



Région Autonome
Vallée d'Aoste

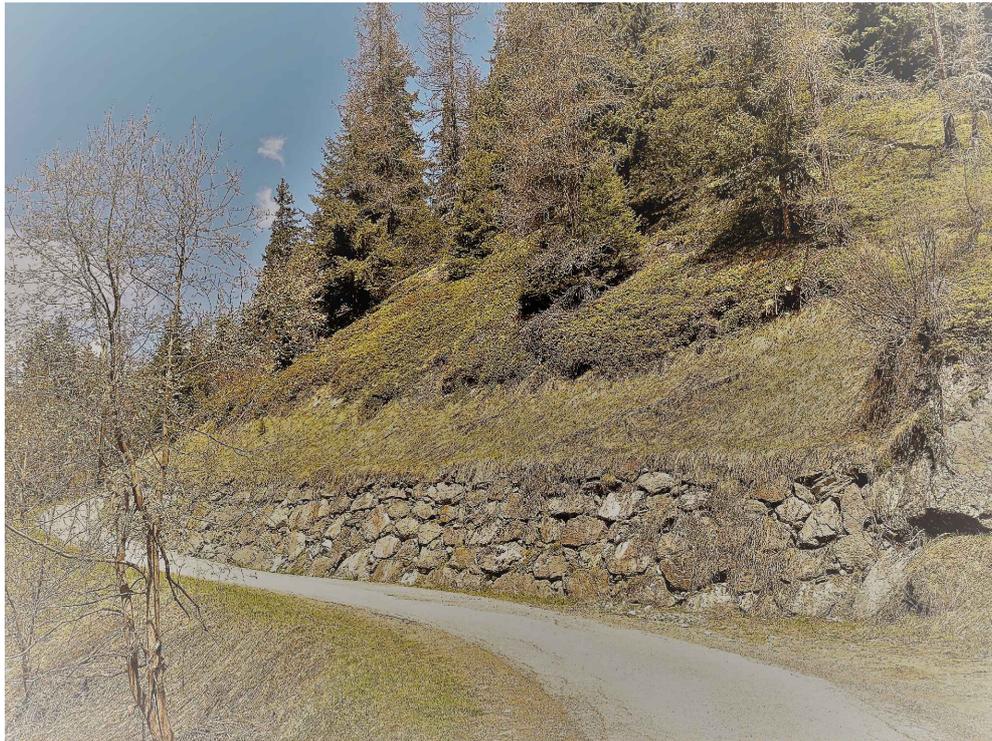


Regione Autonoma
Valle d'Aosta



Comune di
VALTOURNENCHE
amministrazione comunale

**REALIZZAZIONE DI BARRIERE FERMANEVE A PROTEZIONE
DELLA STRADA DI PROMINDOZ, COMUNE DI VALTOURNENCHE**



PROGETTO ESECUTIVO



PROGETTISTA INCARICATO:

Studio tecnico di ingegneria GIERREVVU srl
Passage du Verger 5 - 11100 Aosta
Tel: 0165 40322 / fax 0165 40322
mail: studiogr@fastwebnet.it
pec: gierrevu@pecvda.it

data:	scala:	codice elaborato:
02/08/2022		PE.1DC.102.GEO

Revisione	Data	Descrizione	Progettisti
REV 01	14/04/2023	Aggiornamento prezzi 2023	Ing. Fabio Inzani



Comune di Valtournenche Regione Autonoma Valle d'Aosta

COMMITTENTE: Ing. Grimod Alberto

SITO: Robé - Strada comunale per Fraz. Promindoz

CATASTO FOGLIO 26 Mappali 477

PROGETTO: INSTALLAZIONE PARAVALANGHE



Relazione geologica, parametrizzazione geotecnica, sismica e studio di compatibilità

Relazione n.: 69/21
Documento redatto da: Dott. Geol. Paolo Zamparutti
Data: Maggio 2021
Versione 0
Revisione 0



SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	1
2. UBICAZIONE DEL SITO IN ESAME	2
3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	3
4. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI E GEOLOGICI.....	4
5. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI	5
6. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA ATTRAVERSO PROVE GEOFISICHE.....	6
6.1 SEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE A1-A2.....	8
7. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	9
8. INDIVIDUAZIONE DEI VINCOLI ESISTENTI.....	9
9. CLASSIFICAZIONE SISMICA	10
9.1 ZONA SISMICA.....	10
9.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO.....	10
9.3 RISULTATI DELLA PROVA MASW.....	10
10. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI.....	12
10.1 N-SPT	12
10.2 STIMA DEI PARAMETRI DEL TERRENO E CORRELAZIONI CON NSPT	13
10.2.1 Densità relativa	13
10.2.2 Angolo di resistenza al taglio	14
10.2.3 Coesione non drenata	15
10.2.4 Modulo di deformazione	15
10.3 CALCOLO DEI PARAMETRI PRINCIPALI	15
10.4 MODELLO GEOTECNICO	16
11. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E PRESCRIZIONI.....	17

Allegati:

TAVOLE 1-10

RELAZIONE INDAGINE MA

1. INTRODUZIONE

Su incarico dell' Ing. Alberto Grimod, sono state redatte le presenti relazioni geologica, geotecnica e sismica relativamente al progetto di installazione di un sistema paravalanghe lungo la strada comunale che conduce alla frazione Promindoz, nel Comune di Valtournenche (AO).

Il progetto prevede la realizzazione di una linea di elementi di difesa posti sulla scarpata a monte delle strade comunali.

Lo studio geologico svolto in conformità alla normativa vigente ed in particolare al D.M. 17.01.2018 e alla DGR 2939/2008 - ha previsto due fasi:

- una prima fase di acquisizione di dati esistenti (bibliografia tecnica e scientifica, documentazione allegata al PRGC, cartografia degli ambiti, dati litostratigrafici e idrogeologici di aree limitrofe noti allo scrivente, ecc.).
- una seconda fase di indagini del sottosuolo mediante analisi di dettaglio del settore in oggetto attraverso le forme e gli affioramenti rocciosi presenti e prove geofisiche indirette, atte alla definizione del modello geologico e del modello geotecnico;

I risultati dello studio geologico – riportati nelle pagine seguenti e tavole allegate – hanno evidenziato l'assenza di problematiche geologiche/geomorfologiche e la compatibilità geologica dell'intervento in progetto.

2. UBICAZIONE DEL SITO IN ESAME

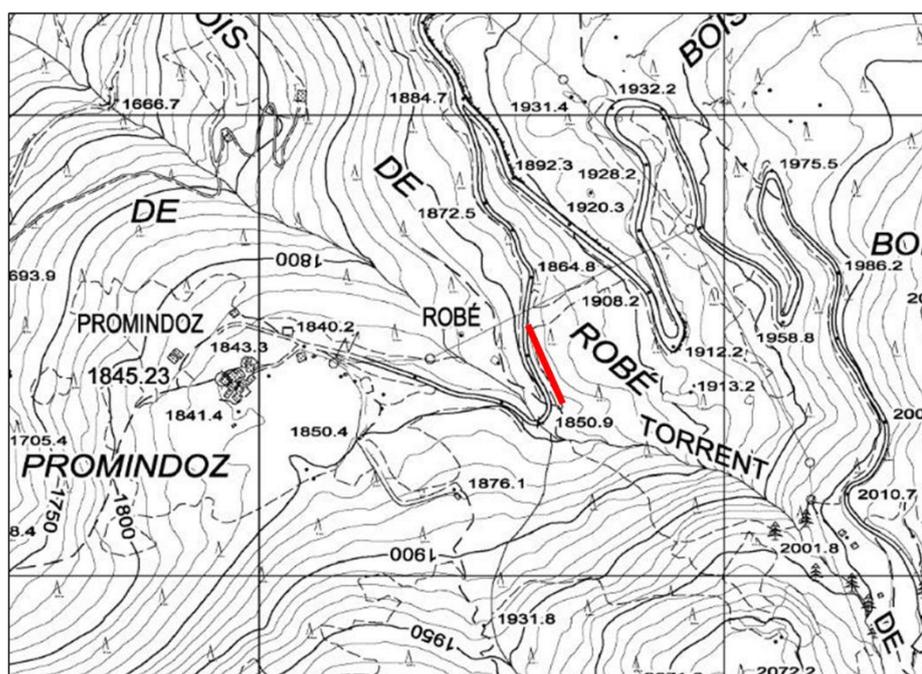
L'area in esame è posta a monte della viabilità comunale che conduce alla Fraz. Promindoz in località Robé, nella porzione a monte del capoluogo del territorio comunale di Valtournanche, in un settore scarsamente antropizzato. Il settore di indagine è formato da una scarpata presente a monte di un muro di contenimento in malta e pietrame che si sviluppa per circa 150 m prima dell'attraversamento del Torrente de Cheneil.

Il terreno si presenta sulla destra idrografica del torrente e si sviluppa ad una quota di circa 1850 m s.l.m.

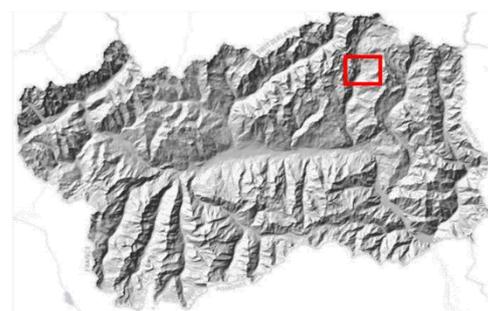
Il terreno su cui si svilupperà l'intervento si presenta fortemente acclive, con una pendenza compresa tra 40° e 50° verso inclinata verso l'alveo del torrente in direzione Sud-Ovest.

Il terreno ricade all'interno del foglio 26 mappale 477 del comune.

L'inquadramento geografico è riportato in Figura 1, una veduta area del sito è riportata in figura 2 e nella tavola 2 allegata.



 Terreno oggetto di intervento



Estratto catastale dal Foglio 26 mappale 477.

Figura 1 Ubicazione del sito su CTR scala 1:10000

Studio geologico Paolo Zamparutti

Sede legale: fraz. Préle, 3 – 11020 Donnas (AO)

Cell: 348 1321564 - www.geologovda.it - email: paolo.zamparutti@gmail.com



Figura 2 Ortofoto del sito di indagine, evidenziato in rosso il terreno oggetto di intervento

3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto prevede la realizzazione di n°1 fila di elementi paravalanghe a difesa della strada comunale. Per effetto dell'esposizione e dell'elevata pendenza, infatti, durante il periodo invernale, la strada risulta spesso impraticabile a causa dello scivolamento del manto nevoso verso la carreggiata. Per i dettagli del progetto si rimanda agli elaborati dello studio dell'Ing. Alberto Grimod.

4. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI E GEOLOGICI

Come illustrato nelle figure 1 e 2, l'area in esame si colloca su un terreno inclinato verso Sud Ovest in direzione dell'alveo del Torrente Cheneil. L'esteso versante che si sviluppa sotto al Mont-De-Molar appare interessato da un esteso fenomeno di DGPV verso Nord che determina la formazione di estesi ripiani e forme geomorfologiche caratteristiche. All'interno della medesima fascia altimetrica è presente un settore ad acclività ridotta che presenta, infatti, alcuni depositi lacustri/torbosi e che ha favorito l'arresto di numerosi depositi gravitativi. Sono tutt'ora ben evidenti numerose forme di origine glaciale quali i cordoni morenici degli apparati laterali e della valle principale e gli accumuli di materiali che hanno subito un trasporto ad opera delle masse glaciali.

Il settore oggetto di intervento, pur ricadendo all'esterno della perimetrazione del fenomeno di DGPV, mostra, nel settore pianeggiante poco a monte della scarpa della strada, accumuli gravitativi a grossi blocchi, in parte mascherati dalla fitta vegetazione di conifere, che sottolineano una passata attività anche di questo settore. L'impronta dell'agente morfogenetico glaciale è stata infatti alterata dalla dinamica gravitativa ed, in prossimità dell'alveo del torrente Cheneil, da quella fluvio-torrentizia che ha determinato la continua erosione dei materiali detritici mobilizzabili.

Il terreno oggetto di intervento è caratterizzato dall'affioramento di materiali detritici molto eterogenei per dimensione ed origine. Depositi di falda con blocchi di dimensioni metriche sono in parte immersi in una matrice sabbioso ghiaiosa con percentuali di limo glaciale che determinano la formazione di scarpate temporanee anche su pendenze elevate. Il dilavamento ad opera dei fenomeni meteorologici della matrice fine provoca il locale rotolamento dei blocchi, soprattutto laddove la vegetazione non protegge il suolo dal ruscellamento.

Il substrato non risulta affiorare nell'area di intervento, seppure siano stati riconosciuti nell'area, in prossimità dell'alveo e a monte della scarpata, affioramenti di substrato non coinvolti in fenomeni gravitativi con giaciture immergenti verso Est/Sud-Est con inclinazione tra i 27° e 40°. I depositi nascondono Unità della zona Piemontese dei Calcescisti con Pietre verdi, talvolta con impronta eclogitica, appartenenti all'Unità del Zermatt-Saas. Prevalentemente si tratta di serpentiniti e anfiboliti con livelli di calcescisti e gabbri/metagabbri.

I depositi, invece, risultano costituiti prevalentemente da materiali granulari ghiaioso-sabbiosi con matrice limoso-sabbiosa e la presenza di blocchi da decimetrici a metrici, spigolosi dovuti a degradazione del substrato ed in parte al trasporto gravitativo.

Al fine di definire nel dettaglio la stratigrafia dell'area sede di imposta delle fondazioni e oggetto di scavo, è stata predisposta una campagna di indagini indirette che verrà descritta nei capitoli successivi condotta dalla ditta specializzata Techgea srl.

In figura 3 e tavola 3, si riporta uno stralcio della carta geologica scala 1:25000 della Valle d'Aosta.

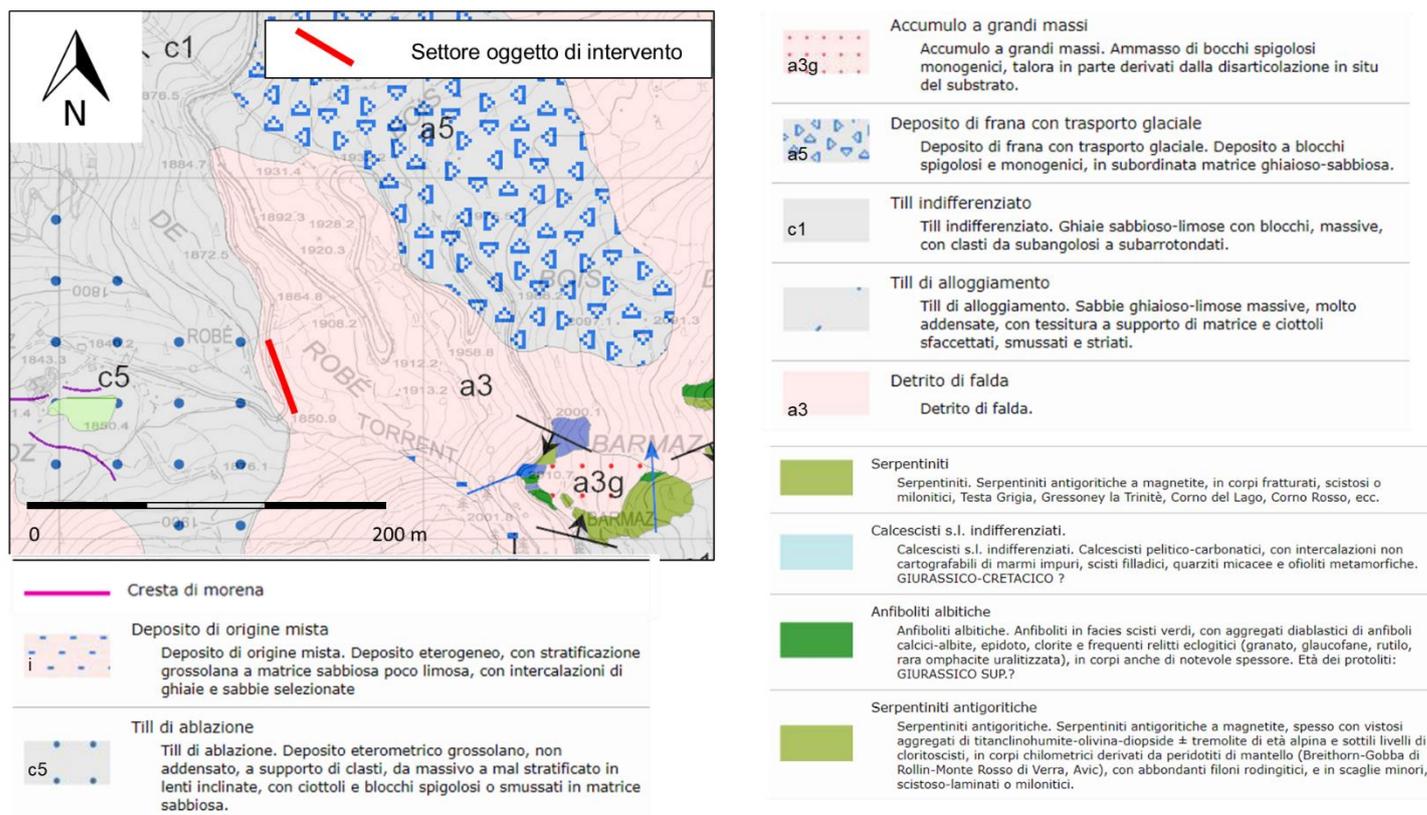


Figura 3 Stralcio della carta geologica della Regione Valle d'Aosta tratta dal Geoportale - scala 1:25000

5. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI

Dal punto di vista idrogeologico nell'area risulta evidente sul pattern di drenaggio l'influenza del Torrent de Cheneil, corso d'acqua a carattere torrentizio che drena il bacino compreso tra Mont-de-Molar e Becca Trécare. Nel sito su cui saranno impostate le opere di difesa non sono state rilevate emergenze idriche, né tantomeno vi sono evidenze di ruscellamento naturale concentrato. Inoltre, la granulometria dei depositi affioranti in zona favorisce il drenaggio rapido dei quantitativi idrici che attraversano il terreno. Il ruscellamento appare concentrato lungo gli impluvi e/o depressioni che separano gli accumuli gravitativi. L'analisi dei flussi idrici superficiali (figura 4), eseguita sulla base del DTM (passo 2m), mette in evidenza come il versante posto a monte, verrebbe drenato, in caso di forte ruscellamento, in particolare dagli impluvi presenti a Nord e Sud del sito di intervento. Il deflusso ipodermico è quindi legato a effetti locali di fusione nivale o di pioggia. La permeabilità (k) dei depositi, sulla base di quanto osservato, può ragionevolmente essere stimata in 10^{-3} - 10^{-4} m/s essendo la componente granulare preponderante sulla matrice fine.

Studio geologico Paolo Zamparutti

Sede legale: fraz. Préle, 3 – 11020 Donnas (AO)

Cell: 348 1321564 - www.geologovda.it - email: paolo.zamparutti@gmail.com

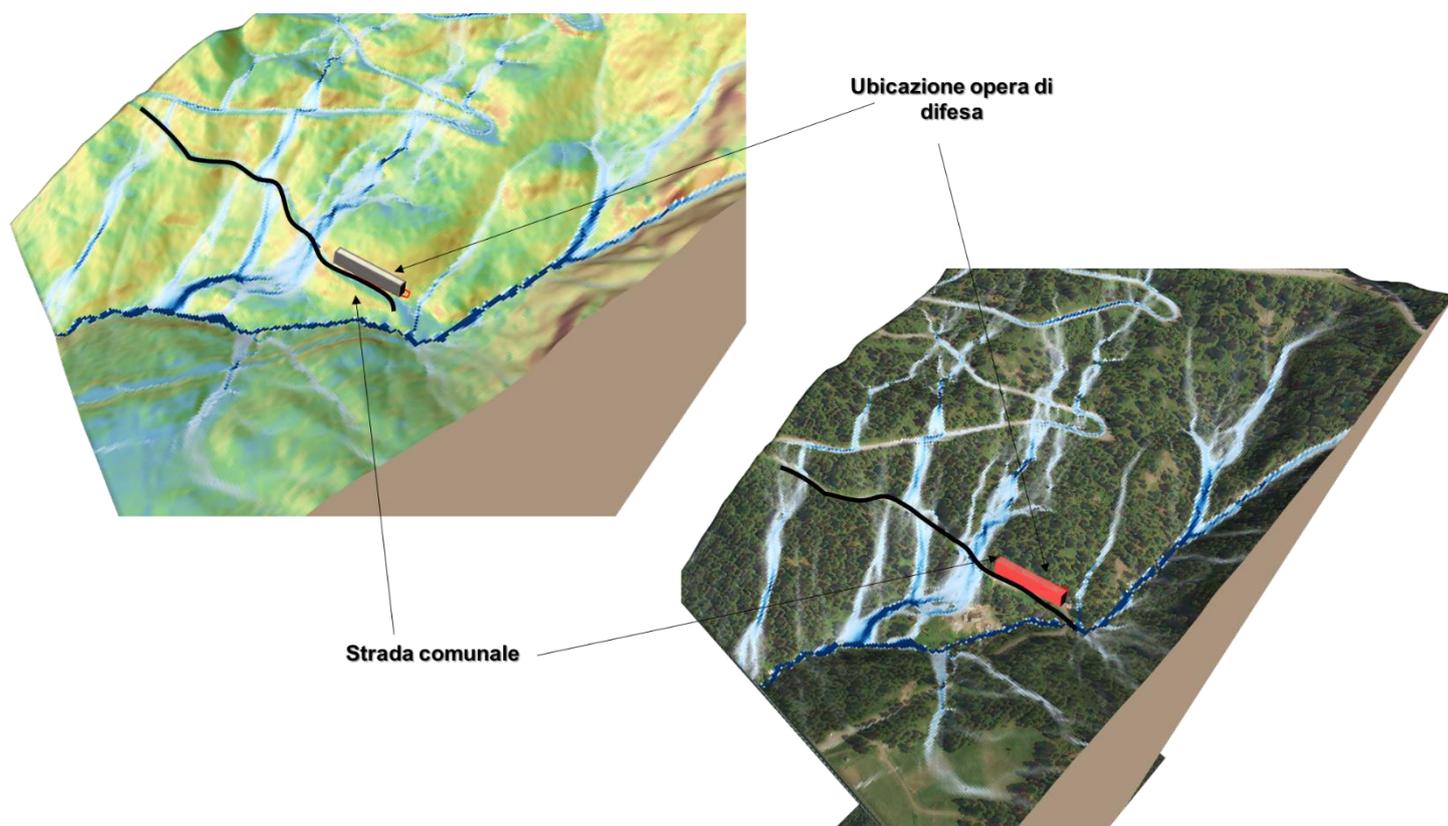


Figura 4 Visione prospettica del drenaggio delle acque superficiali ricostruita dal DTM su base carta delle pendenze e su ortofoto. Si evidenzia la posizione delle opere di difesa e della strada comunale

Livelli di materiali detritici con falde sospese di limitata estensione (temporale e quantitativa) possono emergere in fase di scavo ed andranno drenate prima della realizzazione delle opere. Eventuali venute d'acqua andranno captate e allontanate da eventuali fronti di scavo attraverso canalizzazioni e dreni.

6. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA ATTREVERSO PROVE GEOFISICHE

In accordo alla normativa vigente, in particolare al DM 17/0/1/2018 Cap. 6.2.1 e Cap. 6.2.2, al fine di definire i caratteri litologici, strutturali e gli orizzonti stratigrafici presenti nel sottosuolo è stata condotta una campagna di rilievi geofisici in collaborazione con la ditta Techgea srl (vedasi relazione di indagine in allegato). In particolare sono stati realizzati due stendimenti: uno stendimento sismico a rifrazione di alto dettaglio ed una prova MASW.

In tabella 1 si riporta la geometria degli stendimenti impiegati. L'obiettivo principale delle prove è stato quello di definire la stratigrafia del terreno per i primi 10-15 m, considerato che nel progetto è previsto lo scavo fino alla profondità di circa 3.3 m dal p.c. attuale

Gli stendimenti, estesi fino alla profondità di 14 metri per la prova sismica e 30 per prova MASW (Figura 6), hanno consentito di definire le caratteristiche di addensamento dei materiali e le relative unità geologiche del modello di riferimento da impiegare per la progettazione delle opere fondazionali e la progettazione geotecnica.

Tabella 1 Geometria degli stendimenti geofisici

TIPOLOGIA	n° geofoni	Spaziatura sensori [m]	Lunghezza tot [m]	Profondità di indagine [m]	Energizzazioni [n°ch./m]
Sismica a rifrazione (SIS)	24	1.5	34.5	13	1,4,8,12,16,20,24
MASW	24	1.5	34.5	30	-15,-12,-9,-6,-3,0

Le coordinate e la posizione di inizio fine stendimento sono riportate in figura 5

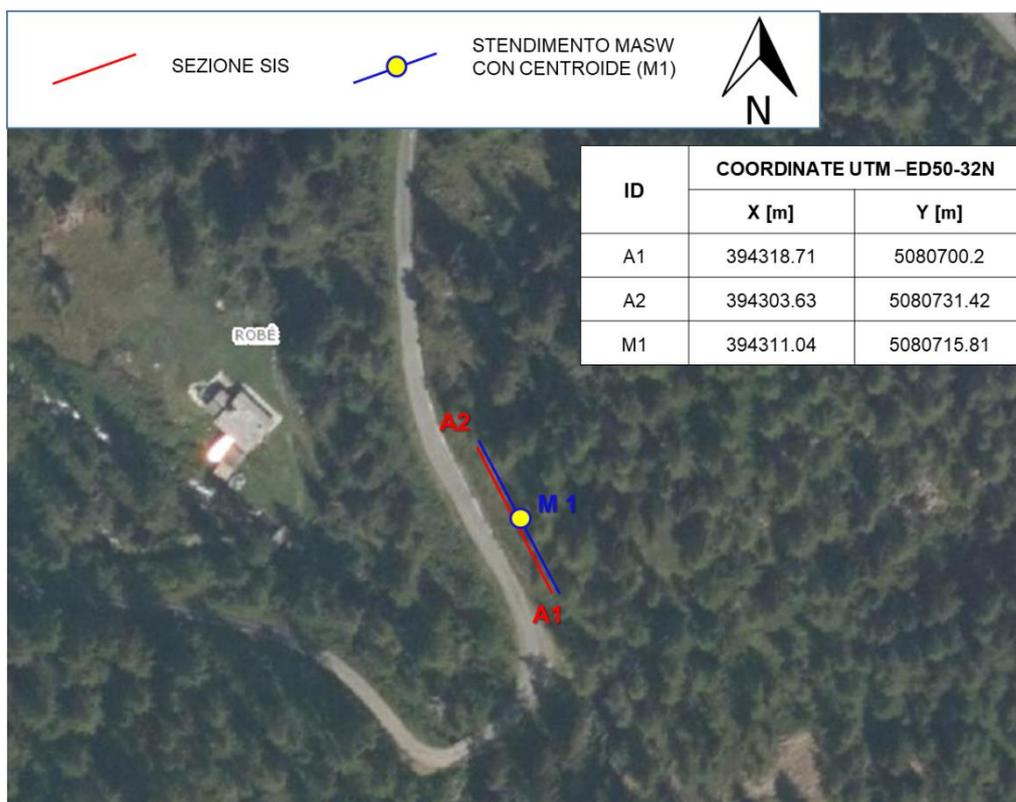


Figura 5 Ubicazione indagini geofisiche

6.1 SEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE A1-A2

La prova sismica a rifrazione (tavola 6 e figura 7) è stata effettuata con una spaziatura di 1.5 m tra i geofoni al fine di avere una sufficiente risoluzione verticale ed identificare i passaggi stratigrafici salienti, oltre a raggiungere la profondità di imposta delle fondazioni e i materiali che saranno interessati dal bulbo delle pressioni.

Dall'analisi del modello tomografico di velocità si possono definire i seguenti orizzonti geosismici:

- Un primo sismostrato a velocità molto bassa ($V_p < 600$ m/s, blu) corrispondente a materiali sciolti e poco addensati che si spinge fino a circa -4-6 m dal p.c. Si segnala la possibile presenza di blocchi all'interno del deposito;
- Un secondo sismostrato a velocità crescente ($600 < V_p < 1000$ m/s, colore verde chiaro passante a giallo) che si estende fino alla profondità di -10 m dal piano campagna, rappresenta depositi da scarsamente ad addensati di origine gravitativa. Il passaggio allo strato successivo è segnato da un gradiente di velocità delle isotache;
- Un terzo sismostrato con velocità più elevate ($V_p > 1100$ m/s, colore rosso) esteso fino alla massima profondità di indagine. Questo strato rappresenta depositi di glaciali addensati passanti a substrato roccioso molto fratturato;

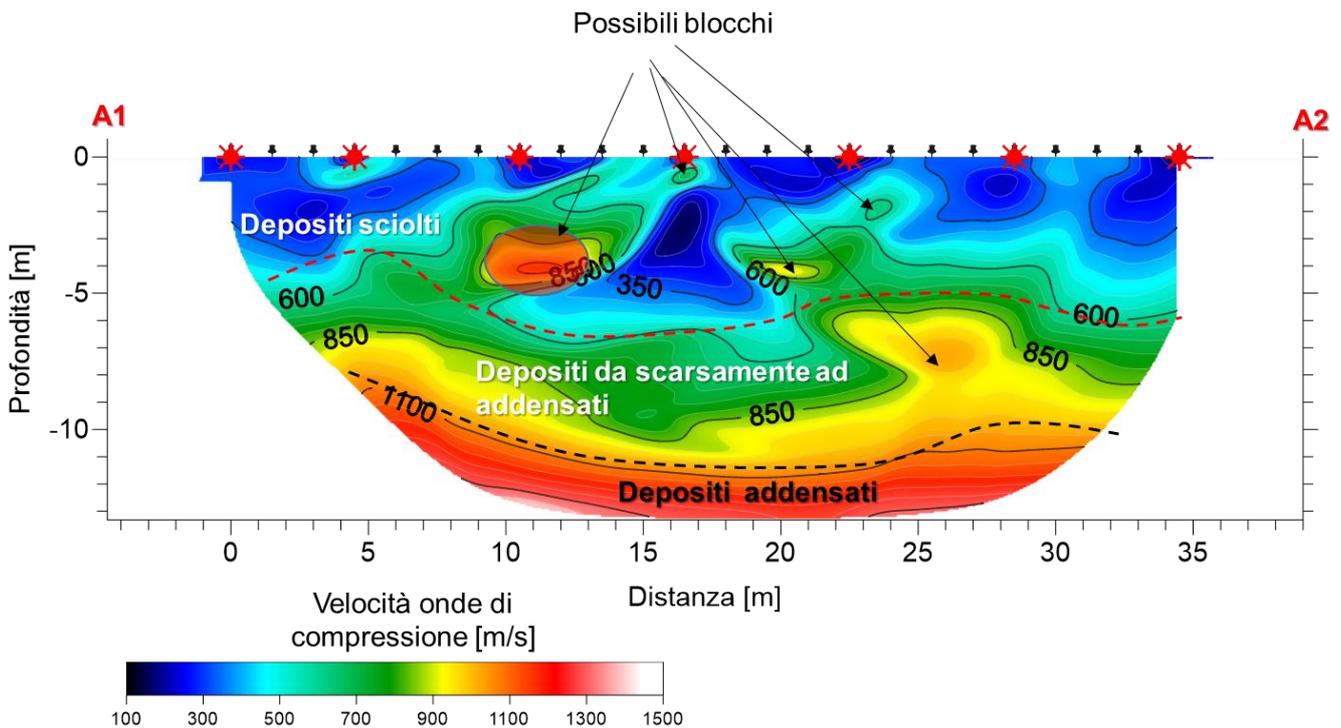


Figura 6 Modello tomografico di velocità delle onde di compressione A1-A2

7. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Sulla base dei risultati ottenuti dall'analisi dei dati di bibliografia e considerando i risultati delle prove geofisiche compiute in sito per la determinazione degli orizzonti stratigrafici, è possibile definire il modello geologico di riferimento. Tale modello non considera la presenza della falda in quanto, analizzata la cartografia di riferimento e i dati rilevati, essa non coinvolge lo strato di terreno indagato dal presente lavoro in maniera continua.

Le prove geofisiche sottolineano un modello che può essere così riassunto:

1. 0 – 4 m Depositi falda ghiaioso-sabbiosi con possibili blocchi lapidei;
2. 4 – 10 m Depositi gravitativi ghiaioso-sabbiosi con possibili blocchi lapidei con matrice limosa
3. 10 - 13 m Depositi glaciali addensati

8. INDIVIDUAZIONE DEI VINCOLI ESISTENTI

Preso visione della cartografia degli ambiti inedificabili del Comune di Valtournenche ai sensi della L.R. 11 del 6 aprile 1998 e successive modificazioni e della D.G.R. n°2939/2008 e del Piano territoriale paesistico, si rilevano i seguenti vincoli di competenza gravanti sul settore oggetto di indagine:

Tabella 2 Geometria degli stendimenti geofisici

VINCOLI		FASCIA/VINCOLO
L.R. 11/1998	Ambiti inedificabili Art. 35 comma 1	F3
	Ambiti inedificabili Art. 35 comma 2	Nessun vincolo
	Ambiti inedificabili Art. 36	Nessun vincolo
	Ambiti inedificabili Art. 37	Nessun vincolo
RDL 3267/1923 Vincolo idrogeologico		PRESENTE

Dall'analisi del catasto dissesti non si segnalano dissesti passati che abbiano interessato la porzione di territorio oggetto del presente studio. Si rilevano sui terreni circostanti evidenze di dissesto legate al fenomeno di DGPV segnalato nel catasto dissesti poco a monte del sito oggetto di intervento

9. CLASSIFICAZIONE SISMICA

9.1 Zona sismica

Alla luce del DM 17/01/2018 e della nuova zonizzazione sismica della Regione Valle d'Aosta, decretata dalla D.G.R. n. 1603 del 04.10.2013 e successive integrazioni, il Comune di Valtournenche (AO) rientra in Zona sismica n.3.

9.2 Classificazione sismica del sottosuolo

Il DM 17-01-2018 individua come parametro di riferimento per la classificazione sismica dei suoli la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ (in m/s) e viene calcolato mediante l'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove h_i e V_i indicano rispettivamente lo spessore (in m) e la velocità (in m/s) delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti tra il piano campagna ed il substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 metri, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m. nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per il sito in esame, si è potuta determinare la V_{S30} sulla base dei risultati delle indagini MASW, riportati nel dettaglio in Tavola 9 e descritti nelle pagine seguenti.

9.3 Risultati della prova MASW

L'analisi del profilo stratigrafico, riportato in Tavola 8, evidenzia un assetto sismo-stratigrafico descritto nella tabella seguente

Tabella 3- Assetto sismo-stratigrafico emerso da prova MASW

Livello	Profondità [m da p.c.]	Descrizione	Velocità Vs [m/s]
1	0 ÷ 5.2	Primo sismostrato costituito da depositi sciolti in parte rimaneggiati	176 ÷ 209
2	5.2 ÷ 23.3	Secondo sismostrato costituito da depositi con addensamento crescente con la profondità, probabile origine gravitativa-glaciale	271 ÷ 544
3	23.3 ÷ 30	Terzo sismostrato costituito da materiali addensati, probabili depositi glaciali di fondo passanti a substrato	877

Il valore di V_{seq} calcolato dal piano campagna fino a 16 m è pari a 328 m/s. E' pertanto possibile definire il contesto geotecnico esaminato come suolo di classe sismica "C".

Tabella 4- Definizione classe sismica di suolo

SUOLO	DESCRIZIONE GEOTECNICA	Vseq [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.	328 (media pesata sugli spessori compresi tra 0 e -23.3 m)

Per i dettagli della prova MASW si rimanda all'allegato 2.

10. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Per la definizione dei parametri geotecnici del terreno ci si è avvalsi delle prove indirette realizzate in sito.

Attraverso l'uso di formule di correlazione, è possibile estrarre i parametri sito specifici del terreno.

Nel caso specifico, sono state effettuate due prove:

- MASW, profilo di velocità delle onde di taglio;
- Sismica in onde di compressione, sezione bidimensionale dell'andamento della velocità delle onde P.

10.1 N-SPT

Il profilo verticale MASW assomiglia, per certi versi, al grafico di una prova penetrometrica. Tale similitudine deriva da una nota correlazione utilizzata generalmente per valutare le velocità delle onde di taglio a partire da dati penetrometrici. Nel caso in esame, per derivare il valore di N-SPT, si è utilizzata la formula di Ohta and Goto (1978)

$$V_s = 85.35 \cdot (N-SPT)^{0.348}$$

Dal punto di vista geotecnico, si individuano due livelli significativi, definiti (figura 12):

- **Unità 1** : Depositi eluvio-colluviali sciolti ghiaioso-sabbiosi presenti da piano campagna fino a circa 4 metri di profondità.
- **Unità 2** : depositi gravitativi costituiti ghiaia-sabbiosa con debole matrice limosa mediamente addensati oltre i 4 fino a circa 8 m
- **Unità 3**: depositi glaciali-gravitativa costituiti da ghiaia e ciottoli ben addensati con limitata matrice e taluni blocchi fino circa 13 m

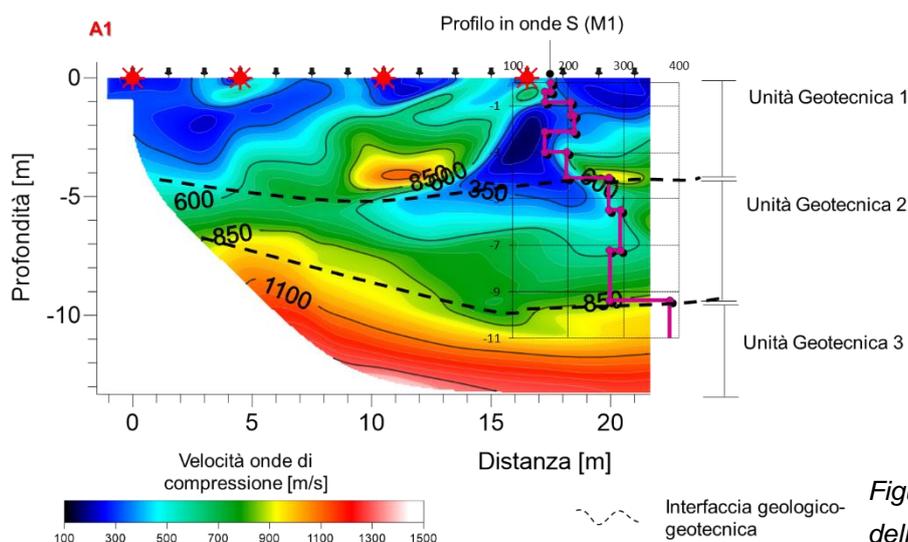


Figura 7 Visualizzazione grafica del modello geotecnico considerato

Studio geologico Paolo Zamparutti

Sede legale: fraz. Pr e, 3 – 11020 Donnas (AO)

Cell: 348 1321564 - www.geologovda.it - email: paolo.zamparutti@gmail.com

Noto il valore di N-SPT si è formulata un'analisi statistica volta a definire il valore medio e il valore caratteristico del parametro N_{spt} , da impiegare nelle correlazioni per la determinazione dei parametri del terreno.

L'analisi statistica, concordemente con le NTC 2018 e l'Eurocodice 7, prevede generalmente l'impiego dei valori medi per le verifiche di esercizio (es. cedimenti) e di quelli caratteristici per le verifiche di resistenza (es. capacità portante). Si è pertanto determinato il valore medio delle prove NSPT disponibili per ciascuno strato di interesse. Da esso si è ricavato il valore caratteristico (probabilità di superamento del 5%) ipotizzando una distribuzione di tipo gaussiano ed applicando pertanto la formula seguente:

$$V_c = \bar{X} - 1.645 \left(\frac{RMS}{\sqrt{n}} \right)$$

V_c = valore caratteristico

\bar{X} = Valore medio

RMS = Scarto quadratico medio

n = Numero di campioni

Si ottiene, per la **Unità 1**, un valore medio di N_{spt} di 9.2 colpi/30 cm e un valore caratteristico di **7.1 colpi/30 cm**. Per l'**Unità 2** si è un valore medio di N_{spt} di 41.9 colpi/30 cm e un valore caratteristico di **25.9 colpi/30 cm**. L'**unità 3** presenta valori N_{spt} **medio e caratteristico di 75 colpi/30 cm**

10.2 Stima dei parametri del terreno e correlazioni con N_{spt}

La parametrizzazione geotecnica è ottenuta principalmente in riferimento al valore standardizzato di resistenza alla penetrazione (N_{spt}), da cui si ricavano i parametri di interesse progettuale, da intendersi nel loro valore caratteristico, come richiesto dalla normativa vigente (D.M. 17.01.18). Al fine della parametrizzazione, i depositi in esame si sono considerati di tipo non coesivo.

Si sono stimati i seguenti parametri:

- Densità relativa per terreni a grana grossa
- Angolo di resistenza al taglio e eventuale coesione
- Modulo di deformazione E per terreni a grana grossa

10.2.1 Densità relativa

Si riportano nel seguito due delle più impiegate correlazioni sperimentali per la determinazione della densità relativa, valide per terreni a grana grossa. Si sono poi mediati i valori ottenuti con le due relazioni.

1) Skempton: Il metodo è valido per le sabbie da fini a grossolane, per qualunque valore di pressione efficace, in depositi normalmente consolidati. Nel caso di depositi ghiaiosi il valore di $Dr(\%)$ viene sovrastimato, nei depositi limosi viene sottostimato. Il metodo si basa sulla seguente relazione, in cui per σ si intende la tensione litostatica verticale efficace a metà strato in kPa:

$$Dr(\%) = 100 \sqrt{\frac{N_{spt} \sqrt{\frac{98}{\sigma}}}{32 + 0.288\sigma}}$$

2) Gibbs-Holtz: Il metodo è valido per le sabbie da fini a grossolane pulite, per qualunque valore di pressione efficace, in depositi normalmente consolidati. Nel caso di depositi ghiaiosi il valore di $Dr(\%)$ viene sovrastimato, nel caso di depositi limosi viene sottostimato. Il metodo si basa sulla seguente relazione, in cui per σ si intende la tensione litostatica verticale efficace a metà strato in kg/cmq (=100 kPa):

$$Dr(\%) = 21 \sqrt{\frac{N_{spt}}{\sigma + 0,7}}$$

10.2.2 Angolo di resistenza al taglio

Si è effettuata una stima diretta dell'angolo di resistenza al taglio sulla base delle seguenti relazioni (scelte in base alla litologia ed alla profondità). Si sono poi mediati i valori tra le relazioni ritenute rappresentative per ciascuno strato.

1) Peck-Hanson & Thornburn: Il metodo è valido per le sabbie in genere e trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità di prova inferiori a circa 5 m per terreni sopra falda e inferiori a circa 8 m per terreni in falda (pressione efficace inferiore a 8-10 t/mq).

$$\varphi = 27,2 + 0,28N_{spt}$$

2) Meyerhof: Il metodo (1965) che correla ϕ con N_{spt} medio dello strato in funzione della sua granulometria, è valido per le sabbie in genere e trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità inferiori a 5 m (relazione 1) e 3 m (relazione 2) nel caso di terreni sopra falda e inferiori a 8 m (relazione 1) e 5 m (relazione 2) per terreni sotto falda (pressione efficace inferiore a 5-8 t/mq).

$$(rel.1) \phi = 29,47 + 0,46N_{spt} - 0,004N_{spt}^2 (< 5\% \text{ di limo})$$

$$(rel.2) \phi = 23,7 + 0,57N_{spt} - 0,006N_{spt}^2 (>5\% \text{ di limo})$$

10.2.3 Coesione non drenata

Per i depositi in esame (a prevalenza ghiaiosa e sabbiosa con debole componente limosa), si è calcolato il valore della coesione nonostante si ritenga più cautelativo non considerarla in caso di calcoli di stabilità. Nel caso dei depositi glaciali, infatti, questa ha spesso carattere temporaneo.

10.2.4 Modulo di deformazione

Per la valutazione del modulo di deformazione dei depositi sabbiosi (E_k) si è fatto riferimento alla correlazione di **D'Apollonia et al. (1970)**:

$$E = a + b \cdot N_{spt} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

in cui a e b sono due costanti sperimentali variabili rispettivamente tra 216 e 540 e tra 10.6 e 13.5.

Si sono assunti validi cautelativamente i valori più bassi $a=216$, $b=10.6$.

10.3 Calcolo dei parametri principali

Si riporta nella seguente Tabella 5 il calcolo dei principali parametri geotecnici per le due unità di interesse, per l'unità tre si hanno valori molto sovrastimati. Gli indici dei parametri sono relativi alla numerazione delle correlazioni riportata nei precedenti paragrafi. Si è scelto, relativamente all'angolo di resistenza al taglio, di fare riferimento alle relazioni maggiormente adatte per la granulometria e la profondità dei depositi.

Tabella 5 – Calcolo dei principali parametri geotecnici sulla base dei valori N_{spt}

Unità	Profondità [m]	γ_{dry} [kN/m ³]	γ_{water} [kN/m ³]	$N_{pst_{med}}$ [colpi/30 cm]	N_{pst_k} [colpi/30 cm]	$\sigma'_{v \text{ media}}$ [kPa]	Dr_1 [%]	Dr_2 [%]	ϕ_{k1} [°]	ϕ_{k2} [°]	E_{med}	E_k	Cu_k [kg/cm ²]
1	0-3	15.8	19	9.2	7.1	55.2	45	50	29	27	313.8	291.8	0.48
2	3-8	18.0	19.5	30.8	27.9	137.2	57	77	35	39	542.6	511.6	1.74

Studio geologico Paolo Zamparutti

Sede legale: fraz. Pr e, 3 – 11020 Donnas (AO)

Cell: 348 1321564 - www.geologovda.it - email: paolo.zamparutti@gmail.com

10.4 Modello geotecnico

Si riporta nel seguito (Tabella 6) il modello geotecnico e la relativa parametrizzazione ottenuta elaborando i calcoli riportati in Tabella 5.

Dati i parametri nel seguito riportati, il primo livello risulta non idoneo alla posa di fondazioni, dato il basso grado di addensamento e la conseguente esposizione al problema dei cedimenti differenziali.

L'Unità 2 e l'unità 3 si ritengono invece idonee alla posa di fondazioni

Tabella 6– Modello geotecnico

Unità	Descrizione	Prof. [m]	γ_{secco} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	DRk	ϕ^k [°]	E_{med} [kg/cm ²]	E_k [kg/cm ²]	Cu [kg/cm ²]
1	Depositi ghiaioso-sabbiosi sciolti	da 0 a 3	16.0	19.0	47.3	28.3	313.8	291.8	0.5
2	Depositi ghiaioso-sabbiosi con limo mediamente addensati	3 a 8	18.0	19.5	67.0	37.1	660.3	491.0	1.7
3	Depositi addensati ghiaioso sabbiosi con limo	8 a 13 m	19	19.5	>75	>38	>1000	>1000	1.7

11. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E PRESCRIZIONI

Su incarico dell'Ing. Grimod Alberto, è stato redatto il presente studio geologico, geotecnico, sismico relativamente al progetto di realizzazione di un'opera paravalanghe, sita in frazione Robé, a monte della strada per Promindoz, nel Comune di Valtournenche (AO).

Lo studio geologico, realizzato sulla base dello studio della cartografia geologica-geomorfologica e dei depositi quaternari affioranti e sulla base dei risultati delle prove geofisiche, ha evidenziato quanto segue:

- Depositi di falda sciolti ghiaioso-sabbiosi con blocchi fino alla profondità di 4 m dal p.c.;
- Depositi gravitativi ghiaioso-sabbiosi e limitata matrice limosa con possibili blocchi fino a -8 m dal p.c.;
- Depositi addensati passanti a substrato roccioso oltre 8 m
- I depositi risultano meglio addensati al di sotto dei 3-4 m dal p.c., con valori degli angoli di taglio elevati, indice di materiali generalmente grossolani a comportamento prettamente attritivo, anche se non si può escludere una componente relativa alla coesione correlabile alla componente limosa;
- Le analisi geofisiche hanno evidenziato la possibile presenza di trovanti lapidei all'interno del deposito nei primi metri superficiali e un progressivo aumento del grado di compattazione con l'aumento della profondità;
- L'area non appare interessata da dissesti recenti o passati, seppure il settore a monte presenti evidenze di un fenomeno di DGPV;
- L'analisi della morfologia superficiale e del pattern di drenaggio indica che non vi è propensione per il ruscellamento concentrato nel settore di imposta delle opere. La falda non è presente, ma non si possono escludere limitati flussi idrici all'interno dei terreni in occasione di eventi pluviometrici o fusione nivale;
- I terreni sono classificabili in sottosuolo di categoria C a seguito di prova MASW.

Le analisi geosismiche, condotte per definire la stratigrafia del lotto hanno consentito di individuare dei terreni con caratteristiche di addensamento idonee alla posa di nuove fondazioni collegate al di sotto dei 3-4 m da p.c. Le velocità sismiche rilevate sia con la sezione a rifrazione che con la prova MASW permettono di definire i depositi come meglio addensati solo al di sotto degli 8 m di profondità.

L'assetto litostratigrafico di interesse per il progetto delle fondazioni (e i relativi parametri geotecnici) è stato così stimato:

Unità	Descrizione	Prof. [m]	γ_{secco} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	DRk	$\phi'k$ [°]	E_{med} [kg/cm ²]	E_k [kg/cm ²]	Cu [kg/cm ²]
1	Depositi ghiaioso-sabbiosi sciolti	da 0 a 3	16.0	19.0	47.3	28.3	313.8	291.8	0.5
2	Depositi ghiaiosi-sabbiosi con limo mediamente addensati	3 a 8	18.0	19.5	67.0	37.1	660.3	491.0	1.7
3	Depositi addensati ghiaioso sabbiosi con limo	8 a 13 m	19	19.5	>75	>38	>1000	>1000	1.5

Si consiglia di non appoggiare fondazioni sull'Unità 1 dato il rischio di cedimenti, mentre per le Unità 2 e 3 sono idonee all'ancoraggio delle fondazioni. La verifica della capacità portante e dei cedimenti dovrà essere effettuata a valle del progetto definitivo ed esecutivo, sulla base dei suddetti parametri ed eventuali approfondimenti.

L'apertura di un eventuale scavo per la realizzazione dello sbancamento dovrà tenere conto delle scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni nei primi 3 m. Per la stabilità dei fronti di scavo si consigliano scavi con rapporto H/V=2/3. Nel caso di altezze di scavo superiori a 1.5 m e con fronti verticali o sub-verticali, andrà prevista la realizzazione di opere di sostegno provvisoria, concordemente con la normativa strutturale e di sicurezza vigente e sistemi antierosione dei fronti.

In caso siano presenti livelli prettamente limosi/franco-limosi a fondo scavo, prima della posa in opera delle nuove fondazioni, tale materiale andrà rimosso e sostituito con misto fiume-tout venant rullato in spessori non superiori a 20 cm.

La possibile presenza di blocchi lapidei imballati nella matrice andrà verificata in fase di esecuzione dei lavori. I blocchi andranno rimossi o demoliti in sicurezza evitando che questi risultino aggettanti dai fronti sub verticali.

La presenza di una componente limosa conferisce ai materiali dello scavo una pseudo-coesione che non può tuttavia essere considerata per la stabilità dei fronti a lungo termine, pertanto i fronti andranno protetti con teli antierosione.

Il versante dovrà essere protetto da fenomeni erosivi una volta terminati i lavori di posa delle opere al fine di evitare l'instaurarsi di fenomeni dissestivi delle coltri superficiali. Si consiglia l'impiego di geostuoie sui terreni ad elevata pendenza (>30°) denudati dalle operazioni di cantiere per favorire il rinverdimento

In considerazione dell'effetto di fusione nivale dei mesi primaverili e dell'acclività del terreno su cui insiste l'opera in caso di eventi eccezionali, dovranno essere predisposte opere di drenaggio e canalizzazione delle acque nei settori in prossimità della viabilità. Il getto di fondazione andrà eseguito in condizioni asciutte evitando gli accumuli a fondo scavo.

Pur non essendo state riscontrate con i rilievi eseguiti sorgenti e/o venute sotterranee, non si esclude che si rinverano limitate emergenze idriche in fase di scavo, soprattutto se questo sarà eseguito nel periodo primaverile/autunnale, in tal caso le acque andranno allontanate dal fronte aperto.

In conclusione, il presente studio geologico sancisce la compatibilità dell'opera in oggetto, nell'ambito del rispetto delle limitazioni e delle prescrizioni precedentemente illustrate.

In caso emergessero condizioni non previste dal presente studio, si prega di contattare il sottoscritto prima di procedere.

Il tecnico incaricato

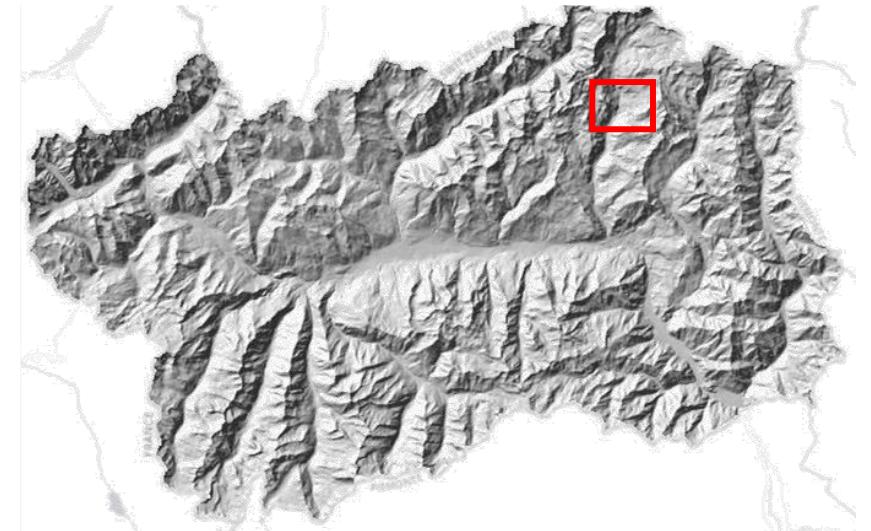
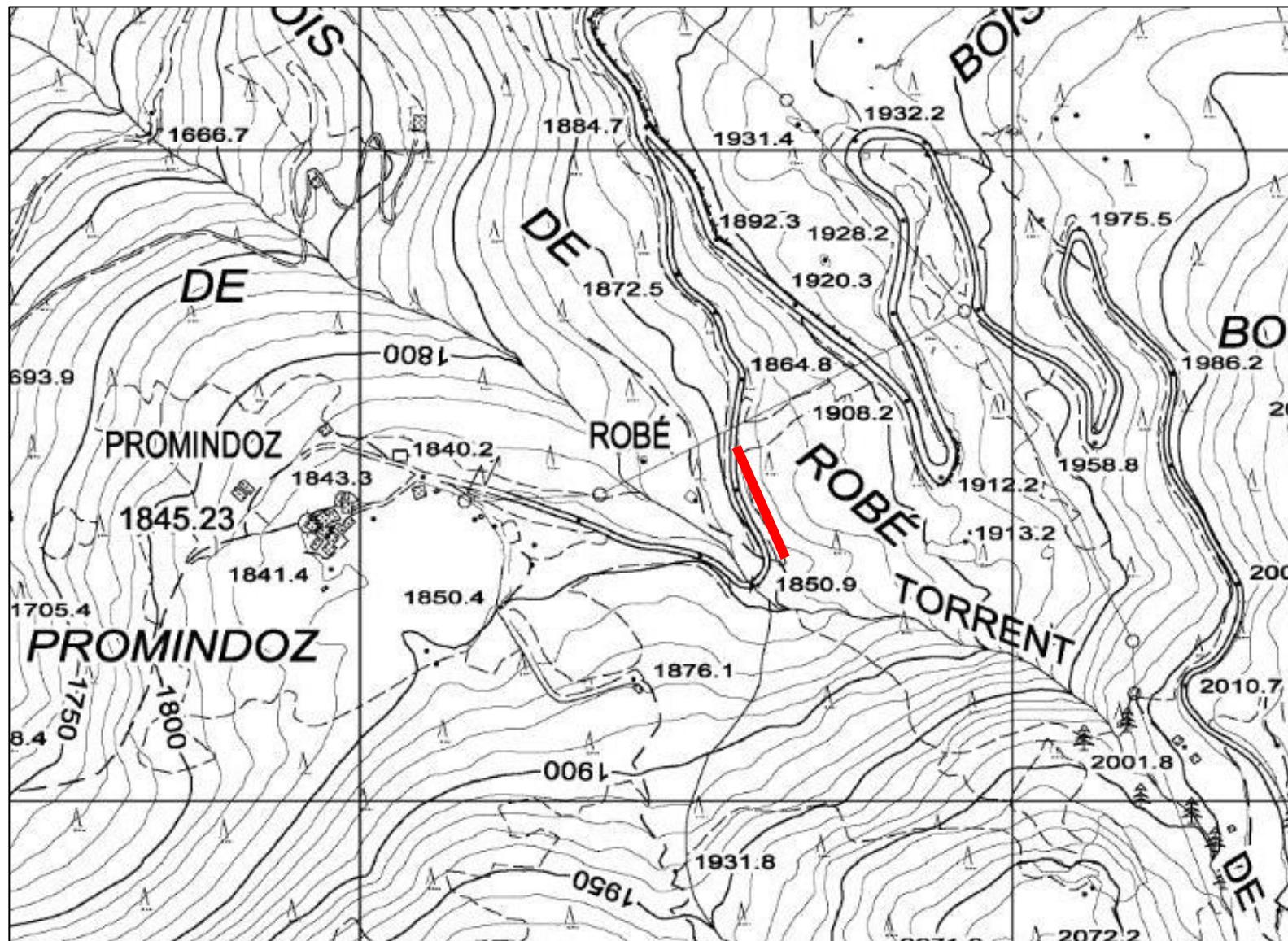


Dott. Geol. Paolo Zamparutti

Ordine Regionale Geologi della Valle d'Aosta n. 64

ALLEGATI

UBICAZIONE DEL SITO DI INDAGINE SU CTR 1:10000

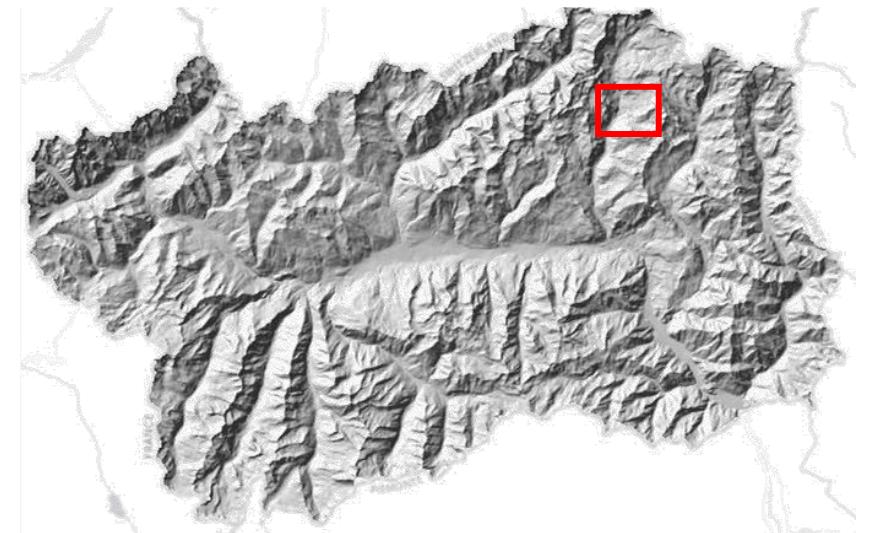


Estratto catastale dal Foglio 26 mappale 477.



 Terreno oggetto di intervento

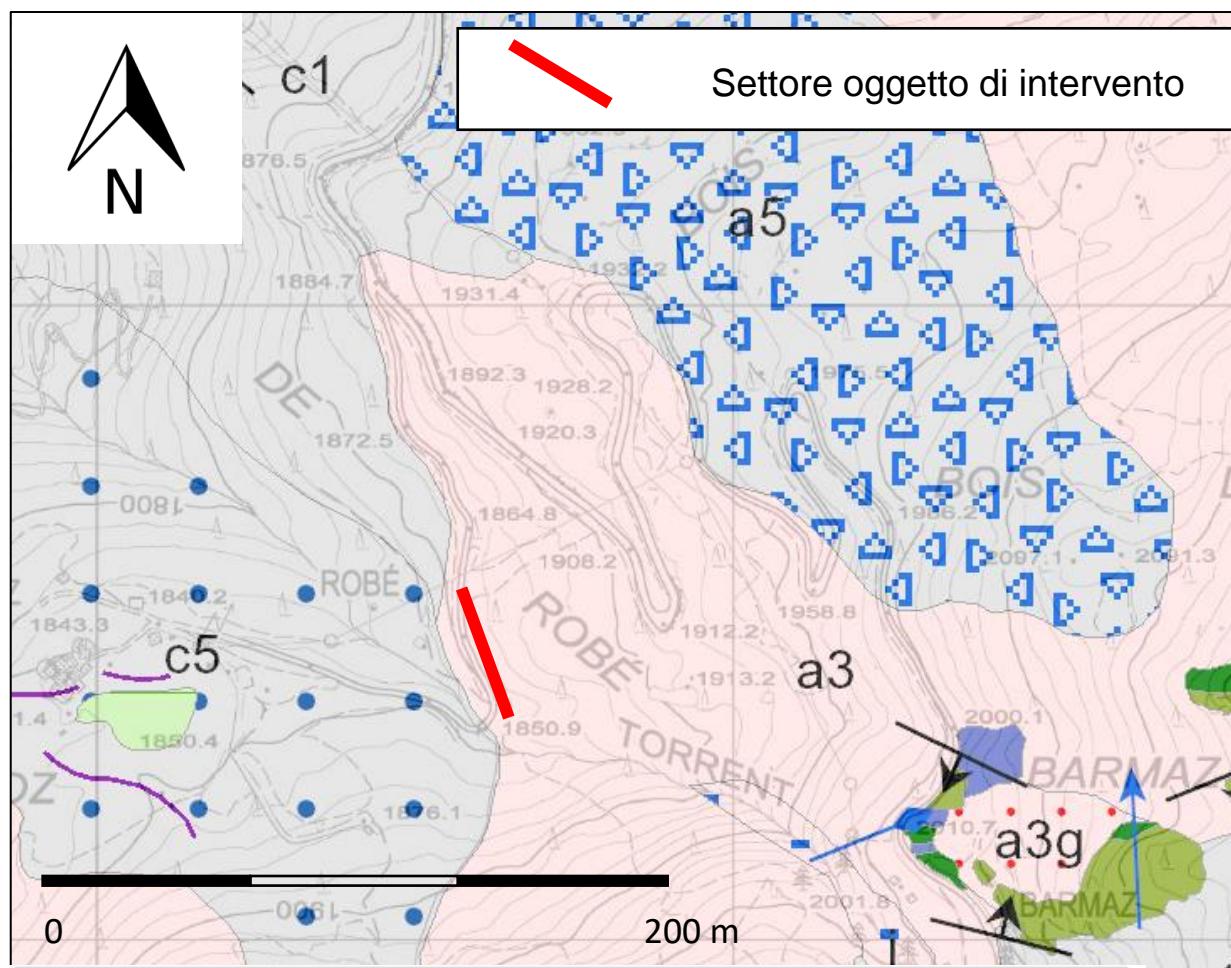
UBICAZIONE DEL SITO DI INDAGINE SU CTR 1:10000



Terreno oggetto di progetto edificatorio



STRALCIO DELLA CARTA GEOLOGICA VALLE D'AOSTA 1:10000

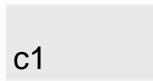


- 

a3g Accumulo a grandi massi
Accumulo a grandi massi. Ammasso di bocchi spigolosi monogenici, talora in parte derivati dalla disarticolazione in situ del substrato.

- 

a5 Deposito di frana con trasporto glaciale
Deposito di frana con trasporto glaciale. Deposito a blocchi spigolosi e monogenici, in subordinata matrice ghiaioso-sabbiosa.

- 

c1 Till indifferenziato
Till indifferenziato. Ghiaie sabbioso-limose con blocchi, massive, con clasti da subangolosi a subarrotondati.

- 

Till di alloggiamento
Till di alloggiamento. Sabbie ghiaioso-limose massive, molto addensate, con tessitura a supporto di matrice e ciottoli sfaccettati, smussati e striati.

- 

a3 Detrito di falda
Detrito di falda.

- 

Serpentiniti
Serpentiniti. Serpentiniti antigoritiche a magnetite, in corpi fratturati, scistosi o milonitici, Testa Grigia, Gressoney la Trinitè, Corno del Lago, Corno Rosso, ecc.

- 

Calcescisti s.l. indifferenziati.
Calcescisti s.l. indifferenziati. Calcescisti pelitico-carbonatici, con intercalazioni non cartografabili di marmi impuri, scisti filladici, quarziti micacee e ofiolti metamorfiche. GIURASSICO-CRETACICO ?

- 

Anfiboliti albitiche
Anfiboliti albitiche. Anfiboliti in facies scisti verdi, con aggregati diastiblastici di anfiboli calcici-albite, epidoto, clorite e frequenti relitti eclogitici (granato, glaucofane, rutilo, rara omphacite uralitizzata), in corpi anche di notevole spessore. Età dei protoliti: GIURASSICO SUP.?

- 

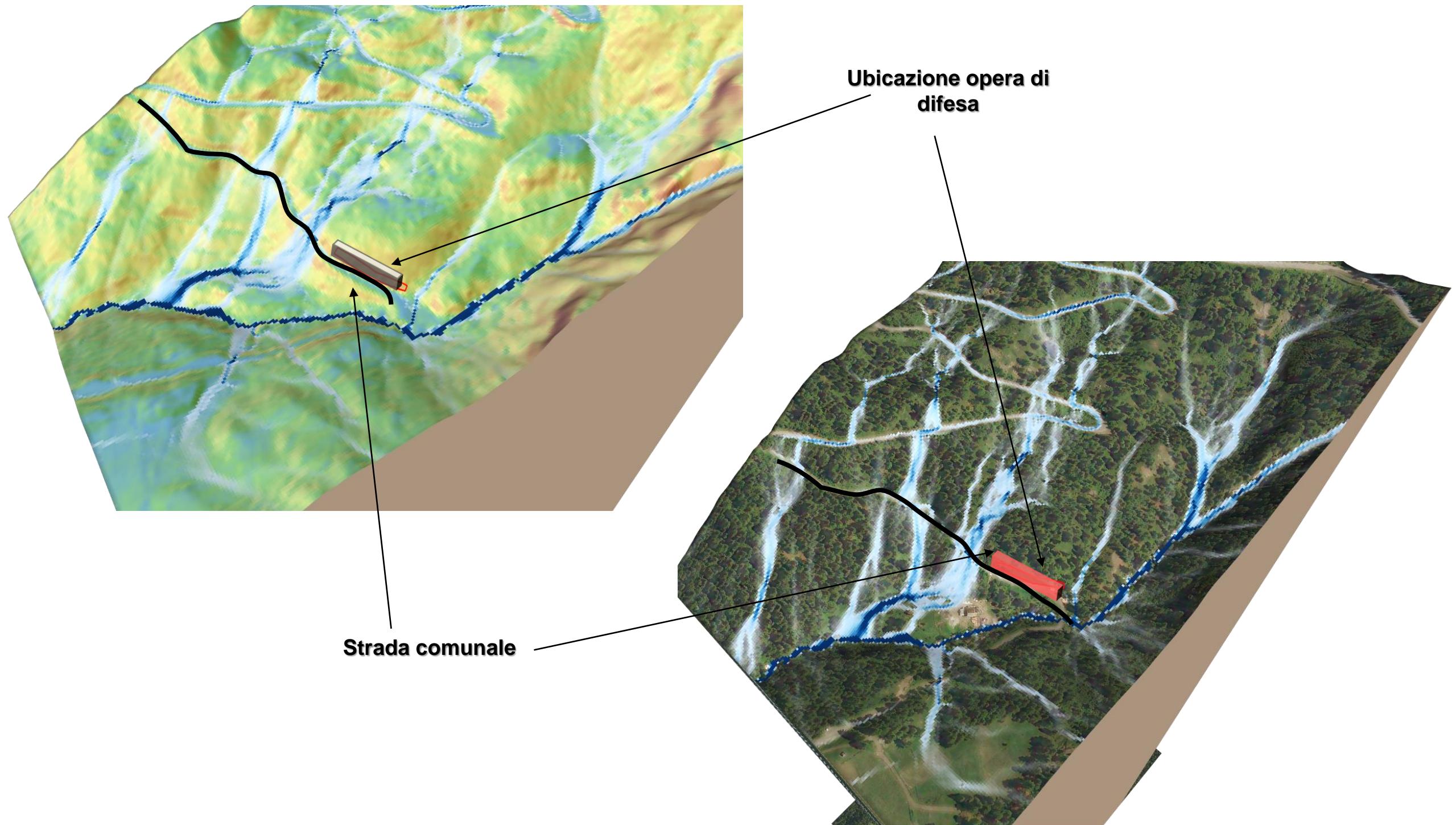
Serpentiniti antigoritiche
Serpentiniti antigoritiche. Serpentiniti antigoritiche a magnetite, spesso con vistosi aggregati di titanclinohumite-olivina-diopside ± tremolite di età alpina e sottili livelli di cloritoscisti, in corpi chilometrici derivati da peridotiti di mantello (Breithorn-Gobba di Rollin-Monte Rosso di Verra, Avic), con abbondanti filoni rodingitici, e in scaglie minori, scistoso-laminati o milonitici.

 Cresta di morena

 **i** Deposito di origine mista
Deposito di origine mista. Deposito eterogeneo, con stratificazione grossolana a matrice sabbiosa poco limosa, con intercalazioni di ghiaie e sabbie selezionate

 **c5** Till di ablazione
Till di ablazione. Deposito eterometrico grossolano, non addensato, a supporto di clasti, da massivo a mal stratificato in lenti inclinate, con ciottoli e blocchi spigolosi o smussati in matrice sabbiosa.

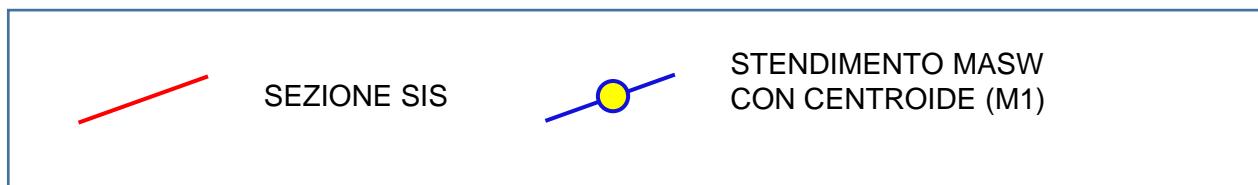
MODELLO DI POSSIBILE RUSCELLAMENTO SUPERFICIAE CONCENTRATO DA DTM SU
CARTA DELLE PENDENZE e ORTOFOTO



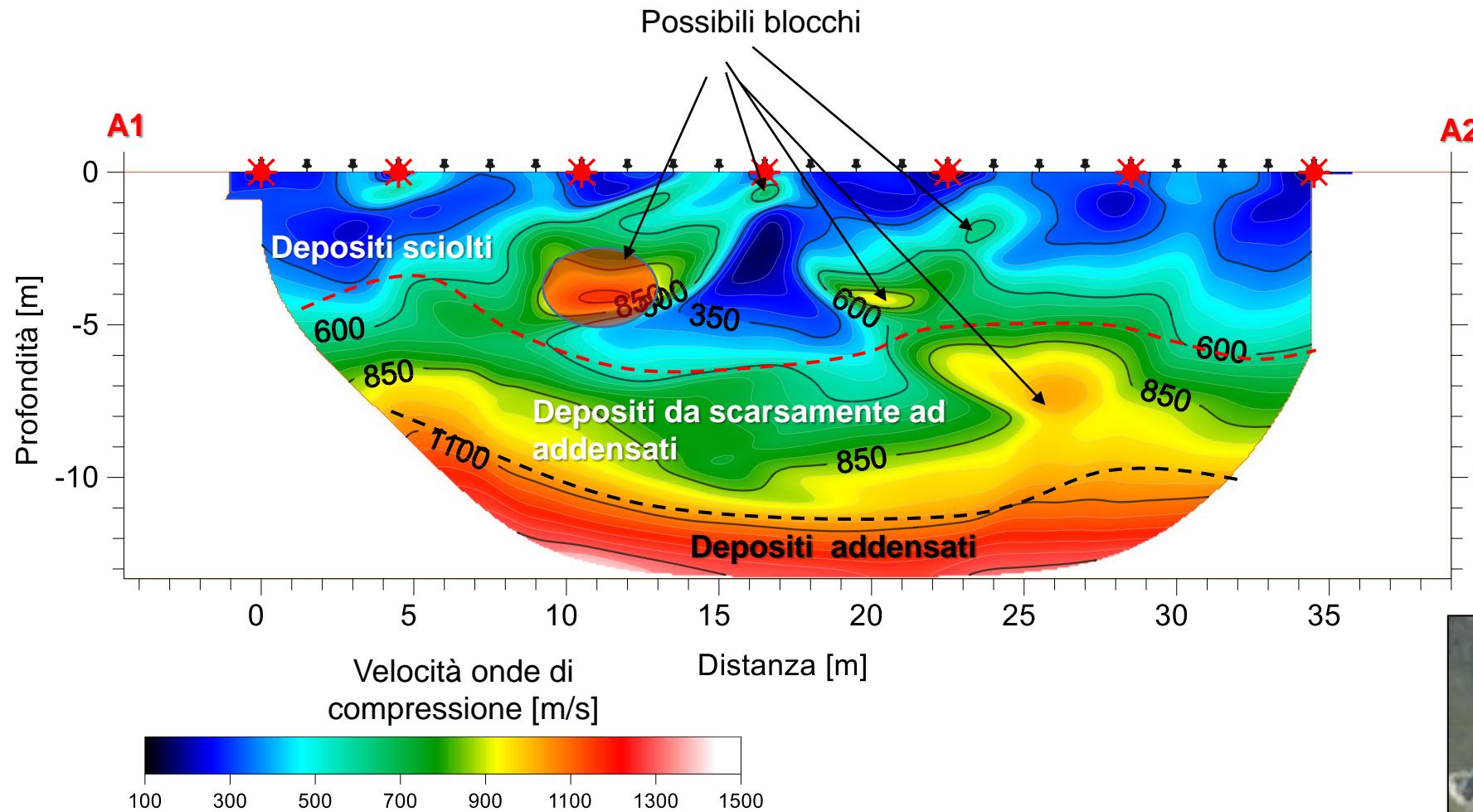
UBICAZIONE STENDIMENTI E PROVE GEOFISICHE DI CARATTERIZZAZIONE



ID	COORDINATE UTM –ED50-32N	
	X [m]	Y [m]
A1	394318.71	5080700.2
A2	394303.63	5080731.42
M1	394311.04	5080715.81

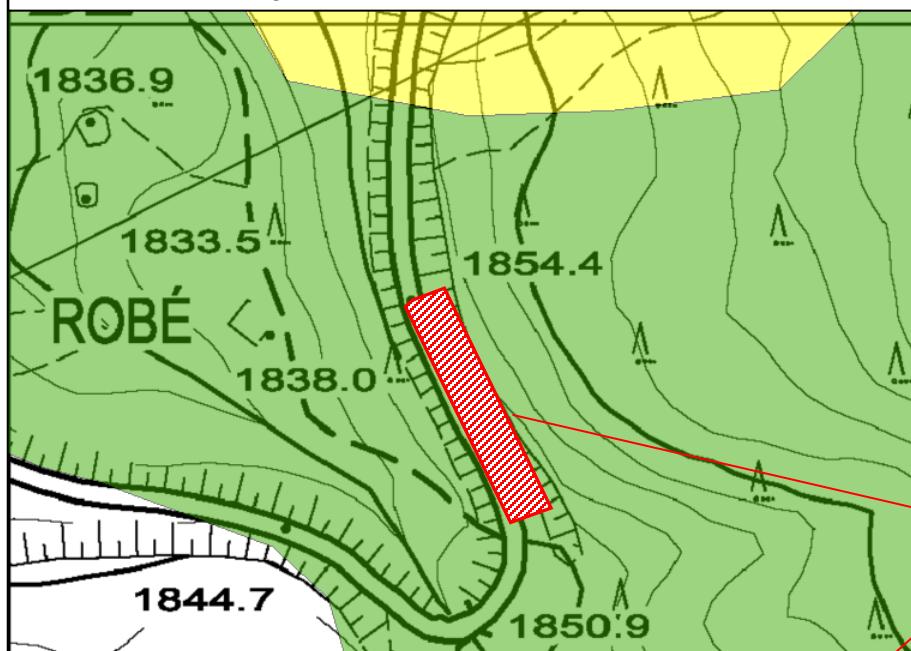


MODELLO TOMOGRAFICO DELLA SEZIONE SISMICA IN ONDE DI COMPRESSIONE

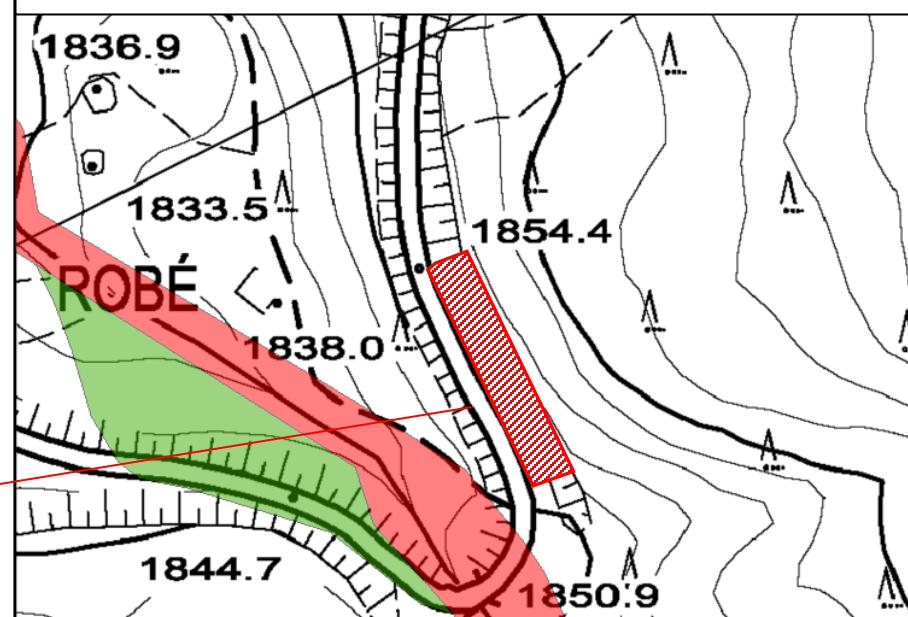


TIPOLOGIA	n° geofoni	Spaziatura sensori [m]	Lunghezza tot [m]	Profondità di indagine [m]	Energizzazioni [n°ch./m]
Sismica a rifrazione	24	1.5	34.5	13	1,4,8,12,16, 20,24

Stralcio della cartografia del rischio di frana – art. 35, L.R. 11/98

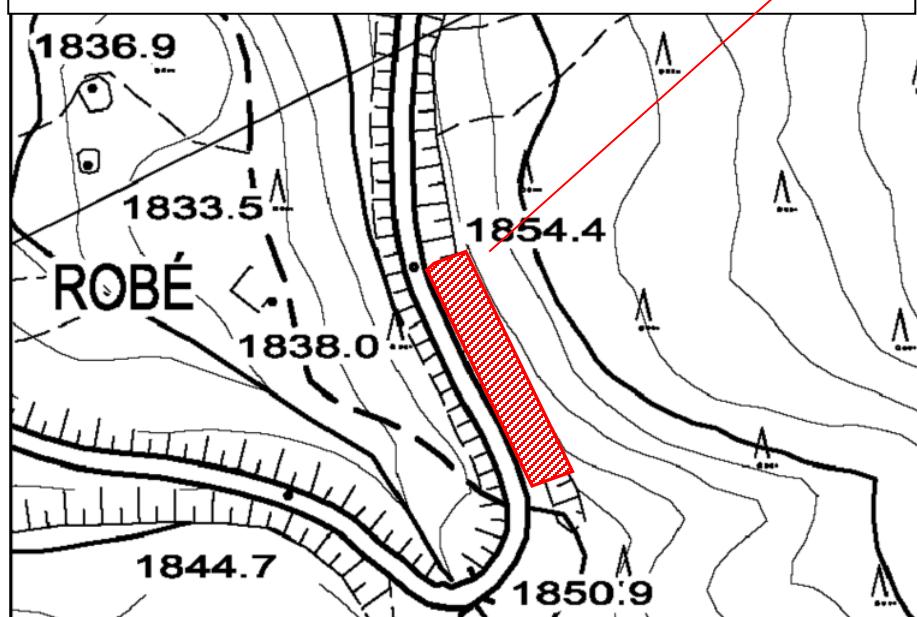


Stralcio della cartografia del rischio di inondazione – art. 36, L.R. 11/98



Area in cui si localizza l'intervento

Stralcio della cartografia del rischio valanghivo – art. 37, L.R. 11/98



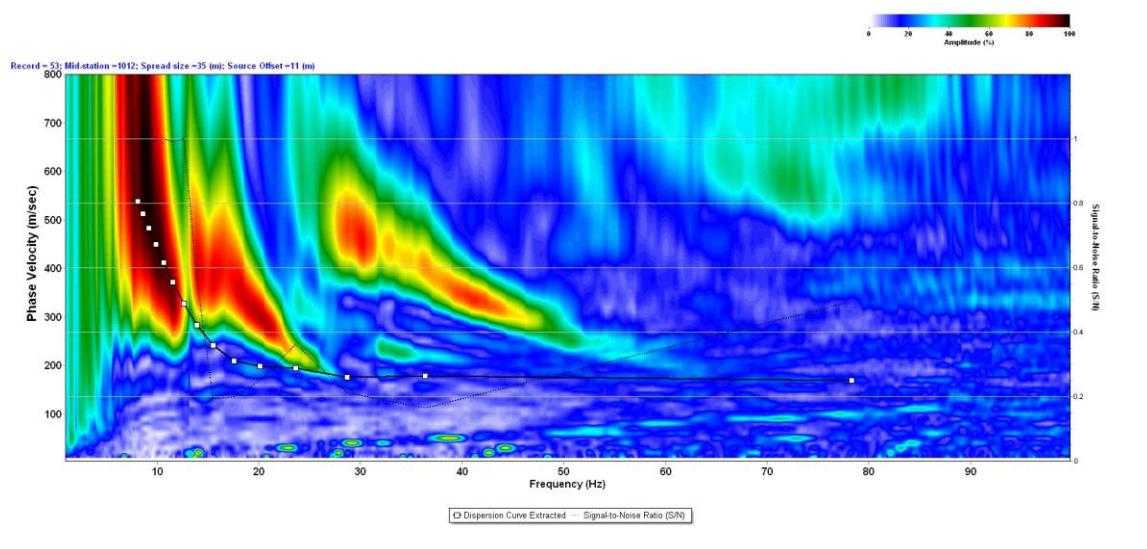
LEGENDA

- F1/FA Aree ad alta pericolosità
- F2/FB Aree a media pericolosità
- F3/FC Aree a bassa pericolosità
- UBICAZIONE INTERVENTO



CERTIFICATO PROVA MASW

PROVA MASW - SPETTRO IN FREQUENZA E CURVA DI DISPERSIONE ESTRATTA



UBICAZIONE PROFILO MASW



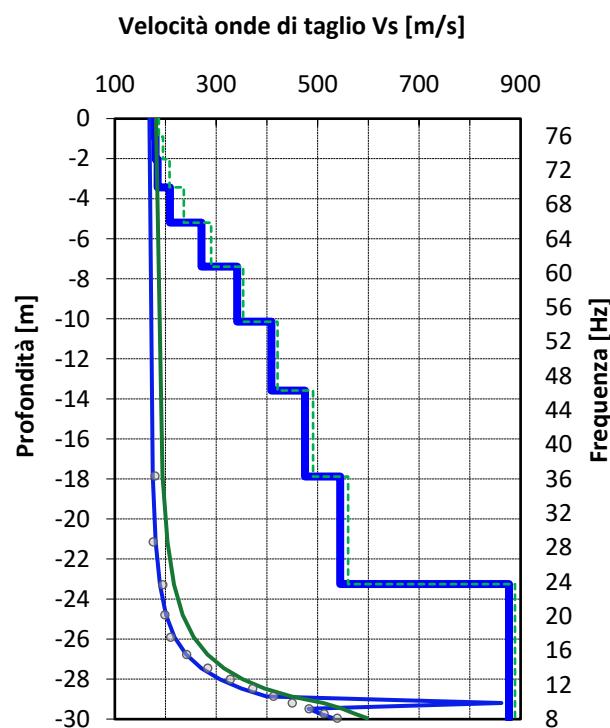
Stendimento linea MASW
Centro linea MASW Ubicaz. profilo Vs₃₀

MODELLO Vs A 10 STRATI

Strato	Profondità [m]		Vs [m/s]
	da	a	
1	0.0	-0.9	176
2	-0.9	-2.0	180
3	-2.0	-3.4	185
4	-3.4	-5.2	209
5	-5.2	-7.4	271
6	-7.4	-10.1	341
7	-10.1	-13.6	409
8	-13.6	-17.9	475
9	-17.9	-23.3	544
10	-23.3	-30.0	877

Codice di calcolo: SurfSeis 6.4.1.46

PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO



Ubicazione centro MASW

Coordinate UTM ED50

Zona	32N
EST	394311.04
NORD	5080715.81

LEGENDA

Modello di velocità Vs

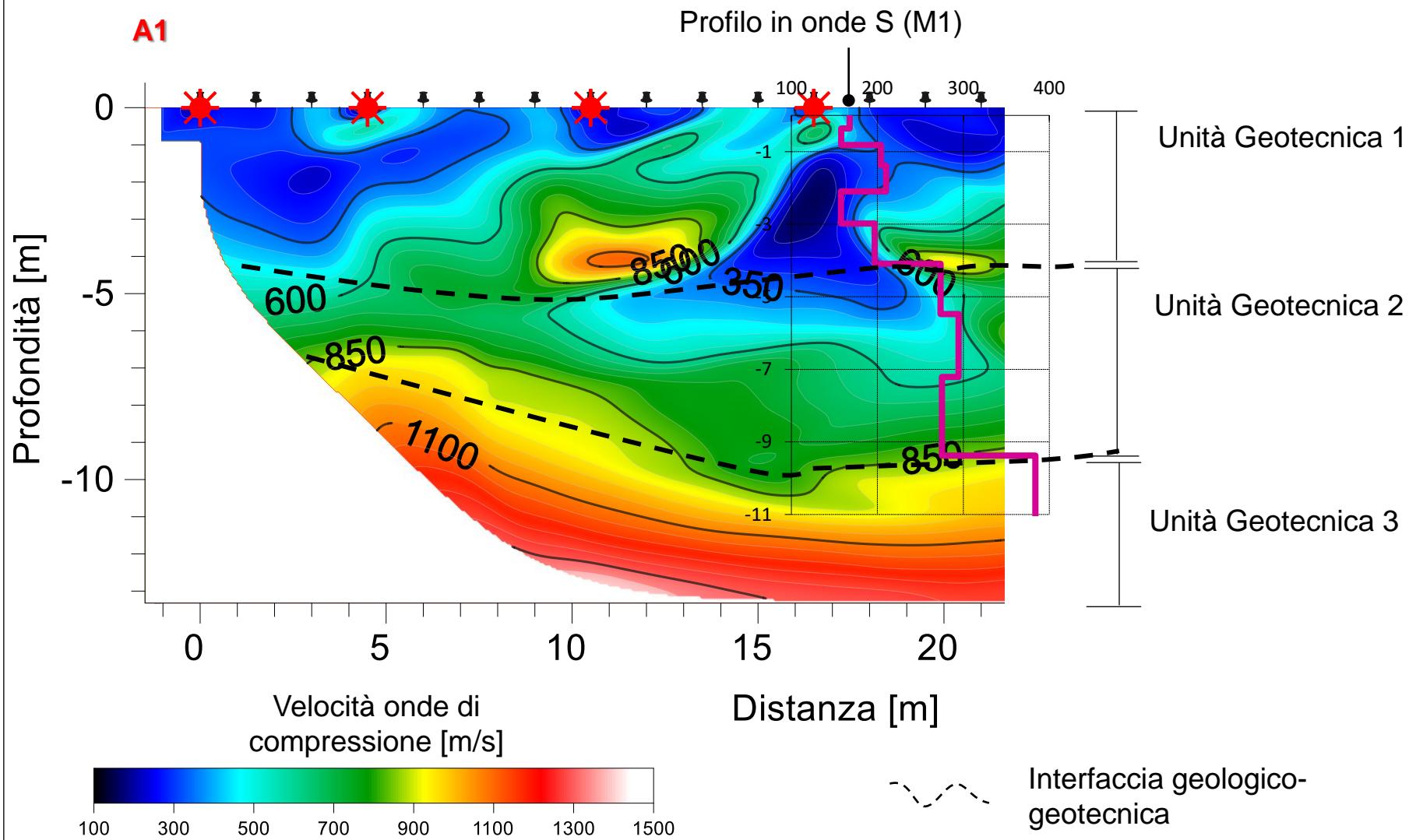
---	Vs iniziale
—●—	Vs finale

Curva di dispersione V_{fase}/f

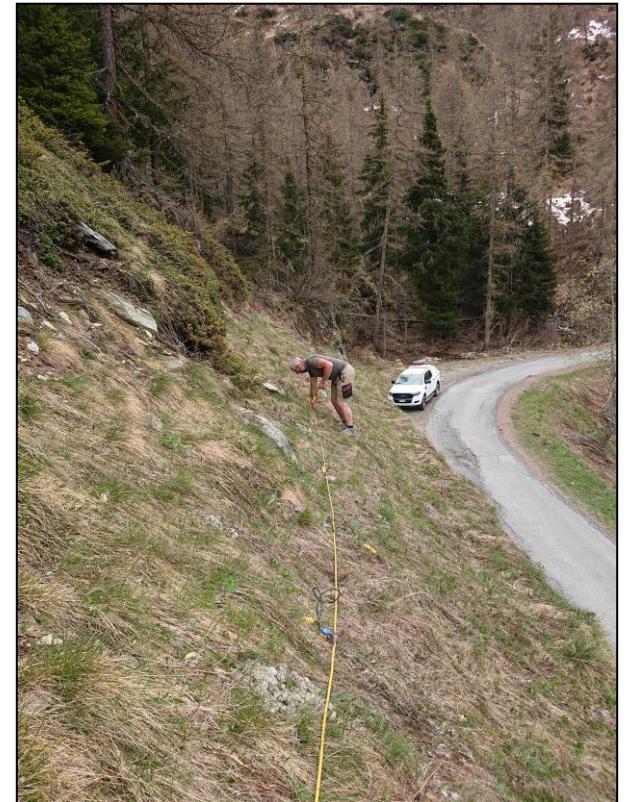
—	Curva di disp. iniziale
—●—	Curva di disp. Finale
○	Modo fond. misurato

SUOLO	DESCRIZIONE GEOTECNICA	Vseq [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.	328 (media pesata sugli spessori compresi tra 0 e -23.3 m)

CONFRONTO TRA LA SEZIONE SISMICA E IL PROFILO MASW



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Ing. Grimod Alberto

Sito di indagine:
Prominod, Valtournenche (AO)



Indagine sismica con metodologia MASW finalizzata alla determinazione
del parametro V_{s30} per la classificazione sismica dei suoli

Relazione Tecnica

Relazione n.: 21-183
Revisione n.: 0
Data: Maggio 2021
Redatto da: Dott. Geol. Paolo Zamparutti
Controllato da: Dott. Geol. Mario Naldi

1	Introduzione	pag. 1
2	Strumentazione utilizzata	pag. 1
3	Acquisizione ed elaborazione dati	pag. 1
4	Normativa sismica vigente	pag. 2
5	Risultati della prova MASW	pag. 4

ALLEGATO A Certificato esito prova MASW

ALLEGATO B Cenni teorici sulla metodologia MASW

1 INTRODUZIONE

La presente relazione illustra e descrive le indagini geofisiche di tipo sismico (MASW – Multichannel Analysis of Surface Waves) realizzate presso:

Sito:	Prominod, Valtournenche (AO)				Regione:	Valle d'Aosta
Norm. regione:	D.G.R. n. 1603 del 04.10.2013 e s.m.i.				Zona sismica:	3
Progetto:	ombrelli paravalanghe					
Coordinate GPS	Datum: WGS84	Proiezione: UTM	Zona: 32N	EST: 382187.96	NORD: 5069841.09	

Scopo dell'indagine è definire il parametro V_{s30} per la classificazione sismica dei suoli (in accordo al D.M. 17.01.2018 e successivi aggiornamenti). In quanto segue si illustrano ed analizzano i risultati ottenuti.

2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'acquisizione dei dati sismici è stata realizzata con un sismografo a 24 canali dotato di un convertitore analogico/digitale a 24 bit (unità Daq Link IV, Seismic Source ltd.). Lo strumento è fornito di una connessione di rete standard 10/100 (base RJ45) per la comunicazione con un computer portatile su cui è installato un apposito programma (VibraScope ® v.2.4.40) che gestisce la visualizzazione, l'analisi e la memorizzazione delle forme d'onda registrate.

I geofoni utilizzati (Weihai Sunfull) possiedono una frequenza di risonanza pari 4.5 Hz con distorsione inferiore allo 0.2%.

L'energizzazione si è ottenuta con massa battente da 10 Kg su piastra metallica. Per l'innesco (trigger) si è utilizzato uno "shock sensor" collegato alla mazza battente e connesso via cavo al sismografo.

Cenni relativi alla metodologia di indagine sono riportati in Appendice B.

3 ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Come detto nel capitolo introduttivo, l'indagine ha previsto la realizzazione di una prova MASW, la cui ubicazione viene riportata in Allegato A – pag. 1).

La prova, secondo quanto previsto dagli standard internazionali riportati nella Tabella 1 della pagina seguente, è stata eseguita con un set-up di acquisizione composto da:

Geofoni	Numero 24	Frequenza [Hz] 4.5	Interasse [m] 1.5	Lungh. linea [m] 34.5
Energizzazioni	Mazza [Kg] 10	Punti energ. [n°] 6	Max dist.da G1 [m] 10.5	Min dist.da G1 [m] 0

Per ogni punto di energizzazione sono stati generati almeno 3 impulsi sismici.

Tabella 1 - Disposizione geometrica ottimale su linea MASW in relazione alla profondità di indagine

Recommended Values in ()														
Depth (Z_{max}) ¹ (m)	Source (S) ² (lb)	Receiver (R) ³ (Hz)	Receiver Spread (RS) (m)				SR Move ⁶ (dx)			Recording ⁸				
			Length ⁴ (D)	Source Offset ⁵ (X ₁)	Receiver Spacing (dx)		Lateral Resolution ⁷			dt ⁹ (ms)	T ¹⁰ (sec)	Vertical Stack ¹¹		
					24-ch*	48-ch	High	Medium	Low			C	N	VN
≤ 1.0	≤ 1 (1)**	4.5-100 (40)	1-3 (2.0)	0.2-3.0 (0.4)	0.05-0.1 (0.1)	0.02-0.05 (0.05)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	0.5-1.0 (0.5)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
1-5	1-5 (5)	4.5-40 (10)	1-15 (10)	0.2-15 (2)	0.05-0.6 (0.5)	0.02-0.3 (0.25)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	0.5-1.0 (0.5)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
5-10	5-10 (10)	≤ 10 (4.5)	5-30 (20)	1-30 (4)	0.2-1.2 (1.0)	0.1-0.6 (0.5)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	0.5-1.0 (1.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
10-20	≥ 10 (20)	≤ 10 (4.5)	10-60 (30)	2-60 (10)	0.4-2.5 (1.5)	0.2-1.2 (1.0)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	1.0-2.0 (1.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
20-30	≥ 10 (20)	≤ 4.5 (4.5)	20-90 (50)	4-90 (10)	0.8-3.8 (2.0)	0.4-1.9 (1.5)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (1.0)	1.0-2.0 (1.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
30-50	≥ 10 (20) or passive	≤ 4.5 (4.5)	30-150 (70)	6-150 (15)	1.2-6.0 (3.0)	0.6-3.0 (2.0)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (1.0)	1.0-3.0 (1.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
> 50	≥ 10 (20) or passive	≤ 4.5 (4.5)	> 50 (150)	> 10 (30)	> 2.0 (6.0)	> 1.0 (4.0)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (1.0)	≥ 1.0 (2.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)

I dati acquisiti sono stati elaborati con il software Surfseis V. 6.4.1 (Kansas University, USA), che analizza la curva di dispersione sperimentale per le onde di Rayleigh. L'inversione numerica della curva, secondo un processo iterativo ai minimi quadrati, consente di ottenere un profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo.

4 NORMATIVA SISMICA VIGENTE

La normativa vigente individua come parametro di riferimento per la classificazione sismica dei suoli la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ (in m/s) e viene calcolata mediante l'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

h_i = spessore dello strato i-esimo (espresso in m)
 $V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio dell'i-esimo strato (espressa in m/s)
 N = numero di strati
 H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800

Nella Tabella 2 riportata nella pagina seguente, si presenta la classificazione sismica prevista dal Decreto Ministeriale del 17.01.2018 (T.U. costruzioni).

Tabella 2 - Classificazione del tipo di suolo secondo la vigente normativa sismica italiana

TIPO DI TERRENO	PROFILO STRATIGRAFICO	$V_{s,eq}$ [m/s]
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	> 800
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.	< 800 > 360
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.	< 360 > 180
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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 a 180 m/s.	< 180 > 100
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.	

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 metri, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m. nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le suddette classi di suolo consentono il calcolo semplificato delle azioni sismiche secondo le indicazioni fornite al § 3.2.3 delle NTC 2018; per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

5 RISULTATI DELLA PROVA MASW

L'analisi del profilo stratigrafico, riportato in Allegato A – pag. 2, evidenzia un assetto sismo-stratigrafico descritto nella tabella seguente.

Livello	Profondità [m da p.c.]	Descrizione	Velocità Vs [m/s]
1	0 ÷ 5.2	Primo sismostrato costituito da depositi sciolti in parte rimaneggiati	176 ÷ 209
2	5.2 ÷ 23.3	Secondo sismostrato costituito da depositi con addensamento crescente con la profondità, probabile origine gravitativa- glaciale	271 ÷ 544
3	23.3 ÷ 30	Terzo sismostrato costituito da materiali addensati, probabile depositi glaciali di fondo passanti a substrato	877

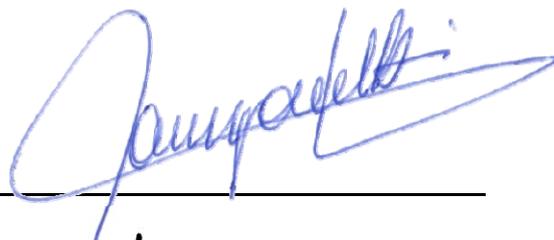
Il valore di $V_{S,eq}$ calcolato dal piano campagna a -23.3 m è pari a 328 m/s. Pertanto è possibile definire il contesto geotecnico esaminato come suolo di classe sismica "C".

$V_{S,23.3}$ [m/s]	Classe di suolo	Profilo stratigrafico
328	C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Techgea S.r.l.

Relazione redatta da:

Dott. Geol. Paolo Zamparutti



Controllata da:

Dott. Geol. Mario Naldi



ALLEGATO A
Certificato esito prova MASW

COMMITTENTE	Ing. Grimod Alberto
RELAZIONE	21-183
LOCALITA'	Prominod, Valtournenche (AO)
DATA	Maggio 2021

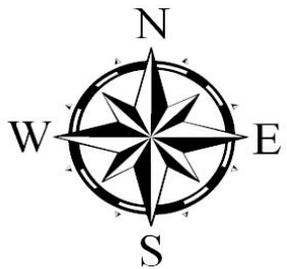
Azienda certificata UNI EN ISO
9001:2015
Certificato n. IT246983
Bureau Veritas Italia S.p.A.



ALLEGATO A

Pagina 1

UBICAZIONE INDAGINE MASW

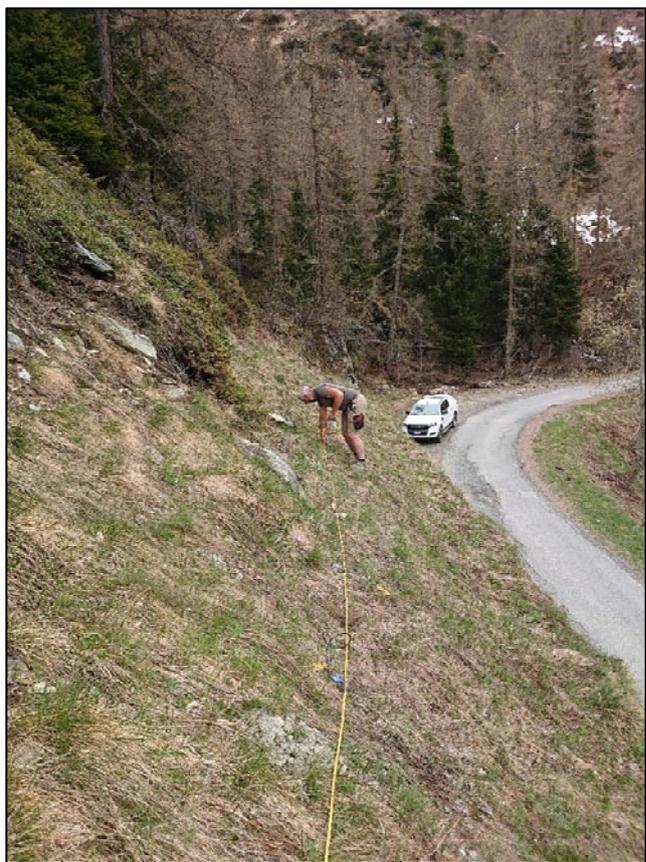


LEGENDA

- Stendimento linea MASW
- Centro linea MASW Ubicaz. profilo Vs₃₀

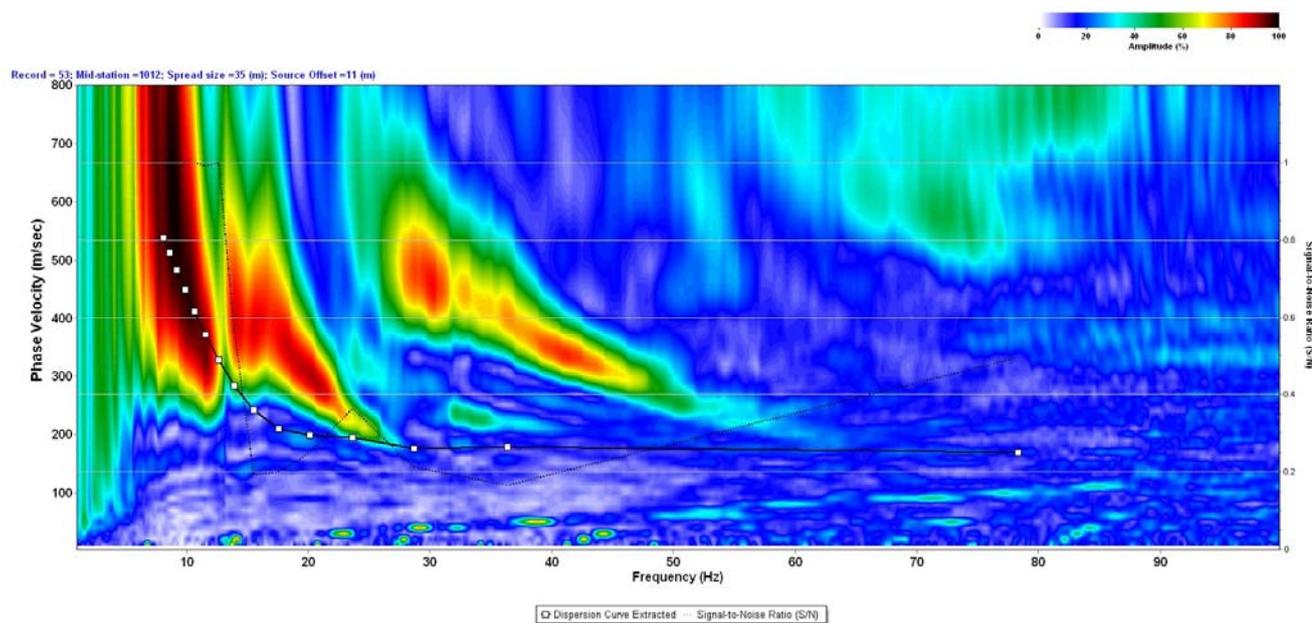
Ubicazione centro MASW	
Coordinate UTM WGS84	
Zona	32N
EST	382187.96
NORD	5069841.09

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

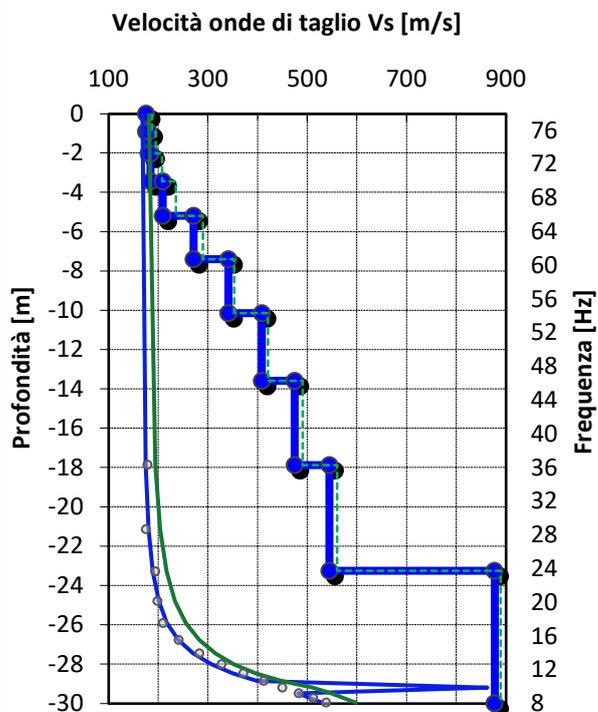


COMMITTENTE	Ing. Grimod Alberto	SISMOGRAFO	DAQ LINK IV	
RELAZIONE	21-183	GEOFONI	24 (freq. 4.5 Hz)	
LOCALITA'	Prominod, Valtournenche (AO)	ACQUISITION TIME	1.0 s	ALLEGATO A
DATA	Maggio 2021	SAMPLE INTERVAL	0.50 ms	Pagina 2

PROVA MASW - CURVA DI DISPERSIONE DELLE ONDE DI RAYLEIGH



PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO



LEGENDA	
Modello di velocità Vs	
	Vs iniziale
	Vs finale
Curva di dispersione V_{fase}/f	
	Curva di disp. iniziale
	Curva di disp. Finale
	Modo fond. misurato

MODELLO Vs A 10 STRATI			
Strato	Profondità [m]		Vs [m/s]
	da	a	
1	0.0	-0.9	176
2	-0.9	-2.0	180
3	-2.0	-3.4	185
4	-3.4	-5.2	209
5	-5.2	-7.4	271
6	-7.4	-10.1	341
7	-10.1	-13.6	409
8	-13.6	-17.9	475
9	-17.9	-23.3	544
10	-23.3	-30.0	877

Codice di calcolo: SurfSeis 6.4.1.46

SUOLO	DESCRIZIONE GEOTECNICA	V _{seq} [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.	328 (media pesata sugli spessori compresi tra 0 e -23.3m)

ALLEGATO B

Cenni sulla metodologia MASW

CENNI TEORICI SULLA METODOLOGIA DI INDAGINE MASW

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo è un fenomeno multimodale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse lunghezze d'onda. Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase, ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente.

La curva di dispersione ottenuta elaborando i dati derivanti dalle indagini sismiche col metodo SWM (Surface Waves Multichannel) è una curva apparente derivante dalla sovrapposizione delle curve relative ai vari modi di vibrazione, e che, per i limiti indotti dal campionamento, non necessariamente coincide con singoli modi nei diversi intervalli di frequenza campionati.

Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali, schematizzato nelle Figure 1, 2 e 3, può essere suddiviso in tre fasi:

- 1) Acquisizione dati (Figura 1);
- 2) Elaborazione dati (Figura 2);
- 3) Inversione numerica (Figura 3).

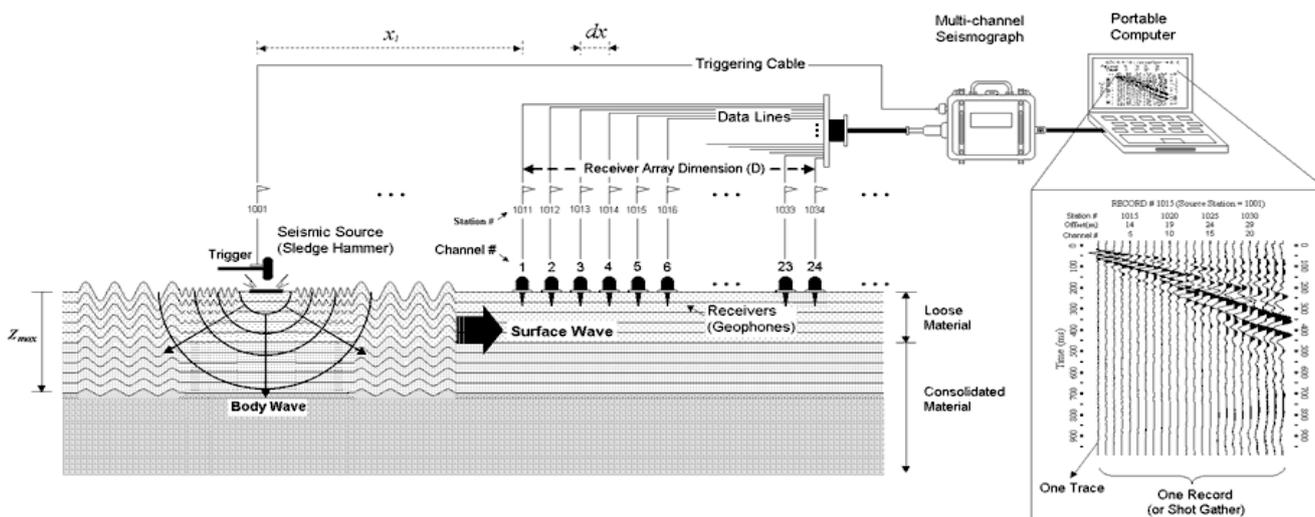


Figura 1 - Schema di acquisizione dati MASW

I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto ovvero, la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (il codice di calcolo utilizzato è SurfSeis® versione 4.0.2, Kansas University USA).

Esistono diverse tecniche di processing per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale in dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti a una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere la curva di dispersione delle onde di Rayleigh, nell'ipotesi che, nell'intervallo di frequenze analizzato, le onde che si propagano con il maggiore contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh, e che le caratteristiche del sito siano tali da consentire la propagazione delle onde superficiali, nonché un comportamento dispersivo delle stesse.

Si dimostra infatti che la velocità delle onde di Rayleigh è associata ai massimi dello spettro f-k; si può ottenere facilmente una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza il picco spettrale, al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh V_R , determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

$$V_R(f) = 2\pi f/k$$

Riportando le coppie di valori (V_R, f) in un grafico, si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione (Figura 2). La fase di inversione deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo visco-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati.

Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, ed eventualmente delle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Usualmente, algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati vengono utilizzati per automatizzare la procedura (Figura 3).

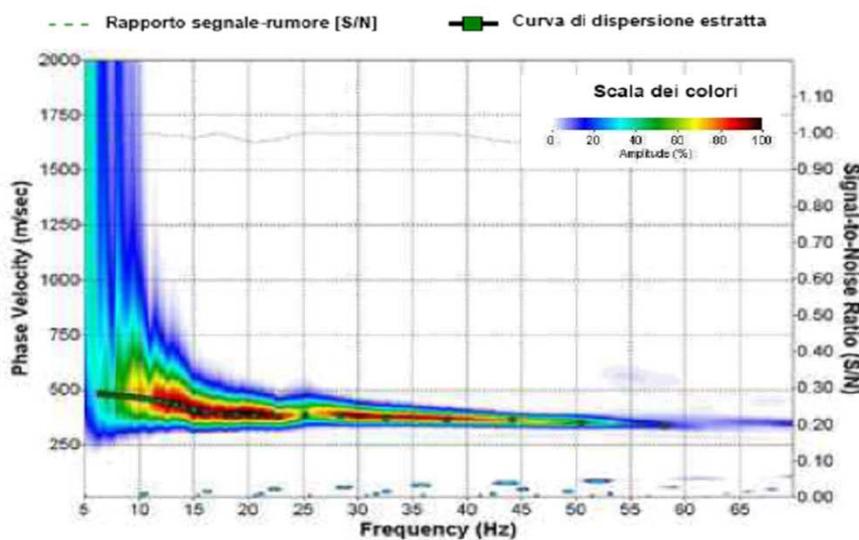


Figura 2 - Curva di dispersione della velocità V_s in funzione della frequenza e della velocità di fase

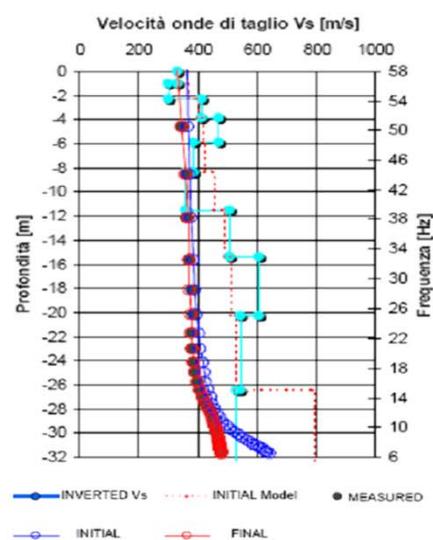


Figura 3 - Modello di propagazione delle velocità delle onde V_s