



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

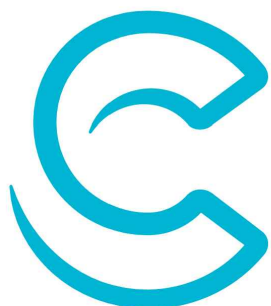
Anas S.p.A. - Società con Socio Unico

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



cortina
2021

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

Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021

Attraversamento dell'abitato di
Tai 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:



ART Ambiente Risorse Territorio srl

strada Pietro Del Prato 15/A 43121 Parma

tel. +39 0521 090911 fax +39 0521 090999

www.artambiente.org info@artambiente.org

DIRETTORE TECNICO: *Dott. Ing. Ivo Fresia*

visto: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Gabriella MANGINELLI

PROTOCOLLO:

DATA:

N. ELABORATO:

GEOLOGIA

Relazione geologica ed idrogeologica

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

MSVE14 D 1709

NOME FILE

T00_GE00_GEO_RE01_B-RelGeologicaIdrog.docx

REVISIONE

SCALA:

CODICE ELAB. T00GE00GEORE01

B

-

D

C

B

A

REV.

SONDAGGI E LABORATORIO

EMISSIONE

DESCRIZIONE

GENNAIO 2018

LUGLIO 2017

DATA

G. VILLA

G. VILLA

REDATTO

R. MALCOTTI

R. MALCOTTI

VERIFICATO

I. FRESIA

I. FRESIA

APPROVATO

Indice

1	Premessa	1
1.1	Inquadramento degli interventi in progetto	1
2	Inquadramento geologico e strutturale	3
3	Caratterizzazione geolitologica e successione stratigrafica.....	9
3.1	Depositi superficiali	9
3.2	Formazioni di substrato.....	10
4	Caratterizzazione geomorfologica.....	13
5	Caratterizzazione idrogeologica	14
5.1	Soggiacenza falda	16
6	Indagini geognostiche e geofisiche.....	17
7	Modello geologico del tracciato in progetto	20
7.1	Svincolo di raccordo alla S.S. 51 “Alemagna” in loc. Tai di Cadore, direzione Cortina d’Ampezzo, mediante rotatoria	20
7.2	Galleria artificiale di 130 m (da progr. 0+100 a progr. 0+230)	21
7.3	Galleria naturale di 782 m (da progr. 0+230 a progr. 1+012).....	22
7.4	Galleria artificiale di 20 m (da progr. 1+012 a progr. 1+032)	22
7.5	Svincolo di raccordo alla S.S. 51 “Alemagna” in loc. Galghena direzione Pieve di Cadore	22
7.6	Caratterizzazione degli ammassi rocciosi.....	24
7.6.1.	Rilievi geomeccanici	24
7.6.2.	Classificazione degli ammassi rocciosi	26
7.6.2.1	Stazione TAI01.....	28
7.6.2.2	Stazione TAI02.....	30
8	Sismicità.....	32
8.1	Sismicità storica e recente.....	32
8.2	Sorgenti sismogenetiche	34
8.3	Zonazione sismogenetica	36
8.4	Azione sismica	Errore. Il segnalibro non è definito.
8.4.1.	Spettro di risposta elastico.....	Errore. Il segnalibro non è definito.

ISO 9001	elaborato	verificato	approvato	commessa	attività	prodotto	elaborato	revisione
ART	VL	RM	FR	709	4	91	001R	01

1 Premessa

Il presente elaborato costituisce la relazione geologica nell'ambito del Progetto Definitivo della Variante di Tai di Cadore lungo la S.S. 51 Alemagna, ricadente nel Comune di Pieve di Cadore (BL).

Il tracciato di progetto prevede una nuova galleria di lunghezza circa 1 km e i due nuovi raccordi a raso con la viabilità esistente (due rotatorie).

Sulla base degli interventi progettuali proposti si descrivono le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche dell'area d'intervento e in un suo adeguato intorno per la costruzione del modello geologico, secondo quanto previsto dalla normativa vigente (NTC 2008 e s.m.i.).

1.1 Inquadramento degli interventi in progetto

La Variante di Tai di Cadore della S.S. 51 ricade interamente nel Comune di Pieve di Cadore.

Da località Manzago si sviluppa verso ovest con un tracciato di circa 1,1 km, in gran parte in galleria naturale, attraversando le pendici del Col Vacher-M. Zucco, per poi sboccare in località Pra de Tai in direzione Cortina d'Ampezzo.



Fig. 1 Tracciato della Variante della S.S. 51 di Tai di Cadore

Gli interventi prevedono la realizzazione, oltre alle opere in sotterraneo (galleria artificiale e naturale), di opere di sostegno e di ancoraggio.

In particolare la galleria si svilupperà ad una profondità massima di circa 67 m dal p.c. (v. immagine a seguire).

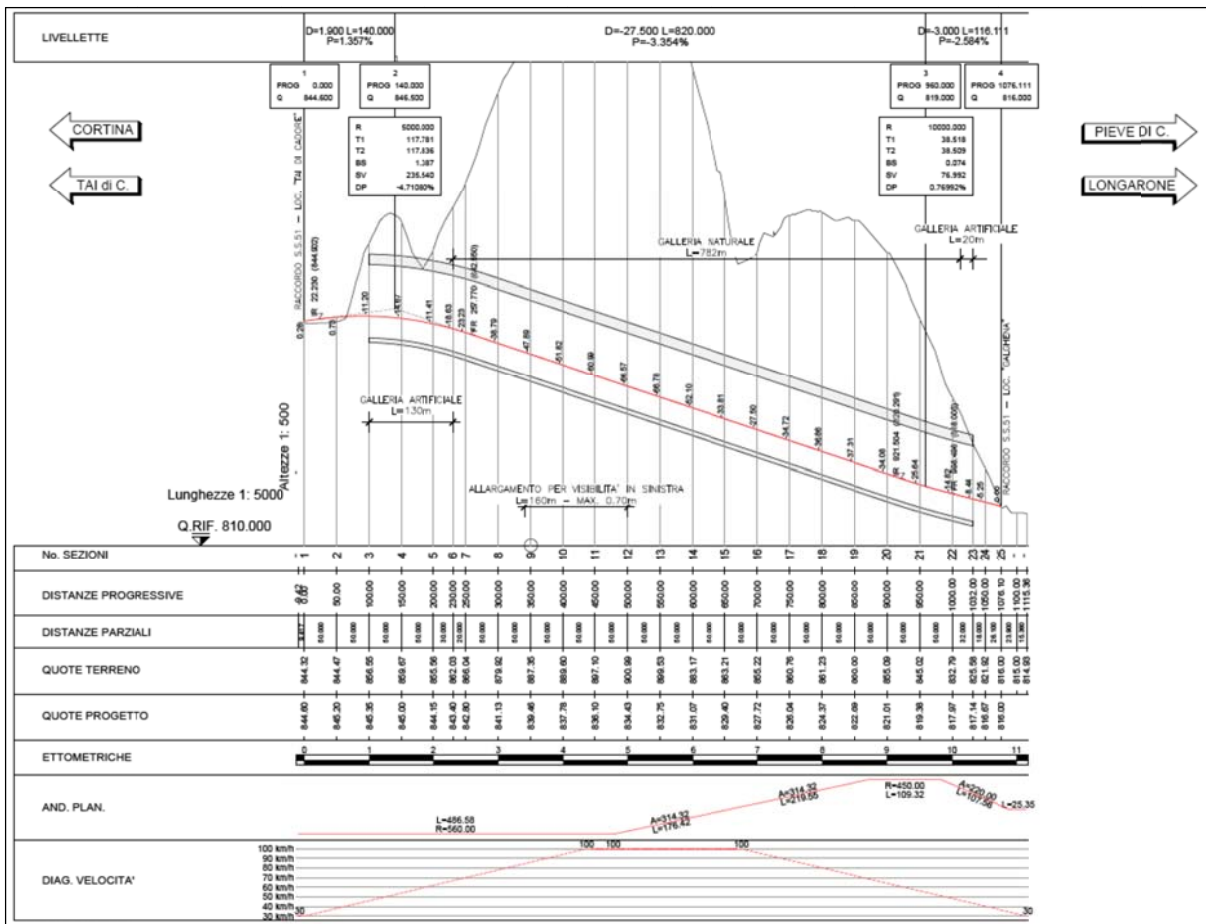


Fig. 2 Profilo altimetrico del tratto in galleria naturale della Variante S.S. 51 di Tai di Cadore

2 Inquadramento geologico e strutturale

L'area in esame dal punto di vista geologico strutturale ricade nel settore delle Alpi Meridionali, in un'area unica sia dal punto di vista stratigrafico, sia da quello strutturale, in quanto vi sono registrate nel settore nord l'evoluzione tettonica delle Dolomiti e a sud l'evoluzione del Bacino di Belluno compreso tra le Piattaforme Trentina e Friulana.

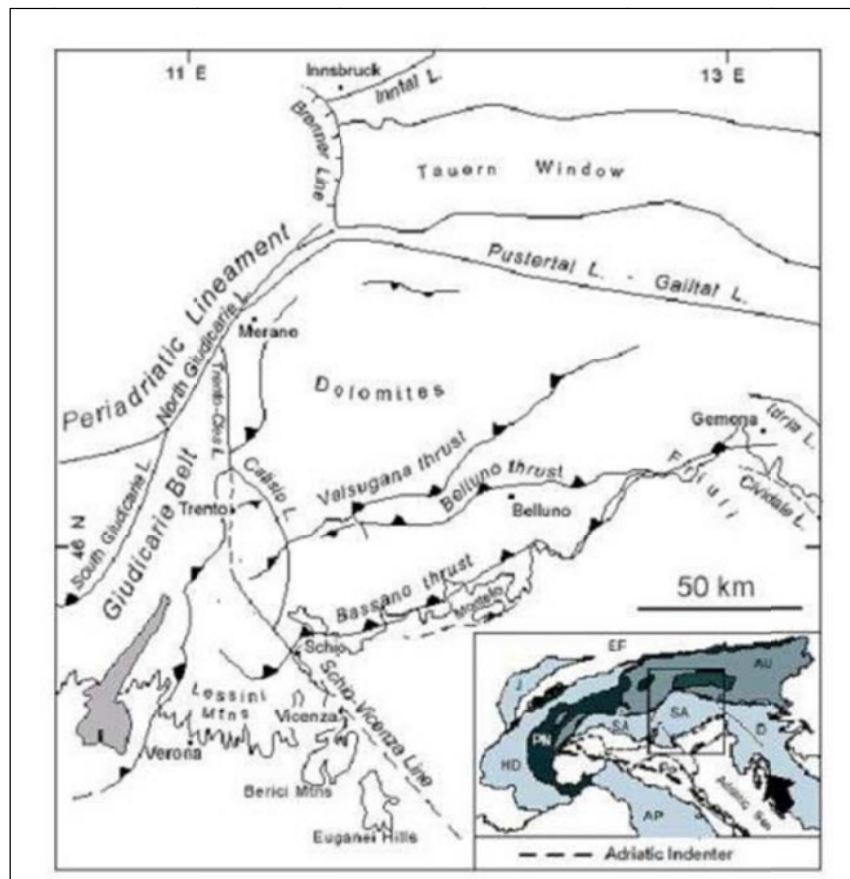


Fig. 3 Principali lineamenti tettonici nel settore delle Alpi meridionali

Siamo in presenza di sforzi compressivi, causati da diversi tipi di cinematica: il cuneo Adriatico, esercita una pressione sulla piattaforma Eurasiatica in direzione Nord, attraverso fenomeni di accavallamento che si riconoscono in quest'area nelle linee di thrust della Valsugana-Comelico e di Belluno.

Queste strutture presentano piani di faglia che in gran parte immergono verso Nord, con conseguente apparente vergenza verso Sud.

A nord il limite transpressivo è rappresentato dalla Linea transcorrente della Val Pusteria, mentre a ovest è presente la linea distensiva delle Giudicarie che si prolunga verso SE, in Regione Veneto, nella Linea Schio Vicenza, mentre a est sono presenti le linee delle Dinariche, che generano una forte attività sismica soprattutto nel settore Friulano.

Il settore Dolomitico presenta unità tettoniche con generale direzione E-W, e appaiono ruotate con raccorciamenti crescenti procedendo verso Est, dove la catena nel suo insieme ruota debolmente verso NE.

Le principali deformazioni delle Dolomiti sono non ancora del tutto chiare, come le piccole falde nelle cime più alte nei gruppi montuosi e la tettonica distensiva e compressiva che ha interessato intensamente il Permiano superiore e il Trias medio delle Dolomiti.

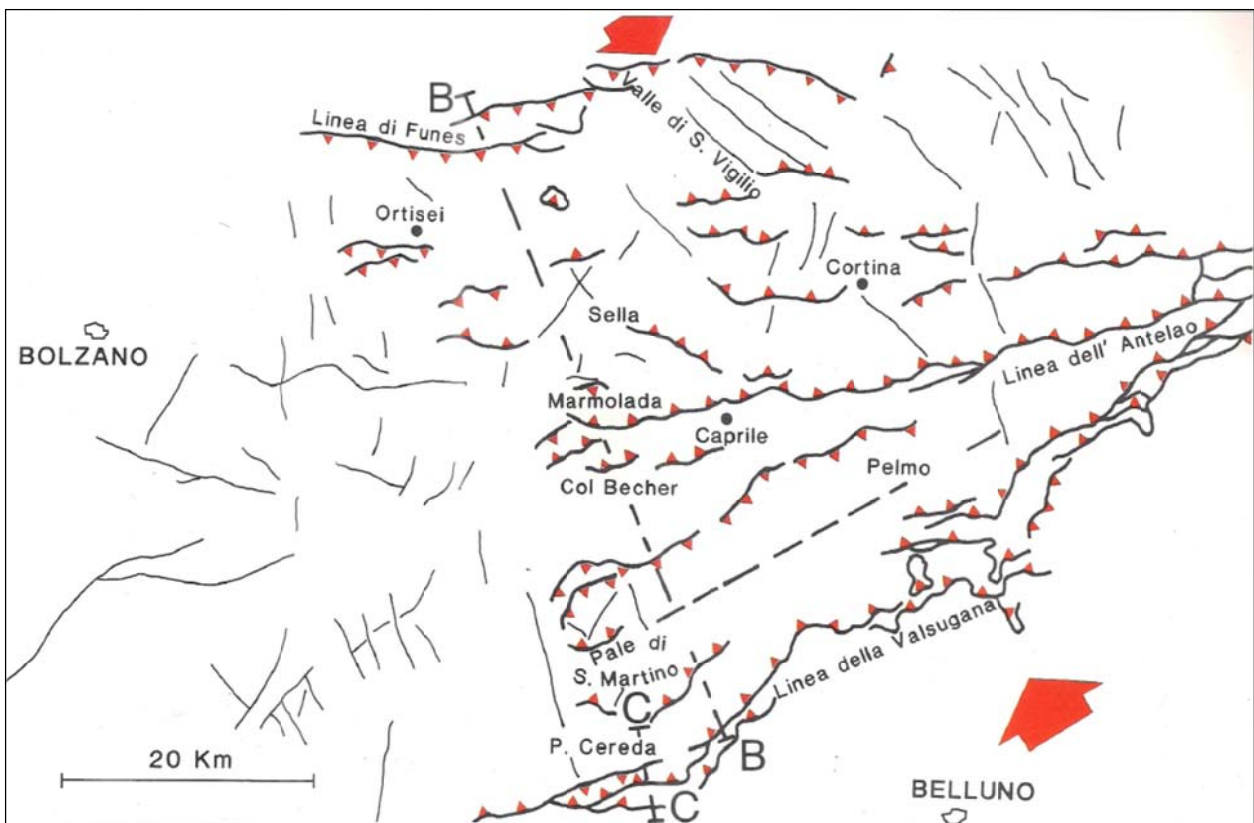


Fig. 4 Principali deformazioni della fase nealpina nel settore Dolomitico

Tutte queste strutture generalmente, considerate terziarie o più giovani, sono invece da assegnare ad una fase tettonica del Trias medio con una più o meno intensa riattivazione recente.

Questi fenomeni sono accoppiati con una intensa attività magmatica medio triassica che ha interessato la parte centrale delle Alpi meridionali ed orientali con una varietà di prodotti vulcanici e plutonici che hanno mostrato inaspettatamente un trend calc-alcalino-shoshonitico, indicando pertanto possibili processi di subduzione nel mantello.

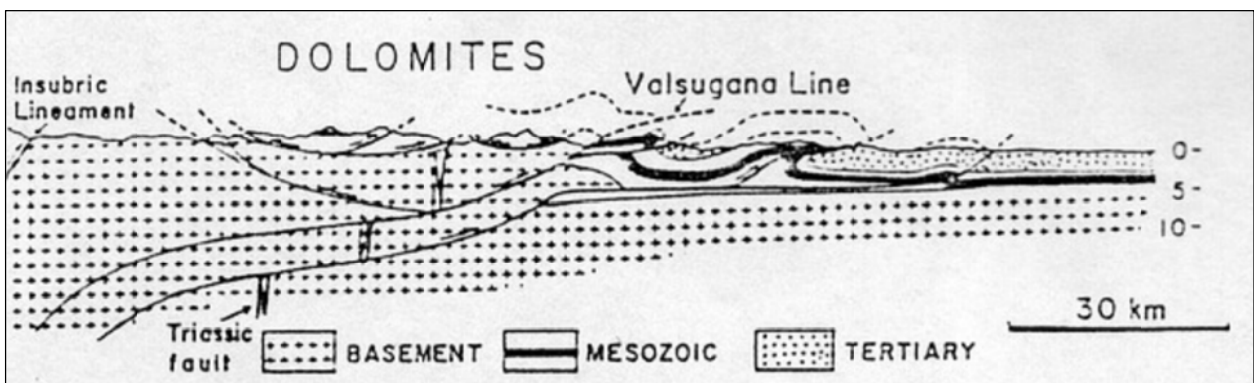


Fig. 5 Sezione delle Alpi Venete

Il più intenso dislocamento corrisponde all'elemento strutturale della Val Sugana con direzione E-NE, S-SW con forte deformazione e intenso raccorciamento. È definito da un sovrascorrimento di rocce di un basamento plutonico e metamorfico sopra terreni mesozoici e terziari. A questa struttura si affiancano alcuni grossi nuclei locali di successivo dislocamento gravitativo in cui i fronti mesozoici giacciono tettonicamente su depositi clastici del Miocene piegati e rovesciati.

La faglia della Valsugana rappresenta il limite meridionale delle Dolomiti quindi fra le strutture più importanti di tutta la regione. Lungo questa struttura, in settori sia sudoccidentali (zona di Agordo) che

orientali (Cadore), il basamento metamorfico (blocco di tetto) è posto in diretto contatto con le formazioni del Triassico superiore (blocco di letto).

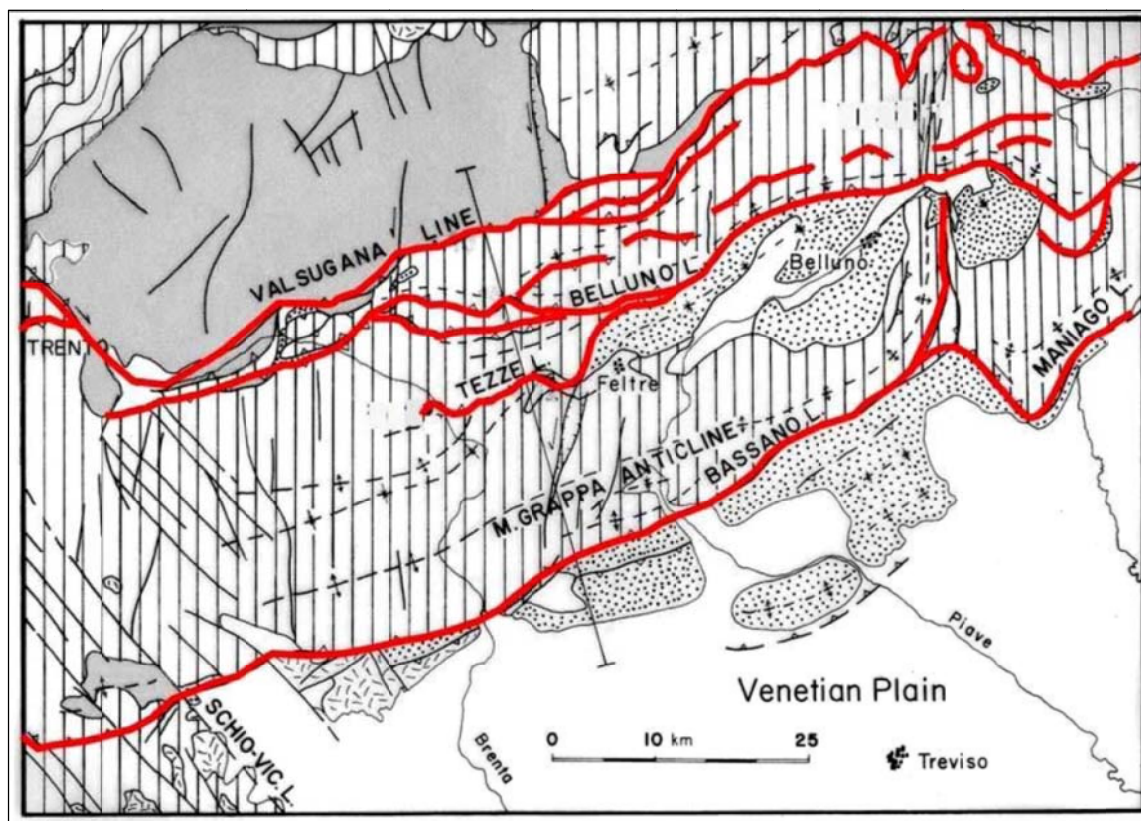


Fig. 6 Principali deformazioni a sud del settore dolomitico

Tra gli accavallamenti della Valsugana e di Belluno si è sviluppato il bacino di Belluno, tratto di mare profondo che nel Mesozoico separava le due Piattaforme carbonatiche di Trento ad Ovest e Friulana ad Est, eredità della collisione tra l'Europa ed il Promontorio Africano.

La fossa di Belluno è un bacino stretto ed allungato con trend NE-SW che si sviluppò nel settore NE del margine continentale di Adria. Esso acquistò identità topografica nel Lias inferiore.

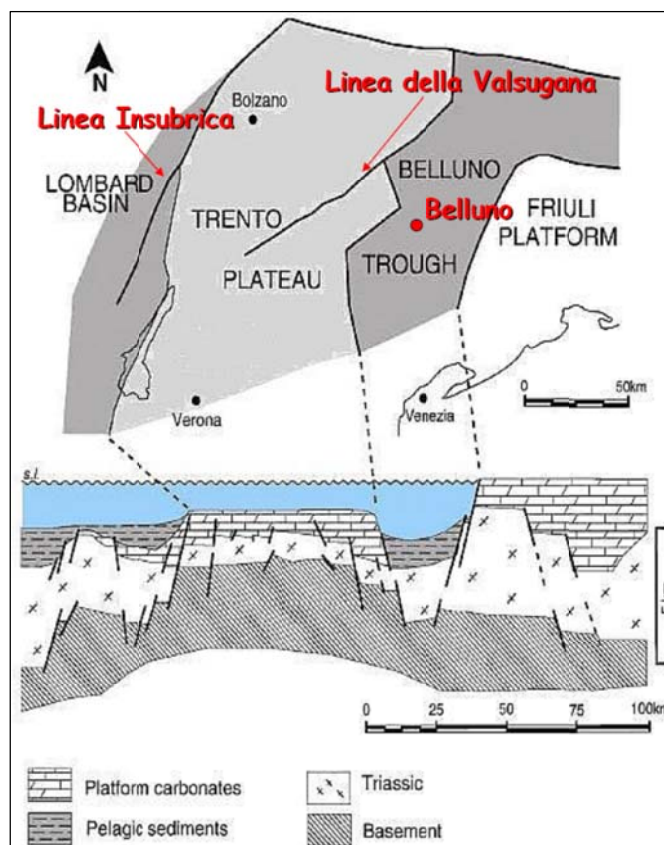


Fig. 7 Formazione del Bacino di Belluno (fonte Cau & Fanti 2010)

Il corso del Piave è impostato sulla Sinclinale di Belluno, asimmetrica, a direzione OSO-ENE, che termina a Sud nell'Anticlinale San Boldo-Monte Cor-Col Visentin-Cugnan il cui dosso delimita la piana di Paludi, attraversata anticamente da un ramo del Ghiacciaio del Piave.

L'area in esame è posta dal punto di vista strutturale tra la Linea della Valsugana e il bacino di Belluno nel settore SE delle Dolomiti del Cadore.

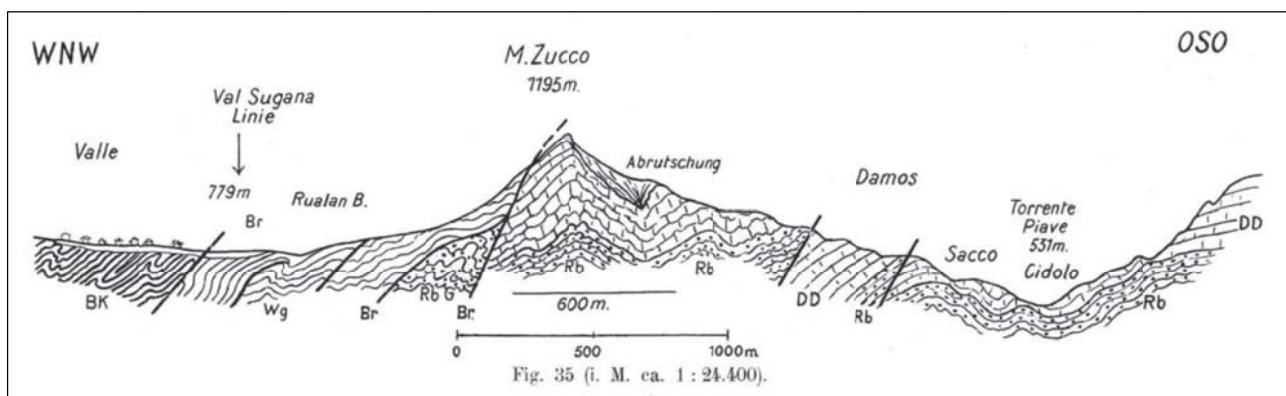


Fig. 8 Sezione geologica della zona di deformazione tra la linea Valsugana e il Bacino Bellunese, lungo il M. Zucco (fonte Gordon, 1934)

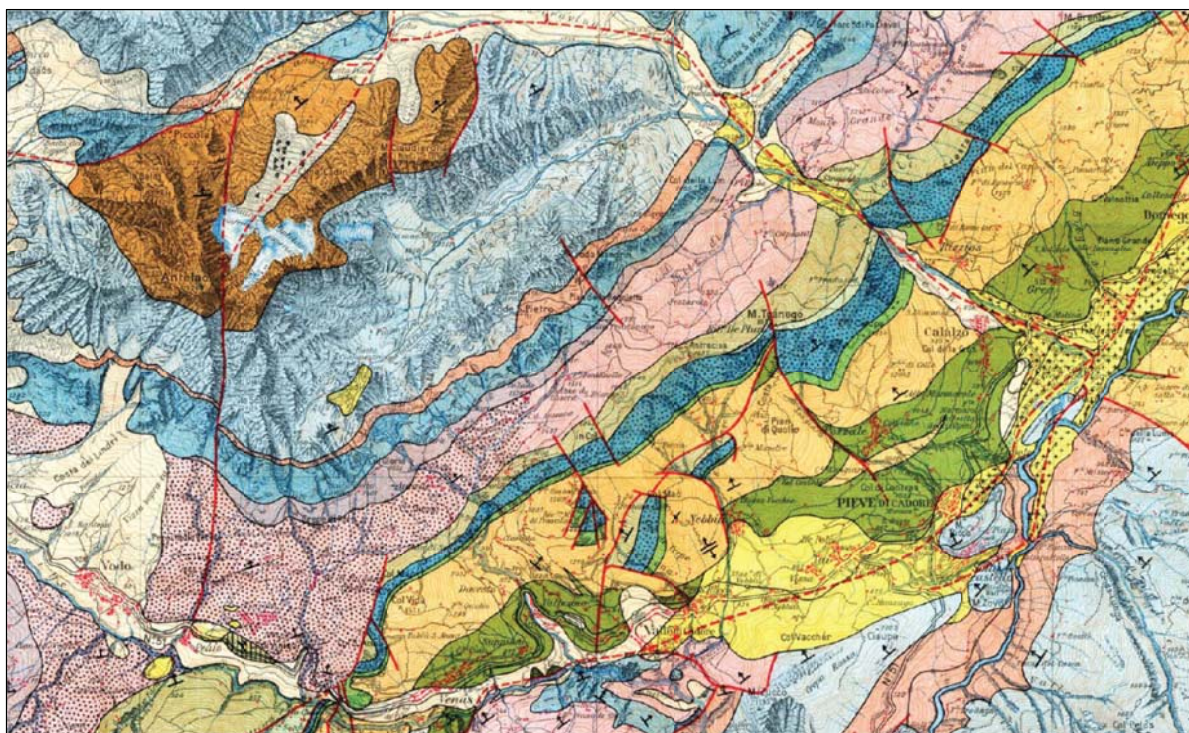


Fig. 9 Stralcio della carta geologica-strutturale del Cadore (fonte Gordon, 1934)

Nell'area sono presenti numerose linee di accavallamento a direzione prevalente ENE-WSW e linee distensive a direzione NO-SE.

La Linea dell'Antelao è una dei più importanti elementi tettonici dell'area dolomitica orientale; l'Antelao è delimitato a sud dalla Linea di Pieve di Cadore che è considerata la prosecuzione della Linea della Valsugana e subisce in corrispondenza della sopraccitata giunzione un forte piegamento trasversale e conseguente suddivisione in linee vicarianti minori. Questa linea d'importanza regionale con andamento ENE-WSW (Forcella Cibiana-Lorenzago), taglia la struttura anticlinale del monte Rite parallelamente al proprio asse e ne elide il fianco meridionale, ponendo a contatto i plastici terreni della Formazione di Werfen con la Dolomia Cassiana del Sasso dei Corvi.

La successione stratigrafica affiorante nell'area in esame è compresa tra la Formazione di San Cassano (base), a cui si sovrappongono la Dolomia Cassiana, il Gruppo Raibl e la Dolomia Principale (tetto).

L'area si presenta totalmente boscata con scarsi affioramenti rocciosi, se non nel versante S-SE del Monte Zucco lungo aree di cava artificiali. La vergenza principale è in direzione NW.

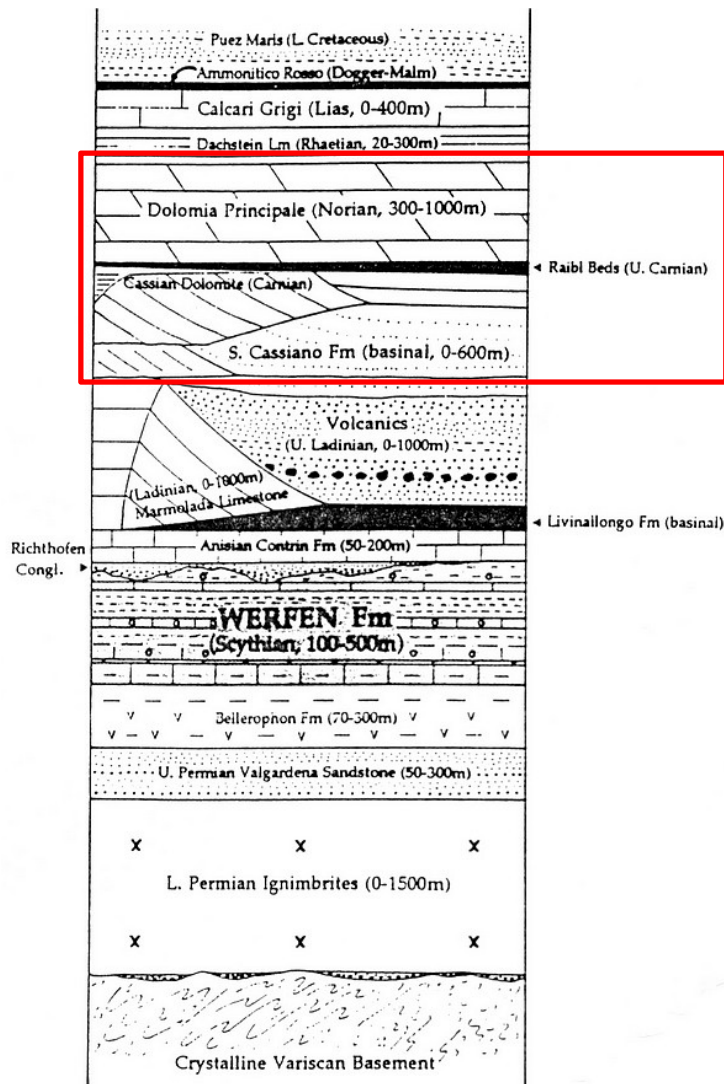


Fig. 10 Schema stratigrafico delle Dolomiti (il rettangolo rosso evidenzia la successione stratigrafica nell'area in esame)

Dal punto di vista geomeccanico le formazioni d'interesse hanno comportamenti differenziati sulla base della composizione, struttura stratigrafica ed evoluzione tettonica a cui sono state sottoposte.

E' presente una forte variabilità verticale legata a diverse fasi cicliche di deformazione, per lo più in condizioni crostali superficiali, e dai più svariati regimi tettonici (estensionale, compressivo e trascorrente). La principale conseguenza è che le rocce affioranti risultano con un grado variabile di fratturazione, a causa della diverse proprietà meccaniche dei materiali coinvolti nella deformazione.

Le formazioni ladiniche bacinali (Fm. di San Cassiano) mostrano alla mesoscala un grado di plasticità elevato, mentre i grandi corpi carbonatici (Dolomia Cassiana e Dolomia Principale), che costituiscono le diverse generazioni di piattaforme, sono caratterizzati da un comportamento tipicamente rigido-fragile. Nel primo caso, sono frequenti, anche se non esclusive, le strutture plicative; nel secondo caso, invece, la fratturazione è un processo meccanico estremamente diffuso.

Nelle aree in cui gli affioramenti assumono un assetto subverticale, l'erosione è generalmente accelerata a causa degli alti gradienti topografici e della relativa facilità di allontanamento dei detriti prodotti dai processi di disgregazione.

Nel caso di faglie suborizzontali invece, gli stessi detriti tendono a ricoprire la struttura stessa quasi preservandola da ulteriori fenomeni erosivi

3 Caratterizzazione geolitologica e successione stratigrafica

Sulla base delle caratteristiche geologiche è stata ricostruita la successione stratigrafica dell'area in esame, con differenziazione dei depositi superficiali di età quaternaria e le formazioni di substrato in prevalenza Triassiche. A seguito della campagna di indagini geognostiche e geomeccaniche previste le unità saranno caratterizzate con maggior dettaglio sia dal punto di vista della composizione granulometrica per i materiali granulari che delle caratteristiche geomeccaniche dei corpi rocciosi interferenti con le opere in progetto.

3.1 Depositi superficiali

Depositi eluvio-colluviali (Olocene – Attuale)

Materiali detritici poco addensati e costituiti da frazione fine limoso-argillosa prevalente con subordinate inclusioni sabbioso-ghiaiose e/o di blocchi lapidei, a spessore variabile,

In questa classe sono riuniti i terreni formati per il degrado e l'alterazione delle rocce calcaree, marnoso-argillose, calcareo siltitico marnose, Si tratta di materiali limoso-argillosi, con inclusi talvolta frequenti, orizzonti di ghiaia, ciottoli angolosi e blocchi, anche di notevoli dimensioni, di natura calcarea marnosa, arenacea a seconda delle rocce interessate.

Tali depositi possono raggiungere spessori consistenti da verificare a seguito delle indagini geognostiche. Sono dotati di scadenti caratteristiche tecniche, e se disposti su pendii acclivi, sono soggetti a movimenti gravitativi tipo soliflusso e "soil creep" o fenomeni tipo colate di fango o colate lente.

Depositi palustri (Olocene – Attuale)

Materiali di deposito palustre a tessitura fine e torbiere. Sono compresi in questa classe i depositi di origine lacustre e palustre presenti in aree circoscritte e associati a cordoni glaciali o a contropendenze in zone di colata in terreni coesivi poco permeabili.

Si tratta di terreni dotati in genere di scadenti caratteristiche meccaniche, con bassi valori di consistenza e facilmente compressibili.

Depositi fluvioglaciali o morenici (Pleistocene sup.)

Si tratta di depositi di origine glaciale o fluvioglaciale costituiti da una frazione grossolana, formata da ghiaia, ciottoli e blocchi poligenici più o meno arrotondati, mista a più o meno abbondante matrice fine limoso- sabbioso-argillosa; possono essere intercalate localmente anche lenti e livelli in cui la matrice fine limoso argillosa risulta prevalente rispetto alla frazione grossolana. Si presentano come depositi caotici non stratificati con pezzature dei materiali litoidi anche di notevoli dimensioni.

I depositi descritti affiorano di frequente lungo una fascia altimetrica compresa tra i 800 m e i 1200 m s.l.m. e nel fondovalle. Tali depositi, in genere di medio-buone caratteristiche meccaniche, poggiano sul substrato roccioso e testimoniano l'esistenza delle grandi coltri glaciali che occupavano i territori in esame.

Presentano un'ampia distribuzione granulometrica e si trovano depositi su di una vasta area del territorio. Sono presenti con spessori molto variabili e con continuità lungo i versanti vallivi, sia verso il fondovalle, che nelle zone più alte; le loro caratteristiche geotecniche appaiono molto variabili: essi risultano stabili in condizioni di scarso contenuto d'acqua, ma all'aumentare di quest'ultimo, la loro coesione viene a mancare, generando fenomeni di creep e piccole frane superficiali (fenomeni di creeping).

3.2 Formazioni di substrato

Dolomia Principale (Retico-Norico)

La formazione è prevalentemente costituita da dolomie di colore chiaro, da grigie a biancastre, ben stratificate; si alternano ciclicamente livelli a stratificazione pluridecimetrica, bioturbati, talora fossiliferi, a bivalvi (*Neomegalodon* spp.) e gasteropodi (*Worthenia* sp.) e livelli a stromatoliti, generalmente a stratificazione più sottile, che possono presentare evidenze di esposizione subaerea più o meno prolungata sotto forma di mud-cracks e piccoli tepee.

La formazione a Dolomia Principale, di origine sedimentaria marina con ambiente di deposizione di piattaforma carbonatica formatasi durante il Retico-Norico, si caratterizza per gli strati ciclici che in letteratura sono distinti in tre unità principali:

- l'unità inferiore, sempre ben stratificata, è rappresentata dalla classica successione peritidale della Dolomia Principale, in cui sono riconoscibili cicli shallowing-up a scala metrica culminanti in orizzonti stromatolitici; raggiunge localmente lo spessore di 400-500 m;
- l'unità intermedia, della potenza di circa 300 m, è costituita da dolomie a stratificazione mal distinguibile, verosimilmente bioturbate, formanti bancate di circa 4-5 m di spessore; il tetto di queste bancate è caratterizzato da livelli di breccie pisolitiche con associate strutture a tepee; si tratta di veri e propri suoli carbonatici, interpretati da HARDIE et alii (1986) e BOSELLINI & HARDIE (1988) come il risultato della diretta esposizione subaerea dei depositi subtidali (lagunari), senza la progradazione dell'adiacente tidal flat, che nell'unità inferiore è responsabile della formazione dei cicli shallowing-up; tali cicli, definiti "cicli diagenetici" dagli Autori citati, registrerebbero regressioni forzate guidate dalla ciclicità milankoviana;
- l'unità superiore (spessore 150-200 m) è costituita da una successione ciclica di dolomie peritidali, del tutto simili a quelle che compongono l'unità inferiore. La parte più alta di quest'ultima litozona è costituita da dolomie bianche, talora con una debole colorazione rosata, cristalline, a grana saccaroide.

Nell'area in esame costituisce l'ossatura principale del Monte Zucco e a nord del Massiccio dell'Antelao. Non si presentano quasi mai compatte, bensì fratturate e/o alterate e affiorano sopra la F. di Travenanzes.

Formazione di Travenanzes - Gruppo di Raibl (Carnico superiore)

La formazione rappresenta la parte superiore del gruppo di Raibl. Dal basso l'unità presenta una successione di dolomie marnoso-siltose grigie in strati pianoparalleli e peliti grigio-verdi, che passano gradualmente verso l'alto ad arenarie rosso cupo.

Sono talora presenti banchi conglomeratici fini e mal classati, con clasti di selce rossa e verde di dimensioni fino a 5 cm, organizzati in strati spessi 50-60 cm. Verso l'alto la successione mostra arenarie rosse passanti a siltiti verdi e argilliti grigio piombo. Nella parte medio-alta della formazione possono essere intercalati livelli di evaporiti solfatiche nodulari e/o laminate, alternate a dolomie e peliti; queste litofacies, indicative di clima arido, sono rappresentative di ambienti di sabkha costiera e di laguna ristretta.

Prima della comparsa dei gessi si ha ancora la presenza di dolomie arenacee grigio-brune in strati piano paralleli di 10-20 cm. I gessi bianchi e rosati sono alla base alternati a peliti e argilliti mentre verso il tetto appaiono in continuità e con cicli ripetuti.

Il limite con la Dolomia Principale è transazionale e si presenta con una successione di argilliti e marne fittamente stratificate con un successivo banco di dolomie grigio-giallastre talvolta cavernose. La Formazione ha uno spessore di circa 100-150 m.

L'ambiente deposizionale è piuttosto articolato: si passa da una piana alluvionale a deltizia, a un ambiente lagunare fino ad uno caldo desertico con deposizione evaporitica.

Dolomia Cassiana (Julico-Longobardico)

Litologicamente consiste in dolomie bianche microcristallizzate in bancate massicce, talora difficilmente distinguibili per effetto dell'obliterazione delle strutture occorsa durante il processo di dolomitizzazione, a cui si associano facies di scarpata costituite da calcareniti grossolane sino a veri e propri cunei di megabrecce singenetiche (Assereto et al., 1977). I corpi di piattaforma sono diacroni tra loro, ma vengono uniformati verso l'alto dall'instaurarsi di una piana deposizionale carbonatica che è rappresentata dai sedimenti della F. di Heiligkreuz. La potenza è di circa 60-125 metri e nell'area in esame a Pieve di Cadore la formazione affiora nel rilievo di Monte Riccio.

Formazione di San Cassiano (Julico-Longobardico)

Alla base si hanno marne grigie (giallastre in alterazione superficiale) in strati continui con superficie irregolare con spessore variabile da 3 a 15 cm e separati da equivalenti strati argillosi nerastri fittamente laminati. Progressivamente, gli interstrati argillosi si riducono. Alla frattura, la marna appare molto scura con caratteristiche fiammature brune e plaghe grigio piombo. Verso l'alto compaiono livelli calcarenitici grigi ricchi di bioclasti (Bivalvi, Brachiopodi, Gasteropodi, Crinoidi, Echinidi, Briozoi, Coralli, ecc.) e livelli oolitici. La F. di San Cassiano conclude le condizioni bacinali di mare aperto del Ladinico, che evolvono lentamente in un ambiente di piattaforma carbonatica.

La Formazione è in contatto stratigrafico con la piattaforma cassiana; lo spessore si aggira intorno ai 70 metri ed è presente nell'area ai piedi di Monte Riccio e nel settore ovest di Pra di Tai di Cadore.

Gruppo de Buchenstein:

Formazione dell'Acquatona (Ladinico sup.)

La parte basale di questa Formazione è costituita da siltite grigia, arenarie fini chiare, marne e peliti grigio scure, tufiti grigio verdastre e calciliti nere in straterelli di qualche centimetro. Nella parte superiore si hanno lutiti e calciliti selciose nere, localmente a striature tufacee più chiare in strati molto regolari a superficie piano-parallela. Il limite inferiore è netto mentre è rapido e graduale con le sovrastanti laloclastiti. La potenza della formazione è di circa 30-50 m e si è formata in un ambiente sedimentario pelagico e di bacino profondo.

Arenarie di Zoppè (Ladinico superiore)

Alla base di questa formazione è presente una successione laminata di peliti in straterelli di 3-40 cm, che passano a strati più spessi (80- 100 cm) nella parte mediana, che è invece costituita da strati arenaceo-conglomeratici quasi sempre lenticolari, gradati, canalizzati con sottili interstrati marnoso-arenaceo-pelitici scuri. Nella parte più alta la Formazione presenta una monotona e potente successione di strati meno canalizzati e più laminati e paralleli di arenarie fini, marne e argilliti. Sia il limite superiore che l'inferiore della Formazione sono transizionali e la Formazione ha una potenza totale di 400-500 m. L'ambiente di sedimentazione è un profondo bacino subsidente.

Dolomia del Serla Inferiore (Scitico inferiore – Anisico inferiore)

La Formazione è costituita da dolomie bianche grigie e beige chiare con stratificazione parallela. Lo spessore degli strati varia da qualche centimetro a 50-60 cm; è spesso presente una patina di alterazione giallastra. Nella parte bassa della Formazione la ricristallizzazione ha obliterato le originarie strutture deposizionali algali. Nella parte alta il fenomeno diagenetico è piuttosto spinto ed è probabilmente legato alla circolazione di acque soprassature; esso ha cancellato la laminazione dando luogo a banconi spessi qualche metro nei quali è possibile trovare cavità, croste alabastrine e grumi di ossidi giallastri. Talvolta si è osservata la presenza di tappeti algali, e strutture a tepee legate alla fuoriuscita dell'acqua dagli strati all'inizio del processo diagenetico. Il passaggio alla formazione superiore avviene con una

successione di mista di peliti calcaree siltose, calcari scuri, dolomie appartenenti al Gruppo di Braies. La formazione è di ambiente peritidale e affiora nei versanti sovrastanti la piana di Nebbiu.

Formazione del Werfen (Scitico)

La Formazione del Werfen è costituita da siltiti quarzoso-micacee rosso violacee in strati sottilmente laminati e ricche di strutture sedimentarie che vengono attribuite al Membro di Campil (Marinelli et alii). Dal basso si presentano calcari micritici grigi in strati abbastanza spessi che passano verso l'alto a calcari marnosi e siltosi giallastri di 15-20 cm. di spessore con interstrati argilloso siltosi a colorazione giallo-verdastra. Verso l'alto si succedono dolomicriti marnose con interstrati argillosi grigio-giallo-rosso vinato fino alla nota "Oolite Gasteropodi" composta da una biocalcarenie alternata a siltiti violette e a orizzonti arenacei. La potenza della Formazione è all'incirca di 300-400 m.

Formazione a Bellerophon (Permiano Superiore)

Questa formazione è facilmente riconoscibile per la successione di calcari neri, fetidi alla percussione, in strati planari di 15-20 cm di spessore, costituiti talvolta di micriti ricche in pirite. I calcari sono spesso interessati da un fitto intreccio di vene calcifiche bianche. Il limite superiore con la Formazione di Werfen si riconosce con la prima comparsa degli strati calcari oolitici. Non potendo definire la posizione del limite inferiore della Formazione, non è possibile valutarne la potenza. Gli affioramenti si presentano fratturati e ripiegati per l'azione di sollevamento esercitata dalla faglia di Pieve di Cadore. L'ambiente sedimentario è riconducibile a una laguna asfittica.

4 Caratterizzazione geomorfologica

L'assetto geomorfologico dell'area oggetto di studio è caratterizzato dall'evoluzione geologica strutturale precedentemente descritta. La conformazione morfologica è legata alle strutture tettoniche che hanno coinvolto le unità triassiche dolomitiche. In particolare l'intervento in progetto interessa il versante nord est del Col Vaccher e del Monte Zucco, la cui struttura morfogenetica è legata alla presenza dell'accavallamento della Linea di Piave di Cadore (prolungamento della linea tettonica della Val Sugana).

I piani di faglia in questo settore in gran parte immergono verso N-NW con conseguente apparente vergenza verso S-SE dei versanti come nel caso di Monte Zucco.

Il Monte Zucco presenta infatti nel settore NE un versante a minor pendenza con ricoprimenti estesi di depositi glaciali mentre nel settore SE si presenta con pareti sub verticali, e i dissesti prevalenti sono dovuti a frane di crollo e frane di colamento per la presenza di dilavamento delle formazioni gessifere, poste al piede, come ben rappresentato dagli eventi franosi lungo la valle del T. Boite, tra Perarolo di Cadore e Valle di Cadore, affluente in destra idrografica del fiume Piave.

Il versante del Col Vaccher esposto verso Tai di Cadore si presenta interamente boscato con presenza di una serie di canali incisi che possono scaricare, durante eventi piovosi intensi, materiale detritico legato all'alterazione dei depositi superficiali, verso l'area abitata a valle della pista ciclabile delle dolomiti.

Nella piana di Pra di Tai di Cadore è presente un'area depressa che non favorisce il deflusso delle acque superficiali. Questo settore, come confermato dalla presenza di orizzonti argillosi e torbiere dei sondaggi eseguiti per l'esecuzione del vicino Palaghiaccio, è probabilmente una conca di decantazione che è stata colmata dalle varie fasi fluvioglaciali verificatesi lungo la valle del Cadore.

La zona costeggia il tracciato della S.S. 51 tra le località Madoneta e Manzano e occupa una superficie di circa 0,2 km²: alcuni edifici di questa zona sono stati oggetto in passato di cedimenti strutturali causati dalla scarsa consistenza dei terreni di fondazione.

Il settore nord a monte dell'attuale sede della S.S. 51 è interessato dalla conoide fluvioglaciale su cui è insediata la frazione di Nebbiu. Lungo i versanti a monte della frazione sono presenti coltri di depositi eluvio colluviali di spessore variabile.

5 Caratterizzazione idrogeologica

L'area in esame è caratterizzata da differenti comportamenti idrogeologici a secondo della presenza di depositi superficiali coesivi o granulari e dei litotipi a diverso grado di permeabilità.

Il settore pianeggiante nella zona di Pra di Tai di Cadore è caratterizzato da depositi sciolti a differenti caratteristiche. A nord dell'attuale sede della S.S: 51 sono presenti depositi eluvio colluviali della conoide fluvioglaciale su cui è impostata la frazione di Nebbiù a permeabilità medio-alta.

A sud dell'attuale tracciato della S.S. 51, tra le località Madoneta e Manzago e la pista ciclabile delle dolomiti, sono presenti depositi di origine palustre, in cui si individuano due orizzonti principali: il primo orizzonte, più superficiale, è costituito da argille torbose con presenza di ciottoli e qualche trovante mentre il secondo orizzonte, più profondo, è invece formato da limi compatti con ciottoli e livelli limo-sabbiosi e sabbiosi e si estende fino a 14 m dal piano campagna. Data la natura dei depositi a tessitura prevalentemente coesiva questi materiali presentano una permeabilità molto bassa e rendono anche per la morfologia depressa del luogo l'area a difficile deflusso delle acque piovane con possibili ristagni in superficie.

Per quanto riguarda la permeabilità dei litotipi individuati lungo l'area del tracciato in progetto che attraversa il versante settentrionale del Col Vaccher e del Monte Zucco, come è ben noto la permeabilità primaria del substrato roccioso dipende dal grado di fratturazione e dal carsismo legato alla componente chimica che caratterizza i diversi litotipi; occorre inoltre tenere sempre presente che nel substrato roccioso la presenza di lineamenti tettonici determina il grado di fratturazione e quindi un diverso grado di permeabilità del mezzo.

Si possono considerare zone a permeabilità medio-alta, le aree con litotipi afferenti a falde detritiche, ad accumuli di frana mentre per i depositi fluvioglaciali e morenici, che ricoprono gran parte del versante di Col Vaccher e del fondovalle presentano una permeabilità molto variabile in genere con valori medio-bassi, in funzione della distribuzione granulometrica e di eventuali presenze di lenti e livelli a prevalente matrice fine. A seguito della campagna di indagini geognostiche saranno valutate in dettaglio le caratteristiche granulometriche e di permeabilità di tali depositi, la presenza di eventuali falde superficiali.

Tra le formazioni lapidee sono da considerarsi molto permeabili quei materiali fortemente fratturati e tettonizzati nei quali è possibile una buona o discreta circolazione dell'acqua attraverso le fratture presenti, come ad esempio i calcari della Dolomia Cassiana, Dolomia Principale e della Dolomia del Serla, che sono soggetti a facile dissoluzione ad opera delle acque meteoriche, con conseguente allargamento delle fratture già esistenti. La presenza lungo il versante nord del Monte Zucco – Col Vaccher di alcune sorgenti in quota testimonia la capacità di accumulo di questi litotipi.

Sono da considerare invece rocce a bassa permeabilità le facies con un'alta componente argillosa di singole formazioni (es. Formazione di Werfen, Formazione di San Cassiano) che costituiscono spesso il substrato impermeabile di estesi accumuli detritici grossolani di copertura molto permeabili per porosità, condizionando di conseguenza la venuta a giorno di sorgenti.

Sono invece di facile dilavamento gli orizzonti gessiferi presenti nella parte alta della Formazione di Travenanzes - Gruppo di Raibl (Carnico superiore) poste in contatto stratigrafico con la Dolomia Principale, che possono essere vie preferenziali di vene d'acqua nel substrato roccioso, a seguito del dilavamento degli orizzonti evaporitici.

Sulla base dei depositi superficiali e del substrato roccioso precedentemente descritti, sono state individuate le seguenti classi di permeabilità nel territorio oggetto di studio.

Depositi molto permeabili per porosità

Sono costituiti da depositi alluvionali e fluvioglaciali in prevalenza a matrice ghiaiosa e sabbiosa presenti nella zona di fondovalle, depositi detritici ai piedi dei versanti.

Nei depositi detritici e alluvionali a quote più elevate è normalmente assente il deflusso superficiale, che in occasione di eventi piovosi e persistenti, saturano i livelli più superficiali generando deflussi consistenti con elevato trasporto solido verso valle.

Depositi mediamente permeabili per porosità

Sono compresi i depositi glaciali e fluvioglaciali morenici caratterizzati da coefficienti di permeabilità variabili, in genere medio-bassi, in funzione della distribuzione granulometrica e di eventuali presenze di lenti e livelli a prevalente matrice fine.

Depositi praticamente impermeabili

Sono compresi i terreni di natura argillosa-limosa, a volte torbosa, di origine palustre e di torbiera. La scarsa permeabilità di tali terreni favorisce nelle aree pianeggianti o poco inclinate il ristagno superficiale con formazione spesso di zone paludose e torbiere.

Rocce molto permeabili per fessurazione e carsismo

Sono comprese le dolomie e i calcari ben stratificati attribuibili alle formazioni di piattaforma triassica. Si tratta di rocce che per fratturazione e loro composizione chimica, possono dare luogo a risorse idriche sotterranee di rilievo, anche per carsismo.

Rocce mediamente permeabili per fessurazione e carsismo

Si tratta di rocce carbonatiche terrigene, che data la loro varietà litologica all'interno della stessa formazione, possono presentare permeabilità molto differenti, da medio alta a medio bassa, con possibili fenomeni di carsismo e sprofondamenti doliniformi.

Rocce poco permeabili per fessurazione

Sono comprese rocce calcaree e calcaree terrigene in genere ben stratificate, con alternanza di arenarie, siltiti e argilliti. In generale sono poco permeabili per fessurazione, anche se localmente, alcuni litotipi calcarei possono presentare permeabilità più elevate

5.1 Soggiacenza falda

A seguito delle prove geognostiche realizzate nella campagna 2017 sono stati installati piezometri a tubo aperto lungo tutti i sondaggi effettuati, che hanno permesso di misurare la soggiacenza della falda lungo tutta l'area in esame. Inoltre per una caratterizzazione più completa dei materiali sono state effettuate prove di permeabilità.

All'interno del sondaggio SCPz_T01 è stata infatti eseguita una prova di permeabilità Lefranc a carico variabile ad una profondità compresa tra 20 e 20,7 m da piano campagna la quale ha individuato un conducibilità idraulica $k = 2,17e-7$ m/s.

La soggiacenza misurata è descritta nella tabella a seguire.

Tab. 1 Valori di soggiacenza misurati in diversi periodi

Giorno	Soggiacenza (m da p.c.)				
	SCPz T01	SCPz T02	SCPz T03	SCPz T04	SCPz T05
04/09/2017	-	-	-	3	-
11/09/2017	-	-	-	2,40	3,10
20/09/2017	-	-	-	2,46	1,70
04/10/2017	-	13,30	22,70	-	3

Considerando la posizione del sondaggio SCPz_T02 rispetto al profilo in esame e la vicinanza del corso d'acqua, la falda, lungo il profilo geologico, è stata posta ad una profondità inferiore in via cautelativa.

All'interno del sondaggio SCPz_T04 è stata eseguita inoltre una prova di permeabilità Lefranc a carico variabile ad una profondità compresa tra 29,3 e 30,3 m da piano campagna la quale ha individuato un conducibilità idraulica $k = 2,22e-6$ m/s.

6 Indagini geognostiche e geofisiche

Nel corso dei mesi di Agosto, Settembre e Ottobre 2017, in corrispondenza del tracciato previsto è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche, consistente nell'esecuzione di alcuni sondaggi a carotaggio continuo con prove in foro, spinti a differenti profondità dal piano campagna, nel prelievo di campioni di roccia e di terreno sottoposti ad analisi e prove di laboratorio ed indagini geofisiche, la cui ubicazione planimetrica è riportata nei Report delle indagini geognostiche e geofisiche.

Le indagini hanno permesso di studiare i rapporti stratigrafici esistenti tra le formazioni presenti nelle aree interessate dai futuri interventi e di eseguire una caratterizzazione geotecnica preliminare dei terreni e delle rocce.

La campagna di indagini eseguita, in particolare, è consistita nella realizzazione di :

- N.5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (da SCPz_T01 a SCPz_T05), a differenti profondità dal p.c., con prelievo di campioni di roccia, sui quali sono state successivamente eseguite prove di laboratorio. Nel corso delle perforazioni sono state eseguite n.31 prove penetrometriche in foro SPT e prove di permeabilità di tipo Lefranc;
- N.10 profili sismici a rifrazione elaborati con tecnica tomografica, ciascuno di varia lunghezza (da 115 a 230 m), con la registrazione delle sole onde P;
- N.1 tomografia elettrica con stendimento di tipo Wenner, di 235 m di lunghezza, per la determinazione di un profilo di resistività;
- N.1 prova sismica di superficie di tipo MASW (Multistation Analysis of Surface Waves) per la determinazione delle Vs30;
- N. 3 prove penetrometriche dinamiche super pesanti

Le indagini geognostiche eseguite in sito sono state condotte dalla società Technosoil srl, Drilling C.C.D srl per quanto riguarda i sondaggi, CSG Palladio Srl per le prove penetrometriche mentre le prove geofisiche da IND.A.G.O snc e dallo Studio David Pomarè di Belluno.

L'ubicazione delle suddette indagini con i relativi dati in dettaglio sono riportate nelle specifiche relazioni.

La sintesi della campagna di indagini summenzionata, svolta lungo il tracciato e presa in considerazione ai fini della progettazione definitiva è riportata schematicamente nella seguente tabella:

Tab. 2 Sintesi delle Indagini Geognostiche svolte nel corso della progettazione preliminare

Sondaggio ID	Profondità Sondaggio [m]	N° campioni disturbati	N° campioni indisturbati	Prove SPT	Piezometro tubo aperto [m]	Prova Lefranc [m]
SCPz_T01	30	2	-	8	1	20 - 20,7
SCPz_T02	30	1	2	8	1	-
SCPz_T03	90	3	3	4	1	-
SCPz_T04	50	2	-	7	1	29,3 - 30,3
SCPz_T05	35	2		4	1	-

I campioni sono stati prelevati alle seguenti profondità:

Tab. 3 Campioni prelevati dalle cassette dei sondaggi

Sondaggio	Distrubato/INDisturbato	Campione n.	prof. Prova [m]
SCPz_T01	D	1	9,3 – 9,8
	D	2	21,1 – 21,5
SCPz_T02	IND	1	6,5 – 7
	IND	2	14,5 – 15
	D	3	18,3 – 18,5
SCPz_T03	IND	1	6,3 – 6,8
	IND	2	16 – 16,5
	IND	3	27,3 - 27,8
	D	1	46,6 – 47
	D	2	65,4 – 65,9
	D	3	89 -89,5
SCPz_T04	IND	1	17 – 17,3
	D	1	42 – 42,5
SCPz_T05	D	1	11,1 – 11,5
	D	2	30,5 – 30,8

Le prove penetrometriche dinamiche sono riassunte nella tabella successiva:

Tab. 4 Sintesi delle prove dinamiche super pesanti realizzate

Codice prova	Profondità in m da p.c.
DPSH_T01	5,2
DPSH_T02	5,4
DPSH_T03	2,8

La sintesi della campagna di indagini sismiche ed elettriche svolte lungo il tracciato è riportata schematicamente nella seguente tabella:

Tab. 5 Sintesi delle Indagini sismiche ed elettriche eseguite

<i>Prospezioni sismiche SM</i>	<i>Lunghezza stendimento (m)</i>
LSRF_T01	161
LSRF_T02	230
LSRF_T03	230
LSRF_T04	230
LSRF_T05	161
LSRF_T06	161
LSRF_T07	230
LSRF_T08	230
LSRF_T09	161
LSRF_T10	115
<i>MASW</i>	
MASW_01	55
<i>Tomografia Elettrica</i>	
ERT_08	230

Per una trattazione più ampia e dettagliata delle indagini geognostiche eseguite lungo il tracciato in progetto e dei risultati ottenuti si rimanda ai Report delle indagini geognostiche e geofisiche.

7 Modello geologico del tracciato in progetto

Sulla base dell'analisi geologico strutturale condotta si descrive per tratti principali l'interferenza del tracciato in progetto con le caratteristiche geologiche presenti nell'area.

7.1 Svincolo di raccordo alla S.S. 51 "Alemagna" in loc. Tai di Cadore, direzione Cortina d'Ampezzo, mediante rotatoria

Lo svincolo di raccordo in località Madoneta in direzione Cortina d'Ampezzo mediante rotatoria e rilevato di accesso poggia su terreni di fondazione costituiti in prevalenza da depositi di origine palustre con scarse caratteristiche geotecniche.



Fig. 11 Area in località Madoneta di Tai di Cadore in cui è previsto la realizzazione dello svincolo di raccordo alla S.S. 51 in direzione Cortina d'Ampezzo

A seguito dell'analisi dei sondaggi a carotaggio continuo eseguiti per la realizzazione del Palaghiaccio di Tai di Cadore, ubicato in prossimità dell'area in esame, è stato possibile caratterizzare in modo preliminare i terreni di fondazione, in cui si individuano due orizzonti principali: il primo orizzonte, più superficiale, è costituito da argille torbose con presenza di ciottoli e qualche trovante mentre il secondo orizzonte, più profondo, è invece formato da limi compatti con ciottoli e livelli limo-sabbiosi e sabbiosi e si estende fino a 14 m dal piano campagna. Data la natura dei depositi a tessitura prevalentemente coesiva questi materiali presentano una permeabilità molto bassa e rendono, anche per la morfologia depressa del luogo, difficile il deflusso delle acque piovane con possibili ristagni in superficie.

Le caratteristiche geotecniche dei materiali appaiono scadenti, come confermato anche che alcuni edifici di questa zona sono stati oggetto in passato di cedimenti strutturali causati dalla scarsa consistenza dei terreni di fondazione.

Dalle indagini geognostiche e geofisiche effettuate durante la campagna 2017 sono stati individuati nelle porzioni superficiali del terreno tessiture fini composte da limi debolmente argillosi con ghiaia fine, localmente caratterizzati da orizzonti di colore bianco di alterazione e frustoli vegetali. Queste caratteristiche, considerando i bassi valori ottenuti dalle prove dinamiche in foro eseguite nel sondaggio SCPz_T01 e nella prova dinamica DPSH_T01, sono riconducibili a depositi palustri. Ulteriore conferma di

questo tipo di sedimenti è stata data dall'analisi del profilo sismico a rifrazione LSRF_T01 il quale ha individuato velocità particolarmente basse relative a materiali poco addensati.

A profondità maggiori l'area è caratterizzata da argille sabbiose di colore tra beige e marrone con presenza di ghiaia sia fine che grossolana con trovanti di origine carbonatica.

7.2 Galleria artificiale di 130 m (da progr. 0+100 a progr. 0+230)

Il tracciato prevede la realizzazione di una galleria artificiale di 130 m di lunghezza fino all'imbocco della galleria naturale alla progressiva 00+230.

In questo settore saranno coinvolti prevalentemente i depositi di copertura superficiale costituiti da materiale sciolto eterogeneo a diversa composizione granulometrica caratterizzato da una frazione grossolana, formata da ghiaia, ciottoli e blocchi poligenici più o meno arrotondati, mista a più o meno abbondante matrice fine limoso- sabbioso-argillosa; possono essere intercalate lenti e livelli in cui la matrice fine limoso argillosa risulta prevalente rispetto alla frazione grossolana.

Alla progressiva 00+200 è presente un impluvio interferente con la galleria artificiale; si dovranno prendere gli opportuni accorgimenti per permettere il regolare deflusso delle acque verso valle, e lo scarico di eventuale materiale detritico proveniente da monte a seguito di eventi piovosi intensi.



Fig. 12 Area d'imbocco della galleria artificiale e impluvio interferente alla progressiva 00+200 km

A seguito delle nuove indagini geognostiche e geofisiche effettuate durante la campagna 2017 (sondaggio SCPz_T02 e stendimenti sismici LSRF_T01 e LSRF_T02) hanno individuato nei primi metri di sottosuolo una copertura di depositi costituiti da tessiture prevalentemente fini (limi, limi argillosi) con presenza di ghiaia fine. Lo spessore di questa unità litostratigrafica non va oltre i 3/4 metri di profondità e poggia su argille sabbiose di colore beige e grigio con ghiaia e trovanti di origine carbonatica. Questi ultimi sono presenti lungo tutto il foro di sondaggio, il quale, fermandosi alla profondità di 30 metri non ha individuato il substrato roccioso. Tutti questi materiali sono riconducibili a depositi fluvio-glaciali e morenici.

La parte terminale dell'area in esame, in corrispondenza di un corso d'acqua minore, è caratterizzata invece nei primi metri da materiali poco competenti a tessitura prevalentemente fine. Considerando le tomografie sismiche questi depositi possono arrivare ad una profondità compresa tra 15 e 20 m dal piano campagna.

7.3 Galleria naturale di 782 m (da progr. 0+230 a progr. 1+012)

Il tracciato si sviluppa in galleria naturale per circa 780 m e interesserà oltre alla copertura fluvioglaciale e morenica anche i litotipi in successione stratigrafica della Dolomia Principale, della Formazione di Travenanzes, della Dolomia Cassiana e della F. di San Cassano.

Particolare attenzione, sarà posta all'analisi dell'area d'imbocco della galleria naturale (progr. 00+230 km, alla progressiva 00+650 km in cui è presente un impluvio in direzione SW-NE e all'area di sbocco della galleria naturale posta alla progressiva 01+012 km.

Dalle nuove indagini geognostiche e geofisiche effettuate durante la campagna 2017 sono stati individuati nelle porzioni superficiali del terreno materiali a tessitura prevalentemente fine composte da limi, limi argillosi debolmente ghiaiosi aventi uno spessore massimo di 3-4 metri circa. Dalla progressiva 0+650, in corrispondenza dell'impluvio, è presente invece un materiale a maggior componente grossolana, infatti, il sondaggio SCPz_T04 individua nei primi 8 metri di profondità ghiaie sciolte in matrice argilloso sabbiosa con presenza di trovanti. Questi ultimi sono spesso presenti anche a poca profondità lungo tutta la porzione in esame fino allo svincolo di raccordo alla S.S. 51 "Alemagna", come confermato anche dalle linee sismiche a rifrazione effettuate parallelamente e trasversalmente all'opera in progetto.

Più in profondità, il sondaggio SCPz_T03, individua materiali a tessitura fine, composti da argille di color beige-grigio, consistenti, debolmente ghiaiose e con qualche ciottolo di natura calcarea. Oltre i 36 metri di profondità, aumenta la componente granulare rispetto agli strati sovrastanti e l'argilla diventa più sabbiosa-ghiaiosa fino ad una profondità di circa 76 m.. La componente sabbiosa tende ad aumentare fino al fondo del foro di sondaggio dove non si riscontra la presenza di substrato roccioso.

Nel tratto finale, dalla progressiva 0+940, i materiali presentano già superficialmente alti valori delle onde P, testimoniando una maggior compattezza dei depositi.

7.4 Galleria artificiale di 20 m (da progr. 1+012 a progr. 1+032)

Il tratto di uscita della galleria naturale sarà interessata da una galleria artificiale di lunghezza di circa 20 m, che interesserà prevalentemente i depositi di copertura superficiale costituiti da materiale sciolto eterogeneo a diversa composizione granulometrica caratterizzato da una frazione grossolana, formata da ghiaia, ciottoli e blocchi poligenici più o meno arrotondati, mista a più o meno abbondante matrice fine limoso- sabbioso-argillosa; possono essere intercalate lenti e livelli in cui la matrice fine limoso argillosa risulta prevalente rispetto alla frazione grossolana.

Le indagini geognostiche e geofisiche realizzate durante la campagna 2017, individuano però già nei primi metri dalla superficie materiali a tessitura prevalentemente grossolana di buona consistenza, come testimoniato dall'indagine a rifrazione LSRF_T05, che già oltre i 7/8 metri di profondità presenta valori delle Vp oltre i 1700 m/s. Inoltre, sempre nella parte superficiale dell'area, si riscontra la presenza di numerosi trovanti.

A profondità maggiori si trovano invece argille per lo più sabbiose con presenza di ghiaia più fine.

7.5 Svincolo di raccordo alla S.S. 51 "Alemagna" in loc. Galghena direzione Pieve di Cadore

L'area di svincolo in località Galghena ricade nei depositi di copertura superficiale costituiti da materiale sciolto eterogeneo a diversa composizione granulometrica caratterizzato da una frazione grossolana, formata da ghiaia, ciottoli e blocchi poligenici più o meno arrotondati, mista a più o meno abbondante matrice fine limoso- sabbioso-argillosa; possono essere intercalate lenti e livelli in cui la matrice fine limoso argillosa risulta prevalente rispetto alla frazione grossolana.



Fig. 13 Area in cui è previsto lo svincolo di raccordo alla S.S. 51 in loc. Galghena direzione Longarone

Dalle indagini geognostiche e geofisiche realizzate durante la campagna 2017 sono stati individuati nelle porzioni superficiali del terreno materiali a tessitura prevalentemente grossolana. Nel sondaggio SCPz_T05 infatti sono presenti ghiaie sciolte in matrice argilloso sabbiosa con presenza di numerosi trovanti. Le indagini sismiche (LSRF_T05 e T09) confermano la presenza degli stessi già a poca profondità del piano campagna.

Più in profondità e fino al fondo del sondaggio sono presenti argille sabbiose di colore marrone-grigio con ghiaia, consistenti.

Il profilo sismico a rifrazione LSRF_T05, in correlazione con le prove dinamiche SPT eseguite nel foro del sondaggio SCPz_T05 in cui nei primi metri andavano a rifiuto, testimonia un'elevata consistenza già nei primi metri dal piano campagna.

7.6 Caratterizzazione degli ammassi rocciosi

A seguito dell'analisi geologica di dettaglio lungo l'asse della galleria in progetto, non sono stati individuati affioramenti rocciosi in prossimità del tracciato. Il versante NE del Monte Zucco presenta un'essa copertura di depositi di origine morenica, che nei sondaggi geognostici eseguiti, si spinge fino alla profondità rilevata di circa 90 m dal p.c. Gli affioramenti di roccia calcarea più prossimi al tracciato sono stati rilevati lungo via Manzago in direzione dell'ex polveriera lungo i tornanti che salgono verso la cima e lungo il taglio stradale della SS51 nel versante sud.

Gli affioramenti sono costituiti dalla formazione della Dolomia Principale, caratterizzata da dolomie di colore chiaro, da grigie a biancastre, ben stratificate.

7.6.1 Rilievi geomeccanici

La caratterizzazione geomeccanica si è basata su una serie di rilievi effettuati dallo scrivente in corrispondenza dei principali affioramenti prossimi all'intervento in progetto. I rilievi hanno consentito di individuare i principali sistemi di discontinuità che controllano la fratturazione degli ammassi, definendone:

- giacitura media rappresentativa e grado di dispersione dei valori di immersione ed inclinazione;
- spaziatura;
- apertura;
- riempimento;
- rugosità (JRC - "Joint Roughness Coefficient");
- resistenza a compressione lungo il giunto (JCS - "Joint Compressive Strength" misurata con sclerometro).

Le discontinuità in un ammasso roccioso condizionano, in modo più o meno evidente, il comportamento meccanico dell'ammasso stesso e del modello geotecnico alla base di qualsiasi calcolo; è quindi importante, eseguire una precisa descrizione della struttura della massa e delle discontinuità sia in termini qualitativi che quantitativi. Per la determinazione del modello geomeccanico dell'ammasso verranno, quindi, illustrati nella presente le fasi di rilievo delle giaciture, riferite alle condizioni geostrutturali (spaziatura, apertura, persistenza) e alle condizioni idrauliche e di resistenza delle discontinuità (scabrezza, resistenza delle pareti, grado di alterazione, materiali di riempimento).

Il procedimento utilizzato per l'esecuzione del rilievo è quello descritto nelle raccomandazioni ISRM, secondo le prescrizioni descritte nel "Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses".

Il rilievo di ogni stazione di misura è stato eseguito avendo cura di selezionare affioramenti rappresentativi ed omogenei da rilevare e documentare separatamente, ed ha previsto la materializzazione, sul fronte da rilevare, di una linea, della maggior lunghezza possibile, effettuando le misure in corrispondenza dei punti di intersezione dei piani con la traccia dello stendimento, annotandone la progressiva dall'origine dello stendimento, ma considerando anche tutti gli elementi non direttamente intersecanti la linea ma vicini ed idealmente prolungabili fino all'intersezione.



Fig. 14 Stazione di rilievo e misura della resistenza alla compressione con sclerometro

In particolare lungo ciascuna linea sono definite:

- caratteristiche geologiche del sito (litologia, tipo di ammasso, alterazione, resistenza, volume blocco unitario (VRU), forma dei blocchi, numero famiglie, giacitura piano affioramento);
- classificazione dei diversi tipi di discontinuità (piani di strato, di scistosità, di faglia, di frattura, assi/piani assiali di pieghe, ecc);
- caratteristiche geometriche delle discontinuità (giacitura, orientazione);
- definizione delle caratteristiche geomeccaniche delle discontinuità (frequenza, spaziatura, lunghezza, apertura, tipo di terminazione, scabrezza (JRC), resistenza della parete del giunto (JCS), tipo, grado di saturazione e di consistenza del materiale di riempimento, ecc).

Nel tratto in esame sono state individuate 2 stazioni di rilievo geomeccanico, come indicato in Fig. 15.



Fig. 15 Ubicazione delle stazioni di rilievo geomeccanico

Le informazioni raccolte sono servite per classificare gli ammassi rocciosi secondo la metodologia Rock Mass Rating (RMR - Bieniawski, 1989), di seguito descritta.

7.6.2. *Classificazione degli ammassi rocciosi*

La metodologia Rock Mass Rating (RMR - Bieniawski, 1989) si basa sul rilievo in campagna di 6 parametri, a cui viene assegnato un rating per ottenere :

- A1 = resistenza a compressione uniassiale;
- A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);
- A3 = spaziatura delle discontinuità;
- A4 = condizioni delle discontinuità (persistenza giunto, apertura, rugosità, alterazione, riempimento);
- A5 = condizioni idrauliche;
- A6 = orientamento delle discontinuità (tratti in gallerie o fondazioni)

L'indice RMR in pratica viene differenziato a seguito dell'applicazione del parametro A6 e distinto in:

RMR di base = $RMR_b = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$

RMR corretto = $RMR_c = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$

Nel nostro caso è stato applicato il coefficiente di correzione A6 per le fondazioni in base all'orientamento favorevole o sfavorevole delle discontinuità rilevate.

La definizione del rating e la suddivisione in classi dell'ammasso roccioso è riportata nelle seguenti tabelle.

INPUT PARAMETERS TO RMR₁₉₈₉
(from Bieniawski, 1989)

PARAMETER		Range of values // RATINGS							
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range uniaxial compr. strength is preferred		
		Uniaxial compressive strength	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
	RATING	15	12	7	4	2	1	0	
2	Drill core quality RQD	90 - 100%	75 - 90%	50 - 75%	25 - 50%	< 25%			
	RATING	20	17	13	8	5			
3	Spacing of discontinuities	> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			
	RATING	20	15	10	8	5			
4	Condition of discontinuities	Length, persistence	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Rating	6	4	2	1	0		
		Separation	none	< 0.1 mm	0.1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Rating	6	5	4	1	0		
		Roughness	very rough	rough	slightly rough	smooth	slickensided		
		Rating	6	5	3	1	0		
		Infilling (gouge)	none	Hard filling		Soft filling			
		Rating	6	< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm		0
5	Ground water	Inflow per 10 m tunnel length	none	< 10 litres/min	10 - 25 litres/min	25 - 125 litres/min	> 125 litres /min		
		p_w / σ_1	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		General conditions	completely dry	damp	wet	dripping	flowing		
		RATING	15	10	7	4	0		

p_w = joint water pressure; σ_1 = major principal stress

RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS

		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very unfavourable
RATINGS	Tunnels	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	-60

ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS

Rating	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Class No.	I	II	III	IV	V
Description	VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR

MEANING OF ROCK MASS CLASSES

Class No.	I	II	III	IV	V
Average stand-up time	10 years for 15 m span	6 months for 8 m span	1 week for 5 m span	10 hours for 2.5 m span	30 minutes for 1 m span
Cohesion of the rock mass	> 400 kPa	300 - 400 kPa	200 - 300 kPa	100 - 200 kPa	< 100 kPa
Friction angle of the rock mass	< 45°	35 - 45°	25 - 35°	15 - 25°	< 15°

Dal valore di RMR_b si derivano i parametri caratteristici dell'ammasso, che secondo Bieniawski assumono il valore per valori di RMR_b > di 50 a:

- coesione c (kPa) = 5 RMR_b
- angolo di attrito ($^\circ$) = 0,5 RMR_b + 5
- modulo di deformazione E (GPa) = 2 RMR_b - 100

7.6.2.1 Stazione TAI01

SET	Giacitura (Imm./Incl.)	Rugosità	JRC	Spaziatura (cm)	Apertura (mm)	Riempimento	Persistenza (m)	Cond. umidità	Cond. alterazione
S1	305/33	discontinua	14-16	60-20	2,5-10	soffice	1-3	umida	legg. alterata
J1	341/40	ondulata	8-10	6-20	0,5-2,5	assente	1-3	asciutta	legg. alterata
J2	205/68	ondulata	8-10	6-20	0,1-0,25	assente	<1	asciutta	legg. alterata
J3	99/44	ondulata	10-12	6-20	0,1-0,25	assente	<1	umida	legg. alterata



- Litologia: Calcari grigi a bancate di spessore decimetrico alternati a brecce alterate
- Affioramento: L=19 m A= 3,8 m
- Giacitura media del fronte: 240/45
- Resistenza alla compressione (misurata con sclerometro) Su= 45 MPa
- VRU max: 0,4 m³
- Massa rocciosa: blocchi

Classificazione geomeccanica ammasso roccioso secondo RMR (Bieniawski, 1989)			
Parametro	Descrizione	Valore	Rating
A1	Resistenza a compressione (MPa)	45	5
A2	RQD (%)	75	15
A3	Spaziatura media (m)	0,29	9
A4	Condizioni discontinuità (V1+V2+V3+V4+V5)	4+4+3+5+6	22
A5	Cond. idrauliche	10	10
A6	Gallerie	-2	-2
		RMR _b (A1+A2+A3+A4+A5)	61
		RMR _c (A1+A2+A3+A4+A5+A6)	59

Parametri ammasso roccioso secondo classificazione RMR (Bieniawski, 1989)	
RMR _c	59
Classe	III
Descrizione	Discreto
Coesione c (KPa)	200 - 300 (305)
Angolo di attrito (°)	25 – 35 (35,5)
Modulo deformazione E (GPa)	22

7.6.2.2 Stazione TAI02

SET	Giacitura (Imm./Incl.)	Rugosità	JRC	Spaziatura (cm)	Apertura (mm)	Riempimento	Persistenza (m)	Cond. umidità	Cond. alterazione
S1	302/34	discontinua	8-10	60-20	<0,1	assente	1-3	umida	alterata
J1	147/79	piana	10-12	6-20	<0,1	assente	<1	bagnata	alterata



- Litologia: Calcari grigi stratificati a spessore decimetrico
- Affioramento: L=15 m A= 2,5 m
- Giacitura media del fronte: 310/30
- Resistenza alla compressione (misurata con sclerometro) Su= 38 MPa
- VRU max: 0,3 m³
- Massa rocciosa: massiccia

Classificazione geomeccanica ammasso roccioso secondo RMR (Bieniawski, 1989)			
Parametro	Descrizione	Valore	Rating
A1	Resistenza a compressione (MPa)	38	4
A2	RQD (%)	85	17
A3	Spaziatura media (m)	0,58	10
A4	Condizioni discontinuità (V1+V2+V3+V4+V5)	4+5+3+1+6	19
A5	Cond. idrauliche	10	10
A6	Gallerie	-2	-2
		RMR _b (A1+A2+A3+A4+A5)	60
		RMR _c (A1+A2+A3+A4+A5+A6)	58

Parametri ammasso roccioso secondo classificazione RMR (Bieniawski, 1989)	
RMRc	58
Classe	III
Descrizione	Discreto
Coesione c (KPa)	200 - 300 (300)
Angolo di attrito (°)	25 – 35 (35)
Modulo deformazione E (GPa)	20

8 Sismicità

8.1 Sismicità storica e recente

La sismicità rappresenta uno strumento indispensabile per le analisi sismotettoniche e un utile supporto alla geologia strutturale, in quanto varie tipologie di dati sismici, ottenuti attraverso differenti metodologie, possono fornire indicazioni per l'identificazione e la caratterizzazione delle strutture geologicamente attive.

L'insieme delle informazioni disponibili sui terremoti avvenuti in passato, ottenute secondo metodi di analisi di tipo sia strumentale che non, consistono essenzialmente in registrazioni del moto del terreno dalle quali è possibile ricavare l'ipocentro (in termini di latitudine, longitudine, profondità e relative incertezze), così come la dimensione (in termini di magnitudo o momento sismico) e la tipologia del meccanismo del terremoto (in termini di parametri di faglia o di tensore momento). I dati strumentali, sono integrati da informazioni sulla distribuzione spaziale degli effetti indotti dal terremoto sulle persone, sulle cose e sull'ambiente, dalle quali, attraverso la codifica di una scala macrosismica, è possibile ricavare la localizzazione, la magnitudo equivalente, le dimensioni fisiche ed anche l'orientazione della struttura sismogenetica.

Le informazioni riguardanti gli eventi sismici avvenuti nell'area in esame sono state ricavate dall'ultima versione del Database Macrosismico Italiano chiamata "DBMI15" (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>), rilasciata nel luglio 2016 la quale aggiorna e sostituisce la precedente DBMI11, e dal Bollettino Sismico Italiano elaborato da ISIDe Working Group (<http://iside.rm.ingv.it/>).

Nelle figure sottostanti è rappresentata la storia sismica della zona oggetto di studio con elencati i terremoti più significativi che hanno coinvolto il territorio. Nella prima colonna, in alcuni casi, sono presenti le seguenti sigle: "NF" ovvero "non segnalato", quindi non esprimibile in termini di intensità macrosismica; "HF" ovvero "percepito distintamente".

Considerando i valori esposti in tabella si può notare come i terremoti più significativi (avvenuti nell'area del Friuli) produssero effetti del 7° grado della scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg), la quale considera gli effetti distruttivi su persone e cose per misurare l'intensità del sisma.

Storia sismica di		Pieve di Cadore			
Numero di eventi		26			
Effetti	Data	Area epicentrale	Punti di osservazione macrosismiche	Intensità macrosismica epicentrale	Magnitudo momento Mw
Is (MCS)					
HF	1873 06 29 03 58	Alpago Cansiglio	197	9-10	6,29
3	1889 12 08	Gargano	122	7	5,47
3-4	1892 06 23 23 20	Dolomiti Friulane	71	5-6	4,58
3	1900 03 04 16 55	Asolano	98	6-7	5,05
NF	1904 10 09 06 41	Dolomiti Friulane	10	5	4,16
NF	1906 06 03 19 39	Carnia	32	6	4,38
4	1908 07 10 02 13 35.00	Carnia	119	7-8	5,31
4	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5,36
NF	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	750	10	6,53
4	1924 05 12 08 46	Carnia	20	6	5,04
4	1924 12 12 03 29	Carnia	78	7	5,42
3	1934 05 04 13 56	Carnia	80	6	4,69
5	1936 10 18 03 10	Alpago Cansiglio	269	9	6,06
6-7	1976 05 06 20	Friuli	770	9-10	6,45
NF	1987 05 02 20 43 53.32	Reggiano	802	6	4,71
NF	1988 02 01 11 22 41.30	Friuli	150	5-6	4,13
3	1988 06 12 20 09 59.60	Dolomiti Friulane	67	5	4,16
4-5	1994 04 20 21 25 25.70	Dolomiti Friulane	159	5-6	4,12
3-4	1996 01 27 08 26 01.30	Dolomiti Friulane	91	4-5	3,9
3-4	1996 02 27 11 13 45.90	Dolomiti Friulane	150	5	4,27
4	1996 04 13 13 00 22.60	Dolomiti Friulane	164	5-6	4,43
2	1997 09 29 21 01 34.40	Val Pusteria	27	5	3,95
4	2001 07 17 15 06 15.27	Val Venosta	657	5-6	4,78
4-5	2002 02 14 03 18 02.48	Carnia	338	5-6	4,67
NF	2004 07 12 13 04 06.00	Slovenia nord-occidentale	353		5,12
3	2004 08 28 04 04 47.94	Carnia	90	4	3,74

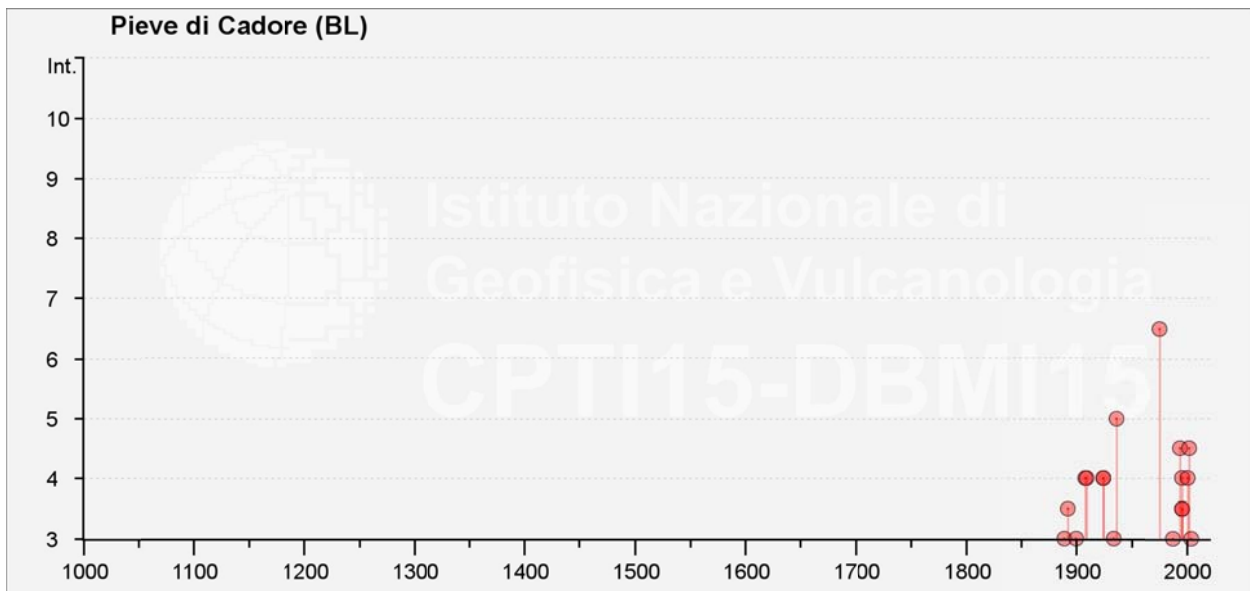


Fig. 16 Rappresentazione degli eventi sismici significativi registrati a Pieve di Cadore negli anni compresi tra 1000 – 2014 (fonte: DBMI15)

Nella tabella il termine “Is” è riferito all’intensità al sito per ogni evento sismico e per ognuno di essi è indicata l’ora, il giorno, l’area e l’intensità macrosismica epicentrale, e la magnitudo del momento sismico (MMS – Moment Magnitude Scale). Quest’ultima è stata sviluppata come aggiornamento della scala Richter.

8.2 Sorgenti sismogenetiche

L’Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia ha diffuso, nell’ambito del Progetto DISS (Database of Individual Seismogenic Sources), le informazioni riguardanti la distribuzione spaziale e le caratteristiche sismico-tettoniche delle Sorgenti Sismogenetiche presenti sul territorio nazionale. La Fig. 17 mostra le aree riferite alla versione più aggiornata DISS 3.2.0 “A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas” del 2015 (<http://diss.rm.ingv.it/diss/>).

L’area oggetto di studio si trova a Nord/Nord-Est di Sorgenti Sismogenetiche Composite (CSS) classificate come:

- “ITCS071 – Andreis-Forgaria nel Friuli” a partire dalla quale possono svilupparsi sismi di magnitudo momento pari a 5.9. La geometria del thrust è compresa tra i 0,5 e i 7,5 Km dalla superficie. Si trova ai piedi dei primi rilievi Friulani e appartiene al sistema di thrust della catena Sudalpina orientale che confina con la pianura Veneto-Friuliana. È caratterizzata dalla presenza di un sistema di faglie Sud/Sud-Est vergenti che ospitano la convergenza Nord-Sud tra la placca Africana e quella Europea;
- “ITCS064 – Tramonti-Montemaggiore” a partire dalla quale possono svilupparsi sismi di magnitudo momento pari a 6.2. La geometria del thrust è compresa tra i 0,5 e i 7,5 Km dalla superficie.

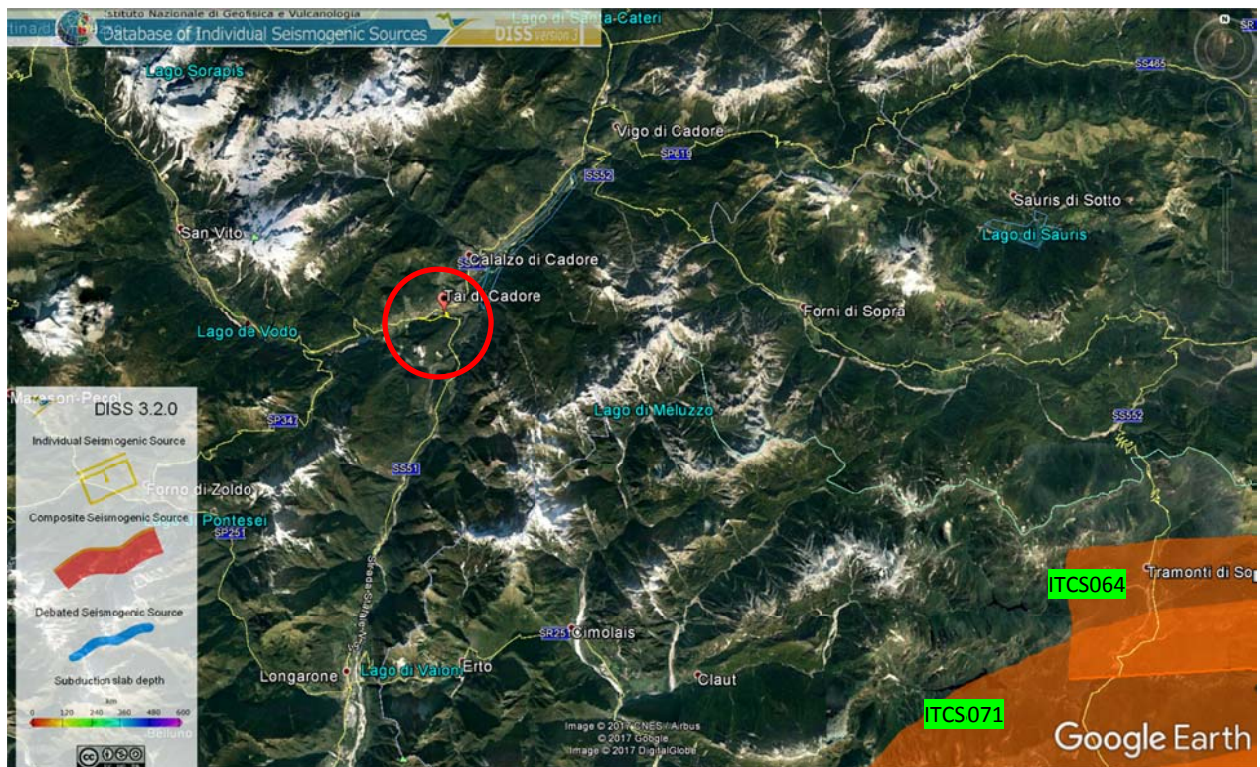


Fig. 17 Database zone sismogenetiche INGV (DISS3.2): rappresentazione cartografica delle CSS (Composite Seismogenetic Source) e delle ISS (Individual Seismogenetic Source) (Google Earth)

La sorgente sismogenetica composta è essenzialmente una struttura identificata sulla base dell'analisi di dati geologici di superficie e sotterranei, ed in particolare sulla base dell'identificazione delle tracce e delle caratteristiche delle faglie attive. La lunghezza della rottura attesa in conseguenza del terremoto, tuttavia, è scarsamente definibile in quanto, normalmente, le sorgenti sismogenetiche composte derivano da un numero imprecisato di singole fonti vicine tra loro ma sostanzialmente discontinue. Ad una CSS non è possibile attribuire una specifica dimensione del terremoto atteso per il futuro, ma il loro potenziale sismico è stimato dai cataloghi terremoto esistenti.

Da un punto di vista geometrico rappresenta la proiezione sulla superficie terrestre della superficie di faglia. Nella Fig. 18 è riportato uno schema di lettura delle caratteristiche geometriche della CSS.

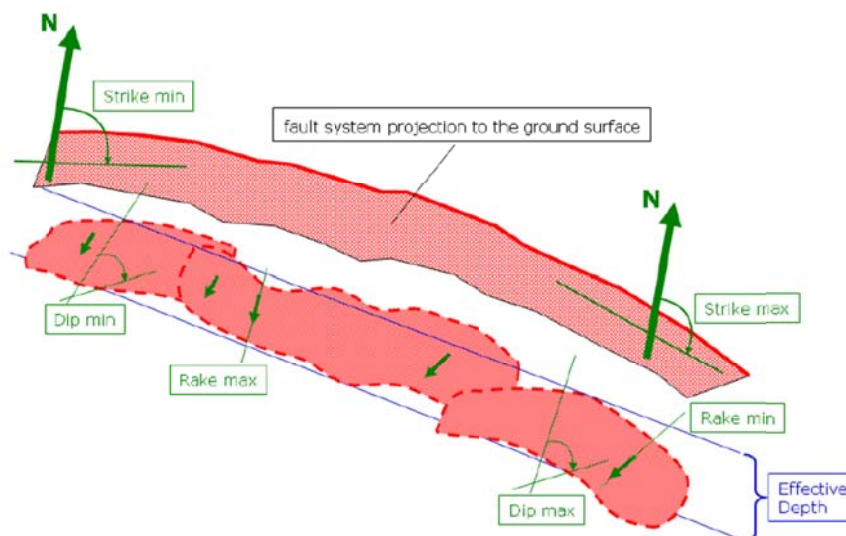


Fig. 18 Schema geometrico di una sorgente sismogenetica composta (CSS)

8.3 Zonazione sismogenetica

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha realizzato una zonazione sismogenetica (ZS9) del territorio nazionale per soddisfare diversi requisiti, ed in particolare per recepire le conoscenze più recenti sulla tettonica attiva della penisola e sulla distribuzione delle sorgenti sismogenetiche, fornire per ogni zona una stima della profondità efficace dei terremoti (ovvero l'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti) e un meccanismo di fagliazione prevalente attraverso l'analisi cinematica di eventi geologici importanti che interessano la crosta superficiale e anche strutture profonde (INGV, Rapporto Conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile, 2004).

La ZS9 rappresenta la più recente zonizzazione sismogenetica del territorio nazionale ed è stata elaborata tenendo in considerazione i principali riferimenti informativi sui terremoti: progetto DISS e il Database Macrosismico Italiano (DBMI11) che contiene i dati di intensità utilizzati per la compilazione dei parametri del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani rilasciato nel dicembre 2011 (CPTI11).

Il territorio italiano è suddiviso in 36 aree differenti numerate da 901 a 936 cui vanno aggiunte 6 zone non utilizzate in quanto non contribuiscono alla pericolosità del territorio italiano o hanno un numero di eventi interno molto basso. Si possono distinguere le seguenti porzioni (vedi Fig. 19):

- Arco alpino: 901 ÷ 910
- Appennino settentrionale e centrale: 911 ÷ 923
- Appennino meridionale e avampaese apulo: 924 ÷ 928 e 931
- Calabria: 929 – 930
- Sicilia: 932 ÷ 936

Se si osserva Fig. 19 l'area in esame si trova su limite Nord della zona 905 nel settore dell'Arco alpino.

È caratterizzato da strutture a pieghe sud-vergenti del Sudalpino orientale e faglie inverse associate e, nelle aree ad est del confine friulano, da faglie trascorrenti destre con direzione NW-SE. La frequenza e l'intensità dei sismi è nettamente superiore rispetto alle due limitrofe. Inoltre, la zona 905 comprende la sorgente di Montello (potenzialmente responsabile di terremoti con $M > 6$) che, in base ai dati attualmente disponibili, è definibile come "silente" (Maletti C. e Valensise G., 2004)

Come già anticipato nel capitolo precedente, in quest'area si osserva la massima convergenza tra le placche adriatica ed europea.

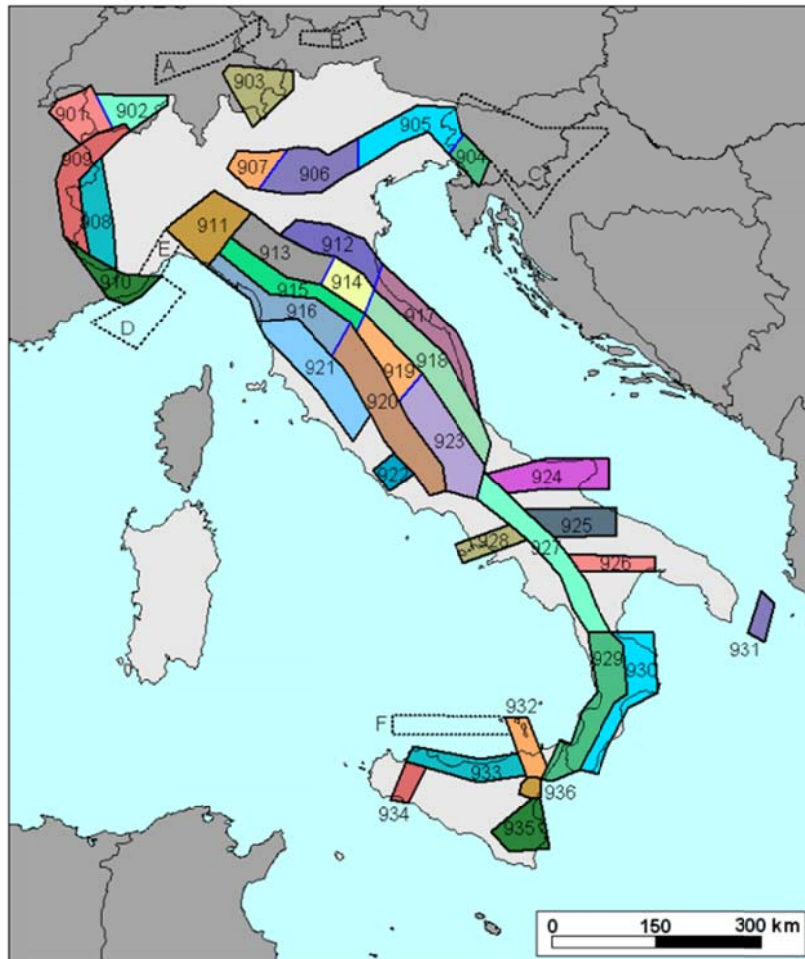


Fig. 19 Zonazione sismogenetica ZS9. I limiti blu separano zone con analogo significato cinematico ma diverse caratteristiche sismiche (fonte: INGV, Rapporto Conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile, 2004)

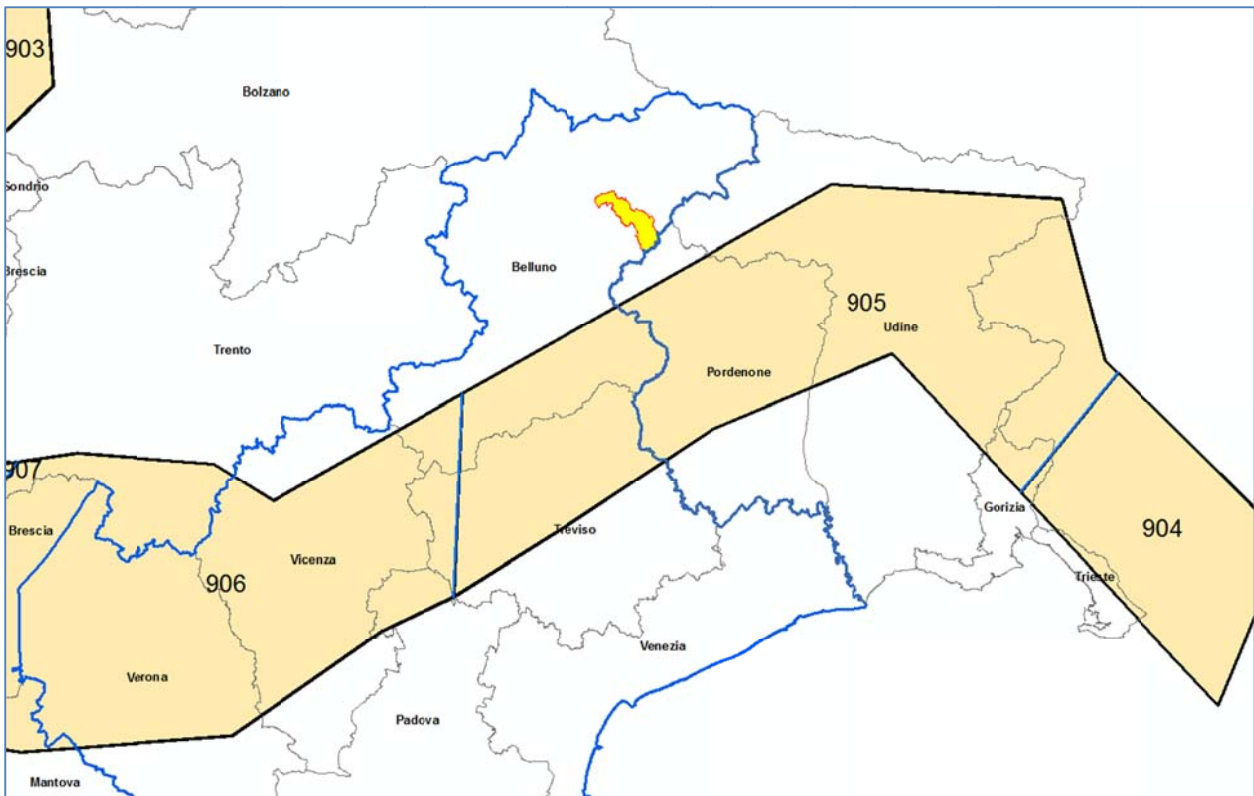


Fig. 20 Particolare della zona 905 in cui viene evidenziato il comune di Pieve di Cadore