

REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA

PROVINCIA DI PORDENONE

COMUNE DI ERTO E CASSO

LAVORO:

**PROGETTO DI UNA CENTRALE IDROELETTRICA SUL TORRENTE  
VAJONT, CON PRESA ALLO SCARICO DEL LAGO RESIDUO  
DEL VAJONT, SUBITO A VALLE DELLA DIGA,  
IN TERRITORIO COMUNALE DI ERTO E CASSO (PN)**

RIF. N°. LAVORO:

SP 2015/0038  
costruzioni idrauliche

COMMITTENTE:



**Welly R.E.D. S.r.l.**

sede legale:

Viale Trento, 105/d - 33077 Sacile (PN)

recapiti amministrativi:

Piazza Mazzini, 21 - 32100 Belluno (BL)

Tel. 0437/999844 - email wellyredsr@gmail.com

FASE

AGGIORNAMENTO PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO:

**C**

OGGETTO

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

PROGETTISTI

geol. Roberto

ing. Loris C

ing. Daniele

geom. Erminio Paolo Canevese

RILIEVI TOPOGRAFICI

Studio Topografico Canevese - geom. Ivan Pivetta

REVISIONE

DATA

NOME FILE

TO

## Sommario

<b>1. Introduzione .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Litologia.....</b>	<b>4</b>
<b>3. Analisi strutturale della zona .....</b>	<b>24</b>
<b>4. Idrogeologia .....</b>	<b>27</b>
<b>5. Modello geotecnico .....</b>	<b>30</b>
<b>6. Sismicità.....</b>	<b>32</b>
<b>7. Considerazioni geotecniche sugli scavi da eseguire per la realizzazione dell'impianto idroelettrico .....</b>	<b>34</b>
<b>8. Considerazioni sulla pericolosità geologica.....</b>	<b>37</b>
<b>9. Considerazioni sul riutilizzo dei materiali da scavo .....</b>	<b>39</b>

## 1. Introduzione

La relazione geologica è stata redatta per la verifica degli assetti geologici, idrogeologici e litologici del tratto della Valle Vajont percorsa dal torrente omonimo ove è prevista la costruzione di un impianto idroelettrico costruito interamente in galleria che preleva l'acqua dalla esistente galleria di sorpasso (by-pass) della diga del Vajont che porta a valle della stessa la portata partendo dal "lago residuo C"; anche la centrale di produzione di energia elettrica è completamente in galleria e posizionata alla base della valle. Il salto lordo è di circa 125 metri e sarà realizzato con una condotta verticale posizionata tramite lo scavo con tecnica raise boring di un pozzo verticale; sarà presente un altro pozzo verticale della medesima altezza per gli accessi alla futura centrale.

Lo studio geologico, in particolare, analizza l'ammasso roccioso che dovrà essere attraversato dalla perforazione dei 2 pozzi verticali, e sarà interessato dalla realizzazione dell'opera di presa in galleria e della centrale anch'essa in galleria.

La relazione si basa sia su una accurata analisi dello stato di fatto di facile presa visione per la presenza delle gallerie esistenti dalle quali si opererà per la realizzazione dell'impianto, che non sono rivestite, sia sulla ricerca bibliografica e lo studio dell'elevata mole di analisi e studi sviluppati sia prima della Frana del Vajont sia a seguire il disastroso evento; analisi ricche di dati e prove sul territorio. Inoltre sono stati consultati gli elaborati grafici di supporto agli strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica allegati al P.G.T. in vigore del Comune di Erto e Casso, e carte del rischio idrogeologico e pericolosità da valanghe allegate al Progetto PAI dell'autorità di bacino (fiume Piave).

Al fine di conoscere con estremo dettaglio l'assetto morfologico e strutturale delle pareti della valle è stato eseguito un dettagliato rilievo con tecnologia laser scanner delle pareti, che ci ha consentito di definire gli spessori di roccia sovrastanti le aree di scavo in galleria per la realizzazione del progetto e di identificare le nicchie di distacco presenti.

Quanto sin ora svolto in sito e a tavolino consentono di formulare un sufficiente quadro conoscitivo del tratto della valle percorsa dal torrente Vajont e interessata dal progetto i cui elementi di valutazione saranno di seguito espressi.

Il modello geologico così formulato secondo i dettami delle NTC 2008, costituisce la base tecnica di riferimento per l'elaborazione del modello geotecnico. Il modello geotecnico potrebbe necessitare, a ogni modo, di indagini geognostiche puntuali, mirate a una miglior conoscenza del sottosuolo, per una caratterizzazione sia litologica sia geotecnica, sia per lo scavo dei pozzi verticali, sia per il sito di scavo dell'opera di presa, restituzione e della centrale. Tali analisi puntuali saranno eventualmente svolte in fase pre-esecutiva.

## **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- Decreto Ministeriale 14.01.2008: Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.
- D.M. 11.03.1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni, e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- Circolare 30/01/1990 della RV: osservanza della normativa vigente sull'uso del suolo ai fini edificatori e, in particolare, dell'obbligo, nei casi previsti, della relazione geologica e della relazione geotecnica.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale, Allegato al voto n. 36 del 27/07/2007.
- D. LGS. 152 /20016 Testo unico ambientale.
- Adozione del piano stralcio per l'assetto idrogeologico dei bacini idrografici dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave Brenta, Bacchiglione e corrispondenti misure di salvaguardia. Comitato istituzionale del 09/11/2012 G.U. n° 280 del 30/11/2012.
- Leggi nazionali R.D. 30/12/1923 n. 3267 Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani; (vincolo idrogeologico) e regionali in materia di pianificazione e di Vincolo Idrogeologico.



## 2. Litologia

Nella Valle del Vajont affiorano formazioni rocciose di età compresa tra il Giurassico Medio e l'Eocene Medio. A partire dal Giurassico Inferiore (Lias), l'area in questione era parte di un dominio bacinale in cui si accumulavano micriti selcifere intercalate in varia misura a calcareniti e calciruditi oolitiche o bioclastiche che, prodotte nelle vicine piattaforme, venivano periodicamente scaricate nei bacini da correnti di torbida ed altri flussi gravitativi. Le principali differenze nella composizione delle formazioni dipendono dalle variazioni negli apporti delle piattaforme.

Secondo la descrizione di MASETTI (1986), le formazioni affioranti, dal basso verso l'alto, sono:

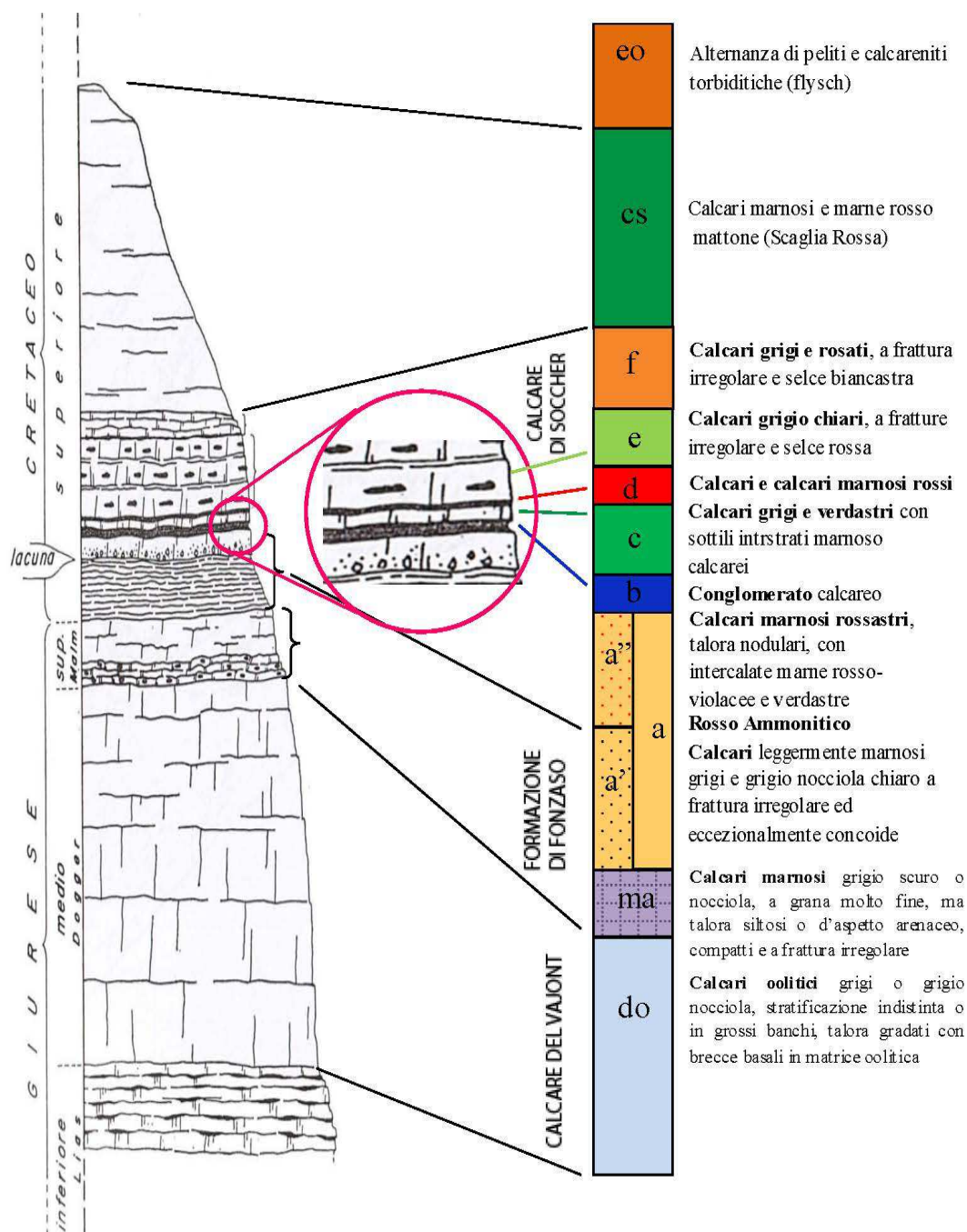
### 1. Dolomia principale

La Dolomia Principale (Triassico Superiore), ha uno spessore di circa 1000 m ed è caratterizzata da alternanze cicliche di dolomie massicce sub-intertidali bianche, da dolomie stromatolitiche sopratidali e sottili livelli marnosi verdi che rappresentano depositi di alterazione subaerea corrispondenti all'estrema fase regressiva del ciclo. La porzione superiore presenta un colore grigio scuro. Queste sono caratteristiche peculiari della dolomia principale affiorante nell'area in cui si imposterà, all'inizio del Giurassico, il Bacino Bellunese. L'ambiente deposizionale è riferibile a vaste piane tidali che si estendevano su quasi tutta l'Italia Settentrionale.

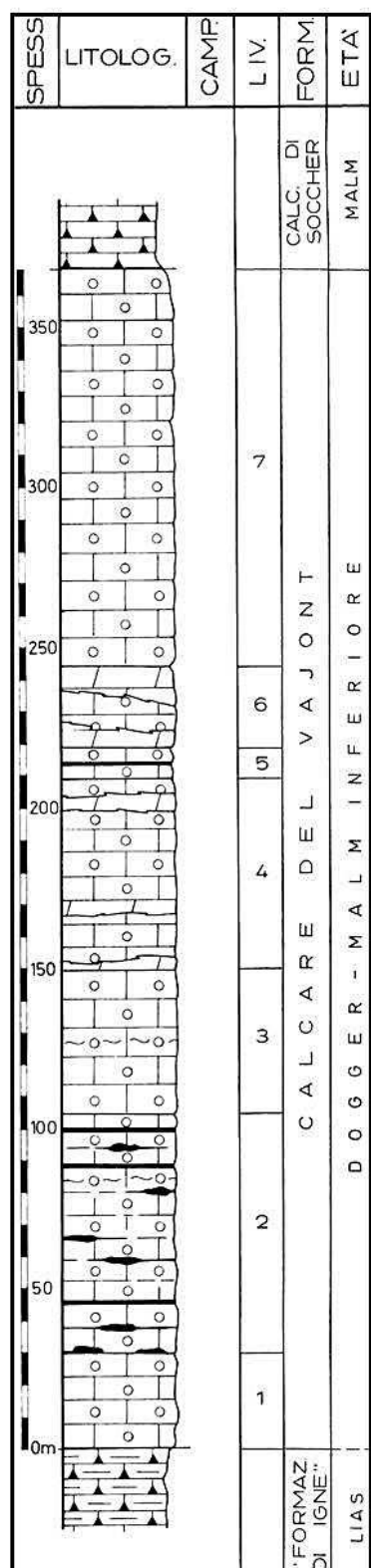
### 2. Calcare del Vajont

Ha uno spessore di circa 370 metri nella Valle del Vajont e risale al Giurassico Medio (Dogger). È caratterizzato da calcareniti oolitiche massicce o stratificate in grossi banchi. Possono essere presenti noduli e lenti di selce scura (Figura 2). È il materiale interessato dalla proposta di intervento, ovvero dallo scavo del pozzo verticale per la posa della condotta forzata.

L'ambiente deposizionale è all'interno del Solco Bellunese compreso tra la Piattaforma Trentina a ovest e la Piattaforma Friulana a est. In questo contesto siamo di fronte a due tipologie sedimentarie, quella neritica e quella pelagico-batiale, caratterizzate da condizioni idrodinamiche molto differenti. Questo calcare è il prodotto di una risedimentazione gravitativa lungo il fianco occidentale della Piattaforma Friulana (BOSELLINI e MASETTI, 1972).



**Figura 1:** Colonna stratigrafica delle formazioni affioranti nella Valle del torrente Vajont. A sinistra, rappresentazione secondo Carloni e Mazzanti (1964); a destra, secondo Besio e Semenza (1963). La descrizione delle litologie è basata su studi eseguiti da Martinis & Francani (1979)



Calcare oolitico massiccio o in strati di 1-4 m di spessore.



Calcare oolitico con lenti e noduli silicizzati.



Sottili intercalazioni di calcare micritico.



Calcare micritico, selcifero, sottilmente stratificato.



Calcare marnoso, selcifero, e marna calcarea sottilmente stratificata.



Dolomia e dolomia calcarea.



Intercalazione carbonioso-bituminosa.

- calcare grigio-scuro, con noduli, liste e straterelli di selce, in strati di 5-20 cm di spessore ("calcare di Soccher");

7) calcare oolitico leggermente magnesiaci verso la base, grigio o grigio-nocciola, compatto e a frattura irregolare, a stratificazione indistinta o in strati di spessore variabile da 1 a 4 m (125 m);

6) calcare oolitico simile a quello sopostante, talora pisolítico, dolomia e dolomia calcarea vacuolare, a grana grossa, grigio-giallastra, molto fratturata e con fratture riempite da calcite bianca. La dolomitizzazione si sviluppa irregolarmente, come si osserva bene sul versante opposto della gola dove il fenomeno avviene in corrispondenza di fratture che non sembrano aver alterato le condizioni generali di giacitura della roccia (25 m);

5) calcare oolitico, simile a quello del livello 7, raramente con elementi pisolíticos, in cui si intercalano alcuni straterelli, con spessore di 2-5 cm, di calcare grigio-scuro, a grana fine e frattura irregolare (10 m);

4) calcare oolitico, come il livello 7, a stratificazione indistinta o in strati a spessore variabile da 1 a 4 m, con tre intercalazioni di dolomie, vacuolari e giallastre, potenti da 3 a 5 m (60 m);

3) calcare oolitico, simile al sopostante. A circa 20 m dalla sommità, in corrispondenza della seconda galleria, salendo alla diga è presente uno straterello di selce nerastra con vene carboniose e bituminose (45 m);

2) calcare oolitico, simile al sopostante, con lenti e amioni silicizzati ben distinguibili dalla roccia circostante; le lenti hanno un'estensione fino a 2 m e uno spessore massimo di 0,50 m. Uno straterello dello stesso calcare silicizzato, a sviluppo irregolare, potente da 4 a 15 cm, è presente alla base e sottolinea il passaggio al livello sottostante. Si notano talora intercalazioni di calcare grigio-scuro, a grana fine, simile a quello presente nel livello 5; queste intercalazioni hanno uno spessore di 2-3 cm che verso la sommità può raggiungere anche 10-20 cm. Sono presenti inoltre noduli di selce grigio-scuro e nella metà superiore uno strato selcifero irregolare, con spessore massimo di 20 cm, in cui si osservano resti di vegetali silicizzati e vene bituminose (75 m);

1) calcare oolitico grigio, più o meno scuro, compatto e a frattura irregolare, talora selcifero, con intraclasti calcarei grigio-scuri, a grana molto fine e dimensioni variabili fino a un diametro massimo di 10 cm. Questi elementi sono particolarmente abbondanti a circa 10 m a monte dell'uscita della prima galleria, salendo, dove costituiscono una lente con spessore massimo di poco oltre 1 m. Negli strati contigui si notano alcune lenticelle di calcare silicizzato, simili a quelle del livello precedente, con spessore di qualche decimetro.

La roccia si presenta verso la base fratturata, con diaclasi prevalenti immerse a  $\sim 10^\circ$  N di  $40^\circ$ , più oltre essa appare massiccia (30 cm);

- calcare marnoso grigio-scuro, in strati di 20-40 cm di spessore, con livelletti di selce nera e intercalazioni marnoso-calcaree e marnose verdastre (Formazione di Igne).

Sezione del Vajont: colonna stratigrafica.

Figura 2: Sezione del Vajont: colonna stratigrafica

### 3. Formazione di Fonzaso

La formazione di Fonzaso (Oxfordiano), ha uno spessore di 10-40 m ed è costituita da biocalcareni e calcari micritici bruni, fortemente selciferi, in strati di 5-20 cm a lamine parallele e oblique. Di notevole interesse sono i livelli di argilliti verdi di 5-10 cm ripetutamente intercalati nella formazione a causa del ruolo che hanno svolto nello scivolamento della frana. L'ambiente deposizionale è simile a quello del Calcare del Vajont; le variazioni che si notano sono la minor quantità e la presenza di grani bioclastici al posto di ooliti nelle torbiditi in arrivo dalla piattaforma Friulana.

### 4. Rosso Ammonitico

Il rosso ammonitico risale al Cretacico Inferiore, ha uno spessore di 5-15 m ed è caratterizzato da micriti nodulari grigie e rossastre, massicce o in strati di spessore superiore a 1 metro. Questa formazione è completamente priva di risedimenti, quindi la microfacies è costituita esclusivamente da micriti pelagiche a peloidi.

### 5. Calcare di Socchèr

È caratterizzato da uno spessore di 150 m depositatosi durante il Cretacico-Inferiore, Cretacico-superiore. Il Calcare di Socchèr è costituito da una complessa alternanza di calcari microcristallini e di calcareniti provenienti dalla piattaforma Friulana. La componente fine è rappresentata da strati decimetrici di micriti, micriti marnose e marne grigie, rosse o verdastre contenenti selce dello stesso colore in noduli e letti. Si notano numerose discordanze e scivolamenti intraformazionali indicanti come la deposizione di questa formazione sia avvenuta lungo la scarpata che raccordava la Piattaforma Friulana, ubicata a SE, all'antistante bacino.

### 6. Scaglia Rossa

Cretaceo Superiore – Paleocene Inferiore, spessore 300 m circa. Monotona successione di marne e di calcari marnosi rossi, completamente privi di risedimenti gravitativi, nella più tipica facies di Scaglia. Questa Formazione livella la preesistente e articolata topografia depositandosi uniformemente su tutta l'area esaminata.

### 7. Marne di Erto

Paleocene, spessore 100-150 m. Questa unità (GARAVELLO e LUCIANI - 1986), rappresenta la transizione tra la Scaglia Rossa e il Flysch ed è costituita da marne e subordinati calcari marnosi

grigi, intensamente bioturbati, contenenti rari straterelli di calcareniti ed arenarie. Il colore varia da rosso a grigio.

## 8. Flysch

Eocene, spessore almeno 200 m, caratterizzato da una potente successione di arenarie torbiditiche intercalate a peliti. Le areniti sono rappresentate da calcareniti passanti ad arenarie litiche grigie o gialle; le peliti sono costituite da marne e marne argillose grigie.

## 9. Depositi Quaternari

Si ritrovano sia depositi morenici, sia depositi di versante e sia depositi alluvionali.

*Depositi morenici:* si tratta di accumuli wurmiani, deposti dal ghiacciaio del fiume Piave e da lingue glaciali locali. I primi si rinvencono ad esempio sul versante sinistro della valle, alle pendici dello Spiz Gallina. Sono accumuli caotici a clasti sub-arrotondati con granulometrie dai massi alle ghiaie, immersi in una abbondante matrice limoso-argillosa di colore chiaro. Litologicamente si presentano molto eterogenei e caratterizzati dalla presenza di porfidi e filladi. Per quel che riguarda i depositi attribuiti ai ghiacciai locali, la litologia è più omogenea e rispecchia la geologia locale; inoltre la matrice è meno abbondante, in quanto minore è stato il trasporto subito. Si ritrovano in Val Zemola e nell'alta Val Ferron. Sul versante destro della Val Mesazzo, in località Pineda, si può osservare una forma riconosciuta come un probabile cordone morenico.

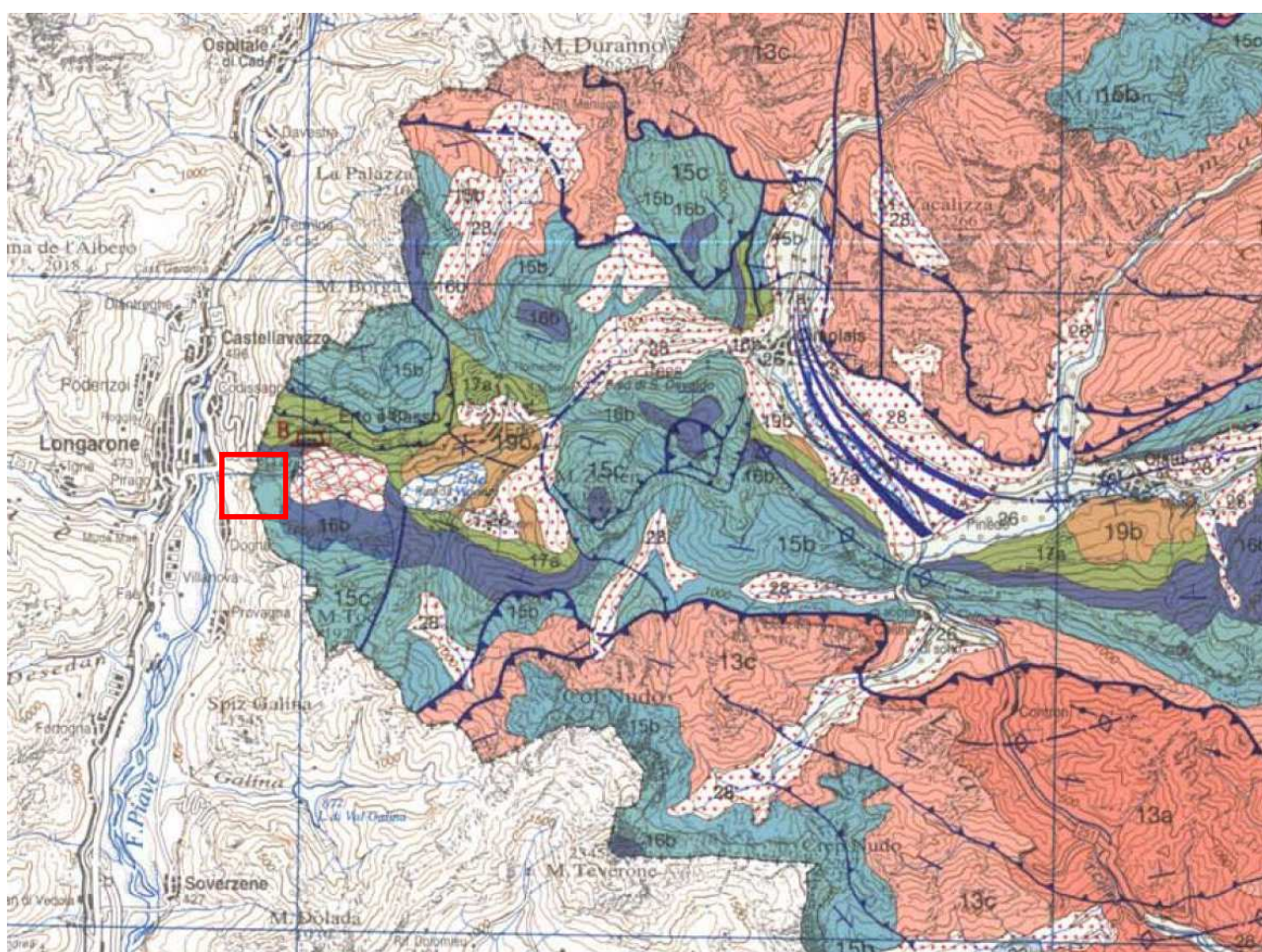
*Depositi di versante:* sotto questo termine sono raggruppati tutti i materiali accumulati dall'azione di agenti di trasporto quali gravità e gravità associata all'acqua. Sono depositi che caratterizzano in modo significativo la morfologia della zona. Vasti accumuli si trovano a nord, nell'alta Val Zemola e sul versante meridionale del M. Fortezza; coni e falde detritiche si incontrano poi sulla destra della Val Vajont tra Erto e Casso, e in generale su tutto il versante sud del M. Borgà; molto spesso sono dovuti a fenomeni franosi (frana in blocchi di roccia del M. Salta). Una fascia molto estesa di depositi detritici, accumulati sia dalla gravità sia dal ruscellamento, si trova sulle pendici settentrionali del M. Toc, tra la zona di distacco e la massa scivolata nel 1963.

Potenti depositi di versante accumulati per ruscellamento diffuso e concentrato, si trovano nell'Alta Val Vajont. Dal punto di vista granulometrico, i depositi di versante sono caratterizzati da dimensioni molto diverse: da massi fino alle ghiaie per gli accumuli dovuti alla sola gravità, dai ciottoli alle sabbie o limi, per quelli di ruscellamento. I clasti si presentano generalmente a spigoli vivi o leggermente smussati. Spesso si può osservare una certa stratificazione e una locale cementazione dovuta alle acque circolanti internamente.



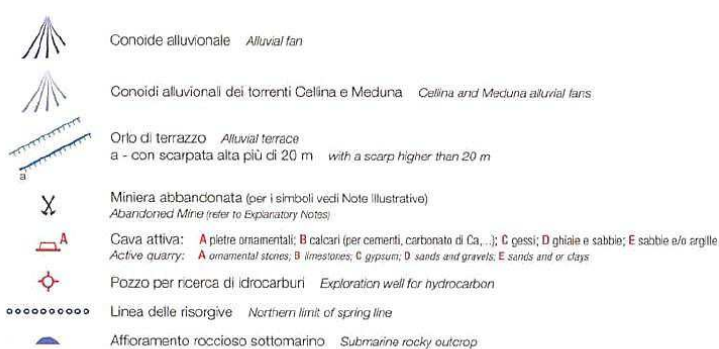
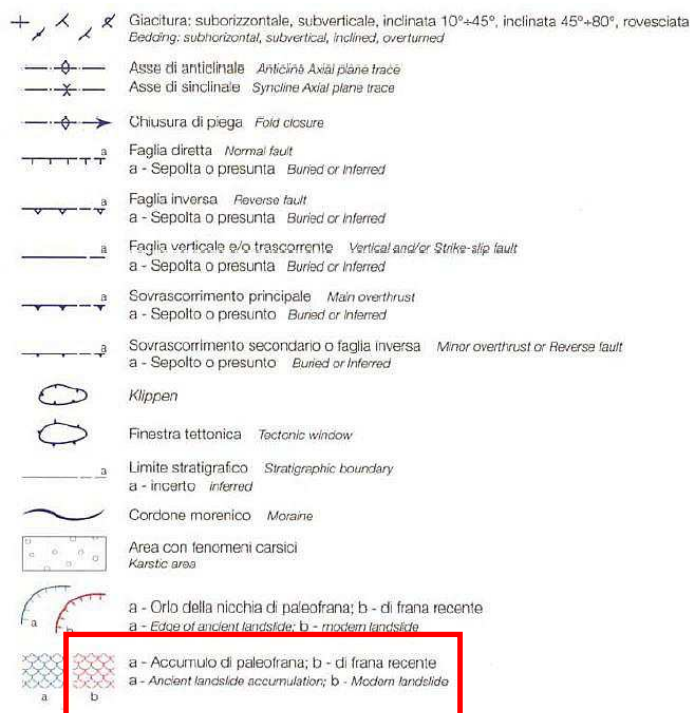
**Depositi alluvionali:** sono accumuli di materiale incoerente, dovuti all'azione dei corsi d'acqua e caratterizzati da una morfologia dolce o pianeggiante. I depositi alluvionali attuali si trovano negli alvei dei fiumi e dei torrenti (torrente Vajont). I clasti che formano questi depositi sono di varie dimensioni: dai grossi ciottoli, arrotondati e spesso appiattiti, alle ghiaie e sabbie, quelli attuali, con matrice sabbioso-limosa, quelli recenti e antichi.

A seguire le cartografie geologiche di riferimento e una rassegna di alcune foto scattate durante i sopralluoghi.

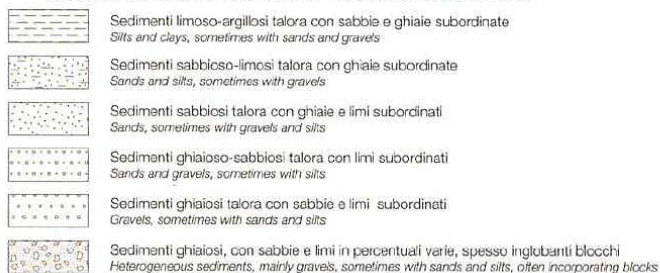


**Figura 3:** Estratto della Carta geologica del Friuli Venezia Giulia (scala 1:150 000) con riquadrata l'area di interesse. Segue legenda





## Tessiture del dominio continentale Continental domain textures



## Successione cenozoica Cenozoic sequence

20b

Marne siltose grigie (Marna di Tarzo, Marna di S. Donà); alternanze di areniti e siltiti grigie (Arenaria di Vittorio Veneto); conglomerati poligenici ed eterometrici prevalenti, siltiti ed arenarie (Conglomerato del Montello); depositi molassici epibatiali, deltizi e di conoide alluvionale con episodi lacustri. Grey silty marls; interbedded sandstones and gray siltstones; polygenic and heterometric conglomerates; Molasse deposited in epibathyal, deltaic and alluvial fan environments, with lacustrine episodes. **Miocene medio - sup.**

20a

Brecce calcaree e conglomerati (Brecce di Peonis); calcareniti grossolane, siltiti e arenarie grigie con resti fossili; locali livelli conglomeratici a ciottoli carbonatici, selciferi e metamorfici (Arenaria di Preplans, fm. di Val Tremugna); areniti glauconitiche grossolane verdastre a pettinidi (Marna di Bolago, Gruppo di Cavanella); alternanze di areniti glauconitiche e siltiti arenacee (Arenaria di S. Gregorio); peliti con resti di molluschi e coralli (Marna di Monfumo); areniti glauconitiche e biocalciruditi (fm. del M. Baldo); depositi molassici marini di piattaforma e deltizi. Calcareous breccias, megabreccias and conglomerates; coarse calcarenites, siltstones and gray sandstones with plant remains; locally conglomerates with carbonate, siliceous and metamorphic pebbles coarse, green glauconitic sandstones with pectinids; interbedded glauconitic sandstones and sandy siltstones; shales with mollusks and corals; glauconitic sandstones and biocalcirudites; marine platform and deltaic Molasse. **Oligocene sup. - Miocene medio**

19b

Alternanze pelitico-arenacee ben stratificate con calciruditi e calcareniti talora in potenti banchi carbonatici (Flysch del Grivò: a - Megastrato del M. Ioanaz; b - M. di Vernasso; Flysch di Claut); alternanze di areniti e/o siltiti con marne calcareo-silicee a clasti di quarzo e selce (Flysch di Commons, Flysch di Clauzetto, "Flysch di Trieste"); depositi di bacino. Interbedded shales and sandstones with calcirudites and calcarenites, sometimes in thick carbonate beds (a, b); alternation of sandstones and/or siltstones with calcareous-siliceous marls with quartz and silica clasts; basinal deposits. **Paleocene p.p. - Eocene medio.**

19a

Calcsiltiti grigio-nerastre con banchi di breccia ed areniti nella parte superiore (Membro di Drenchia, Flysch di Uccia); calcareniti con brecce e calciruditi (Flysch di Clodig, Flysch di M. Brieka); alternanze arenaceo-pelitiche, con spessi orizzonti di breccia (Flysch dello Iudrio) e peliti rossastre ad arenarie grigie intercalate (Flysch di Calla); arenarie con orizzonti calciclastici (Flysch di Masarolis); depositi di bacino. Grey-blackish calcsiltites, with breccia beds and sandstones intercalations towards the top; calcarenites with breccias and mudstones; sandstone-shale alternations, with frequent breccia beds and reddish shales with interbedded grey sandstones; sandstones with calcareous clastic beds; basinal deposits. **Cretacico sup. - Paleocene p.p.**

18

Calcari grigi e noccia a stratificazione metrica o indistinta molto fossiliferi (Calcari a Miliolidi, Calcari a Nummuliti ed Alveoline, Mb. di M.te Grisa e Opicina, Liburnico; Vreme e Cosina); brecciole carbonatiche e marne debolmente arenacee con nummuliti; depositi di piattaforma. Grey and dark brown fossiliferous limestones in m-thick beds or massive; carbonate breccias and sandy marls with nummulites; platform deposits. **Paleocene - Eocene inf.**

**Successione mesozoica Mesozoic sequence**

17c

Calcarei bioclastici biancastri, massicci con abbondanti rudiste, talora con intercalazioni di calcari micritici (*Calcarei di M. Cavallo, Calcareni del Molassa, Calcarei di Aurisina, Fm. dei Calcarei del Carso triestino p.p., Calcarei di Monte San Michele*): depositi di piattaforma aperta. *Whitish bioclastic limestones, massive, with abundant rudists, sometimes with interbedded micritic limestones; carbonate platform deposits. Cretaceo sup.*

17b

Brecce con clasti dolomitici, compatte, di colore grigio; dolomie grigio chiare e grigio scure, con laminazioni nerastre (*scisti di Comero*), dolomie nere saccaroidi; lenti di breccia e calcari dal rosso mattone al giallastro; calcari grigi a rudiste (*Fm. di Monrupino, Mb. di Rupingrande*): depositi di piattaforma. *Grey breccias with dolomitic clasts; light grey sparitic dolostones, dark grey dolostones with blackish laminations; breccia lenses and brick red-yellowish limestones; carbonate platform deposits. Cretaceo inf.- sup. p.p.*

17a

Marne e calcari marnosi rossastri e grigi a frattura scagliosa, debolmente nodulari, a stratificazione cm-dm; locali brecce ed olistoliti carbonatici (*Scaglia rossa, selcifera e variegata*): depositi di bacino. Talora, alla base, brecce in bancate massicce con clasti calcarei a frammenti di rudiste (*Breccia di Grignas, Calcare di Volzana, Calcarei del Fadaito, Calcarei di Andreis*): depositi di scarpata. *Reddish and grey marls and marly limestones, slightly nodular, in cm-dm-thick beds; locally, carbonate olistoliths and breccias are found; basinal deposits. Sometimes at the base, massive calcareous breccias with clasts of rudist-bearing limestones occur. Cretaceo inf. - Eocene inf.*

16c

Calcarei stratificati dm-m, biancastri, grigi e nocciola, di aspetto porcellanaceo, con frequenti strutture di emersione, talora con brecce, argille residuali e stromatoliti (*Calcare del Callina, Mb. di M.te Coste, Calcarei di S.Donà*): depositi di piattaforma protetta. *Well stratified whitish, greyish and brownish limestones, with karst features, sometimes with presence of breccias, residual clays and stromatolites; protected shallow water platform deposits. Giurassico sup. - Cretaceo inf.*

16b

Calcarei micritici e calcareniti in strati dm, con abbondante selce policroma (*Fm. di Fonzaso*); calcari nodulari da grigio-verdastri a rossastri, con selce rossa e ammoniti (*Rosso Ammonitico superiore*); calcari micritici nocciola e grigio chiari, a frattura concoide, con selce grigio scura o biancastra (*Biancone o Maiolica*); calciruditi bioclastiche, calcareniti grossolane, calcari micritici grigi con selce scura (*Calcare di Soccher*): depositi di scarpata-bacino. *Micritic limestones and calcarenites in dm-thick beds, with abundant multicoloured silica nodules; grey-greenish and reddish nodular limestones, with red silica nodules and ammonites; light brown-grey micritic limestones with conchoidal fracture and dark grey or whitish silica nodules; bioclastic calcirudites, coarse grained calcarenites, grey micritic limestones with dark grey silica nodules; slope-basinal deposits. Giurassico sup. - Cretaceo inf.*

16a

Calcarei massicci di scogliera ricchi di faune. Talora, alla sommità, tasche bauxitiche (*Calcarei di Polcenigo, Calcarei ad Elipsactinie*): depositi di scogliera. *Massive limestones rich in fossils; sometimes, at the top, bauxites in lenses occur; bioconstructed carbonate platform deposits. Giurassico sup.*

15c

Calcarei oolitico-bioclastici in strati da dm a m, alternati a calcari micritici a lamellibranchi pelagici con rari noduli di selce alla base (*Calcare del Vajont*); torbiditi oolitiche di scarpata. *Oolitic-bioclastic limestones in dm-to m-thick beds, alternating with pelagic bivalves micritic limestones with rare silica nodules at the base of the unit; oolitic calcareous turbidites deposited in a slope setting. Giurassico medio.*



15b a	Calcarei micritici nerastri in strati dm, rari livelli marnosi cm, frequenti <i>slumps</i> (a: <i>Calcare di Chiampomano</i> ); calcari e dolomie grigio scuri, con selce e livelli marnosi cm; breccie dolomitiche alla base o in corpi irregolari all'interno (Fm. di <i>Soverzene</i> ); encriniti rossastre ( <i>encrinite di Faries</i> , <i>encr. del M. Varzegnis</i> ); calcari micritici e marnosi varicolori, nodulari, in strati dm con selce scura ed interstrati cm pellici bruno-verdastri (Fm. di <i>Igne</i> ); depositi di bacino. <i>Blackish micritic limestones in dm-thick beds, (a) with frequent slump structures; dark grey limestones and dolostones with silica nodules and marly layers; dolomitic breccias at the base or laterally discordant within the sequence; micritic and marly, nodular, varicoloured limestones in dm-thick beds, with dark grey silica nodules and cm-thick marly brownish-greenish interbeds: basinal deposits. Triassico sup. p.p.(?) - Giurassico inf.</i>
15a	Calcarei micritici grigi alternati a calcari stromatolitici, in strati dm organizzati in cicli peritidali; calcari oolitici biancastri e calcari a oncoidi ( <i>Calcarei Grigi del Friuli</i> , <i>Calcare di Stolaz</i> , <i>Calcare a Grinoldi</i> ); depositi di piattaforma e di margine. <i>Grey micritic limestones alternating with stromatolitic limestones, in dm-thick shallowing upward beds; whitish oolitic and oncoidal limestones: shallow water carbonate platform and margin platform deposits. Giurassico inf.</i>
14	Calcarei micritici grigio chiari a megalodontidi in strati m alternati a calcari stromatolitici in strati dm, organizzati in cicli peritidali ( <i>Calcare del Dachstein</i> ); depositi di piattaforma. <i>Light grey micritic limestones Megalodont-bearing in m-thick beds, alternating with dm-thick stromatolitic limestones, showing shallowing upward polarity: carbonate platform, tidal flat deposits. Triassico sup.</i>
13c a	Dolomie chiare, in strati m e dolomie stromatolitiche in strati dm organizzate in cicli peritidali ( <i>Dolomia Principale</i> ); localmente, al tetto, breccie dolomitiche; intercalazioni di dolomie laminate scure, ricche in sostanza organica, in strati dm (a: <i>Laminiti di no Resartico</i> ); depositi di piattaforma. <i>Light grey dolostones in m-thick beds alternating with dm-thick stromatolitic dolostones, showing shallowing upward polarity; locally, at the top of the unit, dolomitic breccias; (a) intercalations of dm-thick beds of laminated dark grey dolostones, rich in organic matter: platform, tidal flat deposits. Triassico sup.</i>
13b	Dolomie grigio scure fittamente stratificate e laminate, selcifere alla base, con livelli pellici bituminosi ( <i>Dolomia di Forni</i> ); depositi di bacino intrapiattaforma. <i>Dark grey, thinly laminated dolomitic limestones and dolarenites, siliceous at the base, with organic-rich marly layers: slope and intraplatform basin deposits. Triassico sup.</i>
13a	Dolomie grigie da massicce a stratificate dm, con intercalazioni marnose (Fm. di <i>Monticello</i> ); depositi di rampa carbonatica. <i>Massive and well-stratified grey dolostones with marly intercalations: carbonate ramp deposits. Triassico sup.</i>
12c	Dolomie e calcari scuri ricchi di fossili ( <i>Calcare del Predil</i> ), calcari e marne (Fm. di <i>Rio del Lago</i> ), calcari dolomitici ( <i>Calcare di Rio Conzen</i> ) e dolomie grigie (Fm. di <i>Tor</i> ); globalmente Fm. di <i>Raib</i> ; depositi di rampa di piattaforma carbonatica. <i>Dark grey dolostones and fossiliferous limestones; limestones and marls and grey dolostones: carbonate ramp deposits. Triassico sup.</i>
12b	Dolomie marnose grigie, dolomie chiare vacuolari e livelli marnosi cm ( <i>"dolomie cariate"</i> ); breccie dolomitiche, in alternanze dm-m; gessi saccaroidi, bianchi, grigi e rosati, con impurità argillose, spesso in lamine mm-ritmiche; depositi di laguna evaporitica. <i>Grey marly dolostones, light grey vacuolar dolostones with cm-thick marly layers; dolomitic breccias alternating at the dm-m scale; grey and pink-coloured saccharoid gypsum, rich in clayey impurities, often in mm-thick rhythmic laminae: evaporitic lagoon deposits. Triassico sup.</i>



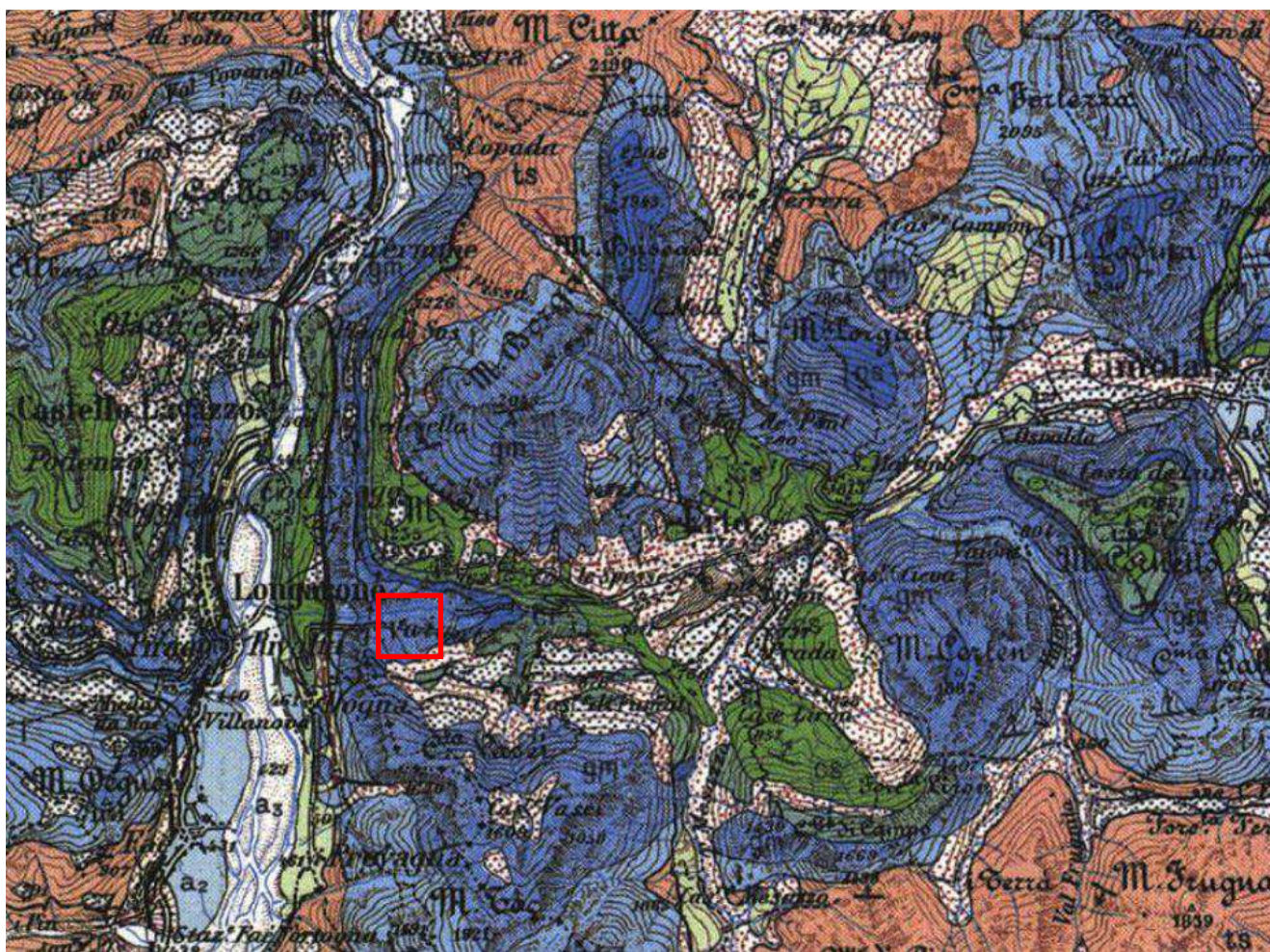
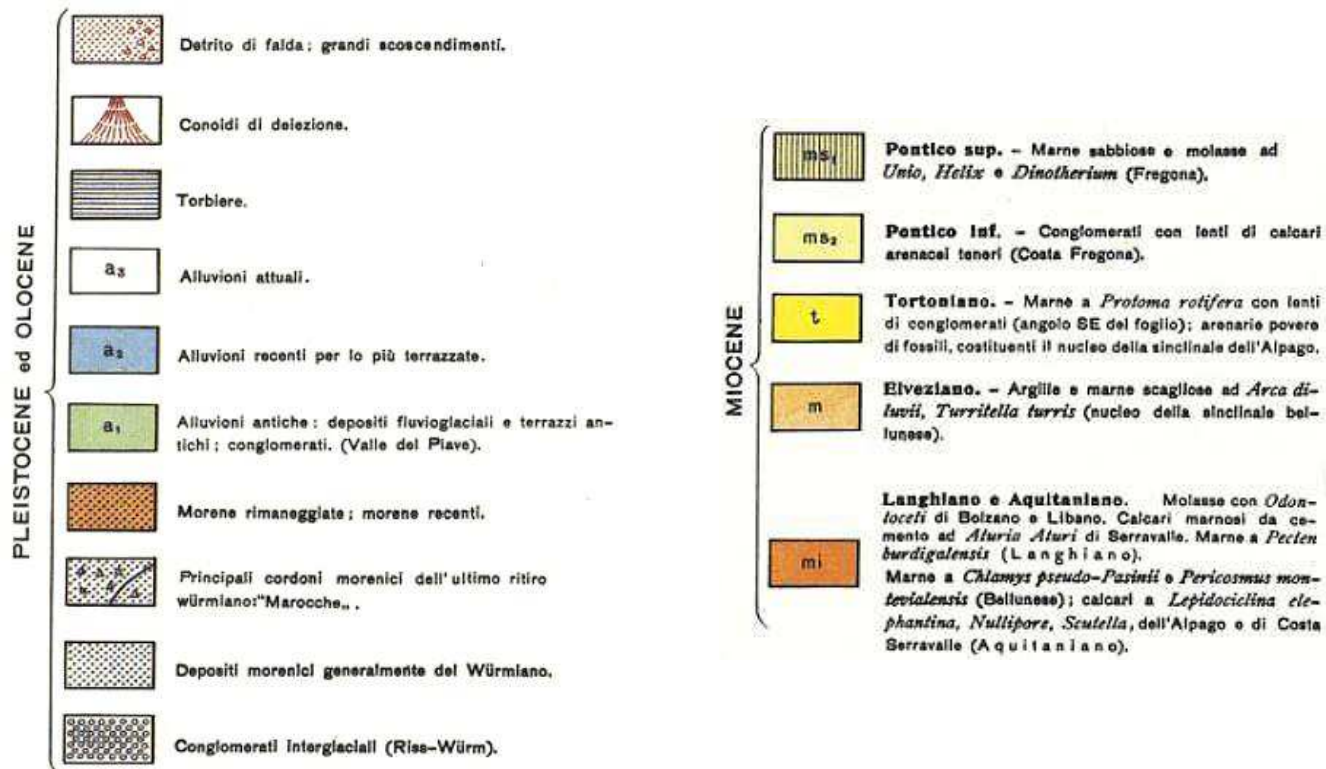



Figura 4: Estratto della Carta geologica d'Italia 1:100 000 (Foglio 23 - Belluno) con riquadrata l'area di intervento. Segue legenda

















EOCENE ed OLIGOCENE		<b>Cattiano.</b> - Bancone di glauconia a <i>Chlamys deleta</i> , <i>Chl. pseudo-Pasini</i> , <i>Meretrix incrassata</i> , <i>Turritella</i> . (Bellunese). Marne glauconiose fossilifere dell'Alpago e di Serravalle (Marèn).
		<b>Rupeliano e Lattorfiano.</b> - Marne ed argille cenere sterili (Vallone bellunese).
		<b>Oligocene ed Eocene</b> in generale (Cattiano escluso) a facies di Flysch; calcari e marne argillose ad <i>Orbitoidi</i> e <i>Nummuliti</i> dell'Eocene inferiore (Cansiglio) (ei).
		<b>Luteziano sup.</b> - Calcarei brecciati con <i>Numm. atacica</i> , <i>Ortoframmine</i> ; trasgressivi sul Flysch inf. (M. S. Pietro in Tuba, Salce, Mel).

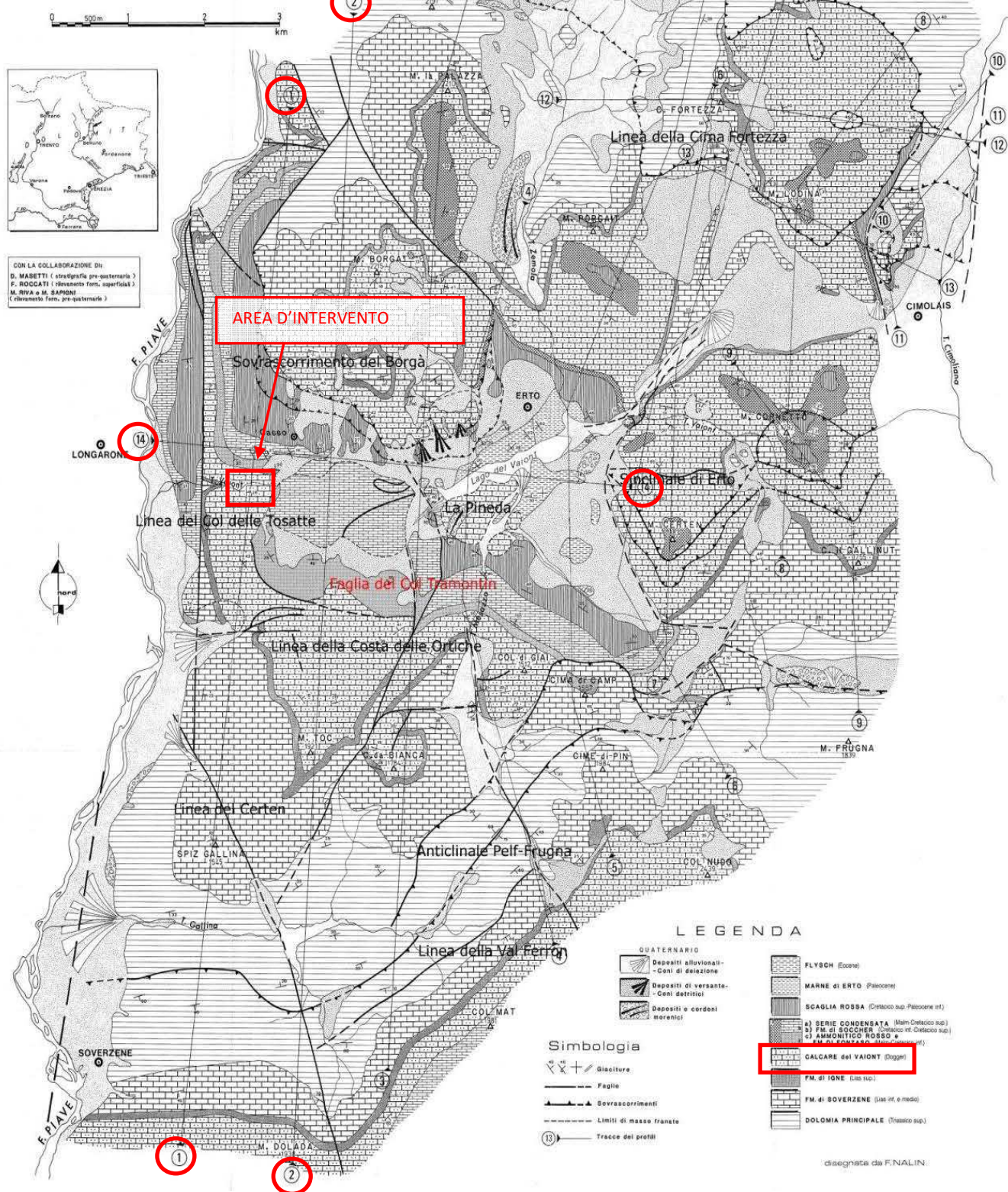
TRIAS SUP.	RETICO		Calcarei selciferi grigi o giallastri - Retico ? (Zona di M. Tolvena).
			<b>Retico e Norico.</b> - Dolomia scura talvolta carlata a <i>Terebratula gregaria</i> , del Retico. Dolomia saccaroide bianca a <i>Worthenia solitaria</i> (Dolomia principale del Norico).
	CARNICO		<b>Rabbiiano.</b> - Calcarei marnosi, arenarie, argille spesso fossiliferi ( <i>Myoph. Kefersteini</i> ).
			<b>Strati di S. Cassiano.</b> - Calcarei, marne e arenarie tufacee superiori, spesso fossilifere.
	LADINICO		<b>Strati di S. Cassiano inferiori e Strati di La Valle.</b> - Marne ed arenarie tufacee inferiori; conglomerati tufacei.
			Porfiriti augitiche e plagioclasiche.
			Dolomie ladino-carniche.
			<b>Strati di Livinallongo.</b> - Calcarei marnosi e bituminosi; calcari nodulosi e selciferi, «pietra verde».
	ANISICO		Dolomia anisica.
			Calcarei marnosi e bituminosi, conglomerati dell'Anisico inf.

CRETACEO		<b>Cretaceo sup. Senoniano.</b> - Marne scagliose rosse (Scaglia) a <i>Taonurus</i> ; calcari lastriformi rossi a <i>Stenonia</i> (M. Brandòl); marne cineree e biancastre ad intercalazioni calcaree (angolo SE del foglio).
		<b>Cretaceo medio.</b> - Calcarei saccaroidi a facies di scogliera con rudiste e caprinidi (Senoniano inf. - Turoniano); calcari bituminosi del Cenomaniano. Calcarei verdastri più o meno marnosi.
		<b>Cretaceo inf.</b> - Calcarei scagliosi o lastriformi, bianchi con intercalazioni selciose (Biancone).
		<b>Malm.</b> - Calcarei bianchi e rossi, mandorlati, lastriformi a <i>Phyl. pychoicum</i> (Titonico bianco e rosso). Calcare incarnato ad <i>Asp. acanthicum</i> ; calcari biancastri lastriformi, con livelli selciosi, a facies di biancone (parte meridionale del foglio e dintorni di Longarone).
		<b>Dogger.</b> - Calcarei generalmente oolitici, massicci, solo localmente calcari compatti.
GIURALIAS		<b>Lias.</b> - Calcarei marnosi rossastri ammonitiferi (T o a r c i a n o); calcari grigi e giallastri in grossi banchi a frequenti zonature oolitiche, colla tipica fauna a <i>Brachiopodi</i> delle Tranze di Sospirolo; calcari e dolomie grigiastri, talora selciferi, più o meno finemente stratificati, con intercalazioni marnose (Valle del Maè).
		Dolomia cristallina, talvolta minutamente oolitica del Lias inf. (M. Durone, M. Peròn-M. Nusieda).

	Miniere attive.
	Miniere abbandonate.
	Giacimenti fossiliferi principali.
	Direzione ed inclinazione degli strati.
	Strati verticali o quasi;  strati contorti.
	Strati orizzontali;  strati rovesciati.
	Fratture e pieghe-faglie principali.
	Pieghe-faglie inverse con scorrimenti.
	Fratture e pieghe-faglie mascherate da copertura quaternaria o non ben definite.
	Trasgressioni eoceniche (M. S. Pietro in Tuba, Salce, pendici meridionali del Cansiglio).

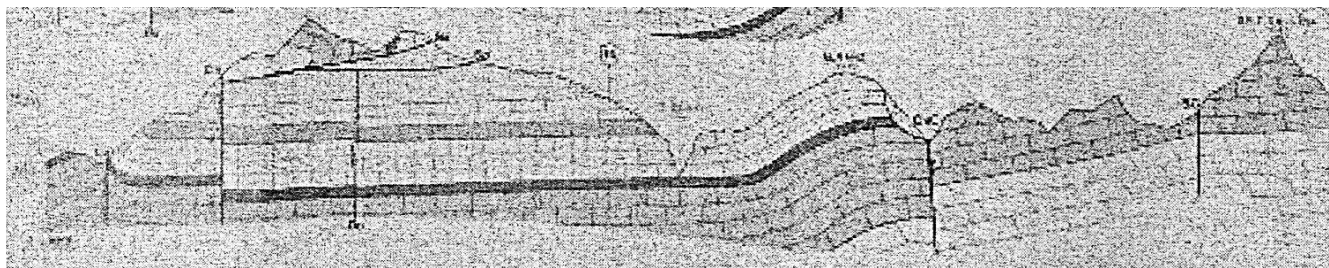


TAV. 2 M. BESIO - E. SEMENZA  
**CARTA GEOLOGICA**  
**DELLE VALLI VAJONT E GALLINA**  
**( Dolomiti Orientali )**

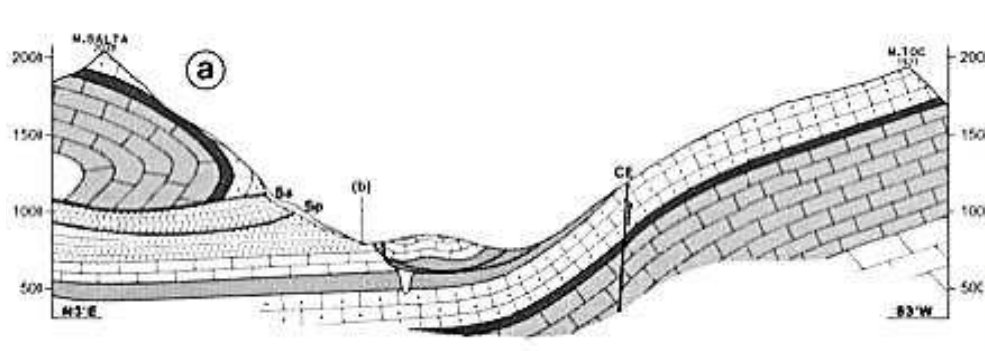


**Figura 5:** Carta geologica-strutturale delle Valli Vajont e Gallina (M.Besio, E. Semenza). Sono anche indicati i principali lineamenti dell'area. Seguono le sezioni geologiche dell'area di interesse (cerchiate in rosso).

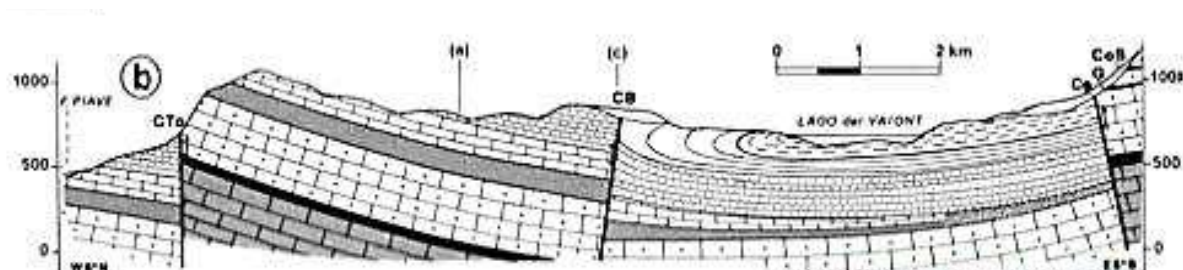




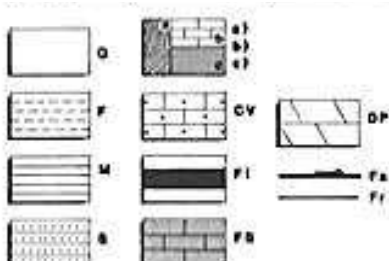
## SEZIONE 1-1



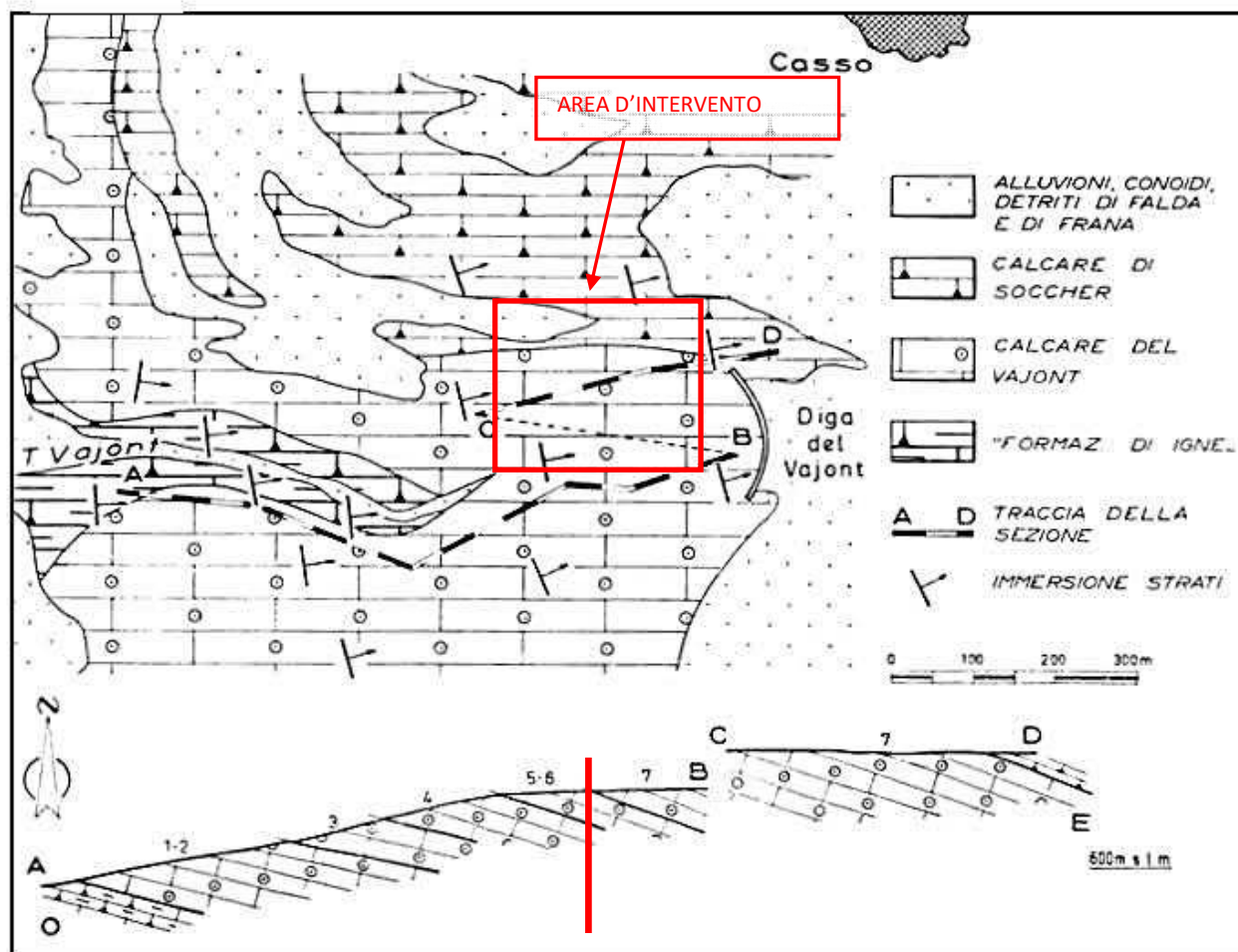
## SEZIONE 2-2



## SEZIONE 14-14

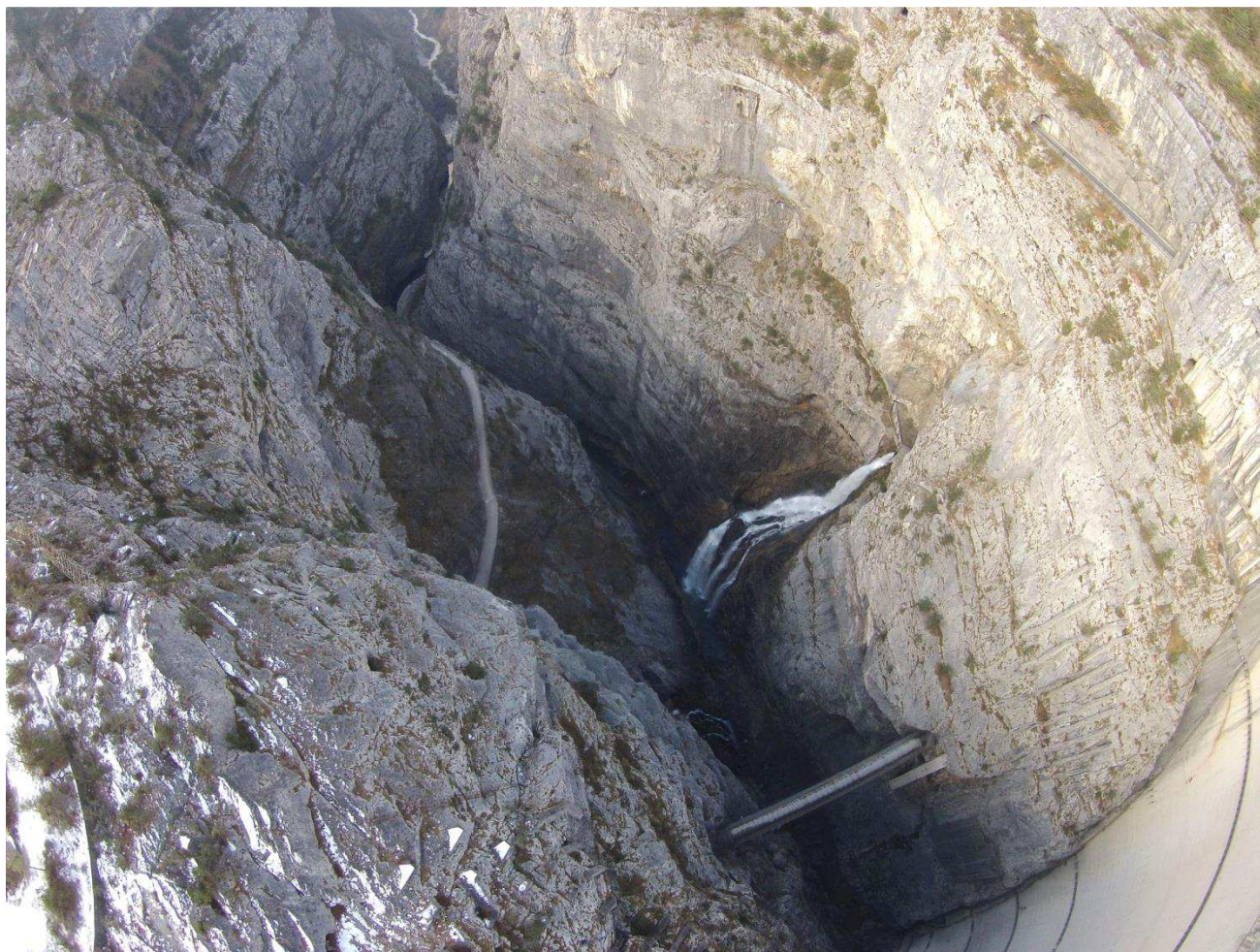


## LEGENDA



**Figura 6:** Carta geologica della zona dove è stata rilevata la sezione del Vajont (SERVIZIO GEOLOGICO - CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE - COMMISSIONE ITALIANA DI STRATIGRAFIA). In linea rossa è stata riportata la sezione di progetto





**Foto 1:** La Valle del Vajont da una foto aerea scattata con drone nel tratto a valle del corpo diga (visibile in basso a destra). Si vedono il ponte tubo e lo scarico della galleria di sorpasso che dal "lago residuo C" fa transitare la portata a valle della diga sulla forra del torrente Vajont - in destra idrografica.





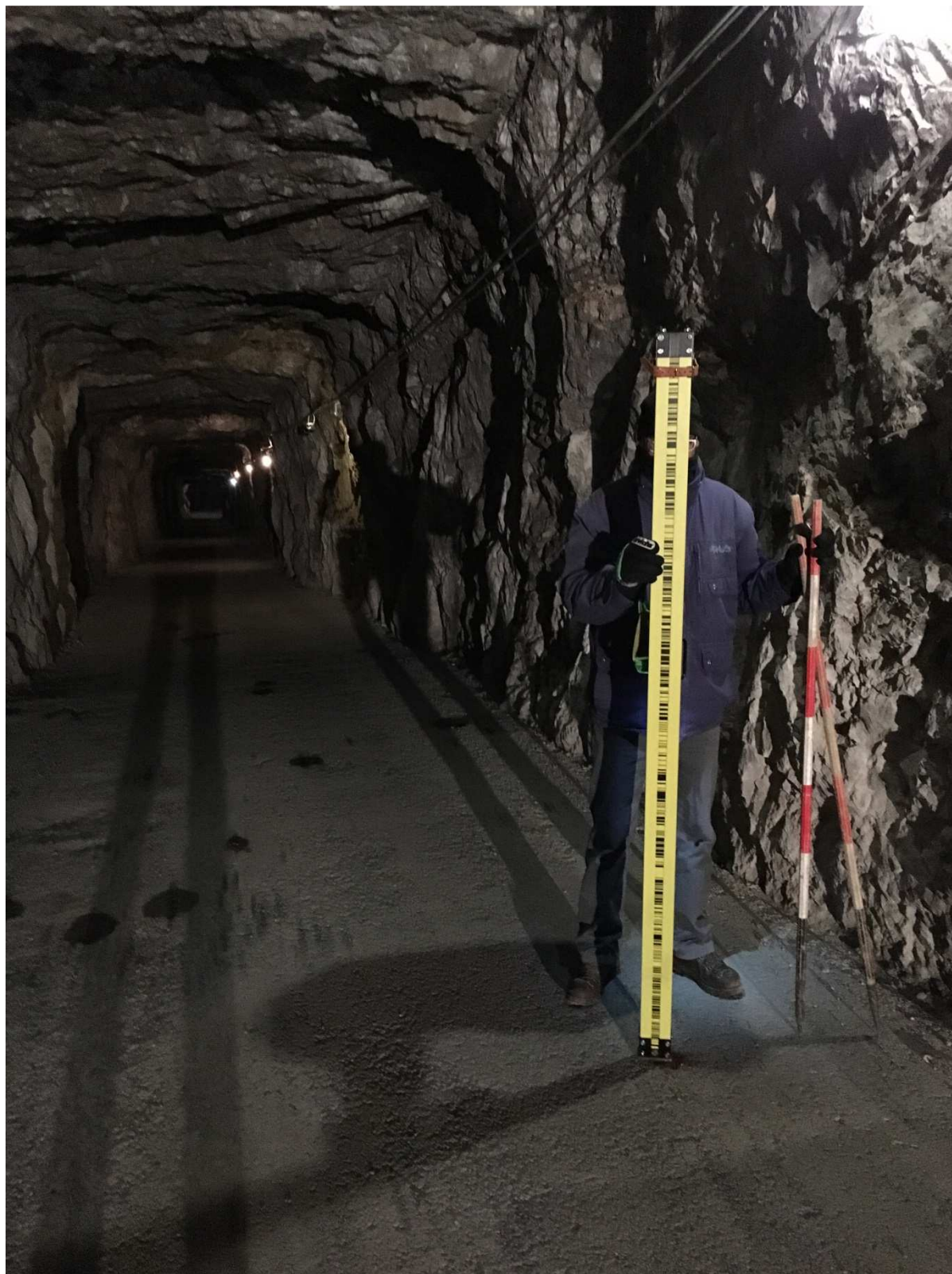
**Foto 2:** Primo piano dello scarico della galleria di sorpasso che scarica l'acqua dal "lago residuo C" - portata naturale del torrente Vajont. Si notano i potenti spessori di roccia del calcare del Vajont.





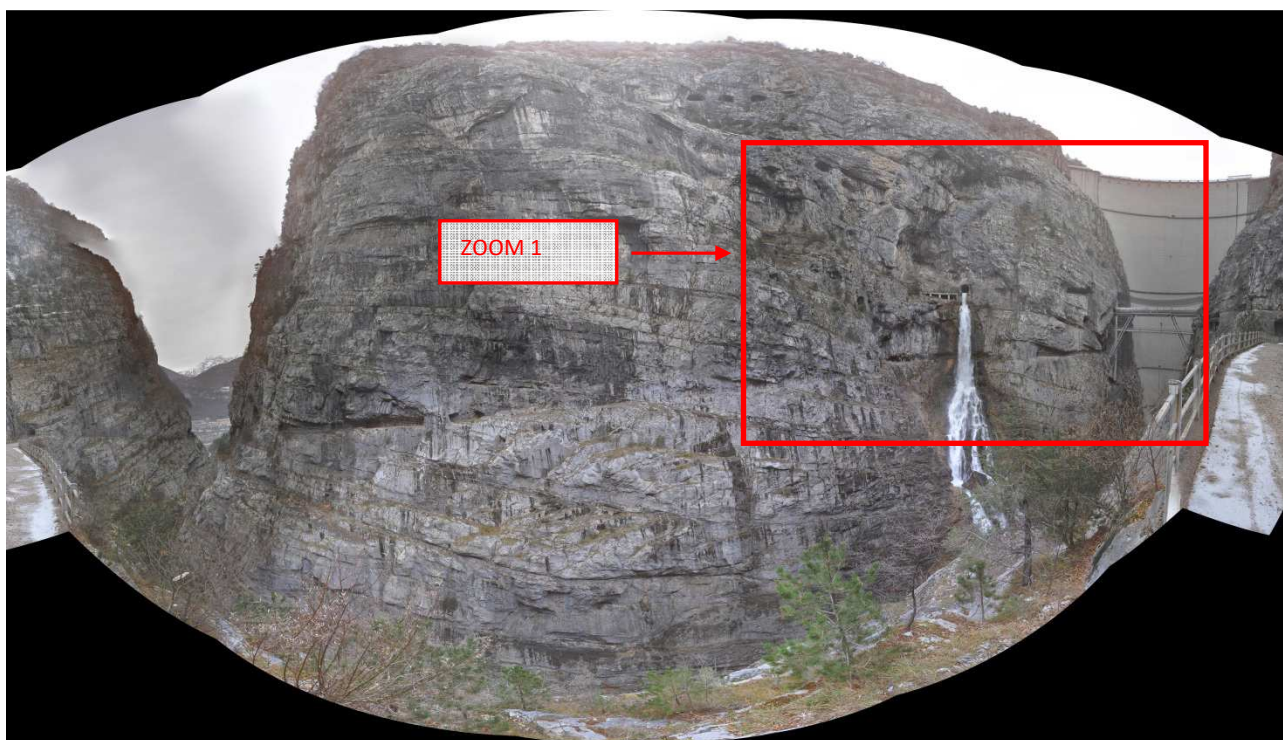
**Foto 3:** La valle del Vajont nel tratto di interesse fotografata dalla pista di servizio esistente in destra idrografica. La foto testimonia la presenza degli strati massicci del calcare del Vajont fino alla base del torrente, ove si ritrovano i materiali alluvionali.



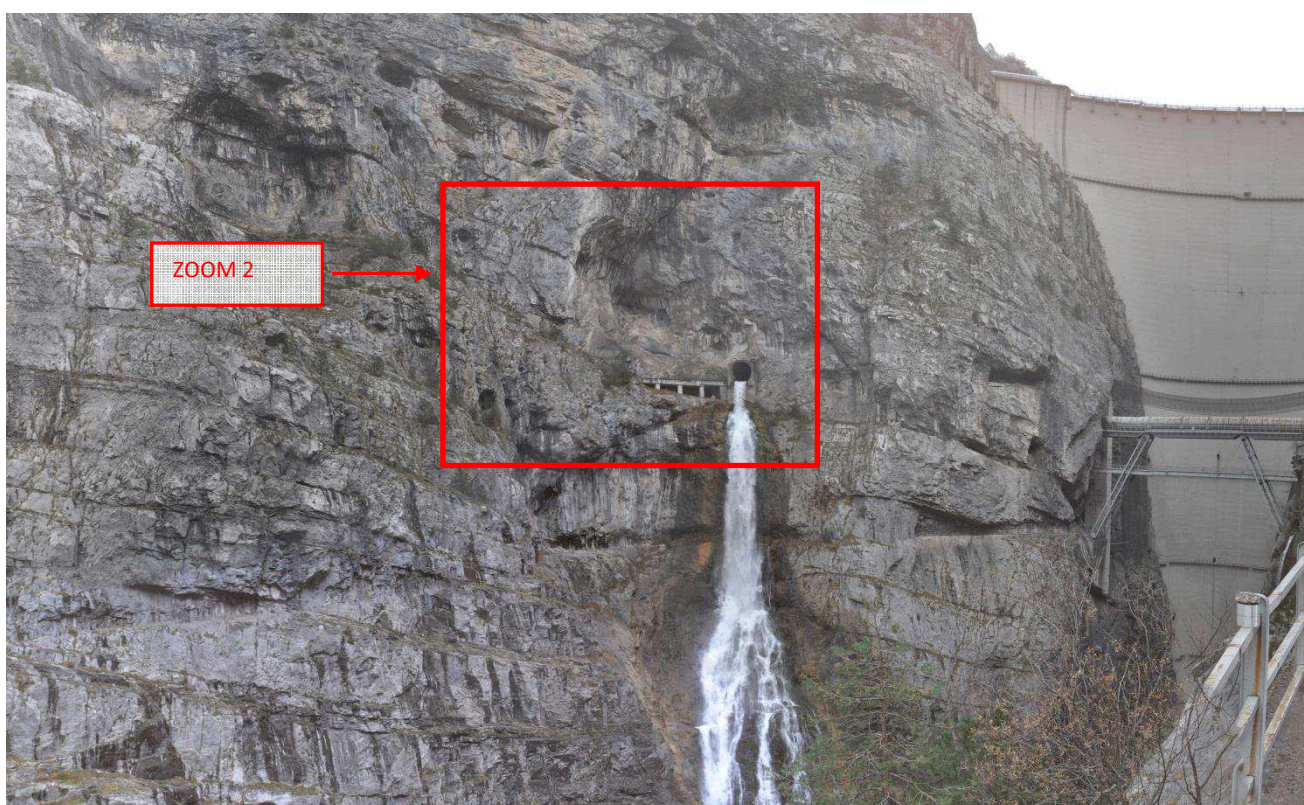


**Foto 4:** La galleria ENEL di accesso all'area di interesse per l'opera di presa, ovvero alla galleria di sorpasso esistente. Come si può notare il cavo in roccia è autoportante e non sono state rilevate venute d'acqua dalle pareti, né stillicidi dal tetto.





**Foto 5:** Immagine ottenuta dal rilievo laser scanner del prospetto della parete rocciosa della forra del Vajont interessata dalle opere. Sono state anche inserite le sezioni di monte e di valle della forra del torrente Vajont.



**Foto 6:** ZOOM1: particolare della parete rocciosa all'altezza della sezione finale della galleria di sorpasso.





**Foto 7:** ZOOM 2: ulteriore particolare della parete di roccia circostante la sezione di scarico della galleria di sorpasso. Si nota la nicchia di distacco esistente, entro la quale non si riscontrano ulteriori blocchi o cunei di roccia mobilizzabili.

### 3. Analisi strutturale della zona

Dal punto di vista strutturale nella zona si possono riconoscere due pieghe principali entrambe con asse orientato in direzione E-W: l'anticlinale Pelf-Frugna, con un asse che corre lungo la Val Gallina e attraversa l'alta valle del Vajont il cui nucleo è costituito da Dolomia Principale; la sinclinale di Erto, riconoscibile nella conca di Erto con al nucleo la formazione del Flysch. Il fianco meridionale di tale sinclinale asimmetrica, lungo il cui asse si è impostata la valle del Vajont, costituisce il fianco settentrionale del Monte Toc, da cui si è staccata la frana.

Queste due pieghe, dopo il loro individuarsi, sono state deformate da pieghe minori, come quelle visibili nei monti Porgait e Cornetto e tagliate da numerose dislocazioni importanti, sia longitudinali, sia trasversali o oblique, che sembrano imputabili a un forte aumento delle spinte compressive, e a un fenomeno di torsione collegato alla "Giunzione Cadorina".

Tra le dislocazioni longitudinali, le più importanti sono quelle che tagliano il fianco settentrionale della Sinclinale di Erto (SE). Si tratta di due sovrascorrimenti vergenti a SW, che attraversano la

parte più settentrionale della Val Zemola e il sottogruppo C. Centenere - M. Lodina: la Linea del Duranno (Du) e la Linea della Cima Fortezza e Sasso del Mezzodì (FM).

Un'altra dislocazione longitudinale importante è la Linea della Val Ferron (Fr), vergente a nord. Si tratta di un retro-scorrimento collegato alla Linea di Belluno (B). A nord della Linea del Ferron si trova una vicariante meno inclinata, la Linea della Cima Camp (CC), che però è molto meno estesa in lunghezza. In Val Gallina vi è, affiancata alla Linea della Val Ferron e a essa subparallela, la Linea del Pian Salet (PS), che sembra troncata da due dislocazioni ad andamento NW-SE: la Linea dello Spiz Gallina (SG) e la Linea della Val Mesazzo (M).

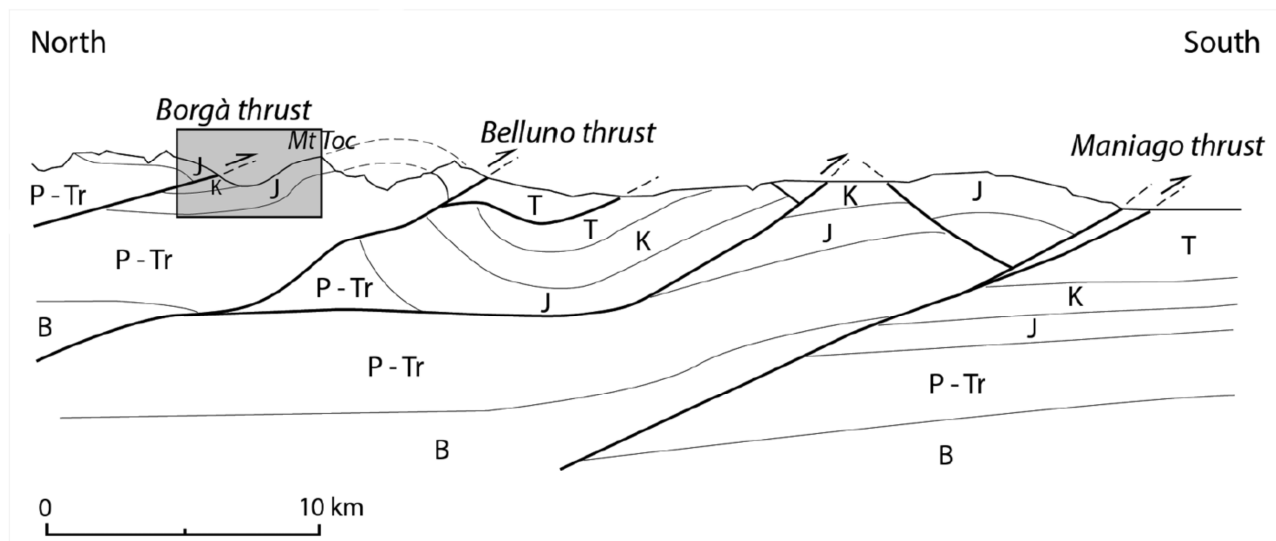
Tra le dislocazioni di direzione NS, trasversali, la più importante è la Linea del Col delle Tosatte (CTo) che costituisce il margine orientale della fossa tettonica di Longarone.

Vi è poi un certo numero di faglie subverticali di andamento obliquo rispetto alle longitudinali, con andamento variabile. Tra queste va citata la Linea dello Spiz Gallina (SG), la Linea della Val Mesazzo (M), la Linea della Croda Bianca (CB), la Linea del Tramontin (CTr), la Linea del Certen (Ce) e altre di importanza minore.

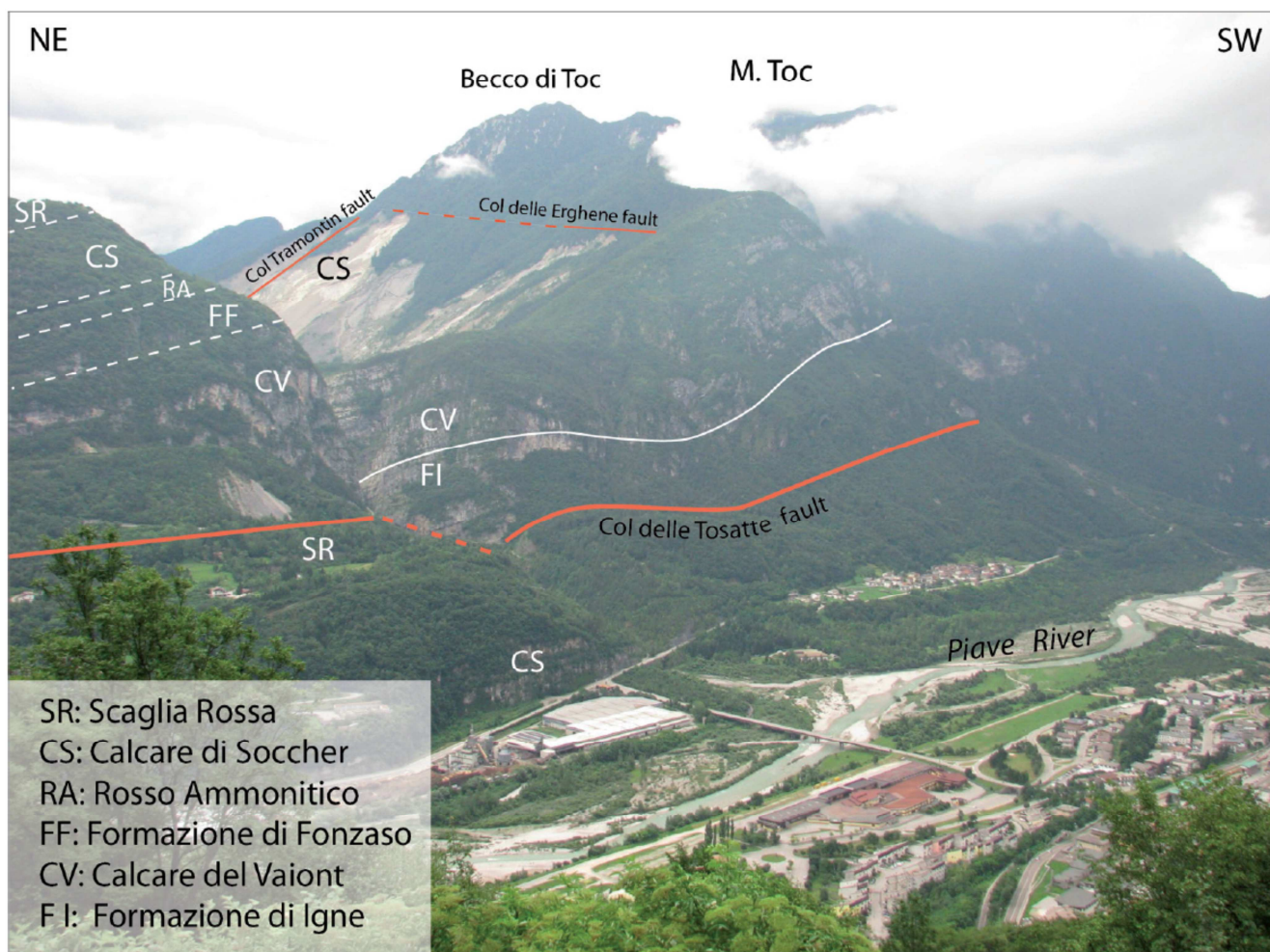
Il lembo del Borgà è limitato a est, sud e ovest dalla linea del Monte Salta (Sa), che separa i terreni giurassici del lembo stesso dalla Scaglia Rossa sottostante; pressoché parallela a essa corre poi la Linea delle Spesse (Sp), poco evidente, la quale rimane immersa nella Scaglia Rossa per quasi tutto il suo percorso e soltanto per breve tratto separa questa formazione dalle Marne di Erto. L'elemento tettonico compreso tra queste due linee è stato interpretato come un cuneo di Scaglia Rossa rovesciata, distaccatosi dal tetto della serie che veniva sovrascorsa dal grande lembo del Borgà, e spinto avanti durante il moto di questo. Allo stesso movimento dovrebbe essere imputato anche il ripiegamento e il rovesciamento delle formazioni terziarie che si immergono al di sotto del lembo del Borgà nella zona tra Erto e Casso.

In termini morfologici la valle è di origine glaciale: dopo l'ultima glaciazione l'azione erosiva glaciale venne sovrainpressa dalla successiva erosione torrentizia, che incise il profondo profilo a "V" attuale, geometricamente favorevole per la ubicazione di una diga di sbarramento.

La morfologia della Valle del Vajont ha subito notevoli trasformazioni legate al distacco della frana dal Monte Toc, che ha cambiato profondamente sia l'aspetto morfologico sia quello idrogeologico, ostruendo il corso del torrente, che attualmente è deviato in una galleria di sorpasso scavata nel fianco destro della valle. La scarpata della frana è composta dalla Formazione di Fonzaso e, a monte, dal Calcare del Vajont. La massa scivolata è in gran parte composta dai Calcari di Soccher.



**Figura 7:** Sezione strutturale N-S con indicate le principali lineazioni tettoniche dell'area della Val Vajont e del più ampio contesto territoriale (M. GHIROTTI, D. MASETTI, M. MASSIRONI, E. ODDONE, M. SAPIGNI, D. ZAMPIERI & A. WOLTER - International Conference Vajont 1963-2013. Thoughts and analyses after 50 years since the catastrophic landslide). Nel rettangolo è indicata la sinclinale di Erto.



**Figura 8:** Foto panoramica della sinistra Piave all'uscita della Val Vajont, con indicati i limiti delle Formazioni geologiche presenti in situ e la Linea del Col delle Tosatte (foto di D. Zampieri).



## 4. Idrogeologia

La valle del Vajont prende il nome dall'omonimo torrente, tributario del fiume Piave. Il torrente Vajont nasce ai piedi del Col Nudo e, ricevute le acque della Val Zemola e della Val Mesaz, si è creato una via di uscita dalle montagne friulane incidendo una forra, soprattutto nella parte finale, nell'omonima litologia carbonatica: il Calcare del Vajont (Figura 9). Si rimanda all'allegata Relazione idrologica (ELABORATO B) in merito all'analisi delle portate del corso d'acqua nel tratto di interesse per il progetto.

Il calcare del Vajont è una formazione del Giurassico medio, deposta in ambiente torbido di scarpata e costituita da calcari oolitico-bioclastici in banchi gradati, di potenza compresa tra 0,30 e 2 m con laminazioni piano-parallele alternati a calcari micritici a microfaune pelagiche con rari noduli di selce. Sopra poggia una serie di scarpata di piattaforma e di bacino del Giurassico sup. - Cretacico inf.: la Formazione di Fonzaso costituita da calcari micritici e calcareniti in strati decimetrici con abbondante selce policroma e argilliti; la Formazione del Rosso Ammonitico con calcari nodulari da grigio verdi a rossastri, selce rossa e Ammoniti; la Formazione del Biancone con calcari micritici nocciola con selce grigio scura o biancastra; la Formazione del Calcare di Soccher costituita da calciruditi bioclastiche, calcareniti grossolane e calcari con selce scura. A seguire, dal Cretacico inf. all'Eocene, si è deposta una serie bacinale, la Scaglia Rossa, a marne e calcari marnosi debolmente nodulari a stratificazione centimetrica decimetrica ed infine il Flysch.

Analizzate le caratteristiche litologiche delle unità cronostratigrafiche presenti in zona, si ricava dall'alto al basso la seguente serie idrogeologica:

- 1) unità a permeabilità primaria, che include i depositi quaternari. La permeabilità maggiore si riscontra nelle alluvioni e nel detrito di falda, in particolare nei termini più grossolani. Le alluvioni si rinvengono prevalentemente sulla sinistra orografica del fiume Piave, mentre il detrito di versante è presente in Val Mesazzo e a nord del Monte Toc;
- 2) unità a permeabilità secondaria, che include la Scaglia Rossa, il calcare di Soccher e il Rosso Ammonitico. Nella zona presa in esame tale unità la ritroviamo lungo il corso del Piave e nella parte bassa del torrente Mesazzo. Il substrato impermeabile è costituito dalla Formazione di Fonzaso, composta da calcari marnosi e siltosi con selci nere, ed è situato lungo la nicchia di distacco della frana del Vajont e nella bassa Val Mesazzo;
- 3) unità a permeabilità secondaria, a circolazione carsica costituita dai calcari del Vajont. Tale unità è interessata da un processo carsico notevolmente sviluppato, evidenziato dalle doline situate sul monte Toc e dalle grotte localizzate sulla Croda Bianca, in Val Mesazzo. Il substrato impermeabile è costituito dalla Formazione di Igne (calcari marnosi chiari con abbondanti intercalazioni marnose-siltose giallastre);



- 4) unità a permeabilità secondaria, composta dai calcari liassici di Soverzene e dalla Dolomia Principale del Trias superiore, situati in Val Gallina e nell'alta Val Mesazzo. I Calcari di Soverzene sono intensamente fratturati, e la Dolomia Principale manifesta fenomeni di carsificazione lungo le superfici di strato.

A queste quattro unità si possono associare altrettante strutture acquifere. Le strutture della prima e della seconda unità sono di modesta estensione; le emergenze alimentate da queste falde hanno portate ridotte. Nella terza unità si riconosce una macrostruttura acquifera monoclinale a contatto sul lato sud con l'anticlinale della Val Gallina; le emergenze alimentate dalle suddette falde hanno anch'esse portate ridotte. La quarta unità è costituita prevalentemente dalla anticlinale stessa che prosegue in Val Mesazzo e in Val Ferron. È da sottolineare che le condizioni di fessurazione dei calcari di Soverzene determinano un'alta permeabilità, ma con probabile irregolarità di circolazione e di percorso sotterraneo delle acque, dovuta anche al riempimento delle fratture con materiali fini. Tali considerazioni sono avvalorate dalla presenza di un notevole numero di sorgenti, caratterizzate da portate modeste.

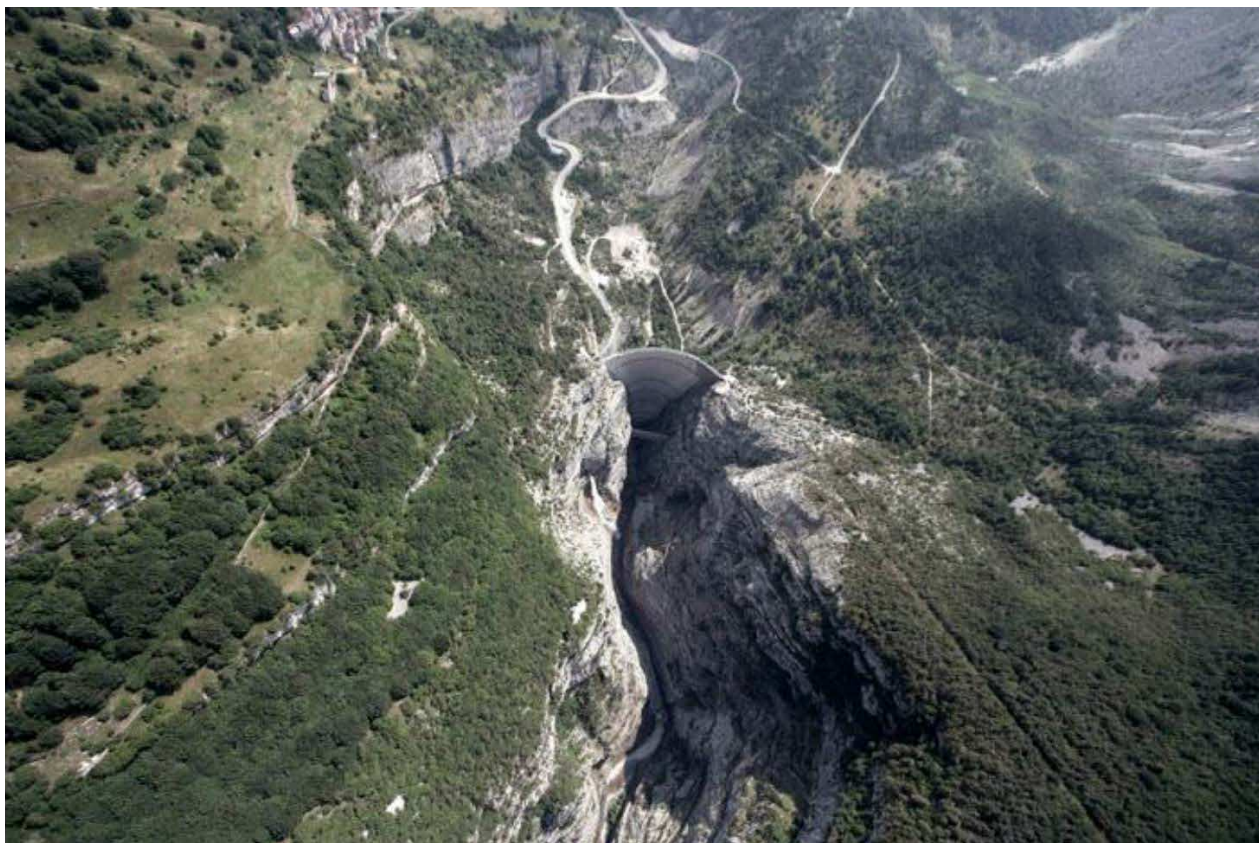
Complessivamente, nell'area del bacino del torrente Vajont compresa tra i comuni di Erto e Casso, di Longarone e di Soverzene, sono state censite 60 sorgenti, così suddivise (da Besio M. - 1986 – Cenni idrogeologici sul M. Toc e d'intorni – Atti del convegno Frana del Vajont del 1963):

n. 10 con portata compresa tra 1,0 e 10,0 l/s;

n. 25 con portata compresa tra 0,10 e 1,01 l/s;

n. 25 con portata compresa tra 0,01 e 0,10 l/s.

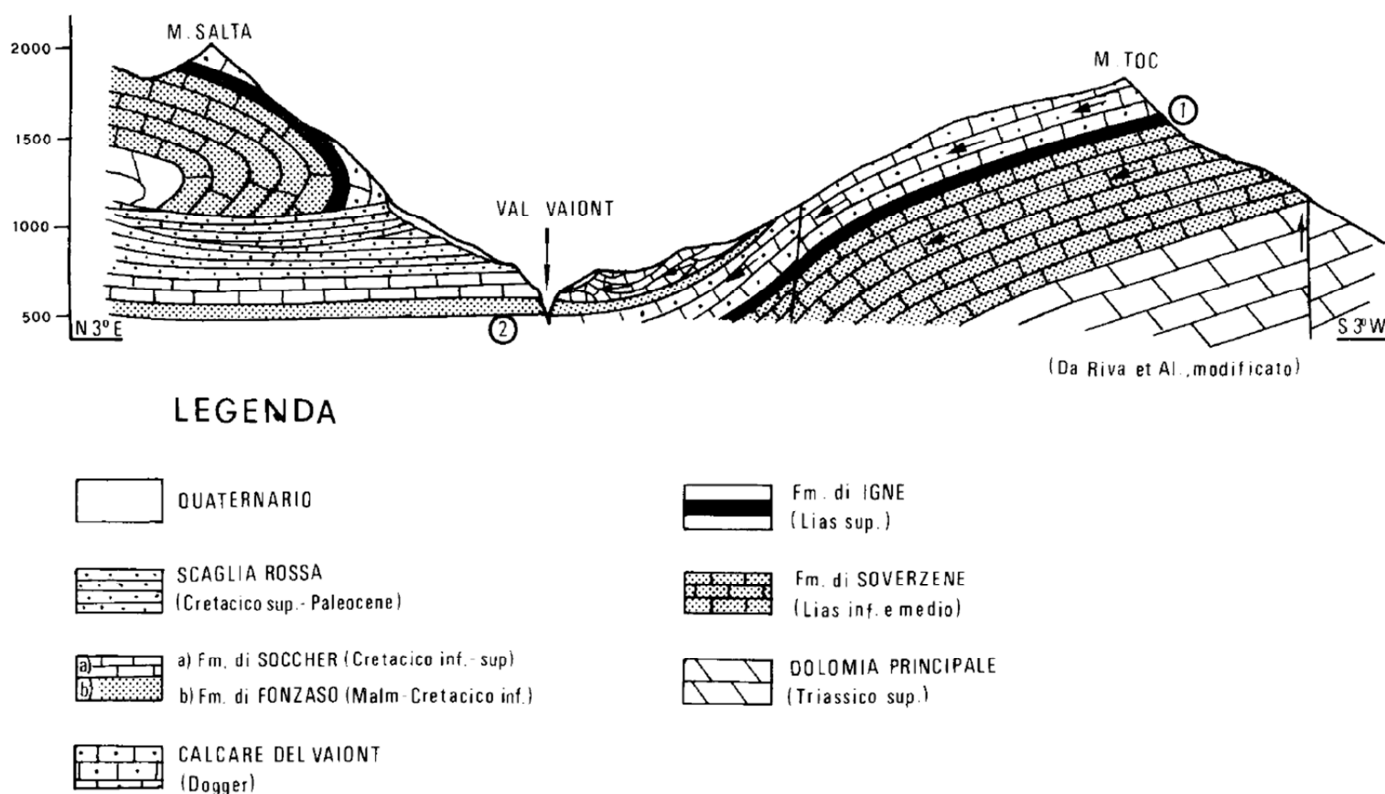
Di queste, 37 sono situate nella quarta unità idrogeologica e hanno una portata complessiva di 27,52 l/s, corrispondente a una portata annua di circa 870.000 m<sup>3</sup>; 5 sorgenti sono state individuate nella terza unità e hanno una portata complessiva di 0,77 l/s, corrispondente a una portata annua di circa 25 m<sup>3</sup>; 7 sorgenti sono situate nella seconda unità e hanno una portata complessiva di 5,55 l/s, a cui corrisponde una portata annua di circa 175.000 m<sup>3</sup>; 8 sorgenti sono state individuate nella prima unità e hanno una portata complessiva di 1,37 l/s, corrispondenti a una portata annua di circa 45.000 m<sup>3</sup>.



**Figura 9:** Foto aerea della Val Vajont nei pressi della diga di sbarramento. Al centro la diga a arco.

Nel quadro dello studio idrogeologico dell'area in esame (da Besio M. - 1986 – Cenni idrogeologici sul M. Toc e d'intorni – Atti del convegno Frana del Vajont del 1963), è stata effettuata un'indagine sulle caratteristiche fisico-chimiche delle acque sorgive, analizzando in laboratorio alcuni campioni. Si sono ottenute le seguenti caratteristiche indicative:

- la temperatura dell'acqua oscilla tra gli 8° e i 10°C;
- il residuo fisso assume un valore medio di 0,134 g/l (acque oligominerali);
- la durezza varia tra gli 11° e i 15° F (acque dolci);
- il pH presenta un valore prossimo a 8, denotando una leggera alcalinità.



**Figura 10:** Sezione geologica della Val Vajont e schema dell'assetto idrogeologico del versante settentrionale del M.te Toc, con indicazione delle principali linee di flusso. Con 1 e 2 sono indicati i livelli da scarsamente permeabili ad impermeabili (da Riva et alii, modificato)

## 5. Modello geotecnico

Una volta caratterizzate le successioni litologiche esistenti lungo il fianco destro della Valle del Vajont, è possibile definire un modello geotecnico comprensivo di più unità litotecniche caratterizzate da una propria litologia e parametrizzazione geotecnica. È riportata la caratterizzazione geotecnica solo per quelle unità che saranno interessate direttamente dalle opere in progetto (scavo dei 2 pozzi verticali e cameroni per l'alloggiamento dell'opera di presa e della centrale idroelettrica).

I valori parametrici riportati sono desunti dalla letteratura specialistica in materia geotecnica consultata (Joseph E. Bowles, "Fondazioni, progetto ed analisi"; Mc Graw-Hill 1988 e Pietro Colombo e Francesco Colleselli "Elementi di geotecnica", Zanichelli; Aberto Bruschi, "Meccanica delle rocce", Flaccovio editore; F.Ippolito, N. Nicotera, P.Lucini, M.Civita, R.De Riso, "Geologia tecnica").

**SEZIONE POZZI VERTICALI (da quota 610 a quota 480 m s.l.m.)**

Si può assumere indicativamente il seguente modello:

C: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; H: Spessore dello strato; K: permeabilità

Unità geotecnica	C (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (kN/m <sup>3</sup> )	UCS (MPa)	H (m)	K (cm/s)	Descrizione litologica
1	9800 – 29000*	35 – 45*	23 – 25.5	100 - 180	370 (misurato sull'intera sezione della Valle)	Media per fessurazione e per carsismo (crescente)	Calcere oolitico massiccio o in strati di 1-4 metri di spessore con lenti e noduli silicizzati

**Tabella 1:** Schema geotecnico.

**CAMERONE DELLA PRESA (quota 606 m s.l.m)**

Si può assumere indicativamente il seguente modello:

C: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; H: Spessore dello strato; K: permeabilità

Unità geotecnica	C (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (kN/m <sup>3</sup> )	UCS (MPa)	H (m)	K (cm/s)	Descrizione litologica
1	9800 – 29000*	35 – 45*	23 – 25.5	100 - 180	370 (misurato sull'intera sezione della Valle)	Media per fessurazione e per carsismo (crescente)	Calcere oolitico massiccio o in strati di 1-4 metri di spessore con lenti e noduli silicizzati

**Tabella 2:** Schema geotecnico.

**CAMERONE DELLA CENTRALE (quota 482 m s.l.m)**

Si può assumere indicativamente il seguente modello:

C: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; H: Spessore dello strato; K: permeabilità

Unità geotecnica	C (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (kN/m <sup>3</sup> )	UCS (MPa)	H (m)	K (cm/s)	Descrizione litologica
1	9800 – 29000*	35 – 45*	23 – 25.5	100 - 180	370 (misurato sull'intera sezione della Valle)	Media per fessurazione e per carsismo (crescente)	Calcere oolitico massiccio o in strati di 1-4 metri di spessore con lenti e noduli silicizzati

**Tabella 3:** Schema geotecnico.

- A seconda dell'interessamento o meno di intercalazioni di calcare micritico i valori della coesione e dell'angolo di attrito variano.

## 6. Sismicità

Per quanto riguarda le azioni sismiche, le nuove Norme Tecniche NTC 2008 suggeriscono di ricavare i parametri sismici sulla base del posizionamento geografico della località, e non più in base alla sola zonizzazione.

Ecco allora, in sintesi, i coefficienti sismici e gli spettri di risposta identificati in corrispondenza del sito di interesse:

### Sito in esame.

latitudine: 46,2686392408557  
 longitudine: 12,3290099891587  
 Classe: 2  
 Vita nominale: 50

### Siti di riferimento

Sito 1	ID: 8974	Lat: 46,2787	Lon: 12,2626	Distanza: 5227,375
Sito 2	ID: 8975	Lat: 46,2794	Lon: 12,3347	Distanza: 1277,883
Sito 3	ID: 9197	Lat: 46,2294	Lon: 12,3357	Distanza: 4390,293
Sito 4	ID: 9196	Lat: 46,2287	Lon: 12,2637	Distanza: 6704,799

### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: A  
 Categoria topografica: T4  
 Periodo di riferimento: 50anni  
 Coefficiente cu: 1

#### Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %  
 Tr: 30 [anni]  
 ag: 0,053 g  
 Fo: 2,457  
 Tc\*: 0,236 [s]

#### Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %  
 Tr: 50 [anni]  
 ag: 0,070 g  
 Fo: 2,453  
 Tc\*: 0,259 [s]

#### Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %  
 Tr: 475 [anni]  
 ag: 0,201 g  
 Fo: 2,430  
 Tc\*: 0,328 [s]

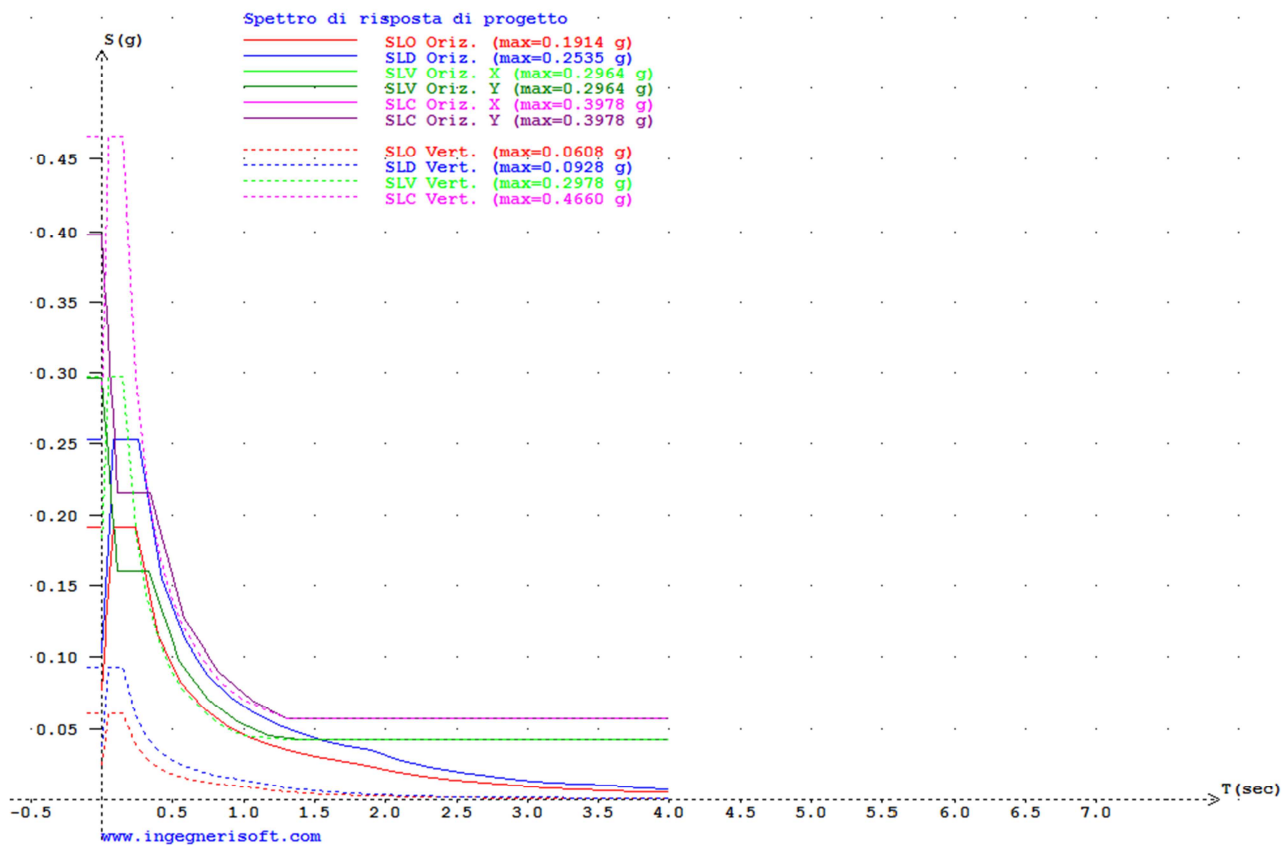
#### Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %  
 Tr: 975 [anni]  
 ag: 0,269 g  
 Fo: 2,460  
 Tc\*: 0,343 [s]

### Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,000  
 Cc: 1,000  
 St: 1,400  
 Kh: 0,015  
 Kv: 0,007  
 Amax: 0,731  
 Beta: 0,200  
 SLD:  
 Ss: 1,000  
 Cc: 1,000  
 St: 1,400  
 Kh: 0,020  
 Kv: 0,010  
 Amax: 0,963  
 Beta: 0,200  
 SLV:  
 Ss: 1,000  
 Cc: 1,000  
 St: 1,400  
 Kh: 0,085  
 Kv: 0,042  
 Amax: 2,765  
 Beta: 0,300  
 SLC:  
 Ss: 1,000  
 Cc: 1,000  
 St: 1,400  
 Kh: 0,113  
 Kv: 0,056  
 Amax: 3,693  
 Beta: 0,300



## 7. Considerazioni geotecniche sugli scavi da eseguire per la realizzazione dell'impianto idroelettrico

Come precedentemente descritto, sia l'opera di presa sia la centrale idroelettrica in progetto sono completamente realizzate in caverna, al fine di limitare gli impatti visivi e per un adeguato sfruttamento della risorsa idrica.

Le operazioni di scavo saranno le seguenti:

- **scavo per la realizzazione dell'opera di presa in caverna**

andrà a innestarsi alla galleria di sorpasso nella quale transita la portata scaricata dal "lago residuo C" da intercettare. Lo scavo si effettuerà procedendo con uno svaso a partire dalle pareti della galleria esistente, per una profondità variabile dai 4 ai 7 metri e una lunghezza di circa 40 metri, fino a intercettare la sezione dello scarico della galleria di sorpasso del "lago residuo C". Vista l'impossibilità di utilizzare materiali esplosivi per non danneggiare le infrastrutture già esistenti, le operazioni di escavo per consentire la costruzione del manufatto dissabbiatore e dell'annesso locale, dove troverà posto il pozzo verticale di accesso alla centrale di produzione, verranno effettuate mediante l'utilizzo di SUPERWEDGE e martello idraulico demolitore.

Nel dettaglio le operazioni di scavo riguarderanno:

- I. la formazione della "rinora", a diametro 350-400 mm (perforazione centrale all'area di scavo per consentire il distacco dei successivi blocchi);
- II. la perforazione mediante Jumbo Elettroidraulico di fori diam. 76 mm con maglia 50 x 50 cm;
- III. lo scavo in avanzamento di circa 80 cm mediante inserimento di punta SUPERWEDGE nei fori precedentemente scavati e distacco di roccia per espansione;
- IV. l'eliminazione dei blocchi di roccia residui e disgreggio della parete di scavo mediante utilizzo di escavatore cingolato munito di martello idraulico;
- V. lo smarino con pala gommata e trasporto nell'ambito del cantiere. (la presente offerta non tiene conto del trasporto a destino del materiale di risulta).

Il volume di escavo è stato valutato in circa 3.700 m<sup>3</sup>.

Per la realizzazione dei manufatti in condizioni standard, lavorando mediamente 22 h/g per 6 gg/settimana, si prevede un avanzamento medio dello scavo di poco meno di 60 mc/g, per cui i tempi per la realizzazione dello scavo e per la sua messa in sicurezza sono stimabili in circa 70-80 giorni.

Il volume di risulta prodotto giornalmente risulterà molto esiguo,  $50\div60 \text{ m}^3$  ( $150\div160 \text{ tn/giorno}$ ), pertanto utilizzando per il trasporto al sito di stoccaggio veicoli con capacità massima di  $6-8 \text{ m}^3$  si prevedono  $8\div10$  viaggi al giorno di andata al sito di stoccaggio.

**E' auspicabile che il materiale di escavo, viste le sue ottime caratteristiche geomeccaniche, venga ceduto a qualche azienda che opera nel settore della lavorazione degli inerti.**

Le caratteristiche della roccia nella zona di intervento faranno sì che lo scavo in oggetto rientrerà nella Classe "I-II".

- **scavo per la realizzazione dei pozzi verticali di accesso alla centrale e di posa della condotta forzata**

Solo una volta terminata la formazione della caverna si potrà procedere alla realizzazione del pozzo verticale per la condotta forzata ( $D=1,52 \text{ m}$ ) e del pozzo di accesso alla centrale di produzione ( $D=5 \text{ m}$ ).

I due manufatti verranno realizzati con la tecnica del RAISE BORING,

Le lavorazioni previste riguarderanno:

- I. la preparazione della testa pozzo e la realizzazione dei basamenti in cls;
- II. il trasporto in postazione della RAISE BORING MACHINE e delle unità accessorie;
- III. l'interconnessione delle diverse unità e realizzazione degli allacciamenti;
- IV. la perforazione del Foro Pilota da  $\varnothing 11"$  (condotta forzata) e  $15"$  (pozzo di accesso alla centrale) con tricone bit a roto-distruzione. *Per garantire lo spurgo del foro pilota sarà necessario un quantitativo di acqua pari a  $600 \text{ lit/min}$ , in alternativa si potrà utilizzare aria compressa  $21.000 \text{ lit/min}$  a  $7 \text{ bar}$  con l'aggiunta di acqua  $30 \text{ lit/min}$  per il controllo delle polveri; la perforazione procederà fino al raggiungimento della galleria al livello sottostante. Per quanto concerne la tolleranza di esecuzione, statisticamente è ipotizzabile una precisione di esecuzione di circa lo  $1-2 \%$  della totale lunghezza del pozzo per le perforazioni verticali;*
- V. il trasporto in sito ed installazione della testa alesante;
- VI. l'alesaggio continuo al diametro richiesto mediante distruzione di nucleo procedendo dal basso verso l'alto; nelle perforazioni verticali lo smarino cadrà per gravità nella galleria sottostante e successivamente allontanato;
- VII. lo smontaggio e rimozione delle attrezzature di RAISE BORING, demolizione del blocco d'ancoraggio della macchina e recupero della testa alesante dal foro;
- VIII. il trasporti delle attrezzature impiegate.



Per la realizzazione dei due scavi in condizioni standard, ossia prevedendo di lavorare mediamente 22 h/g per 6 gg/settimana durante le fasi di foro pilota ed alesaggio e 11 h/g durante le altre fasi, si è stimata una durata indicativa di circa 200 giorni lavorativi.

- **scavo per la realizzazione della centrale di produzione**

La centrale di produzione, come anche la galleria di accesso, verrà realizzato con metodi di scavo tradizionali e con l'impiego di dinamite.

La centrale avrà dimensioni finite in pianta di 27,10 x 14 m e presenterà un soffitto a cupola caratterizzato da un'altezza massima di 10 m.

La galleria di accesso avrà sezione 4 x 4 m e sviluppo di circa 80 metri.

La centrale di produzione, come anche la galleria di accesso, verranno realizzate con metodi di scavo tradizionali, mediante uso di esplosivo a sezioni parzializzate: calotta, strozzo e piedritti, mentre le volate non dovranno superare i 2÷3 metri di lunghezza.

Il volume di escavo previsto è di circa 4.500 m<sup>3</sup>.

Le caratteristiche della roccia nella zona di intervento faranno sì che lo scavo in oggetto rientrerà nella Classe "I-II", ossia si dovrà operare in presenza di materiale caratterizzato da piccola fessurazione e fratturazione.

Per la realizzazione della centrale si prevede un avanzamento medio dello scavo di poco meno di un metro al giorno, mentre per la realizzazione della galleria di accesso un avanzamento di circa 6-8 m al giorno, per cui il tempo necessario alla realizzazione dello scavo ed alla sua messa in sicurezza risulta stimabile in circa 90÷100 giorni/lavoro, in modo da tener in considerazione eventuali imprevisti.

Il volume di risulta prodotto giornalmente si aggirerà mediamente sui 100÷150 m<sup>3</sup> (220÷300 t/giorno), pertanto utilizzando per il trasporto al sito di stoccaggio veicoli con capacità massima di 10÷12 m<sup>3</sup> si prevedono 10÷15 viaggi al giorno di andata al sito di stoccaggio.

**E' auspicabile che il materiale di escavo, viste le sue ottime caratteristiche geomeccaniche, venga ceduto a qualche azienda che opera nel settore della lavorazione degli inerti.**

Per iniziare lo scavo sarà necessario realizzare, a partire dal Ponte delle Roste sul T, Vajont, una pista di accesso sul greto del T. Vajont in modo da ricollegarsi con la galleria esistente e carrabile, di sezione 4x4, che scorre in destra idrografica in fregio al torrente fino ai piedi della diga.

La pista sarà realizzata sulla destra orografica della valle del Vajont e avrà indicativamente una larghezza di 3-3,5 m ed una lunghezza approssimativa di 850 m; ad intervalli di 200 m circa saranno realizzate piazzole per consentire lo scambio o la manovra dei mezzi; naturalmente a

lavori ultimati la pista in alveo verrà rimossa, verranno ripristinati i volumi e verrà effettuata la sistemazione dei luoghi allo stato di fatto.

- **scavo per la posa della condotta di scarico**

L'opera di scarico verrà realizzata con la tecnica del RAISE BORING, dapprima alesando il foro pilota fino ad un diametro di 1,84 m poi inserendo la condotte in ca (diametro estero 1700 mm) che verrà fissata alla roccia con iniezioni di malta cementizia.

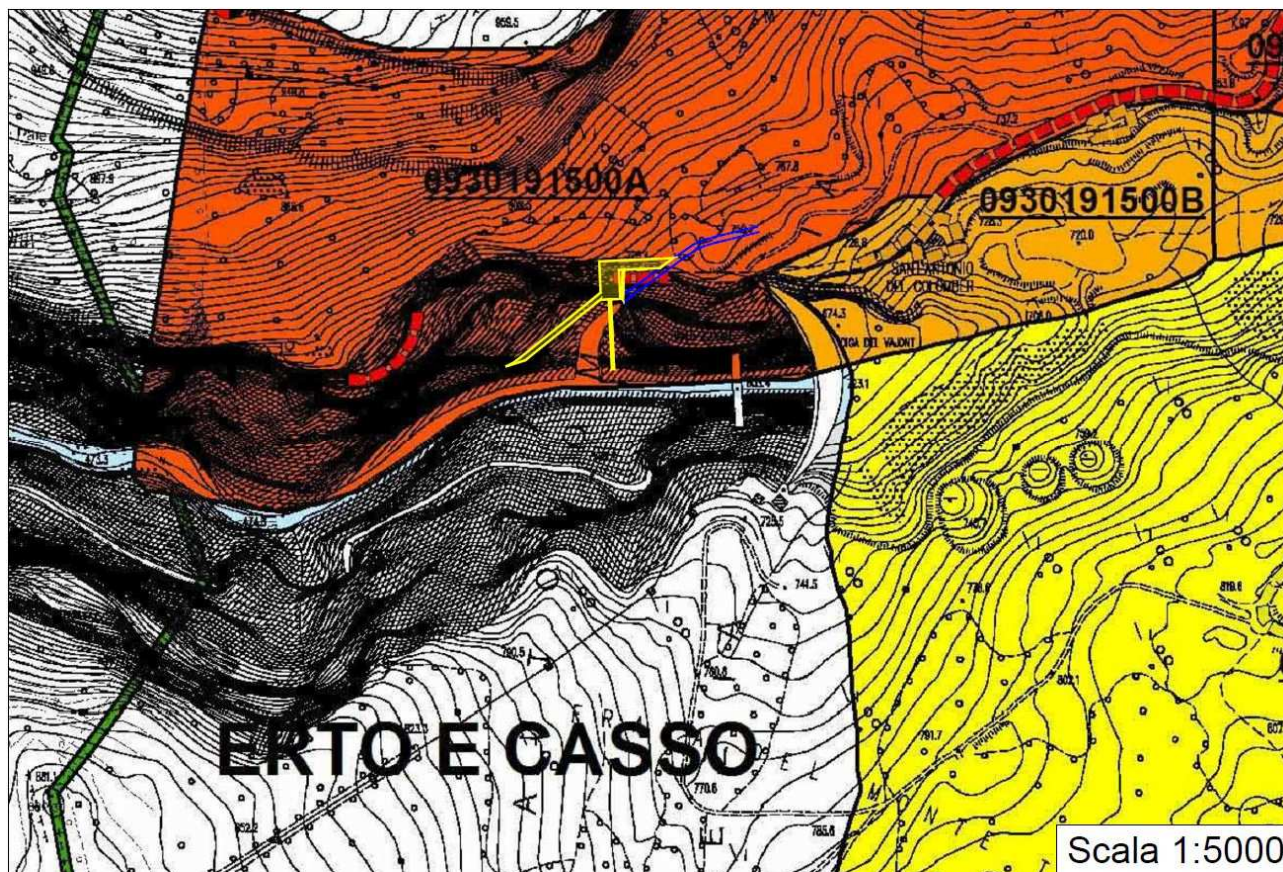
Per la realizzazione dello scavo in condizioni standard, ossia prevedendo di lavorare mediamente 22 h/g per 6 gg/settimana durante le fasi di foro pilota ed alesaggio e 11 h/g durante le altre fasi, si stima una durata indicativa di 18-20 giorni lavorativi (3 settimane all'incirca)

La posa poi della condotta di scarico in c.a. avverrà dalla caverna di centrale con l'ausilio di un opportuno spingitubo ad azionamento idraulico.

Si rimanda all'ELABORATO A "Relazione tecnica illustrativa" per i dettagli in merito alle scelte tecniche suggerite per gli armamenti degli scavi.

## **8. Considerazioni sulla pericolosità geologica**

Si è consultata la carta della pericolosità geologica, tavola 2 di 3 – Comune di Erto e Casso, appartenente al progetto di Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino idrografico del fiume Piave, da cui si evince che, per quanto riguarda la perimetrazione e classi di pericolosità geologica, l'opera di presa e la centrale idroelettrica risultano interne a un'area avente pericolosità geologica molto elevata P4 (pericolosità per caduta massi: cod. 0930191500A).

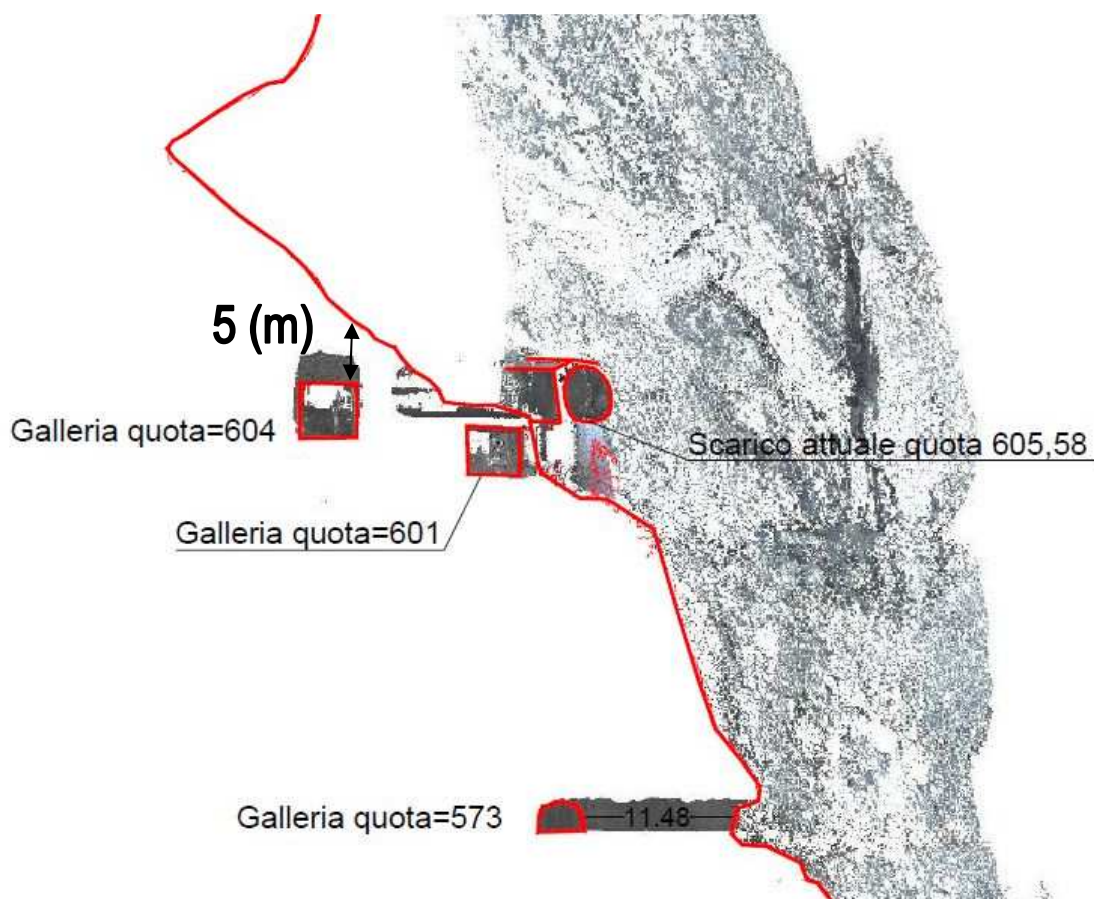


**Figura 11:** Estratto della TAVOLA 2 di 3 della pericolosità geologica allegata al P.A.I. del Comune di Erto e Casso con indicata la sagoma di progetto (contorno giallo).

Si rammenta che le opere verranno interamente realizzate in caverna, entro il versante roccioso, e la progettazione tiene in considerazione tale rischio. In tali aree, come previsto all'Art. 9 comma 1, è possibile la "realizzazione o ampliamento di infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico, diverse da strade o da edifici, riferite a servizi essenziali non diversamente localizzabili o non delocalizzabili, ovvero mancanti di alternative progettuali tecnicamente ed economicamente sostenibili, purché, se necessario, dotate di sistemi di interruzione del servizio o delle funzioni; ...". La definizione comprende pertanto la realizzazione di tali opere in quanto di interesse pubblico e non diversamente localizzabili; si prevede altresì un sistema che possa prevedere l'interruzione del servizio.

In merito alle operazioni di scavo per la realizzazione dell'opera di presa, sono stati attentamente valutati gli spessori di roccia che si garantiscono al di sopra del tetto del manufatto che si andrà a realizzare; difatti, come visibile dalla Foto 7, all'altezza della sezione finale della galleria di sorpasso, è stata rilevata una nicchia dalla quale si sono distaccati o sono stati distaccati nel momento della realizzazione delle opere esistenti, dei volumi rocciosi. Le sezioni topografiche, sovrapposte al modello matematico del manufatto dell'opera di presa, indicano degli spessori minimi garantiti di ricoprimento in roccia sana di 5 metri (Figura 12), ritenuti adeguati a scongiurare fenomeni di distacco di cunei rocciosi dal tetto dei nuovi scavi in roccia.





**Figura 12:** Sezione di progetto, sovrapposta alla sezione topografica, in corrispondenza della nicchia di distacco presente nella parete rocciosa sovrastante la sezione finale della galleria di sorpasso, con indicato lo spessore minimo di 5 metri di roccia garantito al tetto del camerone dell'opera di presa.

## 9. Considerazioni sul riutilizzo dei materiali da scavo

Lo svolgimento delle attività di scavo, come già descritto al paragrafo precedente (vedi), riguardano tutte le opere previste dal progetto, poiché vengono totalmente collocate in caverna. Dagli scavi in roccia entro l'ammasso roccioso si otterranno due cameroni posti a differenti livelli, collegati fra loro da un pozzo verticale di grande diametro (diametro foro 500 cm), che consente lo spostamento di mezzi e personale da un manufatto all'altro. Altri scavi riguardano la galleria di carreggio da realizzare alla quota del manufatto centrale per l'accesso dall'esterno dell'alveo del torrente Vajont e solo per la fase di cantiere, il foro verticale dove sarà inserita la condotta forzata (diametro foro 150 cm) e il foro sub-orizzontale per la condotta di scarico (diametro foro 184 cm).

Nel complesso saranno scavati in roccia 12.400 m<sup>3</sup>, che potranno essere trasportati e ceduti a qualche azienda che opera nel settore della lavorazione degli inerti, viste le sue ottime caratteristiche geomeccaniche; in alternativa, i volumi verranno conferiti in discarica autorizzata.

Nella stima dei volumi di scavo si è tenuto conto dell'effetto dovuto dal diverso peso specifico posseduto dall'ammasso roccioso e dai cumuli dello smarino; per cui si sono stimati in 14.030 m<sup>3</sup> i volumi del materiale di smarino da trasportare fuori dall'area di cantiere.

OPERA	Descrizione	SCAVO	REINTERRO	RESIDUO
		Quantità (mc)	Quantità (mc)	Quantità (mc)
OPERA DI PRESA	Scavo per camerone opera di presa	3530	-	3530
	Foro per tubo di scarico ghiaie	60	-	60
POZZO VERTICALE	Scavo pozzo verticale per trasporto mezzi e personale	2600	-	2600
CONDOTTA FORZATA	Foro per inghisaggio condotta forzata	500	-	500
CENTRALE DI PRODUZIONE	Sistemazione area di accesso alveo	130	-	130
	Scavo galleria di ingresso alla centrale	1280	-	1280
	Scavo per camerone edificio centrale	4300	-	4300
	<b>TOTALE SCAVI</b>	<b>12 400</b>	<b>-</b>	<b>12 400</b>

**Tabella 4:** Tabella di sintesi dei volumi di scavo in roccia.

Gli smarini provenienti dagli scavi in roccia verranno temporaneamente accantonati in piccoli cumuli da realizzare a lato delle gallerie di carreggio, per poi essere trasportati all'esterno e conferiti in discarica o presso altro sito da individuare. Pertanto, tutte le fasi di scavo in roccia, accumulo, stoccaggio e allontanamento dello smarino avverranno entroterra. All'esterno si procederà alla fase conclusiva di trasporto coi camion fino al sito di conferimento prescelto.

IL GEOLOGO

