

**REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA
COMUNE DI LA THUILE**

LOCALITÀ VILLARET

**INSTALLAZIONE REGOLATORI TENSIONE PRESSO
CABINA SECONDARIA**

**RELAZIONE GEOLOGICA ai sensi del D.M. 17/01/2018 e
STUDIO DI COMPATIBILITA' ai sensi della D.G.R. 1117/2025**

**Committente:
DEVAL S.p.A. a s.u.**

Saint-Pierre, gennaio 2026

Dr. Geol. Elisabetta Drigo



Elisabetta Drigo

INDICE

1. PREMESSA	2
2. UBICAZIONE E CARATTERISTICHE DEL PROGETTO	3
3. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	7
4. PERICOLOSITÀ GEOLOGICA E ANALISI DEI POTENZIALI DISSESTI	15
5. INDAGINE GEOFISICA E CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI IN RELAZIONE ALLA RISPOSTA SISMICA LOCALE (D.M. 17.01.2018)	23
5.1 NORMATIVA SISMICA VIGENTE	25
5.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA	26
6. MODELLO GEOLOGICO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E IDROGEOLOGICA	28
7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E RACCOMANDAZIONI DI CARATTERE GEOTECNICO	30
8. ANALISI DI COMPATIBILITÀ DELL'INTERVENTO ESISTENTE AI SENSI DELL'ART. 38 DELLA L.R. 11/1998 E DELLA D.G.R. 1117/2025	31
8.1 INQUADRAMENTO DELL'AREA D'INTERVENTO E CLASSIFICAZIONE URBANISTICO-EDILIZIA	31
8.2 CARATTERIZZAZIONE DEI VINCOLI PRESENTI E AMMISSIBILITÀ DELL'INTERVENTO	31
8.3 ANALISI DELLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ	33
8.4 VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ DELL'OPERA	35
8.5 ANALISI DI COMPATIBILITÀ E DI NON AGGRAVAMENTO DEL RISCHIO	35
8.6 MISURE DI MITIGAZIONE E DI RIDUZIONE DEL RISCHIO	35
8.7 MOTIVAZIONE DELLA LOCALIZZAZIONE E DELLE MODALITÀ REALIZZATIVE	36
8.8 CONCLUSIONI	36

Allegato

Dichiarazione di compatibilità

Allegato

Cenni teorici sulla metodologia di indagine MASW

1. PREMESSA

La presente relazione, redatta su incarico di Deval S.p.A., si riferisce al progetto di realizzazione, nel settore di Villaret di La Thuile, di un basamento per la posa di una macchina elettrica (stabilizzatore di corrente).

La relazione viene redatta sia a supporto della progettazione del previsto intervento, sia per la verifica della compatibilità dello stesso con il quadro geologico ed idrogeologico del settore in cui ricade il progetto.

Nella cartografia degli ambiti inedificabili del Comune di La Thuile, redatta ai sensi dell'art. 3 della l.r. 11/1998, il progetto ricade in area classificata a media pericolosità (Zona F2) - cartografia approvata con D.G.R. n. 2111 del 21/06/2004 e successive varianti.

Per quanto riguarda la relativa disciplina d'uso, il progetto, ammissibile, deve essere corredato da uno specifico studio sulla compatibilità dell'intervento con lo stato di pericolosità, finalizzato a *“individuare le eventuali conseguenze della realizzazione dell'attività sullo stato di dissesto, a valutare la vulnerabilità dell'opera realizzata e ad individuare le misure di riduzione dei rischi a livelli accettabili e sostenibili realizzabili”*.

Scopo della presente relazione è pertanto quello di definire le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche in generale dell'area, oltre che le problematiche riconosciute in sede di redazione delle carte degli ambiti inedificabili, tali da classificare il settore a media pericolosità per frana.

Lo studio si è articolato nelle seguenti attività:

- analisi della documentazione progettuale disponibile;
- analisi della documentazione tecnica di interesse, con riferimento particolare alla cartografia geologica regionale e catasto dissesti della Regione Valle d'Aosta;
- esame delle fotoaeree;
- rilievo geologico - geomorfologico di dettaglio nel settore interessato dall'opera;
- caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni di fondazione.

La relazione è redatta in conformità con quanto prescritto dal D.M. 17/01/2018 e dalla D.G.R. 1117/2025.

2. UBICAZIONE E CARATTERISTICHE DEL PROGETTO

Il settore di studio è ubicato alla quota di ca. 1500 m s.l.m., ca. 300 m a NE della frazione Villaret, pochi metri a monte della strada comunale di Petosan ed in adiacenza alla pista da fondo dell'anello "Arly", quest'ultima utilizzata nei periodi non invernali anche come pista agricola e percorso pedonale.

Il progetto, a firma dell'Ing. G. Lanteri, prevede la realizzazione, in prossimità dell'esistente cabina elettrica secondaria DEVAL, di un basamento in c.a. di dimensioni pari a 4 x 4 m e spessore 40 cm, per la posa di una macchina elettrica (regolatore di tensione), con sottostante vasca in acciaio di raccolta olio, di spessore 46 cm. Il progetto è completato dalla realizzazione di una recinzione perimetrale in pannelli prefabbricati in grigliato ELS zincato (v. planimetria e sezione tipo di progetto di Figg. 6 e 7).

Per la realizzazione del piano di posa del basamento è previsto uno scavo coinvolgente in parte il pendio immediatamente a monte, con realizzazione di un muro di controripa in pietrame e malta. Lo scavo, di lunghezza pari a ca. 10 m, avrà un fronte provvisorio, considerando un rapporto di scarpa 2:1 (h:b), di altezza pari a ca. 4,00 m.

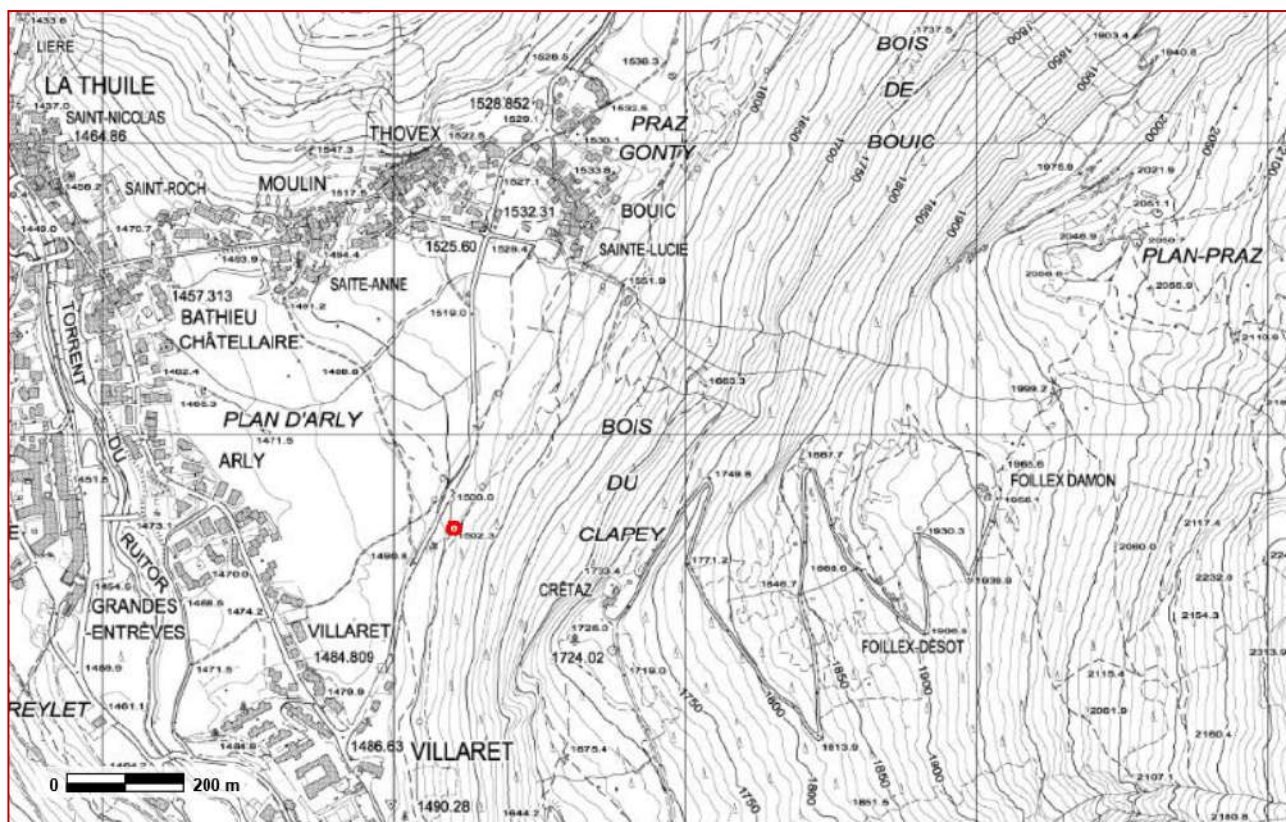


Fig. 1 – Corografia da C.T.R. in scala 1:10.000 con indicazione dell'area in cui ricade il progetto

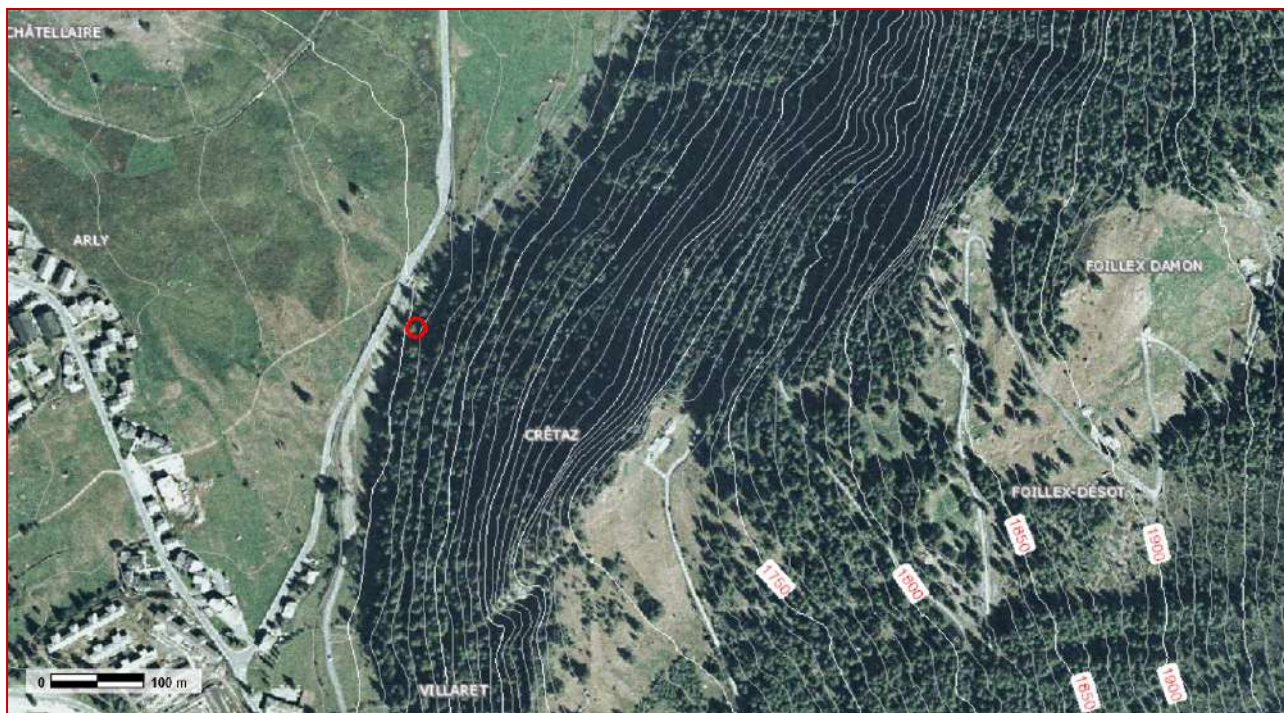


Fig. 2 – Fotoaerea del 2005-2006 con indicazione dell'area interessata dal progetto, a lato della pista



Fig. 3 – Vista da SW della cabina DEVAL, con l'area in cui è prevista la realizzazione del basamento



Fig. 4 – Area di prevista posa del basamento - Vista da N



Fig. 5 – Indicazione settore interessato dallo scavo

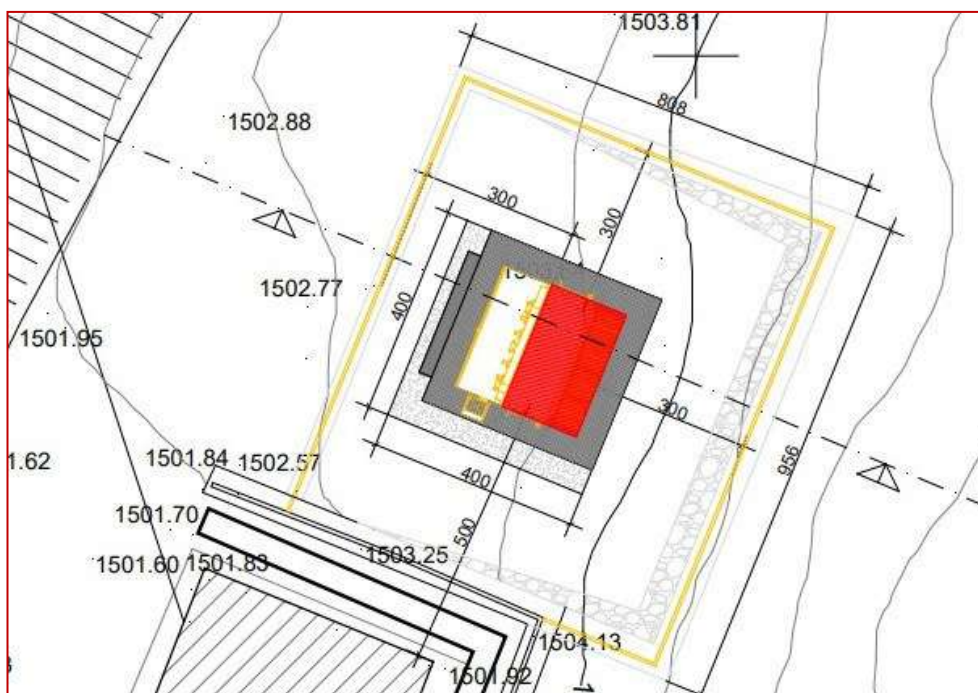


Fig. 6 – Estratto Elaborato 01 - Planimetria di progetto

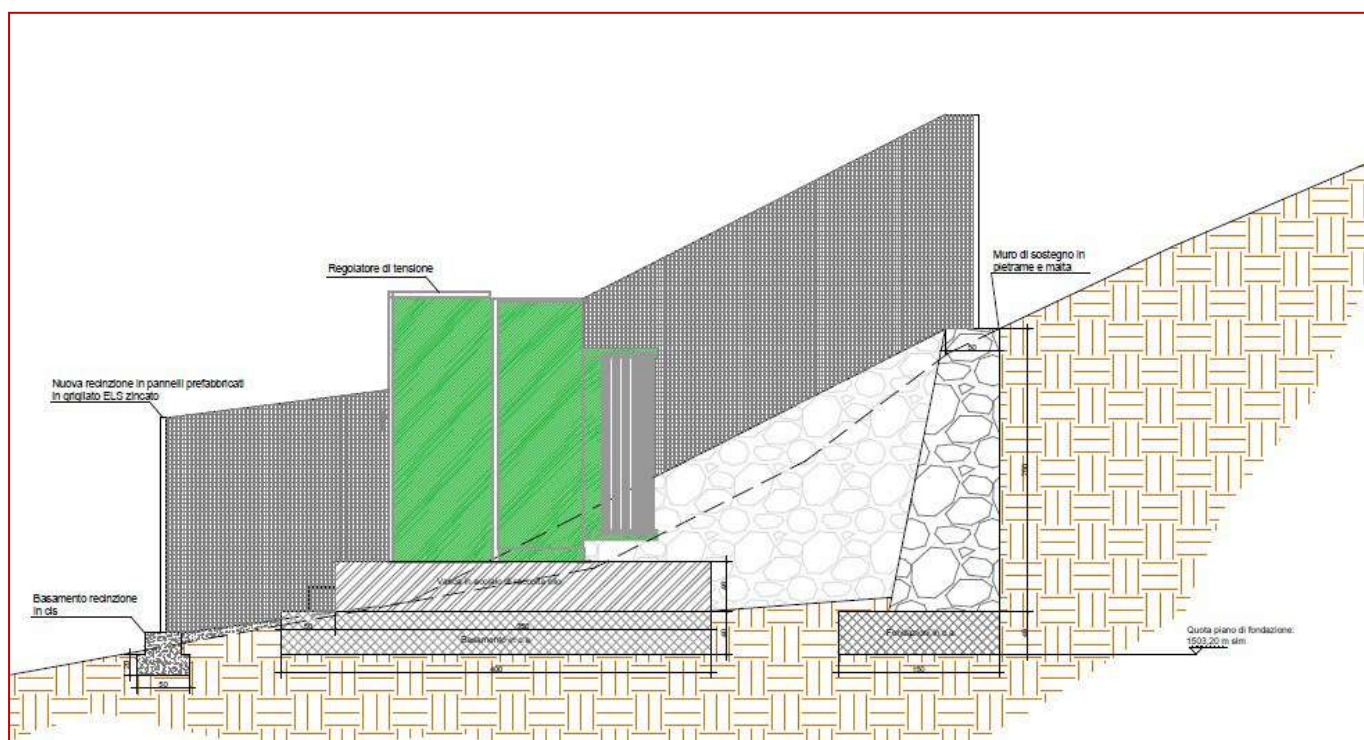


Fig. 7 – Estratto Elaborato 02 - Sezione tipo di progetto

3. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

Il previsto manufatto è ubicato alla quota di ca. 1500 m s.l.m., al piede del versante che delimita in sinistra idrografia l'estesa area a blanda acclività di Pian d'Arly, pochi metri a monte della strada comunale "di Petosan".

Il progetto ricade in un settore solo in parte rimodellato dall'azione antropica per la realizzazione della vicina cabina elettrica e della pista da fondo.

Dal punto di vista morfologico questo settore vallivo, laterale in destra idrografica della valle incisa dal torrente Ruitor, è caratterizzato da un profilo asimmetrico, con i versanti acclivi sulla sinistra idrografica, sviluppati fino alla dorsale spartiacque Mont Cormet - Colle San Carlo, l'estesa area a blanda acclività nel settore centrale, e l'antistante dorsale del Mont-du-Parc, a minore sviluppo altimetrico.

L'area di interesse è sovrastata da un ripido pendio boscato fino alla quota di circa 1660 m s.l.m. (inclinazione media 35°), oltre la quale è presente una fascia rocciosa subverticale di 50 - 60 m di altezza, delimitata superiormente da un terrazzo morfo-strutturale (q. 1730 m s.l.m.), di ampiezza media 70 m e in parte depresso (terrazzo di Cretaz), che interrompe la continuità del versante.

Al di sopra del terrazzo sono quindi sviluppati, fino alla quota di ca. 1950 m s.l.m., pendii prativi e boscati blandamente acclivi (inclinazione max. 18°), costituenti la fascia intermedia del versante, seguiti dai pendii più acclivi fino alla cresta rocciosa spartiacque a q. 2450 m s.l.m..



Fig. 8 – Panoramica sul versante a monte del previsto manufatto



**Fig. 9 – Dettaglio versante a monte del previsto manufatto.
È evidenziata la rottura di pendenza, con il terrazzo di Cretaz, a q. 1730 m s.l.m.**



Fig. 10 – Dettaglio sulla fascia rocciosa sottostante il terrazzo di Cretaz

Relativamente alle caratteristiche geologiche, con riferimento alla cartografia geologica regionale, alla cartografia geologica degli ambiti inedificabili ed ai dati da rilevamento diretto in sito, si distinguono, dall'alto verso il basso, i seguenti principali elementi:

- il substrato roccioso affiorante, presente a partire dal terrazzo di Cretaz (q. 1730 m s.l.m.) fino alla quota media di 1660 m s.l.m., costituito dalle sequenze metamorfiche di derivazione sedimentaria (metareniti l.s. con intercalazioni di quarziti) appartenenti alla Falda del Gran San Bernardo - Zona Houillère. In dettaglio il substrato costituisce una fascia rocciosa continua estesa per circa 170 m con direzione N-S, di altezza media 50 - 60 m;

- il detrito di falda, sviluppato a partire dalla base della fascia rocciosa (q media 1660 m s.l.m.) fino alla quota media di 1600 m s.l.m., costituito da blocchi detritici di volumetria prevalentemente decimetrica, vegetati;

- i depositi detritico-colluviali, sviluppati a partire dalla quota media di 1600 m s.l.m. fino al piede del pendio, ove è localizzato il previsto manufatto. Tali depositi sono a mascheramento/copertura di depositi detritici gravitativi non recenti, come testimoniato dalla presenza di muschio sulle superfici dei blocchi a tratti affioranti e, tra le quote 1550 e 1590 m s.l.m., di un deposito gravitativo di grosse dimensioni, rappresentato da diffusi blocchi ciclopici, assimilabili a substrato in posto, di cui uno principale, a q. 1590 m s.l.m., di volume stimato pari a ca. 1000 m³, sul quale è stata realizzata una palestra di arrampicata. Questi ultimi depositi sono riferibili ad un'antica frana di crollo, della quale non è più possibile individuare la nicchia di distacco sulla fascia rocciosa sovrastante.

Alla base del pendio sono inoltre distinti alcuni blocchi voluminosi subarrotondati, di origine glaciale, in parte derivati dallo scavo effettuato per la realizzazione della cabina elettrica.

- i depositi glaciali di fondovalle, costituenti la piana d'Arly, riferiti alla fase tardiglaciale (LGM - Last Glacial Maximum - Subsistema di Pileo - Till indifferenziato), con preservati cordoni morenici e depositi palustri nella porzione centrale della piana.

Su tutto il versante, a partire dalla base della fascia rocciosa fino alla quota della cabina, è sviluppato un bosco d'alto fusto (larici), con piante spaziate 8 - 10 m e diametro medio dei tronchi 80 cm, che si infittisce nella fascia superiore, con piante spaziate mediamente 3 - 5 m.



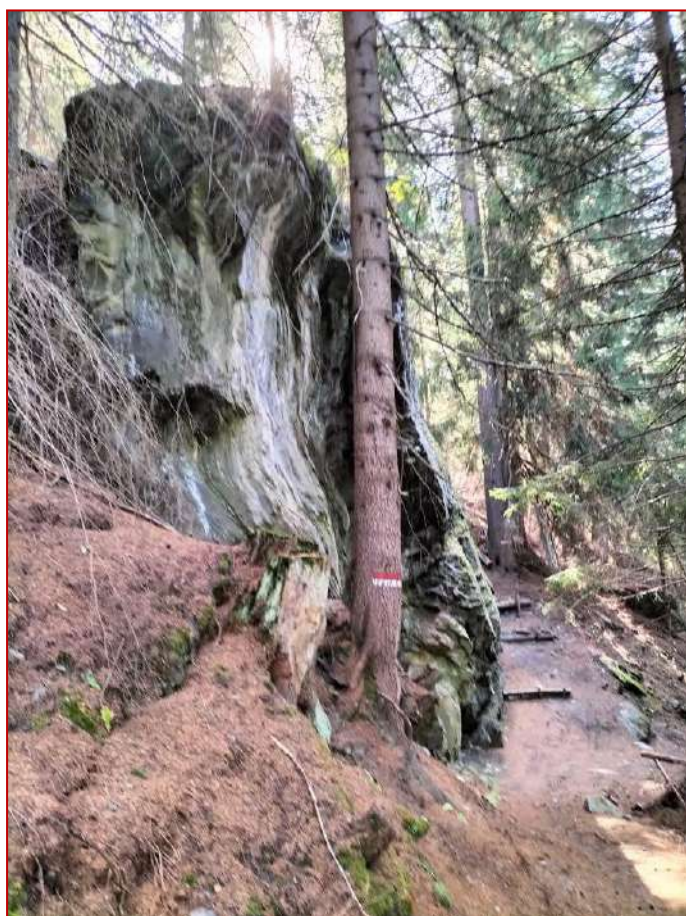
Fig. 11 – Pendio a monte della Cabina DEVAL e del previsto manufatto. Depositi detritico - colluviali a mascheramento di antichi depositi detritici gravitativi. Sono riconoscibili blocchi in parte emergenti, ricoperti di muschio, di volumetria compresa tra 1 m³ e 3 m³



Fig. 12 – Vista dalla Cabina DEVAL verso monte. Dettaglio sui blocchi costituenti la falda detritica mascherata dai depositi detritico-colluviali



Fig. 13 – Antico blocco di crollo ciclopico a q. 1590 m s.l.m., utilizzato come palestra di arrampicata



**Fig. 14 –
Vista laterale blocco di crollo ciclopico a
q. 1590 m s.l.m.**

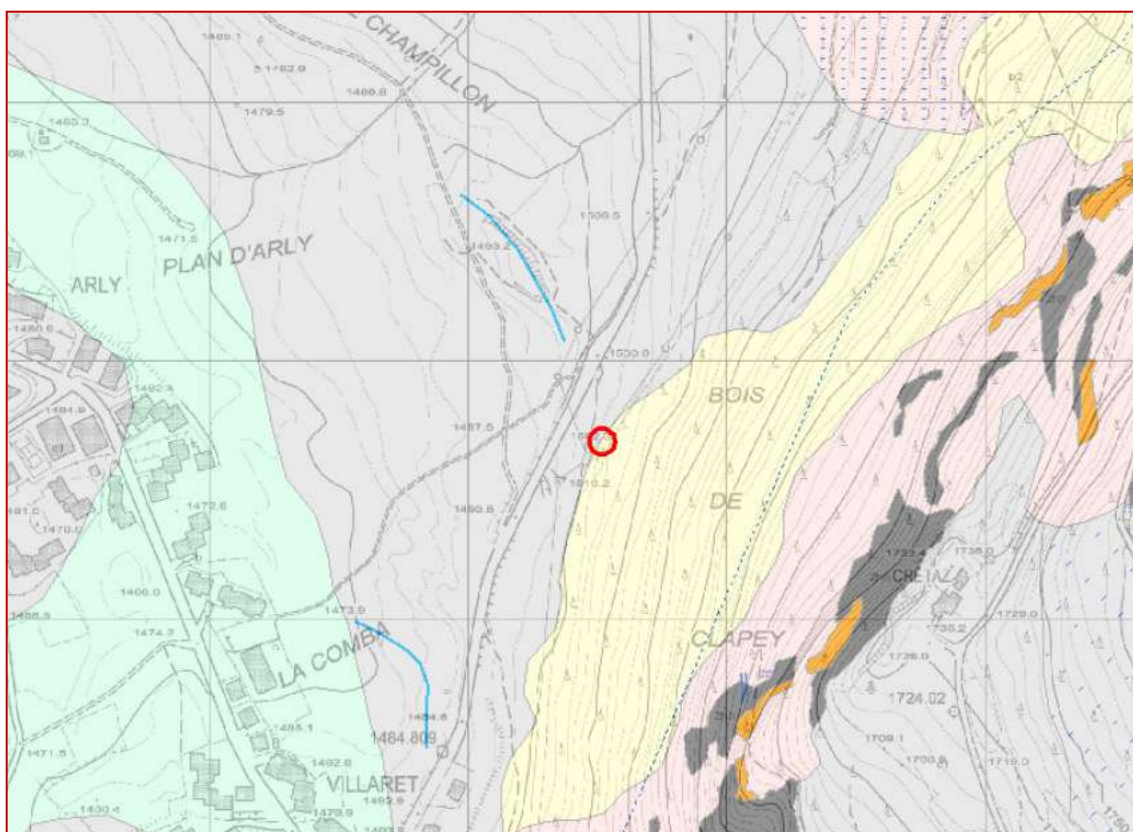


Fig. 15 – Estratto cartografia geologica regionale (CARG da rilevamento in scala 1:25.000 - 2018), con evidenziata l'area in cui ricade il progetto

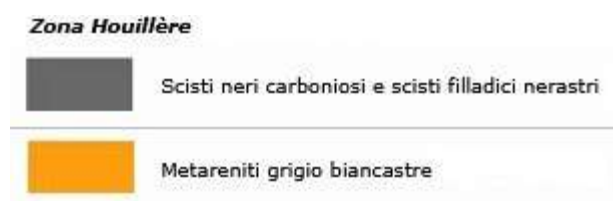
Legenda



Depositi quaternari



Substrato roccioso



Scisti neri con alternanze di potenza metrico-decametrica di quarzo micascisti localmente con arricchimenti carboniosi

Metaconglomerati a clasti di metarenarie, metapeliti, quarziti, con rare intercalazioni decimetriche di quarziti

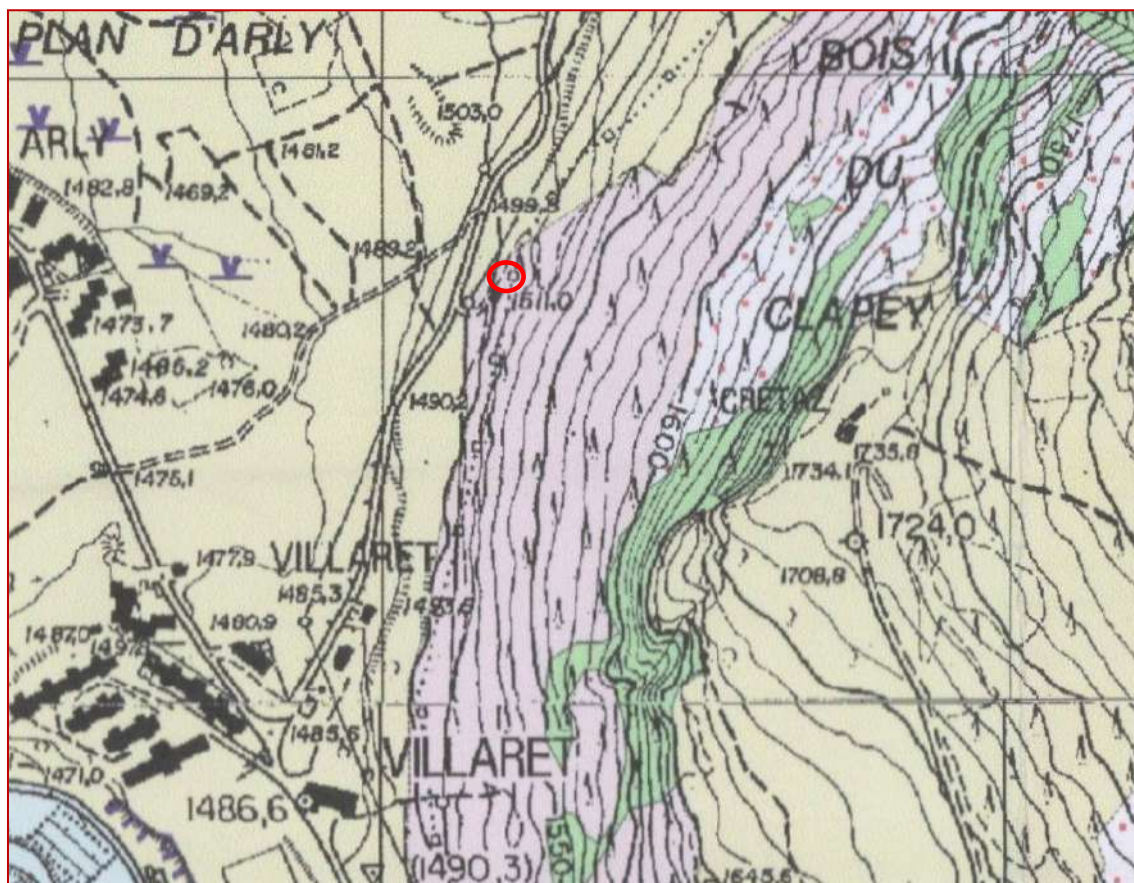
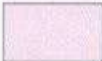
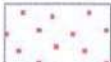


Fig. 16 – Estratto carta geologica facente parte della cartografia motivazionale degli ambiti inedificabili - Elaborato f1 nord est carta geologica (geol. R. Vuillermoz)

Legenda (estratto da elaborato f1 nord est carta geologica)

 Depositi glaciali di ablazione e/o indifferenziati

 Prodotti colluviali

 Depositi gravitativi di falda e di conoide

Zona Brianzonese

 Scisti neri con alternanze di micascisti grigi, quarzomicascisti e metaconglomerati

Relativamente alla situazione idrografica, nel settore di versante sovrastante l'area in esame non sono presenti corsi d'acqua, anche effimeri. Non si rilevano inoltre significativi avvallamenti costituenti potenziali direttrici di scorrimento delle acque superficiali, né tracce di erosioni superficiali, anche localizzate.

Per quanto riguarda l'idrogeologia, il deflusso delle acque sotterranee, nel contesto montano in cui si colloca l'area di interesse, avviene con modalità complesse. In assenza di dati è possibile ipotizzare una percolazione all'interno dei depositi di copertura regolata essenzialmente dalla gravità, diretta lungo la linea di massima pendenza, ed impostata in corrispondenza dell'interfaccia con il substrato roccioso, come peraltro evidenziato da alcune sorgenti per soglia di permeabilità presenti mediamente 1 km a N e NE dell'area di interesse (sorgenti n. 3, 4, 5 e 6 della Carta P3 del PRGC).

Nell'area di interesse non sono presenti sorgenti e, in relazione alla tipologia di intervento, a carattere superficiale, non si prevedono possibili interferenze con la falda di versante.

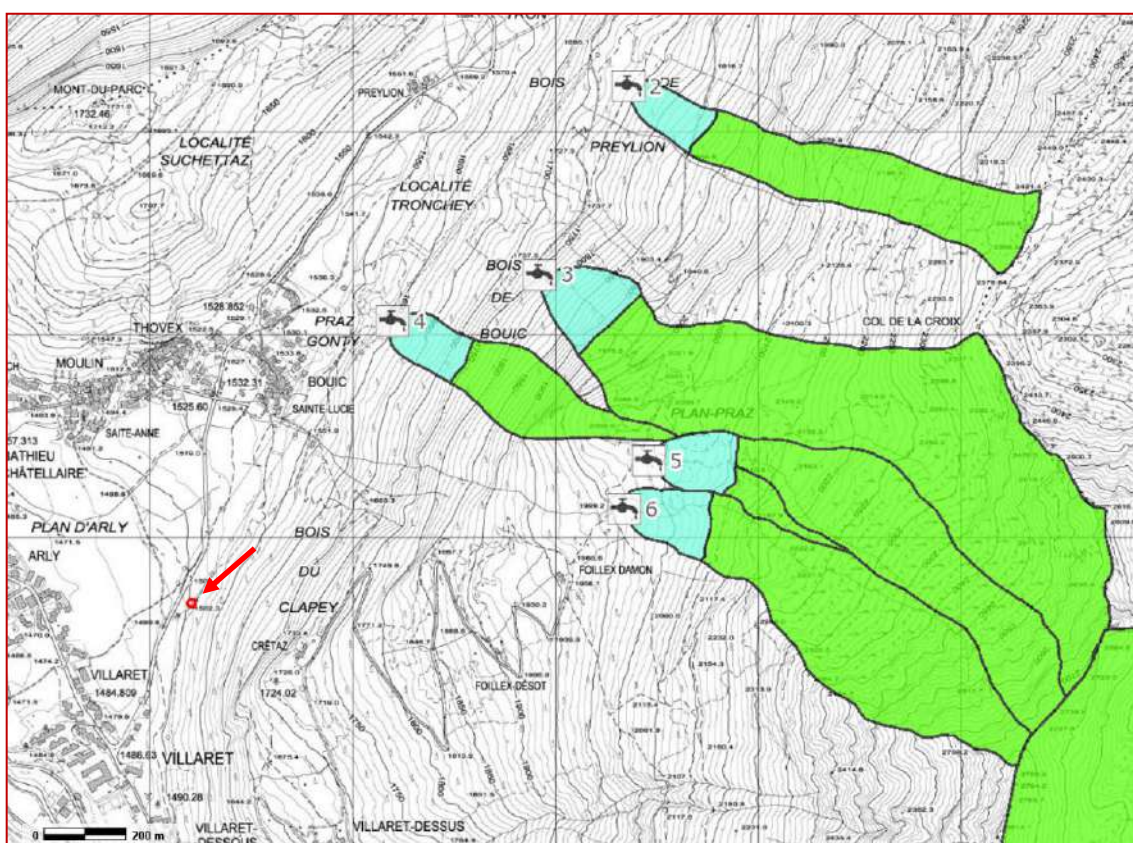


Fig. 17 – Estratto tavola P3 del PRGC - Captazioni e relative aree di salvaguardia, esterne e a notevole distanza dall'area interessata dal previsto intervento (freccia)

4. PERICOLOSITÀ GEOLOGICA E ANALISI DEI POTENZIALI DISSESTI

Per quanto riguarda le caratteristiche di stabilità, nel settore di versante circostante l'area del previsto intervento non sono stati riscontrati elementi che evidenzino situazioni di instabilità dei depositi di copertura, in atto o potenziali.

Si tratta infatti di depositi detritici grossolani stabili, riferibili ad antichi eventi di crollo, stabili, sui quali è distribuita una copertura eluvio-colluviale vegetata, con sviluppo di piante d'alto fusto, priva di indizi di erosioni o scivolamenti superficiali.

Dall'esame delle fotoaeree degli ultimi 20 anni non si riscontrano variazioni nella copertura boscata, in particolare non si individuano corridoi di deforestazione riferibili a significativi eventi di caduta massi.

Il rilevamento di terreno condotto lungo tutta la fascia di versante a monte del previsto manufatto, fino alla base della fascia rocciosa, non ha inoltre evidenziato presenza di blocchi detritici recenti né segni di impatti sulle piante d'alto fusto che colonizzano il pendio.

Dall'esame del Catasto dissesti regionale non risultano evidenziati dissesti, ad esclusione della recente segnalazione di potenziali fenomeni di caduta massi dalla fascia rocciosa a monte della frazione Villaret (Id. fenomeno 37087, del 26/08/2023), in un contesto geo-morfologico distinto in quanto alla testata di un canale detritico ed in un settore con evidenze di attività, rappresentate principalmente da corridoi di deforestazione.



Fig. 18 – Estratto Catasto dissesti regionale, con indicazione del fenomeno Id. 37087 (freccia)

Codice fenomeno	C-26-08-2023-00
Identificativo	37087 
Sottocategoria	Caduta massi
Tipo fenomeno	Caduta massi



Descrizione	Parete rocciosa dalla quale tendono spesso a distaccarsi volumi lapidei. La data dell'evento non è conosciuta e non si tratta di un unico evento: un privato cittadino, che abita a valle della parete, segnala agli scriventi e all'amministrazione comunale di udire frequenti movimenti franosi (crolli) a monte delle abitazioni e dell'asilo nido (trattasi comunque di zona ad elevata pericolosità per frana di tipo F1 delle Cartografie degli ambiti inedificabili)
Cause	Le cause sono legate allo stato di fratturazione e disarticolazione delle bancate rocciose subverticali localizzate a monte dell'abitato.
Danni	Al momento non si registrano danni.
Dimensioni, morfometria	Il fenomeno ha dimensioni inferiori a 25 mq con un volume inferiore a 10 mc.
Comune	LA THUILE
Località	La Cretaz -Villaret
Bacino principale, secondario	Dora Baltea, Bacino Dora di La Thuile



Fig. 19 – Estratto Catasto dissesti regionale - Scheda del fenomeno Id. 37087

Il rilevamento condotto in corrispondenza della fascia rocciosa sottesa dall'opera, immediatamente a valle del ripiano di Cretaz, ha evidenziato un assetto strutturale principale definito da:

- la scistosità principale, immergente a medio angolo verso E con valori di giacitura (Imm./Incl.) $100^{\circ}/30^{\circ}$, e direzione parallela ai principali lineamenti tettonici regionali che caratterizzano il settore. Alla base della fascia rocciosa sono riconoscibili pieghe a scala metrica, con sviluppo di scistosità di piano assiale, diretto N-S. In corrispondenza delle cerniere di piega la giacitura della scistosità può variare, immergendo verso SW (costituendo il fianco della piega) o verticalizzandosi, con crenulazioni. La spaziatura media tra le discontinuità principali impostate lungo scistosità è pari a 80 cm;
- un sistema K1 di discontinuità ad alto angolo di inclinazione immergente verso W, a franapoggio, con giacitura media $275^{\circ}-290^{\circ}/80^{\circ}$, localmente immergente verso il quadrante opposto (K1', vicariante) mediamente spaziato 100 cm (localmente 40 - 50 cm);
- un sistema K2 di discontinuità a medio angolo di inclinazione, immergente verso W, a franapoggio, con giacitura media $275^{\circ}-290^{\circ}/55^{\circ}$, mediamente spaziato 100 cm (localmente 40 - 50 cm);
- un sistema K3 di discontinuità subverticale immergente verso NW, subperpendicolare ai fronti rocciosi, con giacitura media $320^{\circ}/80^{\circ}$, mediamente spaziato 80 cm.

Tale assetto strutturale favorisce il distacco di blocchi di forma prevalentemente prismatica e tabulare, con meccanismo di mobilitazione prevalente per scivolamento verso W lungo K1, svincolati a tetto dalla scistosità e lateralmente da discontinuità del sistema K2.

Ulteriori cinematismi sono rappresentati da potenziali ribaltamenti diretti su scistosità, nei settori aggettanti, o ribaltamenti diretti lungo K1, dove immergente verso E.

Sono inoltre possibili rilasci in corrispondenza delle cerniere di piega.

I valori di spaziatura dei tre sistemi sono tali da definire l'isolamento di blocchi di dimensioni prevalenti dell'ordine di $0,5 \text{ m}^3$.

Orizzonti più massivi all'interno della fascia rocciosa possono tuttavia definire il potenziale isolamento locale di porzioni di dimensioni superiori ($V > 1 \text{ m}^3$, max. 3 - 5 m^3), come testimoniato dagli antichi blocchi di detrito presenti al piede del versante.

Le caratteristiche morfologiche del pendio sottostante la fascia rocciosa, a elevata acclività, sono tali da comportare la potenziale propagazione, pur in presenza del bosco che funge da filtro, di eventuali blocchi in caduta fino al piede del versante, se di volumetria importante ($> 1 - 2 \text{ m}^3$).

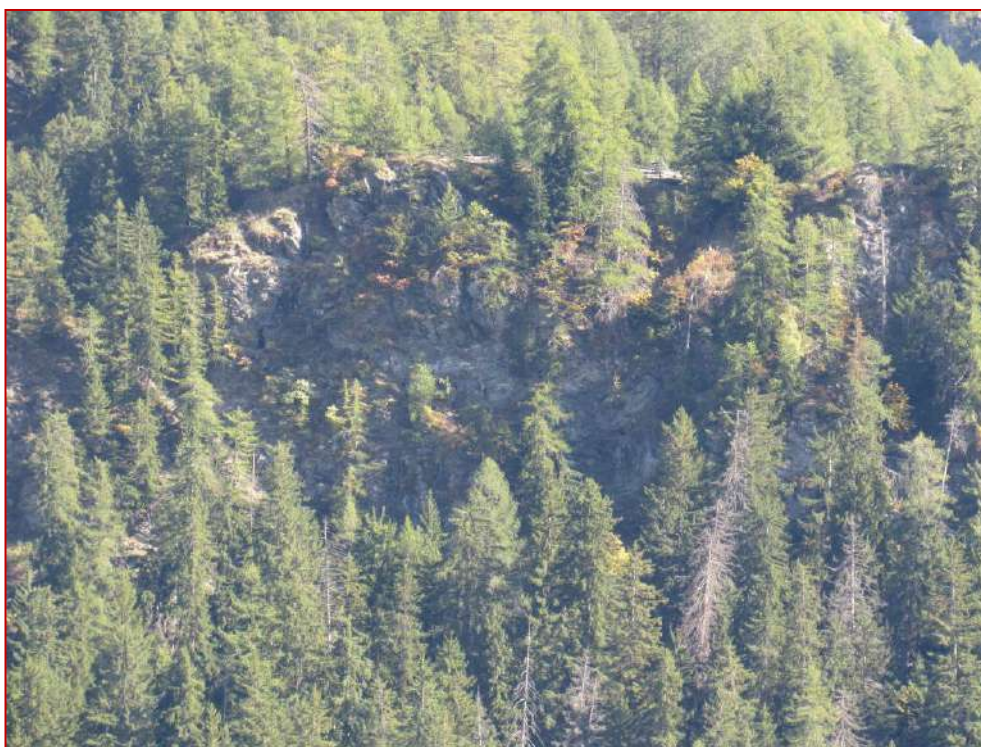


Fig. 21 – Panoramica sulla fascia rocciosa nel settore a monte della prevista opera



Fig. 22 – Assetto strutturale, con la scistosità principale e le discontinuità del sistema K1 e K3

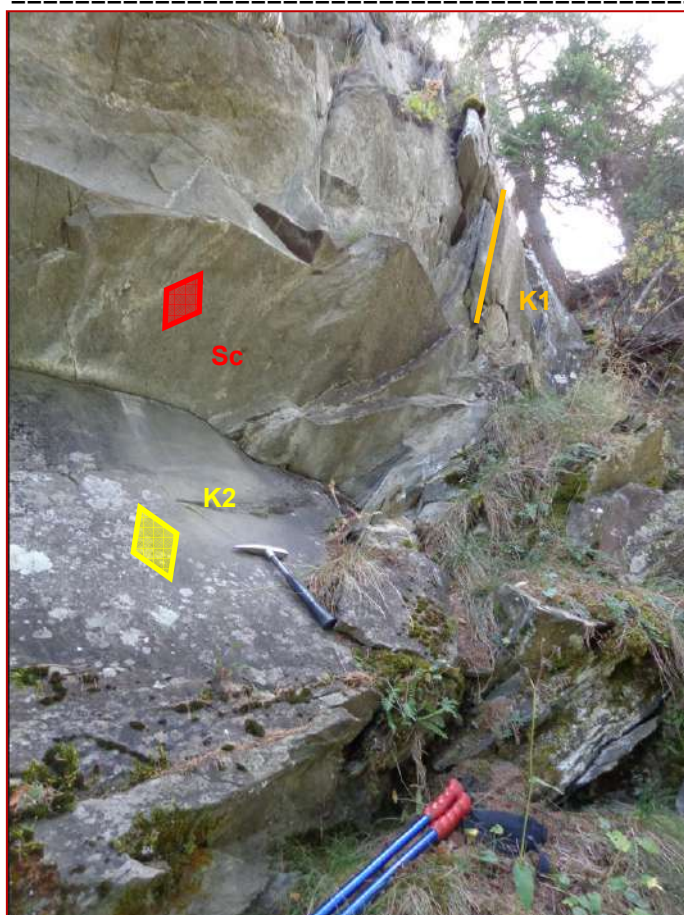


Fig. 23 –
Assetto strutturale, con la scistosità principale e la discontinuità basale planare del sistema K2



Fig. 24 –
Pieghe a scala metrica con scistosità crenulata e sviluppo di scistosità di piano assiale

Nell'ambito del presente studio sono stati inoltre consultati i dati PSInSAR riportati sul Geoportale RAVA, i cui risultati forniscono informazioni di carattere quantitativo sull'entità e distribuzione areale di movimenti alla scala del versante.

Le informazioni utilizzate per l'analisi nel presente studio derivano da immagini radar registrate dal 2019 dal satellite Sentinel 1A e nel periodo 2015 – 2019 dal satellite ALOS 2, entrambi in orbita discendente (triangoli verso il basso),

Dall'esame dei dati si osserva che, alla scala del versante, non sono registrati spostamenti di Permanent Scatterers (PS), a partire dalla fascia rocciosa e lungo tutto il sottostante pendio, fino al fondovalle

Significativi sono due dati del satellite ALOS 2 (PS CSON9DU e CSO1TS6), evidenziati in Figg. 25 e 26, ubicati esternamente, a sud, del settore di fascia sotteso dalla prevista opera, caratterizzati da velocità di spostamento pari a circa 9 e 10 mm/anno.

Tali spostamenti possono essere indicativi di fenomeni di scivolamento superficiale della copertura, dove rilevati, o di allentamenti di porzioni rocciose non identificabili su fotoaerea.

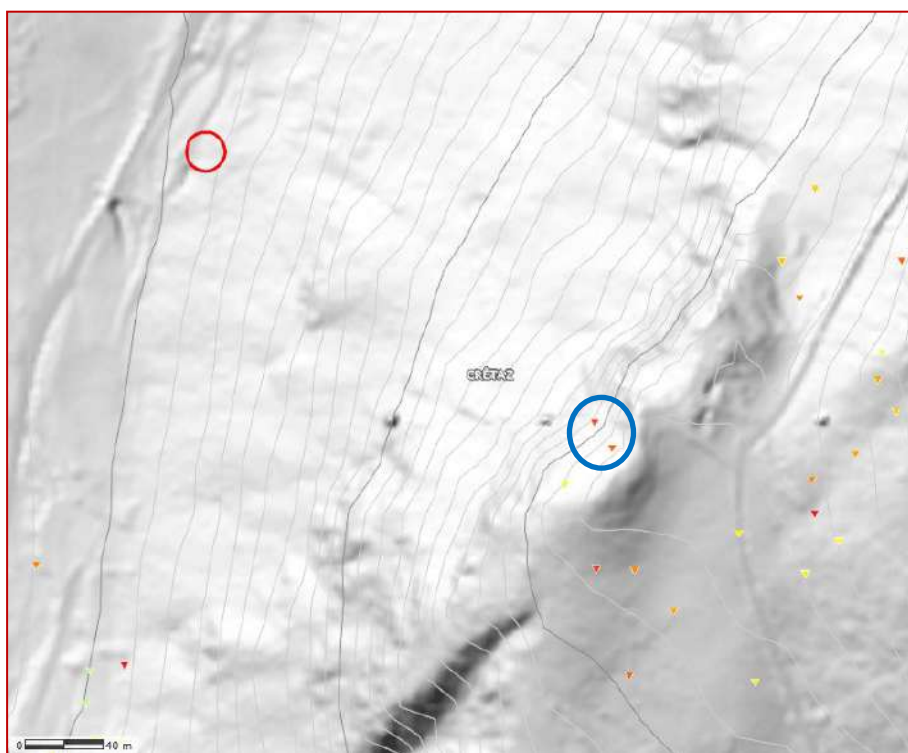


Fig. 25 – Distribuzione spaziale su DTM dei dati PS - ALOS 2, con evidenziati due PS significativi

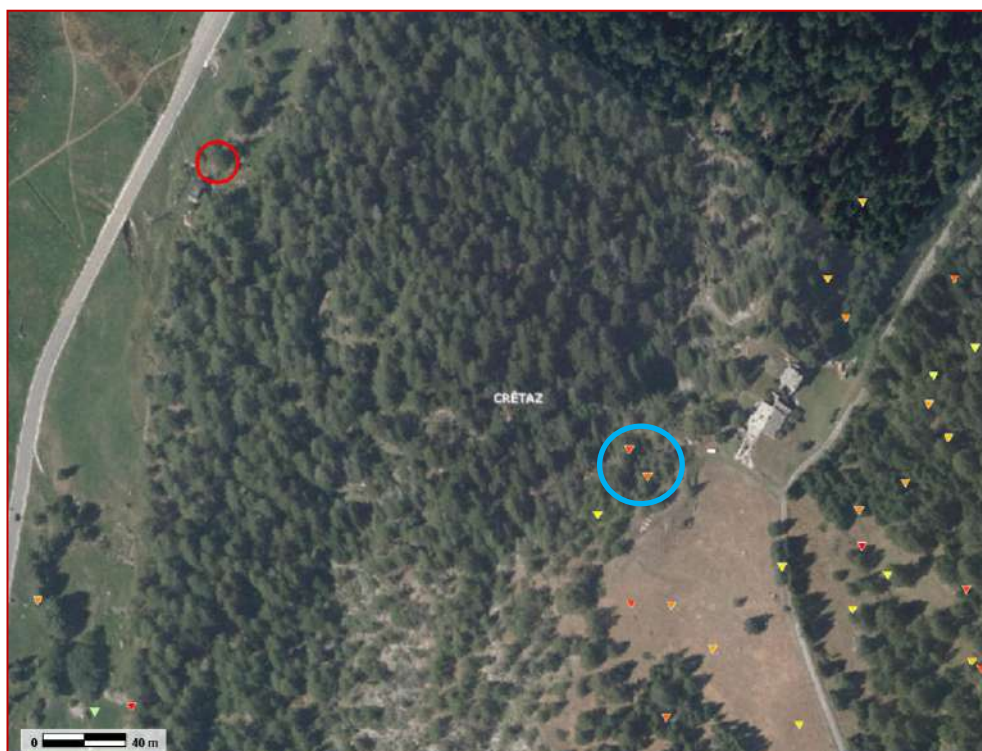


Fig. 26 – Distribuzione spaziale su fotoaerea del 2018 dei dati PS - ALOS 2

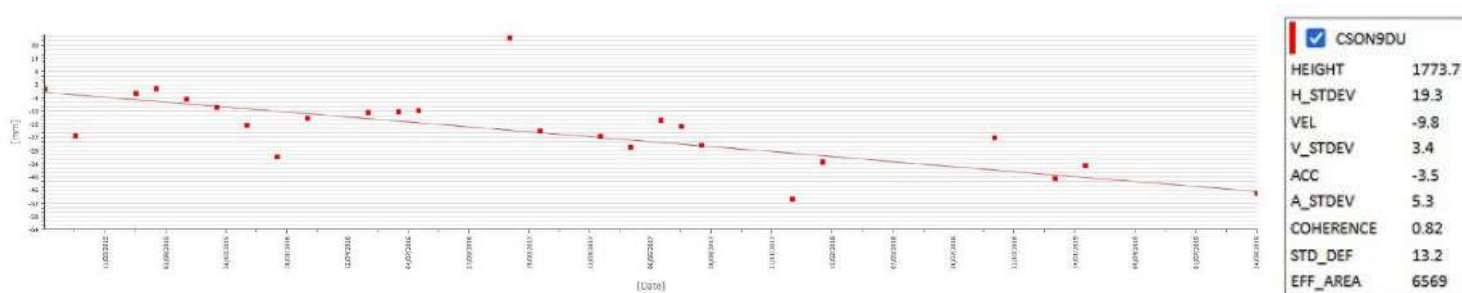


Fig. 27 - ALOS 2 grafico e valori acquisiti in corrispondenza del PS CSON9DU

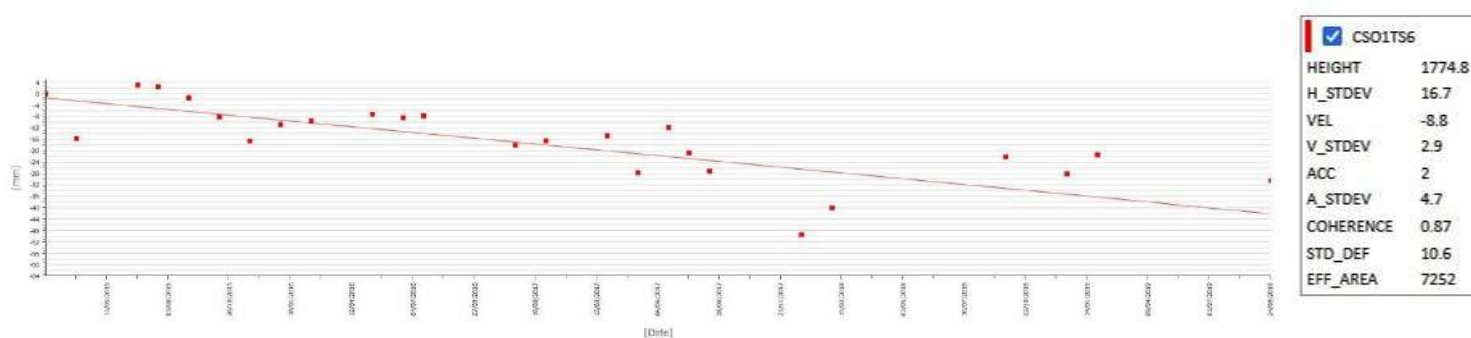


Fig. 28 - ALOS 2 grafico e valori acquisiti in corrispondenza del PS CSO1TS6

5. INDAGINE GEOFISICA E CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI IN RELAZIONE ALLA RISPOSTA SISMICA LOCALE (D.M. 17.01.2018)

L'indagine geofisica, effettuata da Techgea s.r.l., è consistita in una prova di tipo sismico (MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves) ed è stata condotta con lo scopo di definire il parametro V_{s30} per la classificazione dei suoli e, indirettamente, il contesto litostratigrafico locale.

Di seguito sono riportati l'ubicazione della sezione sismica, in prossimità dell'area interessata dalla realizzazione del manufatto, le coordinate dello stendimento nel sistema di riferimento UTM WGS 84 Zona – 32 N, ed il set-up di acquisizione (Tab. 1), definito secondo quanto previsto dagli standard internazionali (Tab. 2).



Fig. 29 - Ubicazione indagine MASW



**Fig. 30 -
Dettaglio
stendimento**

Geofoni	Numero 24	Frequenza [Hz] 4.5	Interasse [m] 1.5	Lungh. linea [m] 34.5
Energizzazioni	Mazza [Kg] 10	Punti energ. [n°] 10	Max dist.da G1 [m] 16.5	Min dist.da G1 [m] 1.5

Tab. 1 - Set-up di acquisizione

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 (4.5)	30–150 (70)	6–150 (15)	1.2–5.0 (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 (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)

Tab. 2 - - Disposizione geometrica ottimale su linea MASW in relazione alla profondità di indagine

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.

5.1 Normativa sismica vigente

Secondo la normativa sismica vigente, costituita per la Regione Valle d'Aosta dalla D.G.R. n. 1603 del 04.10.2013 e s.m.i., il Comune di La Thuile ricade in zona 3.

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:

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

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

di seguito è riportata la classificazione sismica prevista dal Decreto Ministeriale del 17.01.2018 (T.U. costruzioni).

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

Tab. 3 - Classificazione secondo la vigente normativa sismica italiana (tabella 3.2.II NTC 2018)

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.

5.2 Classificazione sismica

Il modello di velocità delle onde di taglio ottenuto mediante la prova MASW evidenzia una successione stratigrafica costituita da due sismostrati fondamentali, di seguito descritti:

Livello	Profondità [m da p.c.]	Descrizione	Velocità Vs [m/s]
1	0 ÷ 23.3	Primo sismostrato costituito da depositi ad addensamento progressivamente crescente con la profondità: da debolmente addensati a ben addensati	227 ÷ 876
2	23.3 ÷ 30	Secondo sismostrato costituito da materiali fortemente addensati, verosimilmente substrato lapideo	1389

Tab. 4 - Assetto sismostratigrafico ricavato dalla prova MASW M1

In maggiore dettaglio è riconoscibile un aumento crescente dell'addensamento a partire da ca. - 6 m dal piano campagna, molto probabilmente corrispondente al passaggio tra i depositi detritici eterometrici di versante ed i sottostanti depositi glaciali costituenti la piana d'Arly, a loro volta con addensamento crescente con la profondità, fino al passaggio con il sottostante substrato roccioso, posto a ca. - 27 m da p.c.

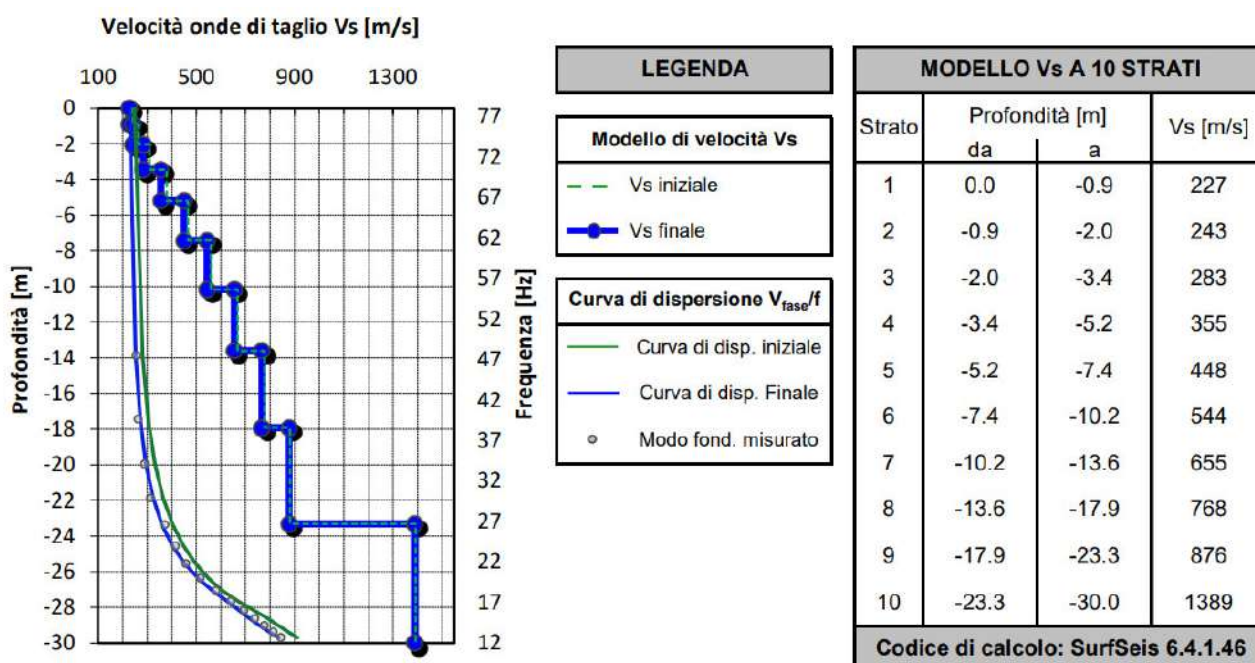


Fig. 31 - Profilo di velocità delle onde di taglio

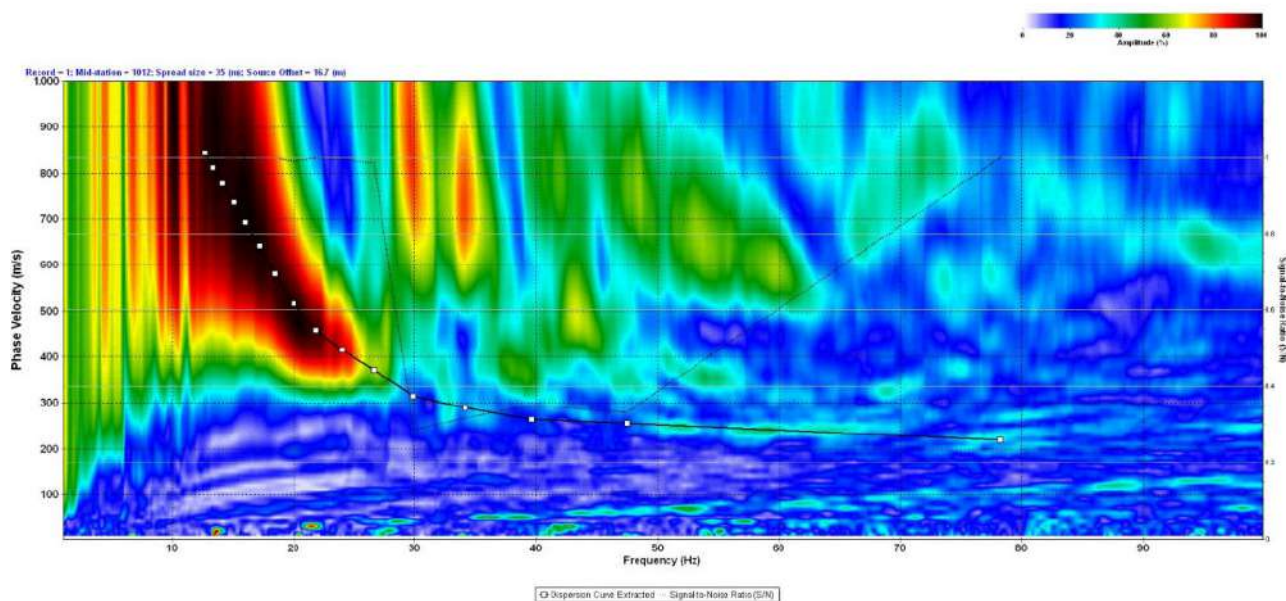


Fig. 32 - Prova MASW - Curva di dispersione delle onde di Rayleigh

Il valore di $V_{s,eq}$ (V_{s30}) calcolato dal piano campagna fino a 17,9 m di profondità dal p.c. è pari a **454 m/s**.

È possibile pertanto definire il contesto geotecnico esaminato come suolo di classe sismica “B”.

$V_{s,eq}$ m/s]	Classe di suolo	Profilo stratigrafico
454	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.

Tab. 5 - Definizione classe sismica di suolo da prova MASW

6. MODELLO GEOLOGICO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E IDROGEOLOGICA

L'analisi congiunta dei dati del rilevamento geologico di dettaglio, confrontati con i dati ottenuti con le indagini geofisiche, consentono di ricostruire con buon grado di accuratezza la stratigrafia dell'area in cui ricade il progetto.

I terreni interessati dallo scavo e di fondazione del previsto basamento sono costituiti, al di sotto di una copertura detritico colluviale di spessore decimetrico (20 - 30 cm), da depositi detritici eterometrici (con granulometria dai ciottoli ai blocchi), scarsamente addensati, con subordinata matrice interstiziale sabbiosa crescente con la profondità.

Tali depositi poggiano a circa - 6 m di profondità, rispetto al p.c. della pista di fondo, sui depositi glaciali della piana d'Arly (till indifferenziato), a composizione prevalentemente sabbioso - limosa, caratterizzati da grado di addensamento crescente con la profondità.

Applicando alla velocità media delle onde di taglio (294 m/s) relativa agli intervalli sismostratigrafici individuati dall'indagine MASW da -0,90 m fino a -5,20 m dal p.c., profondità corrispondente al volume di sottosuolo significativo nell'ambito progettuale, la correlazione empirica di Jafari et al. (2002), più appropriata per i terreni di tipo granulare:

$$V_s = 27 \cdot (NSPT)^{0,73}$$

ed inserendo poi il valore di NSPT ricavato, pari a **26**, nelle seguenti relazioni e abaco:

1. Japan Road Association (1990) $\phi = \sqrt{15 \cdot N_{spt}} + 15$

2- SHIOI & FUKUNI Japanese National Railway (1982) valida per sabbie medie e grossolano-ghiaiose

$$\phi = 0,3 \cdot N_{spt} + 27$$

3. Peck et al. (1974), valida per tutti i tipi di terreno (abaco di Fig. 33)

si ricava un valore medio dell'angolo di attrito intorno a 35°, coerente con quello riconducibile alla tipologia di depositi descritti.

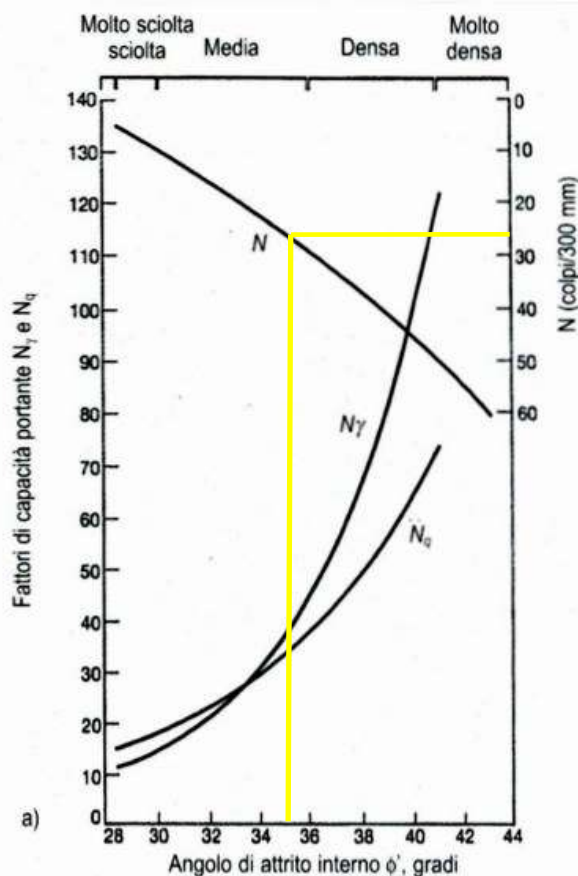


Fig. 33 - Abaco di Peck et al.

Sulla base dei parametri ricavati dalle correlazioni, dalla letteratura tecnica di interesse, nonché da prove in sito eseguite su materiali con analoghe caratteristiche, per i terreni in esame possono essere quindi stimati i seguenti parametri geotecnici:

Terreni di fondazione del basamento e interessati dallo scavo

Orizzonte 1: da p.c. a - 6,0 m - depositi detritici eterometrici, interessati dallo scavo

peso di volume (γ): 1,9 kg/cm³

angolo d'attrito interno (ϕ): 35°

coesione (c): 0 kg/cm²

Orizzonte 2: - 6,0 m - -27,0 m - depositi glaciali con addensamento crescente con la profondità

peso di volume (γ): 1,9 kg/cm³

angolo d'attrito interno (ϕ): 30° - 33°

coesione (c): 0,0 - 0,05 (max.) kg/cm²

Per quanto riguarda infine l'idrogeologia locale, le caratteristiche del versante e dei depositi superficiali sono tali da definire una circolazione idrica sotterranea impostata prevalentemente al contatto tra substrato roccioso, individuato con la geofisica a - 27 m di profondità, e depositi di copertura.

Non è tuttavia da escludere la presenza di una falda sospesa in corrispondenza di livelli di materiale fine all'interno dei depositi glaciali, tuttavia a profondità non interferenti con l'opera in progetto.

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E RACCOMANDAZIONI DI CARATTERE GEOTECNICO

Il rilievo geologico-geomorfologico effettuato su un'area sufficientemente estesa nell'intorno della prevista opera e sul versante a monte della stessa non ha evidenziato in generale problematiche di carattere geologico, idrogeologico o geotecnico connesse con la realizzazione del progetto.

Il progetto, caratterizzato da modesta incidenza sui terreni, va ad interessare un settore impostato su depositi di versante stabili, privi di dissesti in atto e con discreto grado di addensamento.

In considerazione delle caratteristiche dei depositi, in fase di scavo, per la stabilità dei fronti provvisori, prima dell'elevazione dei muri, dovranno essere adottati tutti gli accorgimenti atti a garantirne la stabilità, adottando un angolo di scarpa con rapporto non superiore a 2:1 (h:b).

In fase di scavo dovranno inoltre essere asportati eventuali singoli blocchi più voluminosi che dovessero risultare in condizioni di precaria stabilità sui fronti.

Pur essendo i depositi caratterizzati da una buona permeabilità, come peraltro evidenziato dall'assenza di tracce di umidità sul muro di controripa a monte dell'adiacente cabina elettrica, si raccomanda in ogni caso di prevedere la realizzazione di un adeguato drenaggio a tergo del muro di controripa.

Si raccomanda infine di evitare l'effettuazione dello scavo in concomitanza con precipitazioni o in periodi immediatamente successivi ad intense precipitazioni e di proteggere lo stesso con teli impermeabili se lasciato aperto per un tempo considerevole.

Se durante l'apertura dello scavo si dovessero verificare, sui fronti e in corrispondenza della fondazione, situazioni anomale rispetto a quelle previste, la scrivente è a disposizione per l'effettuazione di alcuni sopralluoghi, sulla base dei quali potranno essere formulate più approfondite raccomandazioni ed individuate eventuali proposte di interventi correttivi.

8. ANALISI DI COMPATIBILITÀ DELL'INTERVENTO ESISTENTE AI SENSI DELL'ART. 38 DELLA L.R. 11/1998 E DELLA D.G.R. 1117/2025

8.1 INQUADRAMENTO DELL'AREA D'INTERVENTO E CLASSIFICAZIONE URBANISTICO-EDILIZIA DEL PROGETTO

Il progetto ricade nel Comune di La Thuile, sul mappale n. 926 del Foglio 17, alla quota di ca. 1500 m s.l.m., in prossimità della cabina elettrica secondaria, pochi metri a monte della strada comunale di Petosan ed in adiacenza alla pista da fondo dell'anello "Arly", quest'ultima utilizzata nei periodi non invernali anche come pista agricola e percorso pedonale.

Sulla base delle definizioni delle tipologie di interventi urbanistico-edilizi di cui alla D.G.R. 378 del 12 aprile 2021, l'intervento rientra nella tipologia *nuova costruzione di manufatto edilizio*.

Il manufatto, destinato alla posa di una macchina elettrica (regolatori di tensione), si configura come opera di interesse collettivo ed è conforme agli indirizzi del PRG comunale (Zona di PRGC Ee2) in quanto intervento di nuova costruzione ricadente tra le *opere infrastrutturali per miglioramento e completamento di infrastrutture pubbliche (art. 8, par. c, lett. c7 delle NTA approvate con D.G.R. n. 876 del 16/07/2018)*.

8.2 CARATTERIZZAZIONE DEI VINCOLI PRESENTI E AMMISSIBILITÀ DELL'INTERVENTO

Nella cartografia degli ambiti inedificabili del Comune di La Thuile, redatta ai sensi dell'art. 35 della l.r. 11/1998, il progetto ricade al limite di un'area classificata a media pericolosità per frana (Zona F2), cartografia approvata con D.G.R. n. 2111 del 21/06/2004 e successive varianti (Figg. 33 e 34).

La tipologia di intervento rientra tra quelle ammesse dalla D.G.R. 1117/2025 per le aree a media pericolosità, come indicato all'art. 5, comma 3, lettera i:

"Nelle aree a pericolosità elevata e media sono consentiti in via generale (....) gli interventi di nuova costruzione per la mobilità e i trasporti, delle reti tecnologiche e di servizio e di quelle funzionali ad attività economiche, agricole, forestali o ricreative, se coerenti con quanto disposto dal piano regolatore comunale, previa acquisizione e valutazione positiva dello studio di compatibilità (....)".

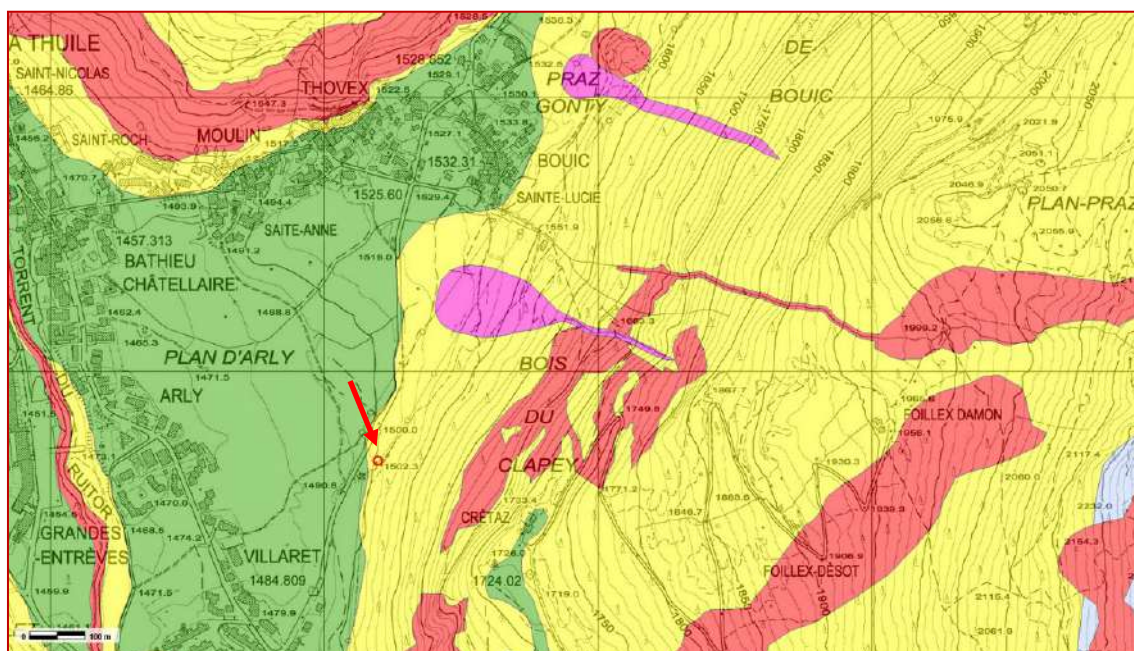


Fig. 33 - Estratto cartografia dei terreni sedi di frana con indicazione dell'area in cui ricade il progetto (freccia)

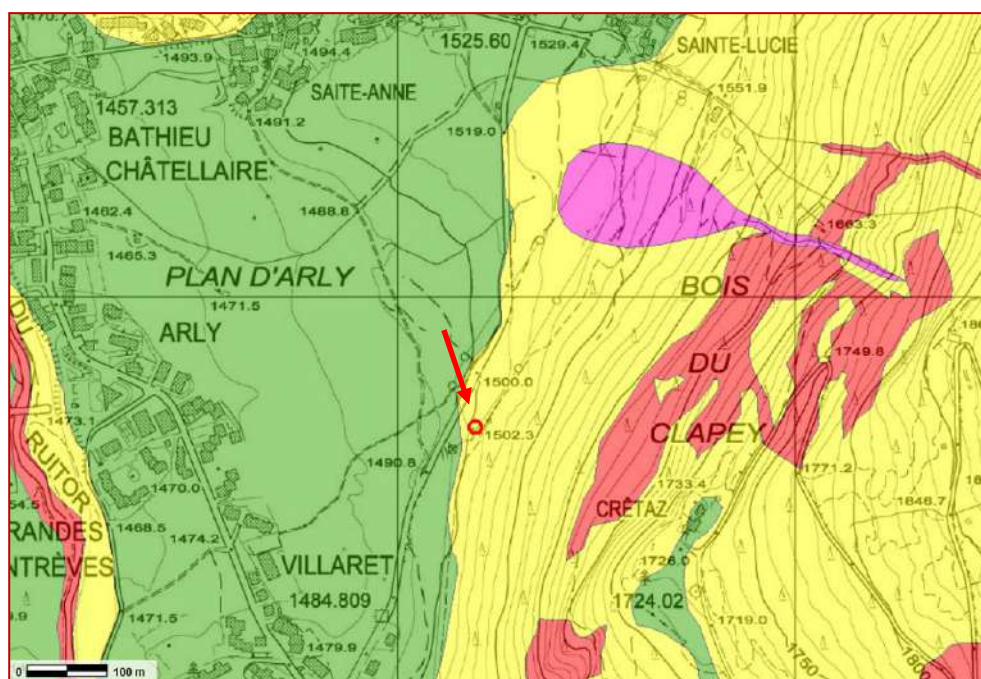


Fig. 34 - Dettaglio cartografia degli ambiti inedificabili per frana



8.3 ANALISI DELLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ

Per la caratterizzazione delle potenziali dinamiche di dissesto sono stati esaminati i seguenti documenti:

- Comune di La Thuile - Studio per la delimitazione delle aree di cui agli art. 35 della l.r. 11/98 - Classificazione dei terreni sedi di frana - Relazione tecnica, a firma geol. R. Vuillermoz, ottobre 2003 - Approvato con D.G.R. n. 2111 del 21/06/2004. La relazione comprende l'analisi storica dei dissesti (par. 2.5), la descrizione dei *“Settori interessati da falde detritiche con diverso grado di attività”* (par. 3.2.2), la descrizione dei depositi di frana complessa e di crollo - *“Accumuli di frana”* (par. 3.2.3).
- Comune di La Thuile - Studio per la delimitazione delle aree di cui agli art. 35 della l.r. 11/98 - Classificazione dei terreni sedi di frana - Carta dei dissesti, a firma geol. R. Vuillermoz - Approvato con D.G.R. n. 2111 del 21/06/2004;
- Comune di La Thuile - Studio per la delimitazione delle aree di cui agli art. 35 della l.r. 11/98 - Classificazione dei terreni sedi di frana - Carta clivometrica o delle pendenze, a firma geol. R. Vuillermoz - Approvato con D.G.R. n. 2111 del 21/06/2004.

Nella relazione tecnica ed in tutti i documenti esaminati facenti parte della cartografia motivazionale ai sensi dell'art. 35 della l.r. 11/1998, non risultano riportati elementi che motivino la zonazione a media pericolosità del settore in esame.

In particolare:

- l'analisi storica dei dissesti non riporta fenomeni riguardanti l'area in cui ricade il progetto ed il settore di versante sotteso;
- i paragrafi relativi alla descrizione dei *“Settori interessati da falde detritiche con diverso grado di attività”* (par. 3.2.2), ed alla descrizione dei depositi di frana complessa e di crollo - *“Accumuli di frana”* (par. 3.2.3) non riportano riferimenti all'area in cui ricade il progetto ed al settore di versante sotteso;
- la carta dell'acclività riporta, per l'area in cui ricade il progetto, la classe 35%-55% (par. 3.4), corrispondente a *“terreni mediamente acclivi con scarso pericolo potenziale di instabilità delle terre, delle masse rocciose e del manto nevoso. Le problematiche maggiori sono legate alla possibilità di fenomeni di erosione superficiale locali o diffusi”*. Il settore di versante sovrastante, ad acclività medio-alta 55%-70% corrisponde a *“terreni particolarmente soggetti a condizioni di instabilità di masse rocciose e terre incoerenti. Alle quote maggiori si ha pericolo potenziale di valanghe. Si segnalano importanti fenomeni di erosione superficiale”*;

- la carta geologica (estratto di Fig. 16) riporta per l'area in esame, coerentemente con la cartografia geologica regionale, depositi colluviali fino alla quota media di 1600 m s.l.m.. Oltre tale quota, fino alla base della fascia rocciosa, sono riportati depositi di falda detritica sporadicamente alimentata;

- la carta dei dissesti non riporta elementi per l'area in esame e per il settore di versante sotteso fino a q. 1600 m s.l.m., ove è perimetrata la falda detritica sporadicamente alimentata dalla sovrastante fascia rocciosa. Quest'ultima non risulta classificata come ammasso roccioso particolarmente fratturato (Fig. 20).

È stato inoltre esaminato il catasto dissesti regionale, dal quale non risultano evidenziati dissesti, ad esclusione della recente segnalazione di potenziali fenomeni di caduta massi dalla fascia rocciosa a monte della frazione Villaret (Id. fenomeno 37087, del 26/08/2023), in un contesto geomorfologico distinto in quanto alla testata di un canale detritico ed in un settore di versante con evidenze di attività, rappresentate principalmente da corridoi di deforestazione (Fig. 18).

Sono state infine esaminate le fotoaeree disponibili, dal 1999 al 2021, che non evidenziano elementi riconducibili a fenomeni franosi (frane superficiali, erosioni o corridoi di deforestazione per fenomeni di caduta massi/frane di crollo).

Sulla base dei dati su descritti e dei dati ricavati dal rilevamento geologico del versante a monte dell'area di interesse (depositi colluviali privi di blocchi di caduta recenti), delle caratteristiche della falda detritica alla base della parete, colonizzata da una fitta vegetazione arborea, priva di blocchi di caduta recenti, oltre che dal rilevamento della fascia rocciosa, tenuto conto che l'acclività media del versante a monte del progetto è inferiore a 45°, la classificazione in fascia F2, non esplicitata nella documentazione degli ambiti inedificabili, è correlabile quindi a "*modesti fenomeni di crollo sporadico e isolato da pareti rocciose*" (come individuato nelle Disposizioni attuative dell'art. 38 della l.r. 11/1998 - Allegato A - Annesso 1 - Titolo B, Cap. 1, lett. B, par. 1, comma b), fenomeni che, nel contesto in esame, riferendosi all'ubicazione e caratteristiche puntuali dell'opera, sono da ritenersi a bassa probabilità di accadimento.

In considerazione dell'acclività media del pendio in cui ricade il progetto, e medio-alta dei pendii sovrastanti, un ulteriore fattore di potenziale instabilità potrebbe essere rappresentato da fenomeni erosivi e/o scivolamenti superficiali in concomitanza con eventi meteorici importanti.

8.4 VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ DELL'OPERA

Il progetto ricade al piede di un versante potenzialmente soggetto a fenomeni di caduta massi, tuttavia con bassa frequenza (non risultano censiti fenomeni e non si rilevano tracce di fenomeni recenti), con probabilità di realizzazione eccezionale (evento di caduta che interesserebbe una struttura di dimensioni ridotte), al margine di un settore attualmente utilizzato in analoga fascia di pericolosità (pista di fondo/poderale e strada comunale).

Il progetto, finalizzato alla collocazione di una macchina elettrica, che non prevede quindi la permanenza di persone, presenta una vulnerabilità limitata rispetto alla pericolosità dei potenziali fenomeni identificati.

I terreni nell'intorno della prevista opera e a monte della stessa si presentano stabili, privi di tracce di scivolamenti superficiali, anche di ridotta entità, o di erosione. L'opera, se correttamente realizzata, con le cautele definite al cap. 7 in fase di scavo, presenta una vulnerabilità molto bassa - nulla rispetto a questa tipologia di fenomeni.

Si specifica inoltre che il previsto impianto, finalizzato a contenere il rischio di stacco della corrente, non è strategico, ossia un eventuale danneggiamento dello stesso non comporta interruzioni di corrente sul territorio comunale.

8.5 ANALISI DI COMPATIBILITÀ E DI NON AGGRAVAMENTO DEL RISCHIO

I dati riportati nel presente studio hanno evidenziato che il progetto presenta una vulnerabilità limitata rispetto alla pericolosità dei fenomeni identificati.

In relazione al possibile aggravamento del rischio si rileva che il progetto

- non costituisce un aggravamento delle potenziali condizioni di dissesto (scivolamenti superficiali dei depositi, caduta massi), descritte al capitolo 4;
- tenuto conto delle finalità specifiche e delle funzioni cui è destinato, risulta intrinsecamente compatibile con le condizioni di pericolosità previste nell'area;
- non costituisce ostacolo e non compromette la fattibilità e l'efficacia di eventuali opere di mitigazione del rischio.

8.6 MISURE DI MITIGAZIONE E DI RIDUZIONE DEL RISCHIO

Sulla base di quanto su esposto (bassa vulnerabilità, esposizione a fenomeni con bassa probabilità di accadimento e di realizzazione), non si configura necessario prevedere, in questa fase realizzativa, interventi di mitigazione del rischio.

In funzione del valore economico della macchina elettrica che verrà posizionata, la committenza potrà tuttavia valutare, a scopo cautelativo, il posizionamento di una barriera paramassi, opportunamente dimensionata a seguito di specifici rilievi da condursi sulla fascia rocciosa, oltre che di specifiche simulazioni di caduta massi.

Si raccomanda in ogni caso di evitare lavorazioni in concomitanza con eventi meteorici intensi e/o persistenti, fattore che può in generale favorire l'innescio di dissesti, anche se a carattere eccezionale.

8.7 MOTIVAZIONE DELLA LOCALIZZAZIONE E DELLE MODALITÀ REALIZZATIVE

Il progetto riguarda la realizzazione di un basamento per la posa di una macchina elettrica (stabilizzatore di corrente).

Il progetto non è altrimenti localizzabile, a causa della necessità di collocamento vicino all'esistente cabina elettrica e della necessità di non interferire con l'adiacente pista da fondo / poderale.

8.8 CONCLUSIONI

In base a quanto esposto nel presente studio, l'intervento in oggetto, così come progettato, risulta compatibile con le condizioni riportate nella cartografia degli ambiti inedificabili del comune di La Thuile, ai sensi dell'art. 35 comma 1 della l.r. 11/1998.

Al presente studio è allegata la dichiarazione di compatibilità.

DICHIARAZIONE DI COMPATIBILITÀ DEL PROGETTO
ALLE DISPOSIZIONI DELL'ART. 38, COMMA 11, DELLA L.R. 11/98
(ai sensi della D.G.R. n.1117/2025)

I sottoscritti

Dott. Ing. Gianpiero Lanteri

Dott. Geol. Elisabetta Drigo

incaricati dalla Deval S.p.A. a s.u. della stesura del progetto:

Installazione regolatori tensione presso la cabina secondaria in località Villaret nel comune di La Thuile

DICHIANANO

che l'intervento, così come progettato e previsto, è conforme a quanto stabilito dallo studio di compatibilità allegato alla documentazione progettuale e rispetta le condizioni di cui all'Art. 38, comma 11, della l.r. 11/98, in quanto:

- in relazione alle finalità e all'esercizio a cui è destinato, è compatibile con le condizioni di pericolosità del sito, definite dal vincolo di media pericolosità per frana (F2) della cartografia degli ambiti inedificabili del Comune di La Thuile;
- non aggrava le situazioni o le condizioni di dissesto in atto o potenziali;
- non pregiudica la realizzabilità di ulteriori interventi di mitigazione del rischio nelle aree stesse;
- è conforme agli indirizzi del PRG comunale (Zona di PRGC Ee2) in quanto intervento di nuova costruzione ricadente tra le *opere infrastrutturali per miglioramento e completamento di infrastrutture pubbliche (art. 8, par. c, lett. c7 delle NTA approvate con dGR n. 876 del 16/07/2018)*.

Aosta, li 31/01/2026

Il progettista
Ing. Gianpiero Lanteri

L'estensore dello studio di compatibilità
Geol. Elisabetta Drigo

A L L E G A T O

CENNI TEORICI SULLA METODOLOGIA DI INDAGINE MASW

CENNI TEORICI SULLA METODOLOGIA DI INDAGINE MASW

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo è un fenomeno multi-modale: 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).

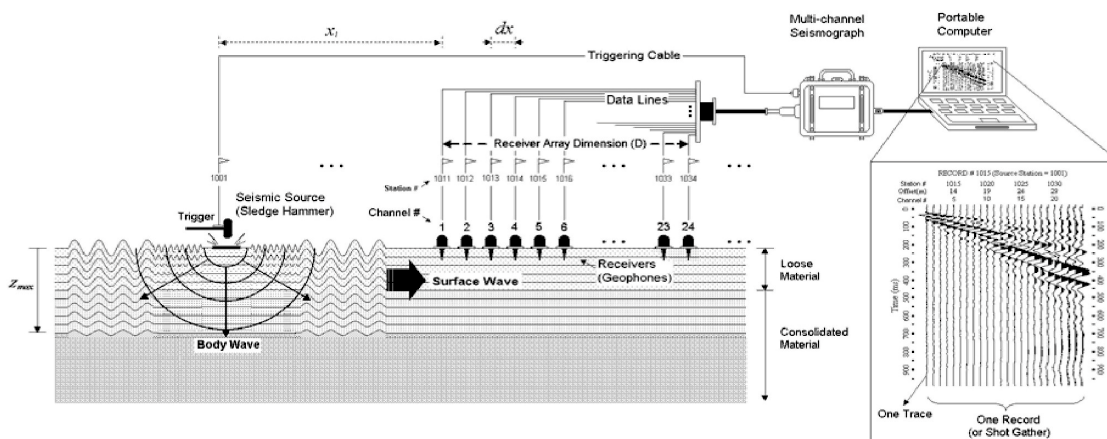


Figura 1 - Schema di acquisizione dati MASW

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).

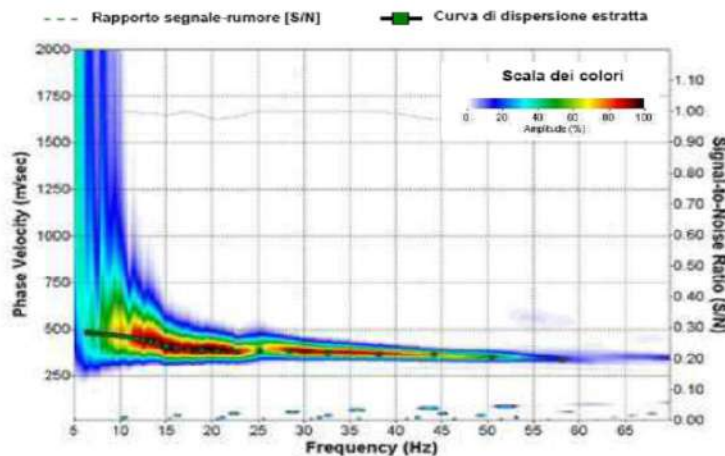


Figura 2 - Curva di dispersione della velocità V_s in funzione della frequenza e della velocità di fase

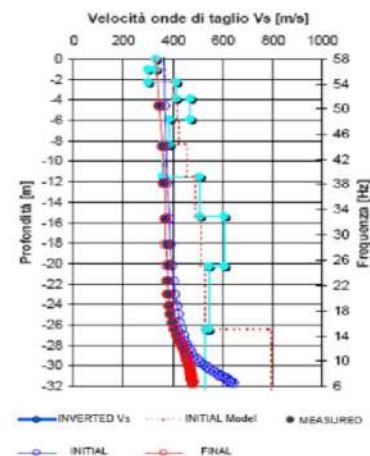


Figura 3 - Modello di propagazione delle velocità delle onde V_s