



Coordinamento Territoriale Nord Est

Area Compartimentale Veneto

Via E. Millosevich, 49 - 30173 Venezia Mestre T [+39] 041 2911411 - F [+39] 041 5317321
Pec anas.veneto@postacert.stradeanas.it - www.stradeanas.it

Anas S.p.A. - Società con Socio Unico

Sede Legale

Via Monzambano, 10 - 00185 Roma T [+39] 06 44461 - F [+39] 06 4456224

Pec anas@postacert.stradeanas.it

Cap. Soc. Euro 2.269.892.000,00 Iscr. R.E.A. 1024951 P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587



S.S. n° 51 "di Alemagna" Provincia di Belluno

Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021

Attraversamento dell'abitato di Valle di Cadore

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE ANAS S.p.A.

Coordinamento Territoriale Nord Est - Area Compartimentale Veneto

IL PROGETTISTA:

Ing. Pietro Leonardo CARLUCCI

IL GEOLOGO:

Geol. Emanuela AMICI

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

Dott. Marco FORMENTELLO

Arch. Lisa ZANNONER

ASSISTENZA ALLA PROGETTAZIONE:



Ing. Geol. Massimo Pietrantoni
Ordine Ingegneri Roma n. A-36713
Ordine Geologi Lazio A.P. n. 738

visto: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Gabriella MANGINELLI

PROTOCOLLO:

DATA:

N. ELABORATO:

GEOLOGIA - GEOTECNICA
Relazione Geologica, Idrogeologica e Sismica

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG.

N. PROG.

MSVE14

D

1711

NOME FILE

T00GE00GEORE01_B

REVISIONE

SCALA:

CODICE
ELAB.

T00GE00GEORE01

B

-

D

C

B

REVISIONE

Settembre 2017

A

PRIMA EMISSIONE

Luglio 2017

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

PIANO STRAORDINARIO PER L'ACCESSIBILITA' A CORTINA 2021

S.S. n. 51 "di Alemagna"

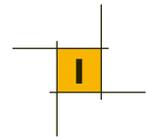
Variante all'abitato di Valle di Cadore

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geologica

INDICE

| | | |
|------|---|----|
| 1. | PREMESSA..... | 1 |
| 2. | NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO | 2 |
| 3. | INQUADRAMENTO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E SISMICO DI AREA VASTA..... | 3 |
| 3.1. | Inquadramento geografico..... | 3 |
| 3.2. | Inquadramento geologico-strutturale di “area vasta” | 4 |
| 3.3. | Inquadramento idrogeologico..... | 8 |
| 3.4. | Geomorfologia e condizioni di stabilità | 8 |
| 3.5. | Sismicità..... | 11 |
| 4. | ANALISI DELLE CONDIZIONI DEI SITI DI PROGETTO | 12 |
| 4.1. | Indagini eseguite | 12 |
| 4.1. | Morfologia..... | 12 |
| 4.2. | Modello geologico dei siti | 12 |
| 4.3. | Geomorfologia e condizioni di stabilità | 18 |
| 4.4. | Condizioni idrogeologiche del sito..... | 22 |
| 4.5. | Caratterizzazione sismica..... | 23 |
| 5. | CONDIZIONI GEOLOGICHE PER LO SCAVO DELLA GALLERIA | 26 |



1. PREMESSA

Nella presente Relazione sono illustrati gli elementi geologici, geomorfologici, idrogeologici e sismici relativi al progetto definitivo della variante all'abitato di Valle di Cadore sulla SS51 di Alemagna, compresa tra gli interventi per il Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021.

L'area in esame ricade nel Comune di Valle di Cadore, in zona sismica 3 secondo la vigente classificazione del territorio nazionale.

Lo studio geologico è stato condotto per mezzo di rilievi geologici di superficie e attività di foto-interpretazione. Sono inoltre stati utilizzati i risultati di indagini eseguite nell'ambito delle aree di interesse per altri progetti o precedenti studi.

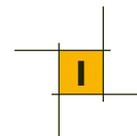
È infine stata programmata ed eseguita una specifica campagna di indagine geognostica, geotecnica e sismica.

In questa Relazione viene riportata la descrizione litologica delle formazioni presenti nel sito. Per ciò che riguarda la caratterizzazione geotecnica ed il relativo modello geotecnico si rimanda alla Relazione Geotecnica. Le due relazioni vanno quindi lette in maniera congiunta.

La relazione è suddivisa in due parti: nella prima (Capitolo 3) vengono descritti i lineamenti geologici, geomorfologici, idrogeologici e sismici di area vasta; nella seconda (Capitolo 4) vengono esaminati gli aspetti di dettaglio che riguardano l'interazione delle condizioni territoriali con l'infrastruttura di progetto sulla base dei rilievi eseguiti e dei risultati delle specifiche indagini.

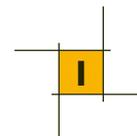
Il tema della **pericolosità geologica** viene trattato in questa relazione, sia in termini di "area vasta" sia di aspetti specifici di interesse progettuale.

Anche gli aspetti relativi alla **pericolosità idraulica** vengono riportati nella presente relazione oltre che nella Relazione Idraulica allegata al progetto.



2. **NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO**

- D.M. 11 marzo 1988. "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- Circ. LL.PP. 24 settembre n. 30483. "Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- Eurocodice 7. Progettazione geotecnica. 2004.
- Eurocodice 8. Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti di geotecnica. 2004.
- Ordinanza n. 3274 del 08/05/2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e relativi allegati e s.m.i.
- Ordinanza n. 3519 del PdCM del 28 aprile 2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- Norme Tecniche per le Costruzioni. DM 14 gennaio 2008.
- Istruzione per l'applicazione delle Norme Tecniche. Circ. Min. 2 febbraio 2009 n. 617
- Raccomandazioni AGI sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche (1977)
- Raccomandazioni AGI sui pali di fondazione (1988).
- Raccomandazioni AGI sulle Prove Geotecniche di Laboratorio (1994).
- Raccomandazioni AGI Aspetti Geotecnici della Progettazione in Zona Sismica (1995)
- DL 18 aprile 2016, n. 50. Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture.
- D.P.R. 5/10/2010 n. 207. Regolamento di esecuzione ed attuazione del D.L. 12/4/2006 n. 163 recante "Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE".



3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E SISMICO DI AREA VASTA

3.1. Inquadramento geografico

L'area in esame è ubicata nel territorio del Comune di Valle di Cadore (BL), sul versante sinistro della valle del Torrente Boite. La variante interessa la periferia occidentale dell'abitato.

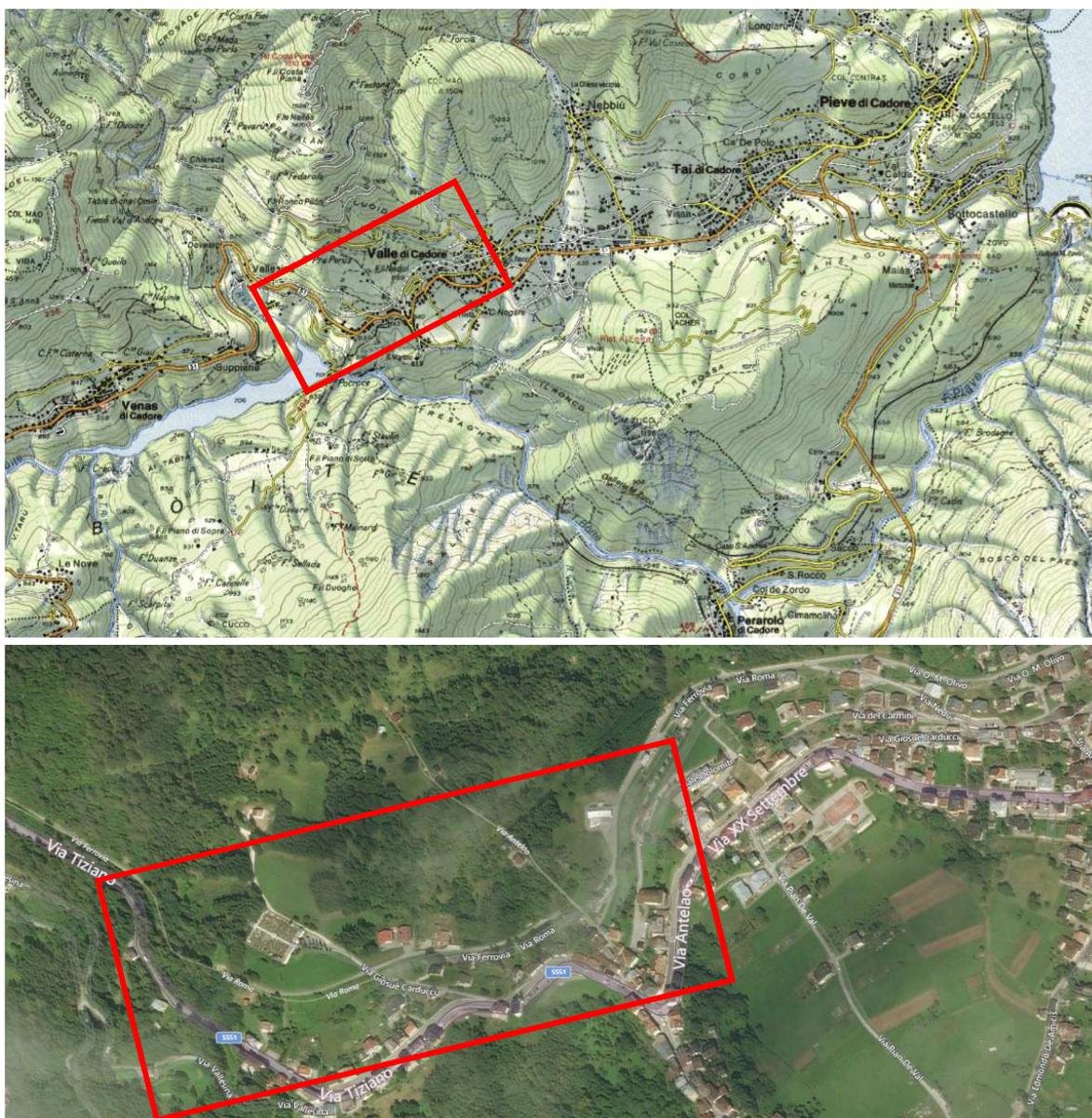
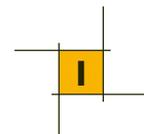


Fig. 1. Inquadramento geografico dell'area di studio

La topografia di base è rappresentata dalla Carta Tecnica Regionale (C.T.R.), a scala 1:10.000 (8029160 Valle di Cadore). Sono state utilizzate inoltre le cartografie e le documentazioni derivanti da: ortofoto aeree, fotografie attuali e storiche, cartografie PAT., P.A.I., I.F.F.I., P.T.C.P., dati bibliografici, storici e documentazione varia.



3.2. Inquadramento geologico-strutturale di “area vasta”

La struttura geologica di una ampia area circostante quella in esame (Dolomiti s.s.) è caratterizzata da una potente successione (da rocce vulcaniche a sedimentarie) ascrivibili ad un intervallo compreso tra il Paleozoico e il Cretacico secondo lo schema stratigrafico tipico delle Dolomiti (v. schema seguente).

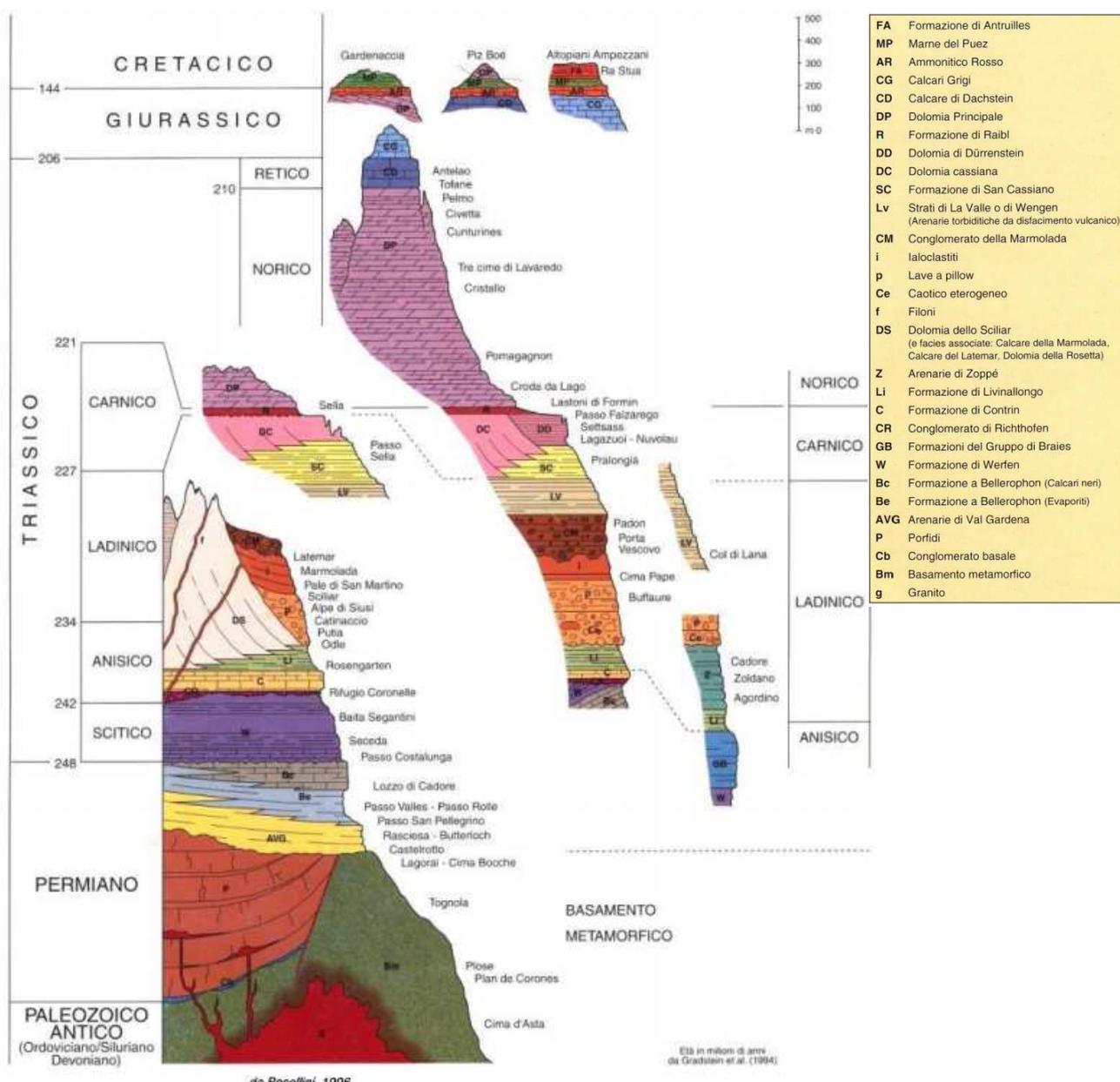
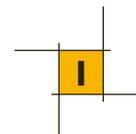


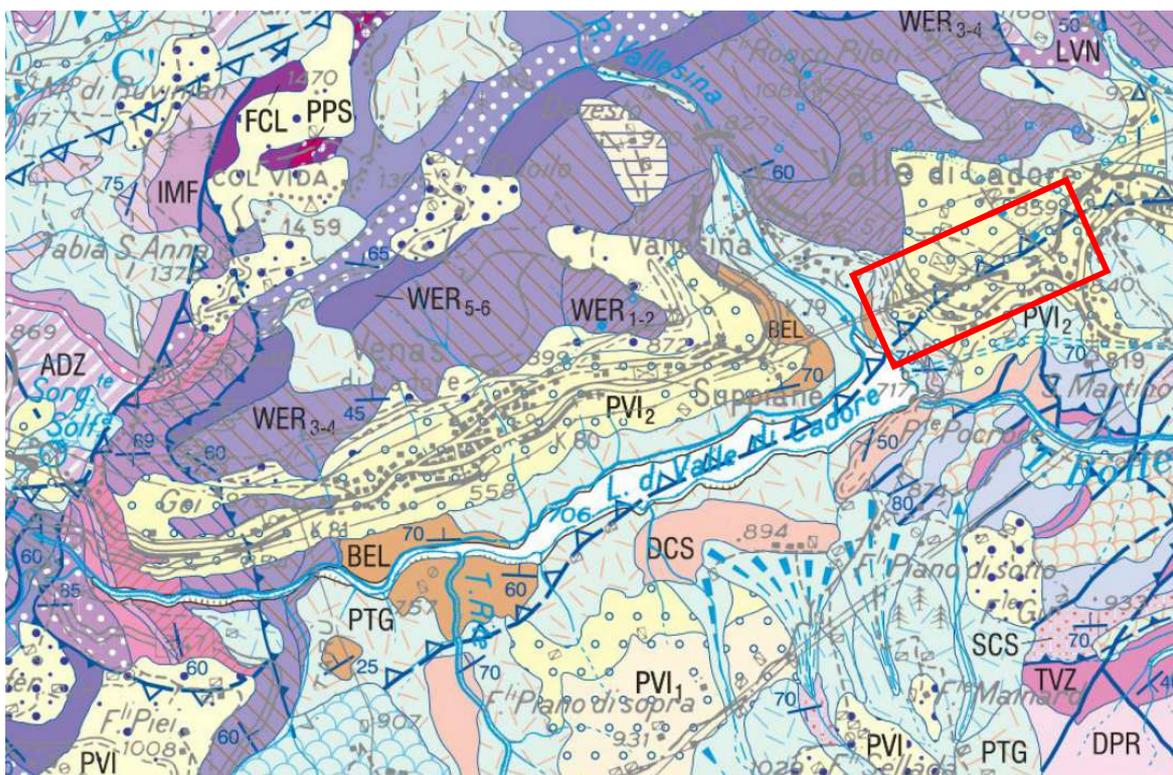
Figura 2 – Schema stratigrafico delle Dolomiti (da Bosellini 1996).

Queste formazioni sono state dislocate durante le fasi deformative Alpine di età terziaria, che hanno prodotto importanti sovrascorrimenti delle formazioni con una conseguente intensa fratturazione dei corpi rocciosi.



Su questo substrato variamente disarticolato hanno infine agito gli agenti esogeni e l'evoluzione gravitativa dei versanti, con la produzione di estesi e potenti corpi detritici, conoidi torrentizie e accumuli di frana che si sono depositati ai piedi dei rilievi litoidi sin dalla fine dell'ultima glaciazione.

Dal punto di vista cartografico, l'area in esame ricade nell'ambito della nuova carta geologica in scala 1:50.000 del progetto CARG, Foglio 29 Cortina d'Ampezzo, di cui si riporta uno stralcio nella figura seguente.



SOTTOBACINO DEL T. BOITE

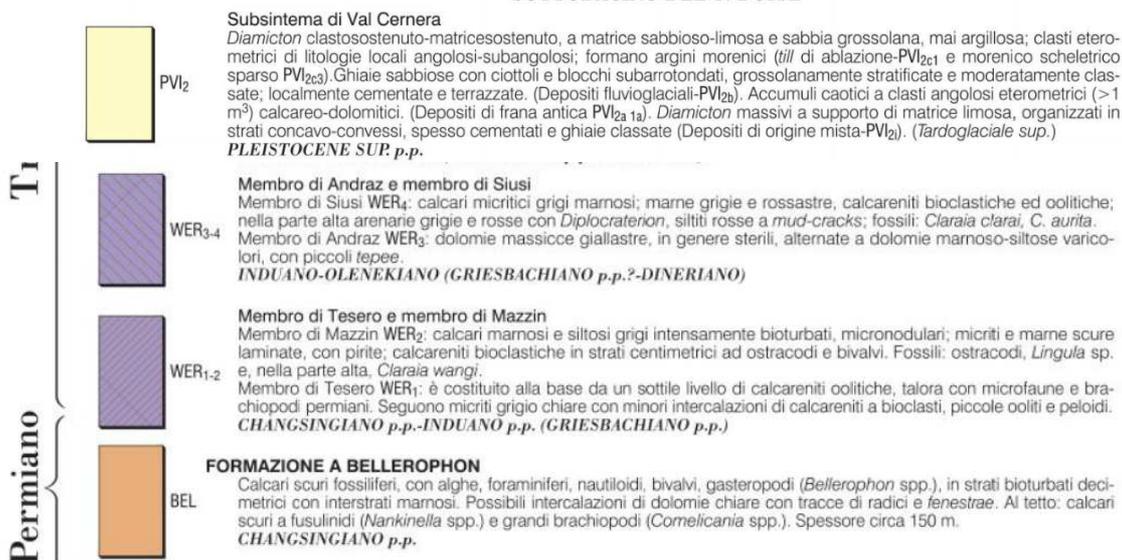
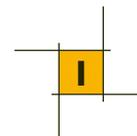


Figura 3 – Stralcio della carta geologica CARG Foglio 29 Cortina



Successione litologico-stratigrafica

A scala regionale, la zona di Cortina e del Cadore in generale presenta una successione stratigrafica dominata da formazioni sedimentarie triassiche. Nelle zone meridionali (quindi quelle di interesse) affiorano i terreni più antichi, limitati alla parte alta, carbonatica, della Formazione a Bellerophon (Permiano superiore).

Con riferimento allo schema stratigrafico precedente, il substrato della zona è formato dalle formazioni della parte basale della serie (Formazione a Bellerophon e Formazione di Werfen, nei suoi membri: Tesero, Mazzin, Andraz, Siusi).

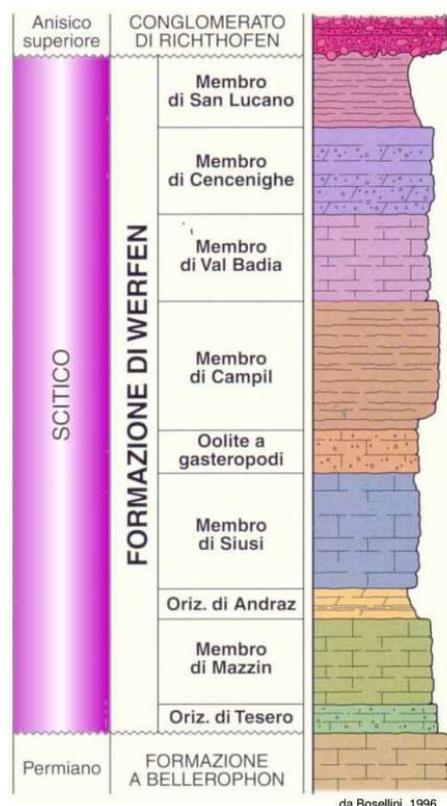


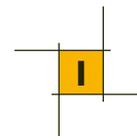
Figura 4 – Schema stratigrafico della zona di interesse

La *Formazione a Bellerophon* affiora proprio nella zona di Valle di Cadore al tetto di un importante sovrascorrimento di cui si riferirà oltre. Per tali motivi la successione si presenta incompleta e disturbata.

La successione presenta:

- a) alternanze cicliche di dolomie grigie più o meno marnose, marne e argilliti nere e gesso laminato;
- b) dolomie e calcari scuri alternati a minori marne; la parte alta dell'unità consiste prevalentemente di micriti scure e di biocalcareni.

La *Formazione di Werfen* è costituita da una complessa alternanza di litofacies terrigene e carbonatiche, deposte in un ampio e piatto shelf marino. È caratterizzata da litotipi a grana fine e litotipi granulari (prevalentemente peliti, marne, calcareniti, arenarie varicolori). L'unità è suddivisa in 9 membri e orizzonti da quello di Tesero (più antico) a quello di San Lucano (più recente); il suo spessore varia dai 200-250 m della



Val D'Adige, agli oltre 600 m delle Dolomiti orientali (in questa zona la formazione è spesso fortemente o completamente erosa).

Come detto in precedenza nella zona di Valle di Cadore affiorano i membri più antichi:

Membro di Tesero-Membro di Mazzin (WER₁₋₂ del CARG). Ha uno spessore complessivo di 50-60m ed è costituito, nel membro di base, da *grainstone* oolitici alternati a micriti, rare marne e *packstone-grainstone* a bioclasti in genere di colore grigio.

Il sovrastante membro di Mazzin è costituito da calcari micritici grigi più o meno marnoso-siltosi, in banchi metrici che si alternano a livelli caratterizzati da sottili intercalazioni calcarenitiche.

Membro di Andraz-Membro di Siusi (WER₃₋₄ del CARG). Ha uno spessore complessivo di 100-120m, con il membro inferiore dello spessore di 20m costituito da dolomie giallastre o grigie a volte marnoso-siltose (in superficie si presenta spesso molto alterata e disfatta nella coltre eluviale). Il membro di Siusi è formato da un sottile orizzonte basale calcarenitico e quindi da calcari micritici grigi con moderata frazione marnoso-siltosa, alternati a calcisiltiti e calcareniti in strat centimetrico-decimetrico; seguono marne e calcari marnosi rossastri alternati a calcareniti; arenarie, calcari arenacei e calcareniti di colore rosso o grigio; l'unità si chiude con un intervallo di circa 20m con caratteristiche simili al sottostante Membro di Andraz.

Schema tettonico regionale

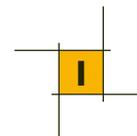
Nella zona di Valle di Cadore viene segnalato uno dei sovrascorrimenti che sono alla base della struttura tettonica regionale. Si tratta della cosiddetta "Faglia della Valsugana", la quale rappresenta il limite geologico meridionale delle Dolomiti ed è quindi fra le strutture più importanti di tutta la regione. Lungo questa struttura, in settori sia occidentali (zona di Agordo) che orientali (Cadore) il basamento antico metamorfico è posto in diretto contatto con le formazioni del Triassico.

Nella zona di Cortina la linea della Valsugana attraversa l'estremità sud-orientale, cioè proprio la zona di valle di Cadore. Questa linea di sovrascorrimento (indicata come incerta nella cartografia CARG) segue l'allineamento del Torrente Boite – Lago di Valle di Cadore per poi piegare leggermente verso nord sottopassando, al di sotto della copertura detritica quaternaria, proprio l'abitato di Valle di Cadore.

A monte di Valle di Cadore (quindi nella parte sovrascorsa) affiorano i membri inferiori della Formazione di Werner, mentre a valle dell'abitato, sul fondovalle del Boite, affiorano le formazioni dolomitiche più recenti (Dolomia Cassiana). Il sovrascorrimento avrebbe provocato quindi l'accavallamento della Formazione di Werner sulle formazioni più giovani.

Coperture detritiche

Al piede dei versanti e in particolare in tutta la zona in cui sorge l'abitato di Valle, le formazioni del substrato sono coperte da un potente accumulo di terreni detritici attribuito al Subsistema della Val Cenera. Si tratta di accumuli disomogenei e caotici di pezzame litoide delle dimensioni della ghiaia e dei ciottoli (ma anche con



blocchi superiori al metro cubo) immersi in maniera caotica in una matrice prevalentemente sabbioso-limoso (aggregato sedimentario definito “diamicton”).

Si tratta di materiali la cui genesi è da attribuire ai “Till di ablazione”, cioè materiali originariamente immersi nelle lingue glaciali depositatisi per fusione e anche per colata e scivolamento di detriti sopragliaci.

La struttura e la granulometria che ne deriva è quindi molto eterogenea e caotica.

Si tratta di imponenti movimenti di massa avvenuti nelle ultime fasi glaciali che hanno profondamente modificato la morfologia del territorio, provocando anche deviazioni di corsi d’acqua e formazione di laghi.

3.3. Inquadramento idrogeologico

La rete idrografica superficiale del territorio è caratterizzata, oltre che dai torrenti principali Boite e Vallesina, anche da diversi corsi d’acqua secondari, a regime sia perenne che temporaneo.

Il corso d’acqua principale che attraversa il territorio comunale in direzione all’incirca Ovest-Est è il torrente Boite, che nasce nella zona di Cortina d’Ampezzo e confluisce nel fiume Piave nei pressi di Perarolo.

La costruzione della diga in località Pocroce ne ha parzialmente sbarrato il corso, formando il bacino idroelettrico di Valle di Cadore, detto anche di Pocroce.

Gli affluenti principali del Boite ricadono in sinistra idrografica; essi sono il torrente Vallesina e il Ru de Rualan. Questi non interessano però l’area di progetto.

Nel territorio non esistono molte sorgenti, a testimonianza della permeabilità, mediamente elevata, dei terreni che favoriscono una notevole infiltrazione delle acque di precipitazioni. I contatti stratigrafici tra formazioni e tra terreni a permeabilità diversa non riescono, almeno nella ristretta area esaminata, a formare delle emergenze idriche significative. Alcune condizioni idrogeologiche locali possono portare alla formazione di livelli idrici elevati in quota (di tali aspetti si riferirà nel capitolo successivo).

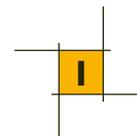
Le sorgenti più vicine alla zona di progetto sono quelle poste a monte dell’abitato di Valle di Cadore, a quote superiori a 1150-1200 m s.l.m.. Queste non hanno quindi influenza sulle opere in progetto.

Considerazioni specifiche sulla idrogeologia locale verranno svolte nel capitolo successivo

3.4. Geomorfologia e condizioni di stabilità

Le condizioni di stabilità dei versanti sono ovviamente legate alle complesse vicissitudini geologiche, tettoniche e climatiche che una determinata regione ha subito. In tale contesto la morfologia dei luoghi è fortemente condizionata dagli eventi post-glaciali che hanno portato alla formazione delle potenti ed estese fasce detritiche, commentate in precedenza.

La particolare combinazione tra assetto geologico generale e caratteristiche litologiche delle formazioni presenti, che mostrano alternanze di litotipi a carattere plastico con altri a comportamento rigido, ha causato una forte predisposizione all’instaurarsi di importanti fenomeni gravitativi, che particolarmente nel post-glaciale e con sostanziale continuità temporale hanno condizionato la diffusione di importanti depositi di frana al piede dei versanti.



In generale, si tratta di fenomeni generalmente esauriti, legati alle condizioni del post-glaciale, caratterizzate da condizioni climatiche assai più severe delle attuali che, in alcuni casi, sono stati riattivati interessando aree per lo più localizzate. La presenza tuttavia di imponenti masse detritiche generalmente incoerenti e l'elevata energia di rilievo sono alla base di una dinamica ancora attiva dei versanti.

Per avere un quadro generale delle condizioni geomorfologiche e in particolare delle condizioni di stabilità dei versanti si può inoltre fare riferimento agli studi dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, nell'ambito del *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI)*. Gli studi del PAI non indicano la presenza di frane o altri fenomeni significativi nell'ambito dell'area di studio. L'Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani (*IFFI a cura dell'ISPRA*) riporta invece una zona di colata rapida a monte del Cimitero che arriva fino alla SS 51. Si tratta di un fenomeno catalogato in schede di secondo livello con numero ID 0250401700, che risulta provenire da "dato storico/archivio".

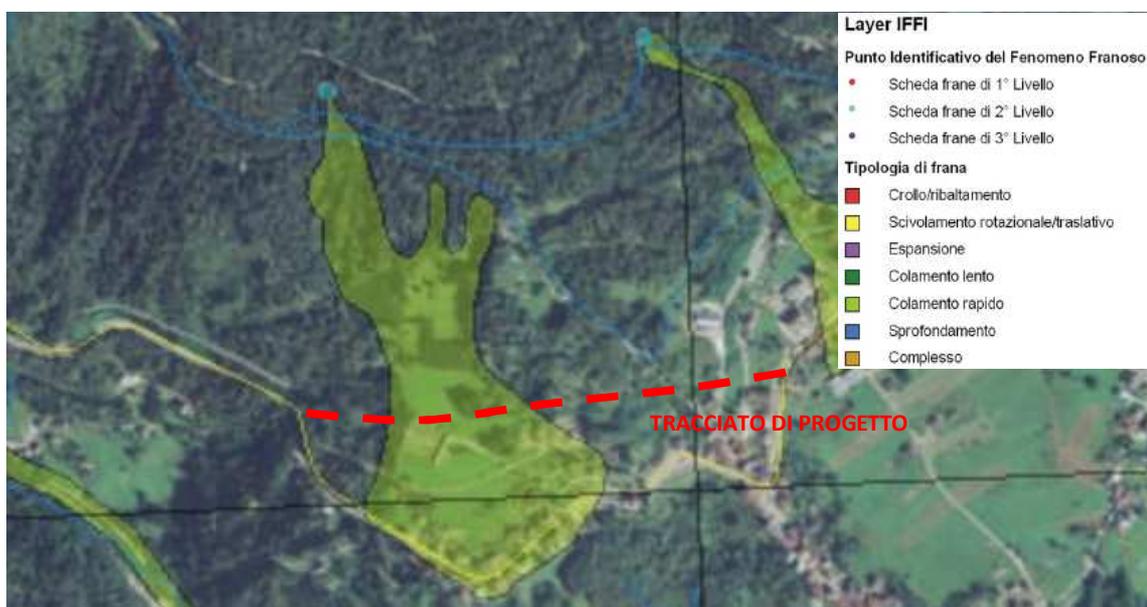


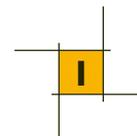
Fig. 4. Cartografia del progetto IFFI

Con riferimento ai più recenti e dettagliati studi geologici riportati nel PAT del Comune di Valle di Cadore, tale area di frana viene confermata e associata ad una conoide alluvionale nella zona a valle e a solchi di ruscellamento superficiale nella zona di monte.

Nella tavola delle fragilità del PAT questa area viene classificata come soggetta a "debris flow".

Nelle NTA per le aree di debris flow si riporta quanto segue.

Aree soggette a colate di detrito (DEB): nel territorio comunale sono state individuate alcune aree soggette a debris flow, precisamente nelle località di Pian de Sote, Sebie e Soravia. Nel PAI sono indicate come "dissesti franosi delimitati" estrapolati dal Database IFFI, ma da una rapida analisi si può però affermare che si tratta di debris flow antichi al giorno d'oggi non più attivi; gli accumuli di materiale trasportato hanno generato dei



conoidi alluvionali oramai consolidati, vegetati e in alcuni casi (Sebie e Soravia) anche ben urbanizzati. Alla luce di quanto sopradetto, nel caso di nuove realizzazioni in progetto si consiglia comunque un'analisi della situazione onde valutare l'eventuale grado di rischio, proponendo gli eventuali interventi più idonei per la messa in sicurezza dell'area.

Il fenomeno che interessa il progetto è quello della zona di Sebie, considerato quindi consolidato.

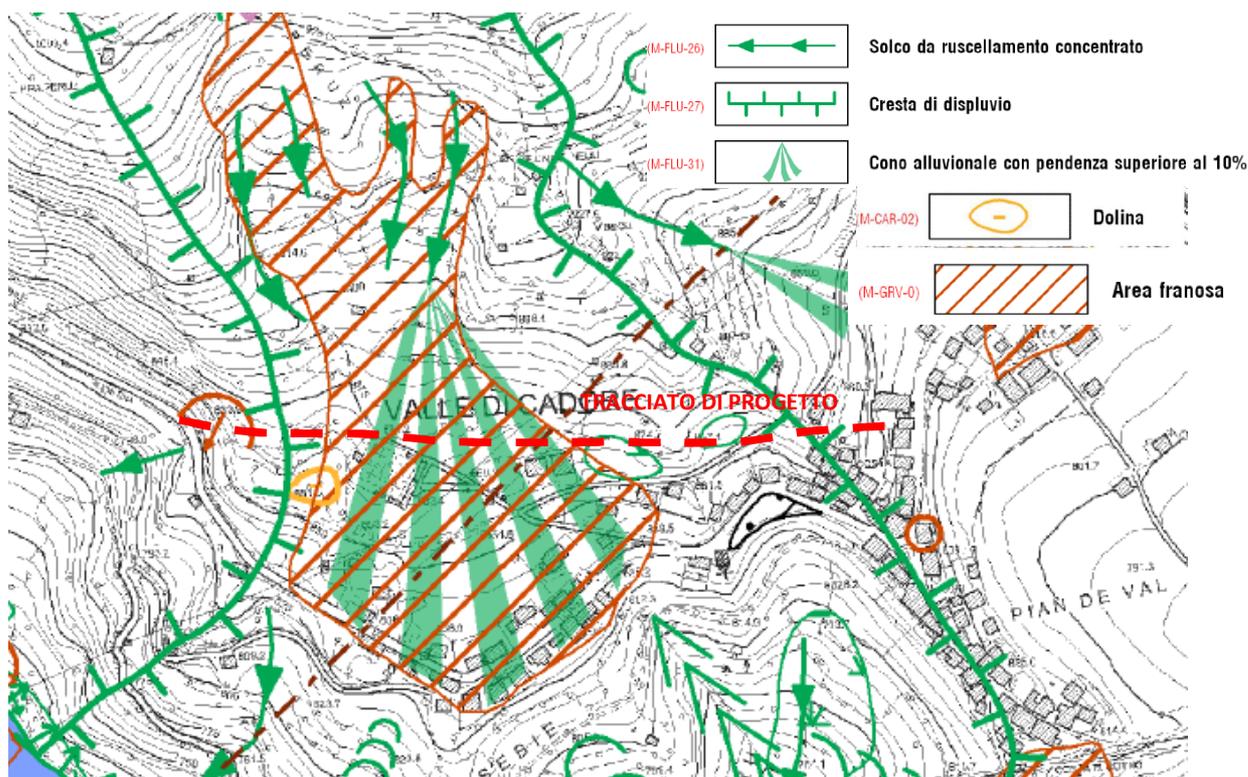


Fig. 5. Carta geomorfologica del PAT

Una revisione di tale cartografia è riportata nella carta geomorfologica allegata al progetto.

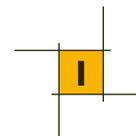
Considerazioni specifiche sulla pericolosità geologica della zona, con riferimento alla realizzazione dell'infrastruttura di progetto, vengono riportate nel capitolo successivo.

Una dolina viene indicata nel compluvio posto a fianco del cimitero. Nella relazione geologica del PAT si indica che i fenomeni carsici "sono presenti a Sud-Est del territorio comunale, al confine con Perarolo ed in località Val Granda. Ciò è dovuto al fatto che il substrato roccioso è ivi dato dalla Formazione di Raibl in facies gessosa, costituita da calcari gessosi, molto solubili in acqua". Si tratta quindi di fenomeni diversi rispetto a quanto indicato in questa zona (dove il substrato è di natura prevalentemente carbonatica).

Anche in questo caso verranno svolte considerazioni specifiche nel capitolo successivo.

Dal punto di vista **idraulico** non vi sono aree perimetrate dal PAI.

La mappatura del rischio di **valanghe** non indica zone di criticità.



3.5. Sismicità

L'Ordinanza del Presidente del C.d.M. n. 3274 del 20/3/2003 ha introdotto la nuova classificazione sismica del territorio italiano che viene diviso in 4 zone sismiche, ciascuna caratterizzata da un diverso valore del parametro a_g (accelerazione massima convenzionale su suolo di categoria A).

Con le Norme Tecniche per le Costruzioni del settembre 2005 è stato specificato che per le zone 1, 2 e 3 è possibile una suddivisione in sottozone caratterizzate da valori di a_g intermedi rispetto a quelli citati e intervallati da valori non minori di 0.025.

La Gazzetta Ufficiale del 11/5/2006 ha pubblicato l'Ordinanza del PdCM del 28 aprile 2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" (Ordinanza n. 3519) con la quale sono approvati i criteri generali e la mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale. Le valutazioni di a_g sono calcolate su un numero sufficiente di punti (griglia non inferiore a 0.05°), corredate da stime dell'incertezza. I valori di a_g sulle griglie suddette sono state pubblicate sul sito web dell'INGV. La documentazione di interesse è riportata nella mappa seguente.

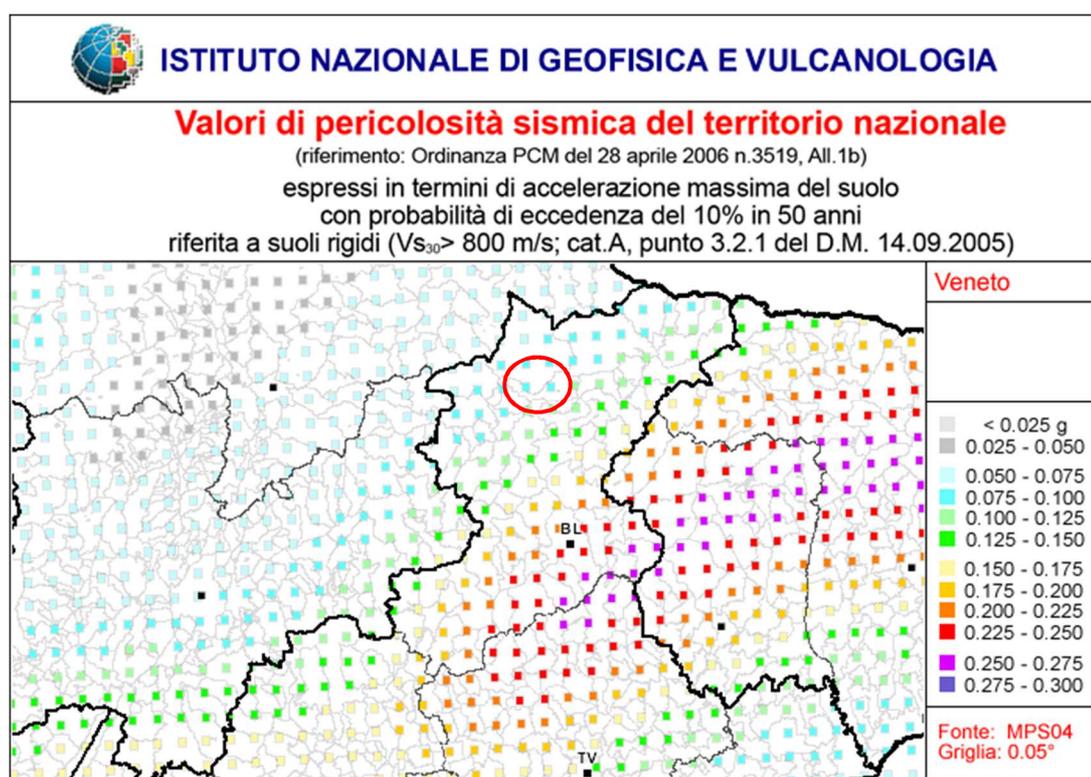
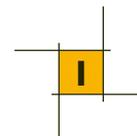


Fig. 6 - Mappa della sismicità (INGV)

Da questa mappa risulta che al Comune Valle di Cadore viene attribuita una classe di accelerazione al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (su suolo rigido) di 0.075-0.100g per il settore occidentale e 0.100-0.125g per il settore orientale (quello che interessa).

Nel sito sono state eseguite indagini sismiche per la valutazione delle classi di suolo e della risposta sismica locale. Di tali risultati si riferisce nel capitolo successivo.



4. ANALISI DELLE CONDIZIONI DEI SITI DI PROGETTO

4.1. Indagini eseguite

Per la progettazione definitiva degli interventi è stata programmata ed eseguita una specifica indagine, in sito e in laboratorio, che è consistita in:

- ✓ 4 sondaggi a carotaggio continuo della profondità di 20m (SV1), 35m (SV2), 40m (SV3) e 20m (SV4) per un totale di 115 ml di carotaggio;
- ✓ 26 prove SPT in foro, secondo le specifiche appresso riportate;
- ✓ prelievo di 24 campioni rimaneggiati;
- ✓ installazione di piezometri a tubo aperto nei sondaggi SV2 (40m) e SV3 (35m);
- ✓ prove di laboratorio:
 - granulometria e limiti di plasticità (ove misurabili) su 11 campioni rimaneggiati;
- ✓ 3 stendimenti sismici a rifrazione con misura delle onde di compressione e di taglio, della lunghezza di 161m ognuno, per un totale di 483m, con elaborazione tomografica.

Il programma di indagine prevedeva anche alcune prove pressiometriche in foro che non è stato possibile eseguire a causa della instabilità delle pareti del foro che non ha permesso di preparare adeguatamente la “tasca” di prova.

4.1. Morfologia

Dal punto di vista morfologico l'area ricade su un tratto di versante conformato a ventaglio che degrada con pendenze medie dell'ordine del 20-25%.

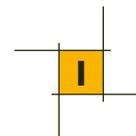
Il versante è modellato da ampie aree di compluvio e blande ondulazioni del terreno che addolciscono la pendenza locale del versante. Una piccola zona di compluvio è presente a ovest del cimitero e negli studi del PAT era stata attribuita alla presenza di una dolina (vedi considerazioni successive).

4.2. Modello geologico dei siti

Nel quadro geologico di area vasta descritto nel precedente capitolo, la successione stratigrafica dei siti è formata da:

- a) Terreni detritici a grana grossa e blocchi (Sub-sintema della Val Cenera)
- b) Formazione del substrato, di natura prevalentemente calcarea (Formazione di Werner)

I terreni detritici di copertura sono di origine fluvio-glaciale e morenici. Hanno un'ampia distribuzione granulometrica, dai ciottoli e ghiaie (anche con blocchi), fino alle sabbie, limo e argilla (matrice dello scheletro grossolano). Gli spessori sono molto variabili e arrivano a superare anche i 40 metri.



Una descrizione litotecnica e geotecnica di maggiore dettaglio di questi terreni è riportata nella relazione geotecnica. Nelle foto seguenti si riportano alcune cassette dei sondaggi nei tratti più rappresentativi della formazione detritica.



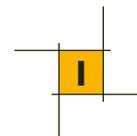
Sondaggio SV1 da 15 a 20m



Sondaggio SV3 da 0 a 5



Sondaggio SV3 da 5 a 10m



La Formazione di Werfen (Triassico inf.) è costituita da marne, arenarie e calcari marnosi rossastri, grigi o bruni. Tale formazione è suddivisa in diversi membri (vedi capitolo 2).

Nella ristretta area adiacente a quella del progetto, le rocce del substrato non sono mai affioranti. Con riferimento alla suddivisione della carta geologica del CARG, gli affioramenti più vicini (nelle zone a monte dell'abitato) sono stati attribuiti al membro di Tesero e di Mazzin. Altri affioramenti della formazione del Werfen sono stati rilevati lungo la SS51 dopo l'imbocco della galleria di progetto lato Cortina.

Le indagini eseguite hanno intercettato il substrato in profondità in un solo sondaggio (SV3) a partire dalla profondità di circa 20m.

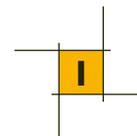
Questo sondaggio ha attraversato un ammasso roccioso completamente fratturato e intensamente alterato. Un primo tratto (tra 20 e 31.5m circa) è formato da calcari micritici e marnosi molto fratturati fino a completamente disgregati; il campionamento è rappresentato da frammenti spigolosi, piccole carote più o meno integre in genere inferiori a 10cm; solo in un caso, su 11.5m di carotaggio, è stata prelevata una carota da 15cm (RQD praticamente nullo).



Sondaggio SV3 da 20 a 25m



Sondaggio SV3 da 25 a 30m



Tra 31.5 e 38m i frammenti prelevati sono impastati con una matrice limo-argillosa (si tratta verosimilmente di un passaggio marnoso-argillitico della formazione). Da 38m a fondo foro (40m) riprende la formazione calcarea con un grado di fratturazione solo leggermente minore (si prelevano alcune carote di lunghezza tra 10 e 20cm). Il valore di RQD in questo tratto è valutato in circa 25%.



Sondaggio SV3 da 30 a 35m

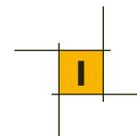


Sondaggio SV3 da 35 a 40m

La litologia è formata da prevalenti calcari e calcari marnosi di colore grigio scuro-nerastro, con vene di calcite, ma tra 31.5 e 38m è probabile sia stato attraversato un orizzonte marnoso-argillitico segnalato in letteratura nell'ambito della Formazione di Werner.

La presenza di vene di calcite è sintomo di fenomeni di circolazione idrica antica, ma non sono segnalati fenomeni di carsismo.

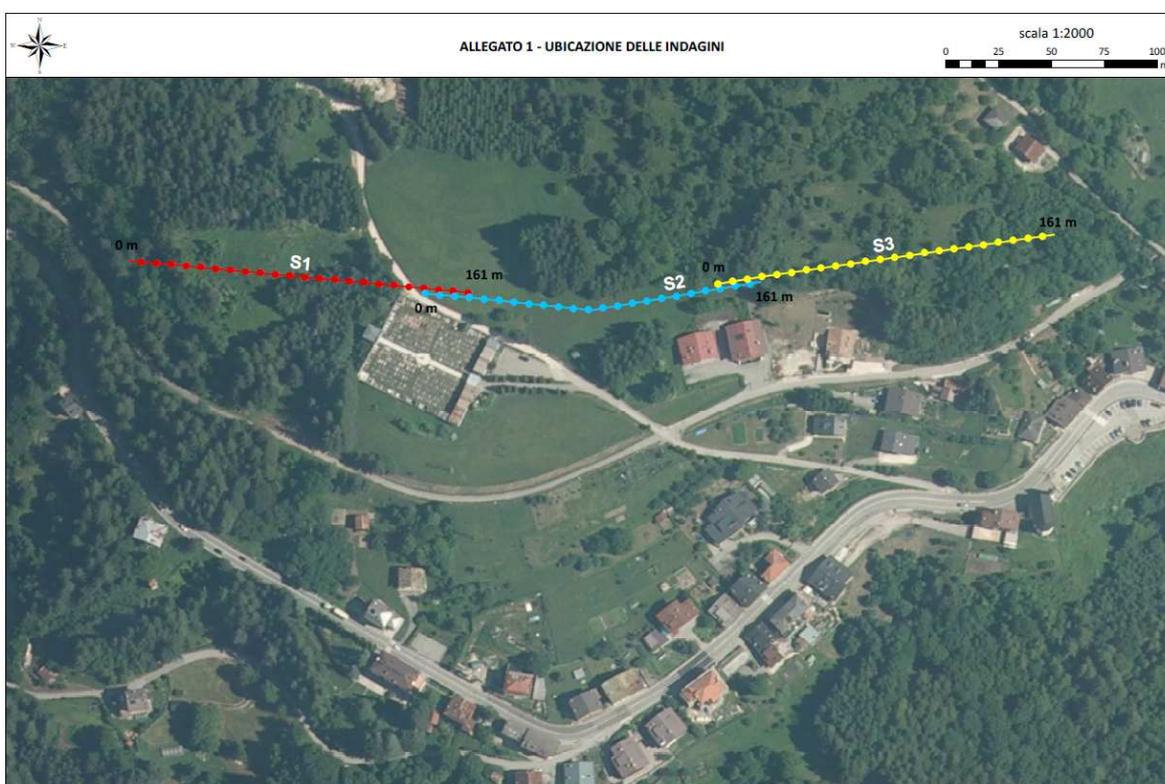
La roccia si presenta completamente frantumata, con soli rari tratti prelevati in carote di 10-20cm al massimo.



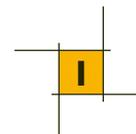
L'intesa fratturazione è da attribuire alla presenza dell'importante allineamento tettonico per sovrascorrimento della "Faglia della Valsugana" citata in precedenza. Vista l'importanza di questa dislocazione tettonica, è presumibile che essa si associ ad una fascia molto ampia in cui le rocce sono state deformate e triturate per il sovrascorrimento. Non necessariamente il sondaggio ha attraversato la superficie di faglia (che peraltro è verosimile che sia formata da più "fasci tettonici"), ma è ragionevole ritenere che sia stata attraversata la fascia tettonizzata associata a questa dislocazione.

In considerazione dell'irregolarità del contatto tra deposito detritico a grossi blocchi e substrato roccioso molto fratturato, i risultati dell'indagine sismica a rifrazione non hanno fornito risultati univoci.

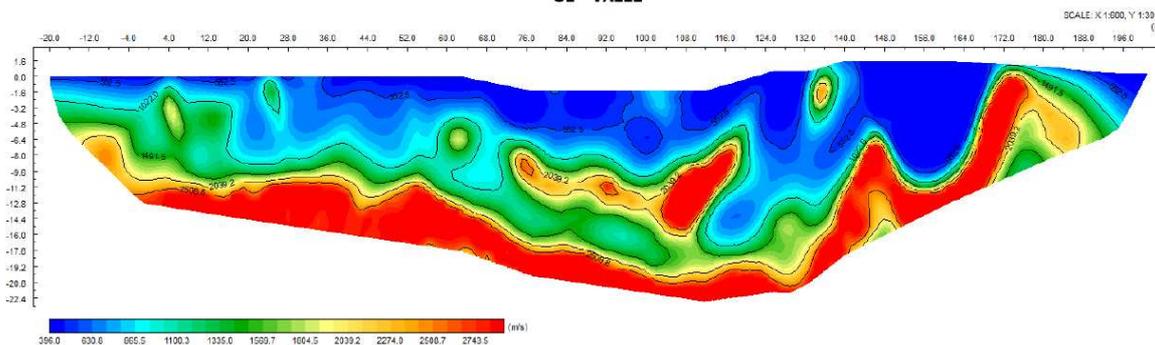
Sono stati realizzati 3 stendimenti che coprono quasi l'intero sviluppo della galleria.



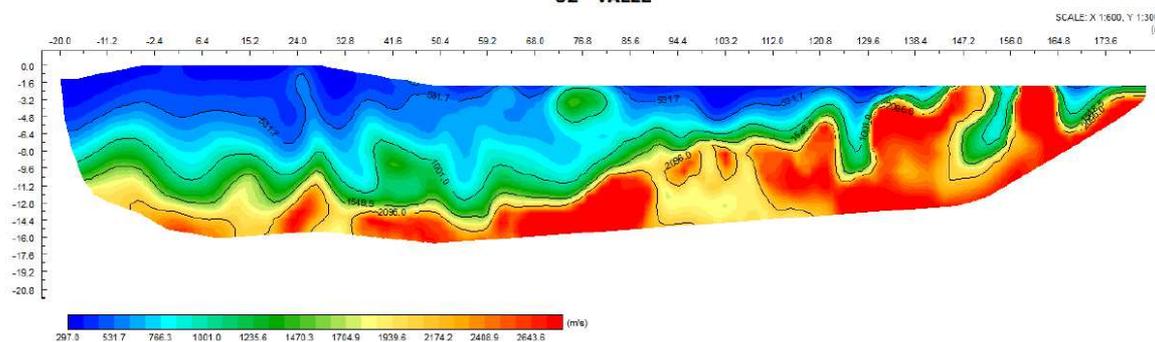
Nelle figure seguenti si riportano i profili sismici ricavati con tecnica tomografica.



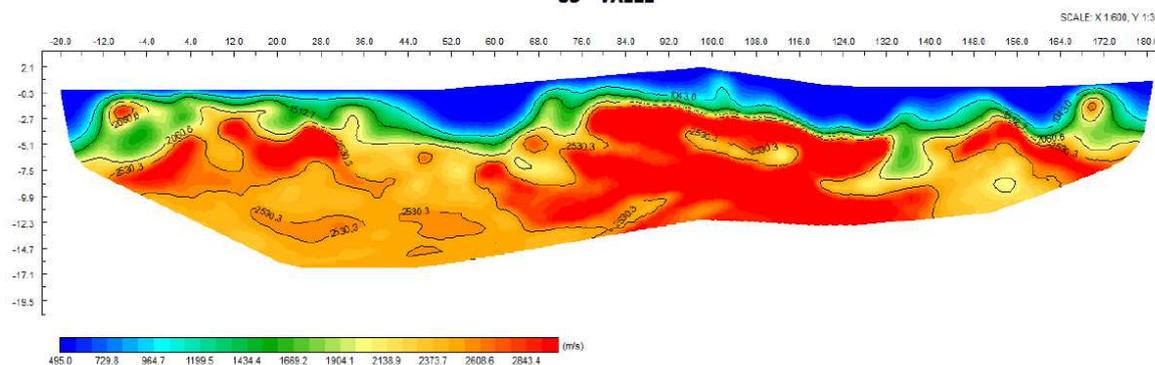
S1 - VALLE



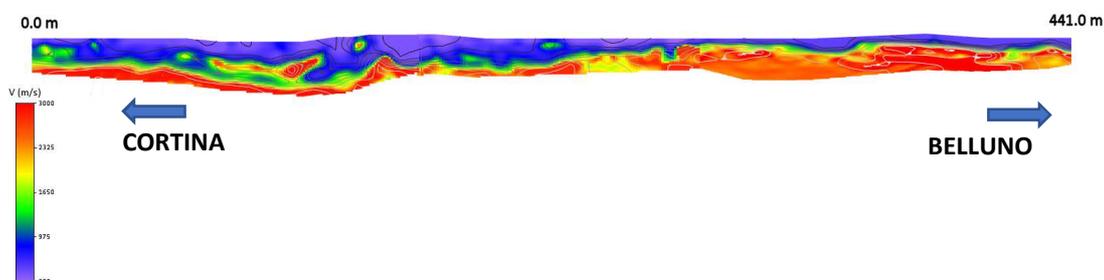
S2 - VALLE



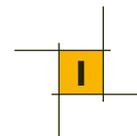
S3 - VALLE



Nella figura seguente viene rappresentata invece la situazione ricostruita sull'insieme dei tre allineamenti.



Da queste sezioni si evince la forte irregolarità dei segnali sismici con brusche risalite delle zone ad elevata velocità e la presenza di nuclei di alta velocità immersi in zone meno veloci.



Si conferma quindi la possibilità che il detrito inglobi blocchi anche molto voluminosi di roccia.

Il sondaggio SV3 ricade nella parte terminale di destra del profilo S1 dove sono segnalati dei contatti molto inclinati. Si tratta di irregolarità che potrebbero essere associate ad una o più discontinuità tettoniche sub-verticali; non si tratterebbe necessariamente della faglia principale prima descritta (faglia della Valsugana, che peraltro dovrebbe essere più "coricata"), ma sicuramente si tratta di disturbi tettonici associati all'allineamento tettonico di sovrascorrimento.

una certa discrepanza si deve invece evidenziare nella tratta destra A8I termine cioè dell'allineamento S3) che si avvicina alla zona indagata con il sondaggio SV2. Quest'ultimo ha attraversato terreni detritici fino a 35m di profondità, mentre nella parte centrale e terminale destro dello stendimento si segnalano velocità superiori a 2000 m/s già a partire da meno di 5m di profondità. tale circostanza potrebbe essere attribuita al forte addensamento dei terreni detritici e anche alla presenza di trovanti e grossi blocchi che portano a valori molto elevati delle onde P.

Una ricostruzione complessiva del quadro geologico di sottosuolo che tiene conto dei sondaggi e delle prospezioni sismiche è riportato nel profilo geologico allegato al progetto.

Il contatto indicato nel profilo geologico tra detrito e roccia del substrato è stato indicato con il punto interrogativo a causa delle incertezze insite nelle caratteristiche stesse del deposito morenico (eterogeneo, caotico e a grossi blocchi) e dell'elevato stato di fratturazione dell'ammasso roccioso. Il contatto tra questi due complessi potrebbe essere associato con uguale probabilità alla presenza di grossi blocchi nella parte basale del deposito morenico o ad una porzione completamente disarticolata e alterata della formazione del substrato.

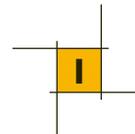
Di tali condizioni si dovrà tenere conto nella definizione delle modalità di scavo, avanzamento e sostegno della galleria.

4.3. Geomorfologia e condizioni di stabilità

Come precedentemente detto, il settore terminale del tracciato (verso Cortina) attraversa un'area delimitata come frana per colamento rapido (debris flow), sia nella cartografia IFFI, sia nella cartografia del PAT del Comune.

Come esplicitato nelle NTA del PAT, il fenomeno cartografato in questa zona (area di Sebie) è attribuito a eventi di *"debris flow antichi al giorno d'oggi non più attivi"* che hanno generato *"conoidi alluvionali oramai consolidati, vegetati"*.

L'analisi dello stato dei luoghi in effetti non indica la presenza di segni, tracce o indizi di movimenti franosi recenti (crepe, avvallamenti del terreno, vegetazione ruotata). Le strutture dell'area cimiteriale (che verrà sottopassata dalla galleria) non presenta segni di dissesto riconducibili a movimenti di pendio. La stessa



situazione di sostanziale stabilità si può ricavare dalle condizioni delle abitazioni presenti a est del Cimitero che ricadono nella zona marginale della zona di ipotizzata frana consolidata.

Una eventuale riattivazione di fenomeni di trasporto di detrito, che al momento appare poco probabile, potrebbe eventualmente interessare gli spessori più superficiali del terreno. In questo tratto però la galleria si sviluppa in profondità con coperture superiori a 20m. Si può quindi ragionevolmente ritenere che lo scavo della galleria non introduca un rischio rilevante nei riguardi della possibile riattivazione di questo fenomeno, né una sua riattivazione, indipendentemente dallo scavo della galleria, potrebbe interessare le nuove opere, come detto poste a notevole profondità.

Nei riguardi della segnalazione della dolina riportata nelle cartografie del PAT e in altri documenti si possono fare le seguenti considerazioni.

Il substrato della zona in esame è formato da rocce prevalentemente calcaree e non dalle formazioni in facies gessose dove sono state rilevate le numerose doline a Sud-Est del territorio comunale, al confine con Perarolo ed in località Val Granda.

In ogni caso, come indirizzo generale, le formazioni prevalentemente calcaree del Werner potrebbero essere (potenzialmente) interessate da fenomeni carsici in relazione alla natura carbonatica delle rocce, anche se i dati di letteratura (Note CARG) indicano che i litotipi più sensibili al fenomeno carsico, nell'ambito dell'ampia zona del Foglio Cortina, sono i "Calcari grigi", la "Dolomia Principale", la "Dolomia dello Sciliar" e il "Calcere della Marmolada"

L'area in cui è segnalata la dolina corrisponde ad un'area di compluvio che degrada verso il fondovalle del Boite

Questa area di compluvio (parzialmente boscata nella parte bassa) raccoglie, verosimilmente, su suo fondo lo scorrimento di acqua durante gli eventi meteorici più intensi. Il compluvio fiancheggia lo spigolo del cimitero e prosegue verso valle intersecando prima la pista ciclabile e poi la SS51.

Non è stato riscontrato un tombino idraulico o altro manufatto che attraversi la pista e la statale quindi il deflusso delle acque del compluvio sembrerebbe interrotto. In effetti si nota un'area in leggera contropendenza o comunque una sorta di avvallamento subito a monte della pista ciclabile che sembrerebbe indicare una tendenza al ristagno (o difficoltà di deflusso) delle acque superficiali (vedi foto seguenti). All'interno dell'area boscata presente in questa zona di avvallamento non è stata rilevata (per quanto possibile rilevare a vista) la presenza di inghiottitoi o di segni/indizi riconducibili alla presenza di un carsismo in profondità.



Lo sbocco dell'area di compluvio a monte della pista ciclabile



L'area di compluvio vista da valle verso il cimitero (sx) e dal cimitero verso valle

Peraltro in questa zona sono presenti detriti per spessori dell'ordine di almeno 20m (vedi sondaggi SV3 e SV4). Si tratterebbe quindi, eventualmente, di una deformazione superficiale legata a fenomeni di collasso della dolina sotterranea coperta da detrito (fenomeno simile al "sink hole").

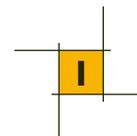
Lo stendimento geofisico S1 che taglia questa zona poco a monte non segnala la presenza di cavità o anomalie riconducibili a cavità. Nell'area di compluvio lo stendimento indica la presenza di un nucleo di roccia immerso nell'ammasso detritico; si tratta quindi di una anomalia di segnale che però non sembra direttamente riconducibile ad una cavità o a una cavità riempita.

Le indagini eseguite sono comunque di tipo indiretto e i relativi risultati sono frutto di interpretazioni e quindi non assumibili con ampi margini di sicurezza.

Allo stato attuale delle conoscenze si può ragionevolmente prevedere che la galleria non dovrebbe incontrare una vera e propria cavità; è tuttavia possibile che in questo settore siano presenti accumuli di detrito incoerente che colmano profonde e irregolari depressioni. Situazioni di questo tipo sono peraltro da prevedere anche in altre zone (come indicato dalle proiezioni geofisiche).

Un approfondimento di indagini in fase di progetto esecutivo e/o una metodologia di avanzamento con foro di ispezione in avanzamento potrebbe limitare le incertezze relative a questo aspetto.

In questa fase è stato indicato nel profilo geologico la possibile presenza di terreni incoerenti e circolazioni idriche in corrispondenza di questo passaggio.



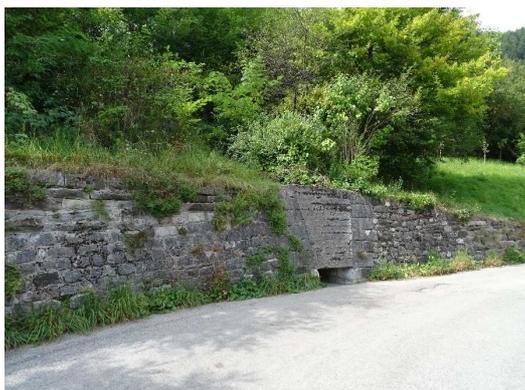
sempre per quanto riguarda l'imbocco ovest (lato Cortina) la carta geomorfologica del PAT segnala una piccola frana non cartografabile in corrispondenza dell'imbocco, subito a monte della posta ciclabile.

I sopralluoghi eseguiti lungo la posta ciclabile non hanno individuato segni o indizi di frane. A monte del muro in pietra di controripa (senza segni di lesione) che borda la ciclabile l'area è fittamente vegetata e boscata. E' da presumere quindi che si sia trattato di un piccolo scollamento superficiale di detrito, oggi ricoperto da vegetazione e quindi stabilizzato. Si dovrebbe trattare comunque di piccoli fenomeni superficiali che non interagiscono con la galleria.



Zona della pista ciclabile a monte dell'imbocco ovest lato Cortina

Per quanto riguarda l'imbocco est (lato Belluno) si individua un'area di compluvio che scende verso l'abitato; in corrispondenza del tornante della piccola strada che sale dal Municipio si rileva la presenza di una caditoia stradale con griglia che raccoglie le acque superficiali che si convogliano nella zona centrale del compluvio. Dalla caditoia non è possibile individuare il punto di uscita che potrebbe essere direttamente nel sistema fognario o, attraverso una lunga condotta che sottopassa il parcheggio a lato del Municipio, potrebbe scaricare a valle della SS51, nel fondo della prosecuzione del compluvio coperto da fitta vegetazione.



Il pozzetto con caditoia a monte dell'imbocco est lato Belluno

4.4. Condizioni idrogeologiche del sito

Nel contesto idrogeologico di area vasta delineato nel capitolo precedente non si segnala la presenza di acquiferi che danno luogo a sorgenti nell'ambito della ristretta area di interesse.

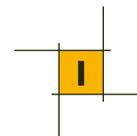
Gran parte della galleria viene scavata in terreni detritici a grana grossa e blocchi, dotati di permeabilità mediamente elevata.

Una stima del coefficiente di permeabilità per questi terreni, considerando la presenza di una frazione fine che può essere anche di natura argillosa, può essere indicata in un range $K=10^{-4}\text{m/s}\div 10^{-6}\text{m/s}$.

Anche la sottostante formazione del substrato, intensamente fratturata, è dotata a stima di permeabilità mediamente elevata (per fratturazione), a parte le intercalazioni marnoso-calcaree-argillitiche, relativamente meno permeabili. Il range di permeabilità (per fratturazione, ma anche per porosità nei tratti completamente disgregati) può essere indicato simile a quello stimato per i detriti a grana grossa.

Sulla base delle condizioni geologiche e idrogeologiche descritte in precedenza non si delinea quindi la presenza di una struttura geologica che possa dare luogo ad acquiferi e conseguenti emergenze idriche.

L'ammasso detritico è tuttavia caratterizzato da una elevata eterogeneità e sono segnalati strati e porzioni di detrito con una elevata componente limo-argillosa. Tali terreni, di permeabilità relativamente inferiore rispetto alle porzioni a grana grossa (preponderanti), potrebbero, in particolari condizioni stratigrafiche, formare degli "aquiclude" con la comparsa di acquiferi superficiali, di tipo effimero e sospesi rispetto alla falda di base profonda.



Nella tabella seguente sono riportate le letture piezometriche eseguite durante il periodo di progetto.

| Piezometro | 11/07/2017 (prof./quota) | | 25/8/2017 (prof./quota) | |
|------------|-----------------------------|-------|----------------------------|-------|
| | SV2 | 5.25 | 855.75 | 5.70 |
| SV3 | 30.30 | 840.1 | 30.80 | 839.6 |

Le letture piezometriche nel foro SV3 hanno rilevato la presenza della falda idrica alla profondità di 30m dal p.c. (quindi nell'ambito del substrato molto fratturato e poco al di sopra della quota di progetto stradale della galleria), in accordo con il quadro idrogeologico di area vasta.

Nel piezometro SV2 le letture indicano invece un livello idrico alla profondità poco superiore a 5m. Poiché tale lettura era apparsa anomala (nei primi controlli) è stato effettuato uno spurgo del piezometro con svuotamento totale del piezometro stesso. Nonostante tale spurgo il livello piezometrico si è ristabilito alla profondità di 5.25m ed è sceso solo leggermente nelle letture successive (del periodo estivo).

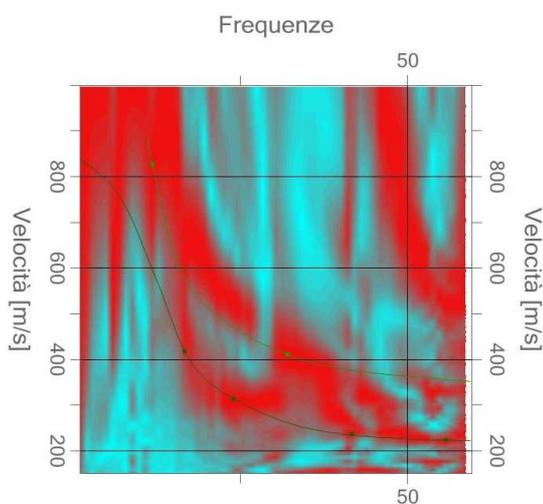
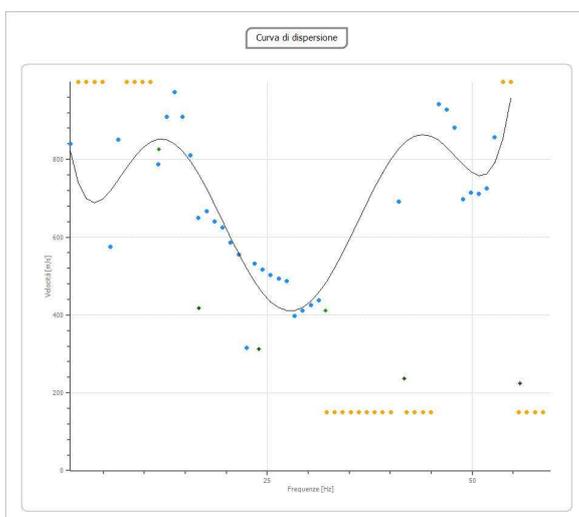
Poiché è difficile giustificare la presenza di un livello piezometrico così elevato senza che nelle zone circostanti si evidenzino emergenze, si ritiene necessario monitorare su lunghi periodi questo piezometro per dare una spiegazione coerente con le strutture geologiche di sottosuolo.

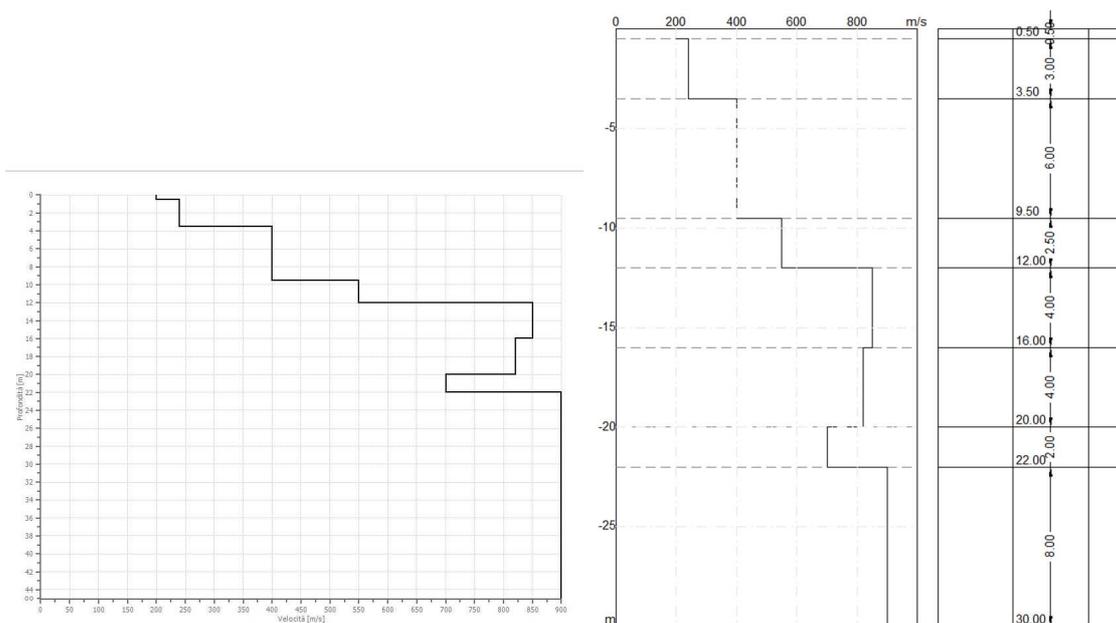
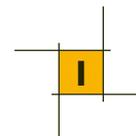
4.5. Caratterizzazione sismica

Nei siti di progetto sono state eseguiti 3 stendimenti sismici con tecnica della doppia energizzazione ed acquisizione delle velocità delle onde P ed onde S.

Le anomalie riscontrate con questi stendimenti (già commentate in precedenza) con frequenti inversioni di velocità, non hanno consentito di elaborare sempre con sufficiente precisione le prospezioni eseguite con acquisizione delle velocità delle onda di taglio.

In corrispondenza dello stendimento S2 i segnali consentono una elaborazione in modalità MASW i cui risultati si riportano nelle figure seguenti.





Elaborazione MASW sullo stendimento S2

Da questi risultati si ricava una V_{s30} (velocità delle onde di taglio mediata nei primi 30m di profondità) di circa 650 m/s.

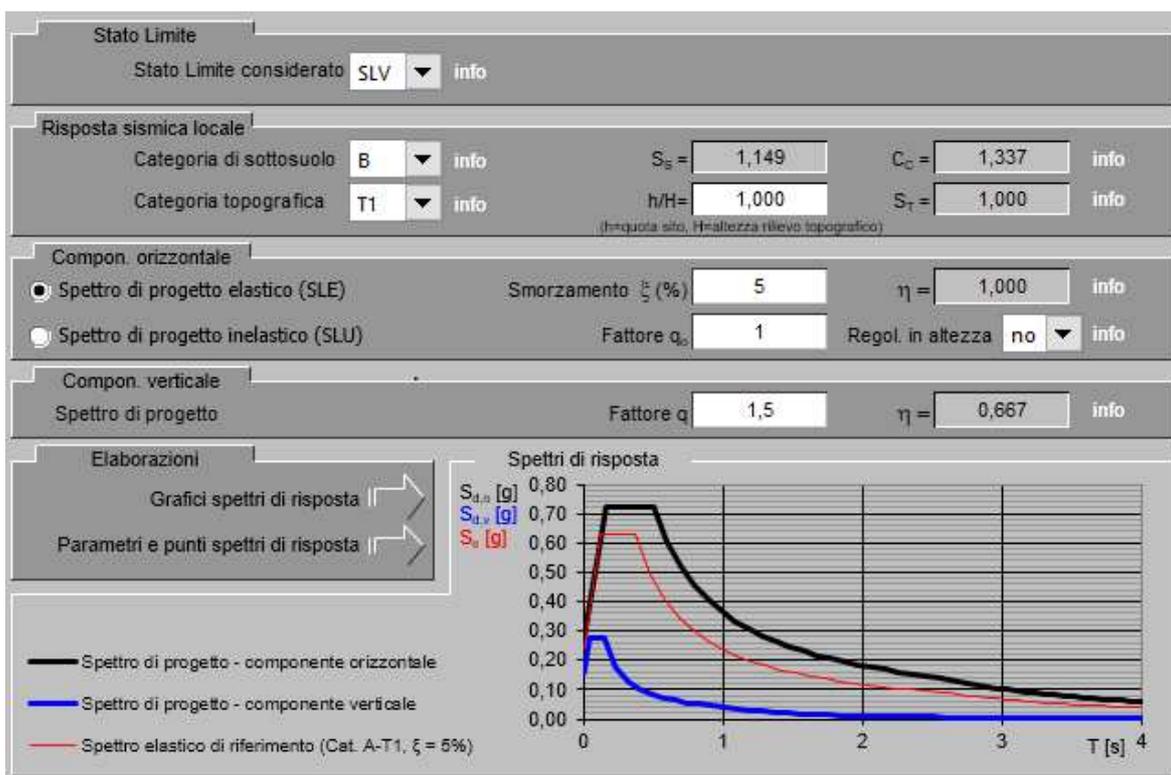
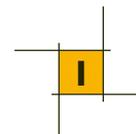
Su tali basi, considerando la sostanziale omogeneità dei terreni (in termini granulometrici e di addensamento) si possono classificare tutti i terreni interessati dal tracciato nella **categoria B**, caratterizzati cioè da V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Questi valori sono compatibili con i valori delle prove SPT.

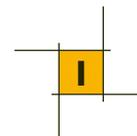
Per tutti i siti la **categoria topografica** ricade nella classe **T1**.

Con questi dati potranno ricavarsi i vari spettri sismici di progetto a seconda delle varie condizioni progettuali e delle tipologie di opere.

Nel grafico seguente viene riportato lo spettro di progetto allo SLV, per la classe di suolo B e in condizioni topografiche pianeggianti o debolmente acclivi (T1) per una vita nominale di 100 anni e classe d'uso IV.



Spettri sismici SLV



5. CONDIZIONI GEOLOGICHE PER LO SCAVO DELLA GALLERIA

Sulla base dell'insieme delle considerazioni svolte nei capitoli precedenti, si possono riassumere le seguenti condizioni geologiche che saranno affrontate nello scavo della galleria e di cui si dovrà tenere conto nella progettazione delle opere.

Lo scavo della galleria interesserà per la maggior parte **terreni detritici a grana grossa**, formati da ghiaie e ciottoli immersi in una frazione interstiziale o matrice a grana prevalentemente limo-sabbiosa, ma anche limo-argillosa. Si tratta di **materiale di natura incoerente**.

Le dimensioni più frequenti dei frammenti lapidei variano da alcuni centimetri a 10-20cm

In questi terreni sono presenti anche **blocchi di roccia** che possono raggiungere volumi da alcuni dm³ ad alcuni m³. Tali blocchi non sono stati attraversati dai sondaggi, ma sono da ritenere possibili per le caratteristiche generali della formazione detritica e per i risultati degli stendimenti geosismici.

Una analisi statistica relativa alla presenza di questi blocchi nell'ammasso detritico risulterebbe poco affidabile in assenza di una campagna di indagini (dirette) realizzata con una frequenza di significato statistico. Nell'ambito dei 4 sondaggi eseguiti (su uno sviluppo di circa 600m, quindi con una frequenza media di circa una verticale di indagine ogni 150m) i frammenti contenuti nel detrito hanno dimensioni dell'ordine dei centimetri fino ad un massimo di 10-20cm. Non sono stati attraversati tratti di roccia perforati in carote (che potrebbero indicare la presenza di blocchi).

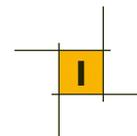
Le prospezioni geosismiche hanno tuttavia indicato la presenza di zone di elevata velocità immerse nell'ammasso che potrebbero essere legate appunto alla presenza di grossi blocchi (o comunque di nuclei di elevata velocità) immersi nell'ammasso detritico.

Una stima per quanto possibile ragionevole del volume complessivo di questi blocchi rispetto alla frazione detritica, per l'intero tratto della galleria, potrebbe essere indicata in circa il 10%.

Come detto in precedenza, il **contatto tra detrito e substrato** è molto irregolare e potrebbe non essere definibile in maniera univoca anche nel corso dell'avanzamento della galleria poiché si potrebbero alternare grossi blocchi facenti parte della porzione basale del deposito morenico con grossi blocchi disarticolati della formazione del substrato.

Questa è interessata da un **elevato stato di fratturazione** per la presenza di un importante allineamento tettonico al quale sono associate fasce e porzioni di ammasso roccioso molto tettonizzate.

Come indicato in precedenza la galleria attraversa l'importante allineamento tettonico della Faglia della Valsugana. Lo stato di fratturazione riscontrato nel sondaggio (con fasce triturate e completamente disgregate) confermerebbe la presenza di questo allineamento che si dovrebbe presentare in "fasce" piuttosto che con una superficie di faglia unica.



Nel profilo geologico sono state indicate alcune faglie sub-verticali come sembrerebbero indicare le prospezioni sismiche; tali faglie potrebbero tuttavia essere non le uniche che verranno attraversate dalla galleria; l'intero substrato è stato quindi segnalato come fascia tettonizzata per i motivi prima indicati.

Nel profilo geologico il contatto tra detrito e roccia è stato segnalato come incerto per i motivi suddetti. Secondo l'ipotesi formulata in questo studio il contatto dovrebbe essere intercettato tra le progressive 200 e 230 circa dal lato Cortina e tra le progressive 400 e 460 circa dal lato Belluno. Queste progressive potrebbero tuttavia essere diverse e di conseguenza anche la lunghezza del tratto di scavo in roccia. Questa variabilità potrebbe avere conseguenze diverse dal punto di vista tecnico-economico; l'attraversamento in roccia comporta un maggiore onere di scavo e forse minori interventi di consolidamento, quindi andrebbe valutata attentamente la ripartizione dello scavo in roccia e in detrito ai fini del computo, considerando la possibilità che lo scavo in detrito possa essere anche superiore a quello indicato nel profilo geologico. Nel profilo è stata indicata la percentuale di probabilità che il modello geologico possa variare rispetto a quello previsto.

In particolare nel tratto in roccia questa probabilità varia tra il 10 e il 50% e mediamente si può assumere una probabilità di variazione del 30%; la lunghezza dello scavo in roccia potrebbe essere ridotta al 70% rispetto a quanto indicato.

La presenza di roccia ha inoltre conseguenze anche nei confronti delle ripercussioni dello scavo in superficie, soprattutto nei tratti in cui si sottopassano alcuni edifici.

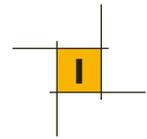
Nelle sezioni geologiche trasversali allegate al progetto è stata fatta una ipotesi di modello geologico che tiene conto delle suddette incertezze. È tuttavia consigliabile effettuare una analisi di sensitività valutando le diverse risposte del modello di calcolo (soprattutto in termini di ripercussioni delle deformazioni in superficie) nei due casi rispettivamente di modello geologico come indicato nella sezione alla pk 410 (quindi con la roccia che interessa gran parte della sezione galleria) e nel caso in cui i contatti si rivelino molto più irregolari, lasciando quindi l'intera sezione di scavo interessata dal detrito (come nella sezione geologica alla pk 640).

Lo **scavo interesserà le acque di falda** intercettate con i due piezometri, con battenti (rispetto alla galleria) relativamente contenuti nella zona del cimitero dove il piezometro SV3 ha intercettato la falda alla profondità di 30.3m, corrispondente ad un'altezza di circa 7m rispetto al fondo dello scavo in arco rovescio.

Nella zona iniziale (verso Belluno) le misure piezometriche indicano invece quote più elevate corrispondenti ad altezze di circa 4m rispetto alla calotta. Resta da accertare se tali livelli piezometrici elevati siano legati ad una falda effimera di tipo stagionale o invece ad una falda stabile.

Il fatto che questi livelli siano stati riscontrati anche in periodi estivi farebbe propendere per la seconda ipotesi.

L'andamento della superficie di falda indicata nel profilo rappresenta una ipotesi rispetto ai due punti di misura disponibili, ma potrebbe ovviamente essere diverso. Alla luce delle misure disponibili si prevede



comunque che la quasi totalità della galleria sarà interessata dalla falda idrica, contenuta in terreni detritici sciolti.

Da segnalare inoltre la **possibilità di attraversare aree carsificate** nella zona sottostante il Cimitero, dove i documenti disponibili indicano la presenza di una dolina.

Le indagini eseguite non hanno accertato in maniera univoca la presenza di questa dolina o comunque di cavità. È da mettere in conto tuttavia, nelle previsioni di scavo, la possibilità di attraversare sacche riempite di materiale incoerente.

Un approfondimento di indagini in fase di progetto esecutivo e/o una metodologia di avanzamento con foro di ispezione in avanzamento potrebbe limitare le incertezze relative a questo aspetto.