.08
283	278	1252.3
286	281	1250.63
287	282	1250.18
288	283	1249.72
289	284	1249.21
290	285	1248.65
291	286	1248.12
292	287	1247.6
293	288	1246.98
294	289	1246.45
295	290	1245.95
296	291	1245.36
297	292	1244.76
298	293	1244.24
299	294	1243.65
300	295	1243.03
301	296	1242.37
302	297	1241.89
303	303	1241.84
304	304	1241.45
305	305	1240.68
306	306	1239.67
307	307	1238.99
308	308	1238.39
309	309	1237.8
310	310	1237.23
311	310.52	1236.92


Slope Material Assignment

Material	From Vertex	To Vertex
detrito fine	1	7
strada bianca - piazzale	7	10
detrito fine	10	302
asfalto - calcestruzzo	302	303
detrito fine	303	311

Material Properties

detrito fine

"detrito fine" Properties

Color					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.3	None			
Tangential Restitution	0.66	None			
Dynamic Friction	0.56	None			
Rolling Friction	0.55	None			
Slope Roughness	1	Normal	0.2	0.6	0.6
Spacing					
Slope Roughness	0	Normal	0.2	0.6	0.6
Amplitude					

"detrito fine" Advanced Properties

Forest and Vegetation Damping	Disabled
Scarring	Disabled
Viscoplastic Damping	Disabled

strada bianca - piazzale

"strada bianca - piazzale" Properties


Color					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.35	None			
Tangential Restitution	0.85	None			
Dynamic Friction	0.56	None			
Rolling Friction	0.65	None			

"strada bianca - piazzale" 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

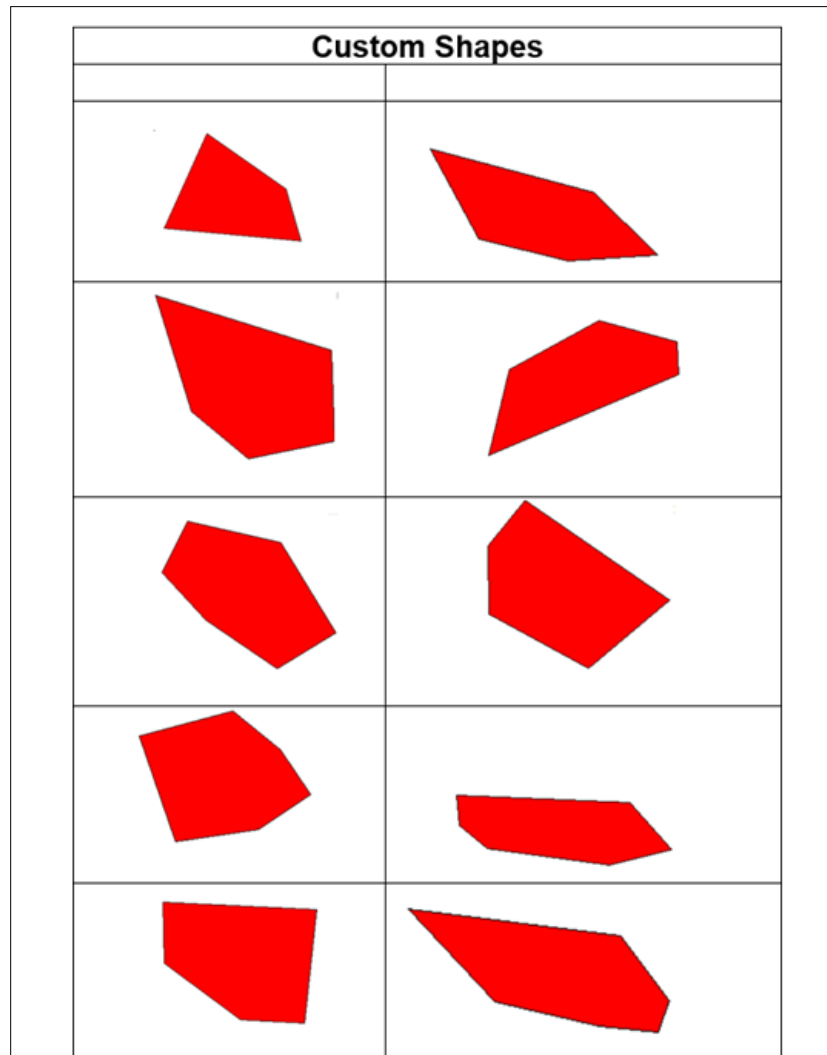
Forest and Vegetation Damping	Disabled
Scarring	Disabled
Viscoplastic Damping	Disabled

Rock Types

Group 1

Properties

Name	Group 1				
Color					
Smooth Shapes	None				
Polygons	Custom Polygon 6, Custom Polygon 18, Custom Polygon 30, Custom Polygon 59, Custom Polygon 65, Custom Polygon 68, Custom Polygon 74, Custom Polygon 91, Custom Polygon 97, Custom Polygon 105				
Mass (kg)	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Density (kg/m3)	100	Uniform		50	100
	2700	None			



5. CONCLUSIONI

L'area interessata dai dissesti che hanno coinvolto la banchina esterna della S.P.135, al km 9,960, in loc. Filzerhof, è caratterizzata da uno strato superficiale di materiale di riporto e depositi di frana, per uno spessore di 4÷5 m. Segue un deposito morenico compatto e, ad una profondità media di 8.5÷10.0 m, il substrato roccioso filladico mediamente alterato e fratturato.

Per la messa in sicurezza della sede stradale il progetto prevede la realizzazione di una "berlinese" di micropali disposti a cavalletto con cordolo di calcestruzzo armato sommitale alla "berlinese", con funzione di fondazione per l'installazione di un tratto di barriera stradale tipo H2.

I micropali presenteranno una lunghezza di 12 m e pertanto interesseranno per gran parte il deposito morenico-fluvioglaciale compatto e il substrato filladico.

Indicazioni sul dimensionamento della "berlinese" sono riportate al punto tre.

A monte della strada provinciale il versante si presenta in precarie condizioni di stabilità, come evidenziato anche da numerose fessure di trazione che verosimilmente sono legate ad un unico fenomeno franoso.

Per il consolidamento del versante il progetto prevede la posa di serie di "ombrelli", ancorati al terreno, costituiti da un paramento in carpenteria metallica con pannelli a rete metallica a doppia torsione (tipo Maccaferri) e funi di rinforzo.

Alcuni "ombrelli" sono previsti anche nella parte sommitale delle zone instabili per consolidare le scarpate principali delle frane che nei casi in esame presentano un'altezza massima di 2.5÷3.0 m.

Gli interventi di consolidazione del versante saranno completati con la posa, nei tratti maggiormente "critici" di *biostuoie*, ancorate al terreno con rete metallica, ed eventuali funi d'acciaio di rinforzo. Quest'ultimo intervento è volto al rapido rinverdimento del corpo di frana per limitare la sua erosione ad opera delle acque meteoriche, ed alla veloce crescita delle piante ad alto fusto che favoriscono una stabilizzazione del terreno con il loro apparato radicale.

L'intervento non prevede la realizzazione di barriere paramassi in quanto gli affioramenti rocciosi che potrebbero costituire un'area sorgente sono rari di pochi metri quadri di estensione. Come si è già avuto modo di dire in precedenza i massi che hanno raggiunto la strada provinciale sono quelli movimentati dalle colate detritiche.

Gli interventi saranno completati con la posa lungo gli impluvi di canalette per la raccolta delle emergenze idriche, causa principale dei fenomeni d'instabilità, e il loro smaltimento nella porzione inferiore del versante sotto strada, in un tratto meno acclive dove non possono creare problemi di stabilità.

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

**Lavori in Somma Urgenza per
stabilizzazione dissesto stradale a
Fierozzo**

-Indagini geofisiche-

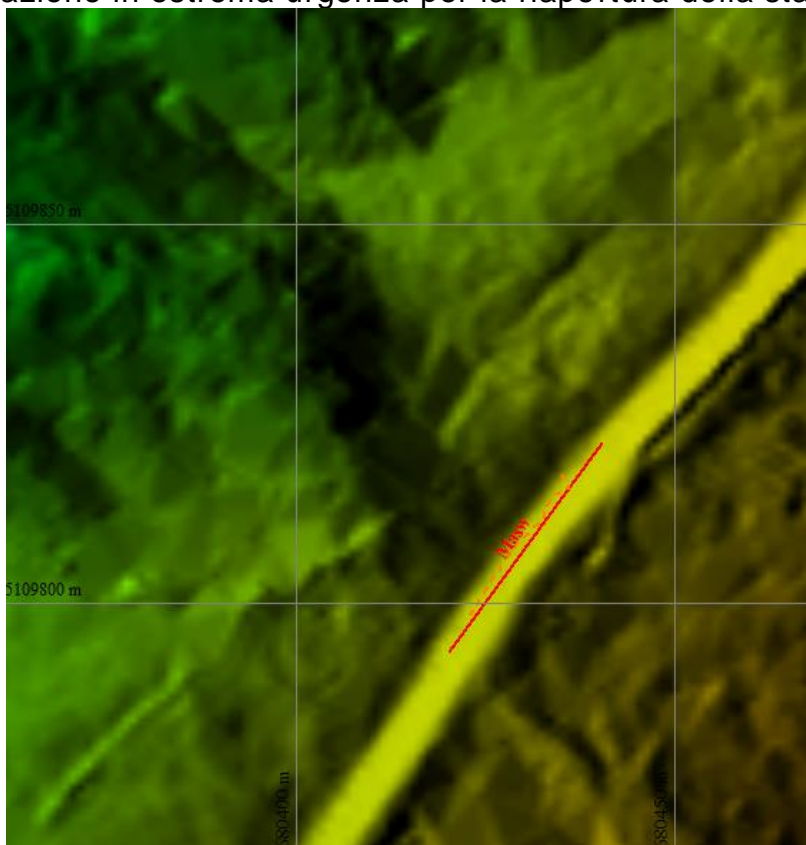


GG Service srl
Prospezioni Geofisiche
Torbole s.G. (TN)
P.I. 01999920224
Cell: 3407269656
infoggservice@gmail.com

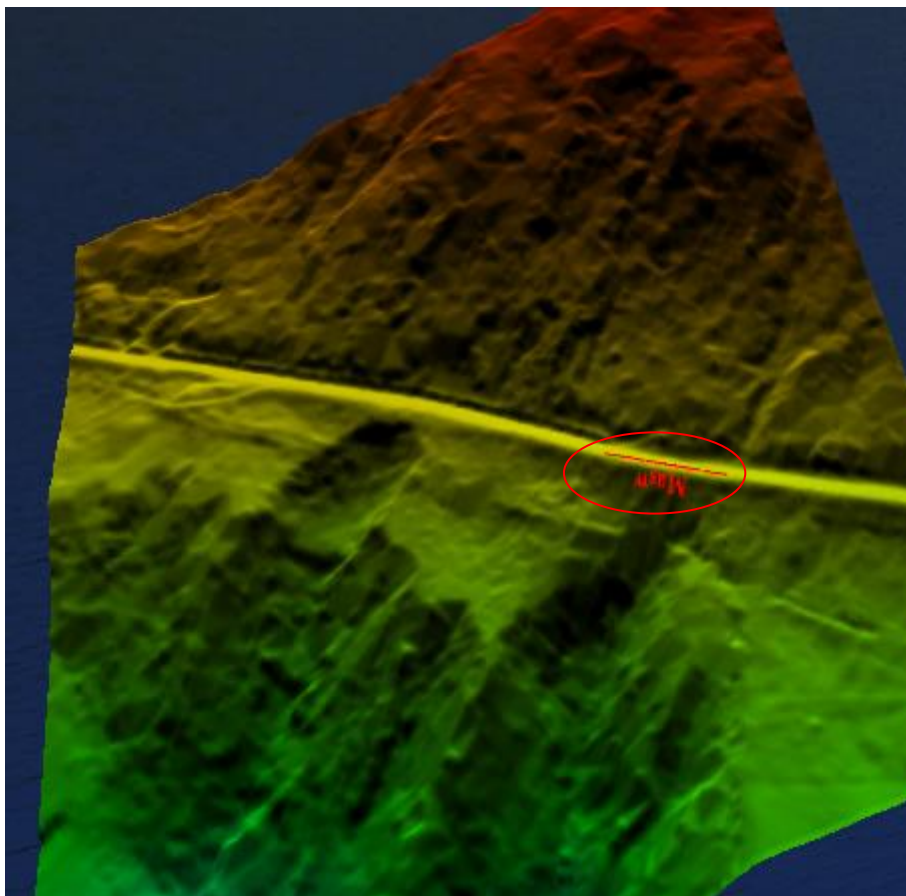
1. INTRODUZIONE

Su richiesta del Dott. Geol. Mario Cavattoni la GG Service ha eseguito una indagine geofisica finalizzata alla diagnosi dei terreni ubicati sulla banchina di valle del tratto interessato da un dissesto che ha provocato l'abbassamento di circa 1m del terreno. Il movimento ha determinato anche un taglio, articolato in geometria, della copertura in asfalto al cui limite si è scelto di tracciare la linea sismica. In tal modo si è lavorato su un ambiente lineare senza discontinuità topografiche che possano influenzare i dati.

Dato l'ambiente contraddistinto da coperture rigide si è optato di analizzare i treni d'onda di Rayleigh e ricavare la sismoverticale V_s per fornire gli elementi per il dimensionamento dell'intervento di consolidazione in estrema urgenza per la riapertura della stada.



Ubicazione indagini su lidar georeferenziato (il lato valle della strada di mezzacosta e' ubicato verso nordovest)



Render 3D in cui si apprezza la pendenza del versante e la posizione del muro



Immagini fotografiche dell'area interessata dai lavori

La strumentazione di acquisizione del segnale sismico è consistita da un sistema modulare a 24 bit e 24 canali interspaziati di 1.5m in maniera da ottenere una buona risoluzione. Gli spostamenti tra un tiro ed il successivo che consentono la generazione della sezione 2D e' stato di 3.0m (2 stazioni geofoniche) e quindi con una ricopertura almeno di 3 tiri.

Tutti i sensori sono stati rilevati con sistema GPS RTK e successivamente sovrapposti al lidar provinciale.

2. CENNI METODOLOGICI

Masw

Il Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) è un metodo investigativo che è stato introdotto all'inizio del 1999 nell'ambito geotecnico e geofisico. Si tratta di una tecnica analitica che genera un profilo di velocità delle onde di taglio (V_s in funzione della profondità) analizzando su una registrazione multicanale le onde di superficie di tipo Rayleigh. Il metodo utilizza i concetti della registrazione ed elaborazione multicanale largamente impiegati da decenni nei rilievi a riflessione per l'esplorazione profonda.

Le proprietà frequenza dipendenti delle onde di superficie di Rayleigh possono essere utilizzate per rappresentare e caratterizzare il sottosuolo nella sua porzione superficiale. La parte principale dell'analisi delle onde di superficie si basa sull'accurato calcolo delle velocità di fase del modo fondamentale del movimento orizzontale dell'onda Rayleigh.

Il modo fondamentale delle "ground roll" (onde di superficie tipo Rayleigh) che è senza dubbio una delle più importanti fonti di disturbo nei rilievi a riflessione, nel MASW, invece, viene definito come segnale e le tecniche di acquisizione e di elaborazione sono rivolte alla sua enfattizzazione. A causa di questa diversa concezione di "segnale" e di "rumore" in rapporto alla sismica a riflessione il metodo richiede leggere modifiche per quanto riguarda l'approccio sia realizzativo che di trattamento dei dati.

La fase di acquisizione come si è premesso è analoga a quella adottata nei normali rilievi sismici a riflessione con la sola precauzione che la geometria utilizzata deve essere tale da assicurare un'efficiente generazione di onde di superficie che si sviluppino al di sotto del range di profondità delle onde primarie.

Nella fase di elaborazione il compito più delicato è rappresentato dalla costruzione della curva di dispersione. Essa altro non è che il plottaggio della velocità di fase in funzione della frequenza e ha il suo supporto teorico nel fatto che quando per l'energizzazione sismica si usa una sorgente compressionale (impatto) più di 2/3 dell'energia sismica generata è rappresentata dalle onde di Rayleigh, che sono la componente principale delle "ground roll". Assumendo quindi che ci sia una variazione verticale della velocità, ogni componente di frequenza di un'onda di superficie ha una diversa velocità di propagazione (chiamata *velocità di fase*)

per una ed una sola componente di frequenza. Questa caratteristica di unicità si riflette in una differente lunghezza d'onda per ciascuna frequenza propagata. Questa proprietà è chiamata **dispersione** e per osservare la natura dispersiva di un segnale sismico generico si usa un'analisi chiamata *overtone* che consente la costruzione di un grafico dove i trend delle massime ampiezze locali rappresentano possibile energia dispersiva (cioè modo fondamentale e modi più elevati di propagazione). Questo viene ottenuto esaminando tutte le possibili velocità di fase per tutte le frequenze considerate nell'analisi.

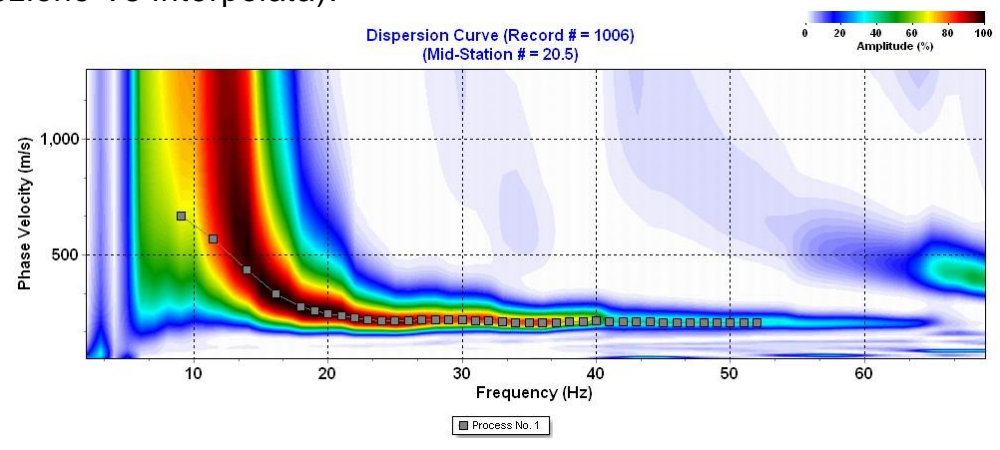
Il passo finale è quello del processo di inversione della curva di dispersione per arrivare alla definizione del profilo delle velocità delle onde S (V_s). Si tratta di un procedimento iterativo che richiede i dati di dispersione e una stima del coefficiente di Poisson e della densità. L'approccio con il metodo dei minimi quadrati consente un'automatizzazione del processo. La prima operazione è quella di definire un modello iniziale, dedotto dalla curva di dispersione, ed il programma ricerca un profilo delle V_s la cui curva teorica di dispersione meglio si approssima a quella sperimentale usando, come guida e condizioni al limite, l'errore RMS. Tanto più è corretto il modello iniziale tanto più piccolo è il numero di iterazioni necessarie per raggiungere il best fit.

3. SINTESI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

L'elaborazione dei dati e' iniziata sistemando la topografia rilevata mediante gps rtk ed integrandola ai dati Lidar provinciali.

Una volta eseguito il resorting e l'organizzazione dei tiri si e' proceduto all'analisi delle onde di superficie che compongono il ground roll.

L'analisi delle onde di superficie e' stata effettuata su subarrays da 8 canali ciascuno con offset di una sola stazione e la risposta spettrale fornisce la possibilita' di identificare con precisione la struttura del modo fondamentale di dispersione delle onde di superficie (v.sotto esempio di una delle 6 curve che determinano la sezione V_s interpolata).



Esempio di curva spettrale locale e campionamento del modo ritenuto il fondamentale

L'output grafico e' quindi composto da una sezione bidimensionale che rappresenta l'andamento verticale e laterale delle Vs. La profondita' di indagine e' legata al binomio frequenza velocita'.

Nella ricostruzione della velocita' dei terreni si e' proposto un modello che e' stato spinto fino a oltre 25m (il dato da considerarsi maggiormente affidabile e' quello esteso fino a ~15m) in maniera da mostrare la ricostruzione di una fascia di destrutturazione che potrebbe interessare l'ammasso roccioso e che ne comporta una stima di velocita' (inversione) che riduce le Vs fino a ~400m/s. Il dato ricavato da solo supporto geofisico potrebbe essere verificato mediante una indagine diretta che si spinga fino a quella profondita'.

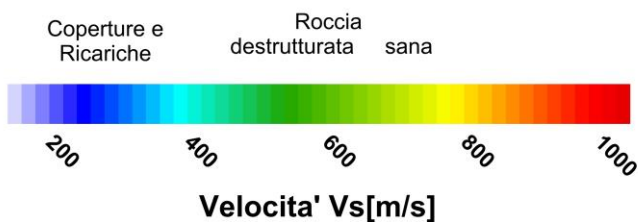
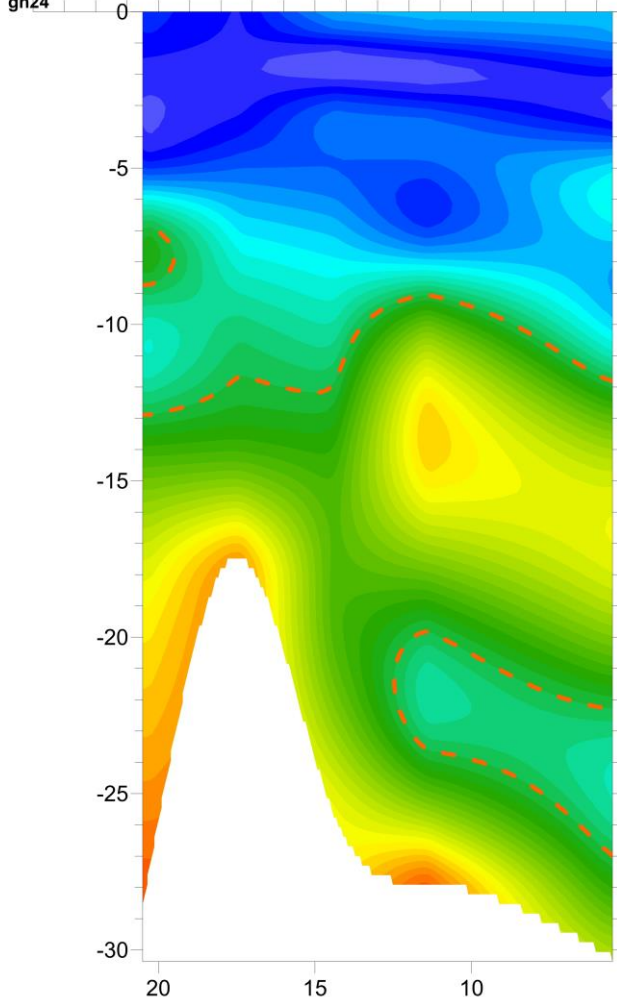
Ai fini dell'intervento di sistemazione il raggiungimento della superficie a 480m/s che probabilmente costituisce il raggiungimento del cappellaccio lapideo oltre cui in un tratto non superiore a 2-3m si possono misurare Vs di ~800m/s proprie di un ammasso roccioso integro.

In termini di profondita' i dati acquisiti consentono di suggerire il raggiungimento verticale di almeno 13-15m i profondita' .

Somma Urgenza Strada per Fierozzo Sismoverticale MASW2D

Sud

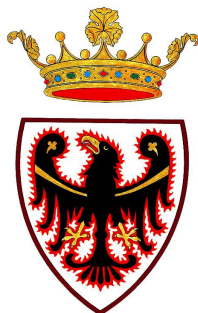
gh24 0 gh01



Giugno 2024

GG Service s.r.l.





PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

DIPARTIMENTO PROTEZIONE CIVILE FORESTE E FAUNA

**INDAGINI GEOFISICHE (MASW) LUNGO LA SP 135 NEI PRESSI DELLA FRAZIONE
SLOMPI AL KM 10 CIRCA NEL COMUNE DI FIEROZZO**

RELAZIONE DESCRITTIVA

COMMITTENTE:

Servizio Gestione Strade


dott. Andrea Franceschini

Trento, Agosto 2024

Indice

1) Premessa.....	3
2) Descrizione risultati.....	4
3) Caratterizzazione geotecnica preliminare.....	5
4) Conclusioni.....	5

INDAGINI GEOFISICHE (MASW) LUNGO LA SP 135 NEI PRESSI DELLA FRAZIONE SLOMPI AL KM 10 CIRCA NEL COMUNE DI FIEROZZO

1) Premessa

Su richiesta del Servizio Gestione Strade è stata effettuata una campagna d'indagine geofisica finalizzata a definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei terreni sottostanti la carreggiata stradale che, in corrispondenza della banchina è stata recentemente interessata da uno scivolamento.

Nello specifico è stata effettuata una sismica in onde superficiali di tipo attivo (MASW) con tecnica land-streamer adottando un array costituito da 16 geofoni spaziatati di 1 m ciascuno e trigger con offset pari a 3 m; lo step di traslazione è di 2 m.

Il tratto indagato, che si colloca a monte della nicchia di dissesto è pari a 23 m che ha comportato la realizzazione di un array complessivo di circa 36 m (Fig. 1).



Fig. 1: ubicazione area d'indagine

2) Descrizione risultati

L'indagine è stata realizzata posizionando i geofoni sulla carreggiata stradale traslando l'array di misura in direzione Fierozzo di 2 m per ciascun punto di energizzazione (Foto 1).

In Fig. 2 è presentata la pseudosezione in velocità V_s (m/s) ottenuta dalla giustapposizione dei profili di velocità V_s ottenuti per ogni stazione di misura, mentre in Fig. 3 è presentato l'andamento dell'errore (RMS) ottenuto a seguito del processo di inversione.

Le pseudosezioni ottenute consentono di definire, a partire dal valore di velocità (V_s) e quindi indirettamente del grado di compattazione, un modello sismostratigrafico; in questa sede non verranno effettuate valutazioni litologiche e stratigrafiche.



Foto 1: array di misura

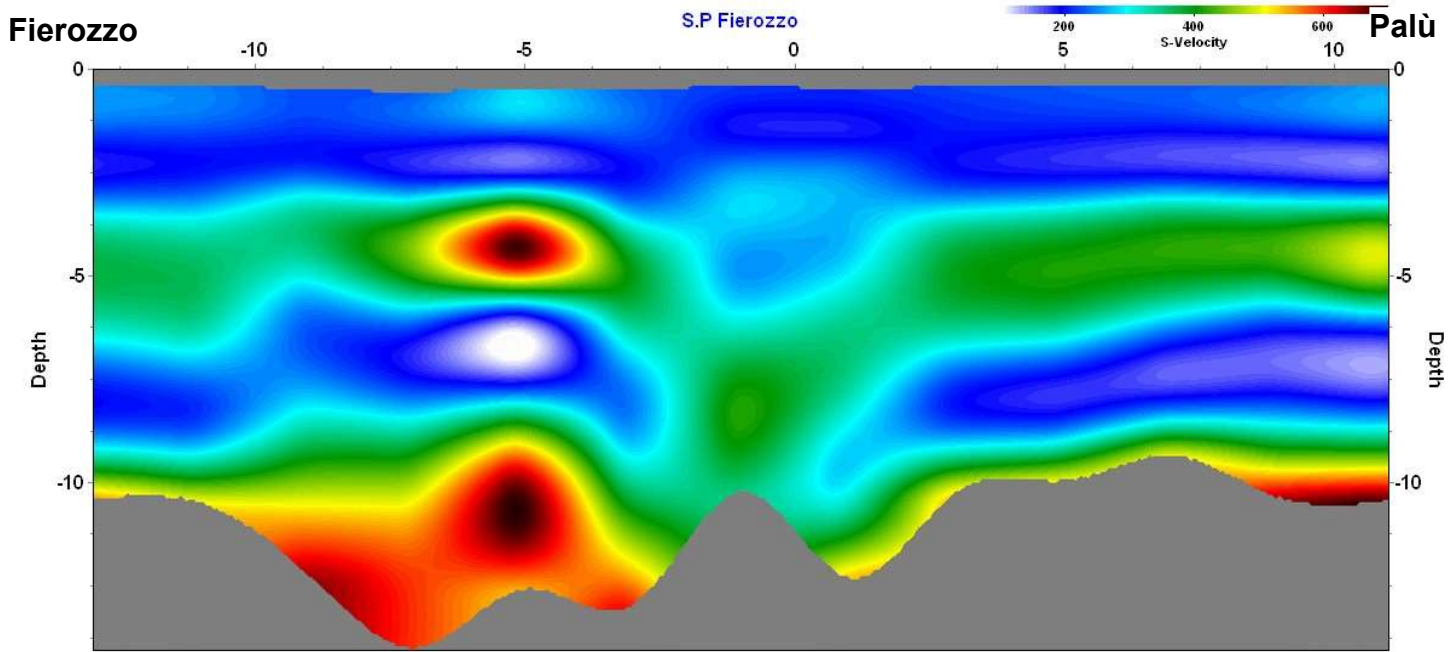


Fig. 2: pseudosezione in Vs: le progressive metriche sono in diminuzione in direzione Fierozzo

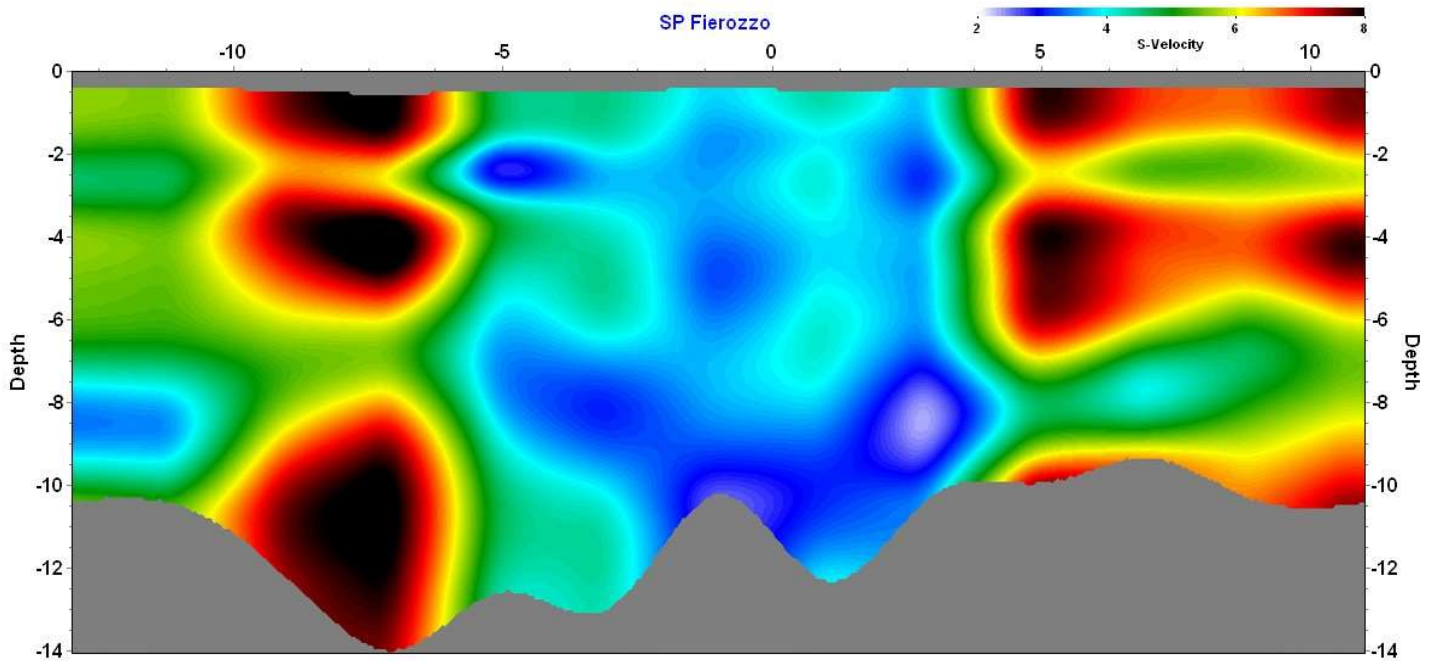


Fig. 3: pseudosezione in RMS

La pseudosezione in velocità Vs definisce un modello omogeneo e coerente sull'intera lunghezza d'indagine; in termini generali è possibile osservare come i valori di velocità calcolati siano approssimativamente compresi tra $200 < V_s \text{ (m/s)} < 600$ e che, dalla loro distribuzione si possano individuare quattro livelli caratterizzati da valori di Vs distinti:

- 1 – compreso approssimativamente tra 0 e -3.5 m; il valore medio di velocità V_s è prossimo a 200 m/s
- 2 – compreso tra -3.5 e -5 e - 6 m; presenta valori di velocità (V_s) compresi tra 400 e 650 m/s ma l'andamento dei valori prossimi a 400 m/s appare maggiormente omogeneo e diffuso nella sezione;
- 3 – compreso -6 m circa e – 8.5 m circa con una scomparsa nel tratto centrale; i valori medi sono prossimi a 200 m/s;
- 4 – a partire da -8,5 m circa i valori di velocità aumentano significativamente superando i 600 m/s.

3) Caratterizzazione geotecnica preliminare

Come noto non è possibile definire le caratteristiche granulometriche di un deposito a partire dai valori di velocità V_s , che peraltro consentono di definire in prima approssimazione il grado di compattazione e quindi, tramite opportune formule di correlazione pervenire ad una stima dei valori di N_{SPT} corrispondenti.

Si individua pertanto schematicamente un profilo di velocità caratterizzato da 4 livelli e per ognuno vengono definiti in via preliminare i principali parametri geotecnici ed il valore di resistenza al taglio all'interfaccia (s) utilizzabile per il dimensionamento di eventuali micropali.

livello		V_s (m/s)	SPT (formula di Iyisan)	ϕ' (varie da SPT)	c' (da V_s (formula Prakoso)	γ da V_s (formula Keceli)	s (IGU/IRS) (Bustamante)
da m	a m						
0	circa - 3.5	200	14	30°	8.0 kPa	16,5 kN/m³	0,07/0,12 MPa
circa -3,5	circa -5,5	400	53	> 42°	--	19,2 kN/m³	0,26/31 MPa
circa -5.5	circa -8.5	200	14	30°	8.0 kPa	16,5 kN/m³	0,07/0,12 MPa
circa -7	>	600	115	>42°	> 10 kPa	21 kN/m³	> 0,4/0,45 MPa

4) Conclusioni

Su richiesta del Servizio Gestione Strade è stata effettuata una campagna d'indagine geofisica finalizzata a definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei terreni sottostanti la carreggiata stradale che, nella sua parte di valle è stata recentemente interessata da uno smottamento.

Pur con le inevitabili imprecisioni insite nelle metodologie d'indagine geofisica le indagini hanno permesso di definire un modello sismostratigrafico coerente con quanto osservabile in sito.

Trento, Agosto 2024

dott Andrea Franceschini
