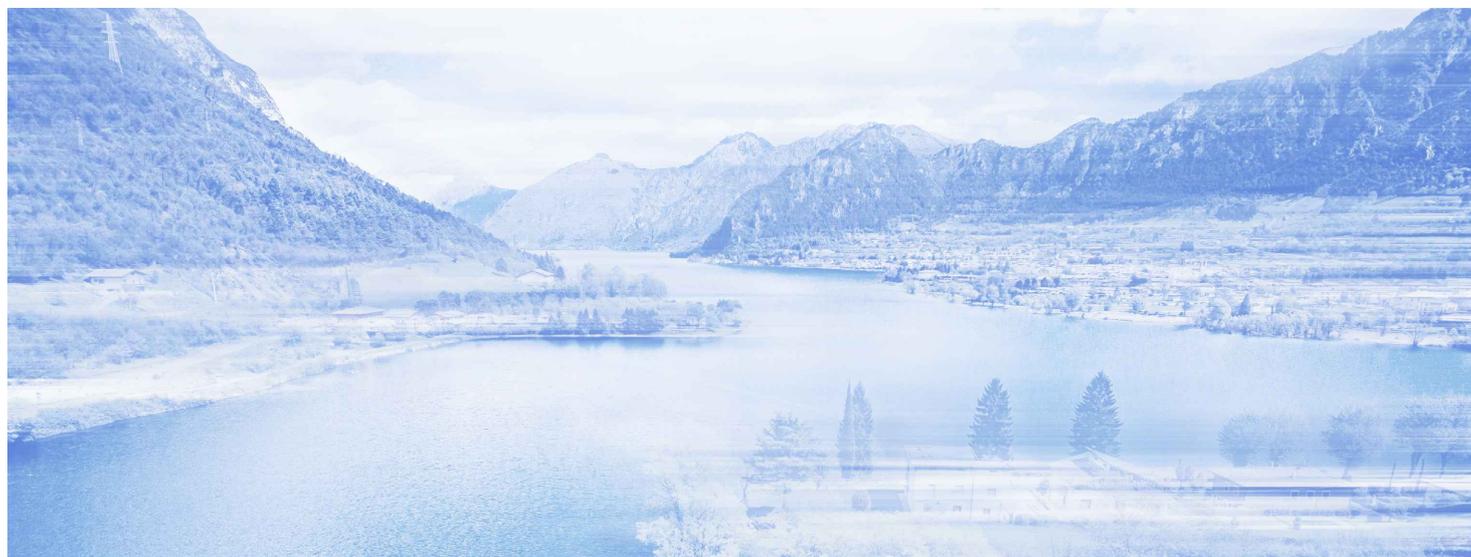


# NUOVE OPERE DI REGOLAZIONE PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL LAGO D'IDRO



RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROGETTISTI



## PROGETTO ESECUTIVO

### ELABORATI GENERALI

GEOLOGIA-IDROGEOLOGIA-GEOTECNICA-SISMICA

Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica

|                     |               |                            |                 |                          |                      |                                |
|---------------------|---------------|----------------------------|-----------------|--------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Fase<br>PE          | Ambito<br>000 | Opera<br>GEO               | Argomento<br>GG | Progressivo<br>001       | Tipo elaborato<br>RH | Revisione<br>A                 |
| Redatto<br>G. Nigro |               | Controllato<br>L. Griffini |                 | Approvato<br>L. Griffini |                      | Scala<br>-<br>Data<br>18/10/22 |

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO



Ing. M. Vergnani

RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE  
ALPINA S.p.A.

Ing. Paola Erba

PROGETTAZIONE GEOLOGIA  
STUDIO GRIFFINI SRL

Geol. Lamberto Griffini

| REV. | DATA     | OGGETTO REVISIONE | REDATTO | CONTROLLATO | APPROVATO |
|------|----------|-------------------|---------|-------------|-----------|
| A    | 18/10/22 | Prima emissione   | NG      | GL          | GL        |
| -    | -        | -                 | -       | -           | -         |
| -    | -        | -                 | -       | -           | -         |
| -    | -        | -                 | -       | -           | -         |



## SOMMARIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUZIONE</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>RIFERIMENTI</b>   | <b>5</b>  |
| 2.1      | Normative e standard   | 5         |
| 2.2      | Elaborati di Progetto Preliminare                            | 5         |
| 2.3      | Elaborati di Progetto Definitivo                             | 5         |
| 2.4      | Elaborati di Progetto Esecutivo 2018                         | 5         |
| 2.5      | Elaborati di progetto esecutivo 2022                         | 5         |
| 2.6      | Bibliografia   | 6         |
| <b>3</b> | <b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b>                               | <b>7</b>  |
| 3.1      | Caratteri geologici generali di area vasta                   | 7         |
| 3.2      | Caratteristiche geologico strutturali                        | 8         |
| 3.3      | Caratteri geologici di dettaglio                             | 10        |
| 3.3.1    | Arenarie di Val Sabbia (AVS)                                 | 10        |
| 3.3.2    | Formazione di San Giovanni Bianco (SGB)                      | 11        |
| 3.3.3    | Formazione di Castro Sebino (CSO)                            | 13        |
| 3.3.4    | La Dolomia Principale  | 13        |
| 3.4      | Depositi quaternari di copertura                             | 16        |
| 3.4.1    | Depositi detritici eterogenei (fluvioglaciali)               | 16        |
| 3.4.2    | Depositi di versante   | 16        |
| 3.4.3    | Depositi alluvionali e alluvionali terrazzati                | 17        |
| 3.4.4    | Depositi lacustri  | 17        |
| <b>4</b> | <b>CARATTERI GEOMORFOLOGICI E DI DINAMICA GEOMORFOLOGICA</b> | <b>18</b> |
| <b>5</b> | <b>CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE</b>                        | <b>21</b> |

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione di Progetto Esecutivo contiene la descrizione dei caratteri geologici, tettonici e strutturali, geomorfologici e idrogeologici generali dell'area vasta e quelle di maggior dettaglio specifiche dell'area direttamente interessata dalle "Nuove opere di regolazione per la messa in sicurezza del Lago d'Idro" da cui è derivato e descritto il Modello Geologico di Riferimento (MGR) specifico per il progetto esecutivo di cui la presente relazione è parte integrante.

L'area ove si colloca la galleria idraulica in progetto e le opere accessorie si trova nella parte nord-orientale della provincia di Brescia, nei comuni di Idro e di Lavenone ed occupa la parte terminale di estuario del Lago d'Idro e il tratto immediatamente a valle dell'emissario naturale costituito dal Fiume Chiese.

Attualmente, il Lago d'Idro è controllato da opere di sbarramento e regolazione, costituite da una traversa mobile e da una galleria di svaso, nota come "Galleria degli Agricoltori".

Tramite una seconda galleria, inoltre, le acque del lago vengono derivate dall'impianto idroelettrico Enel – centrale di Vobarno – che ha una portata massima pari a 30 m<sup>3</sup>/s.

La galleria di scarico attualmente esistente (Galleria degli Agricoltori) è stata interessata da ripetuti processi d'instabilità del cavo che, oltre ad averne limitato la portata idraulica, ne hanno fortemente diminuito il grado di affidabilità statica.

Immediatamente a valle dell'abitato di Idro è presente un antico processo di instabilità di versante lento ma attivo che interessa la sponda sinistra del Fiume Chiese, noto come paleofrana di Idro.

L'inquadramento geologico ed il relativo MGR (Modello Geologico di Riferimento) per il progetto qui descritti, sono stati elaborati sulla base degli studi ed indagini svolte a supporto del Progetto Preliminare (2007), del Progetto Definitivo (2009) e del progetto Esecutivo (2018), di cui il presente costituisce la revisione generale, nonché sulla base degli approfondimenti specifici condotti nell'ambito del presente progetto esecutivo, mediante un'apposita campagna d'indagini integrative.

Inoltre, a supporto delle elaborazioni per la definizione del MGR sono stati utilizzati gli studi ed indagini pregresse relative alla paleofrana (rif. 29) e quelli condotti per lo studio dei processi d'instabilità che hanno interessato la galleria degli Agricoltori contenuti all'interno della relazione sulle indagini del Progetto Preliminare (rif. 6), oltre naturalmente all'ampia bibliografia scientifica a carattere geologico i.s. che riguarda l'area.

Gli studi geologici condotti nelle precedenti fasi di progettazione sono stati condotti con un elevato grado di approfondimento che ha permesso di delineare le caratteristiche geologiche i.s. principali dell'area. Tuttavia, la complessità dell'area ha richiesto ulteriori approfondimenti allo scopo di integrare le conoscenze e limitare le incertezze connesse principalmente alla presenza di contatti eteropici e di tipo transizionale tra le diverse unità ed anche alla presenza di elementi strutturali le cui giaciture ed estensioni non sono definite e non sono compiutamente descritti neppure nella documentazione scientifica più recente.

Sulla base dei nuovi dati rilevati anche mediante ulteriori sondaggi di cui uno profondo 160 m e sulla base di una revisione critica dei rilevamenti in sito pregressi, è stato ricostruito il Modello Geologico di Riferimento che, seppure confermi il precedente nelle sue linee generali, apporta nuove integrazioni molto significative ai fini del presente Progetto Esecutivo.

I risultati delle nuove elaborazioni sono descritti nella presente relazione e rappresentati graficamente in appositi documenti comprendenti:

- carta geologico strutturale;
- carta della geomorfologica;
- carta idrogeologica;
- Profilo geologico in asse al tracciato della galleria di by-pass idraulico

- sezioni geologiche interpretative.

## 2 RIFERIMENTI

### 2.1 Normative e standard

1. DM 26.06.2014 – Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)
2. Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni
3. Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 del Consiglio Sup. LL. PP. – Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 17 Gennaio 2018
4. Regione Lombardia - Direzione Generale Territorio e Urbanistica (sett. 2011) – "Linee di indirizzo per la progettazione delle opere di difesa del suolo in Lombardia".
5. Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio – Norme Tecniche di Attuazione

### 2.2 Elaborati di Progetto Preliminare

6. E00609A.E.X00.RI000.0.IS.IG.002.0 – Documentazione indagini geognostiche – Progetto Preliminare

### 2.3 Elaborati di Progetto Definitivo

7. E00609A.E.X00.RI000.0.IS.IG.003.0 – Documentazione indagini geognostiche – Progetto Definitivo

### 2.4 Elaborati di Progetto Esecutivo 2018

8. E00609A.E.X00.RI000.0.IS.RT.001.0 - Relazione Tecnica Indagini Geognostiche
9. E00609A.E.X00.RI000.0.IS.PG.004.0 – Planimetria indagini geognostiche
10. E00609A.E.X00.RI000.0.IS.GG.CG.003.0 – Carta geologica
11. E00609A.E.X00.RI000.0.IS.GG.CE.004.0 – Carta geomorfologica
12. E00609A.E.X00.RI000.0.IS.GG.CD.005.0 – Carta idrogeologica
13. E00609A.E.X00.RI000.0.IS.GG.FG.006.0 – Profilo geologico in asse galleria
14. E00609A.E.X00.RI000.0.IS.GG.SG.007.0 – Sezione geologica 1
15. E00609A.E.X00.RI000.0.IS.GG.SG.008.0 – Sezione geologica 2
16. E00609A.E.X00.RI000.0.IS.GG.SG.009.0 – Sezione geologica 3
17. E00609A.E.X00.RI000.0.IS.GG.SG.010.0 – Sezione geologica 4
18. E00609A.E.X00.RI000.0.IS.GG.SG.011.0 – Sezione geologica Traversa di sbarramento

### 2.5 Elaborati di progetto esecutivo 2022

1. PE-000-GEO-IN-001-RT-A – Relazione tecnica indagini geognostiche
19. PE-000-GEO-GG-001-RH-A – Relazione geologica ed idrogeologica
20. PE-000-GEO-IN-002-PL-A – Planimetria ubicazione indagini geognostiche e geofisiche
21. PE-000-GEO-GG-002-RB-A – Relazione di caratterizzazione geomeccanica

## 2.6 Bibliografia

22. AA.VV. – “Carta Geologico-Strutturale del Trentino” - (2018) – Prov. Autonoma del Trentino - Serv. Geologico
23. F. Jadoul, F. Berra, S. Frisia, T. Ricchiuto, P. Ronchi – “*Stratigraphy, Paleogeography and genetic model of late Carnian Carbonate Breccias (Castro Formation, Lombardy, Italy)*” – Riv. It. Paleont. Strat., v. 97, n. 3-4, pp- 355-392, 1992
24. E. Garzanti, M. Gnaccolini, F. Jadoul – “*Anatomy of semiarid coastal system: The upper Carnian of Lombardy (Italy)*” - Riv. It. Paleont. Strat., v. 101, n. 1, pp- 17-36, 1995
25. Castellarin A. et al. (1986) - Structural and Kinematic analysis of the Giudicarie deformation belt. Implications for compressional tectonics of Southern Alps;
26. - Castellarin A. et al. (1982) - Geologia della Linea delle Giudicarie Sud (tra Pieve di Bono e Tione);
27. BARONI C., VERCESI P.L. (1987) - Neotettonica del territorio bresciano: stato delle conoscenze. Fondazione Bresciana per la Ricerca Scientifica, Ed. Ramperto, Brescia.
28. BONI A. & CASSINIS G. (1973) - Carta geologica delle Prealpi Bresciane a sud dell'Adamello (note illustrative della legenda stratigrafica). Atti Ist. Geol. Univ. Pavia.
29. Studio Griffini (2017) – Modellazione geotecnica e individuazione delle soglie di criticità nelle aree di frana monitorate dal CMG di ARPA – Area di Idro (Comune di Idro, BS)

## 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

### 3.1 Caratteri geologici generali di area vasta

Le unità geologiche che affiorano nella regione sono rappresentate dalle unità della successione sedimentaria dalla sequenza Carnico-Norica, rappresentata da:

- Arenaria di Val Sabbia (Carnico Medio - Inferiore)
- Formazione di San Giovanni Bianco (Carnico Superiore)
- Formazione di Castro Sebino (Carnico Superiore)
- Dolomia Principale (Norico Inferiore-Medio)

In questo intervallo di tempo prevalsero su vaste aree condizioni di mare relativamente basso o marino-marginali, in un contesto generale europeo e nord-africano dominato da condizioni di mare di bassa profondità con ad elevata salinità e tipicamente differenziata per la presenza di una fase di regressione marina generalizzata, con acme nel Carnico, che ha permesso localmente la formazione di depositi evaporitici (San Giovanni Bianco in Facies evaporitica), deposizioni di mare poco profondo e apporti terrigeni (San Giovanni Bianco in facies siltitica e in facies arenacea). Queste sequenze sono state causate da fattori climatici a livello globale, con una successiva tendenza trasgressiva nel Norico-Retico; la complessità dell'area è stata influenzata anche dall'instaurarsi di una fase tettonica sin-sedimentaria compressiva molto sviluppata nel Carnico, accompagnata da un vulcanismo di arco magmatico, cui è seguita una relativa stasi nel Norico e una tettonica di tipo distensivo nel Retico.

Di seguito sono descritte le caratteristiche litologiche e stratigrafiche principali delle diverse unità.

- **Arenaria di Val Sabbia (AVS)** - (Carnico Medio - Inferiore): arenarie verdi e rosse, talora grigio verdastre, marne arenacee con intercalazioni calcareo marnose compatte, con abbondanti noduli calcarei e cloritici. Talora conglomerati a ciottoli calcareo marnosi con locali intercalazioni di argilliti marnose. Le arenarie mostrano un'evidente stratificazione esaltata dalle variazioni cromatiche.
- **Formazione di San Giovanni Bianco (SGB)** (Carnico Superiore): all'interno dell'unità si riconoscono le seguenti facies:
  - Facies arenacea (SGB<sub>aren</sub>): Arenarie e peliti da verdi a rosse;
  - Facies terrosa (o pelitica) (SGB<sub>ter</sub>): argilliti verdastre, talora rossicce, sottilmente stratificate ed alternate a dolomie marnose e marne grigie, con patina di alterazione giallastra;
  - Facies evaporitica (SGB<sub>evap</sub>): peliti con lenti e livelli di evaporiti (gesso, anidrite e carniole);
- **Formazione di Castro Sebino (CSO)** (Carnico superiore): brecce calcaree e subordinati calcari. Lo spessore della Formazione varia tra 100 m ad oltre 250 m;
- **Dolomia Principale (DP)** (Norico Inferiore-Medio): Dolomie in prevalenza grigio chiare, stratificate in grossi banchi con orizzonti bioclastici o con stratificazione indistinta.

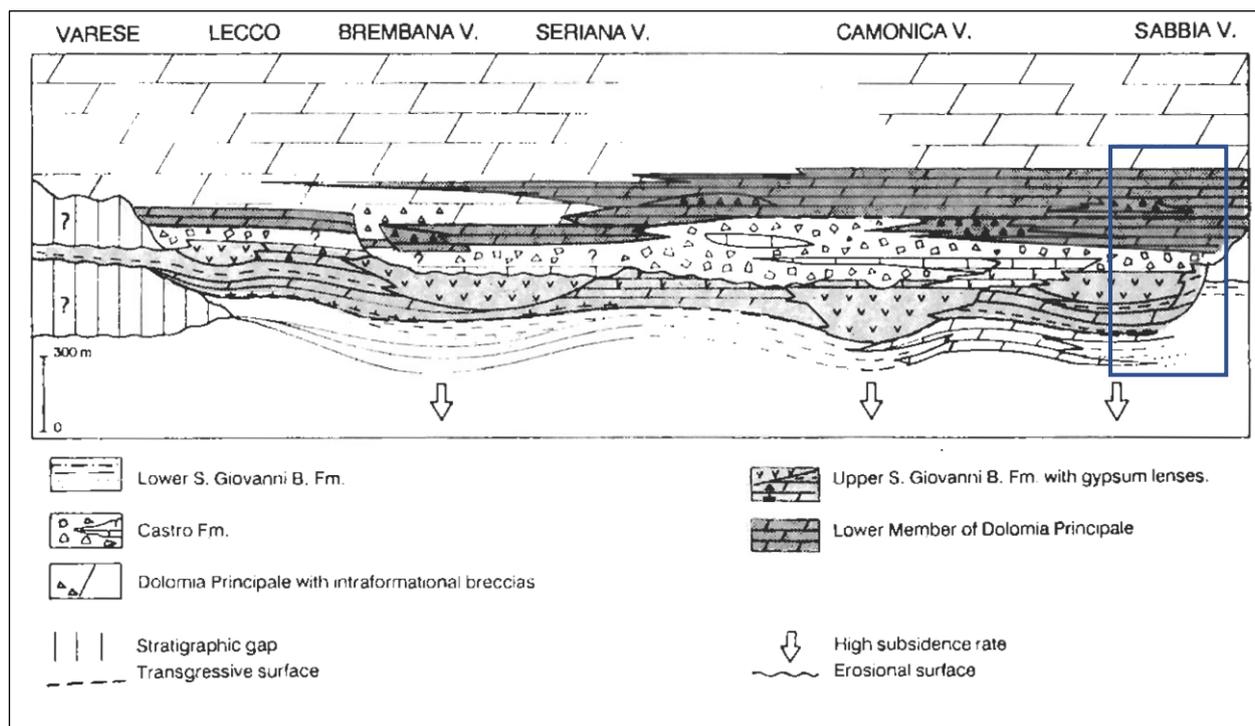


Figura 1 – Schema stratigrafico della successione del Carnico superiore della Lombardia (da F. Jadoul et al. (Rif. 23))

## 3.2 Caratteristiche geologico strutturali

Le principali famiglie di linee tettoniche presenti in questo settore delle Prealpi Bresciane sono riferibili al Sistema Triumplino o Orobico e al Sistema Giudicariense: le prime hanno direzione che varia da E-W a ENE-WSW, le seconde hanno direzione all'incirca NNE-SSW.

Il lineamento strutturale più importante presente nella zona di progetto è costituito da una faglia nota come flessura-faglia dell'Abbioccolo (rif. **Figura 3**) che, mediante la faglia di Cecino, avente direzione E-W, potrebbe congiungersi al sovrascorrimento principale di Tremosine e Tignale-Costa, affiorante in varie zone sulla sponda occidentale del Lago di Garda. Il sovrascorrimento ha provocato una traslazione tettonica delle dolomie noriche (Dolomia Principale l.s.) da NW verso SE al di sopra di un orizzonte di scollamento impostato nelle facies evaporitiche carniche (Formazione di S. Giovanni Bianco).

Attraverso le indagini integrative condotte nel 2018 e nel 2022, nella zona ove è ubicato il tracciato della nuova galleria in progetto, è stata individuata una faglia con direzione NNE-SSW e con immersione presunta verso ESE e che può essere associata quindi al sistema Giudicariense.

Lo stile tettonico è caratterizzato dalla presenza di un sistema a pieghe ad ampio raggio che nell'area d'interesse assume la forma di anticlinale asimmetrica molto blanda, con l'asse spostato in direzione del Lago d'Idro; la giacitura del braccio orientale dell'anticlinale, secondo i dati rilevati nelle riprese BOTV nel sondaggio S01-22, presenta una giacitura prevalente della stratificazione NE con inclinazione  $45 \div 60^\circ$  circa

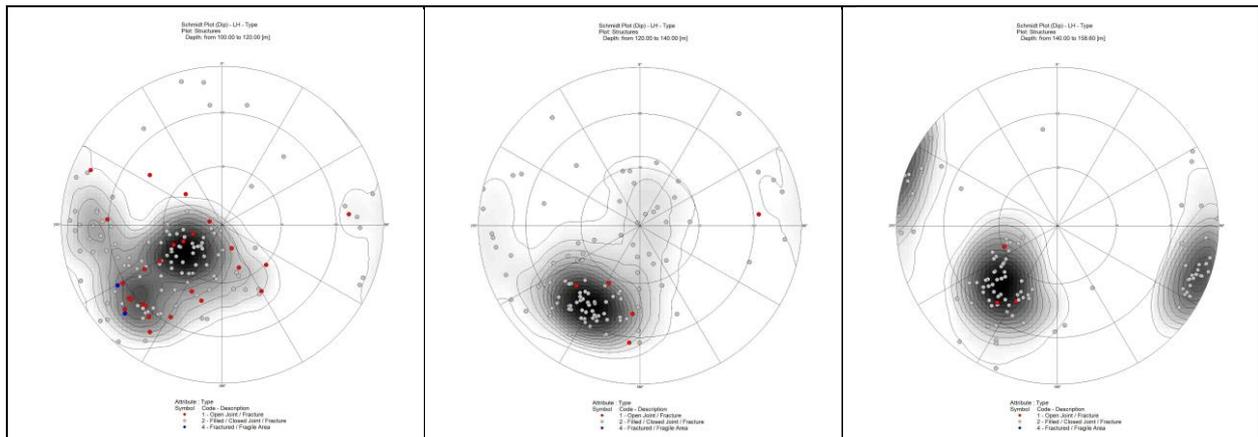


Figura 2 – Giaciture medie misurate nel sondaggio profondo S01-22 nei tratti 100÷120, 120÷140 e 140÷158.60

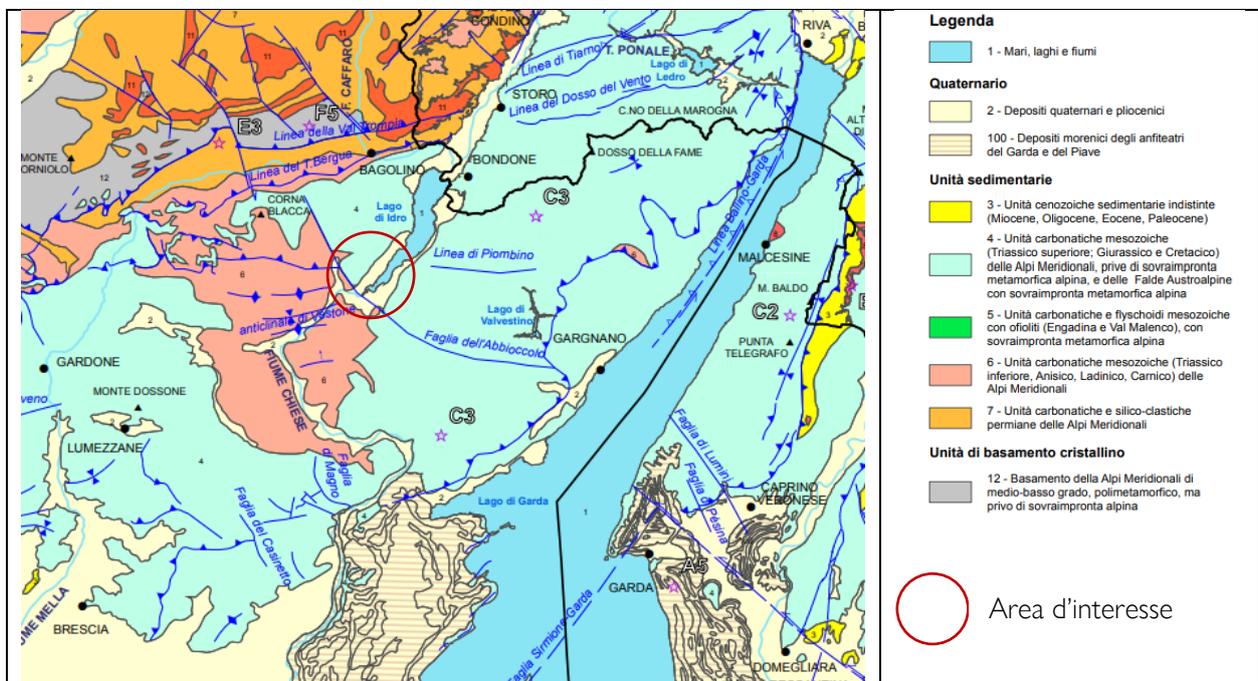


Figura 3 – Stralcio carta Geologico-Strutturale P.A.Trento (2018)

## 3.3 Caratteri geologici di dettaglio

### 3.3.1 Arenarie di Val Sabbia (AVS)

#### Litofacies

Siltiti e litareniti vulcaniche plagioclastiche con scarsissimo quarzo, molto compatte e ben stratificate in banchi fino a plurimetrici, più frequentemente pluridedimetrici, la successione è organizzata in sequenze cicliche di fining-upward FU di spessore decametrico con base spesso erosionale, irregolarmente ondulata. Alla base di ciascun ciclo possono essere presenti conglomerati intraformazionali a clasti pelitici rosso cupo o grigio nerastri; seguono litareniti feldspatiche da fini a medie, con laminazioni piano-parallele, passanti verso l'alto a siltiti massive, spesso contenenti noduli calcareo-cloritici di origine pedogenetica, cristalli di pirite ed intercalati livelli di siltiti e litareniti finissime. Le arenarie si presentano in strati centimetrici e decimetrici spesso amalgamati, mentre le peliti sono prevalentemente a stratificazione indistinta; un clivaggio diffuso conferisce un prevalente aspetto scheggioso ai livelli pelitici.

#### Ambiente deposizionale

Sedimenti terrigeni riferiti ad un sistema deltizio in progradazione con ambienti prevalentemente alluvionali a sud e deltizio-marini verso NW, delimitato verso mare da lagune costiere a sedimentazione carbonatico-pelitica.

#### Età

Carnico inferiore – medio

#### Affioramenti

Le arenarie affiorano diffusamente lungo la strada provinciale che collega Lavenone con Idro (vedi foto seguente), e con affioramenti di limitata estensione lungo il versante soprastante fino alla quota di circa 440 m s.l.m. Sul versante opposto del Fiume Chiese, nel settore orientale, affiora in possenti banchi a metà del versante, a quote comprese tra 440 e 540 m s.l.m.

Di seguito si riportano alcune fotografie rappresentative della Formazione nell'area di rilievo:



Figura 4 – Arenarie di Val Sabbia. Riprese lungo la SS237 tra Lavenone e Pieve Vecchia

### 3.3.2 Formazione di San Giovanni Bianco (SGB)

#### Litofacies

La Formazione di S. Giovanni Bianco è caratterizzata da una estrema variabilità; come detto, nell'area in esame si riconoscono le seguenti litofacies:

- **Facies arenacea (SGB<sub>aren</sub>):** Arenarie e peliti da verdi a rosse con arricchimento in quarzo nelle zone più settentrionali delle Prealpi bresciane. I livelli francamente arenacei divengono progressivamente più abbondanti a mano a mano che ci si avvicina alla fascia di transizione con le arenarie di Val Sabbia con la quale, localmente, presenta carattere eteropico;
- **facies pelitiche (o terrose) (SGB<sub>ter</sub>):** argilliti verdastre, talora rossicce, sottilmente stratificate ed alternate a dolomie marnose e marne grigie, con patina di alterazione giallastra. Localmente sono state segnalate dolomie vacuolari. La facies è eteropica con entrambe le altre facies della formazione di SGB;
- **Facies evaporitica (SGB<sub>evap</sub>):** nell'area in esame, la litofacies è caratterizzata da siltiti, argilliti e arenarie, con gessi e anidriti diffusi in quantità subordinata rispetto alle peliti; localmente, come in una tratta di circa 200 – 300 m lungo l'asse della Galleria degli Agricoltori, le litologie evaporitiche diventano più abbondanti. Questa unità è coeva ed eteropica con la facies pelitica.

Lo spessore complessivo della Formazione varia tra 200 m ad oltre 300 m

#### Ambiente deposizionale

Area costiera poco profonda, a sedimentazione mista carbonatico-terrigena in ambiente lagunare che passa gradualmente ad ambienti a sabkha con sedimentazione mista.

#### Età

Carnico medio-superiore

#### Affioramenti

Nessuna delle litofacies della Formazione di San Giovanni Bianco affiora in maniera estesa in superficie nella zona. Le diverse unità sono presenti in profondità e sono state riconosciute mediante i sondaggi eseguiti a supporto delle diverse fasi di progettazione. In particolare, la facies evaporitica è presente nel sottosuolo di un esteso tratto della Galleria degli Agricoltori. È stata ipotizzata, ma non accertata, la presenza di questa litofacies appena ad est della faglia evidenziata nel sottosuolo del versante orientale del tracciato, circa tra le progressive 100 e 200 m dall'imbocco lato Idro.

Nelle figure che seguono sono riportate alcune riprese fotografiche scattate in aree esterne a quella di progetto in quanto nell'area di interesse l'unità non è presente in affioramento ma solo in profondità.



Figura 5 – Affioramento, in successione stratigrafica indisturbata, del graduale passaggio tra la Formazione di San Giovanni Bianco in litofacies dolomitico-pelitica e la sovrastante Formazione della Dolomia Principale – Loc. Odolo



Figura 6 - Affioramento litofacies a carniole prevalenti e peliti subordinate associate ed alternate a calcari marnosi. Loc. Preseglie

### 3.3.3 Formazione di Castro Sebino (CSO)

#### Litofacies

Si riconoscono due litozone:

- litozona superiore, massiccia, costituita da breccie calcaree, grano sostenute con clasti centimetrici intraformazionali, spigolosi; colore grigio scuro o grigio-marrone chiaro. In genere ben amalgamate con aspetto massiccio, organizzate in grossi banchi o in corpi cuneiformi. Verso il letto dell'unità sono presenticlasti siltitici di colore giallo oca- attribuibili al SGB.
- litozona inferiore, massiccia, costituita da calcari dolomitici grigio scuri con subordinate intercalazioni di breccie. La litozona inferiore è eteropica con la Formazione di San Giovanni Bianco.

Nell'area di Idro e Lavenone e, in genere in Val Sabbia, è stata riconosciuta con certezza solo la litozona superiore

Lo spessore della Formazione varia tra 100 m ad oltre 250 m.

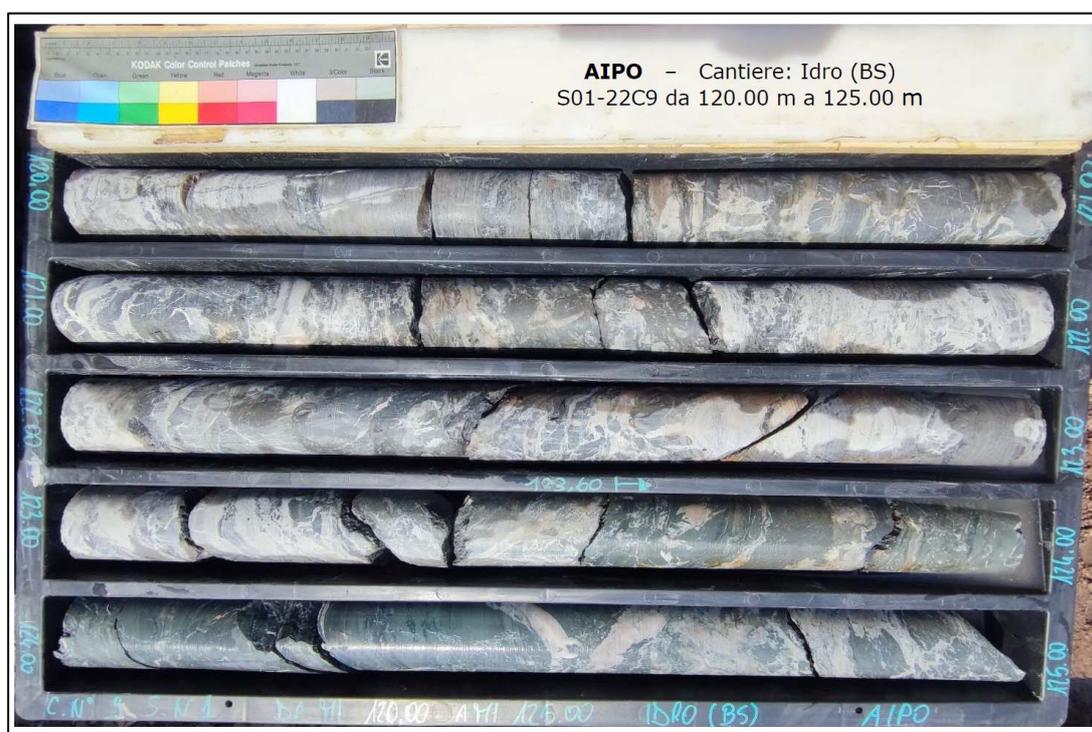


Figura 7 – Aspetto dell'unità Castro Sebino in foro di sondaggio S1-22 alla profondità di 120-125

### 3.3.4 La Dolomia Principale

L'Unità è caratterizzata da dolomie micritiche scure disposte in banchi e spesso a stratificazione indistinta. Alla sommità della formazione sono presenti breccie caotiche, a clasti di Dolomia principale o di Dolomie zonate, disposti in corpi di forma lenticolare: questa unità (Norico Medio) è nota come Membro delle "Brecce Sommitali" della Dolomia Principale.

Questa formazione non viene mai intercettata dalla galleria in Progetto trovandosi sempre a quote superiori; tuttavia, è risultato molto importante rilevarne la presenza e dedurne il contatto con il sottostante San Giovanni Bianco, per poter stimare gli spessori e l'andamento delle formazioni sottostanti, interferenti con la galleria (Arenarie della Val Sabbia e San Giovanni Bianco).

### Litofacies

Costituita da breccie minute a clasti mediamente centimetraci, intraformazionali di calcari grigio-chiari e scuri ricristallizzati (microspariti e pseudo spariti) con numerose fratture tensionali primarie e tardo diagenetiche ed intercalazioni di calcari grigio chiari e scuri in prevalenza micritici.

Nella parte mediana sono prevalenti breccie calcaree in grossi banchi amalgamati.

Vi sono breccie tettoniche in genere connesse soprattutto a fenomeni di sovrascorrimento di età alpina, molto diffusi in corrispondenza del limite stratigrafico con la Formazione di San Giovanni Bianco.

Localmente sono diffusi fenomeni erosivi, di risedimentazione, pedogenetici e carsici di età ancora incerta, alcuni sembrano sindeposizionali mentre la maggior parte appare di età più tardiva, verosimilmente compresa tra il Neogene e il Pleistocene.

Al letto il passaggio è graduale con comparsa di breccie calcareo-dolomitiche intraformazionali massive o in grossi banconi amalgamati localmente con intercalati calcari o calcari dolomitici grigi e scuri (Formazione di Castro Sebino)

Il limite di letto con la Formazione di S. Giovanni Bianco è raramente esposto in quanto la Dolomia Principale forma versanti dirupati alla base dei quali si accumulano detriti provenienti dalle pareti soprastanti che coprono il limite.

### Ambiente deposizionale

Bacini e laghi effimeri non sempre in diretto contatto con il mare aperto e con influssi di acque meteoriche in un regime climatico verosimilmente monsonico; emersioni periodiche, fenomeni erosivi e di dissoluzione-collasso controllati da tettonismo sinsedimentario e da variazioni volumetriche dei sottostanti corpi evaporitici appartenenti alla Formazione di San Giovanni Bianco, hanno contribuito alla messa in posto di potenti accumuli di breccie intraformazionali.

### Età

Carnico Superiore – Norico Inferiore

Nell'area di studio tale formazione è presente alle quote più elevate, con aspetto prevalentemente massivo, per cui risulta particolarmente difficile determinarne la giacitura; costituisce le pareti rocciose subverticali che rappresentano le zone di distacco di frane di crollo antiche e recenti.



Figura 8 – Affioramento di Dolomia Principale nella zona sommitale del crinale di Coste della pieve.

## 3.4 Depositi quaternari di copertura

### 3.4.1 Depositi detritici eterogenei (fluvioglaciali)

Nell'area non sono stati ritrovati fronti di scavo in affioramento nei depositi di natura fluvioglaciale, sebbene siano facilmente individuabili sulla base delle forme e in base alla composizione litologica del detrito, soprattutto per la presenza di massi erratici.

Sono caratterizzati da ghiaie e sabbie in più o meno abbondante matrice limosa. I clasti sono litologicamente eterogenei, provenienti anche da settori distali all'area in esame.

Nell'area rilevata sono presenti in porzione limitata sul versante sinistro del Fiume Chiese, alla base dei depositi di versante, sopra i depositi lacustri posti a bordo lago.

### 3.4.2 Depositi di versante

Sono presenti alla base delle pareti rocciose poste nel settore orientale dell'area considerata. Possono raggiungere spessori di diverse decine di metri.

Sono costituiti da ghiaie grossolane con clasti spigolosi con sfericità bassa immersi in matrice sabbioso-limosa, con evidente embricatura, talora interrotta da porzioni caotiche. Nella parte sommitale dei depositi sono presenti frequenti porzioni cementate da cemento secondario di natura carbonatica



Figura 9: esempio di depositi sciolti di versante cementati

### ***3.4.3 Depositi alluvionali e alluvionali terrazzati***

In generale sono costituiti da ghiaie sabbiose con ciottoli di natura poligenica passanti a sabbie e sabbie limose con ghiaia più o meno abbondante.

Occupano generalmente le posizioni più vicine al letto del fiume Chiese. Quelli terrazzati risultano in adiacenza a quote leggermente superiori.

### ***3.4.4 Depositi lacustri***

Sono costituiti generalmente da depositi ghiaioso-sabbiosi immersi in abbondante matrice fine, limosa e limoso argillosa.

Nell'area di studio occupano porzioni limitate lungo le rive del lago e nel tratto iniziale del F. Chiese poco a monte della nuova traversa in progetto.

Nella tavola PE-000-GEO-GG-004-CG-A di progetto è riportata la distribuzione delle diverse unità Affioranti o sub-affioranti nell'area interessata dalle opere in progetto.

Nella tavola PE-000-GEO-GG-007-PF-A è riportato il profilo geologico in asse galleria di progetto.

## 4 CARATTERI GEOMORFOLOGICI E DI DINAMICA GEOMORFOLOGICA

L'analisi geomorfologica e la relativa Carta Geomorfologica (Elab. PE-0000-GEO-GG-005-CG-A) descrive lo studio di base dell'Inventario delle frane dei dissesti idrogeologici.

In particolare, il citato elaborato progettuale è in accordo con la cartografia disponibile nel portale del Servizio Geologico d'Italia nell'ISPRA, e ai precedenti documenti di Progetto Definitivo.

Infatti, sono stati rilevati i medesimi cinematismi di frana. Eventuali differenze degli esatti limiti delle aree sono imputabili alla diversa scala di rilevamento e soprattutto alla diversa base topografica di riferimento.

Il fenomeno franoso in corrispondenza della traversa è stato oggetto di ulteriori approfondimenti rispetto al quadro conoscitivo, già particolarmente dettagliato, riportato nello studio (rif. 29).

Si sottolinea che la posizione della nuova traversa è stata definita, già in fase di progettazione preliminare e definitiva, sulla base della perimetrazione di rischio ex L. 267/98, in modo da risultare non condizionata da tale cinematismo; l'assenza di interferenze è confermata anche dalle più recenti misure condotte dal Centro di Monitoraggio Geologico (CNG) di Arpa Lombardia aggiornate all'ultimo rapporto del 2019.

Inoltre, la nuova posizione consente la realizzazione dei lavori senza arrecare alcun disturbo alla stabilità del versante.

Nella carta geomorfologica sono stati riportati le seguenti principali forme e processi geomorfologici:

- Accumuli misti (conoidi alluvionali);
- Fenomeni di ruscellamento concentrato;
- Colamenti rapidi;
- Aree con sprofondamenti diffusi (doline);
- Aree con crolli e ribaltamenti diffusi
- Scivolamenti rotazionali/traslativi (quiescenti)
- Aree soggette a fenomeni di franosità superficiale diffusa;
- Paleofrana a lento creep
- Orli di erosione fluviale recente
- Orli di scarpata erosionale
- Orli di scarpata rocciosa
- Orli di terrazzo stabile

Dai rilievi eseguiti, si esclude in prima analisi la possibilità di interferenza tra le opere in progetto ed eventuali elementi geomorfologici instabili.

Di seguito si riportano alcune fotografie riportanti elementi geomorfologici significativi.

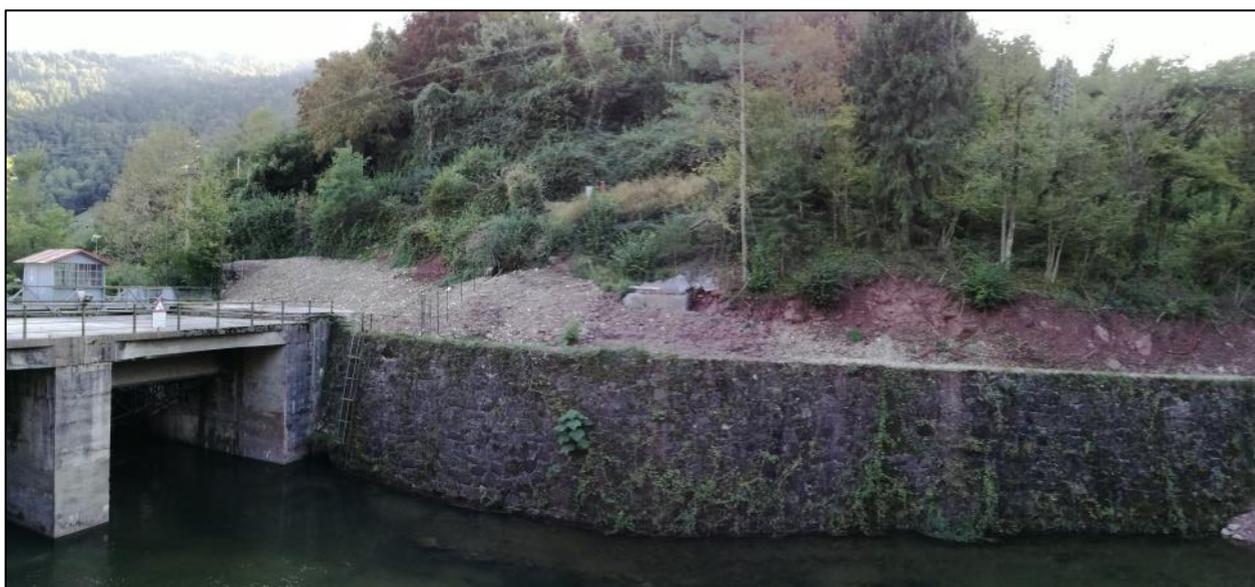


Figura 10 – Dettaglio del piede della più ampia paleofrana a lenta deformazione, in prossimità della traversa esistente, dove è presente un orlo di scarpata erosionale



Figura 11 – Sink-Hole nella zona della Galleria degli Agricoltori



Figura 12 – Ruscamento superficiale concentrato

## 5 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Si riportano di seguito i principali elementi idrogeologici che caratterizzano l'area ove sono ubicate le opere in progetto.

Aspetti idrogeologici relativi agli ammassi rocciosi:

- la Dolomia principale, unitamente alla Formazione di Castro Sebino è caratterizzata da un fitto reticolo di fratture più o meno continue e beanti, le quali conferiscono all'intero complesso un'alta permeabilità secondaria; le due formazioni sono sede di un probabile acquifero carsico, il cui letto è rappresentato dalla sottostante Formazione di San Giovanni Bianco, a comportamento reologico più duttile, almeno per quanto riguarda la litofacies terrosa;
- Laddove alla base della Dolomia Principale o della Formazione di Castro Sebino si trova la facies evaporitica della Formazione di San Giovanni Bianco si deve considerare la possibilità di processi di dissoluzione carsica delle evaporiti, tuttavia, risultano confinate idraulicamente alla base dalla facies pelitica (terrosa) del SGB; questo aspetto comporta una probabile limitazione dell'afflusso idrico alla quota galleria;
- La litofacies arenacea della Formazione di San Giovanni Bianco e la sottostante Formazione delle Arenarie di Val Sabbia presentano un comportamento intermedio rispetto alle precedenti, con un grado di permeabilità medio, legato prevalentemente al grado di fatturazione.

Il conseguente modello idrogeologico generale risulta caratterizzato dalla possibile presenza di un acquifero carsico nella Dolomia Principale e nella sottostante Formazione di Castro Sebino, in lenta e progressiva evoluzione conseguente ai processi di dissoluzione dei sottostanti corpi evaporitici presenti irregolarmente all'interno della Formazione di San Giovanni Bianco.

In generale l'acquifero risulta confinato alla base in corrispondenza delle litologie pelitico-marnose, le quali sono localmente interessate da deformazioni tettoniche legate al fatto che esse rappresentano uno dei principali orizzonti di scollamento alpino.

Le due faglie riconosciute dalle campagne d'indagine nelle diverse fasi progettuali costituiscono, localmente, una via di comunicazione preferenziale tra le unità superiori (Dolomia Principale e F. di Castro Sebino) o anche con i depositi detritici di versante, inducendo vie preferenziali per la circolazione idrica.

In un simile assetto generale dell'area è possibile aspettarsi, lungo il tracciato della galleria di progetto, locali venute d'acqua, la cui portata è difficilmente stimabile, concentrate prevalentemente, come detto, in corrispondenza della Faglia dell'Abbioccolo e della faglia rinvenuta nel corso delle ultime indagini circa alla progressiva 260÷300 m da imbocco Idro.

La circolazione idrica all'interno dei depositi sciolti di copertura nella zona delle opere d'imbocco lato Idro è monitorata da appositi assi piezometrici che nel corso delle Indagini integrative del 2022 sono stati attrezzati con sistema di registrazione in continuo. Nel corso delle medesime indagini, sono state eseguite nuove prove di permeabilità che, confrontate con i livelli idrici del lago, hanno permesso di confermare che la circolazione idrica sotterranea avviene per filtrazione delle acque del lago verso le aree circostanti.

I livelli piezometrici misurati differiscono in misura trascurabile con quelli lacuali; il piezometro PZ01-22, ubicato in prossimità della Galleria degli Agricoltori e fuori asse rispetto alla nuova galleria, mostra addirittura un leggero abbassamento rispetto al livello del lago (-0.40 ÷ -0.45 m) (rif. Figura 13).

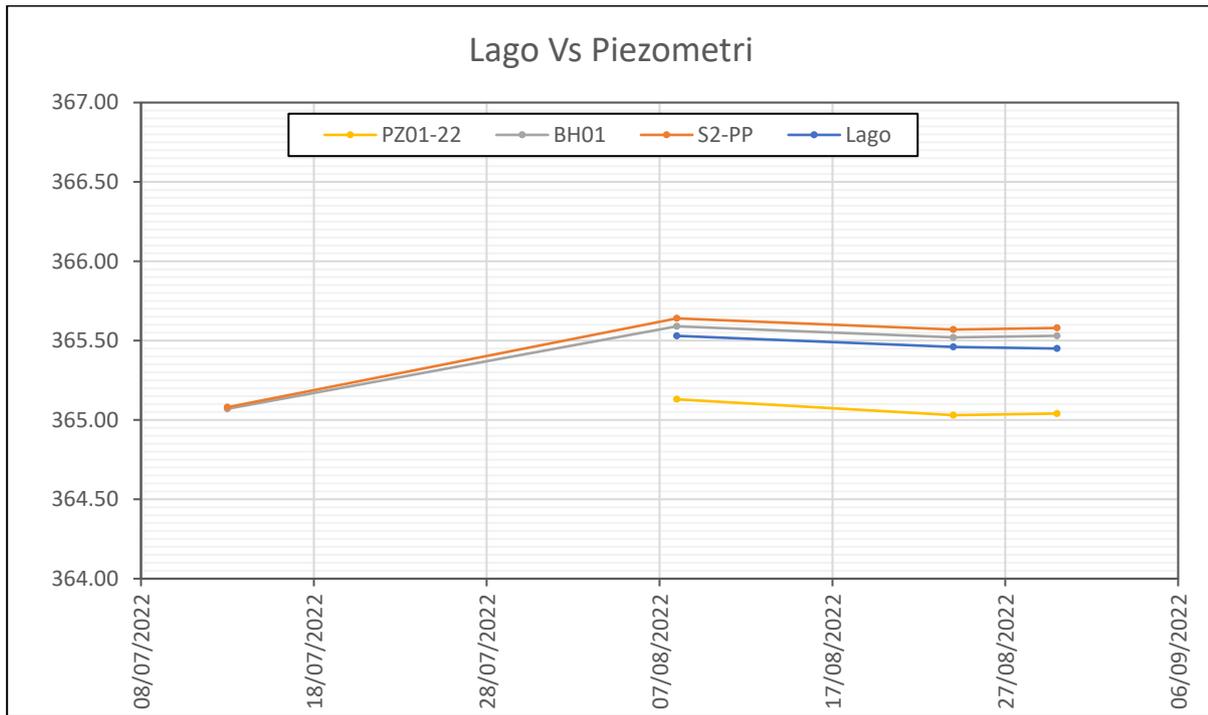


Figura 13 – Confronto livello piezometrici con livello lacuale zona Imbocco IDRO

Nella Carta Idrogeologica di Progetto Esecutivo (elaborato PE-000-GEO-GG-006-CG-A), è mostrata l'ubicazione delle sorgenti rilevate, e le classi di permeabilità stimate, suddivise in permeabilità primaria per porosità nei depositi sciolti superficiali, e secondaria per fratturazione nel substrato roccioso. In corrispondenza dello sbocco lato Lavenone le misure effettuate nel corso del mese di agosto 2022 indicano che il livello di falda nella zona del canale di restituzione, si attesta ad una profondità di circa 4.10÷4.16 m da bocca foro, ossia a quota 341÷342 m s.m. circa coincidenti con il livello locale del F. Chiese.