

COMMITTENTE:

Comune di Savio dell'Adamello
San Marco, 19
24040 – Savio dell'Adamello (BS)



REGIONE LOMBARDIA

Provincia di BRESCIA

Comune di SAVIO DELL'ADAMELLO

PROGETTISTA:

Ing. Emiliano Giorgi

**CONSULENZA GEOLOGICA:**

Geol. Luca M. Albertelli

PROGETTO DEFINITIVO

INTERVENTI DI RIDUZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO
ATTRAVERSO IL CONSOLIDAMENTO STATICO CON ELEMENTI
IN C.A. E PERFORAZIONI PROFONDE.
CUP J17H21005910002. C.I.G. Z0E346A9FF

01 RELAZIONE GEOLOGICA

Marzo 2022

LAND & COGEO

UFFICI SEDE OPER.: Via Montegrappa, 41 – 24060
Rogno (BG)

SEDE LEGALE: Via Manifattura 29/G
25047 DARFO B.T.(BS)
Tel. Tel. 0354340011 fax. 0354340011
P.IVA 03480990989

www.cogeo.info

ING. EMILIANO GIORGI

UFFICI SEDE OPER.: Via Faede 34/E 25040 ESINE (BS)

INDICE

PREMESSA.....	3
INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	4
Descrizione del dissesto e degli interventi di somma urgenza	5
FASE DI INDAGINE	8
LINEAMENTI GEOLOGICI GENERALI	8
LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI	11
INDAGINI ESEGUITE	12
Rilievi geomeccanici e ispezione con telecamera	14
Sondaggi geognostici	18
Indagine di sismica a rifrazione.....	23
Indagini MASW	24
Indagine di sismica passiva con tromografo	25
FASE DI ELABORAZIONE INTERPRETAZIONE DATI	26
ELABORAZIONE DEI DATI DI INDAGINE.....	26
Classificazioni geomeccaniche	26
Tomografia sismica in onde P rifratte	30
MASW	32
HVSr	35
VINCOLI E CARATTERI SISMICI DEL SITO	36
Fattibilità.....	36
PAI (Piano Assetto Idrogeologico).....	37
IFFI	38
Probabile localizzazione delle valanghe.....	39
Scenario PSL.....	40
CARATTERI SISMICI DEL SITO	41
CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI	43
FASE DI SINTESI	44
MODELLO GEOLOGICO SEMPLIFICATO DI RIFERIMENTO (MGR)	44

ALLEGATO: Sezioni Modello Geologico

PREMESSA

La presente relazione GEOLOGICA è stata commissionata alla scrivente società quale supporto geologico per le opere di completamento e messa in sicurezza del versante in frana che ha interessato Via Adamello in data 8 novembre 2021, nel comune di Savio dell'Adamello (BS).

Il dissesto interruppe completamente la viabilità, isolando una buona parte dell'abitato. A seguito dell'evento il Comune di Savio dell'Adamello ha attivato le opere di somma urgenza per un importo di € 100.000, consistenti in contrafforti in c.a. e tiranti.

Le nuove opere andranno a completare l'intervento realizzato prevedendo anche la mitigazione ambientali delle recenti opere realizzate. Il dissesto ha le caratteristiche di una frana complessa di scivolamento in roccia di un volume stimato tra i 200 e i 250 mc.

Per la stesura della presente relazione e studio, sono state eseguite indagini in sito consistenti in n° 2 sondaggi geognostici a carotaggio e stendimenti sismici.

La presente relazione geologica ha lo scopo di definire i caratteri geologici, geomorfologici ed idrogeologici delle aree interessate dagli interventi, secondo quanto contenuto nella normativa vigente, con particolare riferimento a:

- O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- O.P.C.M. 28.04.2006 N°3519 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"
- D.M. 14 gennaio 2008 Norme tecniche per costruzioni
- D.M. 18 gennaio 2018 Norme Tecniche per le costruzioni.
- Circolare n. 617 del 2.02.2009, Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n. 27: "Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008".
- D.G.R. 11 luglio 2014 n.2129 "aggiornamento delle zone sismiche di Regione Lombardia"

In riferimento alla normativa sopra richiamata, il presente documento analizza gli aspetti geologici finalizzati all'individuazione del modello geologico "semplificato" di sito, secondo quanto specificato nelle NTC 2018 § 6.2.1 e § 6.2.1 della Circolare esplicativa delle NTC 2008 e successivi aggiornamenti.

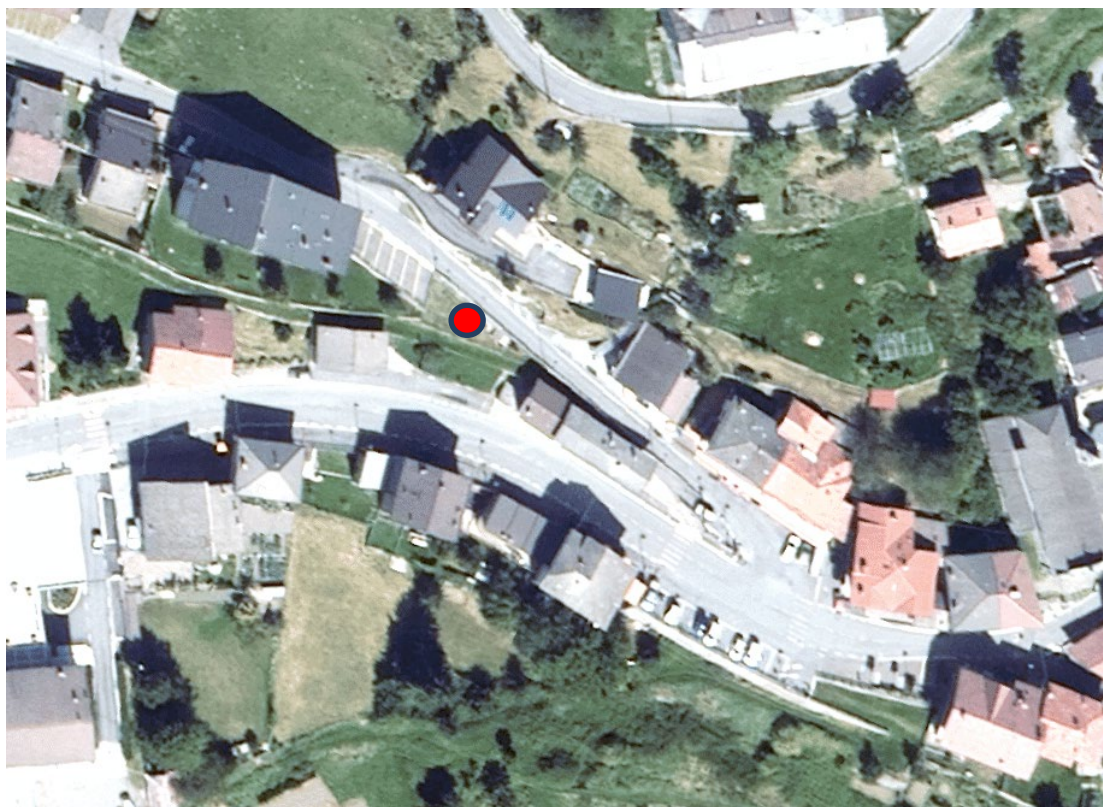
INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il sito in esame è situato all'interno dell'abitato di Saviole dell'Adamello ed è interessato dalla presenza di affioramenti rocciosi di rocce scistose del Basamento Cristallino, che non costituiscono delle vere e proprie pareti rocciose arealmente estese, ma risultano localizzate in piccoli affioramenti molto fratturati, principalmente da resinose.

Poco a valle della strada oggetto del franamento è presente la strada provinciale SP n.6 e altre abitazioni residenziali.



Ortofoto generale con posizione planimetrica dell'area rispetto al centro abitato.



Ortofoto di dettaglio dell'area con identificazione del punto di franamento.

Descrizione del dissesto e degli interventi di somma urgenza

In data 8 novembre 2021 si è verificato il franamento di una porzione di versante che ha interessato Via Adamello interrompendone completamente la transitabilità. Il dissesto ha le caratteristiche di una frana complessa di scivolamento in roccia di un volume stimato tra i 200 e i 250 mc. Fortunatamente non si sono verificati danni a persone per il tempestivo intervento del Comune che, già nel tardo pomeriggio del giorno 8 novembre, aveva chiuso il transito poiché si verificavano progressivi distacchi e aperture di fessure lungo il versante. Contestualmente è stata predisposta l'evacuazione di una abitazione che si trova a monte dell'area in dissesto.

Il crollo ha parzialmente interessato l'ingresso dell'edificio dove sono presenti le Poste del Comune di Savio dell'Adamello: anche questa porzione è stata chiusa e protetta con barriere.



Vista del franamento alla sera del 8 novembre 2021.



Vista della porzione instabile del versante a monte dell'accumulo di frana.

A seguito dell'evento è stata predisposta scheda Rasda N. 201.00061-A del 09/11/2021 per un importo pari a 100.000 Euro. Con tale intervento si è provveduto a una parte di pulizia di materiale franato e alla posa di new jersey per ricavare un passaggio per le Ambulanze e le eventuali emergenze di Protezione Civile.

Oltre a queste attività sono stati predisposti una serie di fessurimetri presenti sia sull'ammasso roccioso che a monte dello stesso in corrispondenza di muri ed altre opere antropiche dal termine delle opere di somma urgenza non si sono rilevati movimenti significativi ai fessurimetri.



Vista della frana con posizionamento dei NEW JERSEY a protezione del passaggio in emergenza.

Dopo l'eliminazione del cumulo di frana, gli interventi sono stati realizzati in modo progressivo partendo dal basso, eseguendo opere in cemento armato tirantate, nonché realizzando opportune opere di drenaggio al fine di evitare il dilavamento superficiale ed interstiziale dell'ammasso franoso.



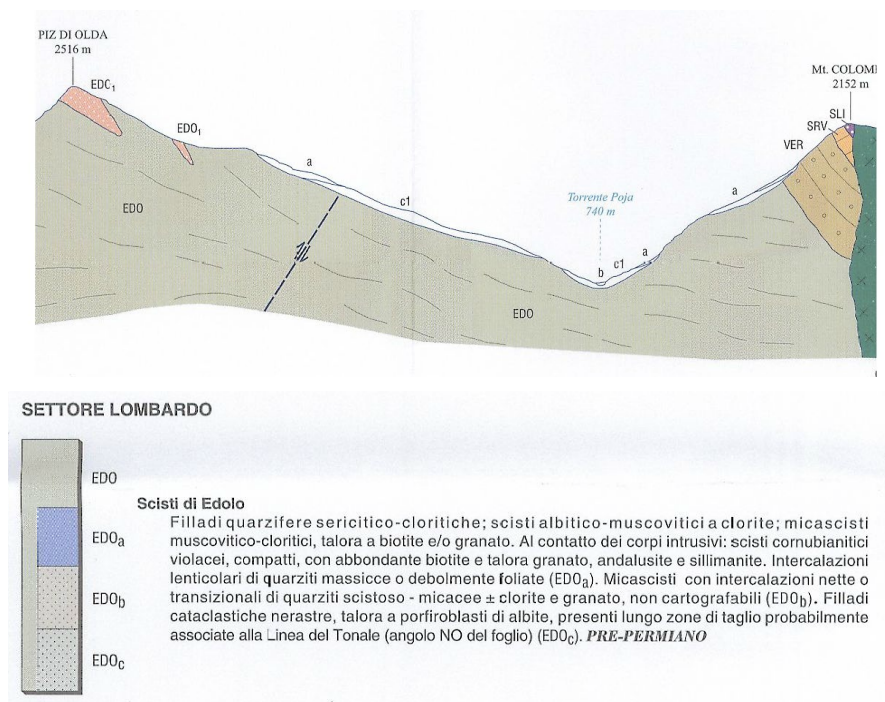
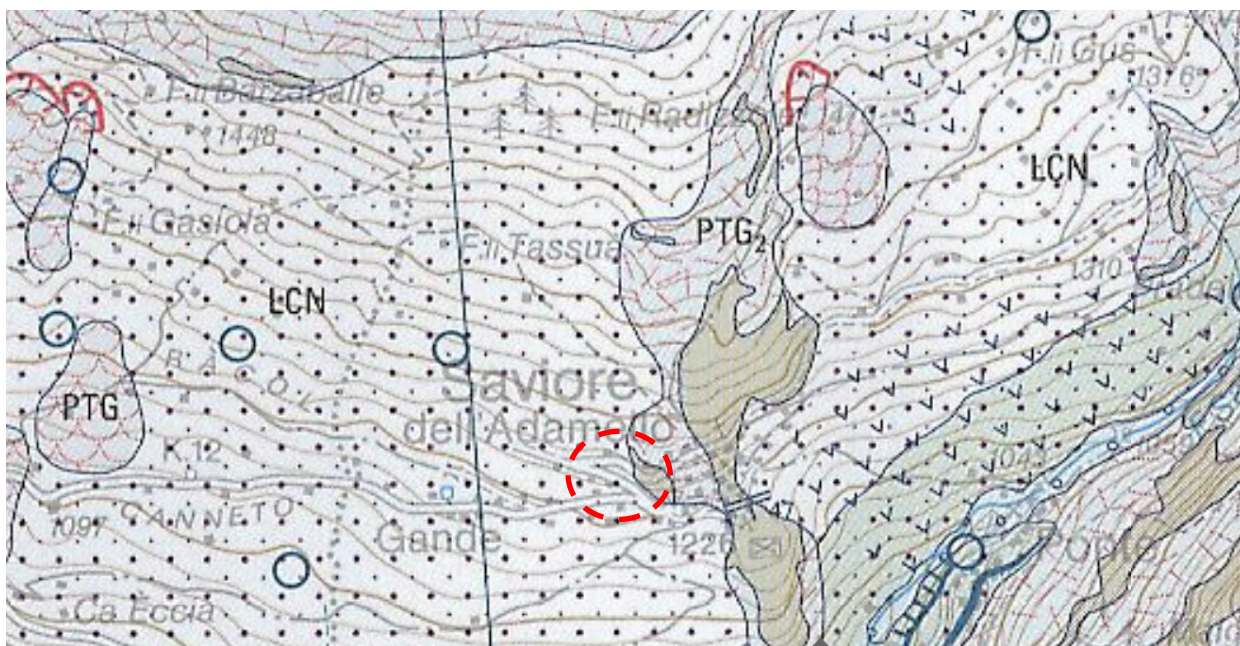
Realizzazione di opere di sostegno tirantate.



Vista delle opere eseguite in somma urgenza

FASE DI INDAGINE

Lineamenti geologici generali



Stralcio di carta geologica e sezione geologica passante nelle vicinanze dell'area di interesse, in direzione N-Sud - non in scala.

La porzione di basamento, nel quale si inserisce l'area di studio, è costituita da una sequenza di rocce metamorfiche pre-permiane (essenzialmente paragneiss, micascisti e filladi), con associati corpi intrusivi di età permiana, ricoperte in discordanza da sequenze sedimentarie permo-mesozoiche e, infine, intrusa da un corpo plutonico (batolite dell'Adamello) di età oligocenica.

Il basamento pre-permiano è costituito da unità pelitico arenacee con impronta metamorfica di età Varisca di grado medio-basso, alla quale è associata una scistosità regionale molto marcata legata alle fasi metamorfico deformative dell'orogenesi ercinica. A queste sono sovrapposte fasi deformative e metamorfiche di più basso grado di età alpina, concentrate prevalentemente in corrispondenza di linee tettoniche principali.

Dal punto di vista litologico il basamento cristallino in Val Camonica è rappresentato dall'unità pelitico-arenitica degli Scisti di Edolo, costituiti da alternanza di micascisti a clorite e granato e albitico-muscovitici, filladi quarzifere, con subordinate intercalazioni di quarziti, gneis feldspatici ed anfiboliti. Il protolito è costituito da sequenze pelitico-arenacee Ordoviciano-Siluriane.

L'evoluzione tettonica del basamento ercinico è, in generale, caratterizzata da più fasi deformative a scala regionale, ad ognuna delle quali è associata una foliazione di piano assiale, diversamente pervasiva a seconda delle aree e delle litologie interessate, data dall'isorientazione di fillosilicati (essenzialmente biotite e mica chiara).

Nella zona interessata dall'intervento il basamento cristallino è costituito prevalentemente da micascisti e micascisti gneissici che presentano una sovraimpronta di retrocessione metamorfica più o meno marcata con la formazione di filladi, filloniti sericitico-cloritiche, scisti albitico-cloritici e cloritici.

Alla prima fase (D1), è dovuta la formazione di pieghe isoclinali a scala da centimetrica a metrica, prive di radice, riconoscibili in aree ristrette e mai ricostruibili per distanze superiori a pochi metri. A D1, è sempre associata una foliazione di piano assiale S1, marcata dall'orientazione preferenziale dimensionale di biotite e mica chiara. La foliazione S1 è quasi completamente trasposta dalla successiva fase deformativa D2 ed è preservata in relitti nei lithon S2 e nelle cerniere delle pieghe D2.

Le strutture meso- e mega-scopiche legate alla fase D2, sono le più caratteristiche del basamento metamorfico sia di piccola che di media scala; esse sono ulteriormente deformate dalle successive strutture alpine.

Le strutture di seconda fase (D2) sono pieghe da serrate ad isoclinali a scala variabile, da centimetriche fino a qualche centinaio di metri, alle quali è sempre associata una foliazione di piano assiale (S2) che costituisce la foliazione regionale. La foliazione S2 si presenta come clivaggio di crenulazione, prevalentemente sottolineata da clorite e mica bianca, localmente da mica bianca e biotite.

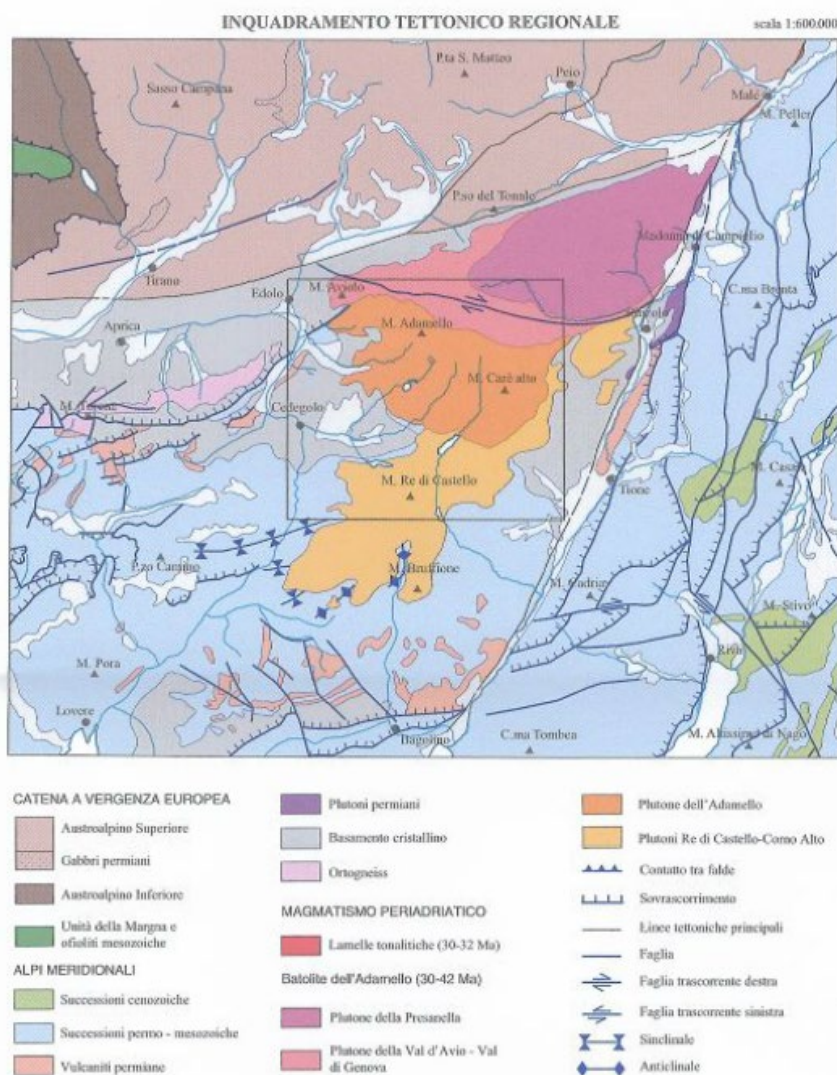
In corrispondenza di zone di shear, alla fase D2 è associato un metamorfismo retrogrado: in queste aree si assiste ad un infittimento della S2 che diviene milonitica, più finemente spaziata e con riduzione della grana con un arricchimento in clorite, grafite e, più raramente, in carbonati che conferisce alla roccia, per lo più ai micascisti, un aspetto filladico.

La fase D2 causa la trasposizione delle precedenti strutture D1 rendendo le foliazioni parallele tra loro. La distinzione tra S1 ed S2 risulta possibile solo localmente, in corrispondenza di zone di cerniera delle pieghe D1 o dove S2 è caratterizzata da associazione Ms + Chl; talora si osservano figure di interferenza (pieghe ripiegate o strutture a fungo, sempre a scala centimetrica) date dalla sovrapposizione di D1 ed D2.

La situazione sopra descritta è chiaramente esposta anche in corrispondenza dell'affioramento in studio, dove si osservano aree caratterizzate da una scistosità molto fitta, con evidente impronta retrometamorfica in facies degli scisti verdi (zone di shear) e aree caratterizzate da aspetto più massiccio, con scistosità spaziata e con impronta retrometamorfica meno marcata. In corrispondenza delle zone di shear (corrispondenti al settore centrale dell'area) sono evidenti relitti delle originarie strutture D1.

Alle fasi tettoniche erciniche se ne sovrappone una successiva (D3), di età alpina, che interessa sia il basamento metamorfico che le coperture carbonifero-permiane soprastanti. Nelle rocce del basamento si originarono pieghe tipo chévron o box fold; la sovrapposizione della deformazione alpina sulle precedenti, origina figure di interferenza sia del tipo 2 che del tipo 3 di Ramsay (1967). A grande scala, alla fase deformativa alpina D3, è associata la grande anticlinale di Cedegolo, in prossimità della cui cerniera, si sviluppa l'area di intervento.

L'intera struttura dell'Anticlinale è inoltre interessata da una serie di faglie a diversa orientazione delle quali alcune, prevalentemente con direzione NNO-SSE, di età tardo alpina con cinematica distensiva.



Stralcio dello schema tettonico del Foglio Adamello

Per quanto riguarda i depositi superficiali, sono presenti ampie aree di depositi glaciali e frammisti glaciale detritico di versante. I primi, ovvero i depositi glaciali, si caratterizzano per la presenza in affioramento di grossi trovanti, per lo più tonalitici, di forma arrotondata e dal volume singolo anche elevato (superiore al metro cubo). La granulometria di questi terreni è caratterizzata dalla presenza di sabbie e ghiaie con frazione fine limo-sabbiosa e scarsa frazione fine argillosa. Si tratta di terreni dotati, in genere, di buone caratteristiche di resistenza e stabilità, conferite dall'assortimento granulometrico e dalla presenza, per l'appunto, di grossi trovanti e massi nel deposito.

Lineamenti geomorfologici

La morfologia dell'area rappresenta la chiave di lettura delle recenti deformazioni che ha subito l'ammasso roccioso nell'area in esame. Ad uno stile distensivo di tipo tettonico, evidenziato dai passaggi ed evoluzioni precedentemente descritti, si è poi assistito ad un'azione di forte compressione, dovuta all'evoluzione glaciale e quindi, ad un ulteriore distensione, corrispondente al periodo post glaciale.

Queste informazioni sono desumibili osservando per l'appunto la morfologia di questa porzione di Valle Camonica, dove l'azione erosiva, di pressione e, successiva distensione, operata dal ghiacciaio principale della Valle Camonica, andava a sovrapporsi ed interagire, con il minore ghiacciaio della Valsaviore.

L'ossatura del versante del Pian della Regina, ha rappresentato il principale ostacolo al passaggio glaciale del ghiacciaio Camuno e, costretto la massa glaciale, a sfondare lateralmente lungo le spalle della valle, così, incontrando il ghiacciaio della val Savio, ha con ogni probabilità costretto quest'ultimo a scavalcare il Dosso di Mezzo Clevo, formando una sella glaciale, ben visibile e particolare, sul lato sinistro orografico al Torrente Poja. Con questa situazione, è possibile spiegare la presenza di ampi terrazzamenti e diffusi depositi glaciali con questi trovanti di elevate dimensioni, arrotondati e modellati dall'azione delle acque di scioglimento glaciale. La zona in esame doveva probabilmente rappresentare il limite laterale del ghiacciaio, dove le acque di deflusso da scioglimento, scorrevano confinate tra il versante e la massa glaciale.

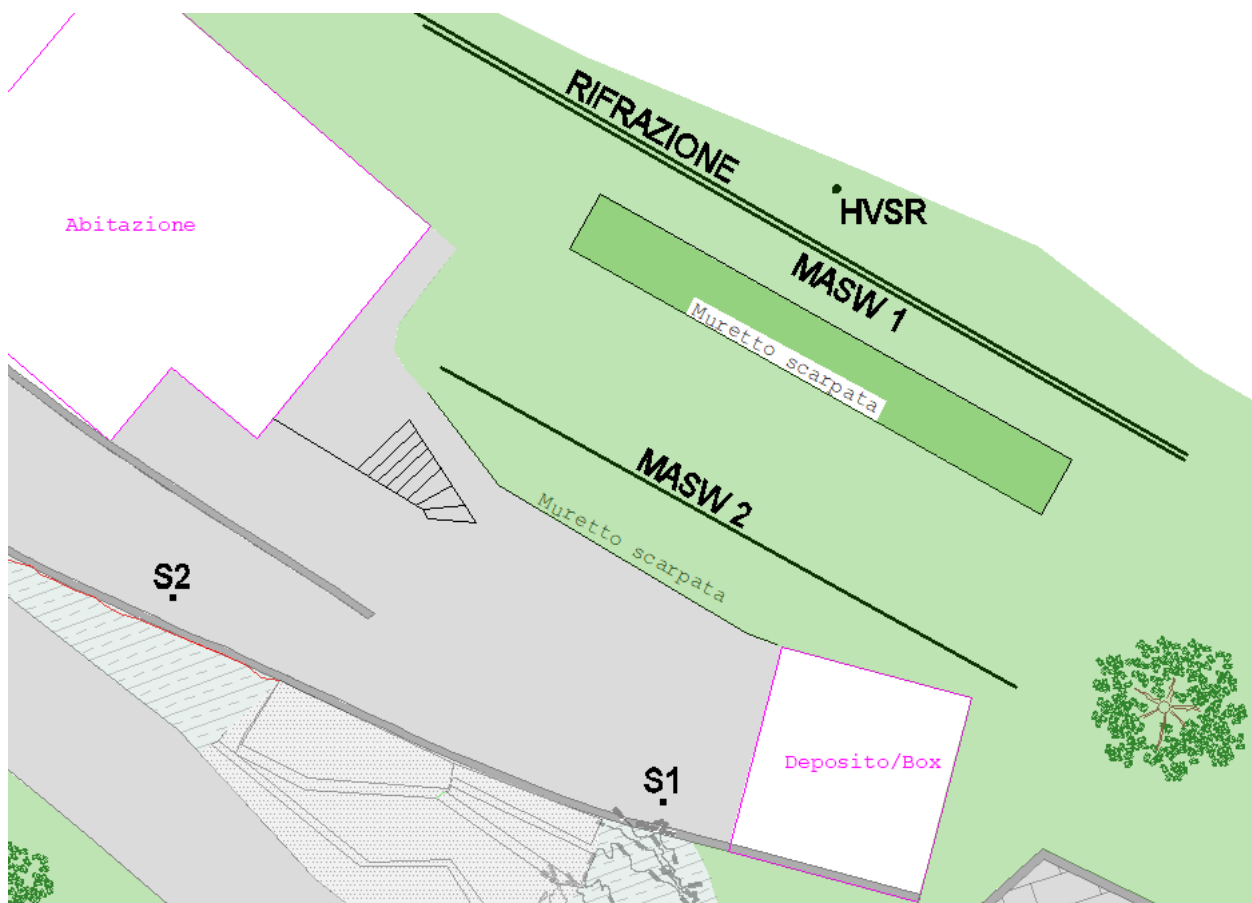
La Valle del Poja, nella fase post glaciale, in cui hanno operato principalmente le azioni di immediato rilascio tensionale dei pendii e, l'azione erosiva delle acque superficiali, si è modellata con la tipica sezione a "V" che ha sovra-inciso le precedenti forme glaciali morbide che generano valli ad "U" (come riportato nello schema fotografico con tratto arancione).



Indagini eseguite

Per il presente lavoro sono state eseguite diverse indagini in sito, in particolare sono stati eseguiti n.2 sondaggi finalizzati ad un'analisi diretta dell'ammasso roccioso coinvolto nel franamento e per la definizione delle principali zone di frattura e/o alterazione del substrato. Sono poi state eseguiti alcuni rilievi geomeccanici durante i sopralluoghi in sito, lungo gli affioramenti presenti a bordo strada. Durante tali rilievi, è stata eseguita un'ispezione con telecamera di un foro a distruzione eseguito nella parete rocciosa precedentemente alla realizzazione delle opere di somma urgenza.

Infine sono state eseguite diverse indagini di tipo sismico, con acquisizione sia in modalità attiva che passiva (n.1 indagine di sismica a rifrazione, n.2 indagini MASW, n.1 indagine con tecnica HVSR), che hanno permesso di osservare la geometria dei materiali presenti in sito. A completamento del quadro conoscitivo sono stati eseguiti vari voli con drone per la ricostruzione del modello di sito che di seguito si riporta in stralcio.



Stralcio della planimetria del sito di progetto, con ubicazione delle indagini eseguite.





Alcune viste del modello 3D del sito di intervento

Rilievi geomeccanici e ispezione con telecamera

Il rilievo geomeccanico è stato eseguito sulla parete rocciosa interessata dal fenomeno di scivolamento, precedentemente alla realizzazione delle opere di somma urgenza. L'ammasso roccioso appare molto disturbato, con diverse discontinuità che lo pervadono. Il rilievo eseguito ha messo in evidenza la presenza di sei principali famiglie di fratture (K1, K2, K3, K4, K5, K6), le cui intersezioni sono in grado di favorire fenomeni di scivolamento di importanti porzioni di ammasso. Alcune fratture sono risultate bagnate, legate perciò ad una circolazione idrica all'interno dell'ammasso.

La famiglia K1 è costituita essenzialmente dalla scistosità naturale dell'ammasso, tipica in questo litotipo metamorfico, ha generalmente un'orientazione di circa 210/30, a franapoggio rispetto al pendio, ed appare piegata. La famiglia K2 comprende fratture caratterizzate da un'orientazione media di circa 180/65. K1 e K2 sono di fatto le fratture principalmente legate alla genesi di fenomeni di scivolamento, la loro intersezione infatti favorisce l'instabilità di intere porzioni di ammasso.

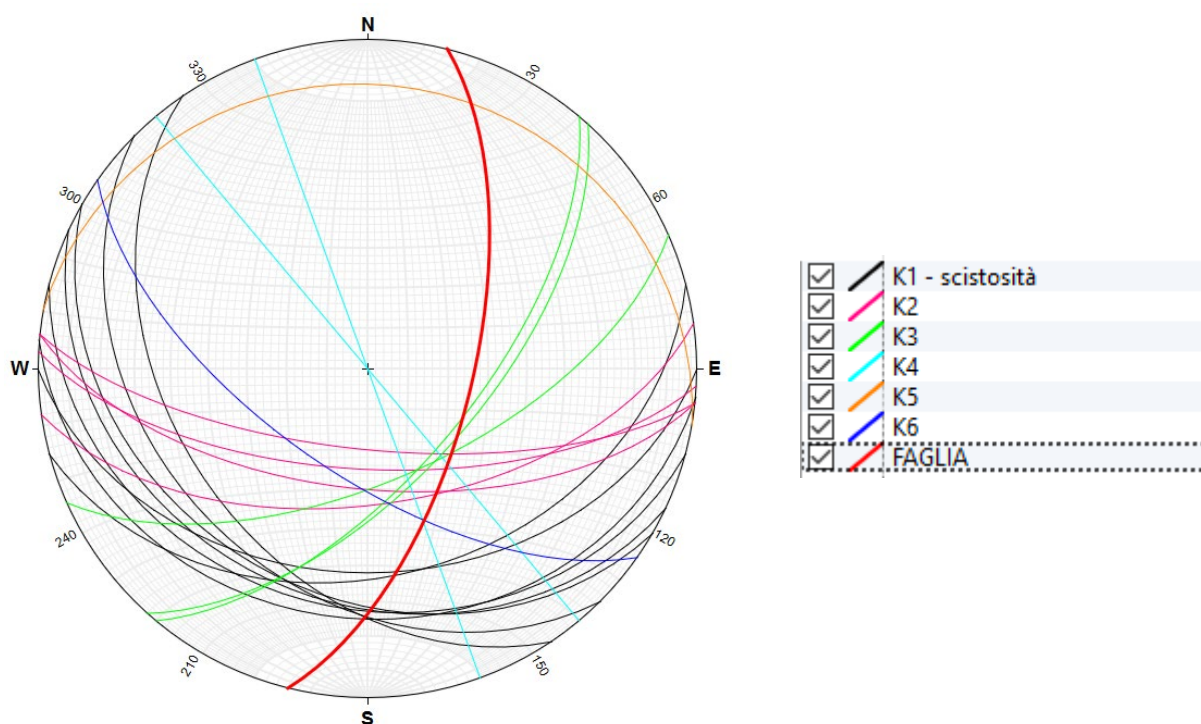
La famiglia K3 comprende invece fratture di importanza secondaria, con orientazione media di 150/60.

La famiglia K4 è costituita da fratture verticalizzate con orientazione a reggipoggio e traverpoggio rispetto al pendio, con giacitura media di circa 230-250/90.

La famiglia K5 comprende fratture con orientazione di circa 010/15. Tale famiglia rappresenta di fatto lo svincolo principale di sezioni di ammasso per scivolamento, all'intersezione con le famiglie K2 e K1.

La famiglia K6 è caratterizzata da giacitura media di circa 215/64 e rappresenta pertanto, all'intersezione con K1, lo svincolo principale per scivolamenti dovuti all'orientazione a franapoggio della scistosità.

Infine, è stata rilevata sull'ammasso, presso il fianco destro della frana, la presenza di una frattura molto persistente ed aperta, con orientazione di circa 104/64, le cui caratteristiche permettono di ipotizzare che costituisca di fatto una faglia.



Proiezioni ciclografiche delle famiglie individuate

Precedentemente alla realizzazione delle opere di somma urgenza, è stato realizzato un foro a distruzione all'interno della parete, in orizzontale della lunghezza di circa 10 m, che è stato ispezionato con telecamera.

Lungo tutto il foro sono evidenti diverse discontinuità, tra le quali la scistosità, che chiaramente pervade l'intero ammasso, alla quale si sommano diverse fratture in corrispondenza delle quali si sviluppano talora piccole cavità o fasce ad intensa fratturazione.

Nel tratto più superficiale del foro sono presenti diverse discontinuità, rappresentate per lo più da fratture ben evidenti e fasce fratturate (ad esempio a 3,50 m), localmente associate a piccole cavità.

Proseguendo oltre 3,50 m, l'ammasso mostra tendenzialmente un miglioramento nella qualità per un tratto esteso fino a circa 4,70-4,80 m di profondità, dove sono presenti alcune fratture. Il tratto fratturato si estende poi fino a circa 6,60 m di profondità, oltre i quali l'ammasso mostra nuovamente caratteristiche migliori. In particolare, a 6,20 m e 6,50 m sono presenti fratture e piccole cavità messe in evidenza da resti del fango di perforazione utilizzato per la realizzazione del foro.



*Frattura con piccola cavità.
Profondità: 2,20 m*



*Fascia fratturata.
Profondità: 3,50 m*



Ammasso in buone condizioni.

Profondità: 4,20 m



Frattura.

Profondità: 4,80 m



Frattura con cavità, riempita da fango di perforazione.

Profondità: 6,50 m

Sondaggi geognostici

Nel sito in esame sono stati eseguiti due sondaggi geognostici con perforazione a carotaggio continuo, che hanno permesso di osservare direttamente le caratteristiche dell'ammasso roccioso in profondità al di sotto del piazzale a tergo del muro di sostegno, sono stati pertanto posizionati a monte del franamento. Precisamente, il sondaggio S1 è stato posizionato nei pressi del garage presente sul piazzale e ha raggiunto la profondità di 15 m, immediatamente a monte del franamento, mentre il sondaggio S2 è stato posizionato sulla rampa di accesso all'abitazione, in una zona non direttamente coinvolta nell'instabilità, ed ha raggiunto la profondità di 15,30 m. I sondaggi hanno inoltre permesso di determinare l'indice RQD (*Rock Quality Designation*) dell'ammasso, calcolandolo direttamente sulle cassette riposte nelle cassette catalogatrici, al fine di eseguire una classificazione geomeccanica dettagliata.



Posizione del sondaggio S1



Posizione del sondaggio S2

Il sondaggio S1 ha intercettato per i primi 3 m il riempimento del muro di sostegno, costituito essenzialmente da sabbia e ghiaia con ciottoli di dimensioni molto variabili, anche centimetriche. Successivamente è stato individuato il cappellaccio del substrato, passante poi alla profondità di 5,50 m all'ammasso roccioso vero e proprio. Tale ammasso è costituito essenzialmente da scisti albitico-muscovitici a clorite, facenti parte dell'unità degli Scisti di Edolo, caratterizzati da una foliazione molto marcata, spesso piegata e convoluta, evidenziata di fatto dai livelli di miche in alternanza a livelli quarzoso-feldspatici, di colore bianco. L'ammasso appare intensamente fratturato, i valori di RQD sono infatti tendenzialmente bassi, spesso inferiori al 20%, solo localmente raggiungono il 40-60%, indici perciò di una qualità globalmente scarsa della roccia. In genere, le fratture si impostano lungo i piani di scistosità, tuttavia risultano evidenti alcuni livelli molto fratturati, con fratture che tagliano la foliazione anche perpendicolarmente, individuati alle profondità 11-13 m, 13,50-14 m e 14,40-14,60 m. Le fratture mostrano un certo grado di alterazione, che fino alla

profondità di 11 m risulta visibile sottoforma di una leggera patina di alterazione variabile da gialla a rossiccia; a profondità maggiori, invece, appare molto più evidente con patine rosse, particolarmente marcate nei livelli intensamente fratturati sopracitati.



Cassette catalogatrici del sondaggio S1.



Livelli intensamente fratturati con marcata alterazione nel sondaggio S1.

Il sondaggio S2 ha intercettato circa 1,5 m di riempimento del muro di sostegno, costituito da sabbia e ghiaia con ciottoli di dimensioni anche centimetriche. Successivamente è stato individuato un livello di circa 65 cm di cappellaccio e scaglie di scisto, passanti poi alla profondità di 2,15 m all'ammasso roccioso, costituito dagli Scisti di Edolo, contraddistinti da caratteri tessiturali-mineralogici analoghi a quelli riscontrati nel sondaggio S1. Alla profondità di 14,70 m è stato infine intercettato un filone di natura intrusiva ospitato negli scisti, caratterizzato da una tessitura porfirica e da un colore tendente al verde. Anche in questa perforazione, l'ammasso appare fratturato, tuttavia i valori di RQD sono migliori di quelli determinati nell'altro sondaggio, si attestano infatti attorno al 40%, arrivando però a raggiungere anche percentuali del 60-80%, indicando perciò una qualità relativamente migliore, globalmente discreta. Anche in questo caso le fratture si impostano principalmente sui piani di scistosità e sono globalmente caratterizzate da leggere

patine di alterazione giallastre-arancioni, ma sono nuovamente evidenti alcuni livelli più intensamente fratturati caratterizzati da fratture pervasive anche perpendicolari alla foliazione (9,50-10 m, 11,40-11,80 m, 12,10-12,30, 13,30-13,70 m, 14,20-14,70 m), caratterizzati da una più marcata alterazione rossastra, comunque meno evidente di quella riscontrata ad alte profondità nel sondaggio S1.



Cassette catalogatrici del sondaggio S2.



Filone intrusivo a fine sondaggio S2.



Livello fratturato in S2, l'alterazione risulta meno marcata che nel sondaggio S1.

Indagine di sismica a rifrazione

Nel sito di progetto è stata eseguita eseguita n.1 indagine di sismica a rifrazione, al fine di interpolare ed estendere in profondità le informazioni derivate dai sondaggi. Per motivi logistici, non è stato possibile realizzare lo stendimento nei pressi dei due sondaggi, l'indagine è infatti stata eseguita a monte a tergo del piazzale nel giardino della proprietà privata.

L'indagine è stata eseguita utilizzando 24 geofoni verticali da 14 Hz con passo di 1.5 m, per una lunghezza dello stendimento di 38,5 m, comprendendo i due scoppi estremi; l'energizzazione è stata eseguita con mazza da 10kg, realizzando 7 punti di energizzazione (con 10 stack verticali): due scoppi sono stati eseguiti agli estremi dello stendimento con distanza di 2m dal primo geofono, uno scoppio è stato eseguito a metà dello stendimento e i restanti due sono stati realizzati a 7,25 m, 13,25 m, 25,25 m e 31,25 m. L'acquisizione è stata eseguita con un'unità di acquisizione DMT Summit One X.

I dati ottenuti sono poi stati elaborati tramite tecnica tomografica, un processo di inversione che permette di ottenere una sezione 2D del sottosuolo dove viene mostrato il modello delle velocità sismiche (onde P), che può essere interpretato riconducendo le variazioni di velocità alle caratteristiche del sito.



Posizione dello stendimento

Indagini MASW

Sono state eseguite n.2 indagini MASW finalizzate all'identificazione del profilo delle Vs entro i primi 30 m.

Il primo stendimento è stato ubicato nella medesima posizione della rifrazione, mentre il secondo stendimento è stato posizionato a quote inferiori, più vicino ai due sondaggi.

Per il primo stendimento, l'indagine è stata eseguita utilizzando 12 geofoni da 4.5Hz disposti in un array lineare di 28m (passo di 2 m tra i geofoni). L'energizzazione è stata eseguita tramite mazza da 10kg, dapprima in due punti posti a 3m e a 6m dal primo geofono, con 5 stack, successivamente solamente a 6 m dal primo geofono, eseguendo 5 battute di energizzazione ma con registrazione continua, senza effettuare stacking.

Il secondo stendimento è stato invece realizzato utilizzando 7 geofoni (il numero è stato ridotto per problematiche di tipo logistico), energizzando in un punto posto a 3 m dal primo geofono, eseguendo 5 stack verticali.

Come per la sismica a rifrazione, l'acquisizione è stata eseguita con un'unità di acquisizione DMT Summit One X.



Posizione dello stendimento n.1



Posizione dello stendimento n.2

Indagine di sismica passiva con tromografo

È stata eseguita n.1 indagine di sismica passiva mediante acquisizione delle tre componenti del moto del suolo (due componenti orizzontali e una componente verticale) tramite tromografo digitale (*TROMINO® BLU*). Lo strumento è stato posizionato in prossimità del centro dello stendimento MASW n.1.

L'acquisizione è stata eseguita utilizzando una registrazione con durata di 30 minuti e frequenza di campionamento pari a 128 Hz.



Posizionamento dello strumento.

FASE DI ELABORAZIONE INTERPRETAZIONE DATI

Elaborazione dei dati di indagine

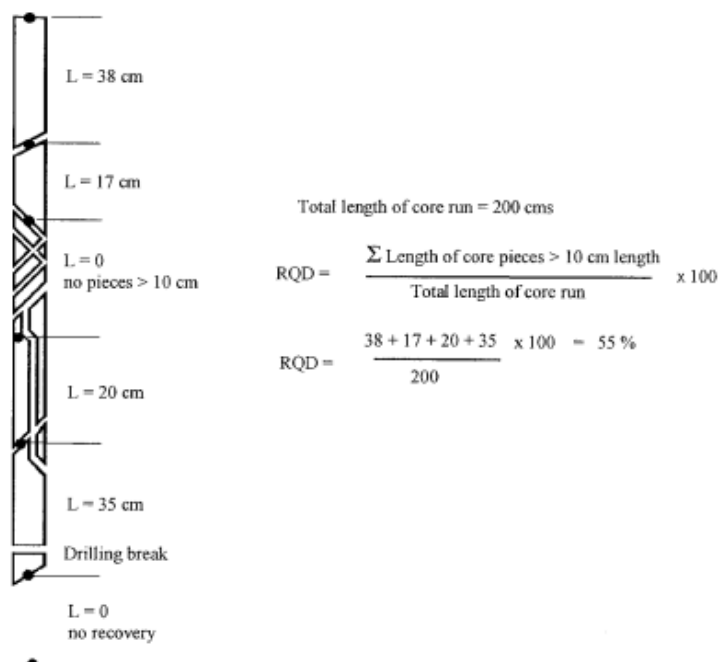
Classificazioni geomeccaniche

Sulla base del rilievo eseguito e dei sondaggi è stato possibile classificare l'ammasso roccioso mediante più metodi noti e utilizzati in letteratura, ottenendo così diversi indici in grado di descriverne la qualità. I metodi descritti di seguito forniscono inoltre una stima dei parametri caratteristici dell'ammasso roccioso, in termini di angolo d'attrito e componente coesiva equivalenti, in grado di descrivere il comportamento globale dell'ammasso a grande scala, dove il mezzo geologico può essere assimilato a un continuo equivalente.

Si presentano nel seguito le classificazioni utilizzate, comprensive di parametri di input e risultati.

Indice RQD (Rock Quality Designation)

L'indice di recupero percentuale modificato RQD (*Rock Quality Designation*) è finalizzato alla definizione della qualità delle carote estratte dalle perforazioni. La classificazione è basata sulla percentuale di frammenti di lunghezza maggiore di 10 cm recuperati in ogni manovra di un carotaggio.



Sulla base dell'indice RQD ottenuto, la qualità dell'ammasso può essere valutata in base a 5 classi:

RQD	Qualità
< 25%	Molto scadente
25 – 50%	Scadente
50 – 75%	Discreta
75 – 90%	Buona
90 – 100%	Molto buona

Per il presente lavoro l'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo ha permesso l'estrazione di carota, per una lunghezza totale di 15 m, sui cui è stato calcolato l'indice RQD.

Come precedentemente accennato, la percentuale di RQD per la carota estratta nel sondaggio S1 si attesta su valori tendenzialmente bassi, spesso inferiori al 20% solo localmente vicini al 40-60%, indici perciò di una qualità globalmente scarsa della roccia.

Per quanto riguarda invece il sondaggio S2, i valori di RQD sono migliori di quelli determinati nell'altra perforazione, si attestano infatti attorno al 40%, arrivando però a raggiungere anche percentuali del 60-80%, indicando perciò una qualità relativamente migliore dell'ammasso, globalmente discreta.

Indice RMR (Rock Mass Rating) – Bieniawski

Il *Rock Mass Rating* è un sistema di classificazione proposto da Bieniawski finalizzato alla descrizione degli ammassi rocciosi tramite un punteggio, l'indice RMR, suddiviso in 5 classi di qualità.

La classificazione di Bieniawsky si basa sul rilievo di sei parametri:

- A1 = resistenza a compressione uniassiale;
- A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);
- A3 = spaziatura delle discontinuità;
- A4 = condizioni delle discontinuità;
- A5 = condizioni idrauliche;
- A6 = orientamento delle discontinuità.

Da questi sei parametri si ricava l'indice Rock Mass Rating (RMR), che nella pratica viene differenziato come:

- RMR di base = $RMR_b = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$
- RMR corretto = $RMR_c = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$

Attribuiti tutti i coefficienti, sulla base del valore RMR_c calcolato si identificano 5 intervalli a cui corrispondono 5 classi di ammasso roccioso e altrettante valutazioni di qualità:

RMRc	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21	<= 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Molto buono	Buono	Mediocre	Scadente	Molto scadente

Dal valore di RMR_b si derivano i parametri caratteristici dell'ammasso roccioso.

Si riporta di seguito la classificazione eseguita per gli ammassi rocciosi affioranti nell'area.

Dati di input per il calcolo dell'indice Rock Mass Rating (RMR):

- Standard ISRM = La roccia si frattura dopo 2-3 colpi di martello
- Lunghezza totale del tratto di carota in cui si effettuano le misure (Lt)=1000 mm
- Somma delle lunghezze degli spezzoni di carota > 100 mm (Lc) =300 mm
- Spaziatura delle discontinuità (s)=0.20 m
- Persistenza (continuità) del giunto = 3 - 10 m
- Apertura del giunto = 0,1 - 1 mm
- Giunto leggermente rugoso
- Pareti mediamente alterate
- Riempimento assente
- Roccia bagnata

Risultati relativi all'indice Rock Mass Rating (RMR):

Resistenza a compressione Su (MPa)			Rock Quality Designation (RQD)		
50			30		
V1	V2	V3	V4	V5	
2	4	3	3	6	
A1	A2	A3	A4	A5	A6
7.00	6.55	8.00	18.00	7.00	---

V1 è un parametro che dipende dalla persistenza (continuità) del giunto

V2 è un parametro che dipende dall'apertura del giunto

V3 è un parametro che dipende dalla rugosità del giunto

V4 è un parametro che dipende dal grado di alterazione delle pareti

V5 è un parametro che dipende dal materiale di riempimento presente

A1 è un valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta

A2 è un valore numerico derivato dall'indice RQD

A3 è un valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità

A4 è un valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità

A5 è un valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche

A6 è un indice di correzione per la giacitura delle discontinuità

Classificazione dell'ammasso roccioso:

RMR base	RMR corretto	Classe	Descrizione
46.55	46.55	Terza	Mediocre

Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso:

Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strenght Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)
8.20	49.55	233.75	28.28	186.20	23.62

Gli ammassi rocciosi affioranti nell'area in esame rientrano in classe III (qualità mediocre), in rispetto di quanto osservato in sito e in accordo con quanto suggerito dall'indice RQD. Gli ammassi sono infatti interessati da diverse famiglie di fratture, talora associate a fasce a fitta fratturazione e/o faglie, che costituiscono zone di debolezza in grado di causare un abbassamento della qualità dell'ammasso.

Tomografia sismica in onde P rifratte

I dati derivanti dall'acquisizione illustrata nei precedenti capitoli sono stati elaborati tramite il software *SmartTomo*. L'elaborazione si è svolta in step successivi:

- Analisi e pulizia delle tracce sismiche registrate;
- Picking manuale dei primi arrivi, da cui poi il software interpola in automatico le dromocrone misurate (curve che indicano i tempi di arrivo dell'onda sismica in funzione della distanza dalla sorgente sismica);
- Inversione del modello: in questa fase il software calcola, a partire da un modello iniziale del sottosuolo, delle dromocrone sintetiche, che vengono poi confrontate con quelle misurate (ottenute da picking). Sulla base dei risultati del confronto, il modello di partenza viene modificato e si ottengono nuove dromocrone. Dopo varie iterazioni si ottiene un modello di velocità del sottosuolo in grado di riprodurre in modo soddisfacente le dromocrone misurate.
- Interpretazione della sezione tomografica così ottenuta, con individuazione degli elementi geologici che possono essere ricondotti alla data distribuzione di velocità individuata.

Si riportano nel seguito i parametri di settaggio utilizzati per il processo di inversione. Si evidenzia che il numero di iterazioni è cumulativo: ogni successiva simulazione va a sommarsi alle precedenti, per cui di fatto il numero di iterazioni è valutato di volta in volta durante le fasi di interpretazione.

Impostazione griglia

Lunghezza linea (m) 40.5

Profondità massima (m) 20.25

Dimensione cella (m) 0.25

N. nodi sul lato della cella 6

Impostazioni della tomografia

Numero iterazioni esterne (default = 5) 10

Numero iterazioni del risolutore (default = 20) 20

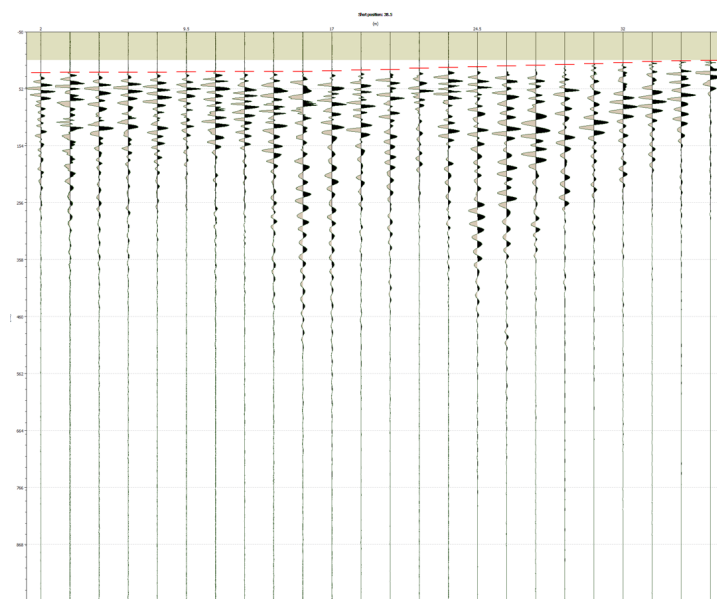
Parametro di smoothing (default = 5) 5

Tipo di smoothing: Smoothing uniforme

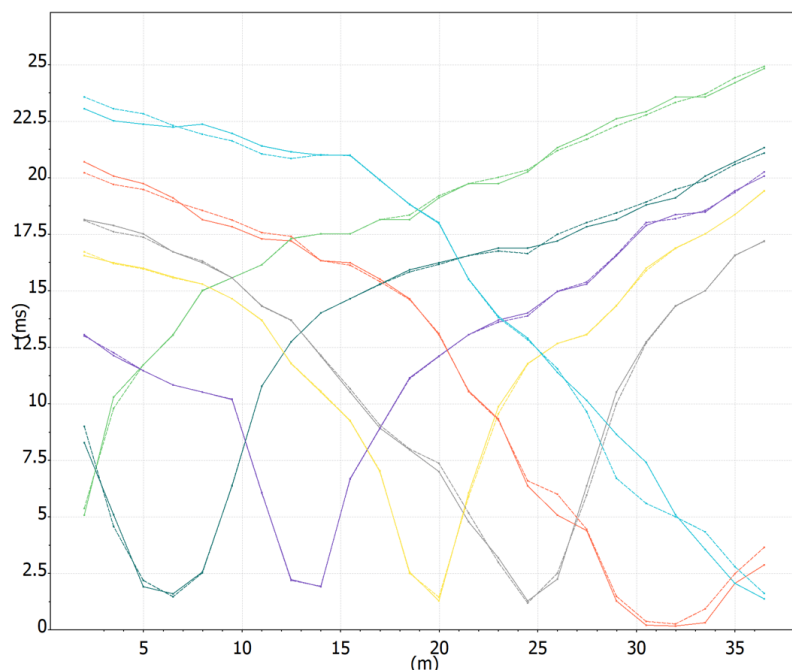
☐ Smoothing simmetrico

Velocità minima [m/s] 250

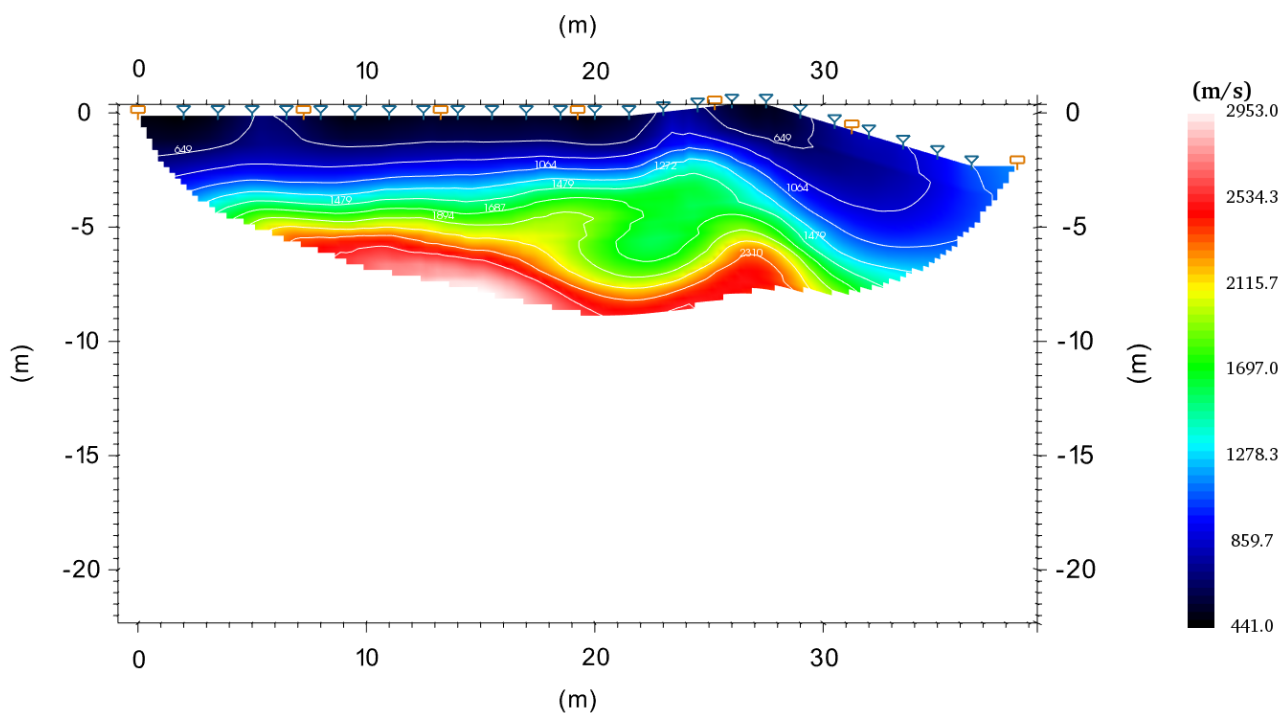
Velocità massima [m/s] 3500



Stralcio di esempio di traccia sismica registrata e picking dei primi arrivi.



Dromocrone misurate ottenute dal picking (linea continua) e quelle simulate (linea tratteggiata).



Tomografia sismica in onde P

La tomografia prodotta mostra, per tutto il profilo, dei valori generalmente bassi delle velocità delle onde P per i primi metri da piano campagna, inferiori a 600 m/s. Questi sono compatibili con un terreno di copertura superficiale.

Le velocità aumentano poi rapidamente, fino a raggiungere a basse profondità, oltre 3-4 m e talora a 2 m di profondità, valori superiori a 1000-1200 m/s, compatibili con quelli di un substrato intensamente fratturato nelle porzioni superiori al tetto. I valori aumentano poi gradualmente con la profondità, indicando perciò un aumento della competenza del substrato con la profondità.

MASW

L'analisi MASW è stata condotta tramite il software SWAN, seguendo gli step elencati sotto:

- Pulizia delle tracce sismiche e selezione della finestra di interesse per il segnale (in modo da escludere eventuali disturbi precedenti o successivi il segnale stesso);
- Elaborazione delle tracce per ottenere gli spettri velocità-frequenza (f-v) e frequenza-numero d'onda (f-k);
- Identificazione, per entrambe le energizzazioni, della curva di dispersione tramite interpretazione dello spettro f-k e successiva verifica in f-v;
- Applicazione del processo d'inversione sulle curve di dispersione ottenuta, considerando sia le curve associate ai singoli scoppi, sia la sovrapposizione delle curve di dispersione in modo da valutare la loro buona corrispondenza;
- Valutazione del modello di sottosuolo risultante.

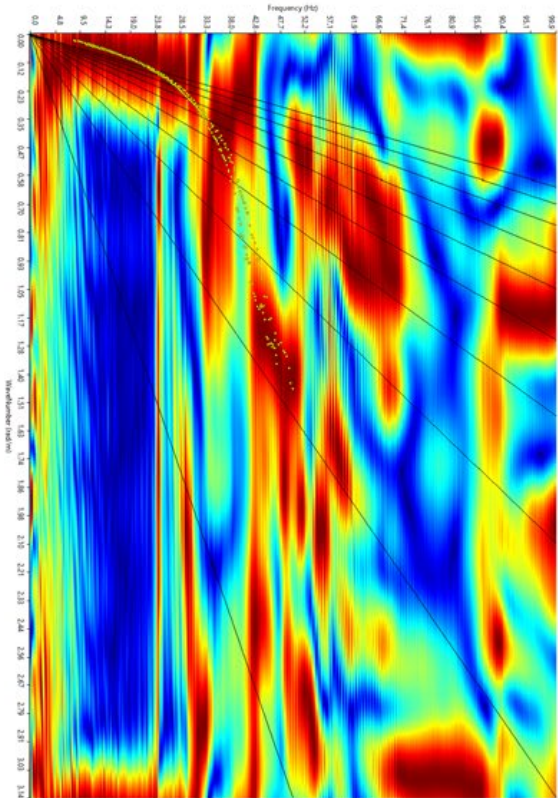
Questi step sono stati applicati ad entrambi gli stendimenti eseguiti, considerando i due scoppi.

Si riportano nel seguito alcuni stralci significativi del processo di elaborazione, nonché le curve di dispersione ottenute e fittate, con i conseguenti modelli del sottosuolo e profilo dell'andamento delle Vs con la profondità.

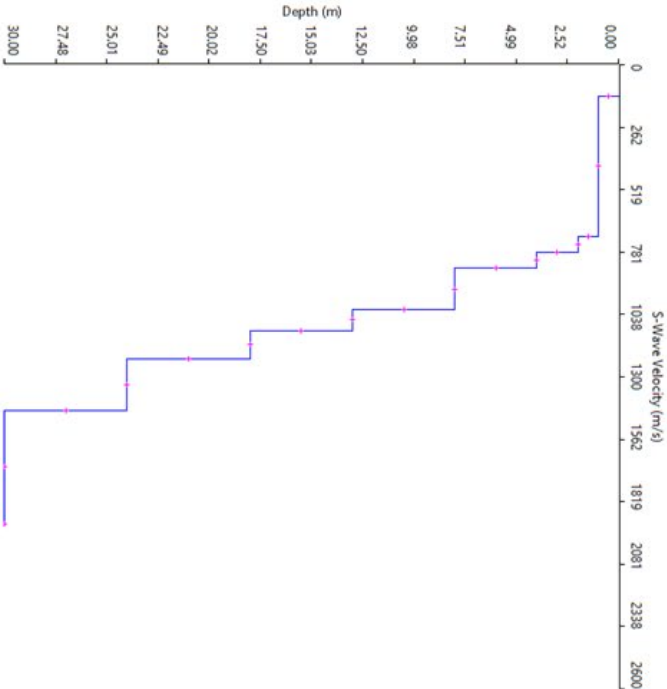
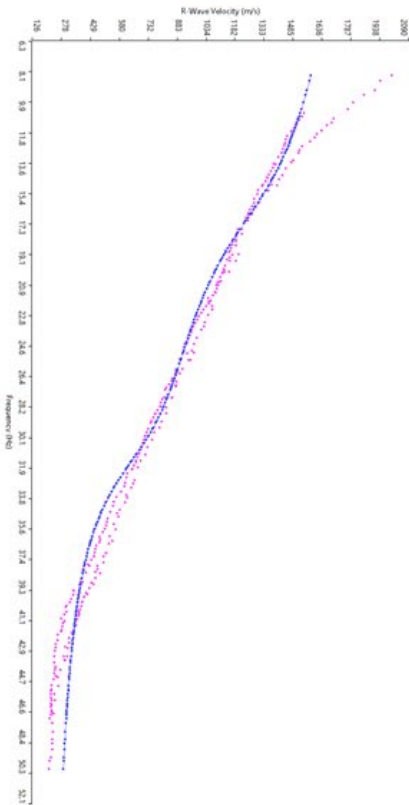
Vale la pena sottolineare come il picking utilizzato è derivato dall'interpretazione degli spettri mostrati, dove è evidente, un massimo nell'andamento delle energie (striscia rossa), interpretabile come modo fondamentale su cui basare l'interpretazione.

Nell'indagine è stato intercettato il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) alla profondità di 4 m in entrambi gli stendimenti.

MASW 1



Sopra: spettro f-k normalizzato con sovrapposizione del picking derivato dai due scoppi.
Sotto: curve di dispersione ottenute dal picking (fucsia) e curva modellata (blu).

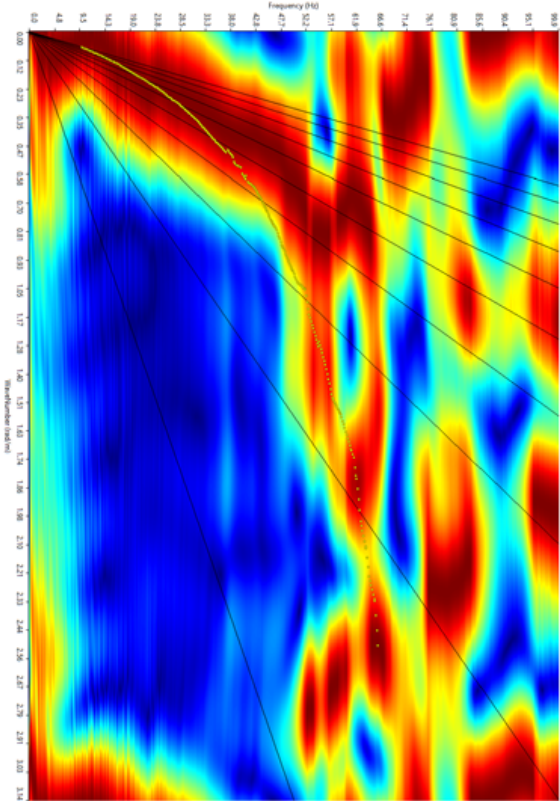


Vs,eq = 343 m/s

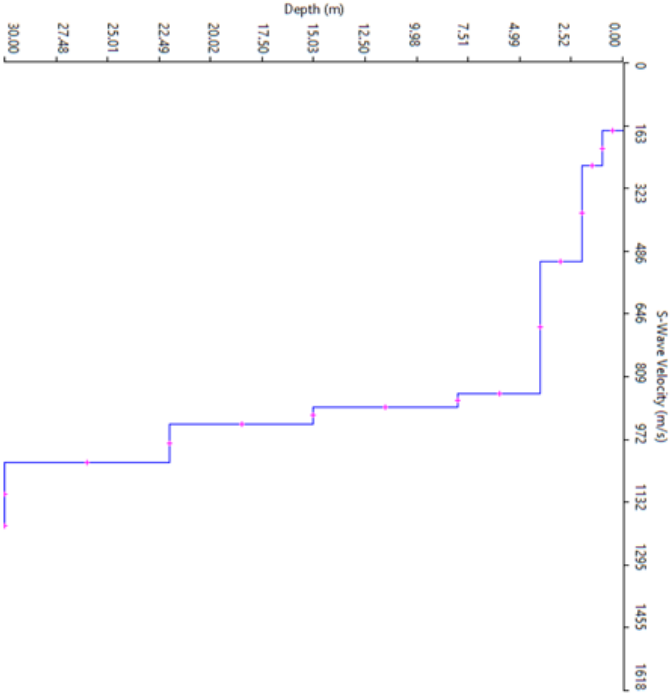
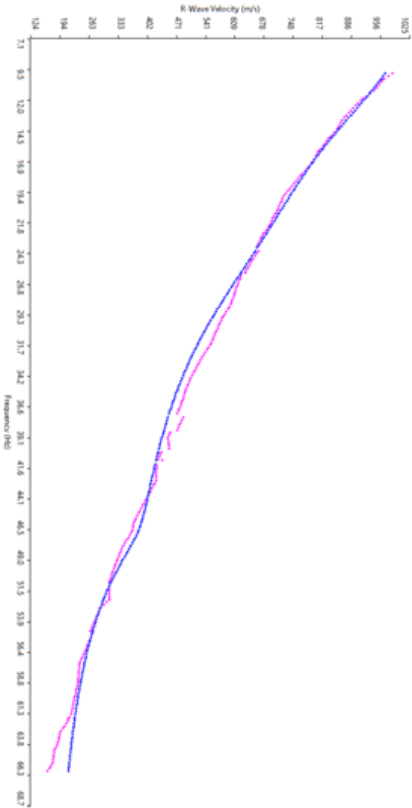
Layer	Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
Layer 1	1.00	0.00	130	260	0.333	1.800
Layer 2	1.00	1.00	715	1429	0.333	1.800
Layer 3	2.00	2.00	781	1561	0.333	1.800
Layer 4	4.00	4.00	847	1693	0.333	1.800
Layer 5	5.00	8.00	1021	2040	0.333	1.800
Layer 6	5.00	13.00	1106	2210	0.333	1.800
Layer 7	6.00	18.00	1225	2448	0.333	1.800
Layer 8	6.00	24.00	1438	2874	0.333	1.800
Layer 9	INF	30.00	1911	3819	0.333	1.800

Sopra: profilo Vs-profondità corrispondente alla curva di dispersione modellata.
Sotto: tabella di elenco dei livelli modellati, con indicazione degli spessori e delle velocità.

MASW 2



Sopra: spettro f-k normalizzato con sovrapposizione del picking derivato dai due scoppi.
Sotto: curve di dispersione ottenute dal picking (fucsia) e curva modellata (blu).



Vs,eq = 299 m/s

	Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
Layer 1	1.00	0.00	175	350	0.333	1.800
Layer 2	1.00	1.00	265	530	0.333	1.800
Layer 3	2.00	2.00	512	1023	0.333	1.800
Layer 4	4.00	4.00	853	1705	0.333	1.800
Layer 5	7.00	8.00	887	1773	0.333	1.800
Layer 6	7.00	15.00	931	1861	0.333	1.800
Layer 7	8.00	22.00	1030	2058	0.333	1.800
Layer 8	INF	30.00	1194	2386	0.333	1.800

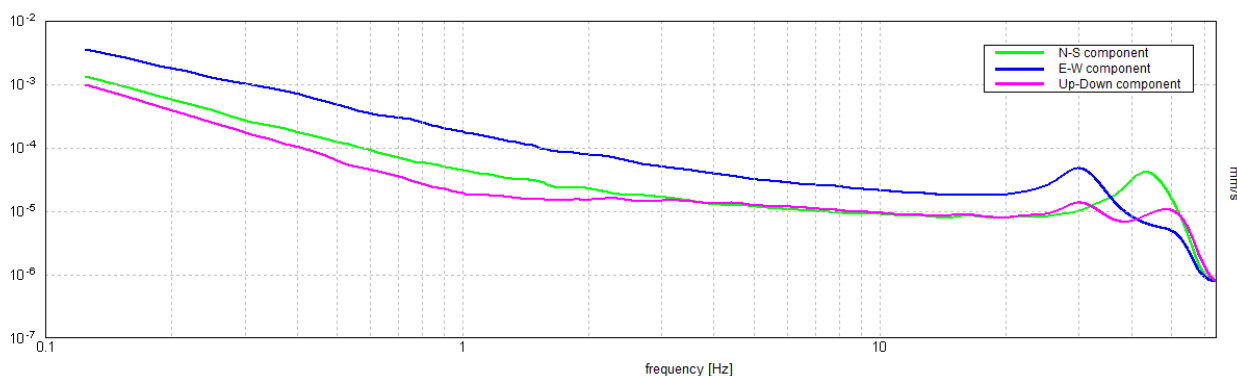
Sopra: profilo Vs-profondità corrispondente alla curva di dispersione modellata.
Sotto: tabella di elenco dei livelli modellati, con indicazione degli spessori e delle velocità.

HVSR

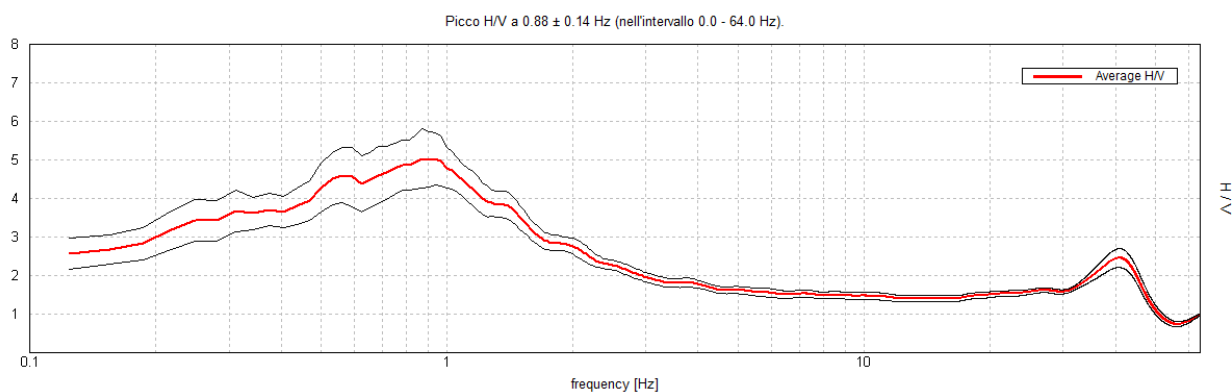
L'elaborazione delle tracce registrate e successiva analisi del rapporto spettrale fra la componente orizzontale e quella verticale dei microtremori registrati è stata eseguita tramite software *Grilla*, mediante i seguenti step:

- Pulizia delle tracce e selezione della finestra di interesse per il segnale (in modo da escludere eventuali disturbi);
- Elaborazione delle tracce per ottenere gli spettri delle singole componenti e del rapporto spettrale H/V;
- Identificazione, tramite interpretazione degli spettri, dei picchi di natura stratigrafica;
- Applicazione del processo d'inversione e valutazione del modello di sottosuolo risultante.

Si riportano di seguito i grafici degli spettri delle singole componenti e del rapporto H/V.



Spettro delle singole componenti: due orizzontali e una verticale.



Rapporto spettrale H/V.

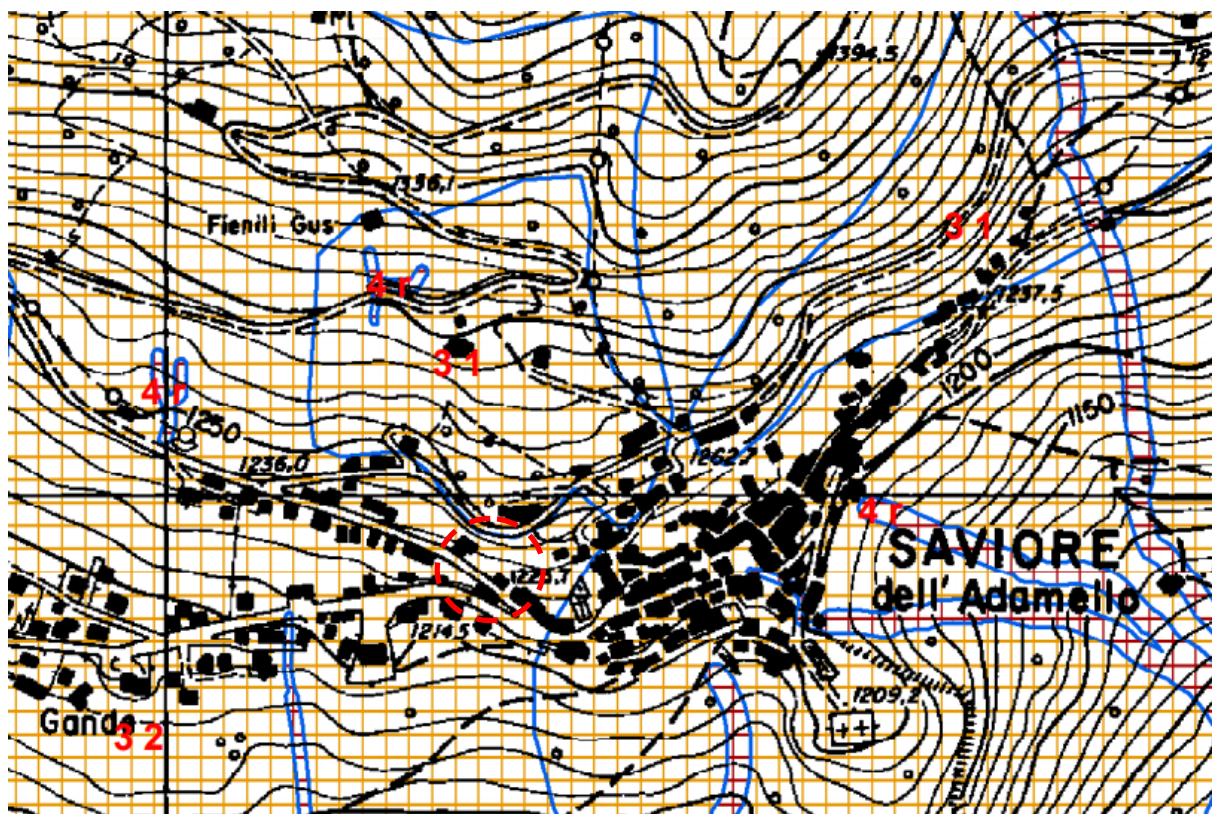
Il grafico del rapporto H/V mostra un picco a 13 Hz, che coincide con un punto di massimo nelle componenti orizzontali e con un punto di minimo in quella verticale (come si può notare sul grafico delle singole componenti); tale picco, in virtù di questa configurazione, indica la presenza di un significativo salto di velocità alla profondità di circa 5 m, verosimilmente corrispondente al passaggio fra deposito e substrato, con buona approssimazione compatibile con l'assetto geologico presente presso la stazione di acquisizione.

Vincoli e Caratteri sismici del sito

Fattibilità

L'intervento interessa un'area con classe di fattibilità 3, con consistenti limitazioni. Per queste aree le norme geologiche di piano prescrivono l'esecuzione di una *“fase d'indagine mirata alla definizione del comportamento meccanico dei terreni, siano essi interessati dai carichi trasmessi dalle fondazioni che da operazioni di scavo con fronti di altezza rilevante. Nel primo caso l'analisi dovrà essere mirata alla definizione della capacità portante ed alla stima degli eventuali cedimenti in seguito all'applicazione dei carichi; nel secondo caso l'indagine dovrà essere comprensiva di opportune analisi di stabilità a lungo e breve termine (dopo e durante le fasi di cavo). Le opere da realizzare dovranno essere verificate in accordo alle condizioni desunte dall'indagine stessa”*.

Non sono quindi imposte particolari limitazioni per quanto riguarda l'opera in progetto, salvo l'analisi delle condizioni geologiche locali.



CLASSE III

Fattibilità con consistenti limitazioni


Questa classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni di uso dei terreni per l'entità e la natura dei rischi individuati nell'area di studio o nell'immediato intorno. L'utilizzo di tali zone sarà pertanto subordinato alla realizzazione di supplementi d'indagine per acquisire una maggiore conoscenza delle problematiche relative ai corsi d'acqua o agli aspetti geotecnici. Si rimanda alla relazione descrittiva per il significato degli ulteriori simboli dei quali qui di fianco si trovano le descrizioni in breve.

Stralcio della carta di fattibilità allegata al PGT comunale – Non in scala

PAI (Piano Assetto Idrogeologico)

L'area di intervento è esterna a qualsiasi perimetrazione PAI e si trova in posizione tale da non interagire con le perimetrazioni circostanti. Non sono quindi presenti particolari vincoli in questo senso.






 **FRANE:** Area di frana stabilizzata (Fs)/Modifiche e integrazioni

Stralcio della carta dei dissesti PAI, tratta dal Geoportale di Regione Lombardia - non in scala









IFFI

l'Inventario dei Fenomeni Franosi d'Italia (IFFI), per l'area in oggetto non riporta particolari problematiche, in accordo con quanto segnalato dalla cartografia PAI.

**Aree a franosità diffusa**

-  Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi
-  Aree soggette a frane superficiali diffuse
-  Aree soggette a sprofondamenti diffusi

Frane poligonali

-  Crollo/ribaltamento
-  Scivolamento rotazionale/traslattivo
-  Espansione
-  Colamento lento
-  Colamento rapido
-  Sprofondamento
-  Complesso
-  Non determinato

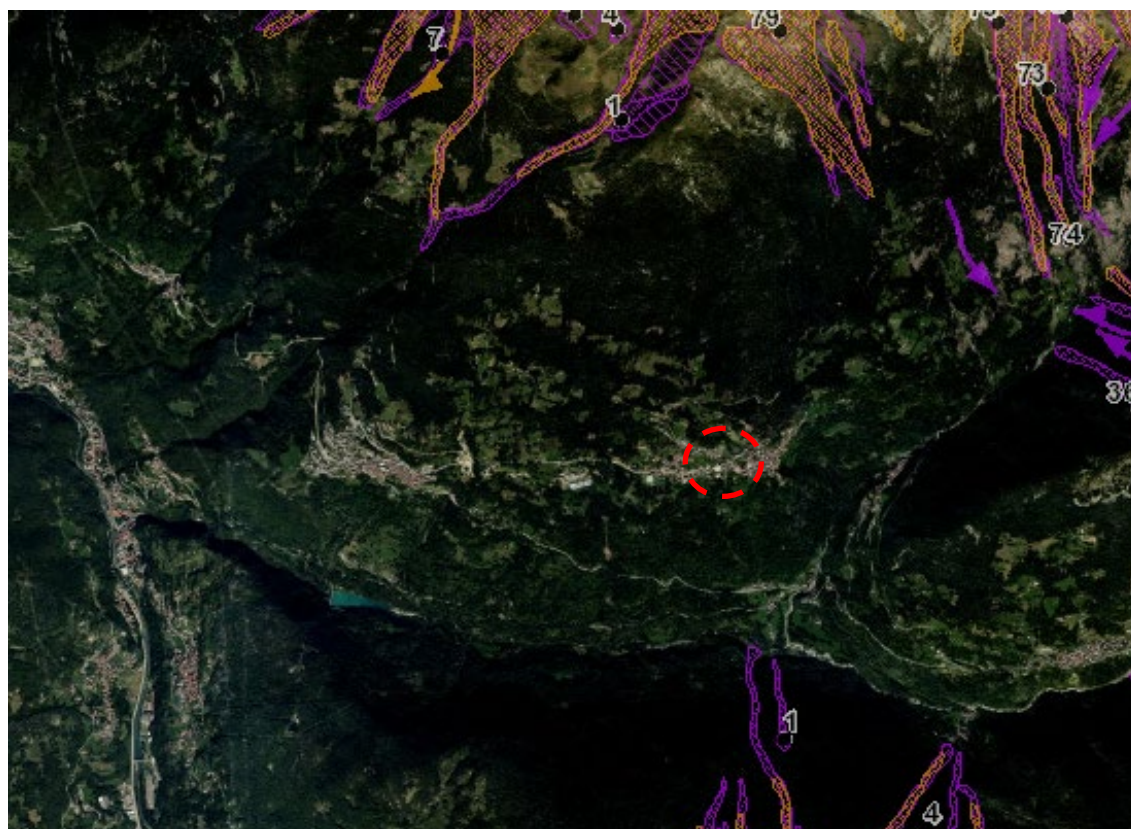
Conoidi detritico-alluvionali

- 

*Stralcio dell'IFFI, tratta dal geoportale della Lombardia
(non in scala)*

Probabile localizzazione delle valanghe

La Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe, fornita da Regione Lombardia, mostra che la zona non è interessata da alcun fenomeno valanghivo.



Valanghe (fotointerpr.)

- Valanghe
- Zone Pericolose
- Possibili continuazioni
- Zone presunte pericolose

Valanghe

- Valanghe
- Zone pericolose
- Possibili continuazioni
- Zone presunte pericolose

Pericolo localizzato (fotointerpr.)



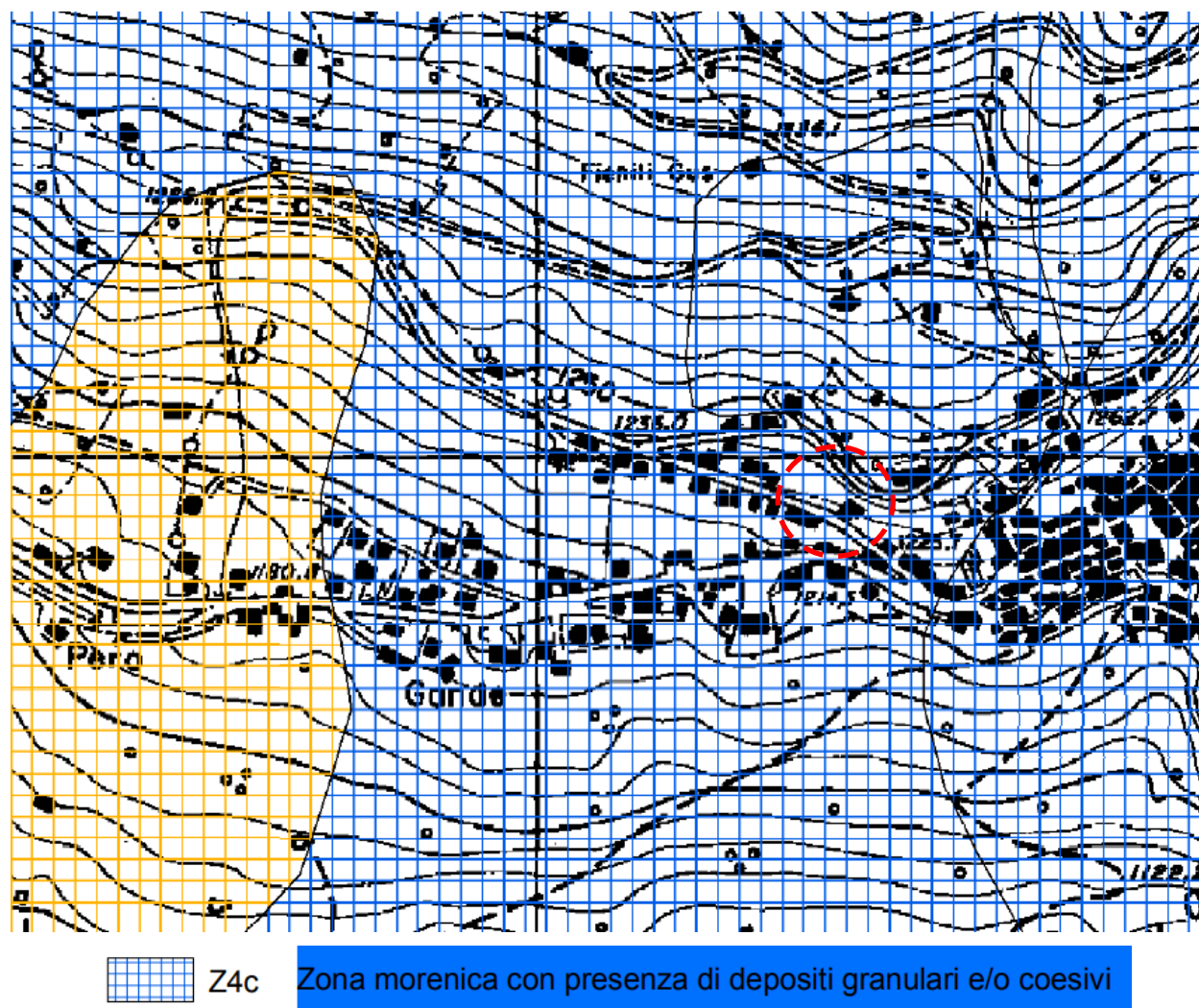
Pericolo localizzato



Stralcio della CLPV, tratta dal geoportale della Lombardia (non in scala)

Scenario PSL

L'area di progetto è inserita nello scenario di amplificazione stratigrafica Z4c "Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi".



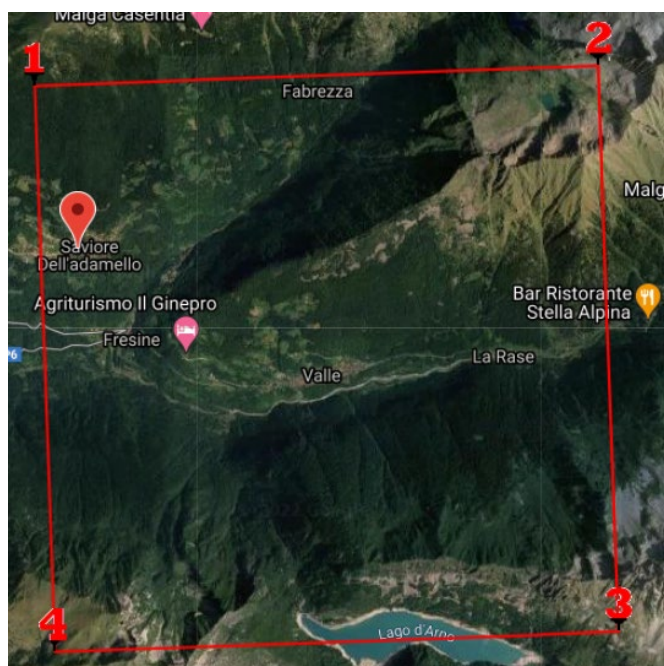
Stralcio della carta della PSL allegata al PGT comunale – Non in scala

Caratteri sismici del sito

Regione Lombardia, con D.g.r. 11 luglio 2014 – n.° X/2129 pubblicata sul BURL n° 29 Serie Ordinaria del 16 luglio 2014, ha aggiornato la classificazione sismica dei comuni lombardi: tale classificazione è in vigore, dopo alcune proroghe, dall'aprile 2016 e prevede ora, per il comune di Savio dell'Adamello, la zona sismica 3.

Mediante un'estensione del Software GeoStru (*GeoStru PS*) è possibile avere i parametri sismici generali di una qualsiasi zona, con riferimento ad un substrato rigido orizzontale (classe di sottosuolo A). Il software si basa sulla posizione geografica dell'area per la definizione dell'accelerazione sismica prevista; questa a sua volta è definita in determinati punti che formano una maglia di valori di accelerazione estesa a tutto il territorio nazionale.

Per la zona di interesse, i dati di accelerazione che si ottengono sono riportati nella figura seguente. Alla situazione semplificata così ottenuta, bisogna aggiungere le caratteristiche del sito, in particolare l'amplificazione stratigrafica causata dai depositi (dove presenti) e quella topografica. Per valutare questi due aspetti si sono utilizzati un suolo di categoria "A" e una categoria topografica T2.





Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...



Vita Nominale

50





Interpolazione



Media ponderata

CU = 1


Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.026	2.513	0.187
Danno (SLD)	50	0.032	2.583	0.206
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.062	2.688	0.300
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.075	2.732	0.320
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Ubicazione dell'area rispetto alle maglie di calcolo (a sinistra) e output del software GeoStru PS per un suolo di categoria A e classe topografica T1.


 Cat. Sottosuolo A 



 Cat. Topografica T2 

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,00	1,00	1,00	1,00
CC Coeff. funz categoria	1,00	1,00	1,00	1,00
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20


☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]  0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.006	0.008	0.015	0.018
kv	0.003	0.004	0.007	0.009
Amax [m/s ²]	0.305	0.371	0.724	0.888
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

 Cat. Sottosuolo A 

 Cat. Topografica T2 



	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,00	1,00	1,00	1,00
CC Coeff. funz categoria	1,00	1,00	1,00	1,00
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20



☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]  0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.018	0.028	0.000
kv	--	0.009	0.014	--
Amax [m/s ²]	0.305	0.371	0.724	0.888
Beta	--	0.470	0.380	--


*Parametri di calcolo considerando un suolo **A** e una categoria topografica **T2**.*

A sinistra: stabilità dei pendii e fondazioni; a destra: fronti di scavo e rilevati.

 Cat. Sottosuolo A 

 Cat. Topografica T2 

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,00	1,00	1,00	1,00
CC Coeff. funz categoria	1,00	1,00	1,00	1,00
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]  0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.018	0.028	0.000
kv	--	0.009	0.014	--
Amax [m/s ²]	0.305	0.371	0.724	0.888
Beta	--	0.470	0.380	--

*Parametri di calcolo considerando un suolo **A** e una categoria topografica **T2**.*

Muridi sostegno.

Considerazioni in merito alla liquefazione dei terreni

Le Norme Tecniche per le costruzioni richiedono una verifica alla suscettibilità di liquefazione dei terreni su cui insiste il progetto: “Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione” (art. 7.11.3.4.1 DM 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”).

Al capitolo 7.11.3.4.2 dello stesso decreto (*Esclusione alla verifica di liquefazione*) è riportato che:

“La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.”

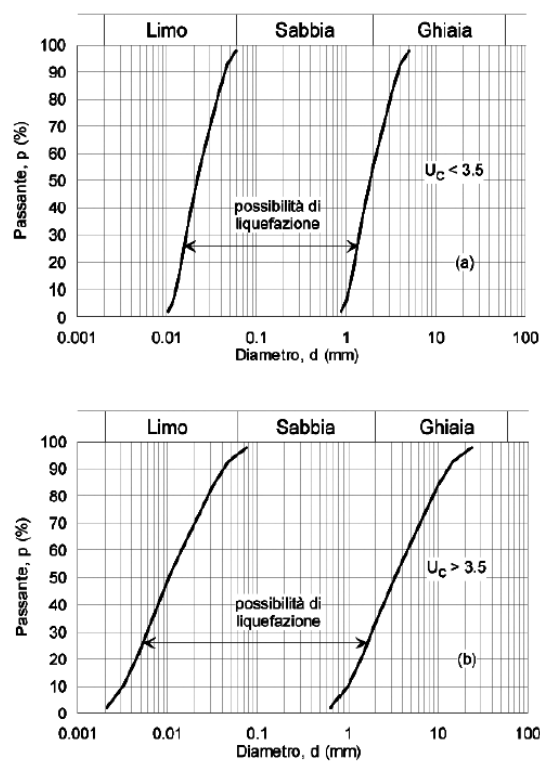


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Nel caso in esame, i depositi non corrispondono, litologicamente, a quelli suscettibili di liquefazione, in quanto l'abbondante frazione ghiaiosa e la continua presenza di trovanti impediscono questo fenomeno.

In sintesi, non si ritiene sia necessaria l'esecuzione di una specifica analisi di stabilità alla liquefazione.

FASE DI SINTESI

Modello geologico semplificato di riferimento (MGR)

Le informazioni esposte nei precedenti paragrafi, ricavate da dati di bibliografia e dalle indagini e sopralluoghi eseguiti, nonché dalle successive fasi di rielaborazione, hanno permesso di schematizzare un modello geologico semplificato per il sito di progetto. Le indagini eseguite si sono concentrate principalmente sulla definizione delle caratteristiche meccaniche e geometriche dell'ammasso roccioso locale, con definizione e descrizione delle discontinuità presenti, identificazione dei principali meccanismi di instabilità e classificazione geomeccanica dell'ammasso. Le informazioni raccolte sono state sintetizzate in apposite tavole grafiche e sezioni geologiche, prodotte a partire dalle sezioni topografiche ottenute da apposito rilevamento.

Nel sito di progetto l'ammasso è affiorante ed è costituito da scisti albitico-muscovitici a clorite, facenti parte dell'unità degli Scisti di Edolo, caratterizzati da una foliazione molto marcata, spesso piegata e convoluta, evidenziata da livelli di miche in alternanza a livelli quarzoso-feldspatici, di colore bianco. L'ammasso presenta un sostanziale grado di disturbo, dovuto alla presenza di diverse discontinuità che lo pervadono (famiglie K1, K2, K3, K4, K5, K6). Di fatto, oltre alla naturale foliazione del litotipo, sono state riconosciute ulteriori famiglie di fratture che pervadono l'ammasso in modo sistematico. Queste famiglie generano diversi piani variamente spazati fra loro e sono in grado di favorire vari cinematismi di instabilità. In particolare, K1 e K2 risultano essere le famiglie che giocano un ruolo fondamentale nello svincolo di porzioni importanti di ammasso, tramite la loro intersezione: K1 è costituita dalla scistosità e ha generalmente un'orientazione media di circa 210/30, risulta pertanto a franapoggio rispetto al pendio, mentre la famiglia K2 comprende fratture caratterizzate da un'orientazione media di circa 180/65, è quindi anch'essa a franapoggio.

La famiglia K3 comprende invece fratture di importanza secondaria, con orientazione media di 150/60. La famiglia K4 è costituita da fratture verticalizzate con orientazione a reggipoggio e traverpoggio rispetto al pendio, con giacitura media di circa 230-250/90. La famiglia K5 comprende fratture con orientazione di circa 010/15. La famiglia K6 è caratterizzata da giacitura media di circa 215/64. Infine, è stata rilevata sull'ammasso, presso il fianco destro della frana, la presenza di una frattura molto persistente ed aperta, con orientazione di circa 104/64, le cui caratteristiche permettono di ipotizzare che costituisca di fatto una faglia.

Le famiglie riconosciute in affioramento pervadono verosimilmente l'ammasso per tutta la sua estensione, pertanto risulta realistico ipotizzare che i cinematismi valutati lungo l'affioramento restino potenzialmente innescabili anche nelle porzioni attualmente non visibili. Infatti, i sondaggi eseguiti hanno permesso di osservare le caratteristiche dell'ammasso roccioso a tergo del muro di sostegno del piazzale, definendo indici di qualità. In entrambe le perforazioni, l'ammasso risulta intensamente fratturato per tutta la lunghezza dell'indagine (15 m); infatti, gli indici RQD (*Rock Quality Designation*) determinati sulle cassette catalogatrici restano tendenzialmente medio-bassi. Tuttavia, è osservabile un aumento di tale indice nel sondaggio S2, rispetto al sondaggio S1; in S1, infatti, le percentuali di RQD sono tendenzialmente inferiori al 20-40%, solo localmente raggiungono il 60%, mentre in S2 i valori si attestano attorno al 40%, arrivando però a raggiungere anche percentuali del 60-80%, indicando quindi una qualità relativamente migliore dell'ammasso, globalmente discreta. Questa intensa fratturazione, rilevata in entrambi i sondaggi e osservata anche direttamente in parete, conferisce all'ammasso una qualità mediocre (classe III della

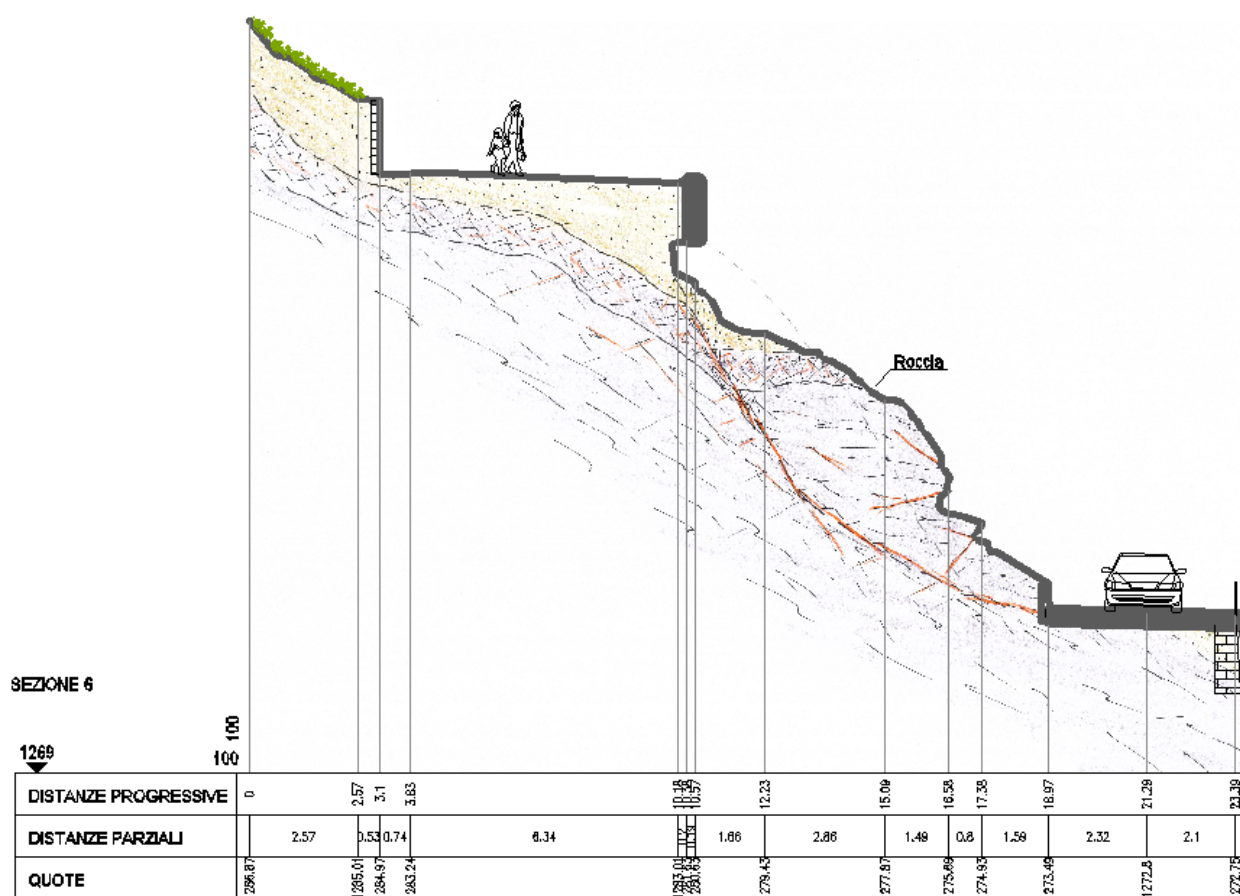
classificazione RMR). Ciò è chiaramente dovuto, principalmente, alla naturale scistosità (K1), molto fitta, che costituisce di fatto un piano di debolezza lungo cui tendono a svilupparsi i principali fenomeni di scivolamento in grado di coinvolgere intere porzioni di ammasso. Questi fenomeni di scivolamento sono di fatto svincolati dall'intersezione di K1 e K2, altra famiglia di fratture orientate a franapoggio.

Un ulteriore svincolo di porzioni più o meno estese di ammasso è rappresentato da K5, orientata a reggipoggio, che all'intersezione con K1 e K2 rende possibile il distacco di cunei.

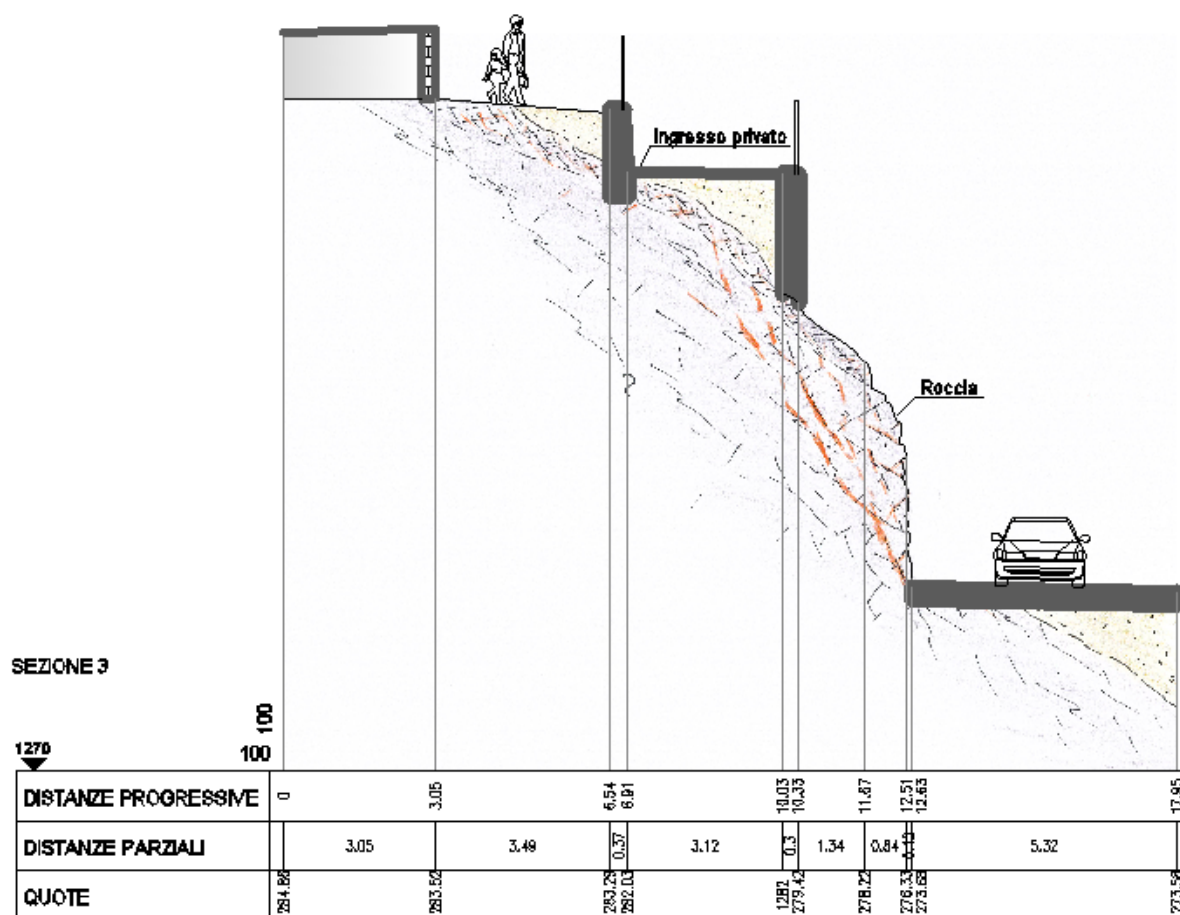
A livello idrogeologico in entrambe le perforazioni sono stati individuati livelli molto fratturati e particolarmente ossidati, specialmente nel sondaggio S1, indicatori di circolazione idrica diffusa. Sin dall'evento di dissesto si sono verificate abbondanti venute d'acqua lungo le fratture presenti e si ritiene che in caso di abbondanti piogge, le venute d'acqua possano sensibilmente aumentare. La presenza di patine di alterazione rosse in frattura, di fatto, è indice di presenza d'acqua in grado alterare la roccia. Difatti, anche in parete nelle porzioni attualmente stabili e non coinvolte nell'evento franoso di novembre 2021, sono visibili superfici di discontinuità umide a seguito di precipitazioni.

L'interfaccia roccia-rapporto è certamente un punto di accumulo e scorrimento idrico preferenziale.

Si riportano di seguito gli stralci di alcune sezioni eseguite perpendicolarmente alla parete, sulle quali è possibile visualizzare i potenziali cinematismi di instabilità generati dall'orientazione nello spazio delle fratture.



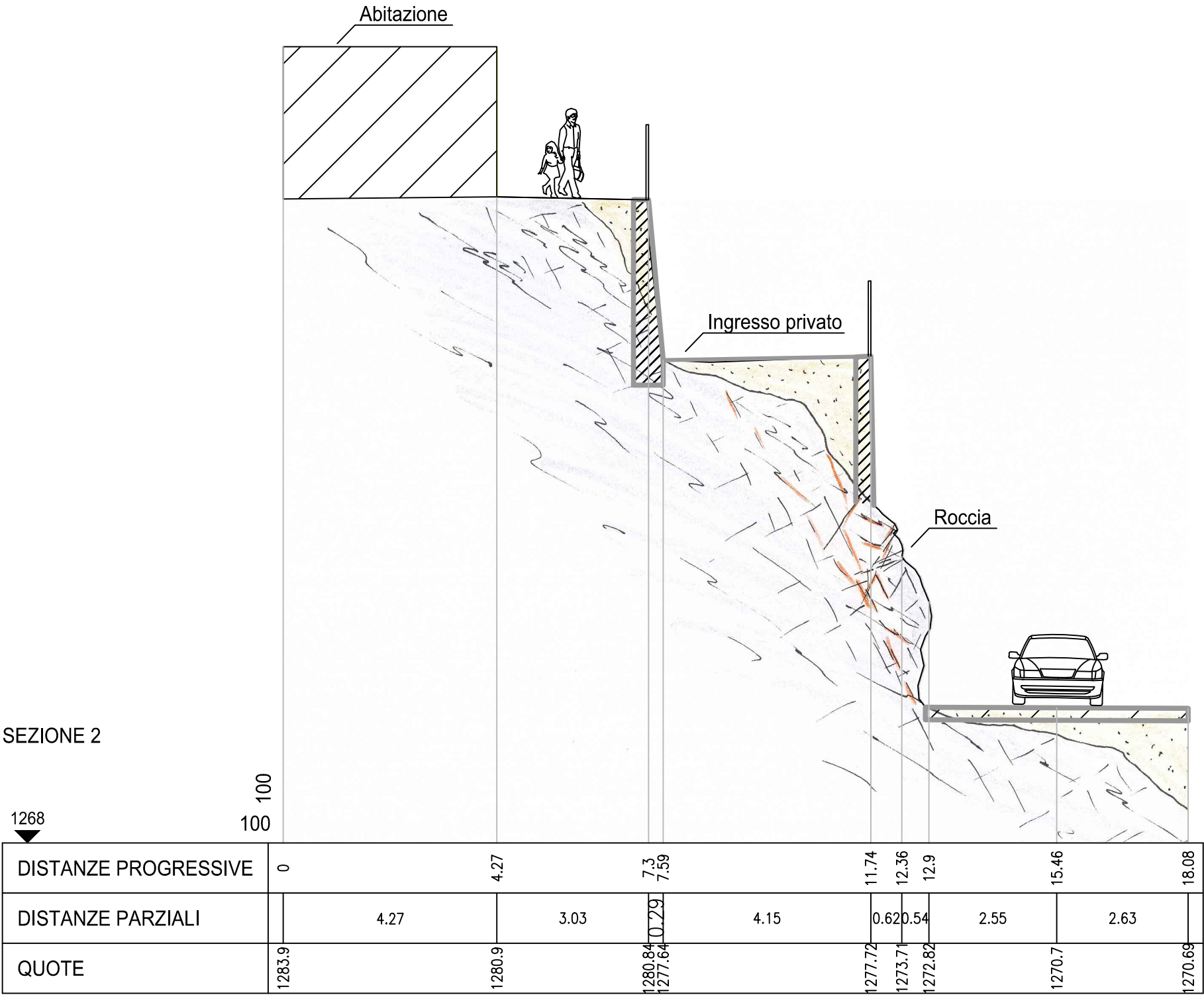
Sezione 6 – in corrispondenza dell'evento franoso di novembre 2021, presso S1.



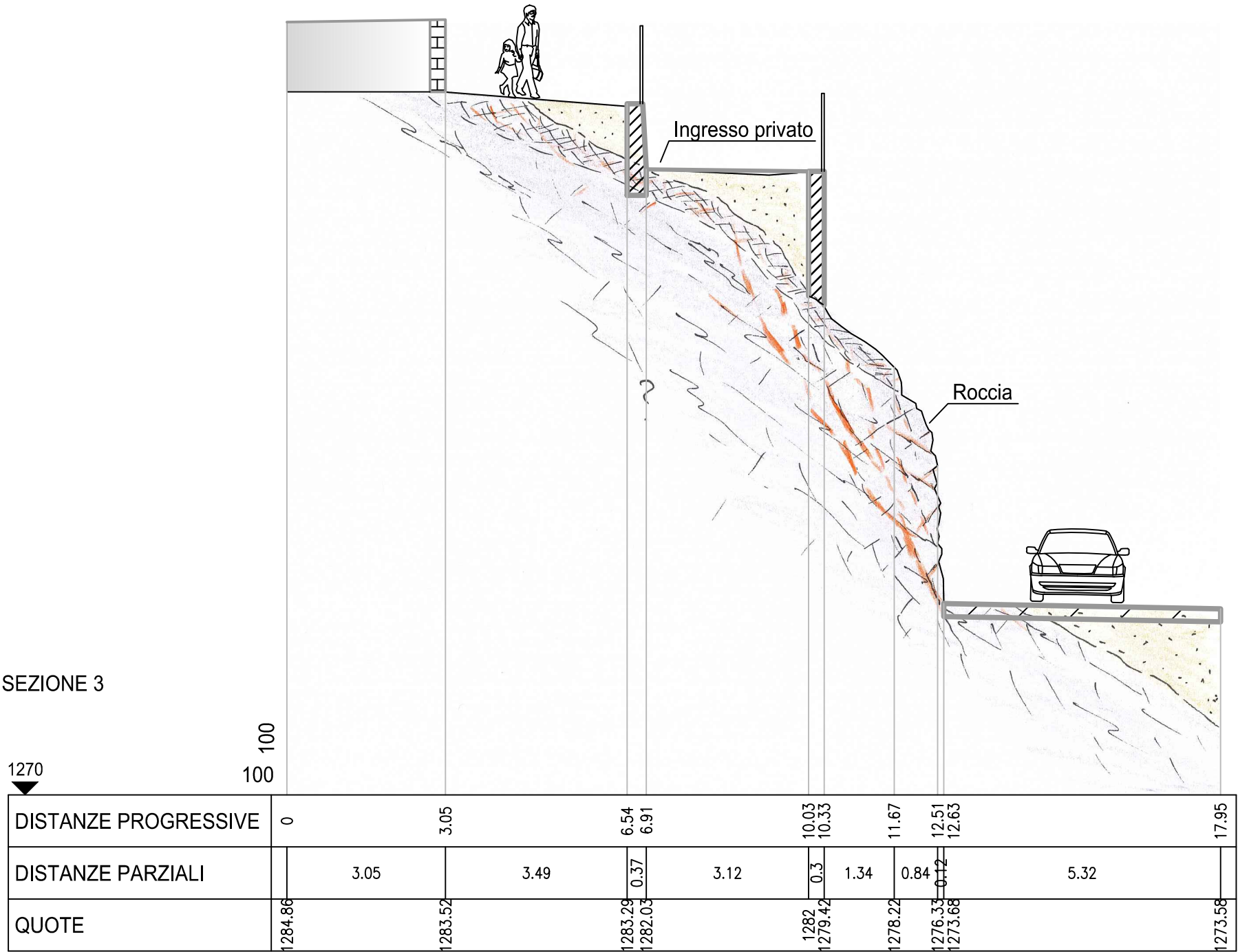
Sezione 3 – in corrispondenza della porzione non coinvolta nell'evento franoso di novembre 2021, presso S2. Anche in questa zona sussiste la presenza delle principali famiglie di discontinuità in grado di generare instabilità.

Il modello schematico sopradescritto non è certamente esente da incertezze, soprattutto per quanto concerne la profondità delle possibili fratture. I principali fattori di incertezza riguardano l'effettiva geometria dei mezzi geologici coinvolti. Tale incertezza aumenta infatti allontanandosi dai punti di perforazione e dai punti di affioramento del substrato, sia in senso orizzontale sia, soprattutto, in senso verticale.

Permane una concreta incertezza, quindi, per quanto riguarda l'andamento del substrato in sezione, che è ottenuto, di fatto, utilizzando gli unici punti di vincolo geometrico, rappresentati dalle perforazioni S1 ed S2 e dalle MASW eseguite, che tuttavia portano con sé i limiti intrinseci legati alla tipologia di indagine, essendo di fatto indiretta e condizionata da una risoluzione che diminuisce con la profondità. Tali incertezze son in parte colmate dal progetto che prevede la realizzazione di pali di sostegno del fronte. Nel corso delle perforazioni si potranno verificare le rispondenze di quanto assunto con la situazione del sito.



SEZIONE 3



SEZIONE 6

