

DOTT. ANDREA TEDOLDI

COMUNE DI SAMOLACO  
PROVINCIA DI SONDRIO

PIANO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA  
RIQUALIFICAZIONE STRADA DA LOC. PIAZZA  
CAPRARA A LOC. SANTA TERESA

PROGETTO  
FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA

RELAZIONE GEOLOGICA

(D.M. 14 GENNAIO 2018 – L.R. N.12 11 MARZO 2005)

GEOLOGO

PRATA CAMPORTACCIO, GIUGNO 2026

Viale Italia, 21  
23020 Prata Camporaccio, SO

DOTT. GEOLOGO  
ANDREA TEDOLDI

*Il documento è firmato digitalmente ai sensi del D.Lgs. 82/2005 s.m.i. e norme  
collegate e sostituisce il documento cartaceo e la firma autografa.*

Tel. 0343 20052  
andrea@studiogeologicotedoldi.it

## INDICE

|                                                                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>INDICE.....</b>                                                                                               | <b>2</b>  |
| <b>1 SINTESI INTRODUTTIVA.....</b>                                                                               | <b>3</b>  |
| <b>2 PROGETTO .....</b>                                                                                          | <b>4</b>  |
| <b>3 INQUADRAMENTO CLIMATOLOGICO .....</b>                                                                       | <b>12</b> |
| <i>3.1.1 Analisi climatica su dati pregressi .....</i>                                                           | <i>12</i> |
| <i>3.1.2 Evoluzione climatica secondo scenari IPCC AR5 e AR6 (progetto GE.RI.KO) .....</i>                       | <i>14</i> |
| <b>4 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA .....</b>                                                                       | <b>15</b> |
| 4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE.....                                                                        | 15        |
| 4.2 DEPOSITI DI SUPERFICIE.....                                                                                  | 16        |
| 4.3 AMMASSO ROCCIOSO/MASSI CICLOPICI .....                                                                       | 17        |
| 4.4 GEOMORFOLOGIA E DINAMICA GEOMORFOLOGICA.....                                                                 | 18        |
| 4.5 IDROGEOLOGIA .....                                                                                           | 18        |
| <b>5 RILIEVO GEOLOGICO .....</b>                                                                                 | <b>19</b> |
| <b>6 INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....</b>                                                                         | <b>23</b> |
| <b>7 IDROLOGIA TORRENTE BOLGADREGNA .....</b>                                                                    | <b>25</b> |
| 7.1.1 Premessa.....                                                                                              | 25        |
| 7.1.2 Inquadramento del bacino idrografico.....                                                                  | 26        |
| 7.2 INQUADRAMENTO STORICO DEGLI EVENTI.....                                                                      | 27        |
| 7.3 CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA CON IL METODO RAZIONALE [DIRETTIVA PAI AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME Po] ..... | 28        |
| 7.3.1 Determinazione del tempo di corrivazione.....                                                              | 28        |
| 7.3.2 Determinazione della pioggia critica.....                                                                  | 29        |
| 7.3.3 Calcolo della portata di piena .....                                                                       | 30        |
| 7.3.4 Risultati finali .....                                                                                     | 30        |
| 7.3.5 Definizione portata di progetto.....                                                                       | 30        |
| <b>8 VERIFICA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE BOLGADREGNA.....</b>                                            | <b>31</b> |
| 8.1 DATI DI PROGETTO OPERA.....                                                                                  | 31        |
| 8.2 DATI DI PROGETTO IDRAULICI .....                                                                             | 31        |
| 8.3 CONCLUSIONE.....                                                                                             | 32        |
| <b>9 ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO .....</b>                                                       | <b>33</b> |
| <b>10 AZIONI SISMICHE .....</b>                                                                                  | <b>34</b> |
| <b>11 CONCLUSIONI .....</b>                                                                                      | <b>35</b> |

## 1 SINTESI INTRODUTTIVA

La presente relazione geologica è stata predisposta a corredo del progetto di riqualificazione della strada da località Piazza Caprara a località Santa Teresa redatto dallo studio tecnico Maraffio

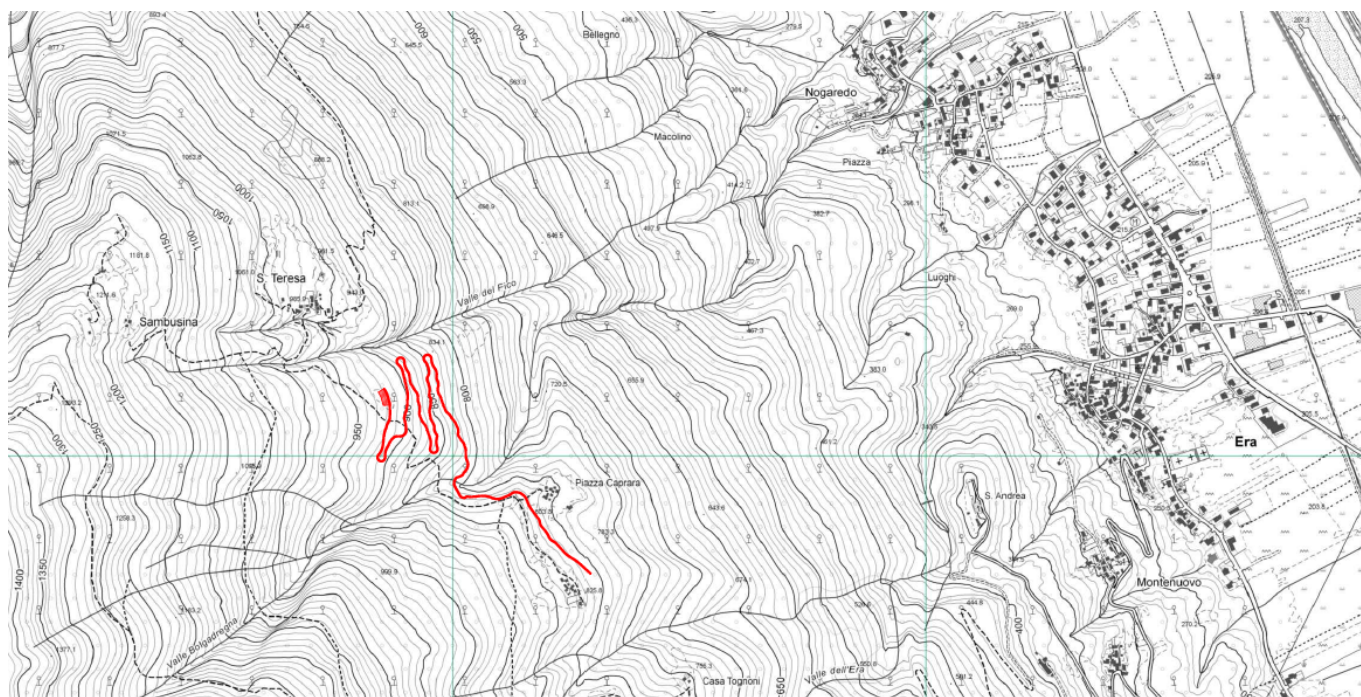
In attuazione alle disposizioni attualmente in vigore nel contesto comunale e di legge NTC 2018, è stata esaminata la situazione territoriale, nel rispetto del nuovo programma progettuale, confrontando i risultati con il quadro degli interventi e verificando la situazione così come previsto dalla normativa vigente.

Le osservazioni condotte nell'area, unitamente ai dati geologici disponibili per il territorio nonché il quadro meccanico delle terre che emerge dall'osservazione delle scarpate naturali e quelle lungo i sentieri e le strade esistenti, ha permesso di caratterizzare dal punto di vista geologico il territorio interessato dal tracciato della futura strada ed il suo intorno

La prima parte d'indagine è stata indirizzata alla definizione della situazione geologica del territorio, mediante sopralluogo nel sito in esame e analizzando la bibliografia esistente riferita in particolar modo alla situazione idrologica ed idrogeologica di contorno.

La successiva verifica è stata attuata utilizzando i dati reperiti confrontandoli con il quadro progettuale. Nel puntuale l'analisi si fa riferimento allo studio di fattibilità geologica relativo al territorio comunale di Samolaco approvato dal Servizio Geologico Regionale ed agli studi effettuati a seguito delle avversità atmosferiche del giugno 1997 – O.M. 2622.

L'intervento prospettato non pregiudica in alcun modo l'assetto idrogeologico. Gli unici rischi sono legati alla normale evoluzione naturale del versante.



**Figura 1:** corografia area di intervento

## 2 PROGETTO

L'intervento in progetto riguarda la realizzazione della strada agro-silvo-pastorale di collegamento tra la località Piazza Caprara e la località Santa Teresa nel Comune di Samolaco, con finalità di miglioramento dell'accessibilità alle aree boscate, supporto alle attività di gestione forestale, prevenzione incendi e agevolazione degli interventi di manutenzione e protezione civile. Il tracciato si sviluppa lungo il versante montano in destra idrografica della Valchiavenna per una lunghezza complessiva di circa 1.600 m, dalla quota iniziale di circa 802 m s.l.m. fino alla quota finale di circa 970 m s.l.m., superando un dislivello complessivo di circa 168 m.

La strada si inserisce in un contesto prevalentemente boscato caratterizzato da morfologia acclive, presenza di coperture detritico-colluviali e frequenti affioramenti rocciosi. Lo sviluppo plano-altimetrico del tracciato è stato adattato all'andamento naturale del versante mediante la realizzazione di quattro tornanti principali che consentono il superamento delle maggiori acclività limitando le pendenze longitudinali della viabilità. Il profilo longitudinale evidenzia una pendenza media dell'ordine del 10-11%, con valori localmente superiori in corrispondenza dei tratti più acclivi e delle curve di inversione.

La piattaforma stradale presenta una larghezza ordinaria compresa tra 3,00 e 3,50 m, con pendenza trasversale del 2% finalizzata all'allontanamento delle acque meteoriche. In corrispondenza dei tornanti e dei punti di possibile incrocio dei veicoli sono previsti allargamenti della carreggiata che svolgono funzione di piazzole di scambio e di manovra per i mezzi forestali. Dal computo metrico risultano quattro allargamenti principali, ciascuno sviluppato per circa 30 m di lunghezza e 2 m di ampliamento laterale, per una superficie complessiva di circa 240 m<sup>2</sup>.

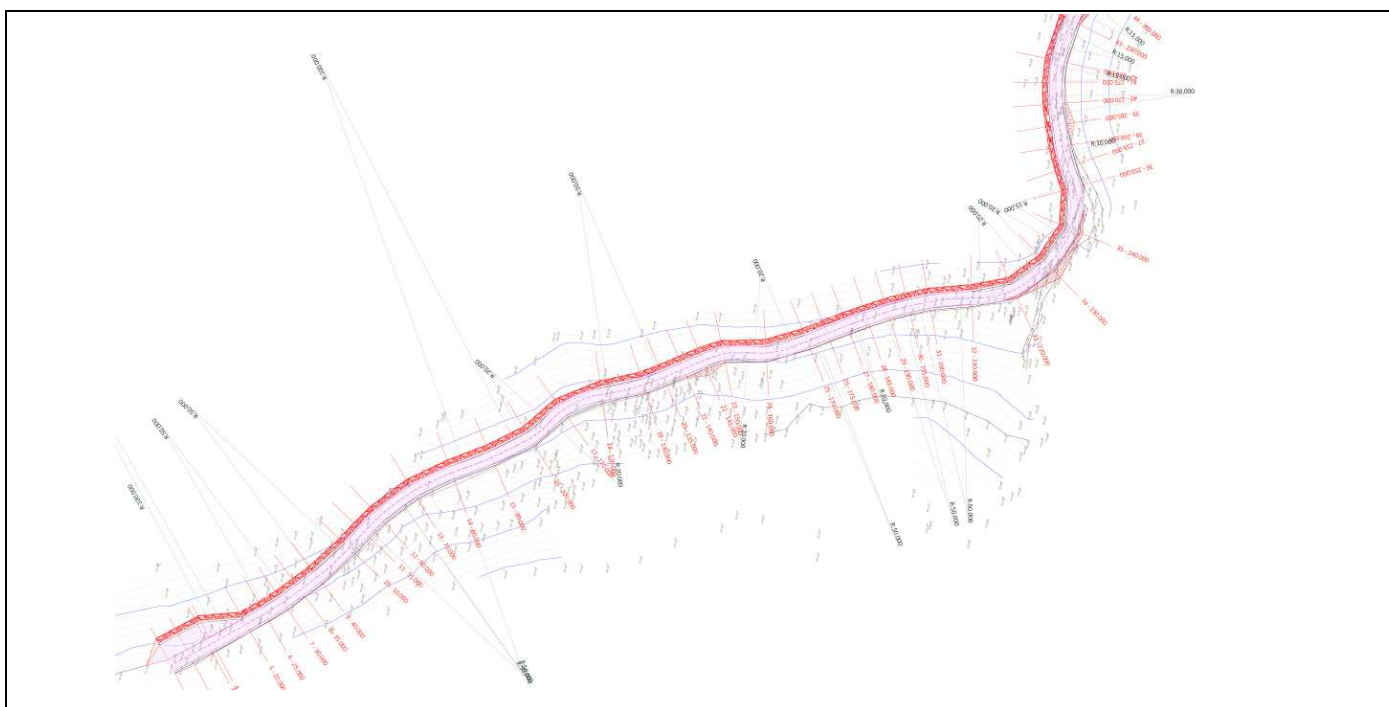
In corrispondenza dell'area terminale presso la località Santa Teresa è prevista la realizzazione di un piazzale destinato alla sosta dei mezzi e alle attività di servizio connesse alla gestione forestale. Dalla documentazione progettuale emerge una superficie pari a circa 612 m<sup>2</sup>, ottenuta mediante uno sviluppo planimetrico di circa 51 m di lunghezza e 12 m di larghezza, idonea ad ospitare sia le manovre dei veicoli sia le operazioni di accatastamento temporaneo del materiale legnoso derivante dagli interventi selvicolturali.

L'opera strutturalmente più significativa è rappresentata dall'attraversamento della Valle Bolgadregna, ubicato in prossimità della passerella pedonale esistente. Il progetto prevede la realizzazione di un manufatto carrabile in cemento armato costituito da una soletta di impalcato avente lunghezza di circa 22,20 m e larghezza di circa 4,00 m, sostenuta da cinque elementi murari portanti in cemento armato fondati direttamente sul substrato roccioso dell'alveo. Le opere di fondazione sono integrate da sistemi di ancoraggio mediante barre tipo Gewi lunghe 4 m, mentre lateralmente sono previsti parapetti di protezione e cordoli in calcestruzzo armato. La struttura è concepita in modo da garantire la continuità del deflusso idrico sottostante, riducendo al minimo le interferenze con la

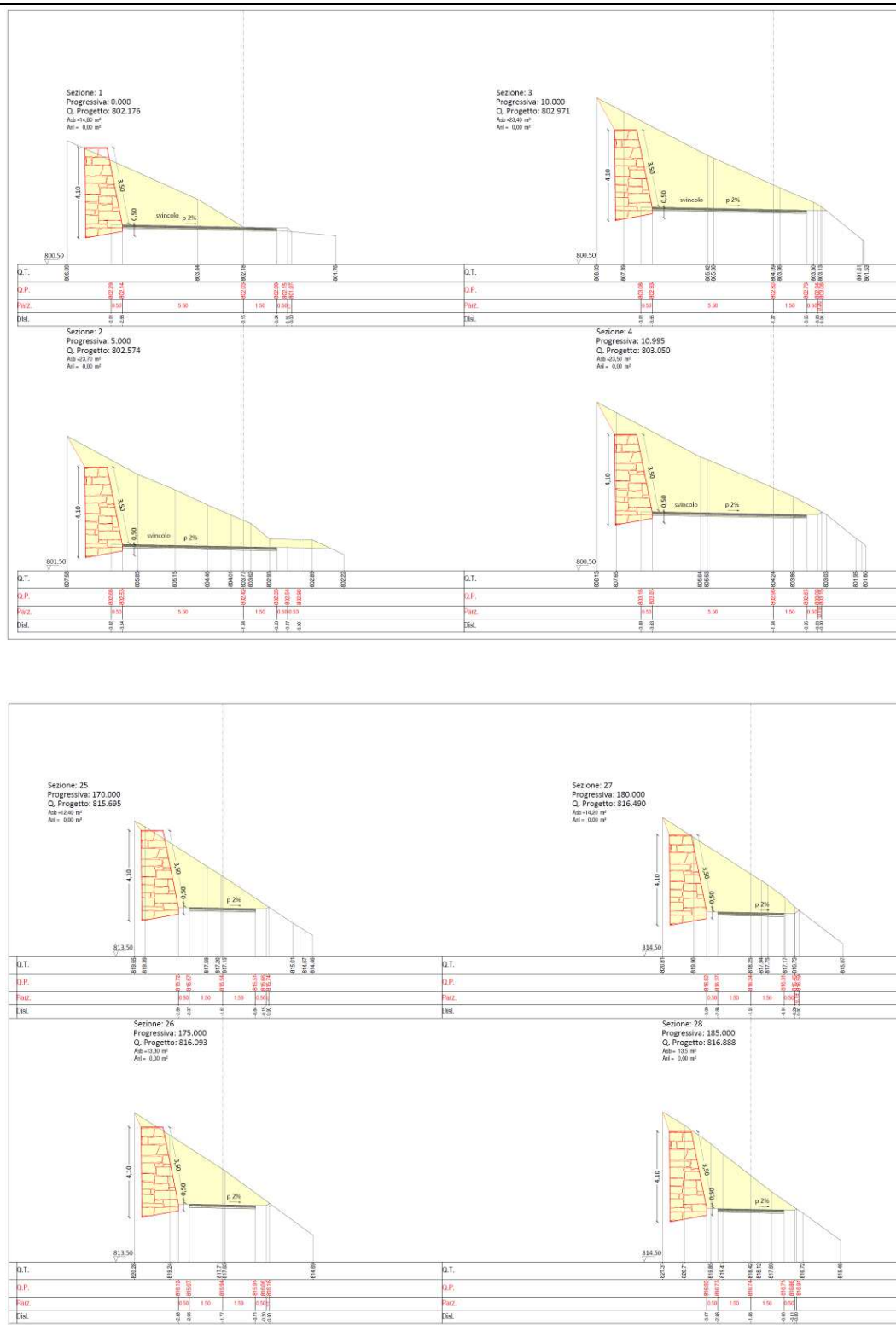
dinamica torrentizia e consentendo il mantenimento della sezione di deflusso della valle. Durante la fase esecutiva è prevista la realizzazione di opere provvisorie per la deviazione temporanea delle acque e per la protezione del cantiere all'interno dell'alveo.

Dal punto di vista geologico e geomorfologico l'intervento interessa versanti caratterizzati da acclività medio-elevata, con presenza di coperture superficiali di origine colluviale e detritica poggianti su substrato roccioso localmente affiorante. Le sezioni di progetto evidenziano la necessità di realizzare numerosi sbancamenti e opere di sostegno per la formazione della piattaforma stradale. Il computo metrico prevede infatti circa 7.700 m<sup>3</sup> di scavi in roccia eseguiti mediante mezzi meccanici con martellone idraulico, oltre a rilevati, scogliere in massi ciclopici e opere di sostegno localizzate nei tratti maggiormente acclivi.

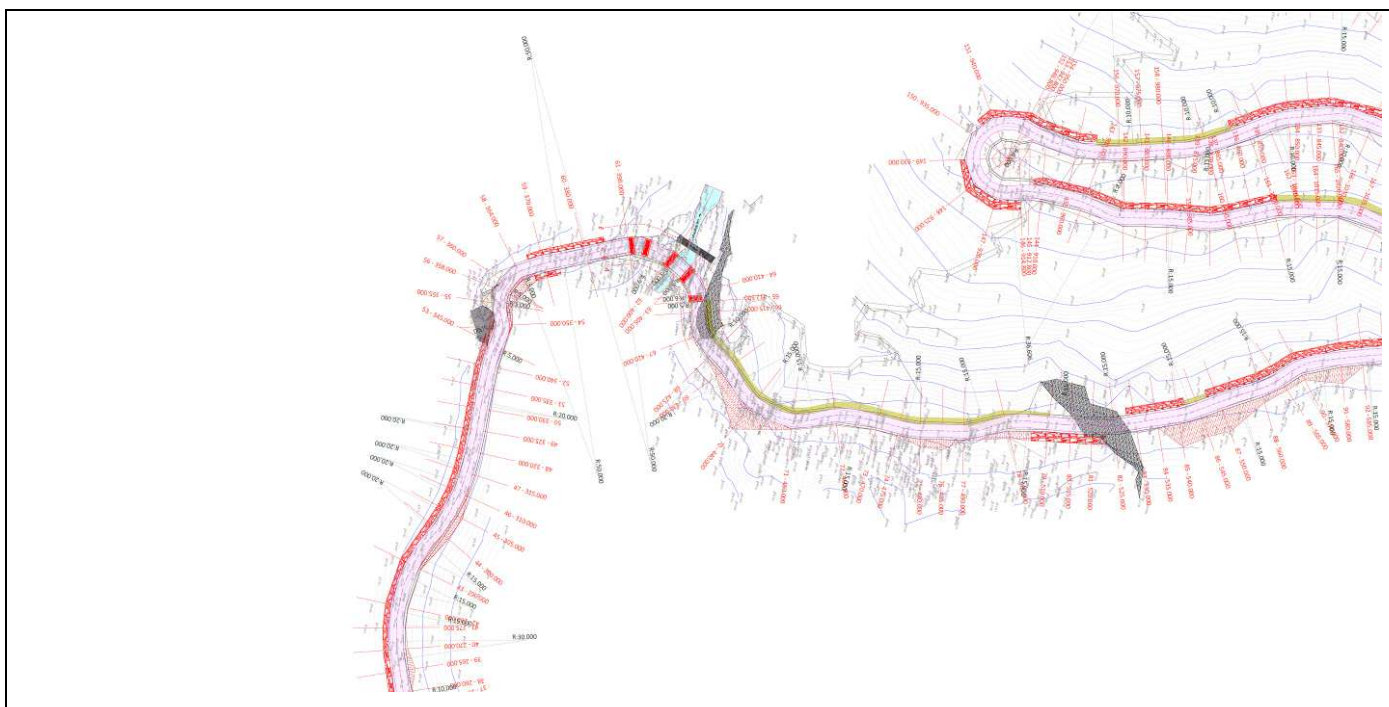
Particolare attenzione è stata dedicata alla regimazione delle acque superficiali, prevedendo lungo il tracciato un sistema di canalette trasversali metalliche, opere di raccolta e dissipazione delle acque meteoriche e sistemazioni delle scarpate di monte e di valle, finalizzate a limitare i fenomeni erosivi e a garantire la stabilità dell'infrastruttura nel tempo.



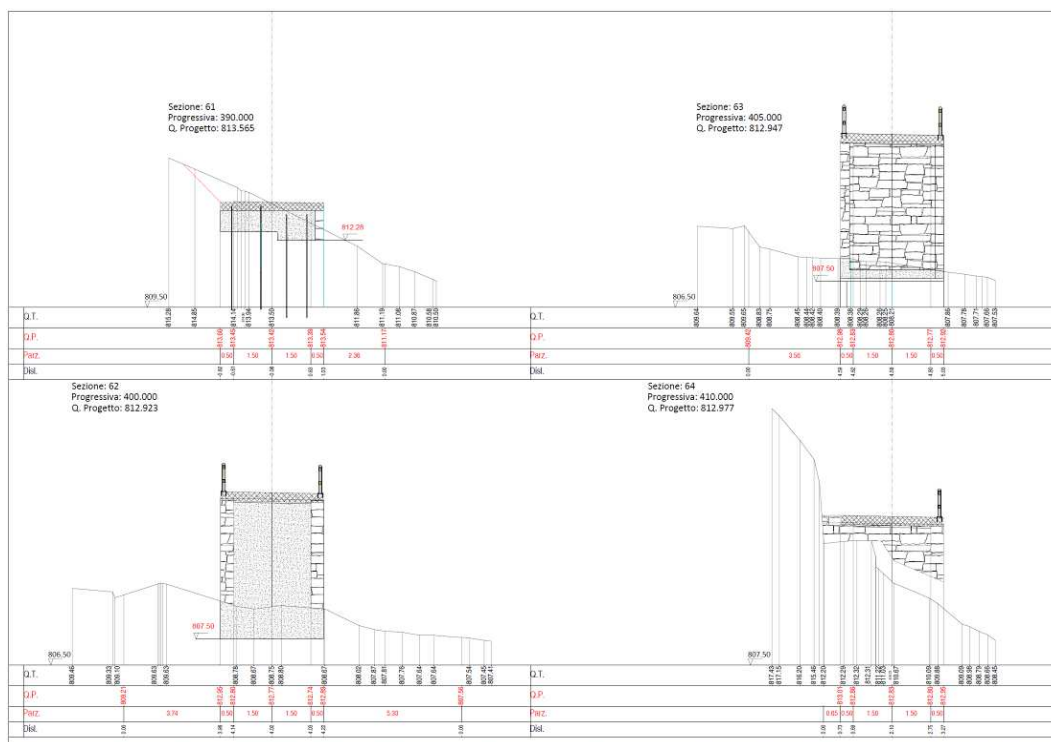
**Figura 2:** estratto planimetrico tratto iniziale pista in progetto [tavola B3 Studio Maraffio]



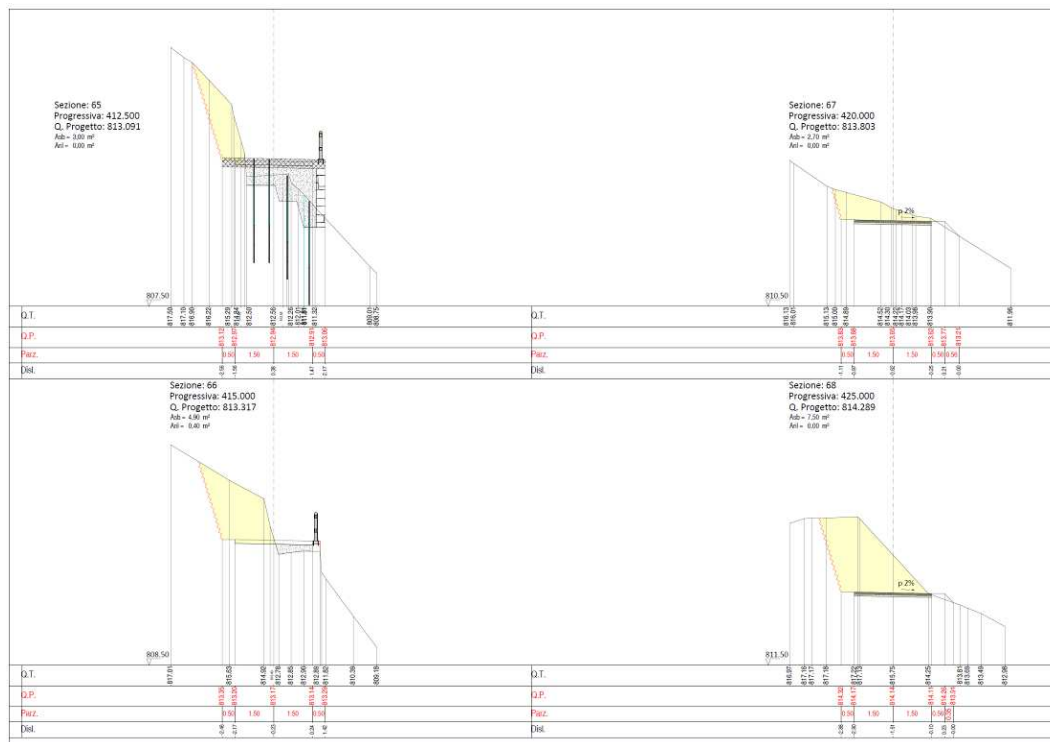
**Figura 3:** estratto sezioni di progetto più significative tratto iniziale pista in progetto  
[tavola B5 Studio Maraaffio]



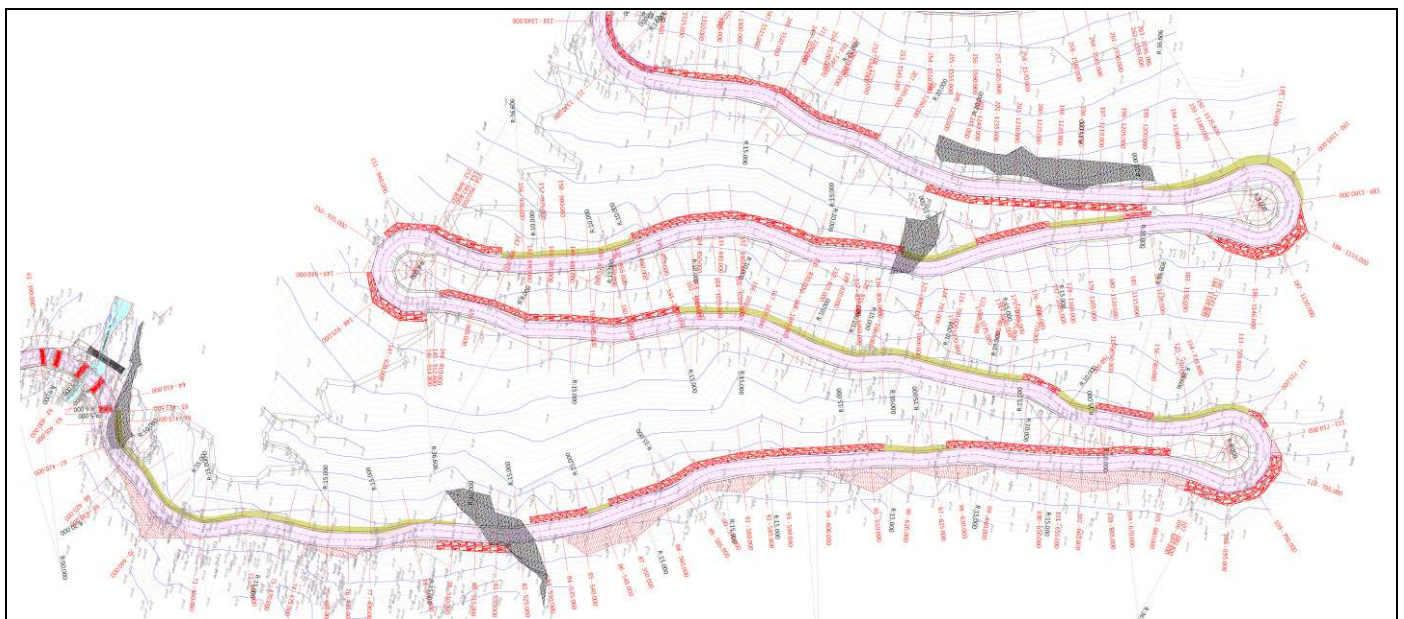
**Figura 4:** estratto planimetrico tratto attraversamento val Bolgadregna [tavola B3 Studio Maraffio]



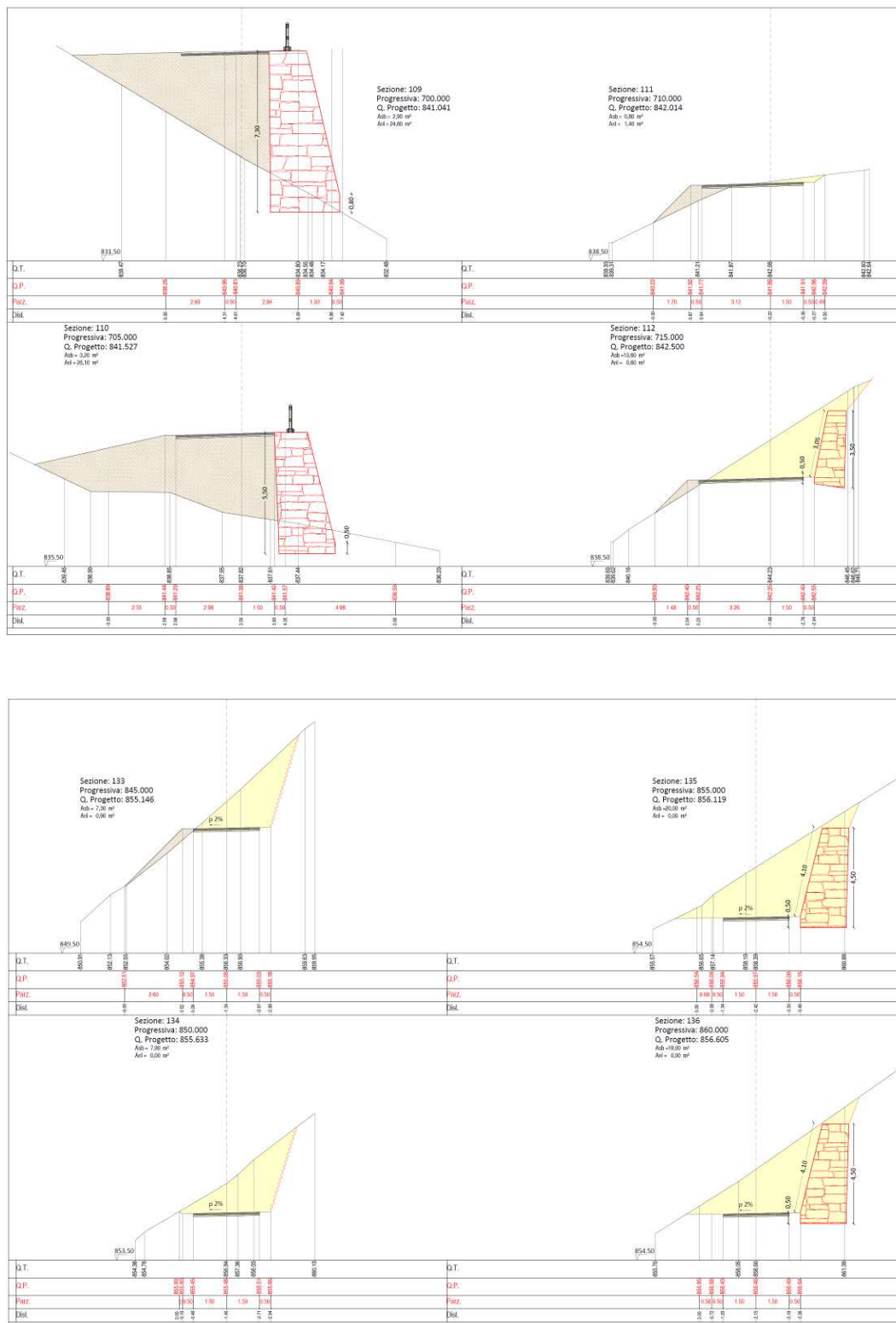
**Figura 5a:** estratto sezioni di progetto tratto attraversamento val Bolgadregna  
[tavola B5 Studio Maraffio]



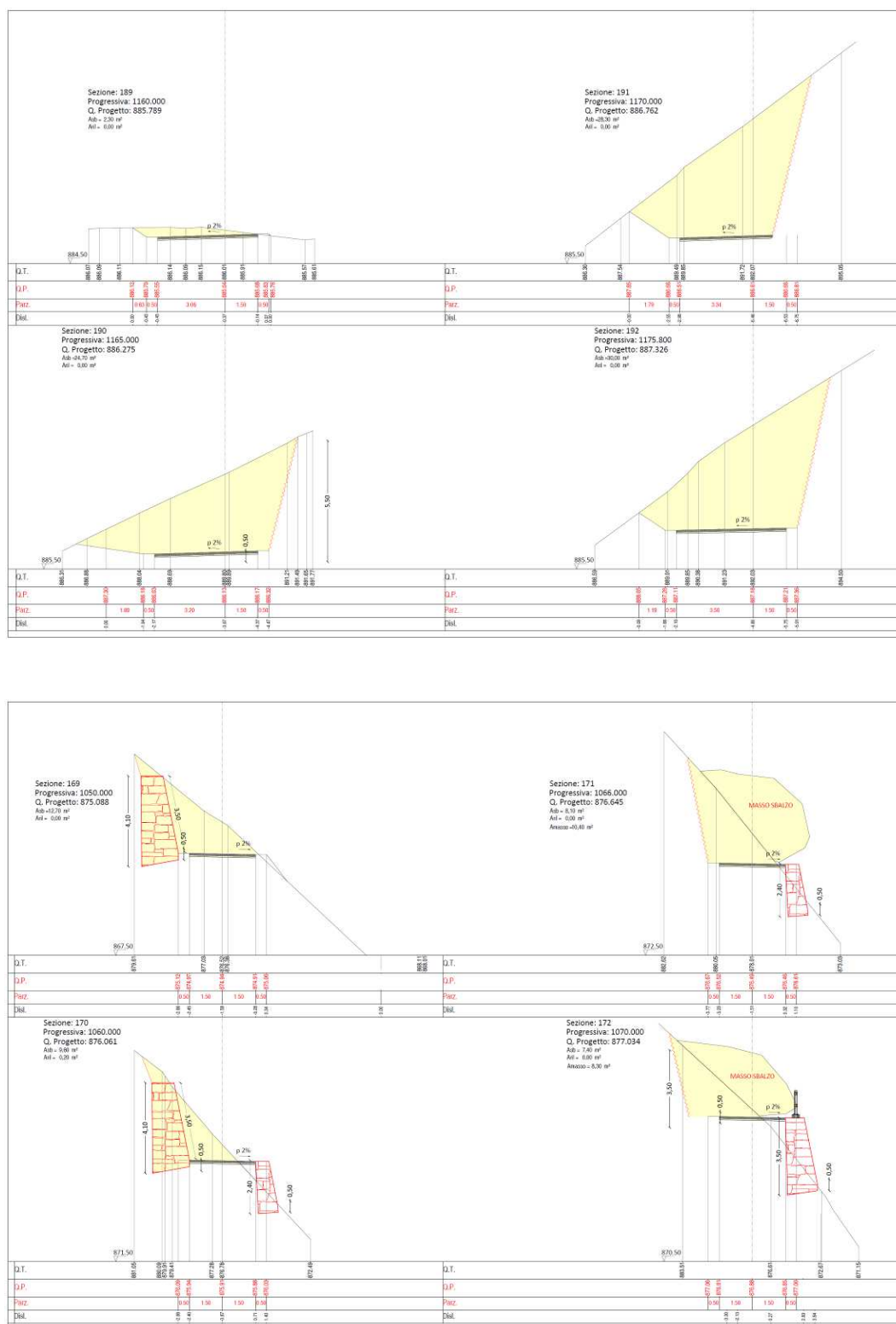
**Figura 5b:** estratto sezioni di progetto tratto attraversamento val Bolgadregna  
[tavola B5 Studio Maraffio]



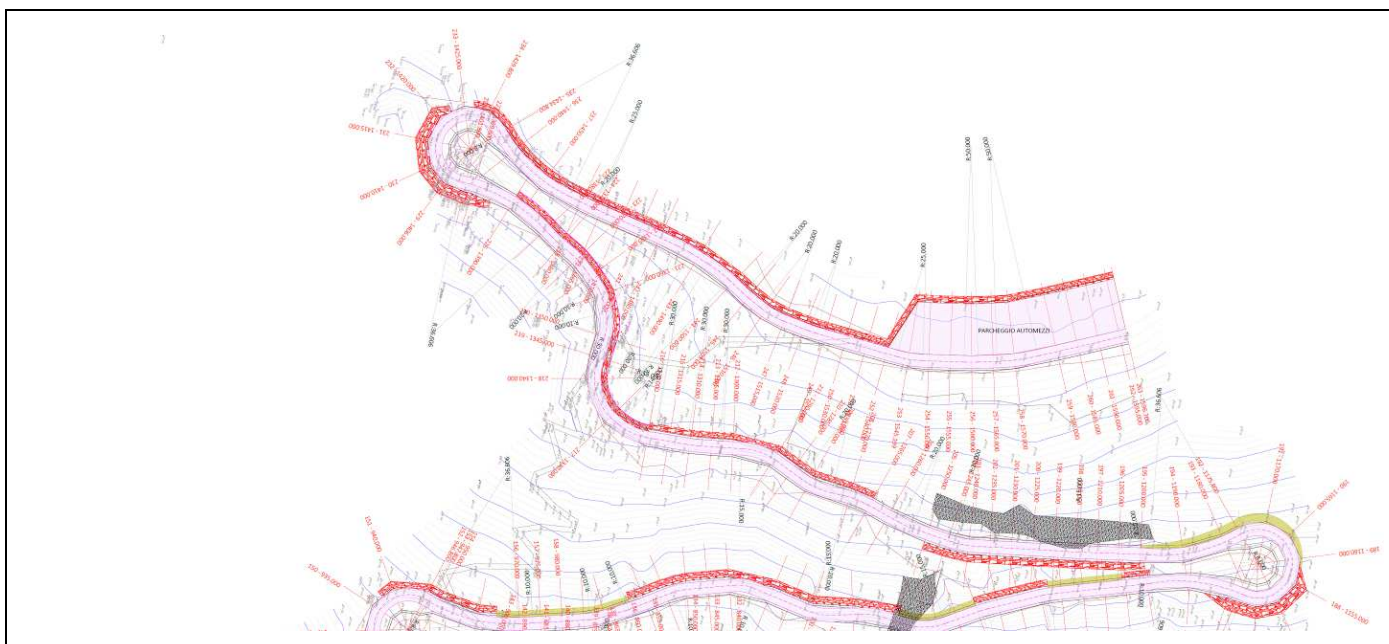
**Figura 6:** estratto planimetrico tratto a tornanti [tavola B3 Studio Maraffio]



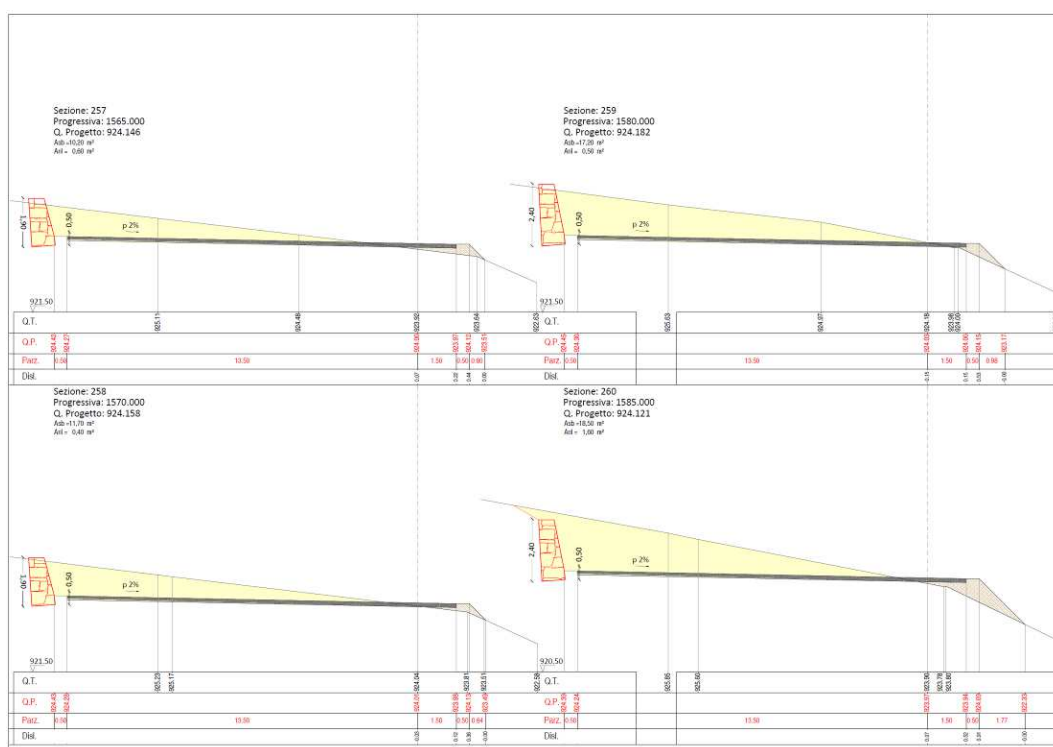
**Figura 7a:** estratto sezioni di progetto tratto a tornanti [tavola B5 Studio Maraffio]



**Figura 7b:** estratto sezioni di progetto tratto a tornanti [tavola B5 Studio Maraffio]



**Figura 8:** estratto planimetrico tratto finale [tavola B3 Studio Maraffio]



**Figura 9:** estratto sezioni di progetto tratto finale [tavola B5 Studio Maraffio]

### **3 INQUADRAMENTO CLIMATOLOGICO**

#### *3.1.1 Analisi climatica su dati pregressi*

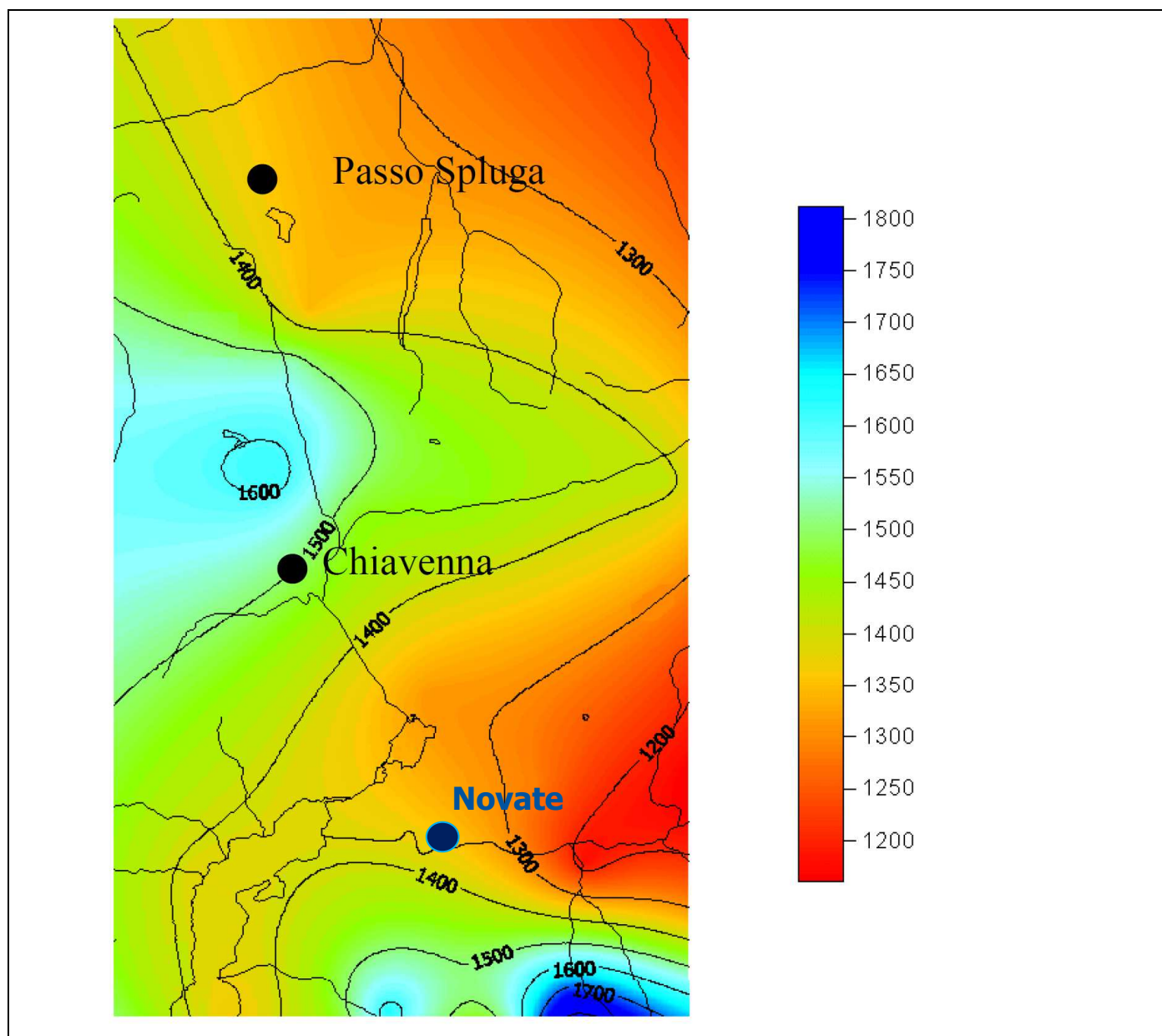
Il clima del Comune di Novate Mezzola è fortemente condizionato dalla sua posizione geografica nella bassa Valchiavenna, a quota di circa 200 m s.l.m., in prossimità del Lago di Mezzola e del Pian di Spagna. Rispetto ai settori più interni e di alta quota della valle, l'area presenta caratteristiche di transizione tra ambiente alpino ed ambito prealpino, configurandosi come un clima subalpino umido.

L'elemento dominante è rappresentato dall'influenza del lago, che agisce come regolatore termico e serbatoio di umidità. Questo si traduce in una attenuazione delle escursioni termiche stagionali: le temperature medie invernali risultano generalmente più elevate rispetto all'alta valle, mentre in estate si osservano valori moderati ma accompagnati da elevata umidità relativa. La presenza del bacino lacustre contribuisce inoltre ad aumentare il contenuto di vapore nei bassi strati atmosferici, favorendo la genesi di precipitazioni locali.

Dal punto di vista della circolazione atmosferica, Novate Mezzola risente sia delle dinamiche alpine che di quelle prealpine. Gli episodi di foehn da nord, pur attenuati rispetto all'alta valle, sono ancora percepibili e determinano condizioni di aria secca e visibilità elevata. Al contrario, le correnti umide meridionali, associate al transito di depressioni mediterranee, incidono in modo più diretto rispetto alle zone interne, producendo precipitazioni diffuse e talvolta persistenti. Durante la stagione estiva, l'infiltrazione di aria instabile di origine atlantica favorisce lo sviluppo di fenomeni convettivi, spesso sotto forma di rovesci e temporali.

Il regime delle precipitazioni è caratterizzato da una marcata stagionalità. Il massimo principale si registra nei mesi estivi, con accumuli mensili che, come evidenziato nel grafico a pag. 18 del documento, raggiungono valori dell'ordine di 170–190 mm nei mesi di luglio e agosto, mentre i minimi invernali si attestano su circa 50–70 mm mensili. Complessivamente, le precipitazioni annue nell'area di Novate Mezzola sono comprese tra 1400 e 1600 mm, leggermente superiori alla media della Valchiavenna grazie all'effetto mitigante e umidificante del lago.

Una quota significativa delle precipitazioni annuali si concentra nel periodo compreso tra aprile e settembre, durante il quale cadono mediamente circa 900 mm di pioggia, pari al 60–65% del totale annuo. In questo intervallo si collocano anche gli eventi più intensi: i dati indicano la possibilità di precipitazioni giornaliere dell'ordine di 150 mm, con tempi di ritorno pluridecennali, e accumuli mensili superiori a 300 mm nei casi più estremi. Tali condizioni evidenziano una significativa predisposizione del territorio a risposte idrologiche rapide.



**Figura 10:** mappa delle precipitazioni medie annue in valchiavenna

[Stazione Chiavenna-Università degli Studi di Milano]

Dal punto di vista spaziale, Novate Mezzola si inserisce in un gradiente pluviometrico regionale ben definito: i valori risultano inferiori rispetto ai massimi delle Prealpi (oltre 2000 mm/anno), ma superiori rispetto alle aree endoalpine come Engadina e alta Valtellina, dove le precipitazioni medie annue si riducono a 600–800 mm . Ciò conferma il ruolo della bassa Valchiavenna come zona di transizione climatica.

Per quanto riguarda gli aspetti termo-igrometrici locali, si osservano frequentemente condizioni di elevata umidità atmosferica, soprattutto nei periodi autunnali e invernali, con possibili fenomeni di

inversione termica e ristagno dell'aria nei bassi strati. In estate, invece, la combinazione di temperature e umidità favorisce una marcata instabilità convettiva.

Infine, sotto il profilo nivologico, l'area presenta caratteristiche marginali per l'accumulo nevoso: a queste quote le precipitazioni invernali sono spesso liquide e la neve si presenta solo durante episodi freddi più intensi, con accumuli generalmente modesti e di breve durata. Le dinamiche nivali di maggiore rilevanza per il territorio risultano quindi legate ai bacini montani sovrastanti, piuttosto che al fondovalle.

In sintesi, il clima di Novate Mezzola è definito dall'interazione tra fattori alpini, influenza lacustre e circolazioni meridionali, con valori pluviometrici medio-alti (1400–1600 mm/anno), forte concentrazione stagionale delle precipitazioni e presenza di eventi intensi, elementi che conferiscono al territorio una spiccata sensibilità sotto il profilo idrologico.

### *3.1.2 Evoluzione climatica secondo scenari IPCC AR5 e AR6 (progetto GE.RI.KO)*

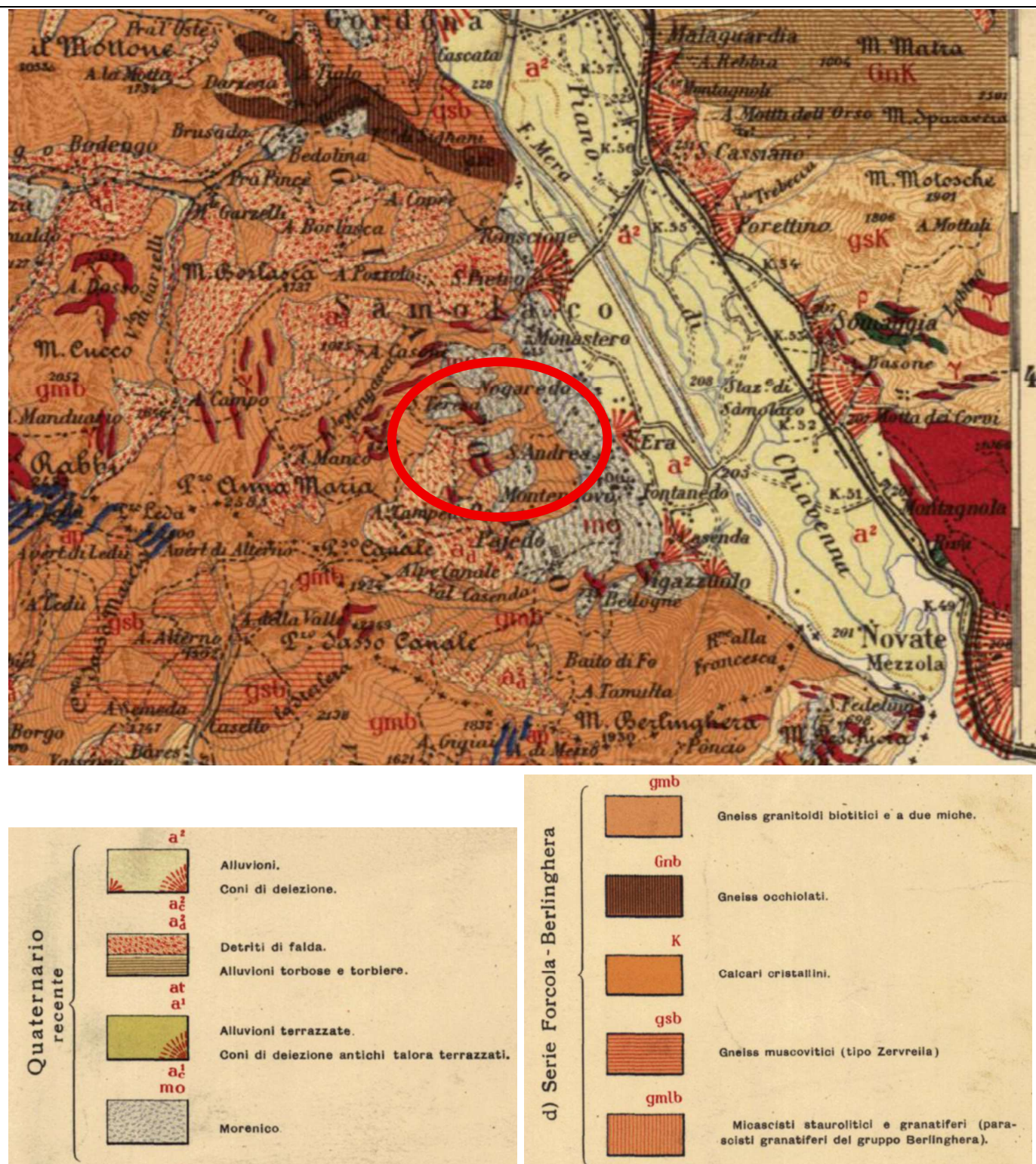
La presente sintesi è elaborata sulla base dello studio "Scenari idrologici per il fiume Mera: il progetto GE.RI.KO." (Politecnico di Milano, Maspero & Rivolta, 2020)-tesi di laurea magistrale.

Le simulazioni climatiche basate sugli scenari IPCC AR5 e AR6 evidenziano un aumento generalizzato delle temperature nel corso del XXI secolo, con effetti più marcati alle quote elevate e conseguente riduzione della durata e dell'estensione del manto nevoso, innalzamento della quota neve e incremento dei processi di fusione nivale e glaciale. Parallelamente, le precipitazioni mostrano una variabilità significativa.

Le simulazioni idrologiche indicano una riduzione complessiva delle portate medie del fiume Mera nel lungo periodo, associata a una redistribuzione stagionale con maggiori deflussi in inverno e inizio primavera e una contrazione nei mesi estivi, dovuta alla diminuzione dell'accumulo nivale e al progressivo esaurimento del contributo glaciale. Per il territorio di Novate Mezzola tali dinamiche si traducono in un aumento del rischio idraulico legato a eventi di piena rapida e a precipitazioni intense, nonché in una maggiore suscettibilità a fenomeni idrogeologici nei bacini laterali, come colate detritiche e instabilità superficiali, anche a fronte di una possibile diminuzione delle portate medie annuali. La riduzione del ruolo regolatore della neve comporta inoltre una risposta idrologica più immediata agli eventi di pioggia, aumentando la rapidità dei tempi di corrivazione e la difficoltà di previsione. Nel complesso, il quadro evolutivo indica una transizione da un regime prevalentemente nivo-pluviale a uno più marcatamente pluviale, con minore disponibilità idrica media ma maggiore frequenza e intensità di eventi estremi, configurando uno scenario di crescente criticità per la gestione del rischio idraulico e idrogeologico ai fini della protezione civile nel territorio di Samolaco.

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA

### 4.1 Inquadramento geologico generale



**Figura 11:** estratto carta geologica foglio Chiavenna

[Servizio Geologico D'Italia Organo Cartografico Dello Stato]

La geologia delle Alpi centrali è stata oggetto di alcuni studi in seguito all'esecuzione di profili sismici dei progetti d'indagine CROP (Italia) e NFP20 (Svizzera) sulla crosta profonda delle Alpi.

In Valchiavenna, a nord della Linea Insubrica, affiorano tre falde penniniche: Adula, Tambò e Suretta. Queste strutture sono formate da un basamento cristallino pre-Permiano (composto da paragneiss e metagranitoidi) e separate tra loro da lembi di rocce permo-mesozoiche ("sinclinali della Mesolcina e della Spluga). A Nord di Chiavenna queste falde, aventi foggia di corpi tabulari, si sovrappongono in modo regolare, mostrando una debole immersione verso Est. Da Chiavenna al Lago di Como, le unità sono fortemente piegate e raddrizzate (zona verticalizzata meridionale o "zona di radice") a seguito delle intense deformazioni alpine. In questa zona si ritrovano quattro unità di incerta posizione strutturale: Ofioliti di Chiavenna, complesso del Monte Gruf, Zona Bellinzona Dascio e gli Scisti del Tonale.

A livello regionale le principali direzioni delle discontinuità hanno un andamento est-ovest ed est-sud est come la valle del Mera e l'allineamento Monastero Sant'Andrea.

Il versante in esame si caratterizza per la sua elevata acclività. Esso è limitato a monte dalle pareti rocciose sub verticali costituite da rocce gneissiche che caratterizzano lo spartiacque che raggiunge una quota massima pari a 2300 m s.l.m. ca.

La deformazione metamorfica, che ha interessato il substrato roccioso, è ben evidente sulla scala dell'affioramento, meno evidente nell'ammasso globale; l'intenso crioclastismo della parete nonché l'azione costante degli agenti meteorici suddivide l'ammasso roccioso, in funzione della pervasività delle discontinuità, in prismoidi di volume plurimetrico o in corpi di forma tabulare di dimensione minore.

Al piede delle pareti rocciose si rilevano dei depositi detritici che scendendo di quota vengono sostituiti da lembi eluvio colluviali e da depositi glaciali. All'interno della copertura glaciale si rilevano trovanti isolati di dimensioni plurimetriche.

## **4.2 Depositi di superficie**

I depositi che interessano il versante sono legati sia alla passata attività glaciale che a quella post glaciale relativa al detensionamento ed alterazione delle pareti rocciose.

Durante i sopralluoghi sono state individuate 3 principali coperture quali:

- Copertura glaciale caratterizzata da una presenza di matrice fine limoso argillosa che garantisce la stabilità a breve termine di scarpate subverticali anche di altezza elevata; in caso di abbondanti infiltrazioni può rappresentare un potenziale livello di scorrimento di acqua e diventare instabile a causa delle caratteristiche di resistenza meccanica (frana in zona Monastero, e Santa Teresa). Lungo le scarpate naturali o antropiche è possibile notare la matrice a cui si intercalano i depositi a granulometria maggiore ed i blocchi.

- Terreni eluvio colluviali: sono legati all'alterazione del substrato. Si tratta di terreni eluviali e/o colluviali, fini, privi o con scheletro solido limitato a scarse scaglie poco arrotondate. Presentano uno spessore limitato, massimo dell'ordine di 1 m che può divenire decisamente più elevato all'interno delle cavità e/o depressioni e dove sono presenti gli ammassi rocciosi derivanti dal metamorfismo di contatto.
- Accumuli detritici: la disgregazione meccanica del substrato porta alla formazione di fasce di falde detritiche che caratterizzano il piede dei versanti nelle zone di raccordo tra il pendio e le pareti rocciose affioranti. Si presentano con clasti eterometrici, a spigoli vivi, irregolari di dimensione da metrica a plurimetrica. Lo spessore è notevole vista l'imponenza delle pareti rocciose.

L'eterogeneità di consistenza, le variazioni stratigrafiche e granulometriche comportano spesso una variazione discontinua di addensamento all'interno dello stesso deposito. Inoltre, i depositi glaciali sono spesso sovraconsolidati, quindi caratterizzati da comportamenti anomali rispetto alla geotecnica classica.

La descrizione dettagliata e puntuale dei terreni complessi, porterebbe alla ricostruzione di un modello geologico complicato e di scarsa utilità. Ne consegue la tendenza ad una rappresentazione semplificata considerando i materiali complessivamente omogenei globalmente che lascia aperte comunque numerose problematiche e criticità.

La correlazione tra il modello geologico ed il modello geotecnico è quindi difficilmente eseguibile. I terreni diversi nello stesso deposito spesso possono avere caratteristiche geotecniche simili ma in funzione delle infiltrazioni idriche, del grado di consistenza e quant'altro si possono riscontrare caratteristiche geotecniche differenti pur avendo un'analoga composizione granulometrica.

Il modello geologico ricostruito su sezione stratigrafica in genere risulta quindi poco corrispondente al modello geotecnico (per esempio: un livello di argille potrebbe risultare molto più addensato e quindi con caratteristiche geotecniche migliori di un livello ghiaioso poco addensato a causa della circolazione di acqua che ne ha asportato le litologie fini).

In considerazione di quanto sopra esposto, risulta evidente l'importanza di verificare in sede esecutiva le caratteristiche dei terreni interessati dall'opera per verificare la validità delle ipotesi qui riportate.

#### **4.3 Ammasso roccioso/massi ciclopici**

Il substrato roccioso è rappresentato da litologie gneissiche con la foliazione principale immergente a franappoggio più inclinato del pendio verso est.

L'aspetto più interessante risulta il grado di fratturazione che, con intensità variabile, caratterizza tutti gli affioramenti verticali (gradini morfologici) ed in minor misura le aree di terrazzo ove al contrario la roccia presenta una marcata impronta modellatrice glaciale.

Il substrato roccioso è presente in modo diffuso nell'intero versante ricoperto saltuariamente da uno spessore esiguo di materiale eluvio colluviale, regolitico e solo raramente di origine glaciale.

#### **4.4 Geomorfologia e dinamica geomorfologica**

La morfologia attuale del versante è il risultato dell'impronta glaciale modificata e accidentata dai processi successivi di evoluzione. Il terreno è ricoperto di massi ciclopici scoperti dal dilavamento delle frazioni granulometriche minori ed in parte è stato inizialmente molto intenso andando a formare in alcuni settori degli accumuli per poi diventare meno frequente nel tempo.

Nel territorio si rileva inoltre lo sradicamento di alberi a causa dell'apparato radicale poco profondo che può portare all'innescio di processi erosivi sempre maggiori con arretramento dell'erosione.

La caduta di tali piante rappresenta inoltre un pericolo per il transito lungo la futura pista agro-silvo-pastorale e dovrà essere tenuto in considerazione durante il taglio delle piante per la realizzazione del tracciato.

#### **4.5 Idrogeologia**

Il reticolo idrografico riflette l'andamento dei principali lineamenti strutturali ben visibili e coincidenti con gli impluvi a l'andamento N-S.

Il versante in esame non è interessato da una circolazione perenne superficiale vista la media-elevata permeabilità delle coperture che favorisce il drenaggio delle acque piovane a contatto con il sottostante ammasso roccioso generando nel versante delle emergenze la cui portata è condizionata dall'intensità delle piogge e che in alcuni periodi dell'anno possono risultare asciutte.

Sono caratteristiche che offrono spunti di analisi per quanto riguarda la situazione in atto all'interno delle coperture.

Gli orizzonti e/o limiti fra copertura e substrato rappresentano un settore di scorrimento delle acque.

## 5 RILIEVO GEOLOGICO

L'area rilevata interessa un versante boscato caratterizzato da pendenze generalmente elevate e da una notevole articolazione morfologica dovuta alla diffusa presenza di affioramenti rocciosi e accumuli di blocchi. Il contesto appare fortemente condizionato dalla natura del substrato geologico, costituito da rocce metamorfiche affioranti, localmente intensamente fratturate e disposte in banchi e lastroni di differente spessore.

Le fotografie seguenti evidenziano la presenza di affioramenti rocciosi distribuiti lungo il versante, spesso associati a piccoli salti di quota, gradoni naturali e superfici inclinate ricoperte da lettiera forestale. La copertura vegetale è rappresentata da un bosco maturo di latifoglie con abbondante presenza di castagno e betulla, accompagnato da un sottobosco costituito prevalentemente da felci, e giovani esemplari arbustivi.



**Foto 1:** affioramento sinistra idrografica torrente Bolgadregna



**Foto 2:** masso sinistra idrografica torrente Bolgadregna



**Foto 2:** ammasso roccioso base appoggio attraversamento torrente

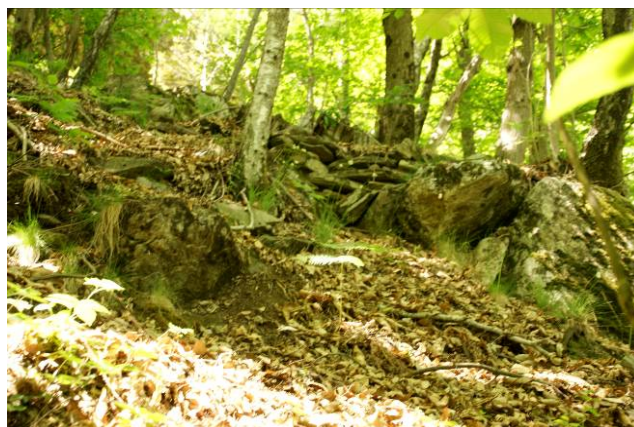


**Foto 4:** ammasso roccioso sinistra idrografica

Nelle fotografie seguenti si osservano grandi affioramenti rocciosi e blocchi plurimetrici che emergono dal pendio formando pareti, nicchie e ripiani naturali. Alcuni massi presentano geometrie tabulari e superfici di frattura ben riconoscibili, mentre altri risultano parzialmente inglobati nel terreno e nella vegetazione, segno di una lunga fase di stabilizzazione naturale.



**Foto 5:** affioramento sinistra idrografica torrente Bolgadregna



**Foto 6:** massa sinistra idrografica torrente Bolgadregna



**Foto 7:** ammasso roccioso base appoggio attraversamento torrente



**Foto 8:** ammasso roccioso sinistra idrografica

Nelle successive immagini si possono osservare le strutture morfologiche più significative del settore, costituite da ampie cavità sotto roccia generate dalla sovrapposizione di grandi blocchi e lastroni. Tali cavità formano veri e propri ripari naturali e risultano accompagnate da accumuli di materiale detritico grossolano. La presenza di questi elementi suggerisce una storia evolutiva caratterizzata da fenomeni di distacco e crollo di porzioni rocciose successivamente assestate sul versante.

Interessante è la presenza di muretti a secco di altezza metrica che stabilizzano l'esigua copertura di terreno sovrastante. L'ammasso appare attualmente stabile e integrato nell'ecosistema forestale, pur conservando una morfologia molto irregolare con numerosi vuoti e passaggi tra i massi.



**Foto 9:** panorama versante



**Foto 10:** esempio blocchi svicolati stabili



**Foto 11:** muretti a secco



**Foto 12:** muretti a secco di stabilizzazione copertura

Le fotografie seguenti evidenziano una zona interessata da fenomeni di ruscellamento superficiale e da modesti processi erosivi. In corrispondenza di un piccolo impluvio si osserva la rimozione della copertura organica e la messa in evidenza del materiale detritico e del substrato roccioso alterato.



**Foto 13:** panoramica ruscellamento



**Foto 14:** dettaglio ruscellamento

In conclusione si riportandole immagini della parete rocciosa di maggior estensione rinvenuta nel sopralluogo.



**Foto 15:** panoramica ammasso roccioso



**Foto 16:** masso interessato da taglio/demolizione a monte che necessita di verifica in fase esecutiva

Dal punto di vista geologico il versante risulta impostato su un substrato metamorfico affiorante o sub affiorante, localmente interessato da intensa fratturazione e alterazione superficiale. Gli affioramenti osservati si alternano a settori caratterizzati dalla presenza di coperture regolitiche discontinue derivanti dalla degradazione fisico-meccanica della roccia in posto. Tali coperture risultano costituite da materiale eterometrico, da fine a grossolano, immerso in matrice limoso-sabbiosa con componente organica proveniente dalla copertura forestale.

Le fotografie evidenziano depositi sciolti di modesto spessore che mascherano localmente il substrato roccioso e che possono essere interpretati come depositi eluviali derivanti dall'alterazione in situ della roccia, successivamente mobilizzati per gravità lungo il pendio e trasformati in coltri eluvio-colluviali di spessore variabile. In diversi punti tali coperture inglobano blocchi e frammenti lapidei provenienti dalla progressiva disgregazione degli affioramenti soprastanti.

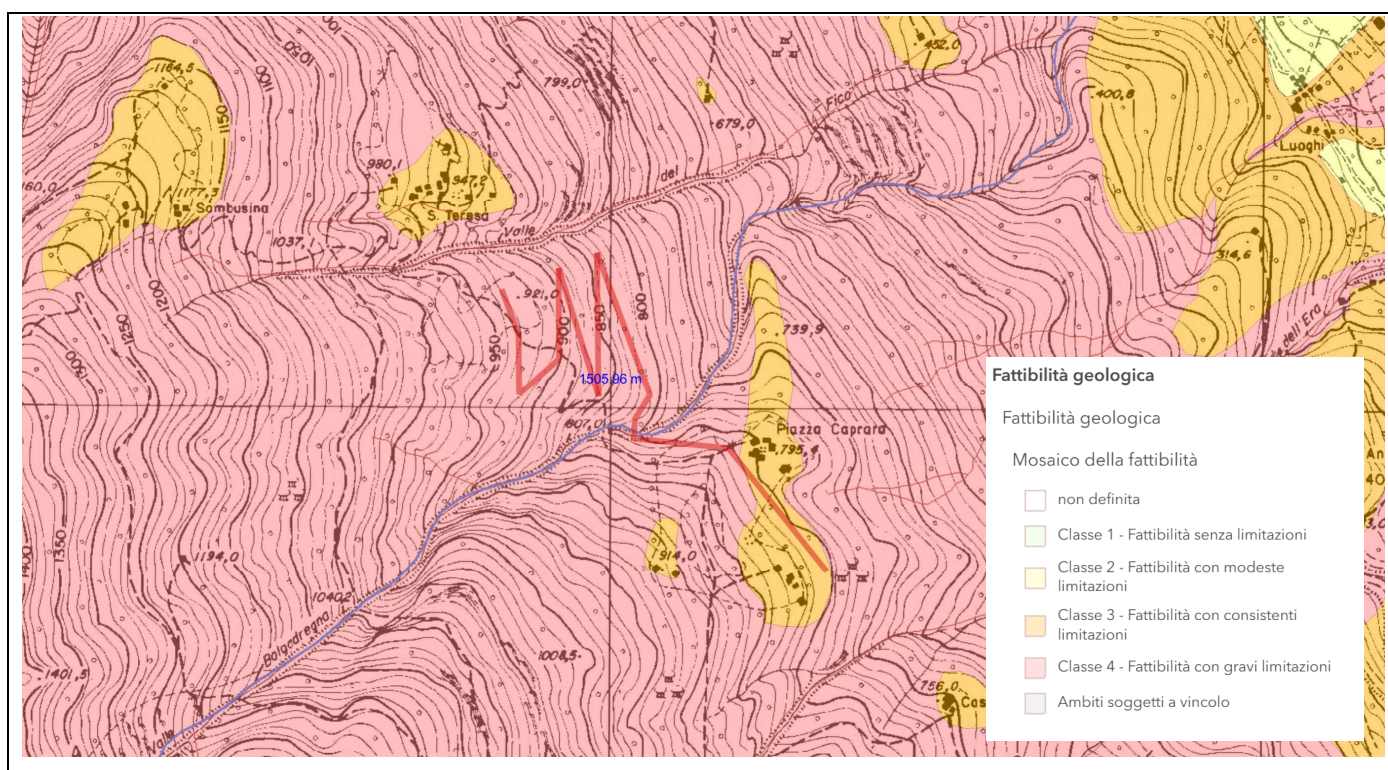
Le cavità osservabili risultano frequentemente associate alla presenza di grandi blocchi immersi all'interno della coltre detritica e testimoniano l'eterogeneità granulometrica del deposito superficiale. La presenza di tali vuoti suggerisce localmente una tessitura grossolana del materiale e una significativa permeabilità secondaria, favorita anche dalla fratturazione dell'ammasso roccioso.

Nel complesso il versante appare caratterizzato dall'alternanza tra roccia affiorante, regolite di alterazione e depositi eluvio-colluviali derivanti dal progressivo rimaneggiamento gravitativo del materiale alterato.

## 6 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La verifica della compatibilità geologica e idrogeologica dell'intervento è stata effettuata mediante l'analisi della componente geologica del Piano di Governo del Territorio del Comune di Samolaco, redatta ai sensi della L.R. 12/2005 e dei relativi "Criteri attuativi relativi alla componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT". In particolare sono state esaminate la Carta di Fattibilità Geologica, la Carta dei Dissesti derivata dal PAI e la cartografia del Reticolo Idrografico Regionale Unificato, sovrapponendo il tracciato della nuova viabilità di progetto alle diverse perimetrazioni di pericolosità.

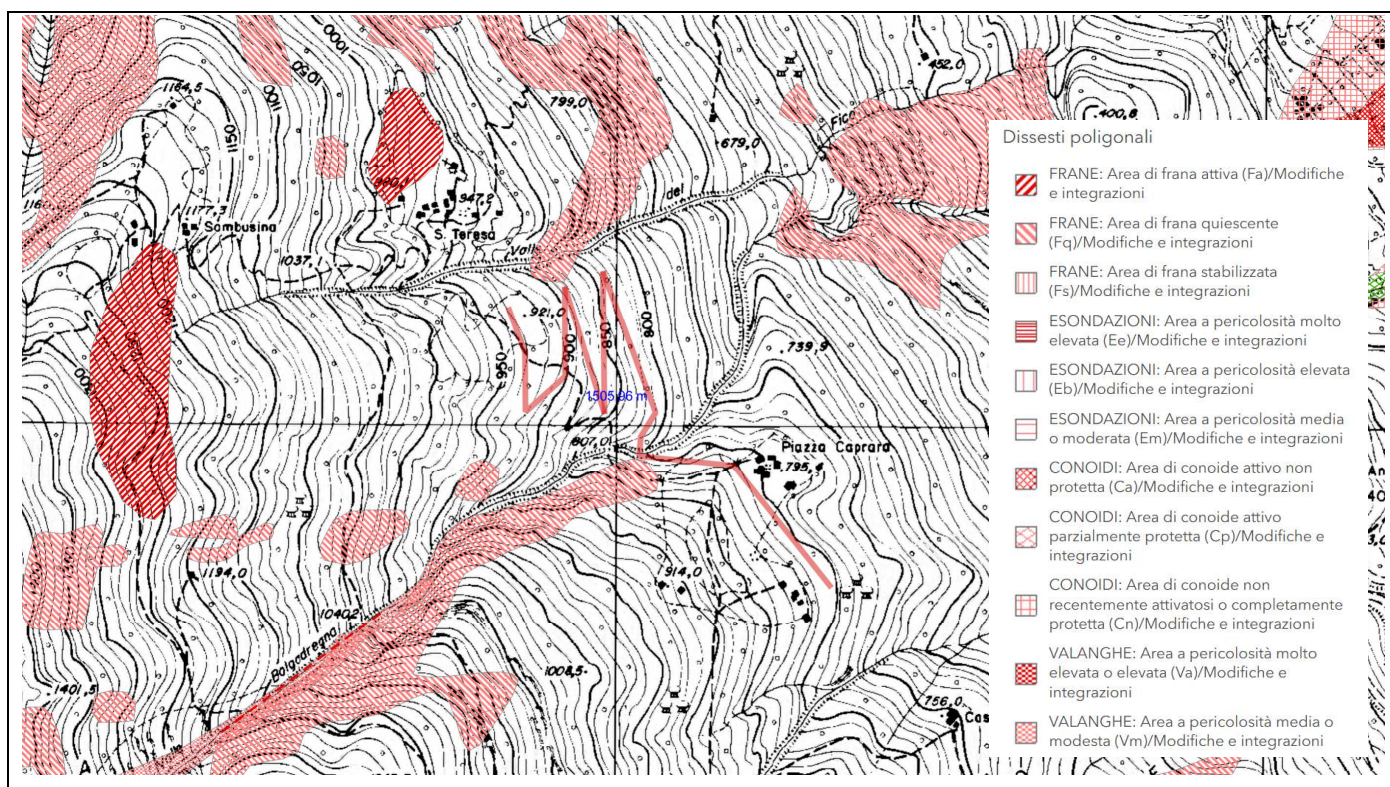
Dall'analisi della Carta di Fattibilità Geologica emerge che il tracciato stradale ricade quasi interamente in aree classificate in Classe 4 – Fattibilità con gravi limitazioni, con limitati attraversamenti di ambiti in Classe 3 – Fattibilità con consistenti limitazioni. Tali classi sono attribuite a versanti caratterizzati da acclività elevata, presenza di affioramenti rocciosi, processi geomorfologici attivi o potenziali e condizioni di elevata sensibilità idrogeologica. La classificazione non costituisce tuttavia un vincolo assoluto alla realizzazione di opere pubbliche o infrastrutture, purché le stesse siano supportate da specifici approfondimenti geologici e geotecnici e siano adottate le necessarie opere di mitigazione e di messa in sicurezza.



**Figura 12:** sovrapposizione tracciato in progetto e carta fattibilità geologica

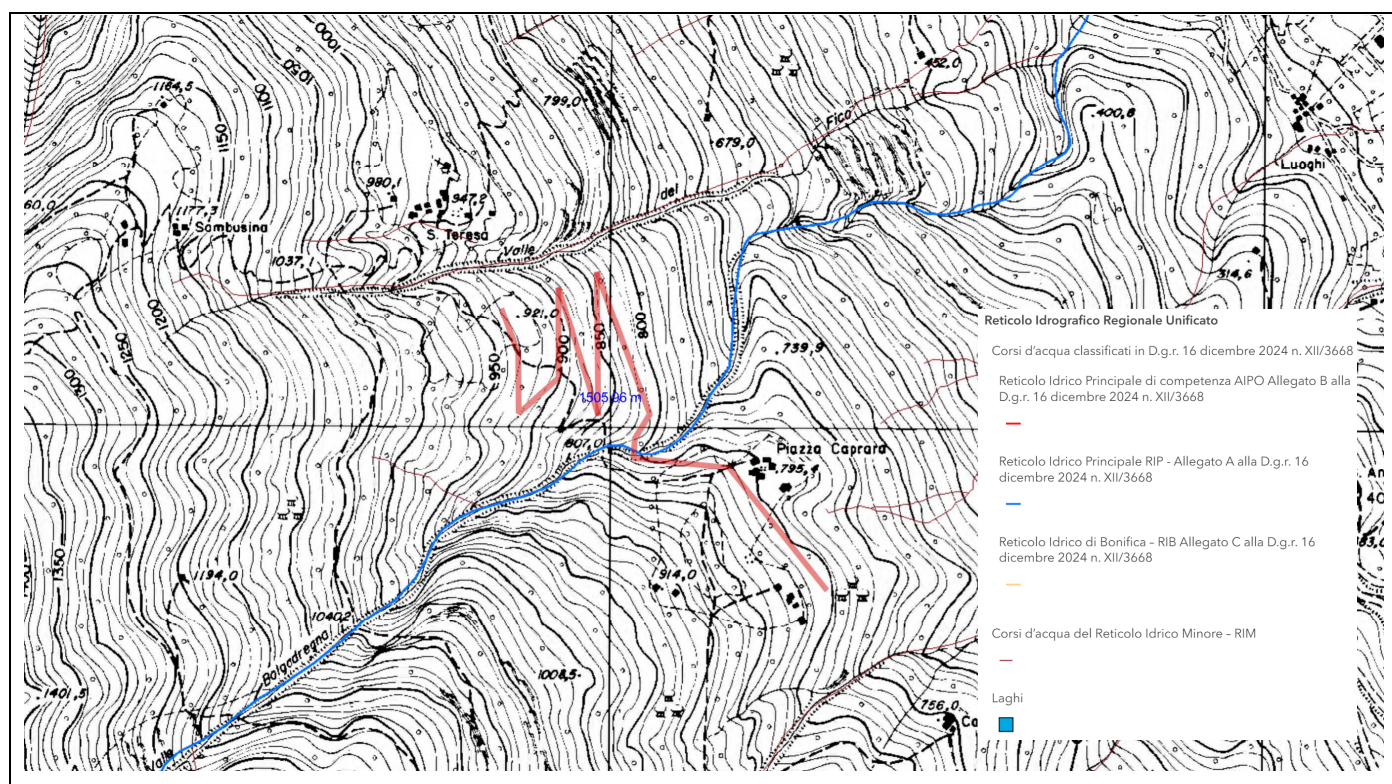
[Geoportale regione Lombardia]

La sovrapposizione con la Carta dei Dissesti del PAI evidenzia che il tracciato non interferisce direttamente con aree classificate come frane attive o quiescenti né con aree a pericolosità valanghiva. L'unico aspetto significativo riguarda l'attraversamento della Valle Bolgadregna che viene risolto mediante la realizzazione di un'opera in elevazione che consente di mantenere la continuità del deflusso idraulico e di evitare restringimenti della sezione di deflusso. La struttura prevista è costituita da un tombotto con sostegni impostati al di fuori dell'alveo attivo, progettato in modo da garantire il franco idraulico necessario e la stabilità nei confronti delle azioni idrauliche e di trasporto solido previste per il corso d'acqua (vedi capitolo specifico analisi idrologica e verifiche idrauliche).



**Figura 13:** sovrapposizione tracciato in progetto e carta PAI vigente [Geoportale regione Lombardia]

L'analisi del Reticolo Idrografico Regionale Unificato conferma che l'intervento interessa esclusivamente il corso d'acqua della Valle Bolgadregna, classificato nel reticolo idrico regionale. Il progetto prevede pertanto il superamento del corso d'acqua mediante opera dedicata, senza tombature, deviazioni permanenti dell'alveo o modifiche sostanziali del regime idraulico naturale. Le opere di regimazione delle acque superficiali lungo la strada saranno realizzate mediante canalette trasversali e sistemi di drenaggio diffuso finalizzati a intercettare e smaltire le acque meteoriche evitando fenomeni di ruscellamento concentrato sul corpo stradale. Il computo di progetto prevede infatti la posa di numerose canalette trasversali di drenaggio distribuite lungo il tracciato in funzione delle diverse pendenze longitudinali.



**Figura 14:** sovrapposizione tracciato in progetto e reticolo regionale unificato

[Geoportale regione Lombardia]

## 7 IDROLOGIA TORRENTE BOLGADREGNA

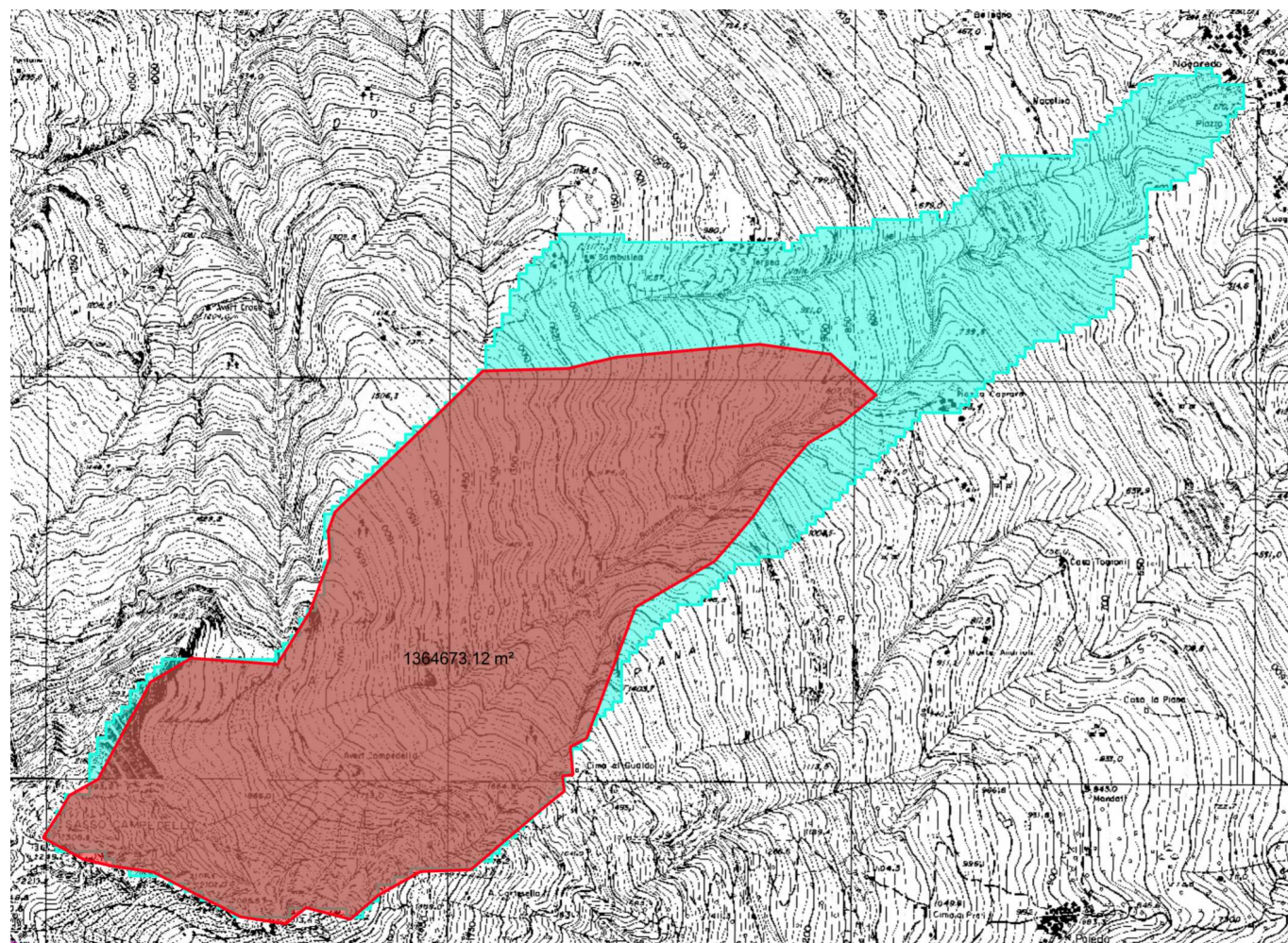
### 7.1.1 Premessa

Il presente inquadramento geologico-idraulico è finalizzato alla caratterizzazione del bacino idrografico del torrente Bolgadregna, corso d'acqua direttamente interessato dall'intervento di riqualificazione della strada agro-silvo-pastorale di collegamento tra Piazza Caprara e la località Santa Teresa, nel territorio comunale di Samolaco. L'analisi è stata sviluppata mediante l'esame della documentazione geologica e idraulica disponibile, degli studi di supporto alla pianificazione comunale e delle informazioni storiche relative agli eventi di dissesto che hanno interessato il settore della bassa Valchiavenna.

Particolare attenzione è stata rivolta alla dinamica geomorfologica ed idraulica del torrente Bolgadregna, interessato dall'attraversamento previsto in progetto, al fine di valutare le possibili interferenze tra l'opera e i processi naturali attivi nel bacino. L'analisi considera inoltre le principali criticità storicamente documentate, con particolare riferimento ai fenomeni di trasporto solido, erosione

torrentizia e dissesto dei versanti che caratterizzano il contesto montano nel quale si inserisce l'intervento.

### 7.1.2 Inquadramento del bacino idrografico



**Figura 15:** estratto SIBCA bacino Fico – Bolgadregna con in evidenza in rosso area bacino sottesa all'altezza dell'attraversamento

[Geoportale regione Lombardia]

Il torrente Bolgadregna costituisce il principale affluente del torrente Fico, corso d'acqua che drena il versante orografico destro della bassa Valchiavenna in corrispondenza del territorio comunale di Samolaco. Il bacino idrografico del sistema Fico–Bolgadregna presenta una superficie complessiva pari a circa 2,11 km<sup>2</sup>, una pendenza media prossima all'80% ed una lunghezza dell'asta principale di circa 3,97 km, caratteristiche che conferiscono al reticolo idrografico una marcata energia erosiva e una significativa capacità di trasporto durante gli eventi meteorici intensi soprattutto a valle dell'attraversamento.

Dal punto di vista geologico il torrente Bolgadregna presenta un alveo caratterizzato dalla presenza di un materasso alluvionale più sviluppato, derivante sia dall'erosione spondale attiva lungo

alcuni tratti vallivi sia dal contributo detritico proveniente dalle aree sorgentizie del bacino. I versanti che delimitano la valle sono generalmente molto acclivi e localmente interessati da fenomeni di erosione superficiale, piccoli movimenti franosi e scarpate attive.

Particolarmente significativo risulta il settore compreso tra la confluenza del Bolgadregna e la valle principale del Fico a valle dell'area dove verrà realizzato l'attraversamento, dove l'erosione torrentizia ha progressivamente inciso i depositi morenici e, localmente, il substrato roccioso affiorante. In destra idrografica sono inoltre presenti fenomeni erosivi concentrati sviluppatasi lungo linee di deflusso preferenziale e lungo percorsi antropici esistenti, che hanno favorito la formazione di incisioni e piccoli dissesti superficiali.

L'attraversamento previsto dal progetto si colloca nel settore montano del bacino, in prossimità della passerella pedonale esistente sulla Valle Bolgadregna, in un contesto caratterizzato da elevata acclività dei versanti ma da un alveo sostanzialmente confinato entro la propria incisione naturale.

La morfologia estremamente acclive, associata alla prevalente presenza di affioramenti rocciosi e alla limitata capacità di infiltrazione dei terreni superficiali, determina una risposta idrologica molto rapida agli eventi meteorici intensi, con formazione di onde di piena concentrate e caratterizzate da elevata capacità erosiva.

## **7.2 Inquadramento storico degli eventi**

Il bacino Fico-Bolgadregna e, più in generale, l'intero versante orografico destro della bassa Valchiavenna, risultano storicamente interessati da fenomeni di dissesto idrogeologico riconducibili principalmente a eventi meteorici eccezionali.

Le fonti storiche raccolte nel volume *"Ricerche bibliografiche per un catalogo sulle inondazioni, piene torrentizie e frane in Valtellina e Valchiavenna"* (Govi e Turitto, CNR, 1994) documentano numerosi episodi di piena e alluvionamento che hanno interessato il torrente Fico-Bolgadregna nel corso dei secoli. Tra gli eventi più significativi si segnalano quelli avvenuti negli anni 1200, 1300-1330, 1476, 1717, 1834, 1927, 1933, 1951 e 1983, caratterizzati da fenomeni di esondazione, trasporto solido e alluvionamento delle aree di fondovalle.

Particolare rilevanza assume inoltre l'evento alluvionale del 1987, durante il quale si verificarono diffusi fenomeni di instabilità superficiale, erosione torrentizia e mobilitazione di ingenti quantitativi di materiale detritico all'interno del bacino. A seguito di tale evento furono realizzate ulteriori opere di sistemazione idraulica e di protezione spondale lungo il tratto di conoide e nelle aree maggiormente esposte al rischio.

Anche gli eventi meteorici più recenti hanno confermato la vulnerabilità dei versanti del territorio comunale. In occasione delle precipitazioni eccezionali che hanno interessato il comprensorio della Valchiavenna, si sono registrate riattivazioni di dissesti preesistenti e l'innescio di nuovi fenomeni franosi

lungo numerose incisioni torrentizie, comprese la valle Bolgadregna. Le osservazioni effettuate hanno evidenziato come i fenomeni più significativi si manifestino generalmente in corrispondenza di alvei caratterizzati da insufficiente manutenzione e dalla presenza di materiale detritico accumulato.

L'evoluzione storica del bacino conferma pertanto come i principali fattori di pericolosità siano rappresentati dall'intensa dinamica torrentizia, dai fenomeni di erosione spondale e dall'attivazione di dissesti superficiali sui versanti durante eventi pluviometrici di elevata intensità.

### **7.3 Calcolo della portata di piena con il metodo razionale [Direttiva PAI Autorità di Bacino del Fiume Po]**

#### *7.3.1 Determinazione del tempo di corrivazione*

Il tempo di corrivazione è stato stimato mediante la formula di Giandotti:

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_m - H_0}}$$

dove:

- $S$  = superficie del bacino = 1,30 km<sup>2</sup>;
- $L$  = lunghezza asta principale = 1,70 km;
- $H_m$  = quota media del bacino = 1570 m s.l.m.;
- $H_0$  = quota della sezione di chiusura = 830 m s.l.m.,

Sostituendo i valori:

$$T_c = \frac{4\sqrt{1,30} + 1,5 \times 1,70}{0,8\sqrt{1570 - 830}}$$

$$T_c = \frac{4 \times 1,140 + 2,55}{0,8 \times 27,20}$$

$$T_c = \frac{7,11}{21,76}$$

$$T_c = 0,33 \text{ h}$$

pari a circa:

$$T_c = 20 \text{ minuti}$$

### 7.3.2 Determinazione della pioggia critica

La Direttiva PAI prevede l'utilizzo delle curve di possibilità pluviometrica:

$$h(t) = a \cdot t^n$$

dove:

- $h(t)$  = altezza di precipitazione (mm)
- $t$  = durata della pioggia pari al tempo di corrivazione
- $a, n$  = parametri regionalizzati

Per la cella DK40 risultano:

| <b>T<sub>R</sub></b> | <b>a</b> | <b>n</b> |
|----------------------|----------|----------|
| 20 anni              | 41,09    | 0,365    |
| 100 anni             | 52,05    | 0,360    |
| 200 anni             | 56,73    | 0,359    |

Assumendo:

$$t = T_c = 0,33 h$$

si ottiene:

Tr = 20 anni

$$h_{20} = 41,09 \times 0,33^{0,365}$$

$$h_{20} = 27,32 \text{ mm}$$

Tr = 100 anni

$$h_{100} = 52,05 \times 0,33^{0,360}$$

$$h_{100} = 34,80 \text{ mm}$$

Tr = 200 anni

$$h_{200} = 56,73 \times 0,33^{0,359}$$

$$h_{200} = 37,97 \text{ mm}$$

### 7.3.3 Calcolo della portata di piena

La portata al colmo viene determinata mediante la formula del Metodo Razionale:

$$Q = 0,278 \cdot c \cdot \frac{h(t) \cdot S}{T_c}$$

dove:

- $Q$  = portata di piena ( $m^3/s$ )
- $c$  = coefficiente di deflusso = 0,16
- $h(t)$  = precipitazione critica (mm)
- $S$  = superficie bacino ( $km^2$ )
- $T_c$  = tempo di corrivazione (ore)

Portata con  $Tr = 200$  anni

Sostituendo i valori:

$$Q_{200} = 0,278 \times 0,16 \times \frac{37,97 \times 1,30}{0,33}$$

$$Q_{200} = 0,278 \times 0,16 \times 149,58$$

$$Q_{200} = 6,66 m^3/s$$

che, utilizzando i valori completi fornisce:

$$Q_{200} = 6,72 m^3/s$$

### 7.3.4 Risultati finali

| $T_R$ | $Q$          |
|-------|--------------|
| 20    |              |
| 100   | 6,16 $m^3/s$ |
| 200   | 6,72 $m^3/s$ |

### 7.3.5 Definizione portata di progetto

Il bacino della Valle Bolgadregna presenta caratteristiche tipicamente torrentizie, con superficie ridotta ( $1,30 km^2$ ), elevata acclività media e tempo di risposta molto rapido (circa 20 minuti). In tali condizioni gli eventi meteorici intensi generano incrementi repentini della portata e possono essere accompagnati da significativi fenomeni di trasporto solido. Per le verifiche di compatibilità idraulica

dell'attraversamento in progetto è stata pertanto assunta la portata di piena bicentenaria  $Q_{200} = 6,72 \text{ m}^3/\text{s}$ , in conformità alla Direttiva n. 2 dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.

Considerata la morfologia torrentizia del bacino, la presenza di materiale detritico mobilizzabile nell'alveo del Bolgadregna e gli eventi storici caratterizzati da trasporto solido, si ritiene opportuno incrementare la portata liquida bicentenaria mediante un coefficiente cautelativo pari al 50%. Pertanto, a fronte di una portata liquida  $Q_{200}$  pari a  $7 \text{ m}^3/\text{s}$ , la portata solido-liquida di riferimento può essere assunta indicativamente pari a  $10,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## **8 VERIFICA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE BOLGADREGNA**

### **8.1 Dati di progetto opera**

Dai disegni progettuali si desume che :

- attraversamento alla Valle Bolgadregna tra sez. 61–65, progressive 390–412,50 m;
- sviluppo opera circa 22,20 m;
- larghezza impalcato 5,00 m;
- quota fondo alveo indicativa 807,50 m;
- quota piano/intradosso opera circa 813,15–813,20 m;
- luce libera verticale indicativa  $> 5 \text{ m}$ .

### **8.2 Dati di progetto idraulici**

Portata liquida assunta:

$$Q_{200} = 6,72 \text{ m}^3/\text{s}$$

Portata cautelativa con trasporto solido +50%:

$$Q_{200,SL} = 6,72 \times 1,50 = 10,08 \text{ m}^3/\text{s}$$

La verifica viene effettuata e con moto uniforme utilizzando la relazione di Manning:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} i^{1/2}$$

Assumendo cautelativamente:

- alveo torrentizio con scabrezza elevata:  $n = 0,05$ ;

- pendenza idraulica cautelativa:  $i = 0,05$  ;
- luce utile minima considerata pari alla sola campata centrale:  $B = 3,60 \text{ m}$  .

La profondità normale necessaria per smaltire:

$$Q = 10,08 \text{ m}^3/\text{s}$$

risulta circa:

$$y \approx 0,90 \text{ m}$$

Anche assumendo una pendenza più cautelativa pari a  $i = 0,03$  , il tirante risulta circa:  
 $y \approx 1,05 \text{ m}$

Il franco disponibile rispetto all'intradosso dell'opera è quindi largamente superiore a 4 m, considerando il fondo alveo a quota circa 807,50 m e l'impalcato a quota circa 813,15–813,20 m. I prospetti confermano inoltre l'ampia luce verticale dell'attraversamento rispetto all'alveo inciso.

### 8.3 Conclusione

La sezione idraulica di attraversamento della Valle Bolgadregna risulta idraulicamente compatibile con la portata bicentenaria liquida  $Q_{200} = 6,72 \text{ m}^3/\text{s}$  e anche con una portata cautelativa solido-liquida pari a circa  $10,1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Sulla base dei dati geometrici desunti dalle tavole progettuali dell'attraversamento della Valle Bolgadregna, l'opera presenta uno sviluppo di circa 22,20 m, larghezza dell'impalcato pari a 5,00 m e quota di fondo alveo indicativa pari a 807,50 m s.l.m. La quota dell'impalcato si attesta intorno a 813,15–813,20 m s.l.m., garantendo una luce libera verticale superiore a 5 m. La verifica idraulica condotta con formula di Manning assumendo una portata bicentenaria liquida pari a  $6,72 \text{ m}^3/\text{s}$  e una portata cautelativa solido-liquida pari a  $10,08 \text{ m}^3/\text{s}$ , evidenzia tiranti idraulici dell'ordine di 0,9–1,1 m. Ne deriva un franco idraulico ampiamente sufficiente rispetto all'intradosso dell'opera nel rispetto sia della norma PAI che delle NTC 2018.

## 9 ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO

Un parametro fondamentale dal quale non è possibile prescindere nelle verifiche geotecniche è l'azione sismica di progetto che si definisce a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito interessato dall'intervento, così come prescritto dal D.M.14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni".

La Delibera della Giunta Regionale del 11 luglio 2014 - n. X/2129 aggiorna delle zone sismiche in regione Lombardia ponendo il territorio comunale di Samolaco in classe 4, bassa pericolosità sismica.



Regione  
Lombardia

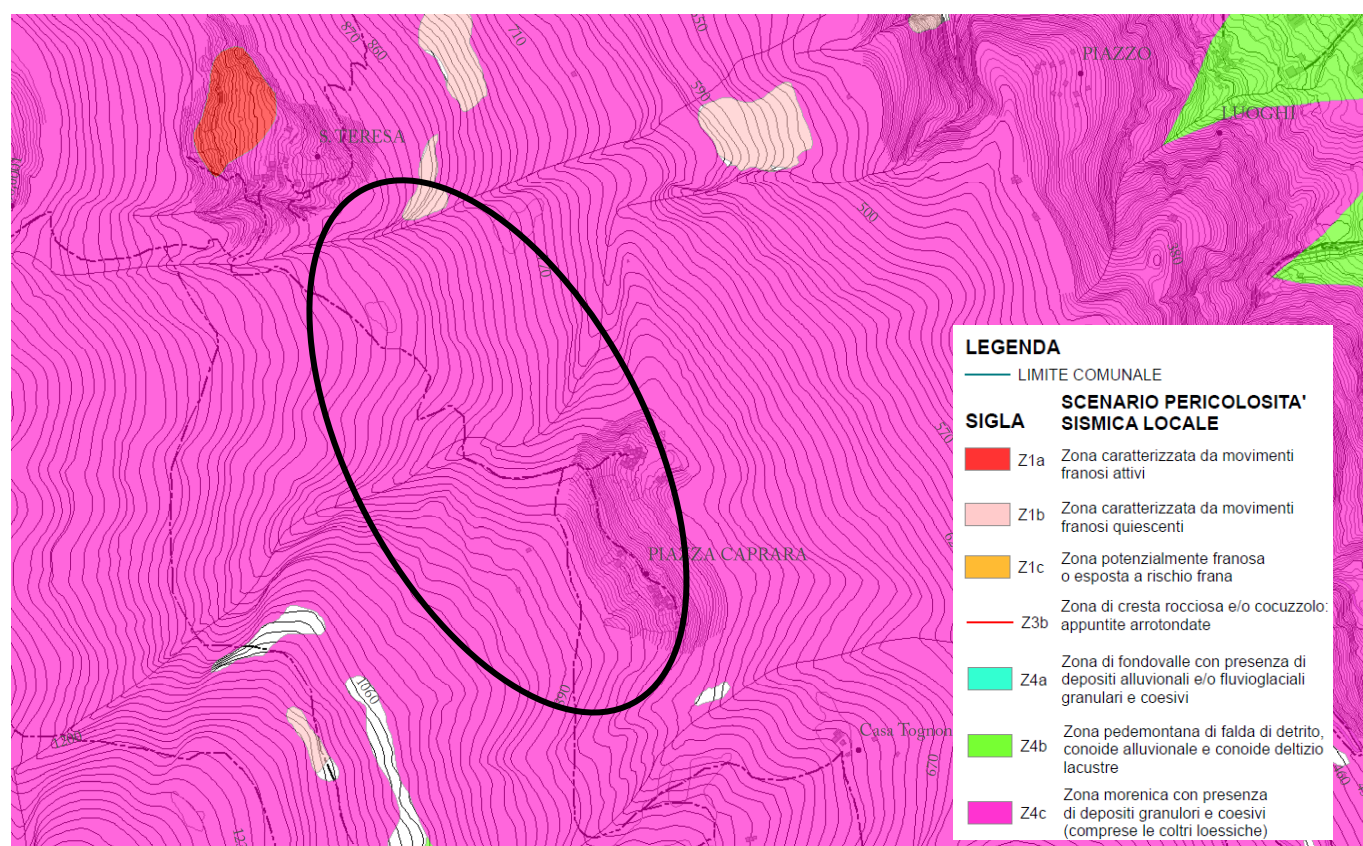
- 32 -

Bollettino Ufficiale

Serie Ordinaria n. 29 - Mercoledì 16 luglio 2014

| ISTAT    | Provincia | Comune   | Zona Sismica | AgMax    |
|----------|-----------|----------|--------------|----------|
| 03014057 | SO        | SAMOLACO | 4            | 0,048408 |

**Figura 16:** estratto delibera Giunta regionale 11 luglio 2014 - n. X/2129



**Figura 17:** estratto analisi sismica di I livello PGT comunale

Nell'analisi di I livello eseguita con la stesura del PGT attualmente vigente l'intervento in esame viene realizzato in una zona classificata come Z4c (*zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi compresi le coltri loessiche*).

Le osservazioni dirette effettuate nell'area di intervento hanno evidenziato la presenza di substrato roccioso affiorante o sub affiorante nell'intorno dell'area di intervento, con coperture di terreno sciolto di limitato spessore. In ragione di tali caratteristiche geologiche e geotecniche, il sito può essere ricondotto alla Categoria di Suolo A prevista dal D.M. 17/01/2018 (NTC 2018), corrispondente ad ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da trascurabili fenomeni di amplificazione stratigrafica.

Ai sensi dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT" di cui alla D.G.R. Regione Lombardia n. IX/2616 del 30 novembre 2011 e s.m.i., l'area ricade in un contesto geologico per il quale non si riconoscono condizioni suscettibili di determinare significativi effetti di amplificazione litologica locale. La presenza del substrato roccioso in prossimità del piano campagna esclude infatti la possibilità di amplificazioni stratigrafiche legate a coperture sedimentarie di spessore significativo.

Pertanto, sulla base delle caratteristiche geologiche rilevate e in conformità alle procedure previste dalla normativa regionale per la valutazione della pericolosità sismica locale, non si è ritenuto necessario procedere con approfondimenti di II livello, in quanto si ritiene non sussistano le condizioni geologiche e litostratigrafiche che ne giustifichino l'applicazione.

## **10 AZIONI SISMICHE**

Dal punto di vista sismico l'opera in progetto consiste riqualificazione strada da località Piazza Caprara alla località Santa Teresa con la realizzazione di un attraversamento del torrente Bolgadregna poggiando le fondazioni su roccia e la realizzazioni di muri di contenimento poggiati presumibilmente sempre sull'ammasso roccioso.

Considerata la destinazione d'uso della strada, che costituisce accesso a una frazione rurale priva di funzioni strategiche, l'opera viene attribuita alla Classe d'Uso II ai sensi del D.M. 17/01/2018 (NTC 2018). Si assume una Vita Nominale (VN) pari a 50 anni e un coefficiente d'uso CU pari a 1,0, da cui deriva un Periodo di Riferimento per l'azione sismica VR pari a 50 anni.

I sopralluoghi hanno evidenziato la presenza di substrato roccioso affiorante nell'intorno dell'opera e di una copertura detritica di spessore generalmente non superiore a 3 m. In ragione di tali

caratteristiche, il sito è attribuibile alla Categoria di Suolo A ai sensi delle NTC 2018, non essendo attesi significativi effetti di amplificazione stratigrafica.

L'area di intervento si sviluppa lungo un versante con inclinazione superiore a 15°, pertanto, ai sensi delle NTC 2018, il sito è attribuibile alla Categoria Topografica T2.

La suscettibilità alla liquefazione può essere esclusa in considerazione della presenza del substrato roccioso a ridotta profondità e della natura grossolana e addensata dei depositi superficiali. Analogamente, non si prevedono fenomeni di instabilità sismo-indotta o cedimenti differenziali significativi, ritenendo il modello geologico adeguatamente definito ai fini della progettazione.

## **11 CONCLUSIONI**

Dal punto di vista geomorfologico il progetto si sviluppa lungo un versante montano caratterizzato da pendenze elevate, mediante una pista agro-silvo-pastorale di sviluppo complessivo pari a circa 1,6 km, larghezza ordinaria di circa 3,0 m, con quattro tornanti e piazzole di allargamento e di scambio. È inoltre prevista un'area terminale pianeggiante destinata a parcheggio e piazzale operativo in località Santa Teresa.

Le opere previste comprendono scavi in terra e roccia, formazione di rilevati, realizzazione di scogliere in massi ciclopici, opere di sostegno, regimazione delle acque superficiali e l'attraversamento della Valle Bolgadregna mediante struttura dedicata. L'insieme degli interventi è finalizzato alla stabilizzazione del versante interessato dal tracciato e alla corretta gestione delle acque meteoriche, riducendo il rischio di erosione superficiale e di dissesto lungo la nuova infrastruttura.

Alla luce delle verifiche effettuate, delle caratteristiche dell'opera e delle misure progettuali previste, si ritiene che l'intervento risulti compatibile con il quadro di pericolosità geologica e idrogeologica individuato dagli strumenti di pianificazione vigenti. La realizzazione della nuova strada non determina incrementi significativi delle condizioni di rischio esistenti, purché siano attuate le prescrizioni derivanti dagli approfondimenti geologici, geotecnici e idraulici di progetto e siano mantenute in efficienza le opere di drenaggio, sostegno e protezione previste. Sotto il profilo geologico, geomorfologico e idraulico l'opera può pertanto essere considerata compatibile con l'assetto territoriale dell'area interessata.