

S.S. 45bis - Gardesana Occidentale

Opere di costruzione della galleria in variante tra il km 86+567 e il km 88+800 finalizzata a sottendere le attuali gallerie ogivali a sezione ristretta

PROGETTO DEFINITIVO

COD. MI92

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTA:

*Dott. Ing. Antonio Scalamandrè
Ordine Ing. di Frosinone n. 1063*

IL GEOLOGO

*Dott. Geol. Serena Majetta
Ordine Geol. di Roma n. 928*

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.

*Dott. Ing. Laura Troiani
Ordine Ing. di Roma n. 31890*

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. Fabio Quondam

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Giancarlo Luongo

PROTOCOLLO

DATA

GEOLOGIA

Relazione geologica

CODICE PROGETTO

NOME FILE

REVISIONE

SCALA

T00GE00GEORE01A.doc

PROGETTO

LIV. PROG.

D P M I 0 0 9 2 D 1 8

CODICE ELAB. T 0 0 G E 0 0 G E O R E 0 1

A

--

D					
C					
B					
A	EMISSIONE	Gennaio 2020	Geol. R. Laureti	Geol. M. Martino	Geol. S. Majetta
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1	<i>Premesse</i>	2
2	<i>Riferimenti normativi</i>	4
3	<i>Inquadramento geografico</i>	6
4	<i>Inquadramento geologico-geodinamico generale</i>	7
5	<i>Successione stratigrafica locale</i>	11
	<u>5.1 Successione stratigrafica pre-aternaria</u>	<u>11</u>
	<u>5.2 Depositi quaternari e recenti</u>	<u>20</u>
6	<i>Inquadramento geomorfologico generale</i>	23
7	<i>Geomorfologia di dettaglio</i>	26
8	<i>Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)</i>	28
9	<i>Inquadramento idrogeologico</i>	30
10	<i>Indagini geognostiche</i>	33
11	<i>Sismicità</i>	36
	<u>11.1 Sismicità storica</u>	<u>36</u>
	<u>11.2 Pericolosità sismica</u>	<u>38</u>
12	<i>Modello Geologico di Riferimento</i>	43
	<u>12.1 Galleria Naturale (L=1.800 m)</u>	<u>45</u>
	<u>12.2 S.P. per Tignale – Ramo 1</u>	<u>46</u>
13	<i>Bibliografia</i>	47

1 Premesse

La presente relazione geologica fa parte della documentazione allegata al Progetto Definitivo dei lavori di costruzione della variante in galleria dal km 86+567 al km 88+800 della S.S. 45bis "Gardesana occidentale". Tale variante sottende e funge da by-pass delle attuali tre gallerie esistenti di forma ogivale, presenti lungo il tratto: la galleria "D'Acli" (di lunghezza pari a circa 930 metri), la galleria "Eutemia" (di lunghezza pari a 60 metri) e la galleria "Dei Ciclopi" (di lunghezza pari a 655 metri).

Nella presente relazione vengono inizialmente descritti i contesti geomorfologico, stratigrafico ed idrogeologico di riferimento; successivamente viene analizzata la sismicità dell'area; segue l'analisi del tracciato in relazione alle litologie presenti ed alle opere previste.

Gli elementi necessari a tale scopo sono stati ricavati a seguito dell'esame della documentazione bibliografica disponibile per l'area in oggetto, con particolare riferimento alla documentazione tecnica allegata alla stesura del Piano di Governo del Territorio del Comune di Gargnano, integrata con l'analisi diretta delle condizioni geologiche e geomorfologiche delle aree all'interno delle quali ricade l'intervento in progetto.

Inoltre, ai fini di caratterizzare, anche dal punto di vista geotecnico, le litologie presenti, si è fatto riferimento alle informazioni derivanti dalle indagini geognostiche condotte appositamente nell'area di indagine dall'ANAS nell'ambito del presente progetto.

In sintesi, pertanto, il lavoro è stato condotto attraverso le seguenti fasi operative:

- acquisizione ed analisi degli studi geologici esistenti riguardanti l'area di interesse (cfr. Riferimenti bibliografici);

Progetto Definitivo

- approfondimenti conoscitivi mediante studi fotointerpretativi condotti su foto aeree derivanti da voli realizzati in epoche differenti;
- rilievi diretti sul terreno mirati alla definizione delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area;
- analisi delle indagini geognostiche, dirette ed indirette, realizzate nell'area di interesse;
- analisi dei dati e redazione delle presenti note di sintesi e degli elaborati cartografici.

2 Riferimenti normativi

- Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni "Approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- D.P.R. 5 ottobre 2010, n. 207 "Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE»";
- D.M. 14/01/2008 - "Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare Ministero dei LL.PP. 02/02/09 n. 617 - Istruzione per l'applicazione delle "Nuove Norme tecniche per le costruzioni";
- D. Lgs. n.50 del 18 aprile 2016: "Codice dei contratti pubblici";
- D.P.R. 21 dicembre 1999 n. 554 "Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici 11 febbraio 1994, n.109 e successive modificazioni".
- D.M. 11/03/88 - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- Circolare ministeriale LL.PP. 24/09/88 n. 30483 - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- Interventi sulla rete idrografica e sui versanti. Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6, ter D.L. 180/98 e successive modifiche ed integrazioni. Variante adottata con deliberazione del Comitato istituzionale dell'Autorità di Bacino n. 2 del 25.02.2010;

Progetto Definitivo

- Eurocodice 7.1 (1997): Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali. UNI;
- Eurocodice 7.2 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI;
- Eurocodice 7.3 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI;
- Eurocodice 8 (1998).

3 Inquadramento geografico

Il settore oggetto di studio ricade lungo la costa occidentale del lago di Garda. Il comune di riferimento è quello di Gargnano, situato in Provincia di Brescia.

Nella Cartografia IGM in scala 1:100.000, il tracciato in progetto ricade nel Foglio 35 Tavoleta III S.E "Gargnano"

Nella Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10.000, il tracciato in progetto ricade nella sezione E5B2 "Gargnano".

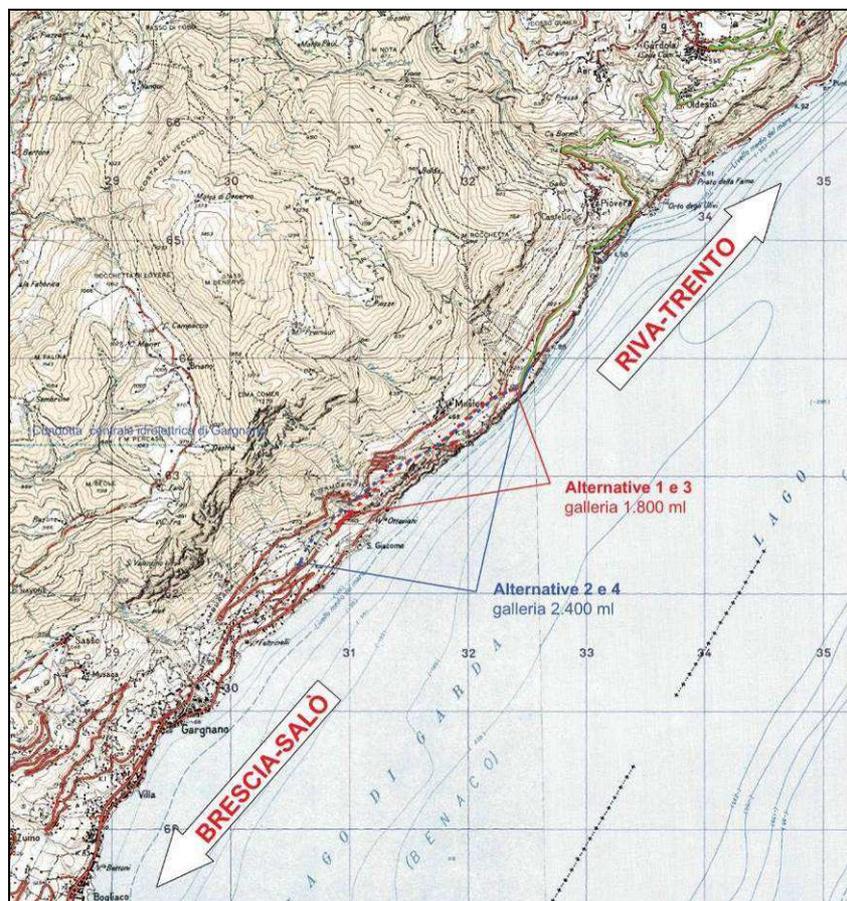


Figura 1 – Stralcio della Carta Topografica d'Italia in scala 1:50.000 (I.G.M.I.) con individuazione dell'area di studio

4 Inquadramento geologico-geodinamico generale

L'area di studio si inquadra nell'ambito delle Prealpi bresciane, il cui assetto strutturale è caratterizzato da una serie di superfici tettoniche sud e sud-est vergenti che generano sovrascorrimenti di notevole entità delle successioni più antiche, e quindi originariamente più profonde, su quelle più recenti. Pertanto, la caratteristica che risalta maggiormente nell'assetto geometrico delle formazioni rocciose, è costituita dal progressivo ringiovanimento delle successioni procedendo da nord a sud (dalla Formazione della Corna a nord, culminazione del Monte Comero, alla formazione della Scaglia Lombarda a sud, in località Amburana).

A livello geologico generale, la zona di interesse progettuale è inserita nel sistema del Bacino lombardo orientale, posizionato fra la direttrice della Linea delle Giudicarie Sud e la Linea di Ballino – Garda.

Procedendo da nordovest verso sudest è infatti possibile individuare tre differenti domini geologico-strutturali:

- 1) Area di affioramento del Basamento cristallino (il sistema è rappresentato dal "Massiccio delle tre valli bresciane" ed è costituito dalle intrusioni magmatiche dell'Adamello e la sua copertura vulcanica);
- 2) Monoclinale dolomitica sovrascorsa, costituita, a grande scala, da un esteso "piastrone" di dolomie noriche e retiche a comportamento rigido;
- 3) Fronte di accavallamento Tremosine-Tignale e fascio di pieghe frontali ad esso associato.

Dal punto di vista geodinamico le strutture tettoniche presenti, in generale, si sono originate, secondo le interpretazioni più recenti, da fenomeni essenzialmente compressivi causati principalmente dal movimento (intrusione) verso sud del blocco crostale più rigido costituito dal corpo dell'Adamello, che nella traslazione sarebbe stato delimitato a meridione dalla linea della Val Trompia (essenzialmente compressiva) e verso est dalla linea delle Giuducarie (trascorrente più a nord) e con caratteri transpressivi nella zona del Garda.

Le principali lineazioni tettoniche rilevabili nell'area possono essere raggruppate secondo due principali direzioni strutturali:

- 1) Un sistema a direzione orobica-valsuganese (con direzioni variabili da E-W a ENE-WSW);
- 2) Un sistema a direzione giudicariense (con direzioni variabili da NNE-SSW a NE-SW).

Andando più nel dettaglio, il più importante lineamento ad andamento giudicariense, rilevabile sulla sponda occidentale del Lago di Garda, è rappresentato dal sovrascorrimento Tremosine-Tignale, vergente verso sud-est che provoca, a grande scala, la sovrapposizione della Dolomia principale sulla successione dei terreni mesozoici.

Alla scala del territorio del Comune di Gargnano (porzione a lago), è presente, in corrispondenza del rilievo del M.te Comero, il sovrascorrimento associato al lineamento di Tremosine-Tignale, ove si rendono manifeste le strutture frontali associate a tale struttura: anticlinale del M.te Comero, in cui la Formazione della Corna appare piegata rigidamente secondo un'ampia struttura plicativa sud – vergente e al letto (fascia montuosa-collinare prospiciente la sponda lacustre) le formazioni via via più recenti in successione rovesciata (Medolo, F.ne di Concesio, Maiolica, Scaglia Lombarda che hanno reagito all'applicazione

dello stress deformandosi in pieghe e andando a costituire, dal punto di vista tettonico, il fascio di piegamenti frontali e basali associati alla struttura di compressione principale, di cui la principale è la sinclinale di Muslone.

Le strutture plicative di maggior significato, di dimensioni da ettometriche a chilometriche, evidenziano prevalenti assi a direzione N40°-220° disposte parallelamente al fronte di accavallamento e alla sponda benacense.

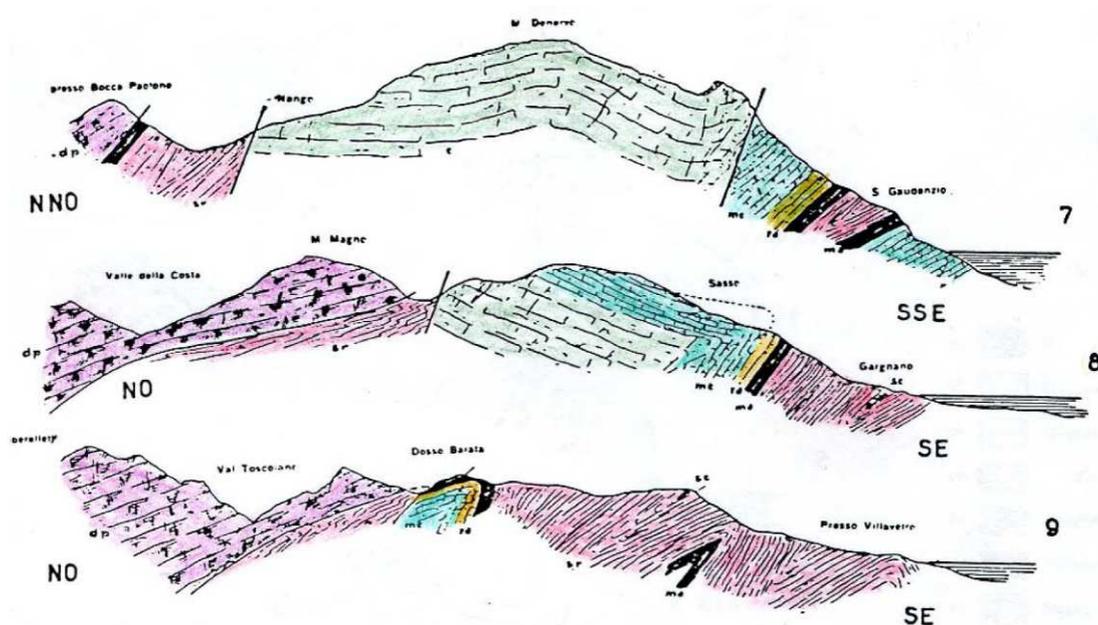


Figura 2 – Sezioni geologiche ad orientamento NW-SE da M.te Denervo, M.te Magno e Dosso Barata a lago.

Quest'ultima, caratterizzata, al nucleo, dalla presenza della Scaglia Lombarda mentre i fianchi comprendono le formazioni giurassiche stratificate (dalla Maiolica al Medolo), assume una posizione da coricata a rovesciata passando da S. Gaudenzio alla zona del Gaz. Contemporaneamente, a monte, il contatto della formazione della Corna con il Medolo, in posizione rovesciata, si realizza mediante un passaggio stratigrafico nella parte centrale ed

evolve in sovrascorrimento sud-est vergente, con l'accavallamento delle masse e rovesciamento completo della sinclinale a livello della località Pis.

Per il dettaglio sull'assetto strutturale a scala locale si rimanda all'elaborato "Relazione geostrutturale-geomeccanica (T00GE00GEORE02)".

5 Successione stratigrafica locale

Vengono di seguito descritte in dettaglio le principali caratteristiche stratigrafiche delle litologie interferenti con il tracciato in progetto, procedendo dalle formazioni più antiche (pre-quadernarie) a quelle più recenti (quadernarie e recenti).

5.1 Successione stratigrafica pre-quadernaria

La successione stratigrafica pre-quadernaria affiorante nell'area di stretto interesse progettuale comprende le litologie marine e terrigene ascrivibili ad un intervallo temporale compreso nel Mesozoico – Cenozoico (Eocene). I rapporti geometrici tra le diverse formazioni sono spesso di difficile interpretazione perché nascoste dalle estese coltri dei depositi di copertura.

Di seguito vengono descritte le formazioni pre-quadernarie, dalla più antica alla più recente.

- **Medolo.** Si tratta di calcari, per lo più marnosi, di colore chiaro o scuro, ad evidente stratificazione, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, con letti e noduli di selce e con intercalazioni di più o meno abbondanti di marne fino ad argilliti grigio-verdastre. Localmente è possibile la distinzione nei due membri che la costituiscono: il calcare di Gardone Val Trompia e il Calcare di Domaro. Il limite inferiore è rappresentato dalla Corna o dal Corso o da altre formazioni; il limite superiore è invece rappresentato dalla Formazione di Concesio, da cui spesso non è facilmente distinguibile. La potenza massima stimata è di circa 800 m mentre l'età va dal Domeriano all'Hettangiano.

La formazione affiora diffusamente lungo tutta l'area, ad una quota che va da quella del Lago di Garda fino ad un massimo di 210 m nel settore nord. La formazione affiora lungo tutto il taglio stradale della vecchia S.S.45bis Gardesana (Via San Giacomo) che

passa a valle delle gallerie esistenti; si presenta come alternanze di calcari selciferi in strati da pochi centimetri a 15 cm di spessore, con marne argillose e scagliose grigio verdastre, fissili. All'interno della formazioni sono presenti liste, arnioni e noduli di selce nera. La giacitura misurata è N 220°, 35°.



Figura 3 – Affioramento del Medolo lungo il taglio stradale di Via San Giacomo.

Lungo il taglio stradale, la formazione appare estremamente fratturata e disconnessa; nel tratto più a sud la parete risulta consolidata attraverso tecnica *spritz-beton* per evitare il distaccamento e la caduta sulla piattaforma stradale di materiale roccioso. Procedendo verso nord la formazione risulta più compatta, fino a costituire pareti rocciose verticali o a strapiombo oltre la verticale.

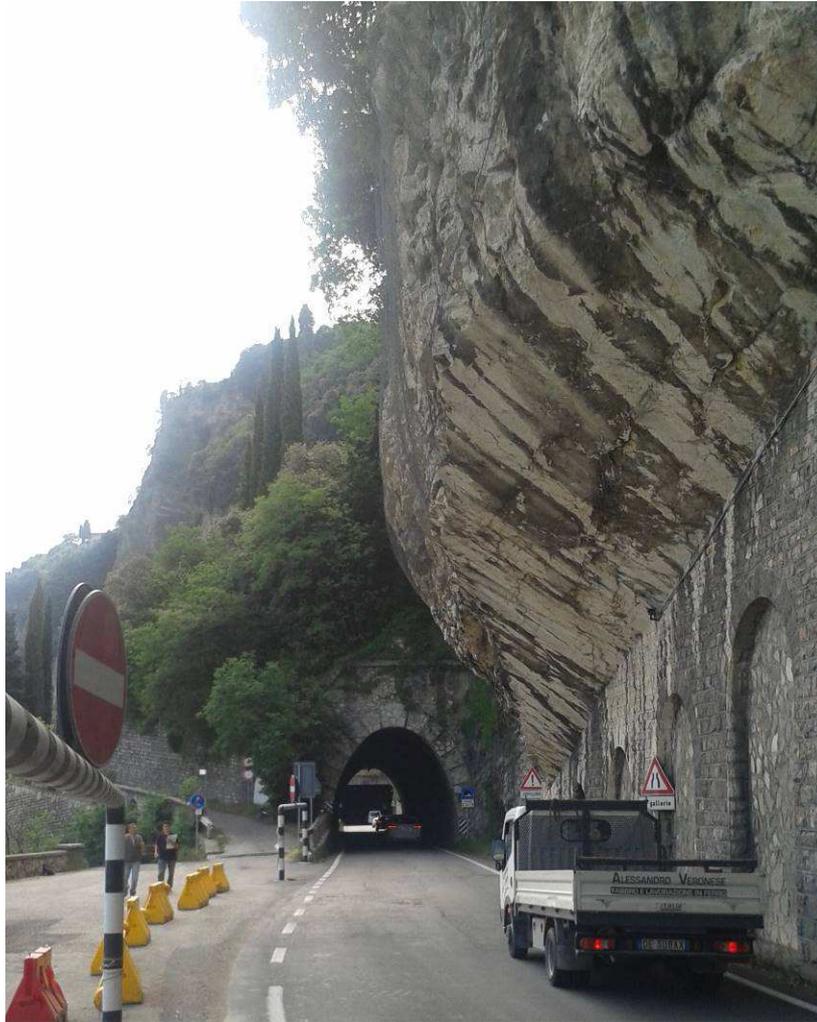


Figura 4 – Affioramento del Medolo lungo il taglio stradale lungo la S.S.45bis, nel tratto scoperto tra le gallerie.

Anche il rivestimento delle gallerie naturali esistenti risulta in funzione dello stato di fratturazione dell'ammasso roccioso: le gallerie più a sud ("D'Acili" ed "Eutemia" hanno un rivestimento in calcestruzzo o *spritz-beton*, mentre la galleria "Dei Ciclopi", posta più a nord, è totalmente priva di rivestimento, con roccia nuda a vista.

- **Formazione di Concesio.** E' costituita principalmente da calcari silicei, anche marnosi, e talora più o meno detritici, da grigiastri a nocciola, frequentemente selciosi, a stratificazione evidente, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, con

intercalazioni di marne grigio-verdastre talora abbondanti. Localmente sono distinguibili due membri: i calcari nocciola e calcari medoloidi. La formazione appare a luoghi molto simile alla Formazione del Medolo, da cui spesso non è facilmente distinguibile. La potenza è variabile fra i 100 e i 300 m ed ha un'età compresa tra il Calloviano inferiore e il Toarciano. il limite inferiore è rappresentato in generale dal Medolo, mentre superiormente passa alla Formazione di Navone o al Selcifero Lombardo.

Nell'area di studio la formazione affiora diffusamente al di sopra del Medolo, fino ad una quota massima di 370 m slm nel settore nord. Essa costituisce le imponenti pareti sub-verticali che sovrastano l'imbocco sud della galleria esistente.

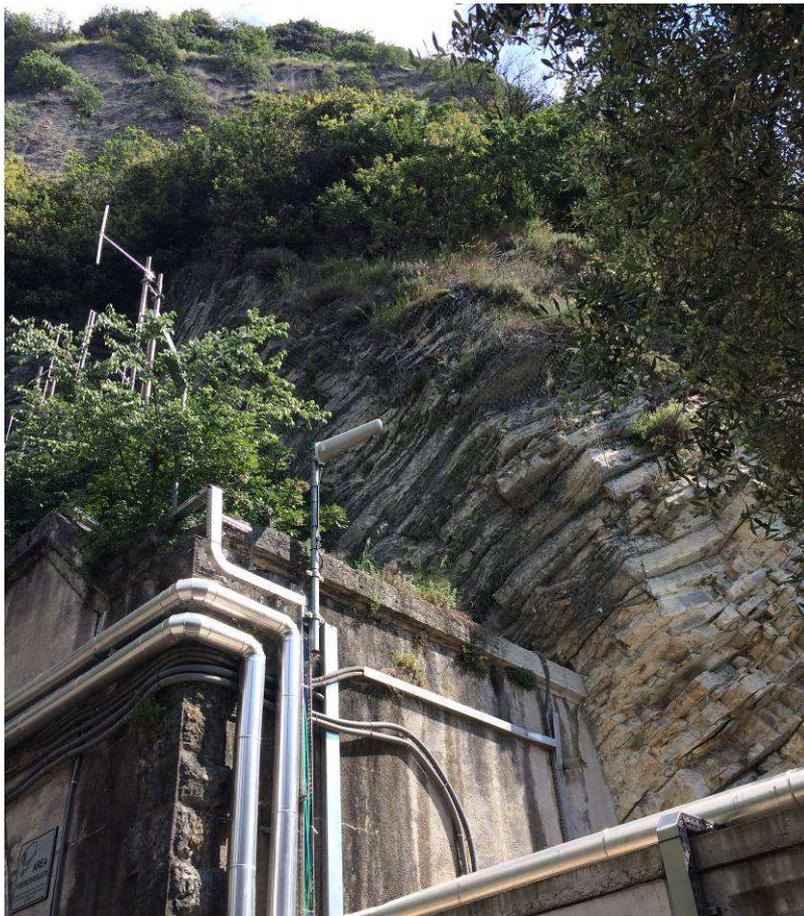


Figura 5 – Affioramento della Formazione del Concesio all'imbocco sud della galleria esistente.

Il sondaggio S1_h orizzontale, realizzato 20 m a monte rispetto all'imbocco sud della galleria esistente, in corrispondenza dell'imbocco della galleria in progetto, intercetta, per tutta la sua lunghezza, la Formazione di Concesio. Lungo il sondaggio, la formazione è costituita da calcari, da debolmente marnosi a marnosi, e calcari selciferi, di colore da grigio scuro a grigio chiaro, poco alterati, da mediamente a molto fratturati, con locali zone completamente fratturate (in ciottoli e ghiaie angolosi), alternati a livelli centimetrici di selce scura di forma irregolare.



Figura 6 – Formazione di Concesio lungo il sondaggio S1h orizzontale, da 100 a 105 m di profondità.

Sono visibili vene di calcite secondaria con spaziatura media inferiore al millimetro, da leggermente ondulate a planari. Si osservano, altresì, superfici di discontinuità, da poco alterate a mediamente alterate, da planari a leggermente ondulate, localmente irregolari, poco rugose, con apertura inferiore al centimetro e assenza di riempimento (localmente sono presenti tracce di limo marrone chiaro). Lungo i giunti sono presenti

patine di alterazione di calcite secondaria prevalentemente diffusa, di colore oca, e patine di ossidazione di colore rosso.

Anche il versante opposto rispetto a quello di imbocco della galleria è costituito da litologie appartenenti alla stessa formazione. Qui si presenta come un'alternanza di livelli centimetrici, da leggermente ondulati a planari e limiti sfumati, di calcari, da marnosi a debolmente marnosi, di colore grigio chiaro, e selce di colore nerastro e marrone scuro.



Figura 7 – Affioramento della Formazione del Concesio nel cunicolo artificiale sul versante sud della Valle Della Torre.

- **Formazione di Navone.** La formazione è costituita da calcari marnoso silicei, da grigio chiari a grigio scuri, con selci in prevalenza grigiastre in noduli, liste o letti, localmente molto abbondanti, ad evidente stratificazione; sono presenti veli o intercalazioni di litotipi marnoso-argillosi grigio-verdolini. La formazione ha caratteri litologici transizionali

tra i calcari medoloidi della F.ne di Concesio, coincidente con il limite inferiore, ed il Selcifero lombardo al limite superiore. La potenza non raggiunge mai valori molto elevati ed ha un'età riferibile al Dogger.

Nell'area di studio la formazione assume uno spessore medio di 20/25 m e viene dislocata dalle faglie ad alto angolo trasversali alla struttura plicativa; la formazione affiora ad una quota compresa tra un minimo di 270 m slm all'imbocco sud e un massimo 400 m slm nell'area dell'imbocco nord, sempre superiore alla quota di scavo della galleria in progetto.

- **Selcifero Lombardo.** Si tratta di una formazione rappresentata da radiolariti identificate con selci policrome, con colore che va dal bruno, giallastro, grigio e rosso ruggine, con intercalate marne calcaree e silicee, grigio scuro e grigio verdastro, e selci nere, passanti a marne calcareo-silicee con colorazione grigio verdi, giallastre, e selci verde oliva e arancioni con bordi neri.

La formazione si colloca superiormente alla Formazione di Navone ed ha un'età compresa tra il Bajociano superiore e il Titoniano inferiore. Nell'area della galleria in progetto assume uno spessore medio di circa 40 m, affiorando da una quota minima di 270 m slm all'imbocco sud, fino ad una quota massima di 420 m slm nell'area dell'imbocco nord.

- **Maiolica.** Si tratta di calcari bianchi e biancastri, grigi esternamente e bianco lattei all'interno, compatti, microcristallini, a frattura concoide, ben stratificati, con selci grigio scure e azzurrine in orizzonti o noduli. La formazione è interessata diffusamente da suture stilolitiche e minute fessure riempite di calcite secondaria. Localmente, presenta intercalazioni argillose nerastre, frequentemente fogliettate, di differente spessore. Il

contenuto paleontologico è rappresentato da microfossili, come Calpionelle e radiolari, mentre l'età di riferimento è compresa tra il Titoniano superiore e l'Aptiano inferiore.

La Maiolica si colloca al di sopra del Selcifero Lombardo, con una potenza media nell'area di progetto di circa 65 m. Lungo la strada che sale verso l'abitato di Muslone, la Maiolica affiora lungo i tagli di sbancamento di monte, a luoghi ricoperta da una spessa coltre di depositi detritici di alterazione. Gli affioramenti sono costituiti da un'alternanza di calcari micritici biancastri e livelli di selce grigia ed oca, in strati centimetrici; la formazione si presenta estremamente deformata e piegata, prova della vicinanza con la linea di cerniera dell'ampia piega rovesciata individuata a scala minore (cfr. cap. 4 – Inquadramento geologico-geodinamico generale).



Figura 8 – Affioramento della Maiolica lungo Via Muslone.

- **Scaglia Lombarda.** È suddivisa in tre unità: Scaglia Variegata, Scaglia Rossa e Scaglia Cinerea. È rappresentata da marne fogliettate, di colore in prevalenza grigiastro e nerastro, alternatisi inizialmente con altre rosso vinate e grigio verdastre (S. Variegata) passante a marne e marne argillose rosa salmone intenso e rosso mattone, con intercalazioni di calcari marnosi compatti e di calcari arenacei (S. Rossa); al tetto abbondano marne argillose grigio giallastre, marne, marne calcaree sino a calcari marnosi, ad alterazione grigio cenere, localmente con calcareniti ad elementi organogeni e con quarzo ed olivina (Scaglia Cinerea). L'età della formazione è compresa tra l'Eocene inferiore e il Cenomaniano.

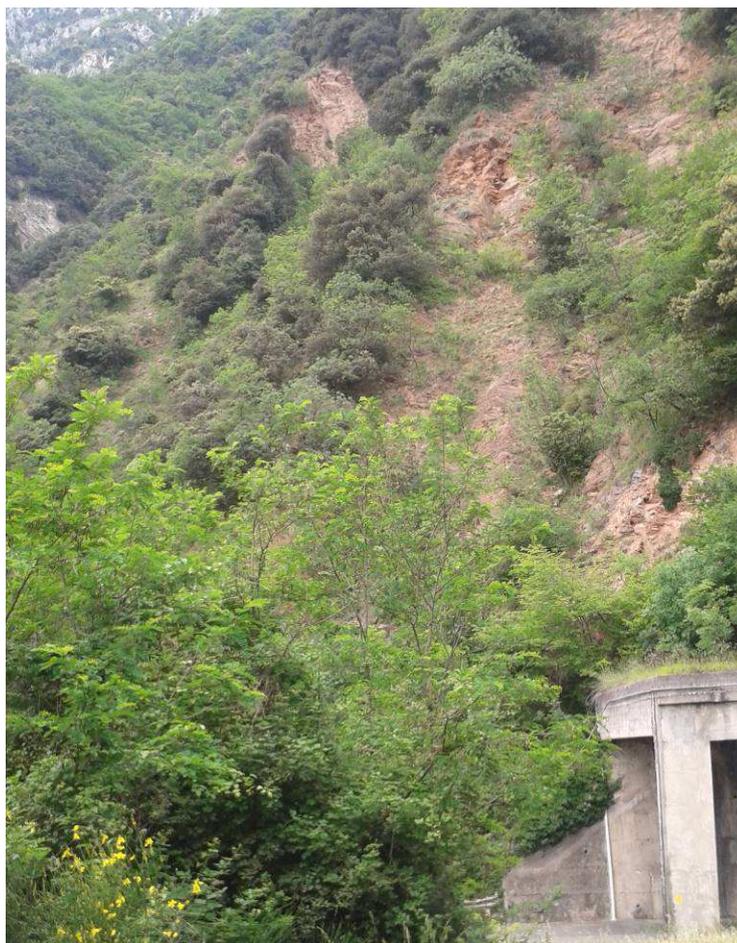


Figura 9 – Affioramento della Scaglia Rossa lungo Via Muslone, a tergo della galleria artificiale.

Nell'area di studio, la Formazione è rappresentata esclusivamente dal termine più basso riferito alla Scaglia Rossa. Essa affiora principalmente, in maniera discontinua, lungo i tagli stradali di Via Muslone, spesso ricoperta dai depositi di alterazione detritica. A tergo del muro della galleria artificiale che si trova prima dell'abitato di San Gaudenzio, realizzata a protezione della caduta massi dalle pareti rocciose sovrastanti, affiora il limite stratigrafico tra la Maiolica e la Scaglia Rossa. La giacitura media della stratificazione misurata in affioramento è di N 230°, 38°.

5.2 Depositi quaternari e recenti

- **Depositi morenici.** Sono rappresentati da depositi di origine glaciale, costituiti da sedimenti massivi, privi di orientazione degli elementi litoidi in forza al meccanismo di messa in posto (ghiacciaio). Si tratta, in generale, di terreni misti, costituiti da ghiaie sabbiose con ciottoli e trovanti esotici e di natura poligenica, immersi in una matrice limosa. L'età di riferimento è pleistocenica superiore. In generale, i depositi morenici sormontano il substrato roccioso afferente alla Scaglia lombarda/Maiolica, ad una quota variabile con potenze variabili, da pochi metri a circa 15-20 m.
- **Detrito cementato.** E' rappresentato da un'alternanza di orizzonti e lenti prevalentemente ghiaiose e/o sabbiose, con ciottoli e trovanti a basso grado di arrotondamento, soggetti a cementazione, che fornisce al deposito una consistenza litoide o pseudolitoide. Questi depositi affiorano limitatamente nella zona dello svincolo della S.P. che sale per Tignale, per uno spessore di circa 2 m, poggianti direttamente sul Medolo. A tratti, sono ricoperti in superficie da una coltre detritica sciolta, di modesto spessore. L'età di riferimento è olocenica.

- **Coltre eluvio-colluviale e detriti di conoide.** Si tratta di terreni eterogenei, a granulometria da ghiaioso-sabbiosa a limoso-argillosa, talvolta anche ciottolosa, con colorazioni variabili da rossastro a bruno giallastro, a basso grado di addensamento, derivati dall'alterazione e smantellamento dei rilievi rocciosi rappresentati dal substrato pre-quadernario (calcari dolomitici, calcari e marne) e dai depositi morenici. In questo gruppo sono stati accorpati anche i depositi di conoide pedemontana, che hanno subito trasporto per opera dei corsi d'acqua e successivo deposito per gravità, generando una tipica forma a cono/ventaglio. Tali depositi affiorano diffusamente in tutta l'area di studio, principalmente nelle aree a minore pendenza, con spessori variabili da qualche metro a decine di metri. I depositi detritici sono riferiti, anch'essi, all'Olocene. Lungo il sondaggio orizzontale S1_h, situato in corrispondenza dell'imbocco sud della galleria in progetto, la coltre detritica assume uno spessore di circa 15 m al di sopra del substrato calcareo-selcifero; qui è rappresentato da ghiaia e ciottoli, di natura calcarea, calcareo-marnosa, marnosa o selciferi, calcari, da angolosi a subangolosi, con diametro medio di 55-60 mm e diametro massimo di 120 mm, immersi in matrice sabbiosa, poco addensata, asciutta, di colore prevalente marrone grigio, subordinatamente grigio scuro nerastro, rosso e bianco.



Figura 10 – Detrito incontrato lungo il sondaggio S1h orizzontale, da 5 a 10 m di profondità.

- **Depositi antropici.** Si tratta di materiali di riporto, eterogeneo e incoerente, costituenti i riempimenti di antiche depressioni morfologiche e i rilevati stradali esistenti.

6 Inquadramento geomorfologico generale

La configurazione del paesaggio attuale è il risultato delle varie fasi morfogenetiche che si sono succedute sul territorio a carico delle successioni rocciose e dei depositi continentali.

L'assetto geologico e geostrutturale dei corpi affioranti costituisce l'elemento di base su cui si sviluppano i successivi processi di modellamento. In particolare la combinazione fra i tipi litologici, i rapporti strutturali e stratigrafici esistenti fra loro, l'entità della fratturazione condizionano le direttrici e le intensità dei processi geomorfologici che, in comune con l'intero arco alpino, sono riconducibili essenzialmente al modellamento glaciale, fluvio-torrentizio e gravitativo.

Durante il Pleistocene medio-superiore, il territorio montano della Lombardia è risultato ripetutamente quasi interamente sepolto sotto ampie coltri glaciali e i grandi laghi prealpini tra cui il Lago di Garda erano sede di grandi ghiacciai vallivi. I ghiacciai si espandevano a formare un sistema di colate vallive coalescenti sino a sboccare con ampi lobi appiattiti (ghiacciai pedemontani) nella pianura (Figura 12).

A scala del versante bresciano del lago di Garda, il dominio pedemontano è caratterizzato, a sud ovest, da una morfologia più dolce anche se eterogenea, dove i regolari pendii digradanti a lago costituiti dalla formazione più duttile della Scaglia lombarda e dai depositi glaciali, sono interrotti da piane fluvio-glaciali e glaciolacustri ed in generale allungate in senso parallelo alla sponda lacustre. Nella porzione nord orientale si ha, diversamente, la presenza dell'aspro rilievo del filone del M.te Comero ed il pendio collegato.

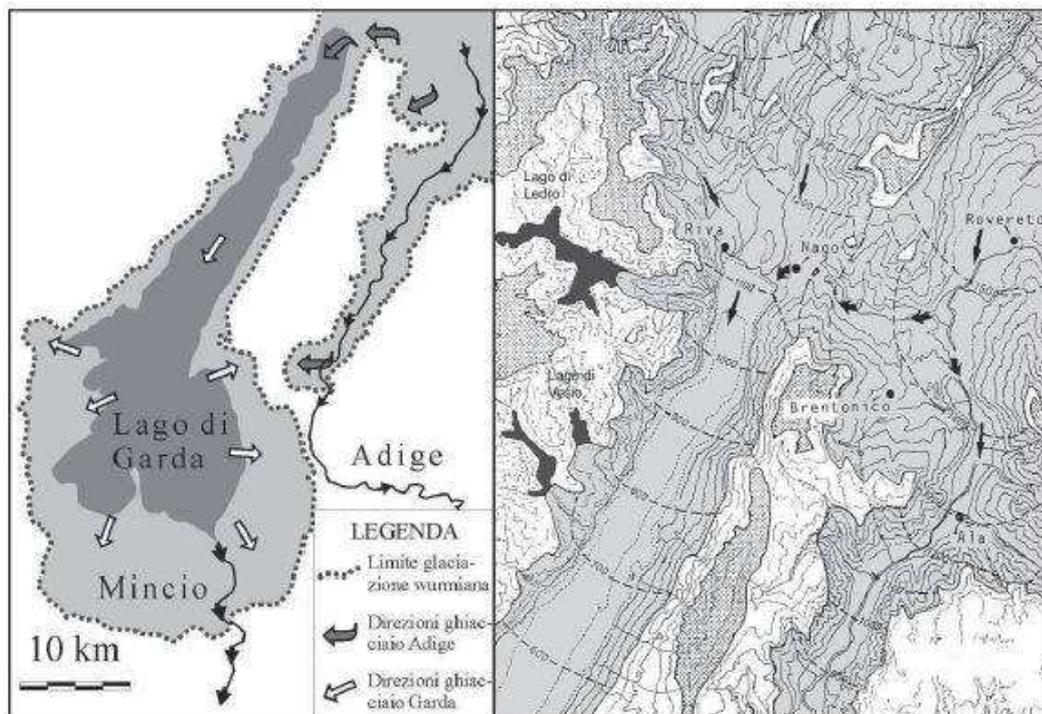


Fig. 4 - Le lingue e le fronti dei ghiacciai del Garda e dell'Adige al tempo della massima glaciazione würmiana (a sinistra; da HABBE, 1961, ridisegnato). A destra: particolare della trasfluenza glaciale di Nago-Loppio (da HABBE, 1961), con le isoipse della superficie dei ghiacciai. Le tre aree grigio scure indicano dei bacini lacustri di occlusione glaciale, in punteggiato compaiono le sommità dei rilievi.

Figura 11 – Detrito lungo aree occupate dai ghiacciai durante le massime espansioni (Cita et al., 2006)

I depositi glaciali delle piane glaciali citate, caratterizzati da spessori eterogenei, sono legate al ghiacciaio che ha operato la sua azione di modellamento in modo differenziato sul substrato roccioso in relazione all'assetto geostrutturale di quest'ultimo.

Successivamente a varie fasi di ritiro glaciale, con il progressivo abbassamento del livello di base si è quindi instaurata una generale fase erosiva che ha portato all'incisione dei depositi quaternari ed anche al substrato sottostante, con la creazione di solchi vallivi che evidenziano principalmente l'affioramento della formazione della Scaglia lombarda.

La testimonianza di tale evoluzione è rappresentata dalla presenza di antichi depositi di conoide coalescenti attualmente sospesi sui depositi costieri ed i locali terrazzamenti delle coltri glaciali. I fianchi vallivi rocciosi citati unitamente alla cresta sopraccitata seppur di

S.S. 45bis "Gardesana occidentale"
Lavori di costruzione della variante in galleria
dal km 86+567 al km 88+800

Progetto Definitivo

litologia differente, rappresentano, dal punto di vista della dinamica geomorfologica, le porzioni più attive del territorio locale, come ampiamente descritto nelle relazioni di PGT dei Comuni di Gargnano (Figura 12) e di Tignale.

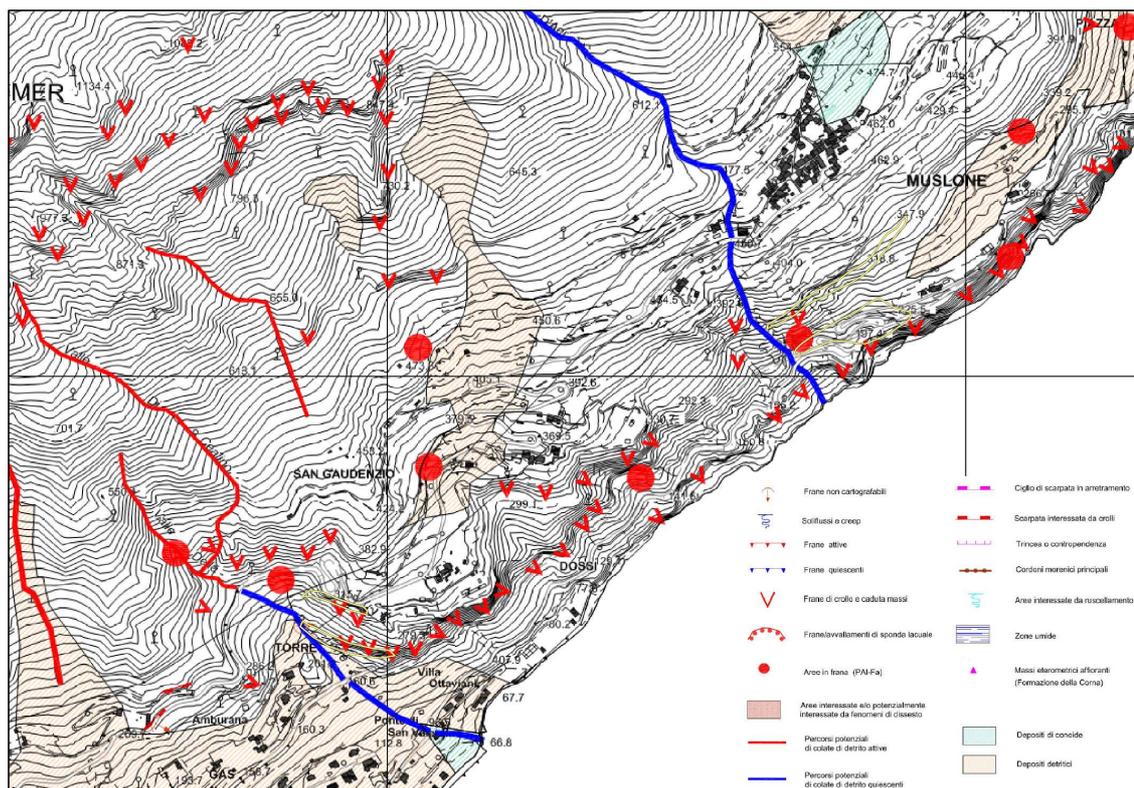


Figura 12 – Carta geomorfologica PGT Comune di Gargnano

7 Geomorfologia di dettaglio

Il territorio nel quale si inserisce l'intervento in progetto copre un dislivello generale di circa 1380 m che da quota 65 m s.l.m. (livello del lago) raggiunge i 1.448 m s.l.m. del M.te Zingla e del M.te Vesta 1397.3 m s.l.m. nella porzione occidentale e i 1463.5 m s.l.m. del M.te Denervo nella porzione orientale; la Cima M.te Comero, la cui cresta si sviluppa parallelamente alla costa e sovrasta direttamente l'abitato di Gargnano e la loc. S. Giacomo, si attesta a quote massime intorno ai 1281 m s.l.m.

Morfologicamente, il tracciato si sviluppa in territorio montano, con un paesaggio molto eterogeneo che passa da particolarmente aspro in corrispondenza dei rilievi dolomitico-carbonatici, a forme più smussate e arrotondate in corrispondenza delle litologie marnose più erodibili o delle coperture quaternarie.

L'area interessata dal progetto si presenta come un versante, con pareti per lo più ad elevata pendenza, interrotte da cenge e creste secondarie. Le altezze dei fronti rocciosi sono molto eterogenee a seconda del settore di fronte considerato, raggiungendo anche una continuità di oltre 200 m.

Dal piede della falesia si diparte un versante mediamente acclive, con valori intorno ai 35°-45°, digradante verso sud est, coperto da una fitta vegetazione e caratterizzato, sotto il profilo litologico, da falde di detrito che ammantano il pendio sovrastando il locale substrato roccioso.

I dissesti geomorfologici più comuni nell'area sono rappresentati da possibili rotolamenti di blocchi in precario equilibrio già presenti lungo i versanti, con distaccamenti di materiale roccioso dalle pareti.

A quote topograficamente inferiori (200 – 250 m) fino a quella del lago, il pendio assume una conformazione più regolare ed uniforme, in seno alla quale il modellamento antropico si identifica in una successione di terrazzamenti che spezzano la locale acclività (15°-20°). In questo contesto la definizione delle potenziali traiettorie dei blocchi che possono scendere dal pendio appare meno evidente e direttamente influenzata dal microrilievo.

Le pareti rocciose così conformate, incumbenti direttamente o indirettamente sul territorio, con al piede un versante regolare tale da sfavorire il rapido arresto dei blocchi rocciosi che lo percorrono, rappresentano un importante elemento di criticità nei confronti del rischio da caduta massi per l'intera porzione di territorio a nord di Gargnano e in loc. S. Giacomo.

Per una caratterizzazione di dettaglio degli elementi geomorfologici presenti nell'area direttamente interessata dal progetto, si rimanda all'elaborato "Carta Geomorfologica di dettaglio (T00GE00GEOCG03-04)".

8 ***Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)***

Dall'esame della cartografia del PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, integrata con lo Studio di Pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Gargnano, è stata verificata l'interferenza del tracciato con alcune aree a pericolosità geomorfologica.

L'immagine che segue riporta gli elementi PAI ricadenti nell'area di studio in cui si inserisce l'opera in progetto.

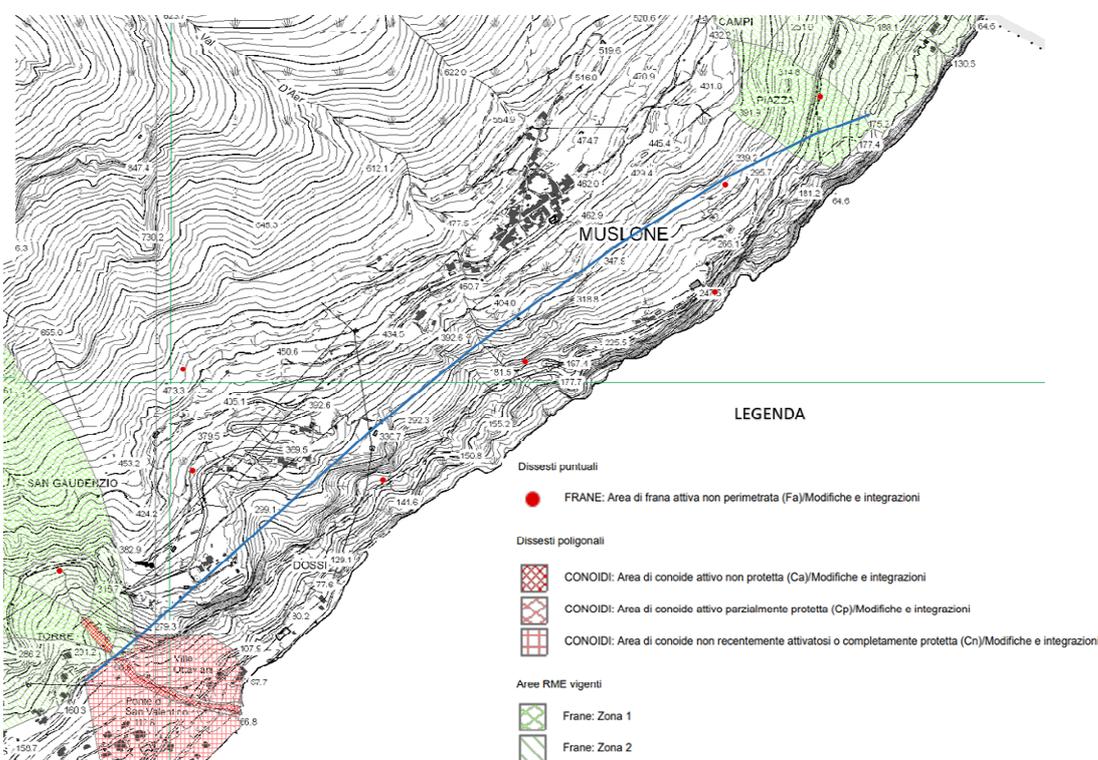


Figura 13 – Stralcio della Cartografia PAI riferita all'area di studio (in blu il tracciato in progetto)

In particolare, il tracciato in progetto interferisce con le seguenti aree:

- Dissesti puntuali di tipo attivo, non perimetrati, dislocati principalmente nell'area centrale del progetto, laddove la galleria assume coperture importanti, anche di 100 m. risultano poco rilevanti dal punto di vista progettuale;

Progetto Definitivo

- Dissesti poligonali, rappresentati da aree di conoide attive non protette (Ca), attive parzialmente protette da opere di difesa o sistemazione (Cp) o non recentemente attivatosi o completamente protette (Cn), che intercettano il tracciato in corrispondenza dell'imbocco sud della galleria in progetto;
- Aree RME vigenti, vale a dire aree a rischio idrogeologico molto elevato, individuate sulla base della valutazione dei fenomeni di dissesto idraulico e idrogeologico, della relativa pericolosità e del danno atteso. Esse sono perimetrate secondo i seguenti criteri di zonizzazione:
 - Zona 1: area instabile o che presenta un'elevata probabilità di coinvolgimento, in tempi brevi, direttamente dal fenomeno e dall'evoluzione dello stesso;
 - Zona 2: area potenzialmente interessata dal manifestarsi di fenomeni di instabilità coinvolgenti settori più ampi di quelli attualmente riconosciuti o in cui l'intensità dei fenomeni è modesta in rapporto ai danni potenziali sui beni esposti

Tali aree intercettano il tracciato in corrispondenza dell'imbocco nord della galleria in progetto e, limitatamente, nella porzione a monte dell'imbocco sud.

Una rappresentazione più chiara dei tratti di progetto interferiti è riportata nella Carta Geomorfologica in scala 1:2.000, allegata al presente studio.

Un'analisi sistematica delle interferenze fra elementi progettuali e aree a pericolosità geomorfologica è contenuta nello "Studio di compatibilità idrogeologica", redatto, ai sensi del Titolo IV "Norme per le aree a rischio idrogeologico molto elevato" delle Norme di Attuazione del PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.

9 ***Inquadramento idrogeologico***

Nella tabella seguente si fornisce una valutazione generale circa il grado di permeabilità delle successioni litologiche del substrato roccioso e, separatamente, dei depositi quaternari.

CARATTERISTICHE DELLE UNITA' IDROGEOLOGICHE		
LITOLOGIA	PERMEABILITA' DELL'ACQUIFERO	SIGNIFICATO IDROGEOLOGICO
Substrato roccioso		
Dolomia principale	Media e media-alta per fessurazione e localmente carsismo	Circolazione idrica sviluppata, con locali decrementi dei valori di permeabilità in corrispondenza di fasce cataclamate
Corso	Media per fessurazione	Circolazione idrica mediamente sviluppata ma in considerazione dei circoscritti affioramenti riveste, ad ampia scala un ruolo idrogeologicamente non determinante nel territorio
Corna	Alta per fessurazione e carsismo	Circolazione idrica molto sviluppata anche con possibilità di lunghi percorsi sotterranei
Scaglia Rossa	Ridotta per fessurazione	Circolazione idrica estremamente irregolare e discontinua
Maiolica Selc.Lombardo F. Navone F. Concesio Medolo	Medio-bassa per fessurazione	Circolazione mediamente sviluppata e dipendente dalla fessurazione
Depositi quaternari		
Detrito di versante e falde di detrito	Elevata per porosità	Circolazione idrica da molto a sviluppata, in relazione alla granulometria grossolana caratterizzante il deposito
Deposito di conoide e alluvioni recenti	Elevata per porosità	Circolazione idrica molto sviluppata, variabile solo localmente in relazione al contenuto di matrice fine eventualmente presente

Progetto Definitivo

Depositi costieri	Media per porosità	Circolazione idrica mediamente sviluppata con locali decrementi fino a ridotta, le variazioni sono legate all'eterogeneità dei depositi (sabbie e ghiaie/ limi/ depositi antropici)
Depositi fluviolacustri /glaciolacustri	Medio-alta per porosità	Circolazione idrica mediamente sviluppata, con locali decrementi in dipendenza del contenuto di matrice fine
depositi glaciolacustri	Ridotta per porosità	Circolazione idrica poco sviluppata in relazione alla granulometria componente i depositi
Depositi morenici	Ridotta per porosità	Circolazione idrica poco sviluppata in ordine alla abbondante componente limosa costituente la matrice

In merito alla circolazione idrica sotterranea ai fini dell'assetto dei sistemi idrogeologici, sulla base dei dati presenti in bibliografia e delle indagini eseguite, sono state delineate le caratteristiche principali, individuando alcune unità idrogeologiche distinte:

- 1) Nella parte mediana, in corrispondenza del filone del M.te Comero, la circolazione idrica sotterranea avviene entro rocce fratturate e carsificate principalmente afferenti alla F.ne della Corna (in minor misura f.ne di Concesio, Medolo e Maiolica). Questo acquifero è limitato inferiormente dalla Formazione impermeabile della Scaglia Lombarda. L'alimentazione idrica di questo settore è verosimilmente legata al serbatoio carsico della Corna ed al serbatoio dolomitico posto a monte che è probabile alimenti in profondità anche la porzione sud orientale del territorio. Le emergenze idriche principali si collocano al contatto tra la Corna e litotipi più impermeabili.
- 2) Nella fascia dell'immediato entroterra, si presume che altri acquiferi possano essere contenuti entro i depositi morenici nelle porzioni sostanzialmente sabbiosi più sabbioso ghiaiose e nei depositi detritici di versante, limitati alla base dal substrato roccioso o da livelli limosi a bassa permeabilità (faldine sospese). In questo caso,

poiché i serbatoi sono piuttosto limitati, gli acquiferi, in maggioranza discontinui, hanno generalmente rese piuttosto basse.

- 3) Un acquifero di limitata entità è presente nei depositi fluvio lacustri di sbarramento, all'interno dei depositi sabbioso limosi glaciolacustri; la permeabilità è tuttavia caratterizzata da valori bassi.
- 4) In corrispondenza delle conoidi e della fascia prossima alla costa è presente un acquifero collegato al corpo lacuale stesso; il lago interferisce quindi con queste falde provenienti da monte nelle zone vicine alla spiaggia.

In riferimento alla galleria in progetto, le condizioni idrogeologiche di scavo previste sono essenzialmente secco-umide, con condizioni bagnate a livello stagionale circoscritte nelle zone degli imbocchi. Limitatamente alle zone di faglia intercettate dal corpo della galleria, durante lo scavo possono verificarsi fenomeni idrogeologici che vanno dagli stillicidi alle venute d'acqua.

Tali condizioni idrogeologiche lungo lo sviluppo della galleria in progetto sono confermate dalle osservazioni lungo i tratti della galleria esistente privi di rivestimento, soprattutto nei tratti dove la distanza tra le due canne è minore.

Limitatamente al sondaggio S5, è stata riscontrata la presenza di falda contenuta all'interno della formazione del Medolo; tale falda, posta ad una quota assoluta di circa 160 m s.l.m., è collocata ben al di sotto della quota di scavo. Seppur non è stata riscontrata la presenza di una falda principale che possa interferire con l'opera in progetto, si ritiene plausibile la presenza di modeste falde sospese in corrispondenza di contrasti di permeabilità fra le diverse litologie presenti.

10 Indagini geognostiche

Nell'ambito del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica, l'area interessata dal progetto della variante in galleria è stata oggetto di una campagna di indagini geognostiche e geofisiche, appositamente programmata, con un grado di approfondimento maggiore per l'alternativa di tracciato 1 denominata "prescelta".

La campagna di indagine in situ, svolta tra i mesi di marzo e luglio 2017, ha consentito di definire, con sufficiente grado di affidabilità, un modello geologico e geomeccanico adeguato al livello progettuale.

A causa della morfologia accidentata nel quale il progetto si inserisce, della difficile accessibilità dei punti di indagine e degli elevati spessori di copertura della galleria in progetto, si sono resi necessari sondaggi variamente inclinati, con una lunghezza variabile, fino ad un massimo di 125 m. Inoltre, in corrispondenza dell'imbocco lato SW, è stato realizzato un sondaggio orizzontale, con azimuth coincidente con la direzione dell'asse della galleria e con una lunghezza di 120 m.

Di seguito vengono esposti i dettagli delle indagini eseguite:

- n. 5 Sondaggi geognostici:

Sond.	Direzione (azimut/inclinaz.)	Ubicazione - pK.	Caratteristiche sondaggio e prove in sito eseguite							
			ml. tot	ml. carotaggio continuo	ml. distruz. nucleo	n. campioni rimaneg.	Prove di permab. (Lugeon)	Prove dilato-metriche	ml. piezom. tubo aperto	ml. indagini videoendosc.
S1_h	N47°/0° (oriz.)	1+810 (imbocco sud)	120	120	-	12	8	6		120
S2_h	N322°/9°	0+815	70	30	40	8	2			
S3_in	N319°/25°	0+750	80	40	40	8	3			
S4_in	N331°/78°	0+245	125	45	80	7	3			
S5_pz	90° (vert.)	0+130	100	40	60	7	3		100	

- n.3 basi simiche a riflessione:

Progetto Definitivo

Stesa sismica a riflessione	ml.
SR1a	289
SR1b	306
SR2	355

Nell'ambito del Progetto Definitivo, le indagini eseguite per il PFTE sono state integrate, nel mese di maggio 2019, da un'ulteriore campagna di indagini geognostiche e geofisiche corredate da prove di laboratorio, per approfondimenti puntuali in corrispondenza degli interventi precedentemente non investigati, come l'incisione della Valle della Torre all'imbocco sud, l'imbocco nord o la o la trincea di scavo lungo la SP per Tignale.

Di seguito, si riporta il dettaglio delle indagini realizzate:

Sondaggi			
Imbocco sud	Imbocco nord	Lunghezza (m)	Direzione
S7		10.00	orizzontale
S9		2.10	inclinato
	S10	18.20	verticale

Stendimenti sismici a rifrazione/riflessione		
Imbocco sud	Imbocco nord	Lunghezza (m)
Linea 1		98.0
	Linea 2	126.0

Rilievi geomeccanici nelle gallerie esistenti	
Galleria	Ubicazione (m. da imbocco sud)
Ciclopi	140
Ciclopi	655
D'Acli	40

Progetto Definitivo

Per i risultati ottenuti dalle indagini geognostiche e geofisiche condotte nell'area e dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati, si rimanda agli elaborati "Documentazione indagini geognostiche (T00GE00GEORE03)", "Documentazione prove di laboratorio (T00GE00GEORE04)" e "Documentazione indagini geofisiche (T00GE00GEORE05)",

Sempre a corredo del Progetto Definitivo, nel mese di maggio 2019 è stato eseguito uno studio delle condizioni geologico – strutturali e geomeccaniche delle pareti rocciose mediante tecnologia laser-scanner o fotogrammetrica, allo scopo di stabilire lo stato di disgiunzione dell'ammasso, la distribuzione dei principali sistemi di discontinuità e le conseguenti condizioni di stabilità, al fine di acquisire i parametri di riferimento utili al dimensionamento delle eventuali opere di protezione. Il rilievo ha riguardato quattro diverse aree, due delle quali alla sommità dell'imbocco sud della nuova galleria naturale in progetto e altre due nei tratti a cielo aperto compresi tra i tratti delle gallerie naturali esistenti, già parzialmente oggetto, in passato, di installazione di opere di protezione passiva. Inoltre, è stato eseguito un modello digitale di superficie di dettaglio con l'ausilio di drone, sulla porzione a monte della S.P. per Tignale e su un'ampia area situata a nord-est dell'imbocco nord della galleria naturale in progetto, seppur in apparente posizione di non interferenza, interessata da un diffuso fenomeno gravitativo. Le modalità operative adottate e i risultati di tali studi sono contenuti negli elaborati "Documentazione rilievi geostrutturali in remoto (T00GE00GEORE06)" e "Documentazione rilievo geomorfologico con drone (T00GE00GEORE07)".

11 Sismicità

11.1 Sismicità storica

Per l'analisi della sismicità storica sono stati analizzati gli eventi sismici del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani del 2015 (CPTI15) consultabile dal sito dell'INGV.

Nella tabella seguente sono riportati i dati parametrici omogenei, sia macrosismici che strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima ≥ 5 ovvero magnitudo ≥ 4.0 , per una finestra temporale tra il 1000 e il 2014, entro un raggio di 10 km rispetto alla zona epicentrale del Comune di Gargnano entro il quale l'opera in progetto si inserisce.

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
5	1866 08 11 23	Monte Baldo	33	7	4,96
5	1876 04 29 10 49	Monte Baldo	25	7	5,07
3-4	1876 05 29 10 30	Monte Baldo	4		
5	1879 02 14	Garda occidentale	13	5	4,62
4	1887 02 23 05 21 50.00	Liguria occidentale	1511	9	6,27
5-6	1891 06 07 01 06 14.00	Valle d'Illasi	403	8-9	5,87
5	1892 01 05	Garda occidentale	93	6-7	4,96
3-4	1898 03 04 21 05	Parmense	313	7-8	5,37
NF	1900 03 04 16 55	Asolano	98	6-7	5,05
5-6	1901 10 30 14 49 58.00	Garda occidentale	289	7-8	5,44
4-5	1907 04 25 04 52	Veronese	122	6	4,79
NF	1909 12 24 18 40	Garda occidentale	39	5	4,17
5	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5,63
3-4	1931 04 14 22 13	Valli Giudicarie	160	6	4,77
4	1932 02 19 12 57 11.00	Garda orientale	21	7-8	5,16
5	1936 07 31 14 46 03.00	Garda orientale	15	5	4,21
3-4	1960 02 19 02 30	Valli Giudicarie	50	6	4,81
3	1961 11 23 01 12 05.00	Prealpi bergamasche	119	6-7	4,86
5	1975 01 11 15 54	Monte Baldo	13	5-6	4,42
4	1976 12 13 05 24	Garda settentrionale	128	7	4,9
6	1987 05 24 10 23 24.76	Garda occidentale	29	6	4,63
4	1989 09 13 21 54 01.50	Prealpi Vicentine	779	6-7	4,85
2-3	2001 07 17 15 06 15.27	Val Venosta	657	5-6	4,78
5-6	2004 11 24 22 59 38.55	Garda occidentale	176	7-8	4,99

11.2 Pericolosità sismica

Tale aspetto è da intendersi come "grado di probabilità che si verifichi, in una determinata area ed in un determinato periodo di tempo, un evento sismico dannoso con l'insieme degli effetti geologici e geofisici ad esso connessi, senza alcun riguardo per le attività umane". L'analisi del livello di pericolosità distingue quindi due fasi: la definizione della pericolosità sismica di base, in condizioni di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), in assenza di discontinuità stratigrafiche e/o morfologiche; l'analisi della pericolosità locale, ossia della modificazione locale dello scuotimento sismico prodotta dalle reali caratteristiche del terreno, dalla successione litostratigrafia locale, dalle condizioni morfologiche, unitamente alla possibilità di sviluppo di effetti cosismici: fagliazione superficiale, fenomeni di densificazione, fenomeni di liquefazione, cedimenti differenziali, instabilità dei pendii e frane indotte dal sisma, movimenti gravitativi profondi, tsunami, ecc..

Negli ultimi anni si sono succeduti provvedimenti normativi ed amministrativi per la definizione delle caratteristiche di pericolosità sismica locale.

L'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", rappresentò una prima risposta alla necessità di aggiornare gli strumenti normativi per la riduzione del rischio sismico. Con tale ordinanza si stabilirono i criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la nuova classificazione sismica dei comuni italiani, successivamente integrati e aggiornati dall'OPCM 3519/06. L'intero territorio nazionale venne suddiviso in 4 zone, sulla base di un differente valore dell'accelerazione di picco a_g su terreno a comportamento rigido, derivante da studi

predisposti dall'INGV-DPC. Gli intervalli di accelerazione (a_g) con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni sono stati rapportati alle 4 zone sismiche indicate dall'OPCM 3519/06 (tabella 1).

ZONA SISMICA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI (a_g)
1	$a_g > 0.25$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$

Tabella 1. Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido

Tale classificazione è basata su un'approssimazione dei valori e della distribuzione del parametro a_g secondo i limiti amministrativi (criterio "zona dipendente").

La rappresentazione di sintesi delle caratteristiche sismologiche e sismogenetiche del territorio è contenuta nella "Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale" dell'Italia, elaborata secondo l'Ordinanza PCM del 28 aprile 2006, n. 3519.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 e poi con il D.M. 17 gennaio 2018 la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto (accelerazione del moto del suolo, intensità al sito, spettro di sito) viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento.

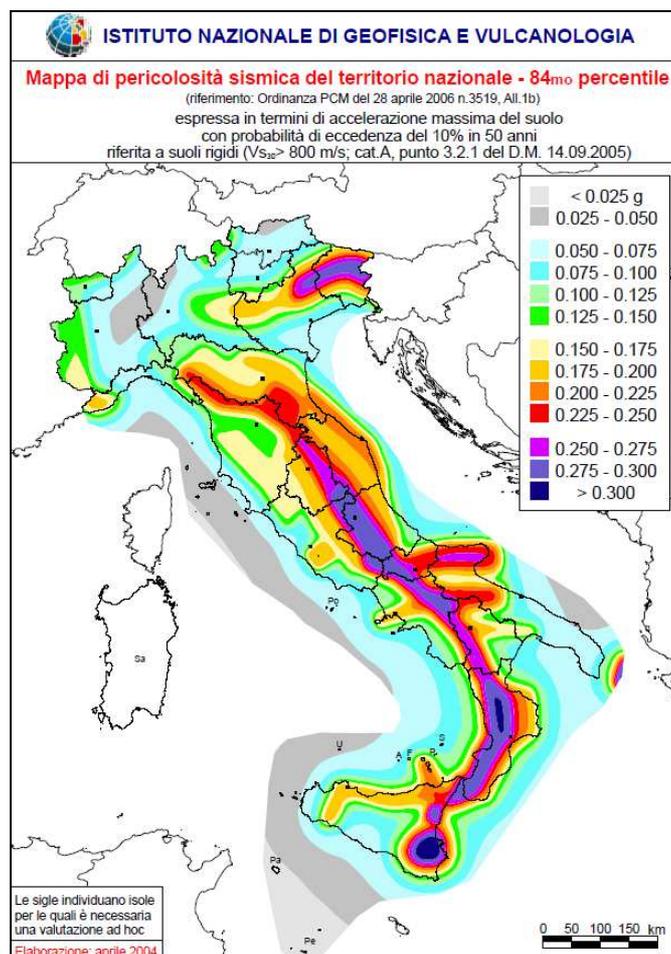


Figura 6 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

L'approccio "sito dipendente" della nuova normativa permette di riferirsi, per ogni costruzione, ad un'accelerazione di riferimento propria in relazione sia alle coordinate geografiche dell'area di progetto, sia alla vita nominale dell'opera stessa. In quest'ottica la classificazione sismica del territorio rimane utile, dal punto amministrativo, per la gestione pianificatoria e di controllo dello stesso.

Per quanto concerne i valori di pericolosità sismica del territorio, è stata consultata la cartografia prodotta dal Gruppo di Lavoro MPS (2004) che riporta la PGA (*peak ground acceleration*, componente orizzontale) espressa in termini di accelerazione massima del suolo

con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s):
"Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004".

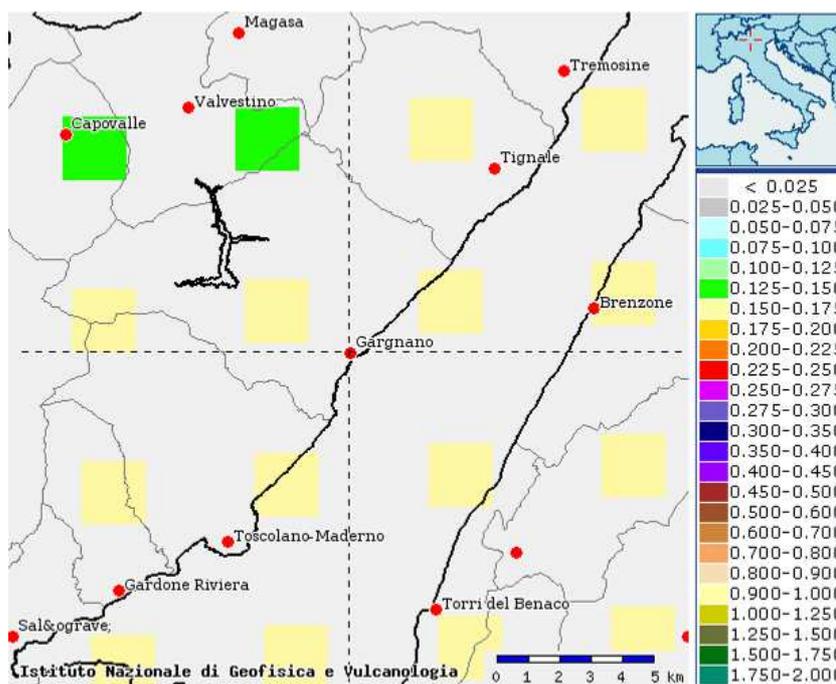


Figura 7 – Estratto dalla carta dei "Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale" riferita all'area di interesse progettuale (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

In particolare, il valore massimo della PGA su roccia nella zona di interesse progettuale, corrispondente ad una probabilità del 10% in 50 anni, può essere compresa tra i valori 0.150 - 0.175.

Infine, attraverso la consultazione del DISS "Database of Individual Seismogenic Sources", realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, è stato possibile inquadrare l'area di studio sotto il profilo sismogenetico. Il DISS contiene molte informazioni

sulle sorgenti sismogenetiche italiane con un potenziale per terremoti di $M > 5.5$, oltre a dati geografici, sismologici, geologici e tettonici.

Da questo applicativo si evince che il territorio del Comune di Gargnano ricade nei pressi dell'area denominata: *ITIC048 Giudicarie*.

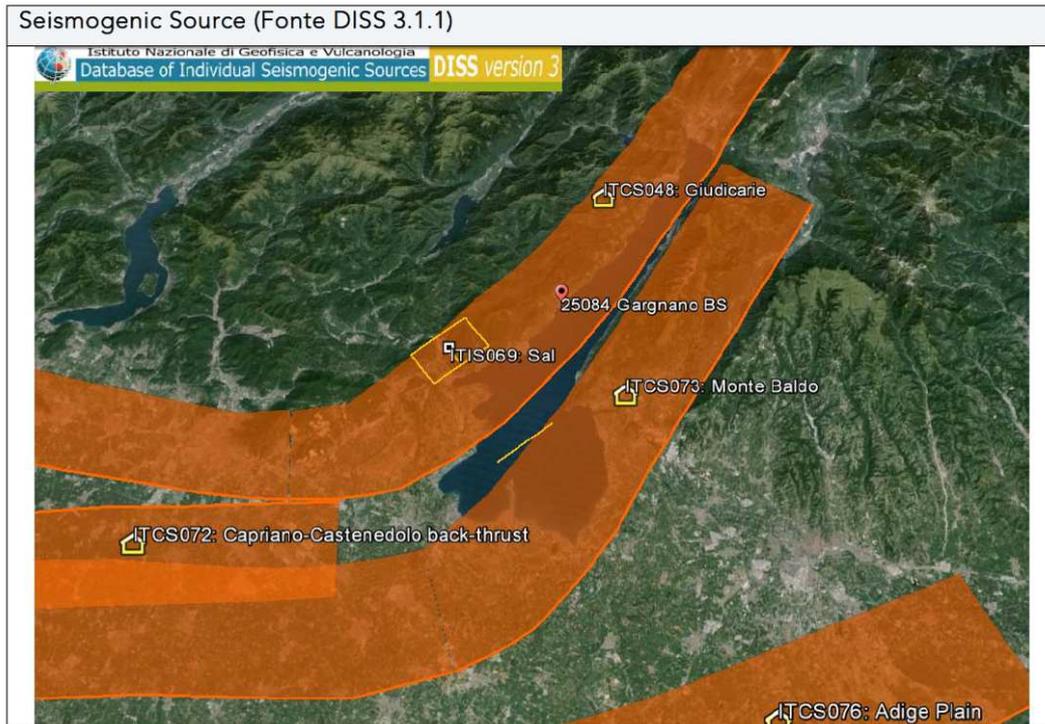


Figura 8 – Mappa sismogenetica dell'area ottenuta dalla consultazione del DISS "Database of Individual Seismogenic Sources", realizzato dall'INGV.

12 Modello Geologico di Riferimento

Sulla base delle informazioni ottenute dalla bibliografia, dai dati del rilevamento e dalle indagini geognostiche e geofisiche eseguite, è stato possibile definire il modello geologico del sottosuolo della Galleria Naturale in progetto e della zona degli imbocchi. Inoltre è stato ricostruito il modello geologico della S.P. per Tignale dove verrà realizzata un'importante trincea di scavo.

Come già descritto in precedenza l'area in studio è stata caratterizzata inizialmente da una tettonica compressiva che ha portato alla formazione di pieghe e sovrascorrimenti, per poi essere interessata da una tettonica di tipo distensiva che ha determinato la disarticolazione delle formazioni calcareo e siliceo-marnose.

In particolare nell'area di interesse è presente, per tutta la porzione posta a nord del tracciato, un'ampia sinclinale con andamento circa NE-SW con nucleo della piega costituito dalla formazione più recente della Scaglia Rossa. Man mano che ci si sposta in direzione della galleria di progetto si passa ai termini più antichi fino ad arrivare alla formazione del Medolo.

Gli strati delle formazioni, misurati direttamente in affioramento, mostrano un'immersione a nord-ovest, con inclinazioni variabili comprese tra i 15° ed i 40°; pertanto, procedendo lungo l'asse della galleria, tali strati saranno orientati secondo una disposizione del tipo "traverso-banco".

L'area è inoltre caratterizzata da diffusi sistemi di faglie a medio-alto angolo, perlopiù distensive, immergenti a nord-est, spesso mascherate in superficie da modeste coltri di alterazione e/o depositi detritici.

Tali disturbi tettonici sono stati rilevati direttamente in campagna oppure definiti attraverso indagini geofisiche e riportati in cartografia, rispettivamente, con colore "rosso" o "marrone".

Nella porzione di territorio posta a sud dell'abitato di Muslone è stato rilevato in corrispondenza della strada esistente un sovrascorrimento che segue l'andamento delle curve di livello ed immerge di 25° verso NW. Tale sovrascorrimento è stato successivamente dislocato dal sistema di faglie dirette sopra descritte.

Dal punto di vista idrogeologico, limitatamente al sondaggio S5, è stata riscontrata la presenza di falda contenuta all'interno della formazione del Medolo; tale falda, posta ad una quota assoluta di circa 160 m s.l.m., è collocata ben al di sotto della quota di scavo. Seppur non è stata riscontrata la presenza di una falda principale che possa interferire con l'opera in progetto, si ritiene plausibile la presenza di modeste falde sospese in corrispondenza di contrasti di permeabilità fra le diverse litologie presenti.

Inoltre, a seguito di precipitazioni meteoriche, sono possibili delle venute d'acqua in corrispondenza dei piani di faglia e delle zone a maggior fratturazione dell'ammasso roccioso.

Nella tabella di seguito riportata vengono riassunte le informazioni relative al modello geologico di riferimento del sottosuolo riferito al piano dei centri della Galleria naturale, con particolare riferimento alle litologie attraversate, alle zone tettonizzate e alle condizioni idrogeologiche.

12.1 Galleria Naturale (L=1.800 m)

	Tratto (pk)	
Indagini di riferimento		Sondaggi S1_h, S2_h, S3_in, S4_in, S5_pz e stese sismiche a riflessione SR1a, SR1b ed SR2 (anno 2017); sondaggi S7_h ed S10 e stese sismiche a rifrazione/riflessione Linea1 e Linea2 (anno 2019).
Previsione di scavo	0+015 ÷ 0+620	Formazione del <u>Medolo (FM)</u> : Calcari, per lo più marnosi, di colore chiaro o scuro, ad evidente stratificazione, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, con letti e noduli di selce e con intercalazioni più o meno abbondanti di marne, fino ad argilliti grigio verdastre. Il tratto compreso tra le pp.kk 0+15 e 0+25 risulta essere intensamente fratturato.
	0+620 ÷ 1+805	Formazione di <u>Concesio (FC)</u> : Calcari, anche marnosi e talora più o meno detritici, da grigiastri a nocciola, frequentemente selciosi, a stratificazione evidente, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, con intercalazioni di marne grigio verdastre talora abbondanti. Il tratto compreso tra le pp.kk 1+795 e 1+805 risulta essere intensamente fratturato.
Faglie ed altri elementi tettonici derivate da rilevamento	0+673 0+715 0+772 0+830 0+985	Piani di faglia e sovrascorrimenti individuati da rilevamento geologico di campagna, con associate zone di fratturazione (cataclasite) di spessore variabile compreso tra 12 metri e 22 metri.
Faglie ed altri elementi tettonici definite da indagine geofisica	0+190 0+330 0+413 0+522 1+151 1+247 1+537 1+589	Piani di faglia individuati da indagine sismica a riflessione, con associate zone di fratturazione (cataclasite) di spessore variabile compreso tra 22 metri e 32 metri.

Progetto Definitivo

Problematiche idrogeologiche		<p>Limitatamente al sondaggio S5, è stata riscontrata la presenza di falda contenuta all'interno della formazione del Medolo, alla quota assoluta di circa 160 m slm. Seppur non è stata riscontrata la presenza di una falda principale che possa interferire con l'opera in progetto, si ritiene plausibile la presenza di modeste falde sospese in corrispondenza di contrasti di permeabilità fra le diverse litologie presenti.</p> <p>A seguito di precipitazioni meteoriche, sono possibili venute d'acqua e stillicidi in corrispondenza, rispettivamente, dei piani di faglia e delle zone cataclamate caratterizzate da alta permeabilità. L'ammasso roccioso con permeabilità definita medio-alta, può risultare bagnato nelle aree di imbocco della galleria a seconda dei diversi periodi dell'anno.</p> <p>Le restanti porzioni di terreno in cui verrà realizzata la galleria sono caratterizzate da permeabilità variabile, da medio a medio-alta, e risultano sostanzialmente asciutte o umide.</p>
Condizioni degli imbocchi	Condizione imbocco Sud	<p>Si riscontra la presenza dell'ammasso roccioso, con strati immergenti a NW aventi inclinazione poco superiore ai 20°, con alto grado di fratturazione per uno spessore di circa dieci metri a partire dal punto di imbocco. L'ammasso roccioso ha una permeabilità medio-alta e può presentare circolazione idrica in occasione di precipitazioni meteoriche.</p>
	Condizione imbocco Nord	<p>L'ammasso roccioso presenta strati immergenti a NW aventi inclinazione di circa 30° e un alto grado di fratturazione. La fascia maggiormente fratturata è compresa tra le pp.kk. 0+15 – 0+25. L'ammasso roccioso ha una permeabilità medio-alta e può essere interessato da circolazione idrica in occasione di eventi piovosi.</p>

12.2 S.P. per Tignale – Ramo 1

Indagini di riferimento	Sondaggio S9 e stesa sismica a rifrazione/riflessione Linea1 (anno 2019).
Previsione di scavo	<p>Formazione del <u>Medolo (FM)</u>: Calcari, per lo più marnosi, di colore chiaro o scuro, ad evidente stratificazione, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, con letti e noduli di selce e con intercalazioni più o meno abbondanti di marne, fino ad argilliti grigio verdastre.</p> <p>Dalla pk. 0+43 la formazione calcarea è ricoperta da una coltre di detrito cementato, con spessore che aumenta verso la fine del ramo fino ad oltre i 2 m; essa è rappresentata da ghiaie e sabbie, con ciottoli e trovanti, soggetti a cementazione che fornisce al deposito consistenza litoide o pseudolitoide.</p> <p>Da pk. 0+43 a pk. 0+86 le formazioni litoidi o pseudolitoide sottostanti sono ricoperte da una coltre detritica sciolta, eterometrica ed eterogenea, di modesto spessore</p>

13 Bibliografia

- Dott.ssa Loredana Zecchini (Marzo 2010) – Comune di Gargnano – Piano del Governo del Territorio – Relazione geologica;
- Dott.ssa Loredana Zecchini (Marzo 2010) – Comune di Gargnano – Piano del Governo del Territorio – Carta geologica
- GeoPortale Regione Lombardia;
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>
- Fulvio Zezza, La Strada Gardesana Occidentale, tra la progettazione del primo '900 e la trasformazione di fine secolo.
- MURST, GNDCI – Atti del convegno "Ricerca e protezione delle risorse idriche sotterranee delle aree montuose, Vol 2 (Brescia, 24-25 Ottobre1991)