

REGIONE PIEMONTE  
PROVINCIA DI CUNEO  
COMUNE DI LIMONE PIEMONTE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ED ECONOMICA

LAVORI DI:  
POTENZIAMENTO ED AMMODERNAMENTO  
IMPIANTI D'INNEVAMENTO DELLA STAZIONE  
SCIISTICA DI LIMONE PIEMONTE  
- ZONA LIMONE -

OGGETTO:

RELAZIONE GEOLOGICA  
E NIVOLOGICA

ALLEGATO:

5

COMMITTENTE:



COMUNE DI LIMONE PIEMONTE

Via Roma, 32 - 12015 - LIMONE PIEMONTE (CN)

Partita IVA 00461550048 - Codice Fiscale 80003770049

PEC: comune.limonepiemonte.cn@legalmail.it

PROT.:

DATA :

GIUGNO 2024



Ferrari, Giraudo e Associati s.r.l.  
Società Tra Professionisti

Corso Nizza, n° 67a - 12100 - CUNEO

Tel. 0171/480247

e-mail: franco@ferrariegiraudo.com

PROGETTISTA :

Dott. Ing. Franco Giraudo

AGGIORNAMENTO :

VISTI :

REGIONE PIEMONTE

PROVINCIA DI CUNEO

COMUNE DI LIMONE PIEMONTE

**POTENZIAMENTO ED AMMODERNAMENTO  
IMPIANTI D'INNEVAMENTO DELLA STAZIONE  
SCIISTICA DI LIMONE PIEMONTE  
- ZONA LIMONE -**

**Relazione geologica e nivologica**

## **Dott. Prof. Giovanni Ansaldo**

GEOLOGO

Docente presso il Dipartimento di Scienze  
della Terra dell'Università di Torino

### **1 - Premessa**

La presente relazione è stata redatta in riferimento alle indagini geologico-tecniche esperite per la stesura del progetto di fattibilità tecnico ed economica "*Lavori di potenziamento ed ammodernamento impianti d'innevamento della stazione sciistica di Limone Piemonte - Zona Limone*".

Nel corso delle indagini, condotte mediante rilievi in situ e analisi fotointerpretativa di aerofotografie, sono state attentamente valutate le caratteristiche dei siti d'intervento in relazione alla natura dei terreni e alle condizioni di stabilità dei pendii attraversati, tenendo conto di quanto riportato nella documentazione geologica di corredo alla Variante Strutturale 2001 con adeguamento al PAI del P.R.G.C. e nella Banca Dati Geologica della Regione Piemonte. Sono state altresì esaminate le problematiche connesse con la dinamica valanghiva.

Si è proceduto, inoltre, all'esecuzione di un'indagine geofisica mediante la metodologia sismica a rifrazione, per definire l'assetto litostratigrafico mediante la velocità delle onde di compressione ( $V_p$ ) e ricavare un'immagine tomografica del sottosuolo (cf. specifica relazione allegata al progetto).

L'area indagata ha il suo corrispondente topografico nel database cartografico BDTRE della Regione Piemonte (Fig. 1) e nell'immagine satellitare di Fig. 2 dove sono state riportate le principali opere in progetto.

Lo studio è stato eseguito in ottemperanza alla L.R. 45/89 ed in riferimento al D.M. 17/01/2018 "*Nuove norme tecniche per le costruzioni (N.T.C.)*".

Per i riferimenti catastali e le caratteristiche tecniche delle opere si rimanda agli elaborati progettuali. La documentazione fotografica è allegata in calce alla relazione.

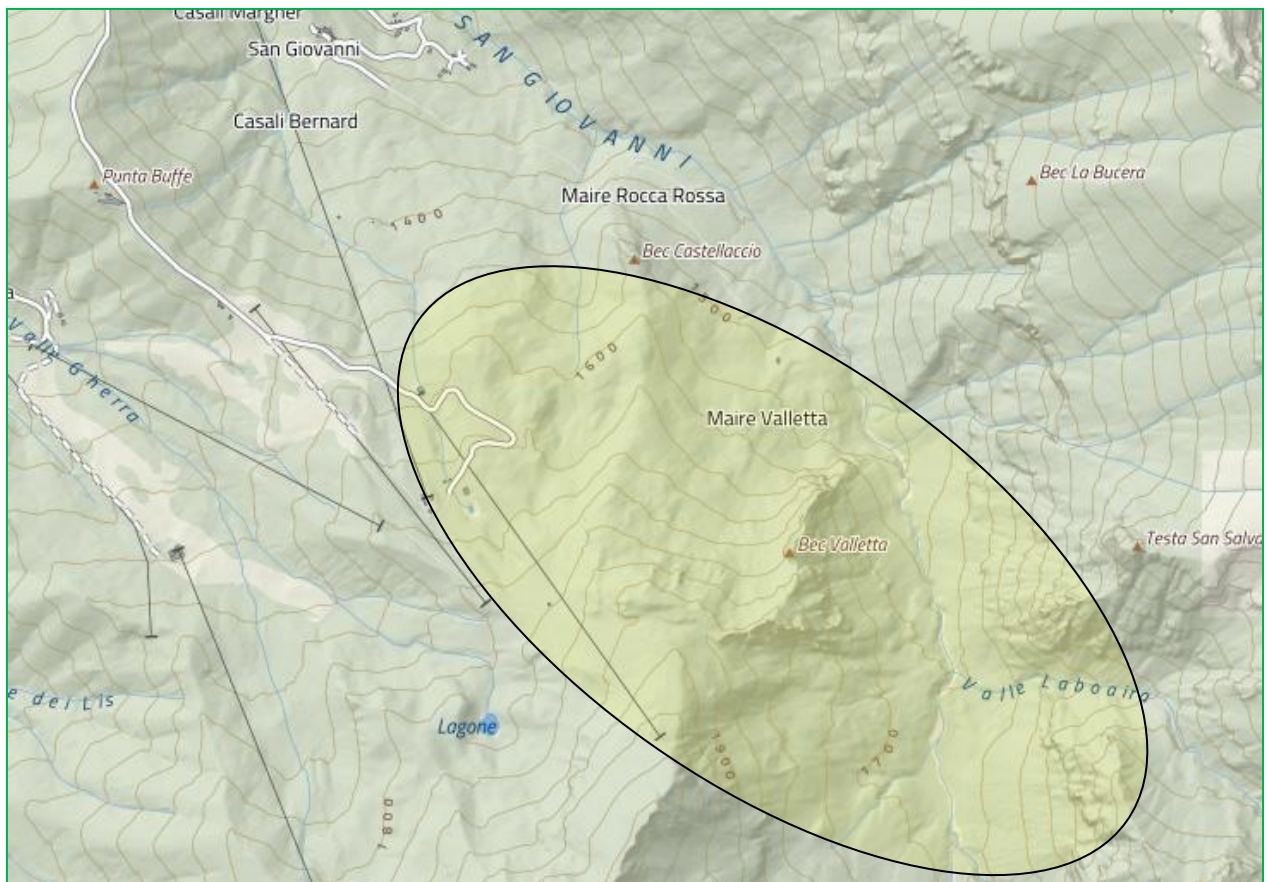


Fig. 1 - Ubicazione area indagata (BDTRE - Sez. 243040 - fuori scala).

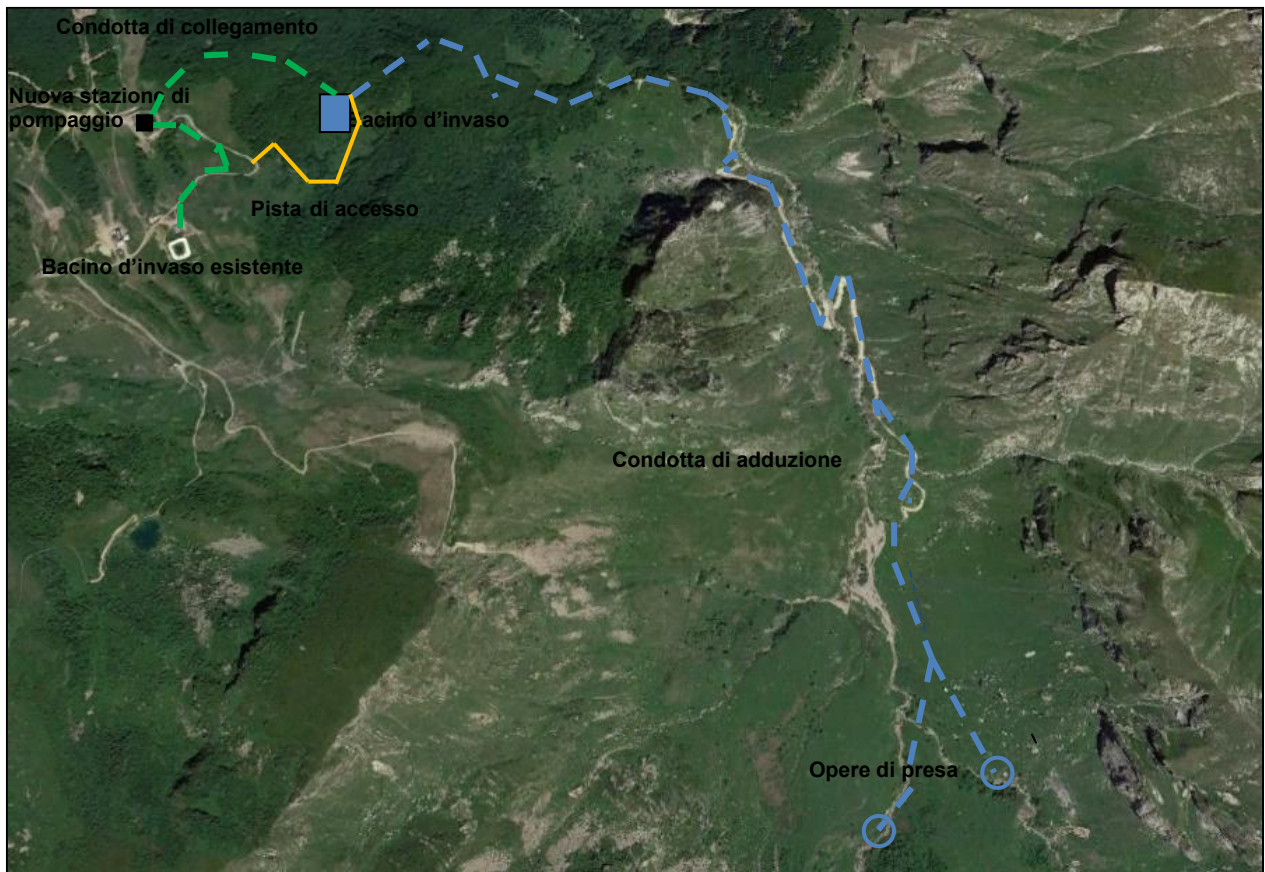


Fig. 2 - Immagine satellitare con indicazione delle opere in esame (Google Earth 2022).

## 2 - Classificazione sismica

Nell'allegato 1 (criteri per l'individuazione delle zone sismiche - individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone) dell'O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/03 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", il Comune di Limone Piemonte è stato classificato in *Zona sismica 3*. Tale classificazione è stata recepita dalla Giunta Regionale con D.G.R. n. 61 - 11017 del 17/11/03.

Successivamente, in ottemperanza all'O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, la Regione Piemonte, con D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010 "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche" e D.G.R. n. 4-3084 del 12/12/2011, ha riclassificato il Comune di Limone Piemonte in *Zona sismica 3s*.

La D.G.R. n. 6-887 del 30/12/2019 "Preso d'atto e approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte di cui alla D.G.R. n. 65-7656 del 21/05/2014" ha riconfermato il Comune di Limone Piemonte in *Zona sismica 3s*.

Di conseguenza, con l'entrata in vigore di dette deliberazioni, nella progettazione delle opere di fondazione si deve fare riferimento al disposto delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018 adottando i coefficienti ivi previsti.

## 3 - Inquadramento geologico

L'ossatura geologica del settore indagato è formata principalmente da rocce di età cretacea appartenenti alla *Zona Brianzonese* (Brianzonese Ligure) e alla *Zona del Flysch ad Elmintoidi* rappresentate, rispettivamente, da calcari ardesiaci e/o scisti calcareo-ardesiaci e da ritmiche alternanze di scisti arenacei con argilloscisti ardesiaci (Fig. 3).

Localmente, sul fianco sinistro orografico della parte bassa del Vallone Milliborgo, all'interno dei terreni fliscioidi, si rinvencono scaglie di calcari massicci di età giurese di pertinenza brianzonese. I calcari dolomitici triassici affiorano nell'alveo del Rio S. Giovanni a valle delle opere di captazione impostate nei terreni fliscioidi.

L'assetto strutturale, a grande scala, è complicato dalla presenza di numerosi e importanti piani di contatto tettonico, poco evidenti sul terreno, dove i litotipi del basamento risultano particolarmente duttili.

La giacitura dei piani di stratificazione e/o di scistosità concorda in grande con quella regionale, con direzione orientata intorno a NO - SE, immersione verso NE e inclinazione di norma compresa tra 30° e 50°.

A livello puntuale, tuttavia, soprattutto in corrispondenza delle facies più tettonizzate, varia sensibilmente a causa del comportamento tendenzialmente plastico di questi materiali, deformati secondo un caratteristico stile plicativo. Nello specifico, in corrispondenza della scarpata sul lato di valle, sottostante alla conca che ospiterà l'invaso in progetto, i calcari ardesiaci presentano un'immersione verso SO con disposizione degli strati a reggipoggio favorevole alla stabilità (Foto 3).

I terreni di copertura quaternari sono rappresentati per lo più da depositi glaciali (ciottoli, blocchi e ghiaia con grossi trovanti in matrice sabbioso-limosa debolmente argillosa) di spessore variabile in funzione della morfologia del basamento litoide sepolto. La parte inferiore della conca, dove sarà ricavato il sedime del bacino d'invaso, è costituita, in base ai dati dell'indagine sismica, da materiali di origine glaciale.

I terreni detritici, costituiti per lo più da clasti di grossa pezzatura, formano placche discontinue al piede delle scarpate rocciose impostate in rocce carbonatiche.

Nei settori di affioramento dei terreni fliscioidi, maggiormente erodibili, diminuiscono sia le dimensioni dei clasti sia lo spessore delle coltri di copertura, costituite da prodotti eluvio-colluviali derivanti dall'alterazione del substrato roccioso.

In corrispondenza del versante nord-occidentale del M. Alpetta (a valle della stazione di partenza della seggiovia omonima) e sul fianco sinistro orografico del Vallone S. Giovanni, si rinvencono materiali di copertura di grossa pezzatura, costituiti da una congerie di massi per lo più di grandi dimensioni, riferibili ad antichi movimenti gravitativi (cf. § 4).

Per ulteriori approfondimenti di carattere geologico si rimanda al F. 91 "Boves" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1/100.000 e, in particolare, al *Feuille Viéve-Tende della Carte Géologique de la France*, alla scala 1/50.000.

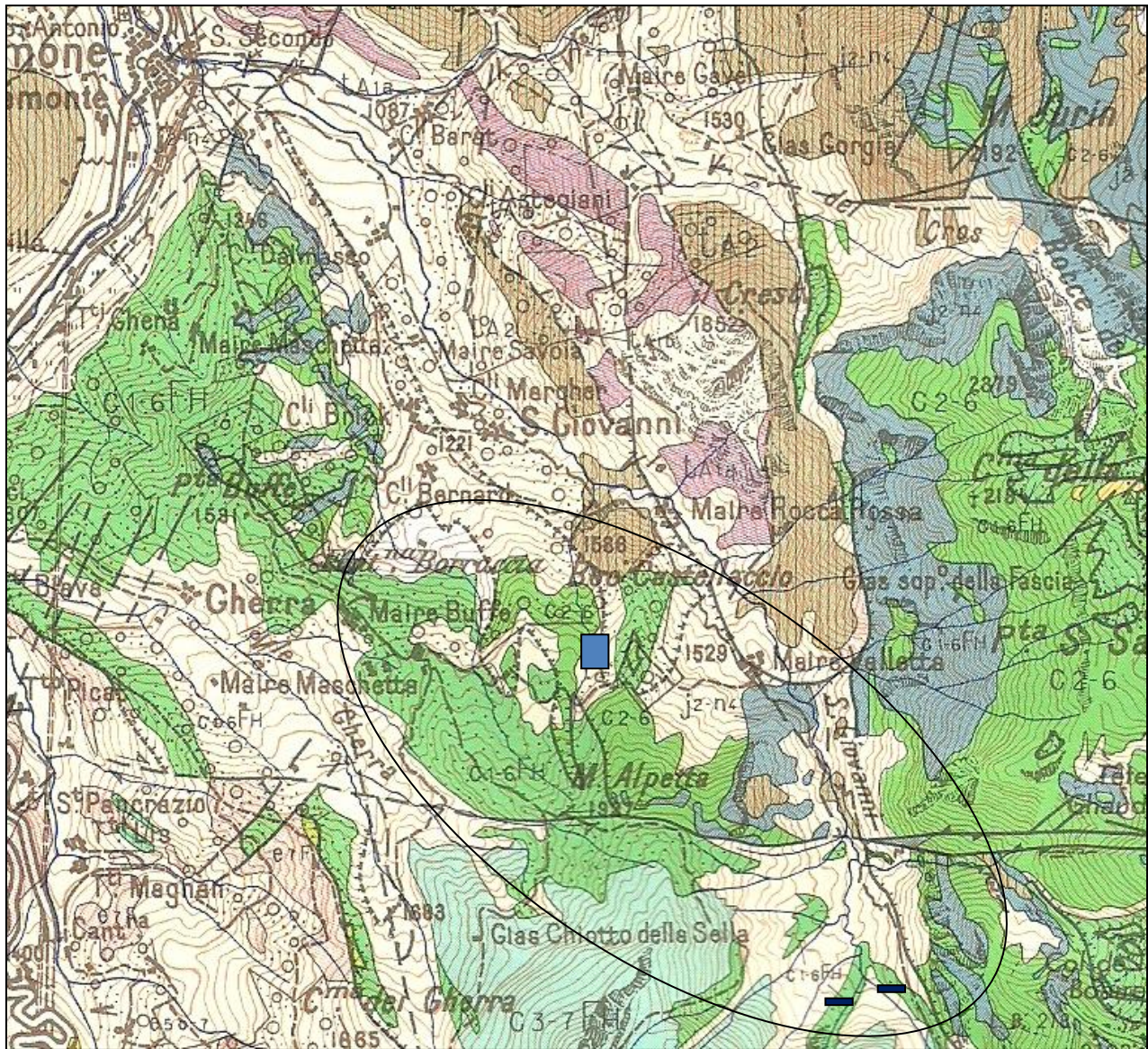


Fig. 3 - Assetto litologico-strutturale. Zona Briançonnese: "tA1a" quarziti, "tA2" calcari dolomitici, "j2-n4" calcari, "c2-6" calcari ardesiaci, "e7F" terreni fliscioidi; Flysch a Elmintoidi: "C1-6FH" e C3-7FH terreni fliscioidi. Il colore bianco rappresenta i depositi quaternari. (Stralcio Carte Gèologique de la France - Feuille 948 "Viève-Tende").

- Sito del bacino d'invaso
- Sito delle opere di presa

#### 4 - Considerazioni geomorfologiche

I lineamenti morfologici, che denotano un evidente controllo strutturale in funzione del diverso grado di resistenza all'erosione delle litologie affioranti, hanno risentito principalmente del pregresso modellamento glaciale.

Il bacino d'invaso in progetto è ubicato a monte di un antico corpo di frana stabilizzato, innescatosi verosimilmente all'inizio dell'Olocene sulle pendici nord-occidentali del M. Alpetta (Fig. 4). Il fenomeno, che denota un evidente controllo strutturale, è imputabile alla decompressione conseguente al ritiro della lingua glaciale würmiana su terreni contraddistinti da un alto grado di fatturazione e relativo rilascio di sforzi residui anche a causa dell'erosione al piede operata dal Rio S. Giovanni.

Il ruolo svolto dai sistemi di fratturazione è particolarmente evidente nella zona di nicchia, a valle della stazione di partenza della seggiovia Alpetta, dove l'alta scarpata perimetrale si dispone secondo una direzione parallela alle strutture regionali. Alla sommità del ripido versante che scende nel Vallone S. Giovanni, il bosco di faggio maschera la presenza di ampie e profonde fratture impostate nei calcari ardesiaci che si sviluppano verso Est, dalla parte iniziale della Pista Olimpica fino alla zona sottostante alla conca del Lago Secco.

In questo settore, a causa del detensionamento subito, si rinvengono diffusi affioramenti di roccia, con grandi volumi rocciosi disarticolati di dimensioni anche dell'ordine di alcune decine di metri cubi.

Il corpo franoso si è successivamente evoluto, sempre in epoca remota, mediante una serie di riattivazioni, fino a raggiungere progressivamente delle condizioni di equilibrio tali da consentirne l'utilizzo per scopi abitativi; l'età delle varie borgate esistenti è certamente superiore a 200 anni.

Detta fenomenologia, di cui non si hanno riscontri al metro della cronologia umana, conosciuta in letteratura come *Deformazione Gravitativa Profonda di Versante "DGPV"*, è contraddistinta da spostamenti in genere molto lenti lungo piani di norma preesistenti, con mobilitazione di ammassi rocciosi di grandi dimensioni che possono anche mantenersi relativamente integri.



I dati storici non segnalano dissesti ai danni delle borgate presenti nella parte inferiore dell'accumulo (T.ti Bernard, T.ti Enri e T.ti Margher) e dei settori al loro contorno, che denotano buone condizioni stabilità sia in grande sia a livello puntuale. Nell'attuale stato di fatto, non si rilevano indizi di riattivazione dei movimenti ed il fenomeno può essere considerato da lungo tempo esaurito.

Nella *Carta geomorfologica in funzione dei processi di instabilità in atto e potenziali* della Variante Strutturale 2001 con adeguamento al PAI (Fig. 4) e nel Progetto SIFraP (Fig. 5) è stata inserita nella zona di nicchia della frana anche tutta la zona a monte, sub-pianeggiante o a moderata acclività, su cui insiste il sito in esame e la stazione di partenza della seggiovia Alpetta.

In base ai rilievi di terreno eseguiti dallo scrivente nell'ambito del presente studio e per la stesura del Progetto definitivo-esecutivo della Telecabina Severino Bottero, in questo settore (ove si sviluppa la maggior parte del tracciato della Seggiovia Alpetta e la parte terminale del tracciato della telecabina) non si rinvencono chiare evidenze morfologiche legate alla dinamica gravitativa, anche se l'accentuata concavità del versante nord-occidentale del M. Alpetta potrebbe essere attribuita ad una forma relitta di un'antica nicchia di distacco invece che al modellamento glaciale.

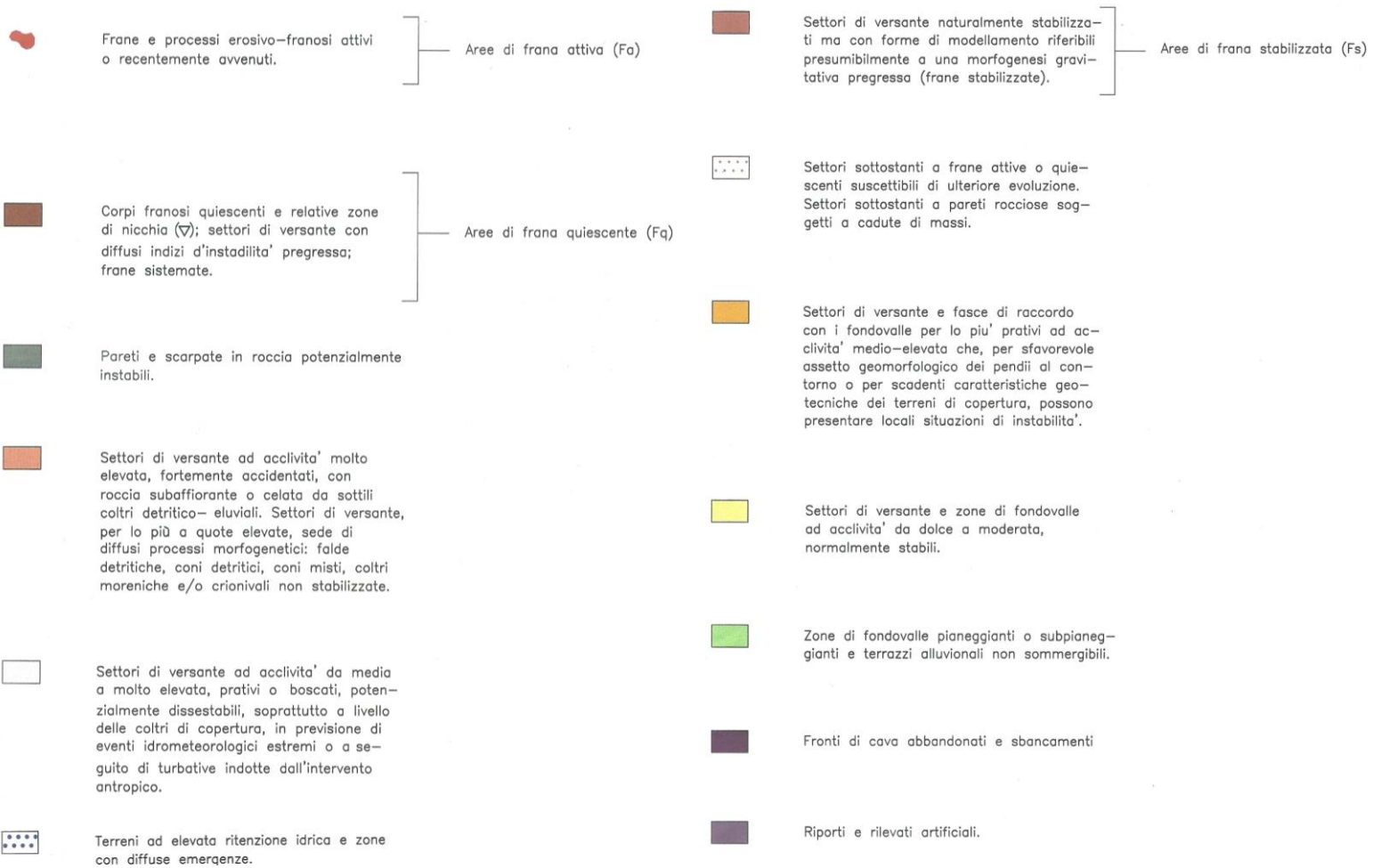
Nell'ambito dell'intero corpo di frana, comunque, compresa la parte a valle della stazione di partenza della seggiovia e del sito in questione, non si rilevano indizi di riattivazione dei movimenti ed il fenomeno può essere considerato da lungo tempo esaurito e classificato come "area di frana stabilizzata" (*Fs* del PAI).

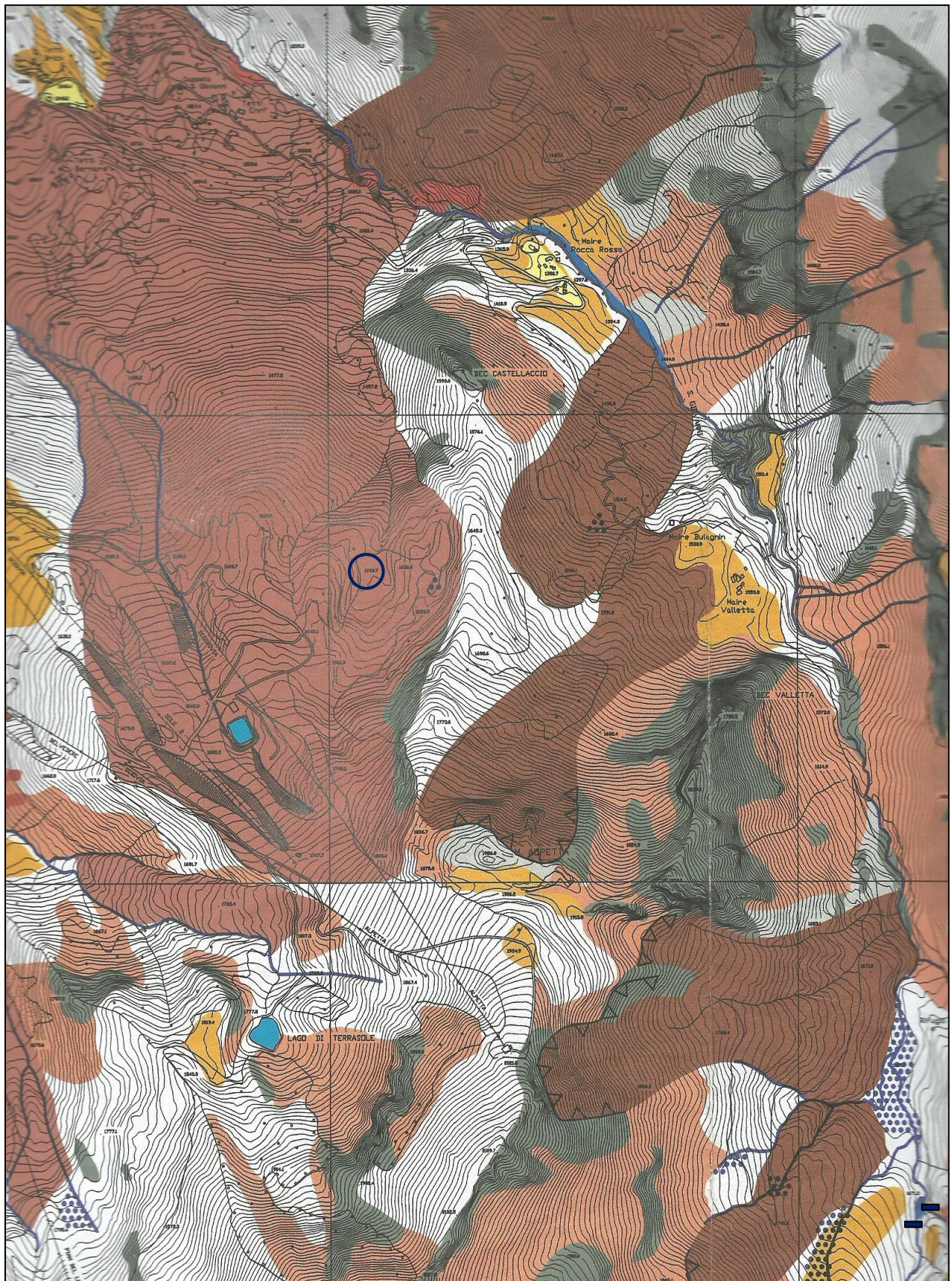
Sul fianco sinistro orografico del Vallone S. Giovanni, attraversato dal tracciato delle condutture di adduzione e di collegamento previste dal presente progetto, si rinvencono alcuni corpi franosi potenzialmente riattivabili classificabili come "area di frana quiescente" (*Fq* del PAI).

La dinamica dei corsi d'acqua è attiva lungo le aste del Rio S. Giovanni e dei due tributari (Rio del Vallone della Perla e Rio del Vallone Ferosa) dove saranno impostate le opere di presa, mentre non sussistono particolari problematiche negli altri settori. In corrispondenza del bacino d'invaso, come testimoniato dalla mancanza di vie di drenaggio definite, il drenaggio delle acque meteoriche avviene principalmente per ruscellamento diffuso.

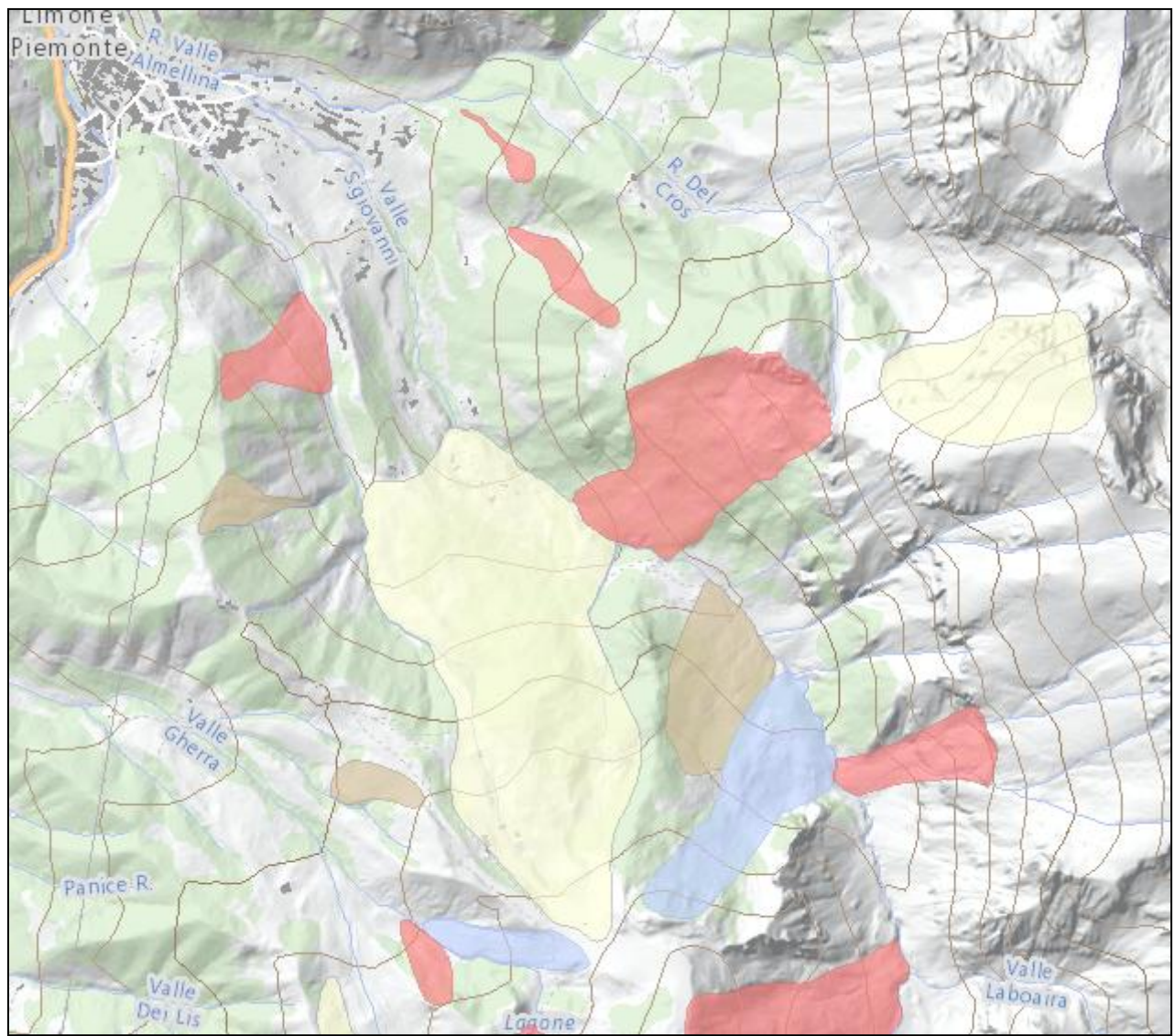
Fig. 4

## Carta geomorfologica in funzione dei processi di instabilità in atto e potenziali





Stralcio cartografia geologica della Variante Strutturale 2001 del Comune di Limone Piemonte con indicazione del sito del bacino d'invaso  e delle opere di derivazione .



LEGENDA












Frane areali	
	Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi
	Aree soggette a frane superficiali diffuse
	Aree soggette a sprofondamenti diffusi
	Colamento lento
	Colamento rapido
	Complesso
	Crollo/Ribaltamento
	DGPV
	Espansione
	Scivolamento rotazionale/traslattivo
	Settore CARG
	Sprofondamento
	n.d.

Fig. 5 - Arpa Piemonte SIFraP - Sistema Informativo dei fenomeni Franosi.

## **5 - Considerazioni geoidrologiche**

### **5.1 - Idrografia superficiale**

La rete idrografica si individua soltanto a valle del gradino morfologico su cui insistono la stazione di partenza della Seggiovia Alpetta e il sito del bacino d'invaso, dove l'elevata energia del rilievo determina lo sviluppo di aste torrentizie molto ripide e tese.

Per questo motivo, durante l'evento alluvionale del 2 - 3 ottobre 2020 (indubbiamente il più gravoso di questo secolo e, con quello del novembre 2006, anche del secolo scorso), le fenomenologie dissestive hanno interessato esclusivamente i settori più a valle, sia lungo le aste dei Rio S. Giovanni e del Rio Milliborgo sia lungo le aste del reticolo idrografico minore.

Nello specifico, è stato particolarmente colpito il tratto a valle della confluenza nel Rio S. Giovanni del Rio del Vallone della Perla e del Rio del Vallone Ferosa, sui quali saranno realizzate le opere di presa (Fig. 2).

### **5.2 - Acque sotterranee**

In riferimento alla circolazione idrica ipogea, occorre distinguere tra i terreni di copertura e le rocce del substrato, contraddistinti da differenti tipi di permeabilità in funzione delle loro caratteristiche litologiche e strutturali. I terreni di copertura dei versanti presentano una permeabilità di tipo primario, per porosità, variabile in relazione alla granulometria dei materiali, mentre le rocce del substrato hanno una permeabilità di tipo secondario, da molto alta a bassa.

A livello delle rocce del substrato, il "complesso carbonatico" (costituito prevalentemente da litologie calcareo-dolomitiche) presenta una permeabilità elevata per carsismo e fratturazione, mentre il "complesso dei Flysch" (costituito da per lo più da rocce metamorfiche scistose) risulta scarsamente permeabile per fessurazione, con circolazione poco sviluppata e superficiale.

La circolazione idrica ipogea è molto sviluppata nell'accumulo della grande frana sopra descritta, come testimoniato dalle diffuse emergenze idriche immediatamente a Sud di Tetti Bernard e a valle dell'area in esame. In corrispondenza della Sorgente Mottere (captata dall'Acquedotto di Limone) l'acqua viene a giorno a causa del tamponamento operato dai materiali meno permeabili presenti nella parte inferiore dell'accumulo.

Nelle coltri moreniche e detritico-colluviali di copertura, contraddistinte da una permeabilità per porosità variabile in funzione della percentuale della frazione fine, si riscontra una discreta circolazione alimentata dalle acque d'infiltrazione percolanti nel sottosuolo.

Per le caratteristiche geoidrologiche di carattere generale, sia in riferimento all'idrografia superficiale sia in riferimento alle acque sotterranee, si rimanda agli elaborati geologici dello strumento urbanistico vigente; nello specifico alla *Carta delle sorgenti e dell'idrografia superficiale* della Variante Strutturale 2001 con adeguamento al PAI.

## **6 - Dinamica valanghiva**

La zona interessata dalla dinamica valanghiva è ubicata nella parte alta del versante nord-occidentale del M. Alpetta.

Nella *Carta della dinamica valanghiva* degli elaborati geologici della Variante Strutturale 2001 con adeguamento al PAI non sono state riportate valanghe perimetrare, essendo difficilmente individuabili i limiti della zona di distacco. L'area a monte della conca del Lago Secco rientra, pertanto, nelle "zone pericolose" (aree dentro le quali si verificano scaricamenti parziali differenziati nello spazio e nel tempo). Nello specifico, è stata riportata, al margine settentrionale della zona un "pericolo localizzato" rappresentato da valanghe di dimensioni limitate, tali da non poter essere cartografate nella loro forma reale (Fig. 6).

Nella parte sud della “zona pericolosa” sono state realizzate delle opere di stabilizzazione del manto nevoso - ponti da neve e terrazzamenti - a protezione della seggiovia e della sottostante pista di discesa (Fig. 8).

La costruzione dei paravalanghe, ha notevolmente mitigato il rischio di distacchi in questo settore, anche in occasione di eventi meteonivometrici molto gravosi tipo dicembre 2008.

Per quanto concerne la situazione di “pericolo localizzato” riportato nella parte nord della “zona pericolosa”, si precisa che non si hanno riscontri di valanghe che abbiano raggiunto il sito del lago in progetto sia dall’inchiesta sul terreno, intervistando persone competenti di comprovata attendibilità, sia dalla *Carta di localizzazione probabile delle valanghe* - Sistema Informativo Valanghe “SIVA” dell’Arpa Piemonte (Fig. 7).

Fig. 6

## Carta della dinamica valanghiva

AREE A PERICOLOSITA' MOLTO ELEVATA O ELEVATA PERIMETRATE (Ve)

### VALANGHE



Siti a contorno definito nei quali la massa nevosa, in condizioni estreme, precipita simultaneamente.

### ZONE PERICOLOSE



Aree dentro le quali si verificano scaricamenti parziali differenziati nello spazio e nel tempo.

AREE A PERICOLOSITA' MOLTO ELEVATA O ELEVATA NON PERIMETRATE (Ve)

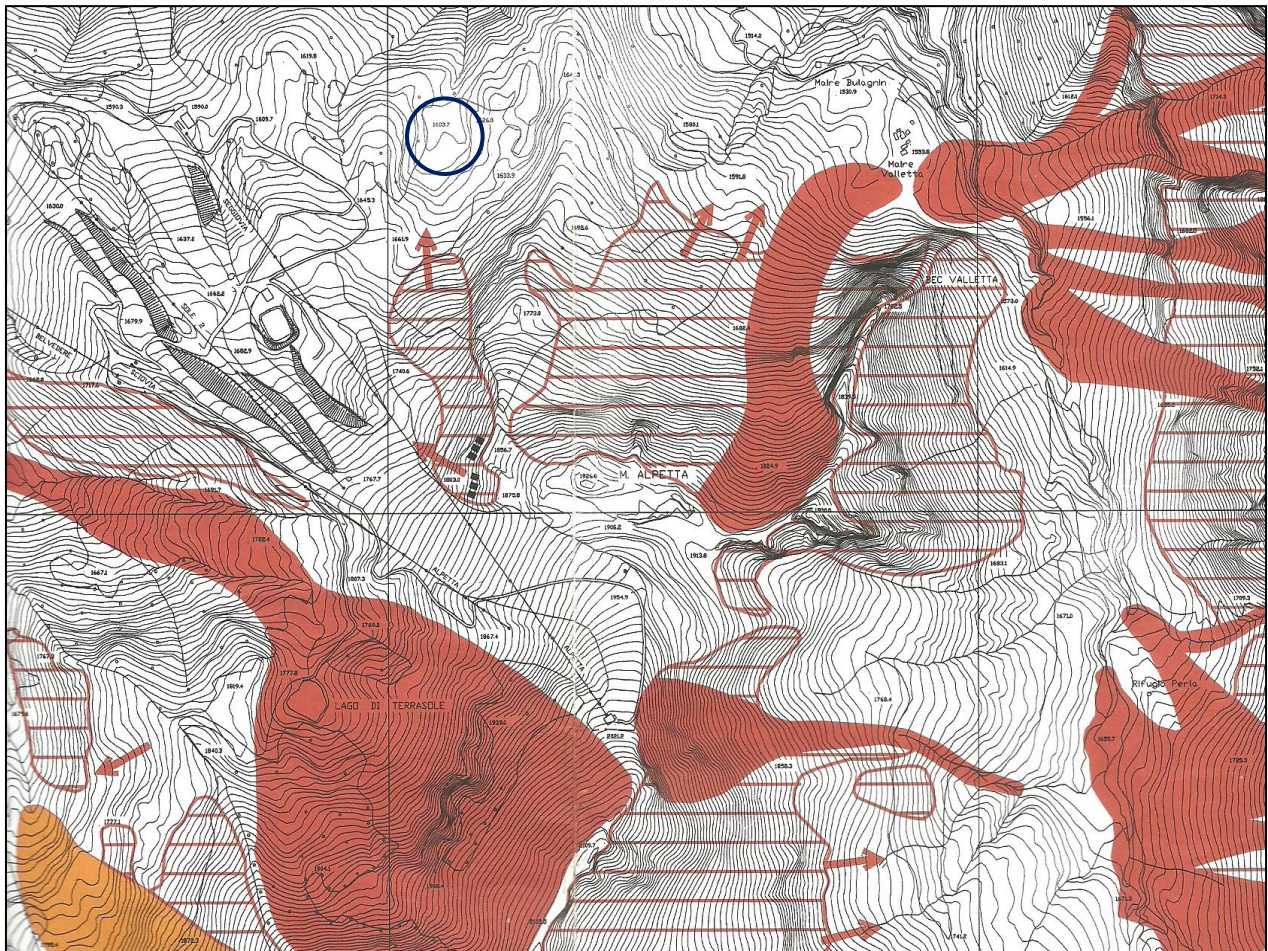
### PERICOLO LOCALIZZATO




Valanghe di dimensioni limitate, tali da non poter essere cartografate nella loro forma reale.



Ponti da neve e rastrelliere



Stralcio cartografia geologica della Variante Strutturale 2001 del Comune di Limone con indicazione del sito del bacino d'invaso .



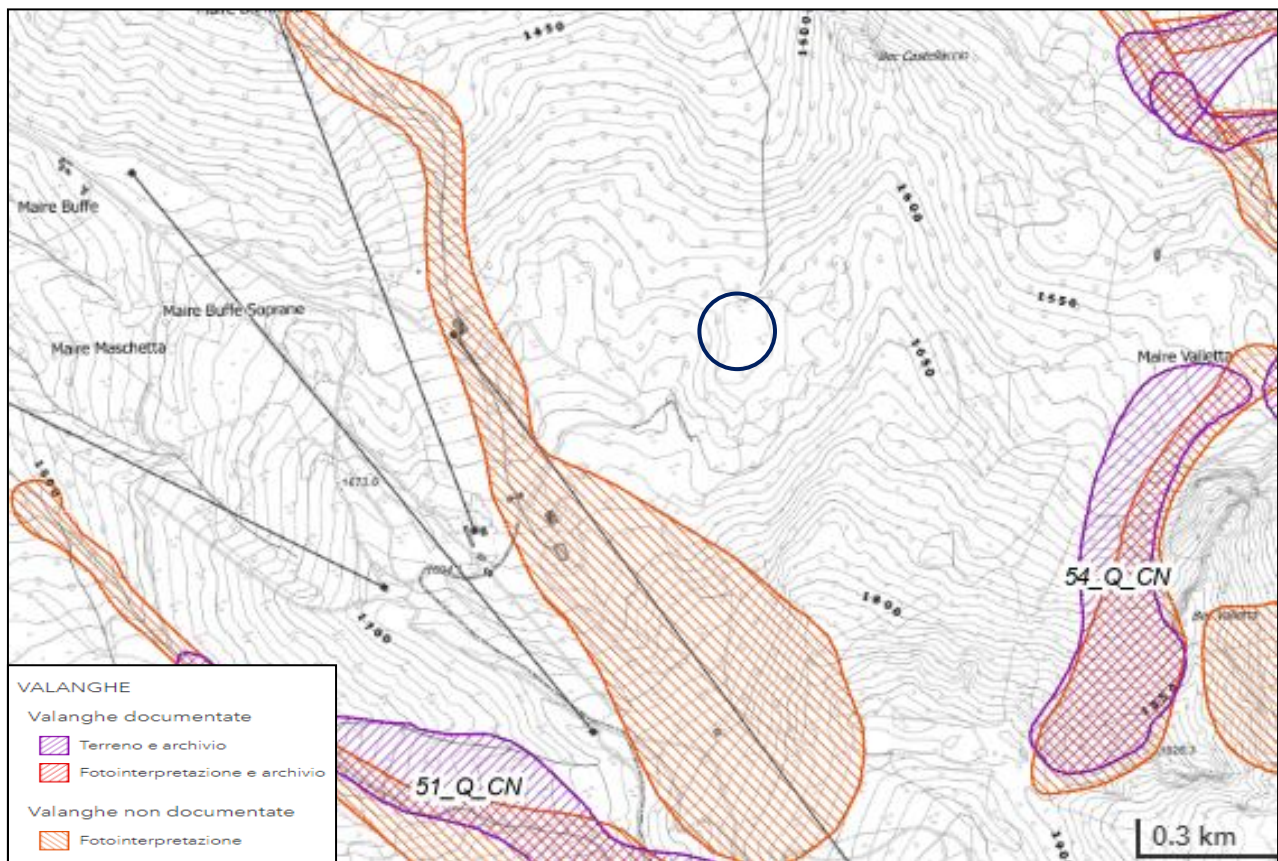


Fig. 7 - Geoportale Arpa Piemonte - Sistema Informativo valanghe "SIVA".

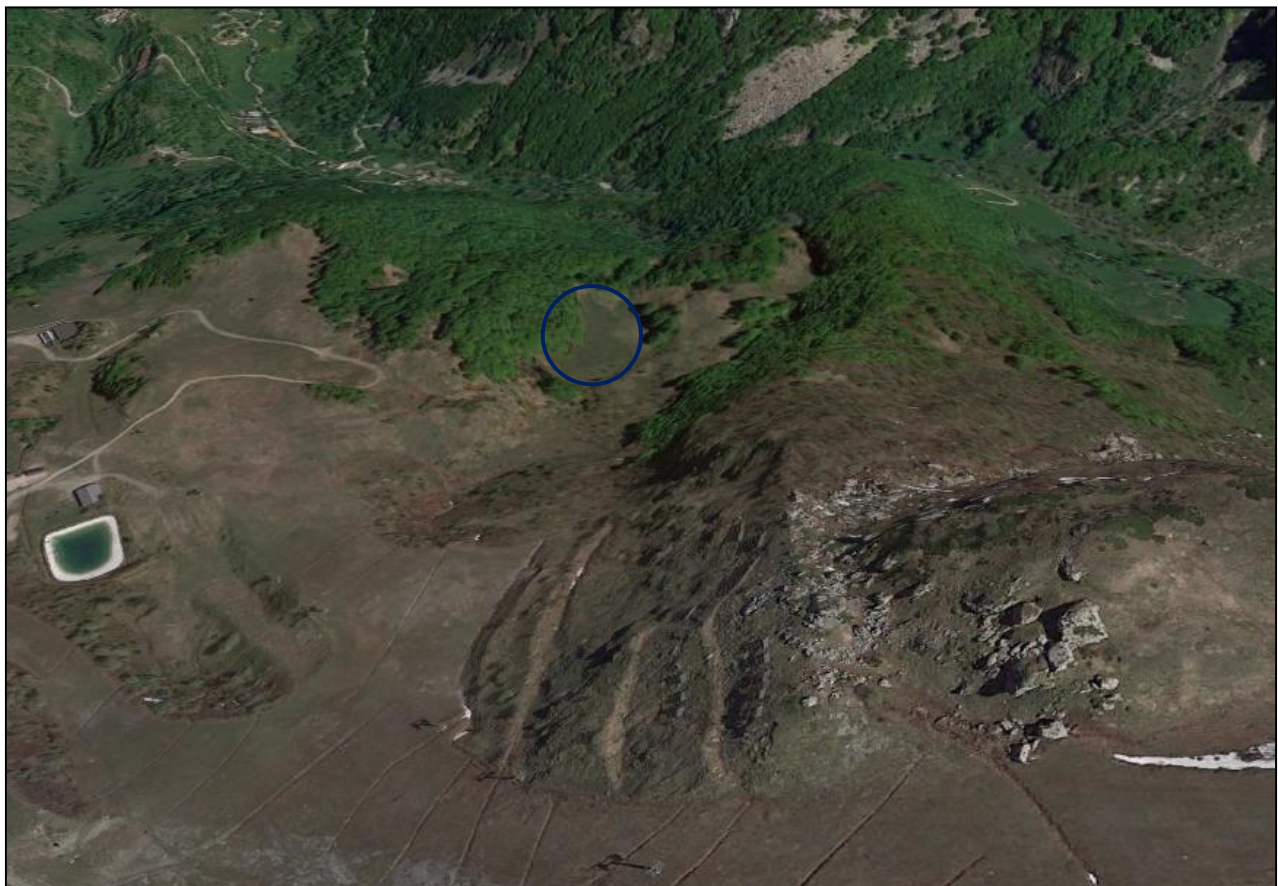


Fig. 8 - Immagine satellitare dell'area in esame con indicazione del sito del lago in progetto e vista delle opere paravalanghe esistenti (Google Earth 2017).

## 7 - Indagini geognostiche e assetto litostratigrafico

Ai fini della caratterizzazione litostratigrafica per la verifica della profondità del substrato roccioso e dell'escavabilità dei materiali si è proceduto all'esecuzione di un'indagine geofisica, mediante la metodologia sismica a rifrazione, per definire l'assetto litostratigrafico mediante la velocità delle onde di compressione  $V_p$  che consentono di ricavare un'immagine tomografica del sottosuolo.

A tale scopo la posizione degli stendimenti delle tre indagini sismiche effettuate è stata scelta in modo da indagare il sedime dell'opera in progetto sia longitudinalmente, in senso parallelo all'andamento del bacino, sia trasversalmente (Fig. 9)

Per le risultanze delle prove sismiche si rimanda alla specifica relazione "Indagini sismiche" redatta del Dott. Piero Adamo.

In base ai dati delle prove, l'assetto litostratigrafico del sito destinato ad accogliere il nuovo bacino d'invaso è così schematizzabile:

- uno strato superficiale costituito da terreni di copertura verosimilmente di origine glaciale ben addensati, con spessore molto variabile, ridotto a 2 m in corrispondenza della soglia (zona d'imposta dello sbarramento);
- uno strato intermedio, costituito da scisti calcareo-ardesiaci localmente laminati e/o fratturati, quasi affioranti in corrispondenza della zona d'imposta dello sbarramento, che formano l'intera soglia naturale sottostante alla conca che ospiterà il lago;
- il basamento roccioso compatto rinvenuto a notevole profondità (oltre 20 m) rispetto al sedime delle opere di fondazione dello sbarramento.

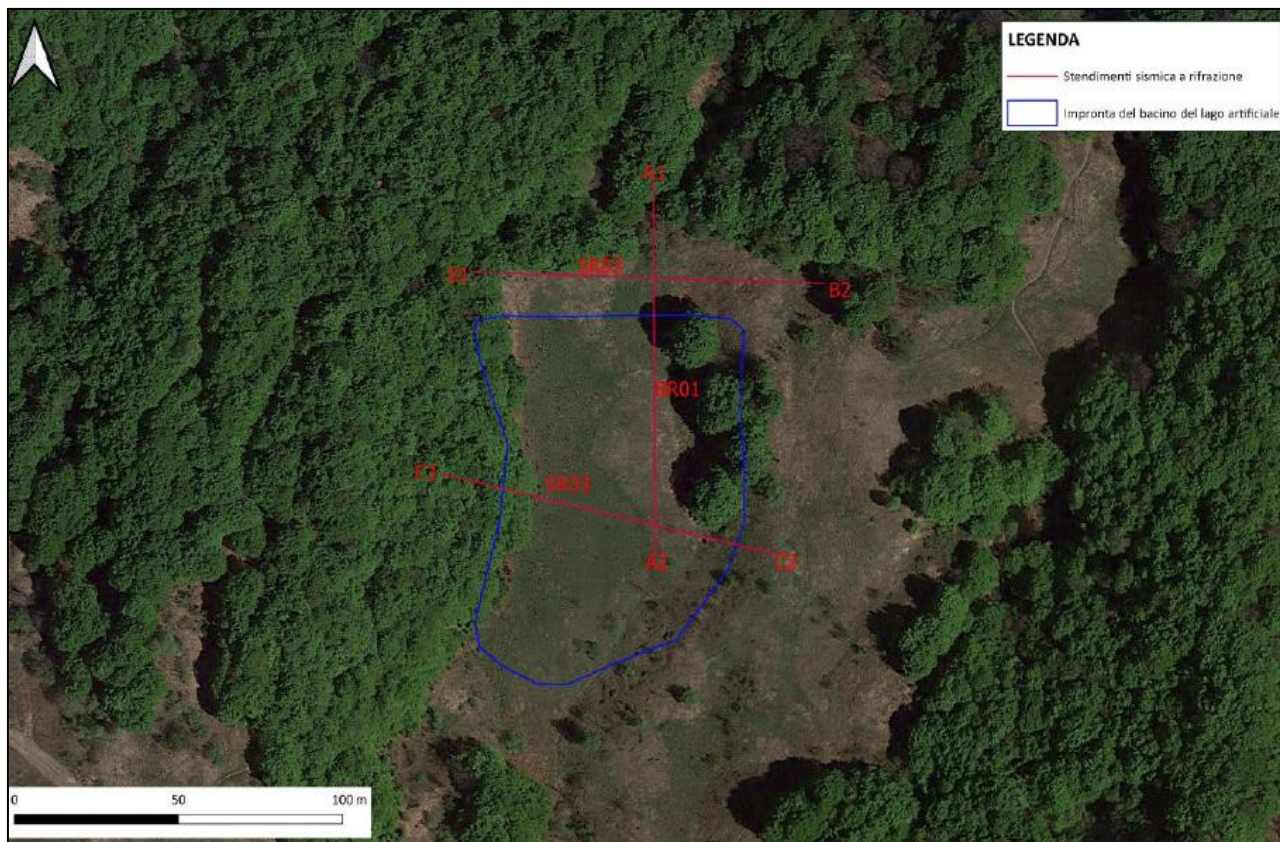


Fig. 9 - Ubicazione stendimenti delle indagini sismiche (*Google Earth 2022*).

## 8 - Caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione

Le rocce del substrato possiedono, di norma, requisiti geomeccanici molto elevati, tipici delle rocce litoidi.

Nonostante il grado di fessurazione e/o di laminazione determini una notevole riduzione dei valori di resistenza al taglio, la scabrezza determina resistenze di parete elevate che conferiscono, nel complesso, soddisfacenti parametri geomeccanici alla compagine rocciosa. Costituita da scisti calcareo - ardesiaci laminati e/o fratturati, affioranti in corrispondenza della zona di imposta dello sbarramento, potrebbe rientrare nella Classe III della classificazione di Bieniawski (1989).

In base alle risultanze dell'indagine sismica ed alla letteratura, si ritiene plausibile assegnare alla parte corticale del substrato roccioso, un angolo di attrito di picco compreso tra  $35^\circ$  e  $40^\circ$  e valori della coesione compresi tra 1.5 e 2.0 kg/cm<sup>2</sup>.

Caratteristiche simili presentano le rocce del substrato (scisti arenacei con argilloscisti ardesiaci) affioranti in corrispondenza dell'opera di presa lungo le aste del Rio della Perla e del Rio Ferosa.

Il substrato roccioso compatto (rinvenuto oltre i 20 m di profondità), entro cui saranno ancorate le teste dei tiranti, dovrebbe presentare lungo le superfici di discontinuità un angolo di attrito di picco compreso tra  $40^\circ$  e  $45^\circ$  e valori della coesione compresi tra 2 e 3 kg/cm<sup>2</sup>. A titolo indicativo, potrebbe trovare corrispondenza nella Classe II della classificazione di Bieniawski.

Il comportamento meccanico dei sovrastanti depositi glaciali (ciottoli, blocchi e ghiaia con grossi trovanti in matrice sabbioso-limosa debolmente argillosa), che ricoprono il fondo e i fianchi della conca in cui sarà ricavato il bacino d'invaso e la pista di accesso al bacino, è caratterizzato, nel suo insieme, da parametri di resistenza al taglio quasi esclusivamente frizionali; nello specifico, soprattutto dall'angolo di attrito interno che varia in funzione del grado di addensamento.

Deve essere considerato, tuttavia, un certo valore della coesione non drenata per la presenza nella matrice della componente limoso-argillosa.

In termini di sforzi efficaci, si ritengono attendibili i seguenti valori dei parametri fisico-meccanici:

$\varphi' = 38^\circ - 40^\circ$  (angolo di attrito di picco);

coesione ( $c'$ )  $\cong 0$ ;

peso di volume  $\gamma_n \cong 19$  kN/m<sup>3</sup>.

Non sensibili all'acqua e ben addensati non hanno comportamento plastico e possono, pertanto, essere ritenuti validi dal punto di vista geotecnico.

I materiali degli accumuli di frana attraversati dalle condotte di adduzione e di collegamento, costituiti da clasti litoidi di varia pezzatura con grandi volumi rocciosi disarticolati in abbondante matrice limoso-sabbioso-argillosa, presentano, invece, mediocri requisiti geotecnici in riferimento alla capacità portante del sistema terreno - fondazioni.

La resistenza al taglio di questi materiali è di tipo prevalentemente frizionale, in funzione dell'angolo di attrito interno che varia secondo l'abbondanza dello scheletro e del grado di addensamento. Non è trascurabile, tuttavia, il ruolo svolto dalla coesione

(trattasi in realtà di pseudocoazione e/o coazione apparente), per la presenza nella matrice della componente limoso-argillosa che conferisce ad essi una certa sensibilità all'acqua e di conseguenza una bassa plasticità.

In termini di sforzi efficaci, si ritengono attendibili i seguenti valori dei parametri fisico-meccanici:

$\varphi' = 30^\circ - 35^\circ$  (angolo di attrito di picco);

coesione ( $c'$ )  $\cong 0$ ;

peso di volume  $\gamma_n \cong 19 \text{ kN/m}^3$ .

I loro requisiti rappresentano un ostacolo alla realizzazione delle convenzionali prove di laboratorio volte alla caratterizzazione geotecnica "di massa". La quantificazione dei parametri fisico-meccanici di questi terreni e di quelli dei depositi glaciali, è stata, pertanto, effettuata per via indiretta, in base a dati di repertorio ed alla bibliografia scientifica.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto dell'opera di sbarramento del bacino d'invaso in riferimento alle categorie riportate al § 3.2.2 del D.M. 17/01/2018 "N.T.C.", tenuto conto dell'assetto litostratigrafico locale e delle caratteristiche geotecniche dei terreni ivi esistenti, si evince che il profilo stratigrafico del sottosuolo di fondazione (alla quota di posa delle fondazioni) possa essere attribuito alla categoria A, di seguito definita:

*"Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m".*

## **9 - Considerazioni conclusive e proposte operative**

Premesso che le opere previste dal progetto sono compatibili con l'assetto geomorfologico e geoidrologico locale, in base alle risultanze delle indagini esperite, si evincono le seguenti considerazioni conclusive:

- L'intero settore interessato dall'intervento non presenta problematiche sia nei confronti della dinamica gravitativa, compresa la dinamica valanghiva, sia per quanto concerne la dinamica dei corsi d'acqua, anche in riferimento alla rete idrografica minore;
- Non sussistono remore circa la capacità portante del sistema terreno - fondazioni della traversa di sbarramento del bacino d'invaso. Le opere di fondazione insistono in toto sul substrato roccioso (Foto 3 e 4);
- I siti sui rii Perla e Ferosa, dove è prevista la realizzazione delle opere di presa, essendo impostati in roccia (scisti arenacei e/o argilloscisti ardesiaci), sono indubbiamente idonei dal punto di vista geomorfologico e geoidrologico. La presenza della roccia in posto lungo le sponde e verosimilmente sul fondo-alveo (Foto 5 e 6) offre buone garanzie circa la tenuta idraulica e la stabilità delle opere, anche in previsione di eventi idrologici a carattere straordinario, come testimoniato dall'assenza di gravi fenomenologie dissestive durante l'evento alluvionale del 2-3 ottobre 2020;
- I depositi glaciali interessati dai lavori di movimento terra per realizzare il bacino d'invaso, la pista di accesso ed alcuni tratti del sedime delle condutture, sono caratterizzati da validi requisiti geotecnici che offrono ampie garanzie in merito alla stabilità dei fronti degli sbancamenti e dei riporti;
- La posa delle tubazioni della condotta di adduzione, ad eccezione dei tratti iniziale e terminale, avverrà per la maggior parte al di sotto della viabilità esistente, mediante lo scavo di una piccola trincea. Date le caratteristiche dell'intervento, la posa della condotta, anche dove il tracciato del sentiero/mulattiera esistente attraversa alcuni settori a stabilità incerta " $F_q$  del PAI" (dove non si individuano, peraltro, dissesti in atto o recentemente avvenuti), non eserciterà un'incidenza negativa nei confronti della stabilità (Foto 7);

;

- Date le caratteristiche dell'intervento, non si ravvisano criticità dal punto di vista della stabilità anche per l'attraversamento, da parte della condotta di collegamento, del grande accumulo di frana stabilizzato nel tratto compreso tra il bacino d'invaso e la nuova stazione di pompaggio, a parte le difficoltà di carattere tecnico-operativo per ricavare il sedime di posa delle tubazioni a causa della presenza di grandi volumi rocciosi (Foto 9). Il resto del tracciato della condotta, dalla nuova stazione di pompaggio al bacino d'invaso esistente, si sviluppa prevalentemente lungo la viabilità esistente;
- Non si ravvisano, invece, particolari problematiche per la realizzazione della pista di accesso al nuovo bacino d'invaso, in considerazione delle buone condizioni di stabilità dei settori attraversati e della morfologia favorevole che consente di ridurre al minimo gli sbancamenti;
- Non si rilevano problematiche in merito alla dinamica valanghiva sia per il bacino d'invaso sia per le opere edilizie accessorie (locale di manovra e nuova stazione di pompaggio). Si precisa a questo proposito che tutte le condotte di adduzione e di collegamento sono completamente interrato.

Premesso che la tipologia dell'intervento in progetto consentirà al termine dei lavori, ad eccezione dei manufatti edilizi fuori-terra, il completo ripristino dei luoghi, si riportano le seguenti considerazioni di carattere tecnico-operativo relativamente ai vari settori d'intervento descritti nella Relazione generale di progetto a cui si rimanda:

- Non essendovi interferenze con la rete idrografica, ad eccezione dell'attraversamento del Rio S. Giovanni (che essendo impostato in roccia non presenta particolari problematiche a parte le difficoltà di scavo), in quanto il sedime della condotta sarà realizzato sempre in posizione esterna rispetto all'alveo di piena del corso d'acqua. Particolare attenzione, tuttavia, dovrà essere riservata agli attraversamenti dei conoidi dei corsi d'acqua tributari, approfondendo eventualmente la profondità della trincea di posa e/o adottando idonee opere di protezione;

- Nel tratto della condotta di collegamento compreso tra il bacino d'invaso e la nuova stazione di pompaggio, la presenza di grandi volumi rocciosi disarticolati comporterà notevoli difficoltà dal punto di vista tecnico-operativo. Si ritiene, comunque, essendo la roccia molto fratturata, che i lavori potranno essere eseguiti con mezzi meccanici senza ricorrere all'uso dell'esplosivo;
- Al di fuori della viabilità esistente, non essendo previsti lavori di sbancamento e di riporto, ad eccezione dei lavori di scavo necessari per ricavare il sedime delle tubazioni, non dovranno essere adottati particolari accorgimenti per il ripristino dei siti, limitandosi al loro inerbimento;
- Nei restanti tratti, dove il tracciato è impostato lungo la viabilità esistente, si procederà al semplice ritombamento per il ripristino dell'originaria sede stradale.



## **Documentazione fotografica**



Foto 1 - Vista da monte del sito del bacino d'invaso.



Foto 2 - Vista da monte della soglia naturale di sbarramento.



Foto 3 - Vista da valle della soglia naturale sottostante alla conca, in cui sarà intestato lo sbarramento, con disposizione degli strati a reggipoggio favorevole alla stabilità.



Foto 4 - Vista da Ovest del punto più depresso della soglia, dove vengono drenate le acque della conca sovrastante. Notare l'assenza di un alveo o di una linea deflusso definita.



Foto 5 - Punto di prelievo sul Rio Perla.

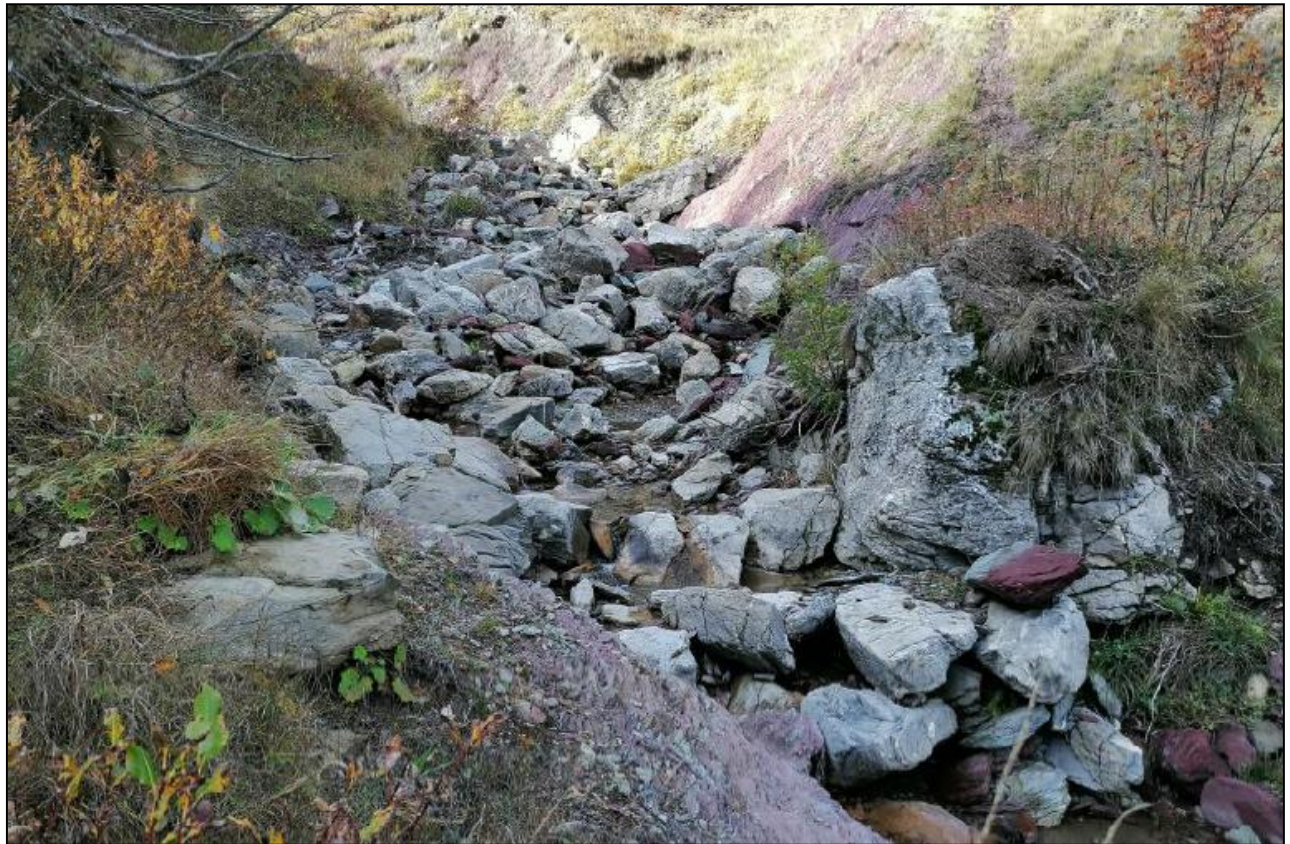


Foto 6 - Punto di prelievo sul Rio Ferosa.



Foto 7 - Tracciato della condotta di adduzione lungo il sentiero/mulattiera esistente.



Foto 8 - Tracciato nella faggeta della parte iniziale della condotta di collegamento, tra il bacino d'invaso e la nuova stazione di pompaggio, senza particolari difficoltà dal punto di vista tecnico-operativo.

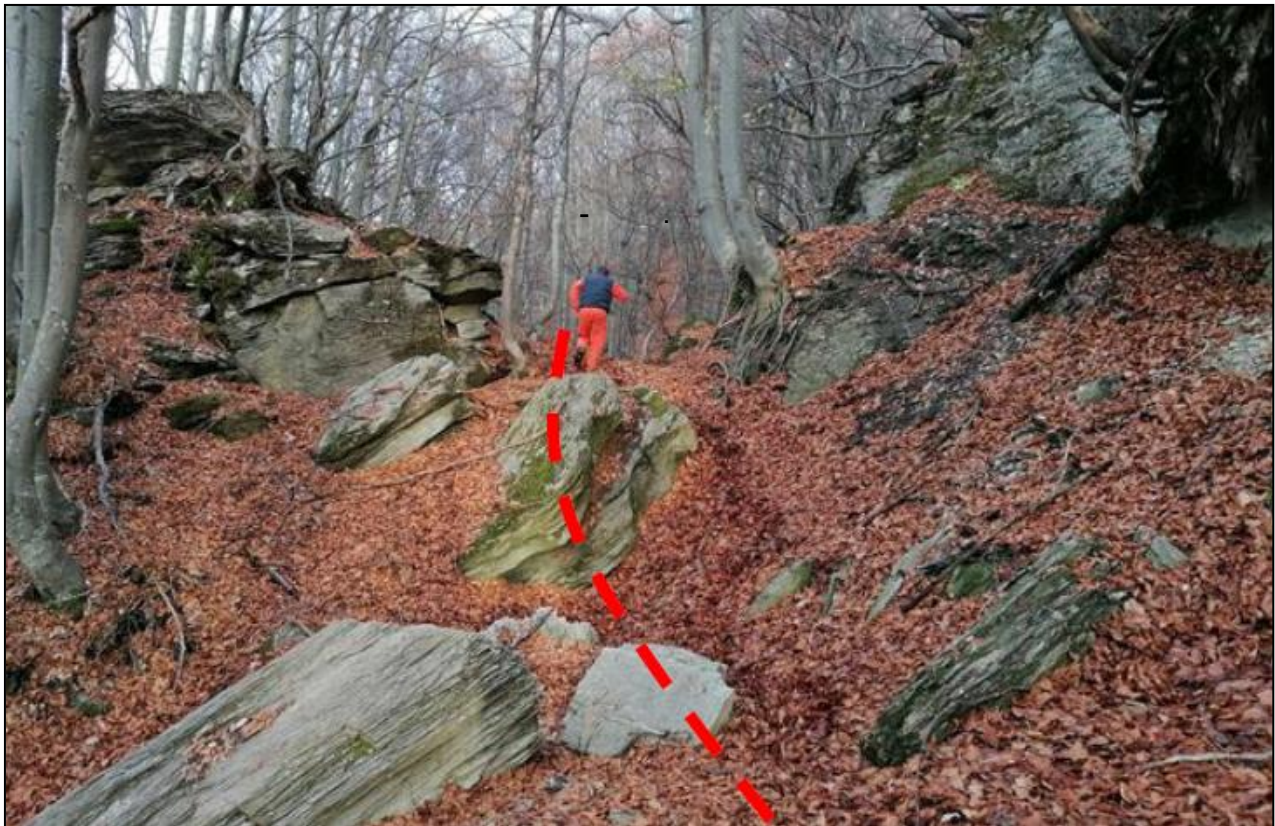


Foto 9 - Tracciato della parte centrale della condotta di collegamento, tra il bacino d'invaso e la nuova stazione di pompaggio, con presenza di grandi volumi rocciosi disarticolati che potranno essere attraversati soltanto mediante l'utilizzo del martello demolitore.



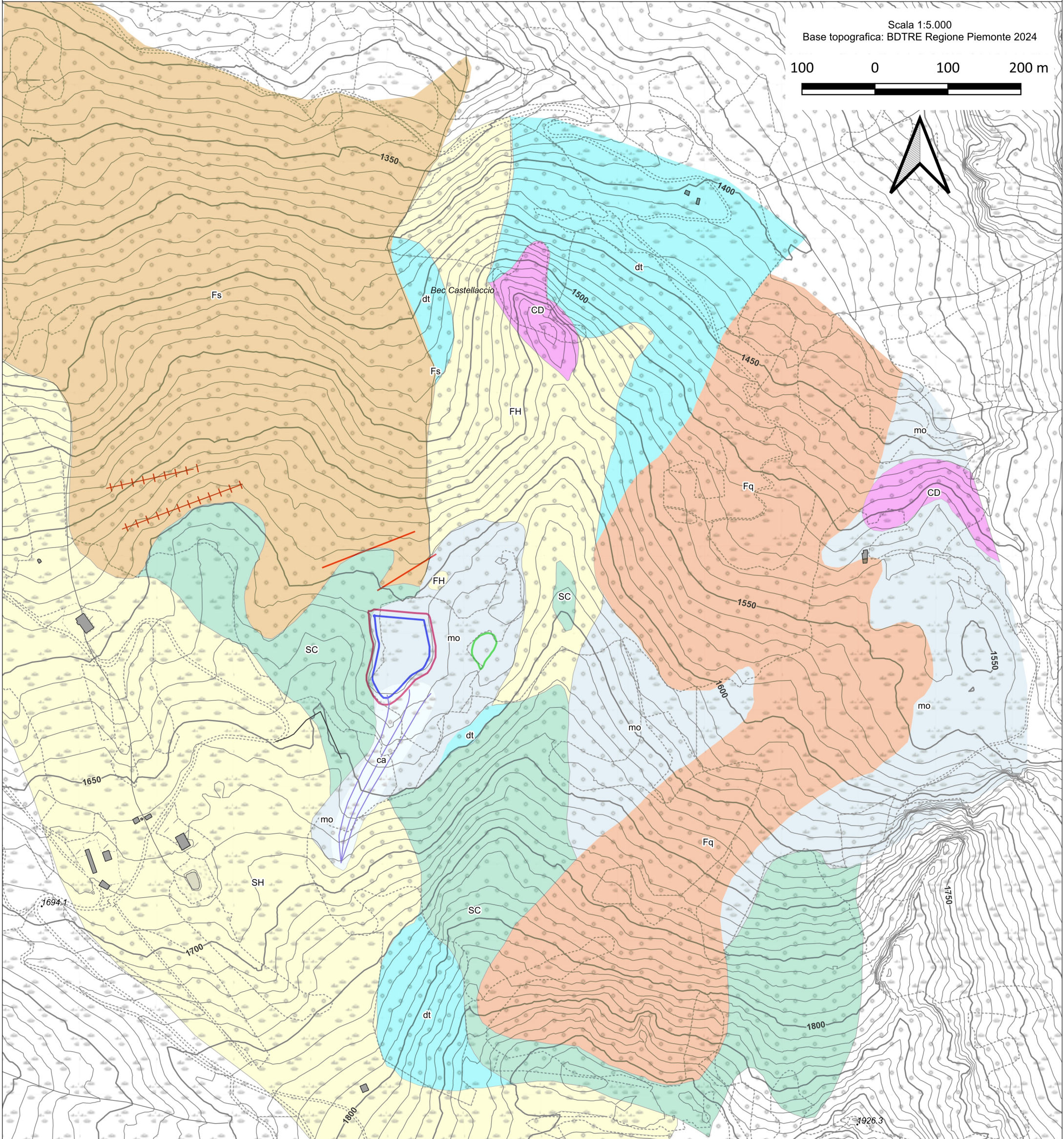
Foto 10 - Sito del fabbricato della nuova stazione di pompaggio, a fianco dell'attuale magazzino interrato a valle della stazione di partenza della Seggiovia Alpetta.

# CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

## Area nuovo invaso "Lago Secco"

Scala 1:5.000  
Base topografica: BDTRE Regione Piemonte 2024

100 0 100 200 m



### LEGENDA

#### Terreni di copertura quaternari

- ca Conoidi alluvionali e coni misti
- dt Depositi detritico-eluvio-colluviali
- mo Depositi glaciali
- Fq Frana quiescente (Legenda PAI: Fq)
- Fs Frana stabilizzata (Legenda PAI: Fs)

#### Rocce del substrato

- Zona Brianzonese**
  - SC Calcari ardesiaci e scisti calcareo-ardesiaci (Cretaceo Sup.)
  - CD Calcari dolomitici (Trias Medio)
- Zona del Flysch ad Elmintoidi**
  - FH Scisti arenacei ed argilloscisti ardesiaci "vari colori" (Cretaceo Sup.)

#### Altri simboli geologici

- Faglia
- Trench

#### Elementi Bacino Lago Secco

- Perimetro invaso in progetto
- Perimetro area bagnata invaso
- Area umida "Lago Secco"