

COMUNE DI FRASSILONGO

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

**PROGETTO**

**LAVORI DI SOMMA URGENZA PER LA MESSA IN SICUREZZA DELLA  
S.P. 135 "SINISTRA FERSINA" AL KM 4,800 - LOC. PUECH**

**RELAZIONE GEOLOGICA**

*(caratterizzazione e modellazione geologica del sito)*

**RELAZIONE GEOTECNICA**

*(caratterizzazione e modellazione geotecnica)*

*Mario Cavattoni*



Trento, settembre 2024



## **1. PREMESSA**

A seguito delle abbondanti precipitazioni dell'inizio luglio 2024 in loc. Puech, nel territorio comunale di Frassilongo, si sono verificati due cedimenti della banchina esterna della S.P. 135 "Sinistra Fersina" al km 4,800, rispettivamente di 35 e 50 metri di lunghezza circa <sup>(1)</sup>.

Si sottolinea il fatto che al limite sud l'instabilità ha causato l'abbassamento di 20÷30 cm del terreno situato immediatamente a valle del muro di sostegno della strada provinciale dove è presente un piccolo "tombone" per lo scarico delle acque bianche. L'instabilità non sembra aver lesionato il muro.

La scogliera esistente a sostegno della sede stradale della provinciale, ubicata più o meno al centro della vallecchia non è stata lesionata dal fenomeno franoso che, evidentemente, l'ha coinvolta nella sua "globalità".

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 la stesura della relazione, oltre al rilievo di campagna, è stata eseguita un'indagine geofisica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), da parte del Servizio Geologico della PAT, per valutare lo spessore della copertura di materiale sciolto e quindi la profondità e caratteristiche del substrato roccioso, dove impostare preferibilmente i micropali al fine di una maggiore sicurezza.

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.

---

<sup>1)</sup> Dislocazione di 30÷40 cm.

## **2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO - IDROGEOLOGIA**

L'area d'intervento si trova in sinistra orografica della Val dei Mocheni, poco a nord della frazione di Frassilongo, in corrispondenza di una vallecchia che in passato è già stata interessata da altri fenomeni d'instabilità che hanno riguardato sia la sede stradale oggetto di consolidamento che il ripido versante soprastante.

L'instabilità generale del versante è evidenziata anche dalle lesioni del muro di sostegno a monte della strada provinciale.

Per una migliore comprensione della situazione morfologica locale si allega una planimetria, una sezione e due viste prospettive "3D" tratte dal rilievo Lidar della PAT. Nella sezione la freccia indica il punto dove si è verificato il cedimento della banchina esterna della strada.

Preme sottolineare il fatto che oltre alle due fessure di trazione principali, di cui si è fatto cenno in premessa, che hanno interessato la S.P., un'altra fessura, lunga una ventina di metri e larga 1÷5 cm, con dislocazione verticale irrilevante, è presente sul bordo di monte della strada comunale che porta al Maso Buseri (p.ed. 570), in prossimità del limite nord della vallecchia, a pochi metri di distanza dal tratto iniziale di una carrareccia, ora abbandonata, che si collegava con la provinciale nelle vicinanze del limite sud della vallecchia, a ridosso della p.ed. 506 (vedi planimetria).

In base a quanto riferito dal proprietario del Maso Buseri la zona dove si è verificata la fessurazione della carreggiata è stata da sempre interessata da "cedimenti", a conferma della generale instabilità del pendio. È molto verosimile quindi che il vecchio tratturo (p.f. 2420) sia stato abbandonato col tempo in conseguenza della sua perenne instabilità (ci troviamo in pieno corpo di frana).

Il versante in esame è geologicamente caratterizzato, nella sua porzione superiore, dal subaffioramento del substrato roccioso filladico discretamente fratturato e alterato, mentre il pendio a valle della provinciale è contrassegnato principalmente da lave andesitiche (Formazione di Boss).

Durante il sopralluogo l'unico affioramento di natura filladica è stato riscontrato pochi metri a nord dell'area in frana, in corrispondenza della ripida scarpata compresa tra la strada provinciale e quella comunale che porta ad un'abitazione (vedi planimetria). Si tratta di una roccia fittamente scistosa, fratturata e alterata, che nella classificazione di *Bieniawski (1989)* può essere ascritta tra la **classe IV e V**, con caratteristiche geomeccaniche da **scadente a molto scadente**.

La roccia filladica, pur con caratteristiche geomeccaniche scadenti, garantisce una maggior "stabilità" rispetto ad un terreno sciolto; questo spiega perché il limite della nicchia di frana coincide a nord con questo affioramento. C'è da osservare inoltre che la zona d'instabilità è delimitata a nord da un piccolo crinale che impedisce la concentrazione delle acque di infiltrazione e percolazione, causa principale di tutti i dissesti.

Come si è già avuto modo di dire in precedenza, al fine di una caratterizzazione stratigrafica del sito, ed in particolare per stimare la profondità del substrato

roccioso dove “*impostare*” i micropali, da parte del Servizio Geologico della PAT è stata eseguita un’indagine geofisica MASW lungo la strada provinciale.

L’indagine ha evidenziato uno strato superficiale costituito da terreni scarsamente addensati, verosimilmente costituiti da materiale di riporto e depositi di frana, con  $V_s = 170\div 190$  m/sec e spessore  $H = 3\div 4$  m. Segue un deposito più compatto con  $V_s = 300\div 350$  m/sec e  $H = 5\div 7$  m con ogni probabilità costituito dai depositi morenici maggiormente addensati e non interessati dall’instabilità. Si passa poi ad un livello con  $V_s = 450\div 650$  m/sec che è probabilmente costituito dal substrato roccioso filladico, in base alla correlazione con il vicino affioramento.

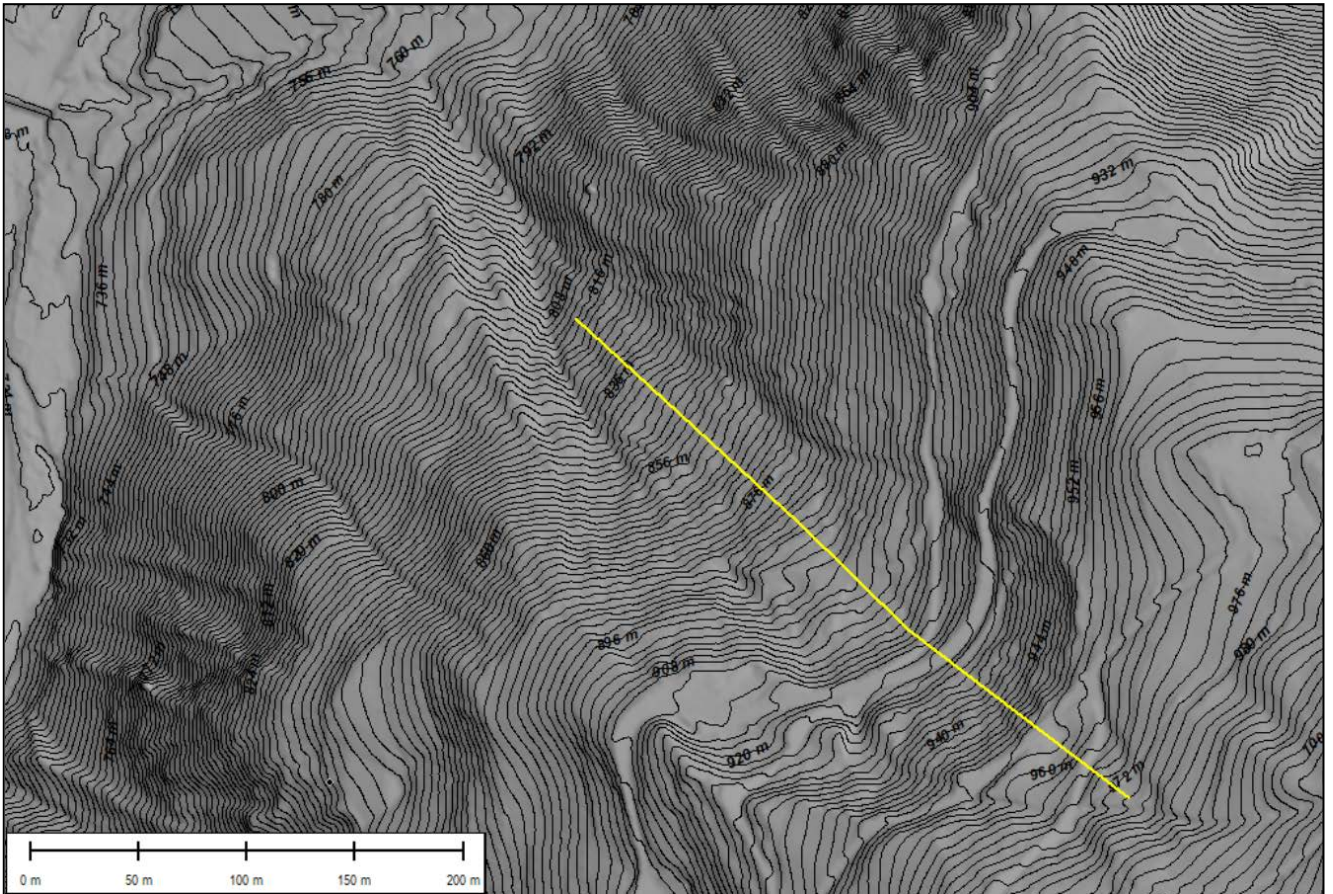
I dati sopra riportati sono stati confermati dalle terebrazioni fatte per la posa dei primi micropali.

Per completezza di trattazione qui di seguito si riporta un estratto planimetrico della relazione del Servizio Geologico della PAT con indicata la “profondità” del substrato compatto, con  $V_s > 400$  m/sec., con ogni probabilità costituito dalle rocce filladiche dove impostare i micropali.

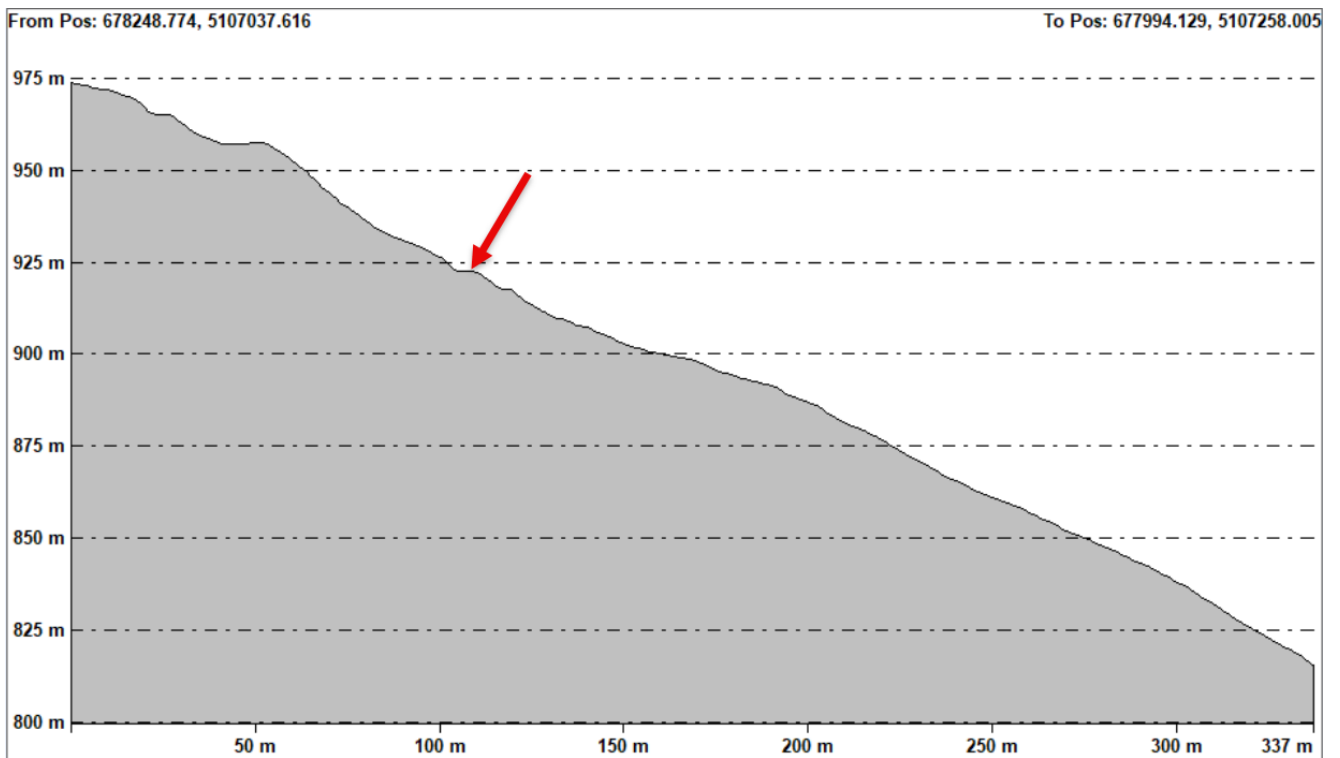
Della relazione del Servizio Geologico si riportano anche due sezioni indicative della situazione stratigrafica riscontrata <sup>(2)</sup>.

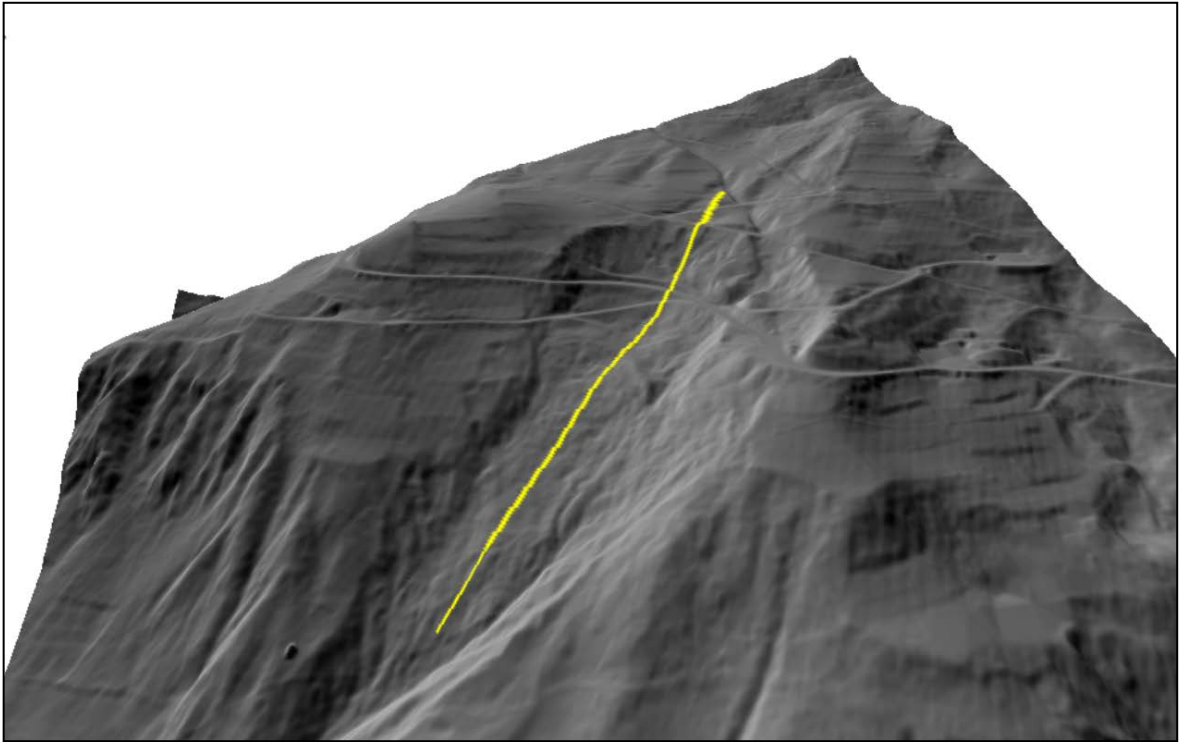
---

<sup>2)</sup> Nelle sezioni il livello “A” con ogni probabilità è da estendere maggiormente verso valle in quanto il corpo di frana interessa gran parte della vallecola fino a q. 796 (vedi planimetria e viste prospettiche).

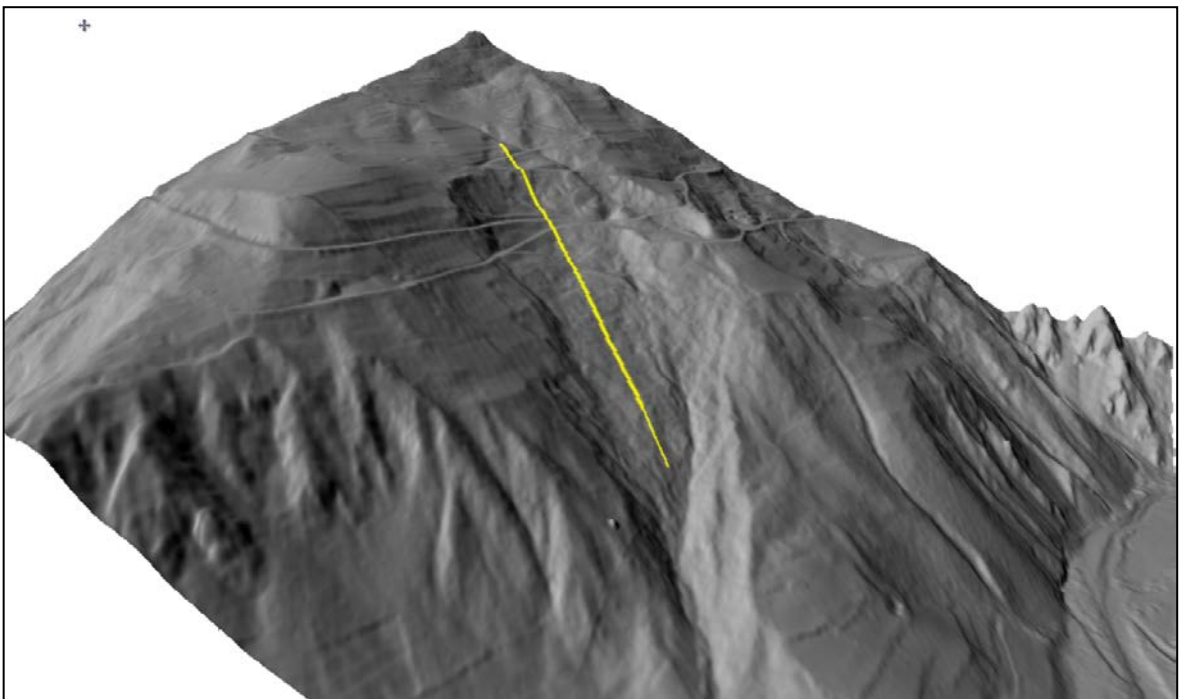


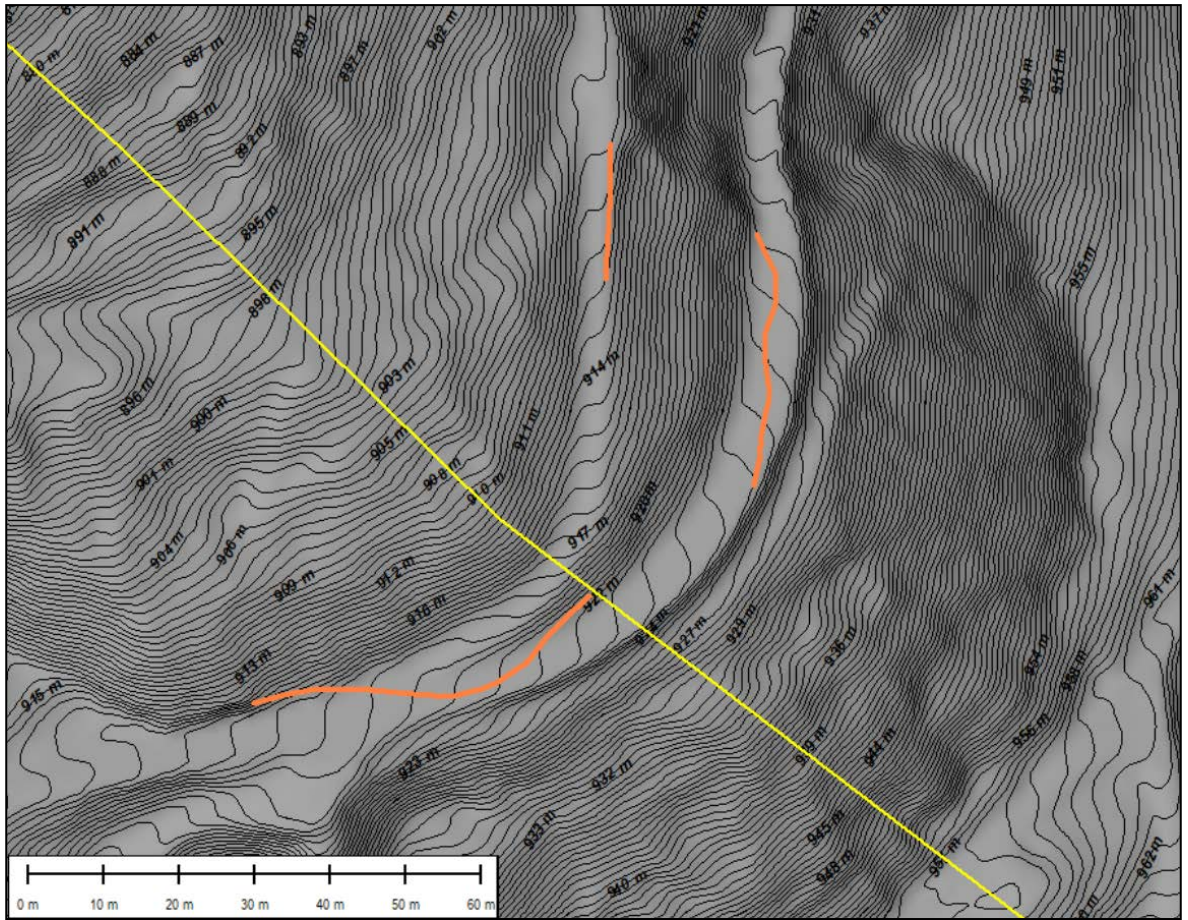
**Planimetria e sezione da rilievo Lidar della PAT**  
**con evidenziato in rosso le fessure di trazione**



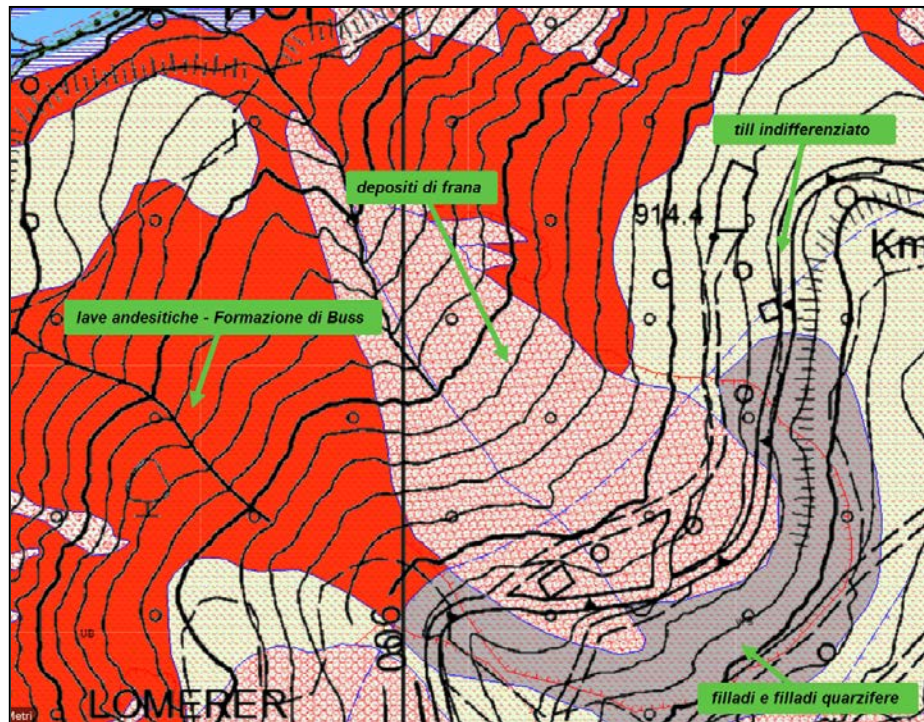


*Viste prospettiche "3D" da rilievo Lidar della PAT*

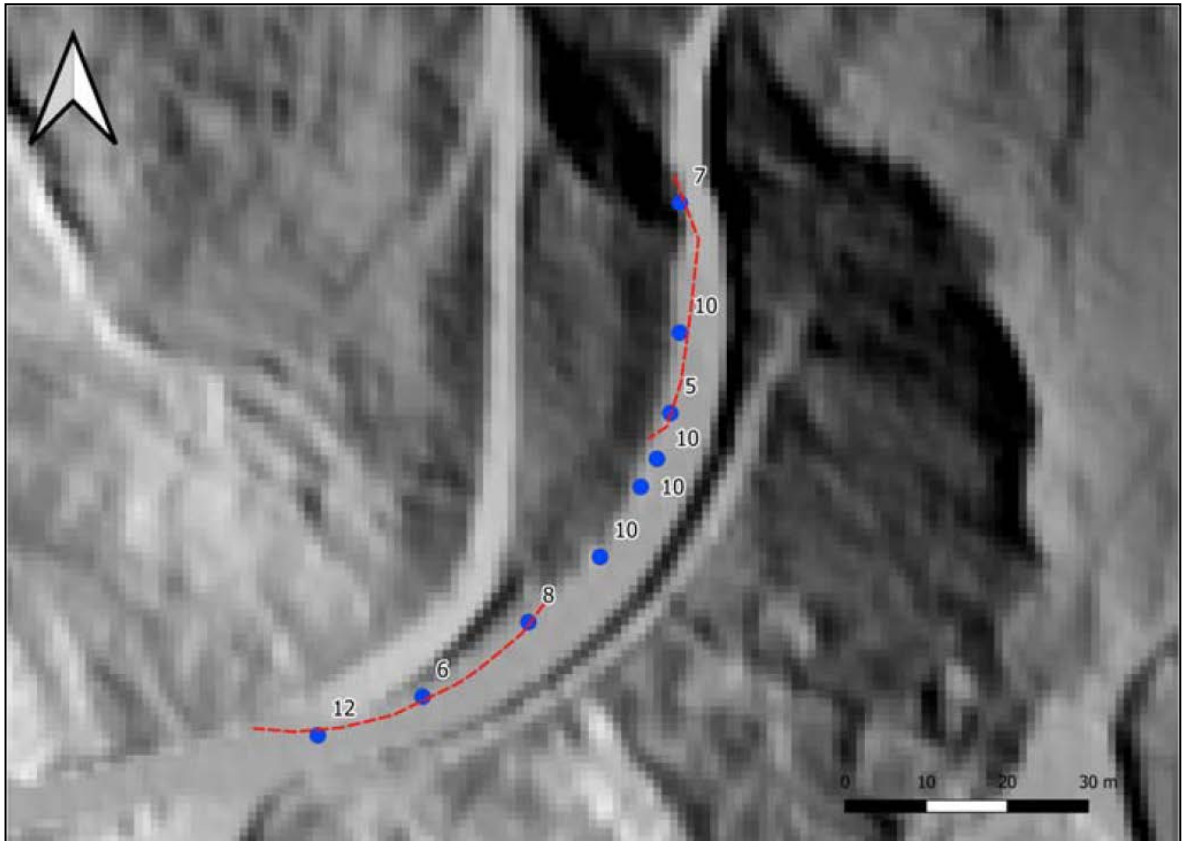




***Estratto planimetria con ubicazione fessure di trazione (linee arancioni)***

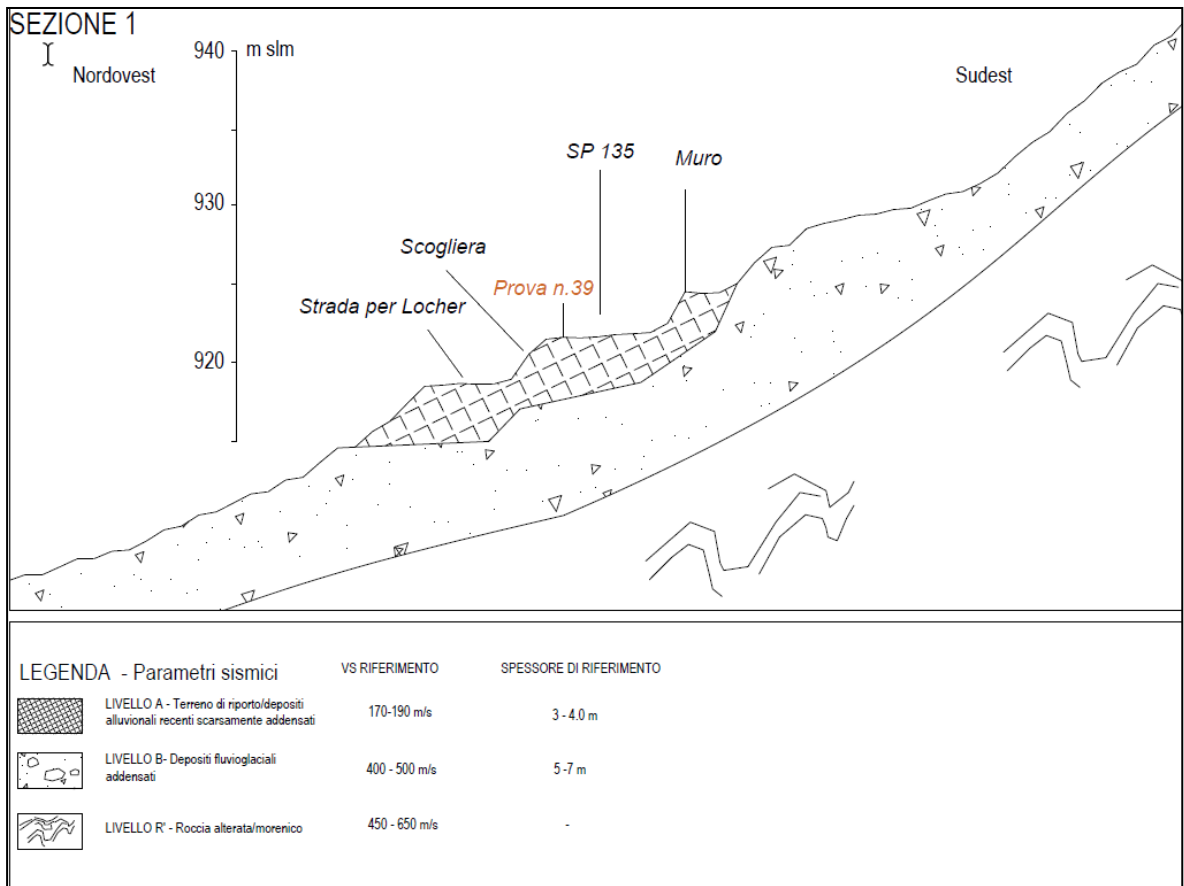


***Estratto - Carta Geologica PAT***

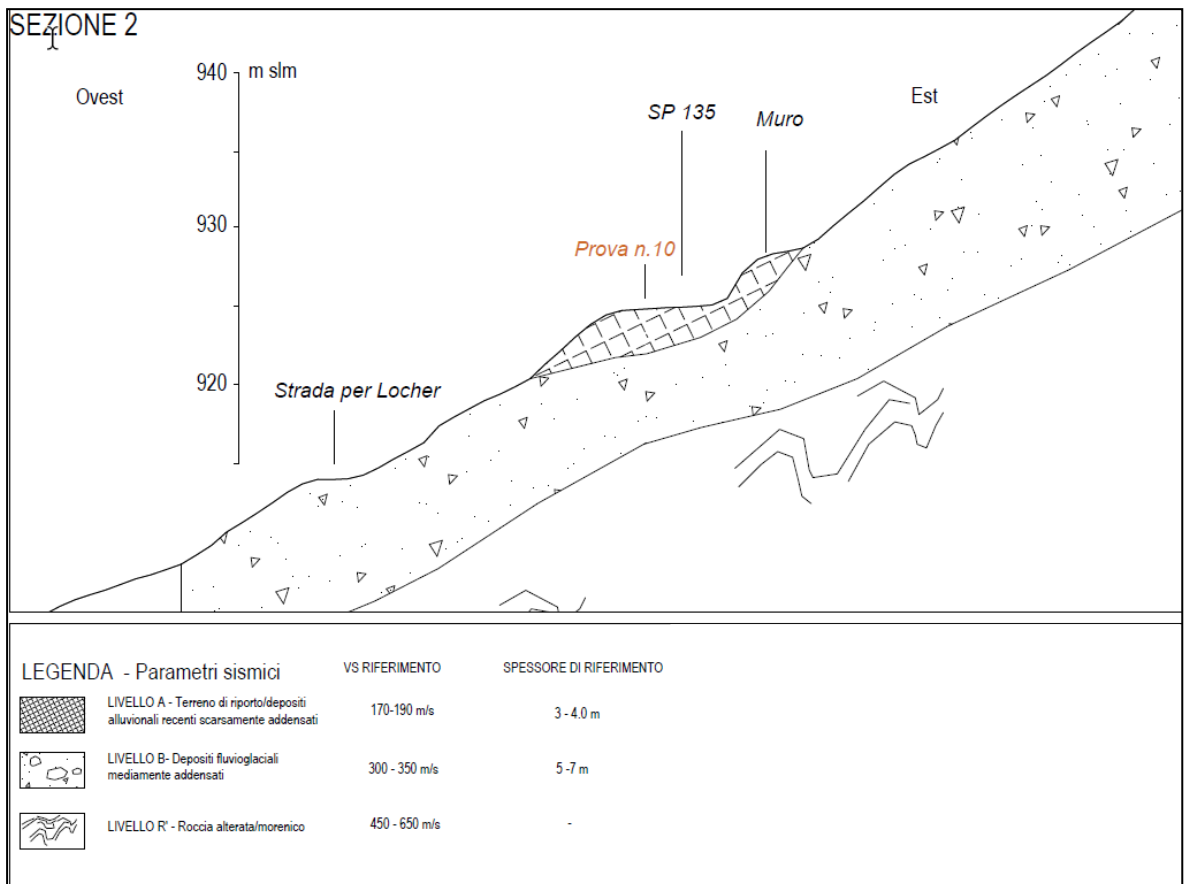


*Planimetria e foto aerea con riportate le profondità del livello con  $V_s > 400$  m/sec (substrato filladico)*





*Sezioni geologiche schematiche emerse con l'indagine geofisica MASW eseguita dal Servizio Geologico della PAT*



Depositi di frana di natura sabbioso-ghiaiosa in matrice limosa più o meno abbondante caratterizzano tutto il fondo della vallecchia interessata dal dissesto nella fascia di versante compresa tra le isoipse 796÷920 (vedi viste prospettiche e estratto carta geologica), a conferma della notevole entità del fenomeno franoso che ha coinvolto i depositi morenici (till indifferenziato) che il “*cappellaccio*” del substrato roccioso filladico.

In considerazione della natura tendenzialmente grossolana del corpo di frana non è stato possibile prelevare campioni di terreno su cui eseguire significative prove di laboratorio. Poiché il deposito è prevalentemente 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  $\phi_1$  è funzione della compattezza del materiale,  $\phi_2$  della forma dei grani,  $\phi_3$  del taglio dei grani e  $\phi_4$  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 ( $\phi_2 = -3^\circ$ ), 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  $\phi = 33^\circ$ .

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, sia pur scarsa. Sulla base dell'osservazione di scarpate naturali presenti in zona, ed utilizzando il grafico elaborato da *Biarez* che fornisce, in funzione dell'inclinazione della scarpata " $\beta$ ", le curve  $f(\text{tg}\phi, c/\gamma H)$ , corrispondenti a differenti coppie di  $\phi$  e  $c$  possibili, per questo terreno si stima una coesione  $c = 0.2\div 0.3 \text{ t/m}^2$ .

Utilizzando le correlazioni riportate in bibliografia e che legano l'angolo d'attrito interno del terreno ai valori delle  $V_s$  per il riporto ed il deposito di frana si determina un angolo d'attrito interno  $\phi = 34^\circ\div 38^\circ$ , in discreto accordo con quanto ricavato con la formula di *Chen*.

Per il livello intermedio, verosimilmente costituito dai depositi morenici si determina un angolo d'attrito  $\phi \approx 38^\circ\div 40^\circ$ ; valore plausibile per questo tipo di terreno caratterizzato da un elevato grado di compattezza e generalmente da una granulometria dispersa. Utilizzando sempre il grafico di *Biarez* per questo terreno si è stimata una coesione  $c = 0.5\div 0.7 \text{ t/m}^2$ .

Per quanto riguarda il substrato roccioso filladico, con *caratteristiche geomeccaniche scadenti o molto scadenti*, *Bieniawski* (1979) suggerisce i seguenti parametri geotecnici:  $\phi \approx 15^\circ\div 18^\circ$  -  $c \approx 10 \text{ (t/m}^2\text{)}$ .

Si allega un estratto della *Carta Geologica* della PAT per una migliore comprensione di quanto sopra.

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

LITOLOGIA	Spessore (m)	Angolo d'attrito interno	Coesione
riporto e deposito di frana	3.0÷4.0 m	$\phi = 34^\circ$	$c = 0.2\div 0.3 \text{ (t/m}^2\text{)}$
deposito fluvioglaciali	5.0÷7.0 m	$\phi = 38^\circ$	$c = 0.5\div 0.7 \text{ (t/m}^2\text{)}$
substrato filladico	/////	$\phi \approx 15^\circ\div 18^\circ$	$c \approx 10 \text{ (t/m}^2\text{)}$

-----

La copertura quaternaria è caratterizzata da una medio-bassa permeabilità primaria per porosità, mentre una scarsa permeabilità per fessurazione caratterizza il substrato roccioso in conseguenza della natura argillosa della coltre di alterazione delle filladi. Questo determina una certa percolazione a tetto del substrato e talora nella copertura quaternaria, dove la granulometria è più grossolana e la permeabilità maggiore.

Durante il sopralluogo è stato rilevato un modesto ruscellamento in corrispondenza del fondo di due vallecole a monte della strada provinciale. Queste acque si infiltrano poi a tergo del muro di controripa della S.P. dove in passato è stato riversato materiale drenate grossolano. Queste acque d'infiltrazione sono state intercettate a circa 6÷8 m di profondità durante le terebrazioni per la posa dei micropali.

-----

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 <sup>3)</sup>) e compilare il modello C1 dell'asseverazione.

<sup>3)</sup> 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

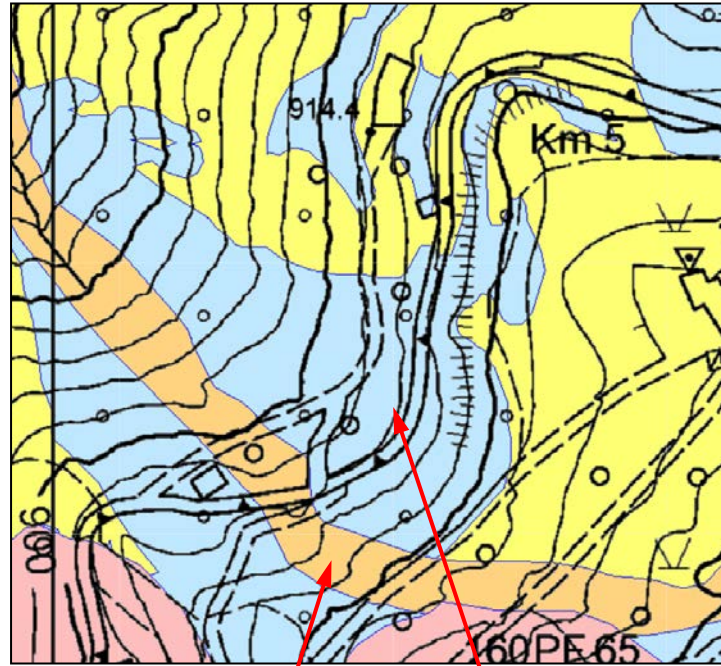
La zona d'intervento ricade tra le aree con **pericolosità media (P3)** per **frane**, **pericolosità da approfondire (APP)** per **problemi torrentizi** e **pericolosità bassa (P2)** per **DGPV (Deformazioni Gravitative Profonde di Versante)**.

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.

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.



**Carta di Sintesi della Pericolosità 1AGG: APP**

CSP	APP
CSP fluviale	
CSP fluviale residua	
CSP lacuale	
CSP torrentizia	APP
CSP FRANE	P3
CSP Crolli	
CSP DGPV	P2
CSP valanghiva	
CSP Piccola Età Glaciale (PEG)	
CSP Permafrost e Rock Glacier	
CSP Litogeomorfologica	P1
CSP incendi boschivi	P1

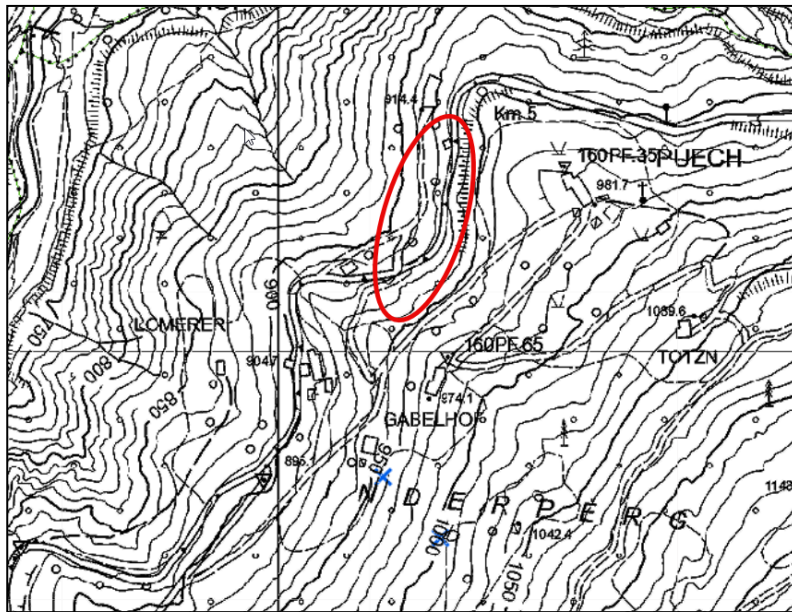
**Carta di Sintesi della Pericolosità 1AGG: P3**

CSP	P3
CSP fluviale	
CSP fluviale residua	
CSP lacuale	
CSP torrentizia	
CSP FRANE	P3
CSP Crolli	
CSP DGPV	P2
CSP valanghiva	
CSP Piccola Età Glaciale (PEG)	
CSP Permafrost e Rock Glacier	
CSP Litogeomorfologica	P1
CSP incendi boschivi	P1

**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	



CARTA DELLE RISORSE IDRICHE DELLA PAT

**Legenda**

**Zona di Tutela Assoluta**

- Sorgenti
- Sorgenti Minerali
- Acque Superficiali
- Pozzi

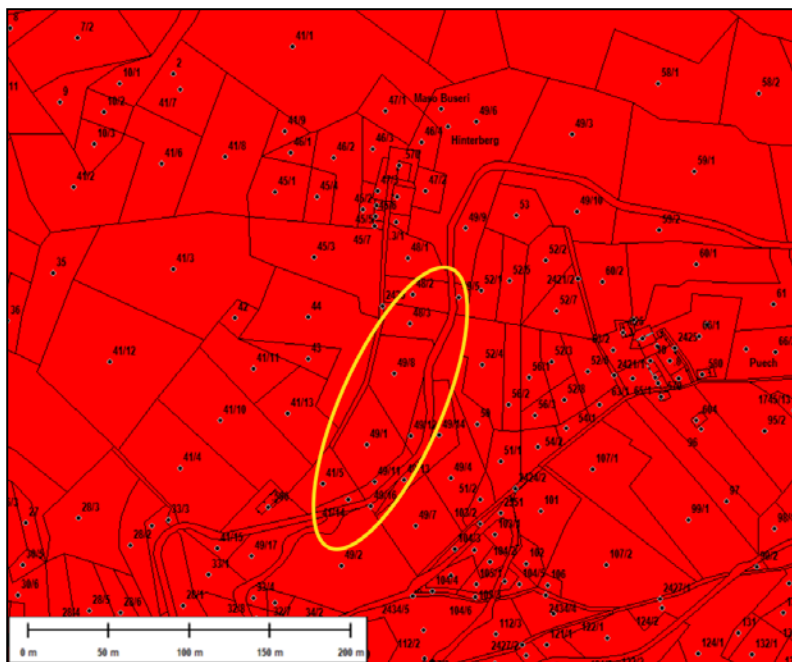
**Zona di Rispetto Idrogeologico**

- 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**

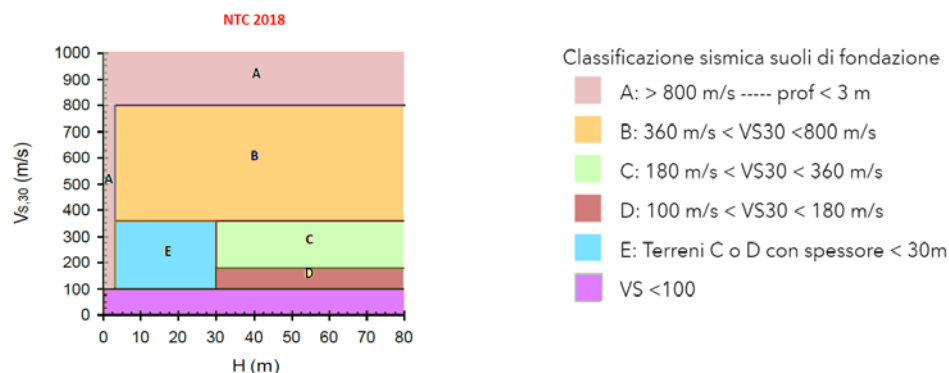
- |  |                    |
|--|--------------------|
|  | area vincolata     |
|  | area non vincolata |

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 a quanto emerso durante i sopralluoghi, ai dati dell’indagine geofisica eseguita e a quanto riportato nella *Carta Sismica delle Categorie Sismiche del Sottosuolo*, edita dal Servizio Geologico della PAT, la categoria del sottosuolo da considerare è la “B” mentre la categoria topografica è la “T2” (pendenza media superiore a 15°).

In base a quanto riportato nella Prima Direttiva della PAT (maggio 2008) per l’applicazione del decreto del ministro delle infrastrutture e dei trasporti 14 gennaio 2008 in materia di Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, *per le nuove progettazioni di opere pubbliche (a qualsiasi classe d’uso appartengano) la Vita Nominale per il calcolo della pericolosità sismica deve essere  $\geq 100$  anni.*

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	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.
B	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.
C	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.
D	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.
E	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.

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

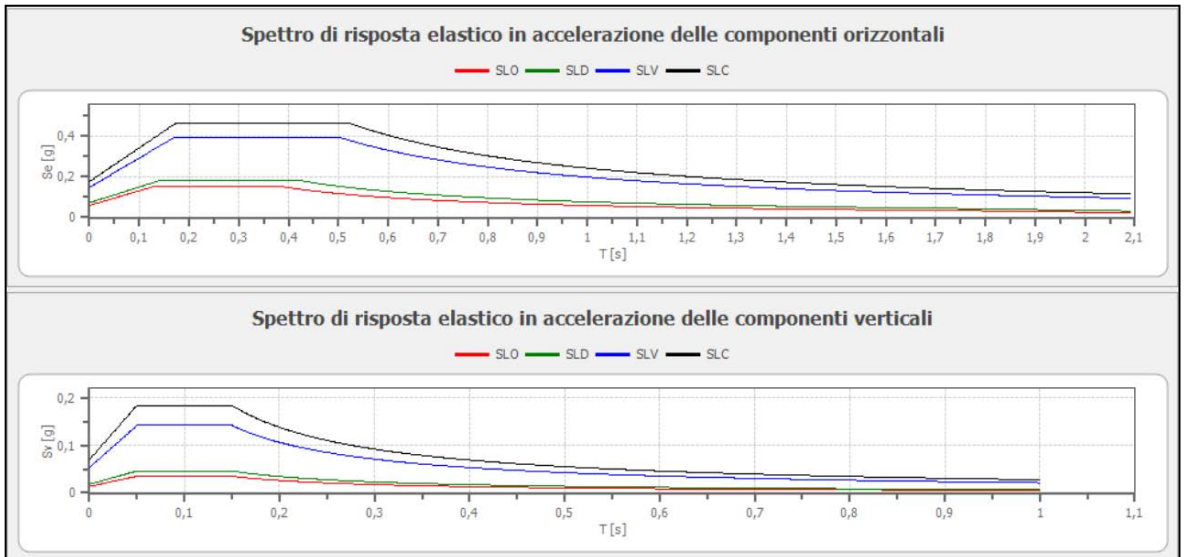
Paratie

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
Stabilità dei pendii e fondazioni	kv	0,030	0,036	0,074	0,088
	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
Muri di sostegno	kv	0,006	0,007	0,018	0,021
	Amax [m/s²]	0,585	0,708	1,451	1,735
	Beta	0,200	0,200	0,240	0,240
	kh	--	0,034	0,056	--
Fronti di scavo e rilevati	kv	--	0,017	0,028	--
	Amax [m/s²]	0,585	0,708	1,451	1,735
	Beta	--	0,470	0,380	--
	kh	--	0,034	0,056	--



	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. SMALTIMENTO ACQUE BIANCHE**

Nell'instabilità che ha coinvolto la strada provinciale ha un ruolo determinante l'acqua d'infiltrazione, oltre alla pendenza media del versante. A tal proposito si sottolinea il fatto che le due nicchie di frana in esame hanno inizio esattamente nei punti dove si riversavano, e si riversano, le acque bianche della strada provinciale. A tal proposito preme sottolineare il fatto che in questi ultimi anni gli eventi meteorologici particolarmente intensi si susseguono periodicamente, sempre con maggiore frequenza. In tali occasioni un tratto di strada di poche decine di metri di sviluppo può determinare una portata di diversi litri al secondo.

Normalmente il dimensionamento dei collettori viene fatto considerando una *piovosità critica di  $\frac{1}{4}$  h con un tempo di ritorno di 50 anni.*

Utilizzando i dati riportati nella pubblicazione dei dott. *Dario Della Lucia, Sergio Fattorelli, Sergio Provasi – "Determinazione delle zone omogenee per le piogge intense nel Trentino"*, per la zona in esame è stata determinata una pioggia intensa di 20,79 mm/ $\frac{1}{4}$ h, per un tempo di ritorno di 50 anni.

Indicativamente se consideriamo una superficie impermeabilizzata di 500 m<sup>2</sup>, ed un coefficiente di deflusso  $C = 0.9$ , si determina una portata  $Q_{max} = 10.4$  l/sec.

Lungo la strada provinciale non è presente un collettore delle acque bianche; esiste solo una caditoia all'inizio della strada comunale che porta in località Puech (limite sud dell'area in frana) dove confluiscono le acque bianche di questa strada e quelle di un piccolo impluvio per poi essere smaltite a valle della provinciale dove la pendenza è minore (vedi sezione) e dove si infiltrano poi nel terreno (deposito di frana grossolano) dopo un breve percorso superficiale.

Come si è già avuto modo di dire in precedenza a ridosso del tombone, si è verificato un piccolo fenomeno d'instabilità che ha interessato il terreno situato immediatamente a valle del muro di sostegno della provinciale. Al fine di garantire una maggiore sicurezza a questa porzione di versante si consiglia la posa a valle del tombone di una canaletta, di 20÷30 m di sviluppo, in modo da disperdere le acque bianche in un punto meno acclive ( $\beta_{med} = 17^{\circ}\div 20^{\circ}$ ) e quindi meno soggetto a fenomeni d'instabilità.

#### 4. 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  $V_s \approx 450 \div 650$  m/sec. a  $5 \div 12$  m di profondità (verticale-laterale) – (profondità media  $7 \div 9$  m - <sup>(4)</sup>). Questo livello è ragionevolmente costituito dalle filladi, tenuto conto del vicino affioramento roccioso.

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 <sup>(5)</sup> ;
$q_{si}$	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  $p$ ).

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.

<sup>4)</sup> Dato confermato anche dal sondatore che ha eseguito i primi micropali per la messa in sicurezza della scogliera presente subito a valle della strada provinciale, nel tratto centrale della vallecchia.

<sup>5)</sup>  $D_s = D_d * \alpha$  ( $D_d$  = diametro della perforazione).  
Per la scelta del coefficiente " $\alpha$ " vedi tabella allegata, dove le sigle IRS e IGU sono relative ai micropali e tiranti valvolati e non valvolati.

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 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:

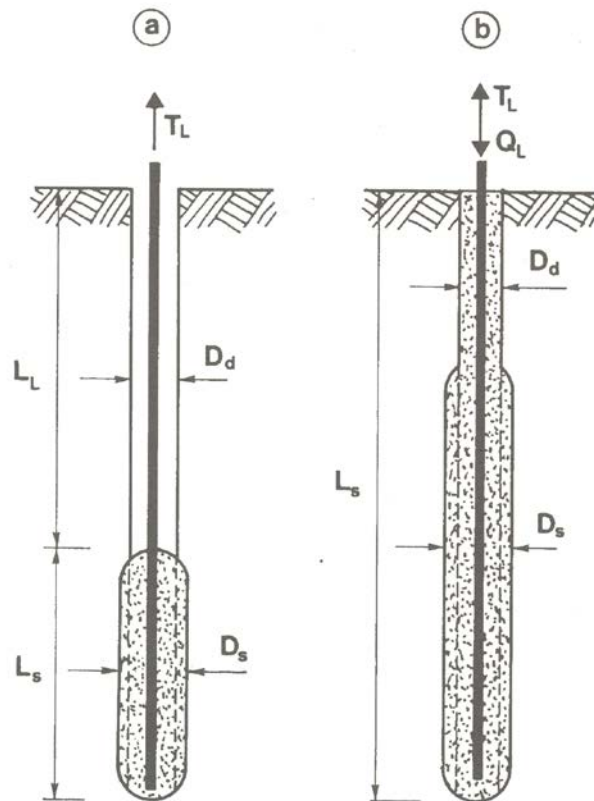
$$Q_L^S = \sum_i \pi * D_{si} * L_{si} * q_{si} \quad \text{dove:}$$

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

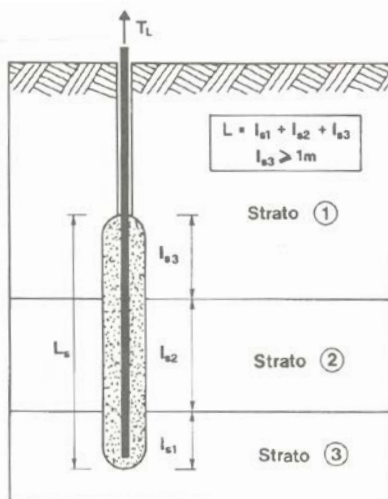
La **resistenza alla punta**  $Q_L^P$  non supera in genere il 15%÷20% del termine rappresentativo dell'attrito laterale e può pertanto essere calcolata in maniera speditiva, ma con sufficiente precisione per la pratica corrente, con la seguente espressione semplificata:  $Q_L^P = 0.15 * Q_L^S$

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).



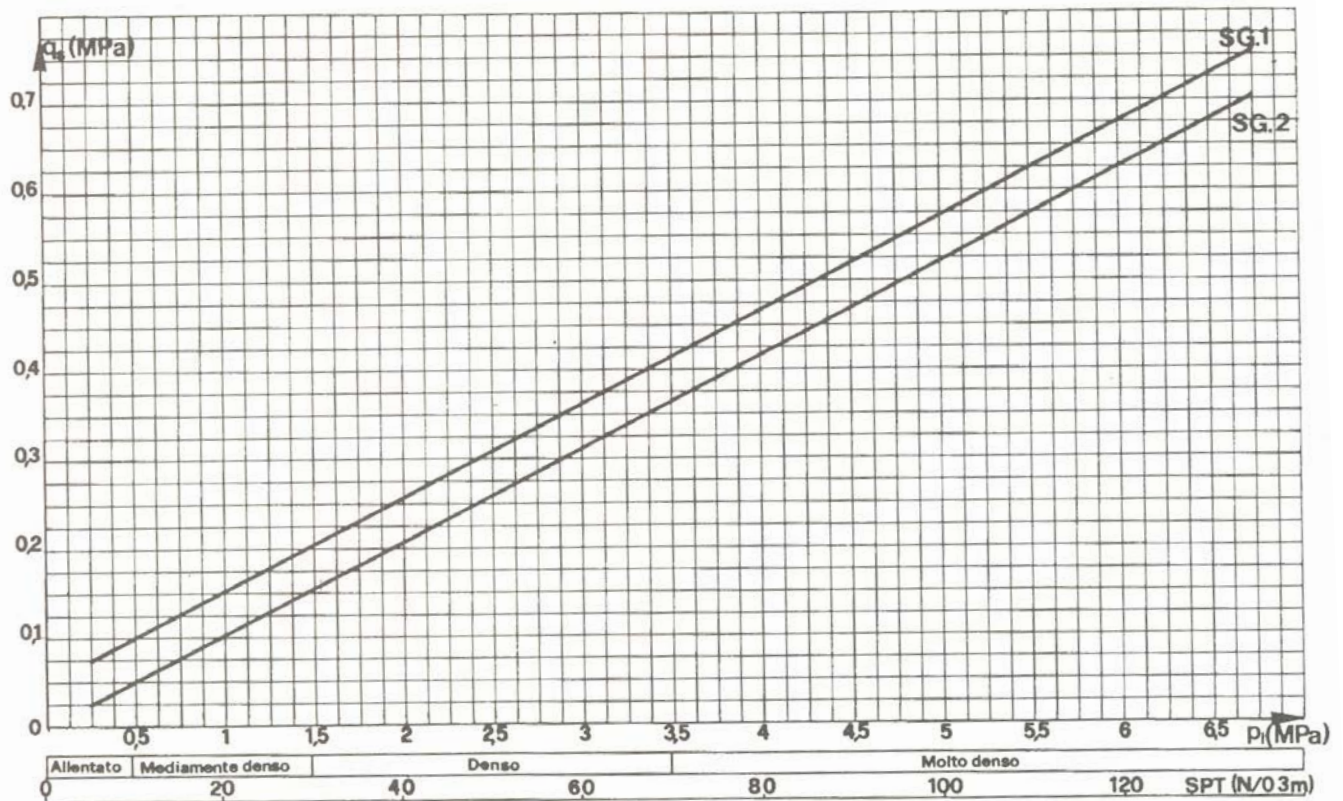
Rappresentazione schematica di un tirante sigillato in un multistrato, in condizioni di lunghezza minimale nell'ultimo strato.

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

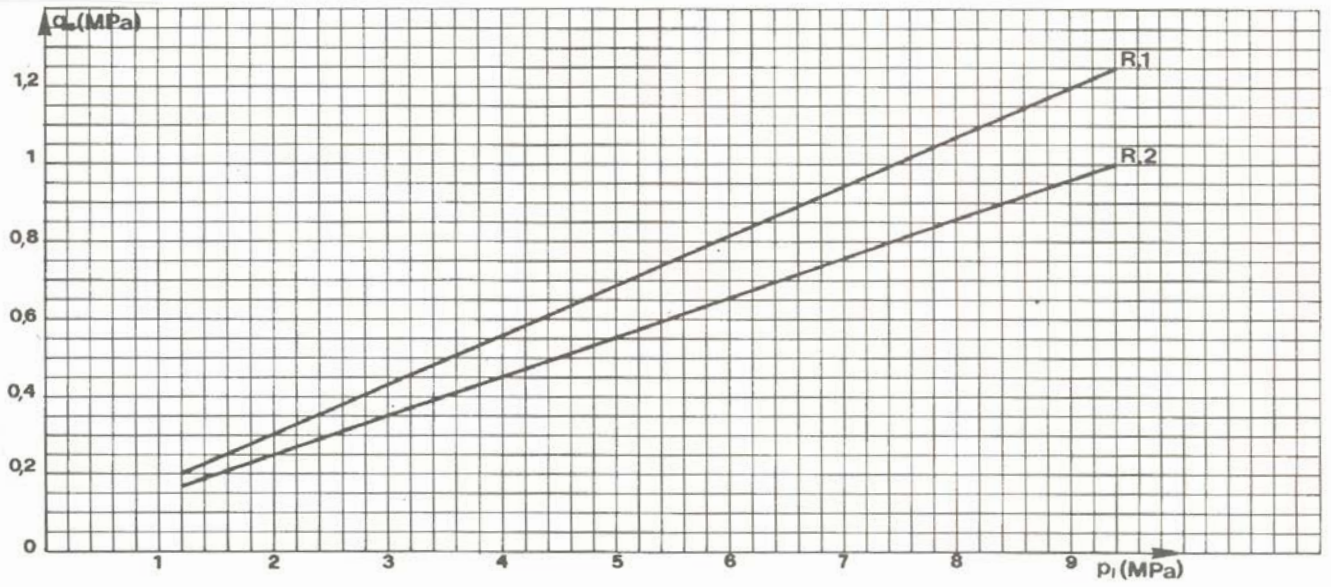
Suoli	Coefficiente $\alpha$		Quantità minima di malta consigliata $V_e$
	IRS*	IGU**	
Ghiaia	1,8	1,3÷1,4	$1,5 \cdot V_s$
Ghiaia sabbiosa	1,6÷1,8	1,2÷1,4	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia ghiaiosa	1,5÷1,6	1,2÷1,3	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia grossolana	1,4÷1,5	1,1÷1,2	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia media	1,4÷1,5	1,1÷1,2	$1,5 \cdot V_s$
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	$\left\{ \begin{array}{l} 1,5 \div 2 \cdot V_s \text{ per IRS} \\ 1,5 \cdot V_s \text{ per IGU} \end{array} \right.$
Limo	1,4÷1,6	1,1÷1,2	$\left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot V_s \text{ per IRS} \\ 1,5 \cdot V_s \text{ per IGU} \end{array} \right.$
Argilla	1,8÷2	1,2	$\left\{ \begin{array}{l} (2,5 \div 3) \cdot V_s \text{ per IRS} \\ (1,5 \div 2) \cdot V_s \text{ per IGU} \end{array} \right.$
Marna	1,8	1,1÷1,2	$(1,5 \div 2) \cdot V_s$ per strato compatto
Calcari 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 Ghiaia sabbiosa Sabbia ghiaiosa Sabbia grossolana Sabbia media Sabbia fina Sabbia limosa	SG 1	SG 2
Limo	AL 2	AL 2
Argilla Marna Calcarei marnosi Gesso alterato e fratturato	MC 1	MC 2
Roccia alterata e fratturata	$\geq R. 1$	$\geq R. 2$
* : 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 $P_c$ (N/m <sup>2</sup> )	MODALITA' ESECUTIVE DEL PALO									
		IRIVELL.		IRIVELLATO RIVEST.		BATTUTO		IMPIETTATO			
		FUSTO CALCESTR.	A bis	FUSTO CALCESTR.	A bis	FUSTO METALL.	FUSTO CALCESTR.	FUSTO METALL.	FUSTA PRESSIOME	ALTA PRESSIOME	
SABBIA ARGILLOSA. LIMOSA	< 0.7	A bis	A bis	A bis	A bis	A bis	A bis	A	A	-	-
CALCARE SFATTO FINIRO CRAIE MALLE)	< 0.7	A bis	A bis	A bis	A bis	A bis	A bis	A	A	-	-
ARGILLA DA TENERA A COMPATTA	≤ 3	A <sup>**</sup> A bis	A <sup>**</sup> A bis	A bis	A bis	A <sup>**</sup> A bis	A bis	A	A	D <sup>***</sup>	D <sup>***</sup>
LIMO DA TENERO A COMPATTO	≤ 3	A <sup>**</sup> A bis	A <sup>**</sup> A bis	A bis	A bis	A <sup>**</sup> A bis	A bis	A	A	D <sup>***</sup>	D <sup>***</sup>
SABBIA E GHIAIA DI MEDIA COMPATTEZZA	1 ÷ 2	B <sup>**</sup> A	A <sup>**</sup> A bis	A bis	A bis	B <sup>**</sup> A	A	A	A	≥ D	≥ D
SABBIA E GHIAIA DI ELEVATA COMPATTEZZA	> 2.5	C <sup>**</sup> A	B <sup>**</sup> A	A	A	C <sup>**</sup> B	A	B	B	≥ D	≥ D
CALCARE MARNOSO (CRAIE) ALTERATO O FRATTURATO	> 1.5	C <sup>**</sup> B	B <sup>**</sup> A	A	A	C <sup>**</sup> B	B	C	C	≥ D	≥ D
MARMA E CALCARE MARNOSO	1.5 ÷ 4	E <sup>**</sup> C	C <sup>**</sup> B	B	B	(F)	(E)	L	L	F	F
MARMA MOLTO COMPATTA	> 4.5	E	-	-	-	-	-	F	F	≥ I	≥ I
ROCCIA ALTERATA	2.5 ÷ 4	F	F	-	-	(F)	(F)	≥ F	≥ F	≥ I	≥ I
ROCCIA FRATTURATA	> 4.5	F	-	-	-	-	-	≥ F	≥ F	≥ I	≥ I

\* esecuzione estremamente accurata

\*\*  $P_c \geq 1,5 \text{ MPa}$

( ) se la battitura è possibile

## 5. CONCLUSIONI

L'area interessata dai dissesti che hanno coinvolto la banchina esterna della S.P.135, al km 4.800, in loc. Puech, è caratterizzata da uno strato superficiale di materiale di riporto e depositi di frana, per uno spessore di 3÷4 m. Segue un deposito morenico compatto e, ad una profondità media di 7÷9 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 precedente.

Nell'instabilità che ha coinvolto la strada provinciale ha un ruolo determinante l'acqua d'infiltrazione, oltre alla pendenza media del versante (le due nicchie di frana in esame hanno inizio esattamente nei punti dove si riversavano le acque bianche della strada).

Lungo la provinciale non è presente un collettore delle acque bianche; esiste solo una caditoia all'inizio della strada comunale che porta in località Puech (limite sud dell'area in frana) dove confluiscono le acque bianche di questa strada e quelle di un piccolo impluvio per poi essere smaltite subito a valle della provinciale.

A ridosso del tombone, si è verificato un piccolo fenomeno d'instabilità che ha interessato il terreno situato immediatamente a valle del muro di sostegno della provinciale. Per garantire una maggiore sicurezza a questa porzione di versante si consiglia la posa a valle del tombone di una canaletta, di 20÷30 m di sviluppo, in modo da disperdere le acque bianche in un punto meno acclive e quindi meno soggetto a fenomeni d'instabilità.

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*