



PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO
DIPARTIMENTO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
SERVIZIO GESTIONE STRADE
UFFICIO GESTIONE PER LA ZONA CENTRO

PROGETTO :

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA SP 211 DEI MONTI LESSINI KM 9+135 CIRCA.

FASE PROGETTO :

PERIZIA ESECUTIVA

CATEGORIA :

322 - STRUTTURE - OPERE DI CONSOLIDAMENTO

TITOLO TAVOLA :

**RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE GEOLOGICA
CONTENENTE LA MODELLAZIONE SISMICA**

SCALA :

FASE PROGETTO :

E

TIPO ELAB. :

R

CATEGORIA :

340

PARTE D'OPERA :

N° PROGR.

10

REVISIONE :

NOME FILE :

NUMERO PAT:

DATA REDAZIONE : LUGLIO 2025

PROGETTAZIONE GENERALE

Ing. Italo Artico

CALCOLO STATICO

Ing. Stefano Filippi

Visto ! IL DIRETTORE DELL'UFFICIO :

Ing. Italo Artico

Visto ! IL DIRIGENTE:

Ing. Sergio Deromedis

REFERENTI P.A.T. PER LA PROGETTAZIONE:

geom. Romeo Carpentari

geom. Michele Mazzucchi

GEOLOGO:

Dott. Geol. Giuliano Lorenzetti



INDICE

1. PREMESA ED OBIETTIVI	3
1.1. STATO ATTUALE DEI LUOGHI	4
1.2. DESCRIZIONE OPERE IN PREVISIONE	8
2. RIFERIMENTO NORMATIVI	10
3. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO	11
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	16
4.1. INDIVIDUAZIONE VOLUME GEOLOGICO SIGNIFICATIVO	19
5. PIANI DI GOVERNO DEL TERRITORIO	20
5.1. CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ	20
5.2. CARTA DELLE RISORSE IDRICHE	22
6. RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA	23
6.1. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	23
6.2. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO	25
6.3. PARAMETRI SISMICI	26
6.3.1. Tipo di elaborazione	26
6.3.2. Sito in esame	26
6.3.3. Siti di riferimento	27
6.3.4. Parametri sismici	27
6.3.5. Coefficienti sismici - paratie	27
7. CONSIDERAZIONI FINALI SULLA MODELLAZIONE GEOLOGICA	28
1. RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE GEOTECNICA	1
1.1. INDICAZIONI SUGLI INTERVENTI – REALIZZAZIONE CORTINA DI MICROPALI	4
1.1.1. Calcolo geotecnico della resistenza assiale del micropalo a compressione e trazione	9
2. CONSIDERAZIONI FINALI SULLA MODELLAZIONE GEOTECNICA	12

1. PREMESSA ED OBIETTIVI

Su incarico dell'impresa GEOROCCE S.R.L. ed in accordo con il calculatore delle strutture ING. Filippi Stefano è redatto il presente elaborato. Lo scopo è quello di conseguire le informazioni necessarie di carattere geologico, idrogeologico e geotecnico a supporto della progettazione delle opere previste nell'ambito dei lavori di consolidamento lungo la S.P. 211 dei Monti Lessini km 9+135 circa.

L'elaborato riporta informazioni raccolte durante il sopralluogo avvenuto nel corso del mese di febbraio 2025 nei dintorni del sito di progetto. Le opere previste sono state concordate preventivamente tra il Servizio Geologico, il Servizio Gestione Strade - Ufficio Gestione per la zona ovest e l'impresa aggiudicataria degli interventi.

La viabilità interessata dagli interventi di sistemazione si sviluppa all'interno dell'area contraddistinta dalle pp.ffa. 2639/1 e 2639/7 in C.C. Ala e costituisce un importante via di accesso che collega la valle dell'Adige con i monti Lessini e la pianura vicentina.

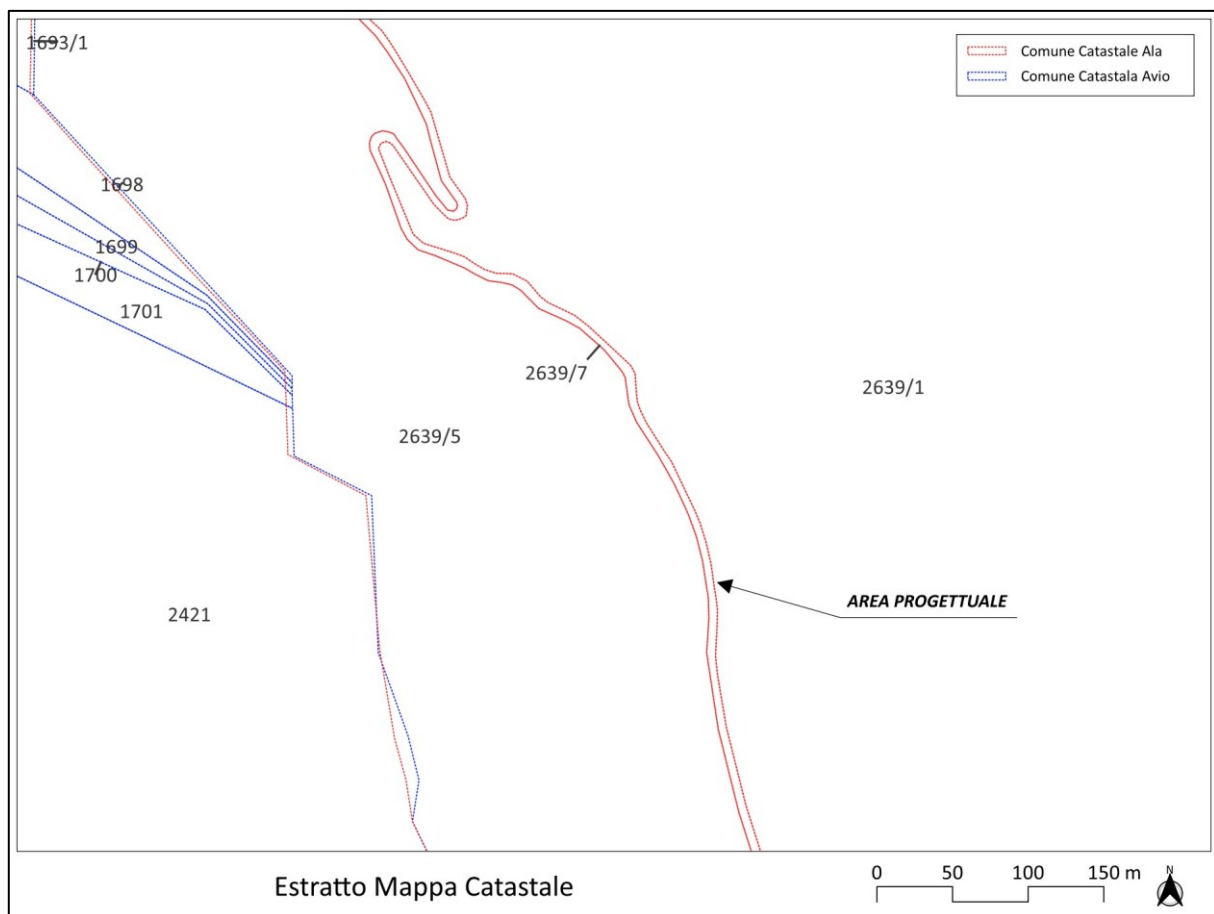


Figura 1. Inquadramento catastale

1.1. STATO ATTUALE DEI LUOGHI

Nelle immagini di seguito alcuni scatti fotografici che rappresentano lo stato attuale dei luoghi; in particolare si osserva lo stato in cui versa la carreggiata stradale che presenta segni di deformazione e crepacciature diffuse. Lo stato di ammaloramento della struttura viaria è anche ben visibile dalle condizioni della barriera stradale che in alcuni tratti risulta deformata.









Figura 2. Fotografie scattate durante il sopralluogo

1.2. DESCRIZIONE OPERE IN PREVISIONE

Gli interventi di progetto consistono in:

- realizzazione di consolidamento mediante cortina di micropali verticali e inclinati ad interasse variabile (50-60 e 150-180 cm rispettivamente) e lunghezza nominale pari a 9 m;
- costruzione nuovo cordolo in conglomerato cementizio armato;
- installazione nuova barriera stradale;
- sistemazione strada e rifacimento pavimentazione.

La zona di intervento si sviluppa su circa 70 m lineari. Il nuovo cordolo in calcestruzzo andrà a ricostruire il limite esterno della banchina stradale.

Qui di seguito alcune immagini tratte dalla relazione di calcolo sugli interventi previsti. Si rimanda agli elaborati progettuali per una trattazione completa.

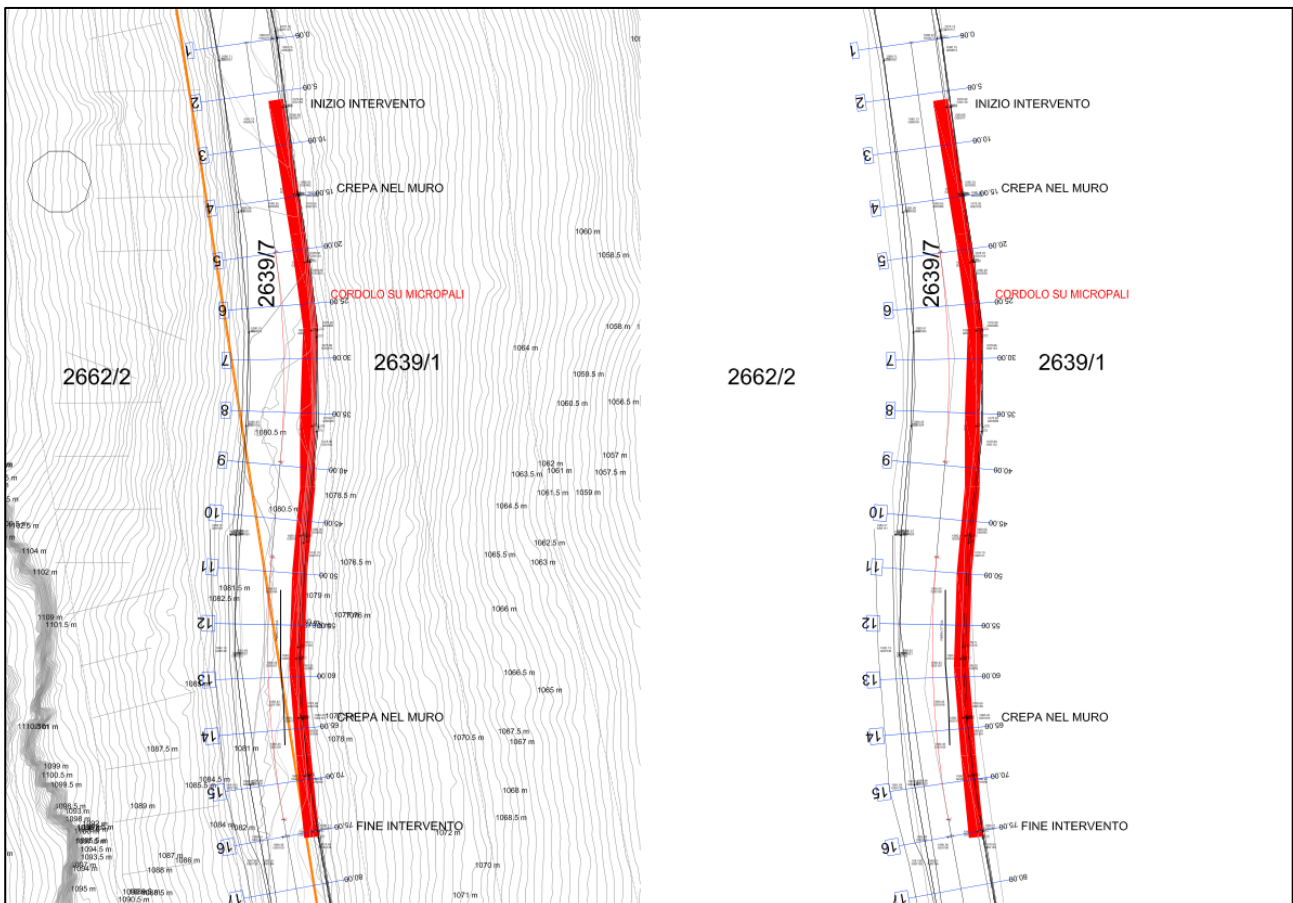


Figura 3. Planimetria intervento

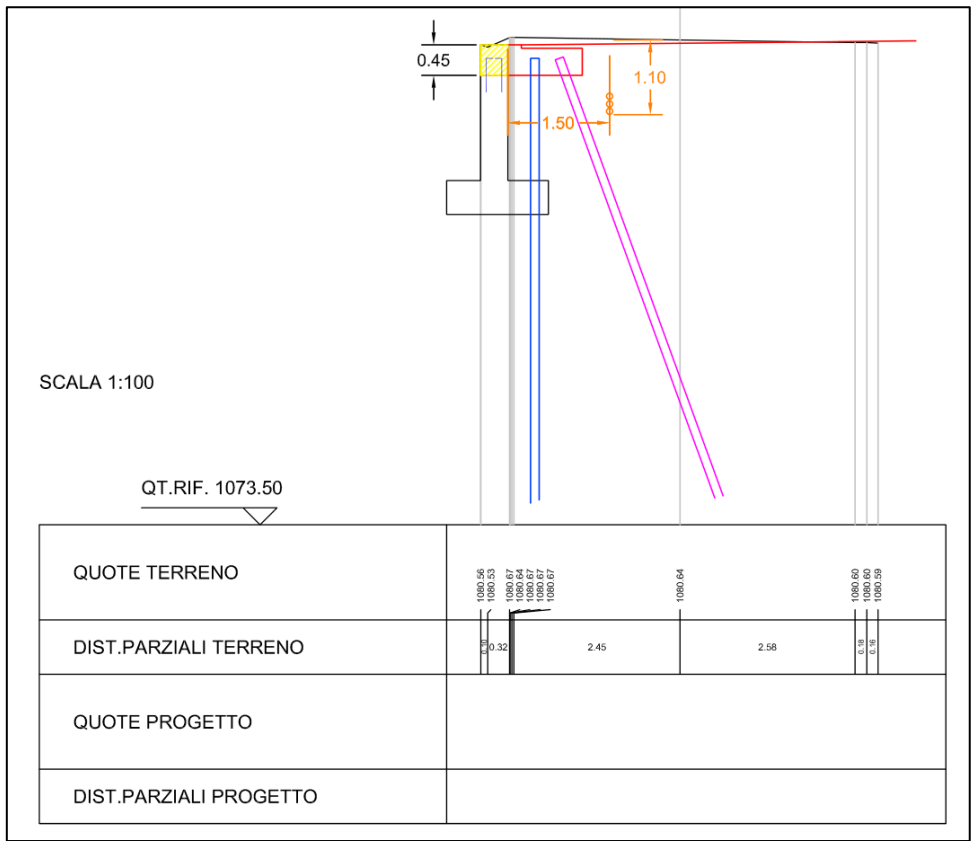


Figura 4. Sezione rappresentativa opere in previsione

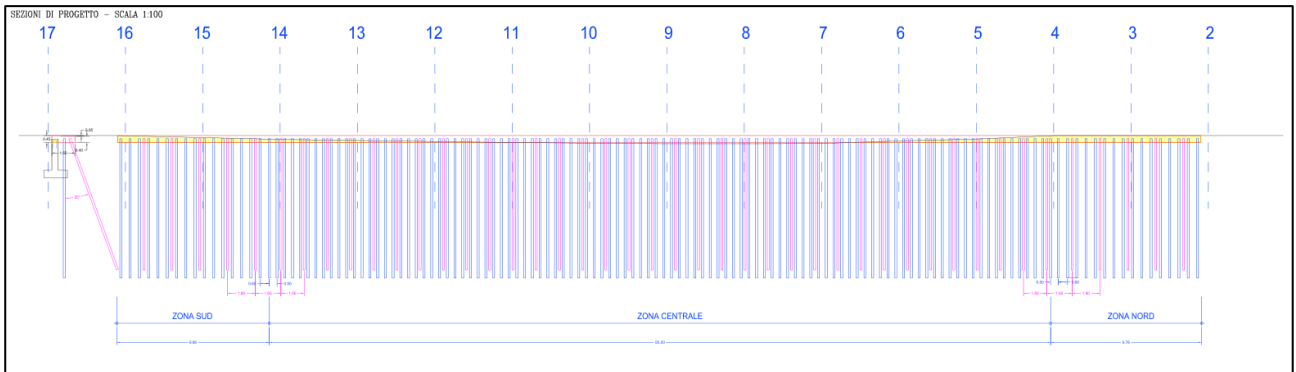


Figura 5. Sezione longitudinale

2. RIFERIMENTO NORMATIVI

- L.P. 10 settembre 1993, n° 26 e s.m.;
- Regolamento di attuazione della L.P. 10 settembre 1993, n° 26 approvato con D.P.G.P. n° 12 – 10/LEG., dd. 30 settembre 1994;
- Decreto ministeriale (infrastrutture e trasporti) 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni (G.U. n. 42 - Suppl. Ord. n. 8 del 20 febbraio 2018);
- Linea guida ETAG 027 “Falling Rock Protection Kits”, certificazione barriere paramassi;
- Norma UNI 11211-1:2018: “Opere di difesa dalla caduta massi - Parte 1: Termini e definizioni”;
- Norma UNI 11211-2:2021: “Opere di difesa dalla caduta massi - Parte 2: Programma preliminare di intervento”;
- Norma UNI 11211-3:2018: “Opere di difesa dalla caduta massi - Parte 3: Progetto preliminare”;
- Norma UNI 11211-4:2018: “Opere di difesa dalla caduta massi - Parte 4: Progetto definitivo ed esecutivo”;
- Norma UNI 11211-5:2019: “Opere di difesa dalla caduta massi - Parte 4: Ispezione, Monitoraggio, Manutenzione e ruolo dei Gestori”;
- Norma UNI EN 1537:2013: “Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Tiranti di ancoraggio”;
- Raccomandazioni AICAP: Ancoraggi nei terreni e nelle rocce.

3. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

In Figura 6 e Figura 7 si riportano rispettivamente l'estratto della carta tecnica provinciale (CTP2020, sezione 101080 "Ala") e l'ortofoto dell'area di interesse.

L'area di progetto si colloca lungo La Strada Provinciale 211 del Monti Lessini ad una quota topografica indicativa pari a 1.080 m s.l.m.. L'importante via di comunicazione, nota anche come "Strada della Sega", è una via di collegamento di 13,539 km che unisce la Vallagarina (frazione di Sdruzzinà, Comune di Ala) con il confine regionale fra Trentino-Alto Adige e Veneto, fino al Passo delle Fittanze.

Le condizioni della roccia nell'area di interesse, i motivi strutturali che interessano l'area, unitamente all'assetto morfologico del territorio, determinano una condizione di particolare vulnerabilità per la viabilità esistente in relazione a possibili fenomeni di franamento e instabilità del primo sottosuolo. Parte della carreggiata stradale (banchina esterna) è stata ricavata con i materiali ricavati dagli sbancamenti a monte.

I versanti che cingono l'area di interesse e in generale il territorio circostante sono ricoperti da una fitta boscaglia mista a latifoglie e conifere. La pendenza locale dell'area in esame, ai fini della modellazione sismica, è inferiore di 15°.

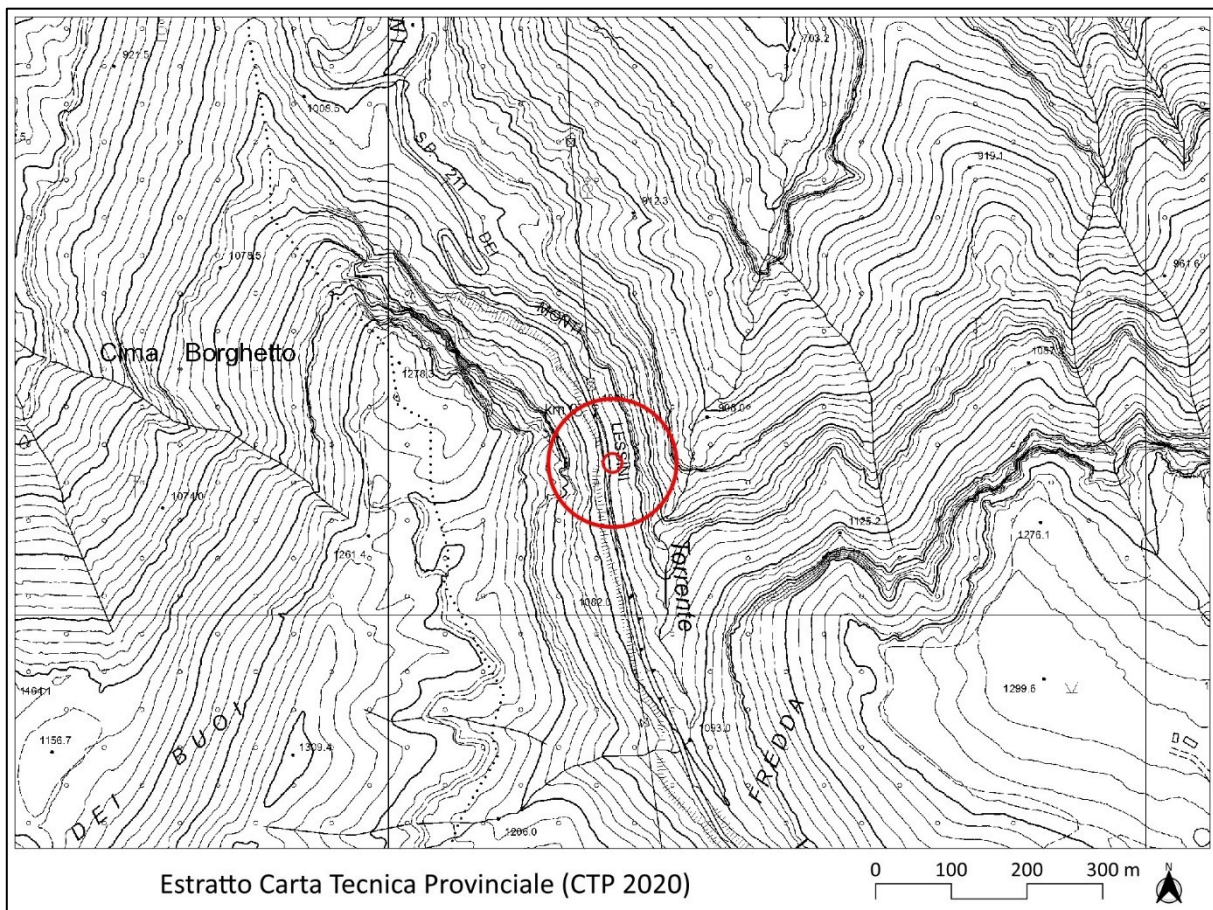


Figura 6. Estratto Carta Tecnica Provinciale PAT

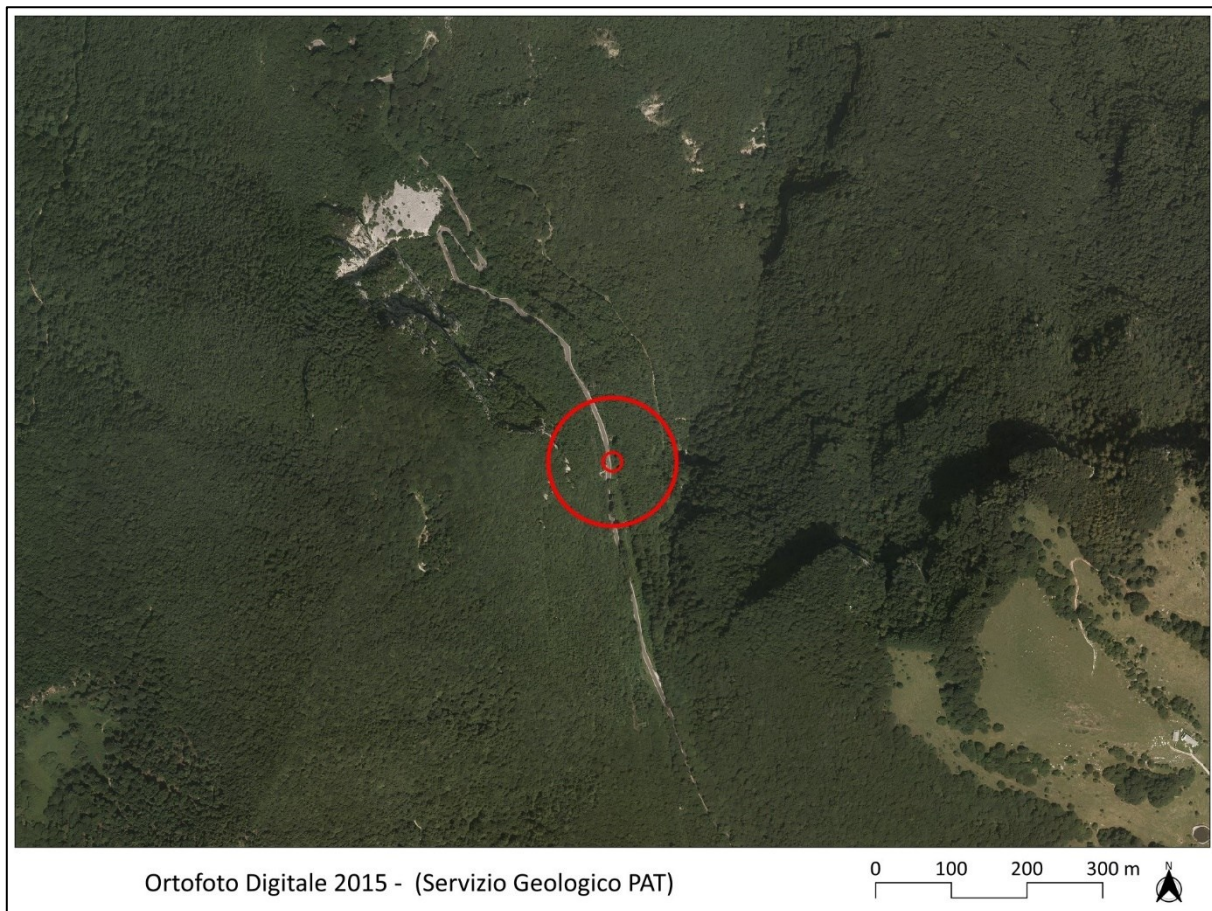


Figura 7. Estratto ortofoto digitale PAT 2015

I Monti Lessini costituiscono un altopiano substrutturale le cui superfici si appoggiano grosso modo sui piani di stratificazione; le dorsali corrispondono a blocchi sollevati mentre le valli principali si incassano in depressioni tettoniche di faglia. La litologia mesozoica controlla fortemente i paesaggi: i calcari del Biancone, stante la loro erodibilità spiccata, formano dorsali arrotondate e ampie cupole, mentre il Rosso ammonitico ed i calcari oolitici danno luogo a blocchi isolati, spuntoni e pareti affilate, generando suggestivi “canionetti” carsici.

Per quanto riguarda il fenomeno del carsismo il modellamento da dissoluzione è estremamente sviluppato: in superficie si riconoscono doline (a ciotola o a pozzo), campi solcati (lapiez), “città di roccia” (raggruppamenti di massi separati da crepacci) e nicchie di nivazione; in profondità si aprono cavità sia orizzontali che verticali di grande sviluppo.

Durante l’ultima glaciazione, mentre le Alpi erano interamente coperte da ghiacciai, le Prealpi Venete – e quindi i Lessini – ne furono soltanto parzialmente interessate: lingue glaciali si spingevano nelle valli più profonde, lasciando rare tracce di circhi e cordoni morenici. Infatti, nel settore veronese i depositi morenici sono generalmente poco estesi e mal conservati, visibili soprattutto in quota in corrispondenza di circhi glaciali embrionali e di cordoni morenici sommitali.

L’altopiano è delimitato verso ovest e verso nord, cioè in direzione della valle dell’Adige, da numerose vallecole incise dalle acque correnti che drenando le aree più in quota hanno prodotto un intricato ed esteso reticolo idrografico. All’interno delle vallecole si osservano modesti spessori di coltri di materiale alluvionale per lo più derivante dal trasporto dei materiali posti alla base delle pareti rocciose e quindi dal disfacimento del substrato roccioso.

Alla base delle pareti rocciose ampie falde e coni detritici ricoprono il substrato roccioso; si tratta per lo più di depositi grossolani a tessitura aperta con clasti spigolosi e costituiti esclusivamente dalle litologie presenti nell'area di alimentazione.

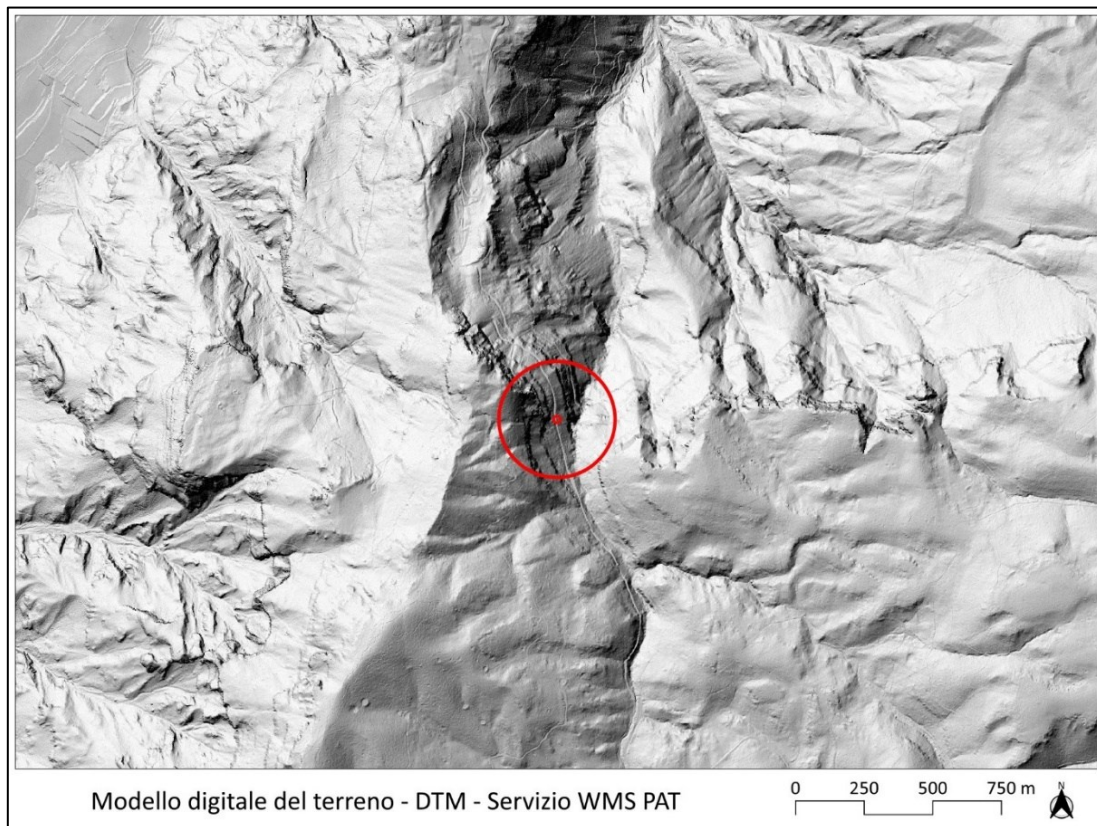


Figura 8. Estratto modello digitale del terreno

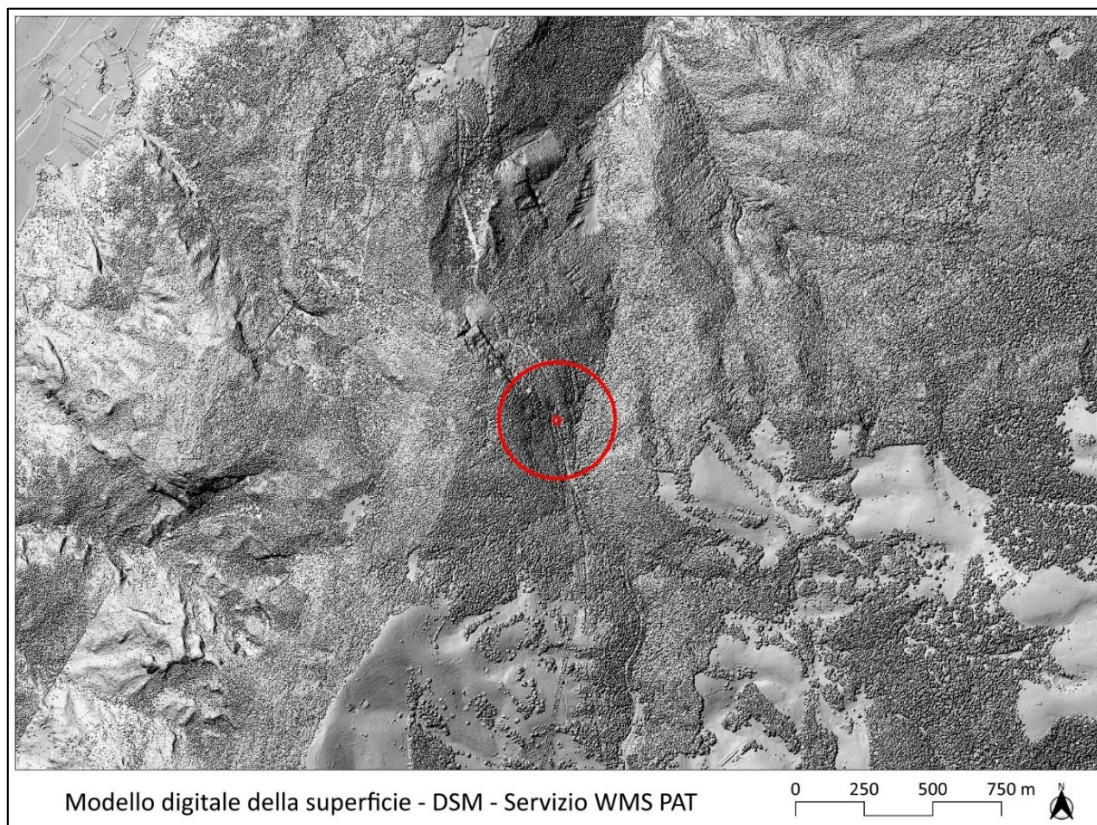


Figura 9. Estratto modello digitale della superficie

Per quanto riguarda l'idrografia di superficie, a valle dell'area progettuale, si segnala la presenza del Rio Val Fredda o Torrente Vies che scorre incassato in una profonda incisione. Questo si colloca ad una quota tale da non poter in alcun modo interferire con quanto in progetto. Il Rio Val Fredda è un affluente di sinistra dell'Adige al quale confluisce poco a valle di Sdruzzinà (comune di Ala) ad una quota topografica di circa 160 m s.l.m. La zona di origine si colloca presso località Sega di Ala (1.224 m s.l.m.) sull'altopiano della Lessinia. Alimentato principalmente da sorgenti carsiche e dagli apporti di precipitazioni, il Rio Val Fredda presenta portate ridotte in inverno e massimo deflusso in primavera-estate, per lo scongelamento delle nevi e le piogge stagionali.

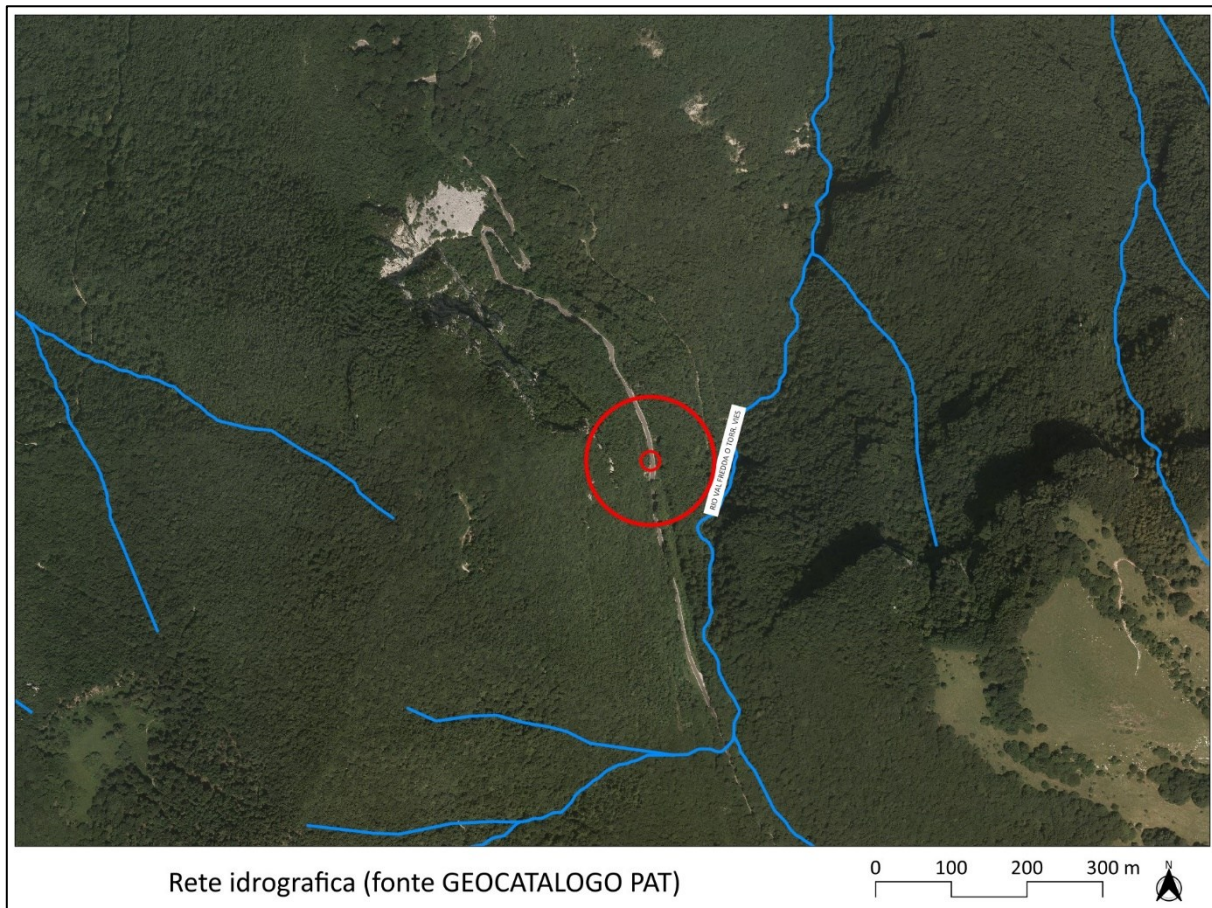


Figura 10. Reticolo idrografico area di interesse

Per quanto riguarda, invece, le caratteristiche del reticolo idrogeologico sotterraneo non si ravvisano evidenze che una falda propriamente detta intersechi il piano di campagna nell'area progettuale. Tuttavia, non è possibile escludere che in concomitanza a periodi molto piovosi si possa avere un locale incremento della circolazione sotterranea e la presenza, seppure effimera, di un flusso idrico sotterraneo localizzato a contatto da depositi sciolti e substrato roccioso.

Il regime ed il campo di moto delle acque sotterranee sono intimamente correlati alle litologie presenti, alle variazioni delle frazioni che costituiscono lo spettro granulometrico, all'andamento del substrato roccioso in profondità e all'assetto strutturale profondo. Il fenomeno del carsismo inoltre costituisce un elemento di assoluto controllo nelle dinamiche idrogeologiche sotterranee in tutta l'area dei Monti Lessini; nell'area progettuale, tuttavia, non sono state osservate forme di natura carsica.

I

Le informazioni ricavate dagli affioramenti in campo, dagli scavi effettuati nelle vicinanze dell'area di studio e dalla letteratura tecnica specifica hanno permesso di identificare due unità idrogeologiche. La prima costituita da sedimenti sciolti dotati di buona permeabilità primaria per porosità (materiali grossolani) e la seconda riferibile al substrato roccioso che può essere considerato l'acquicluda locale.

Non si segnalano sorgenti nell'area limitrofa a quella di interesse progettuale.

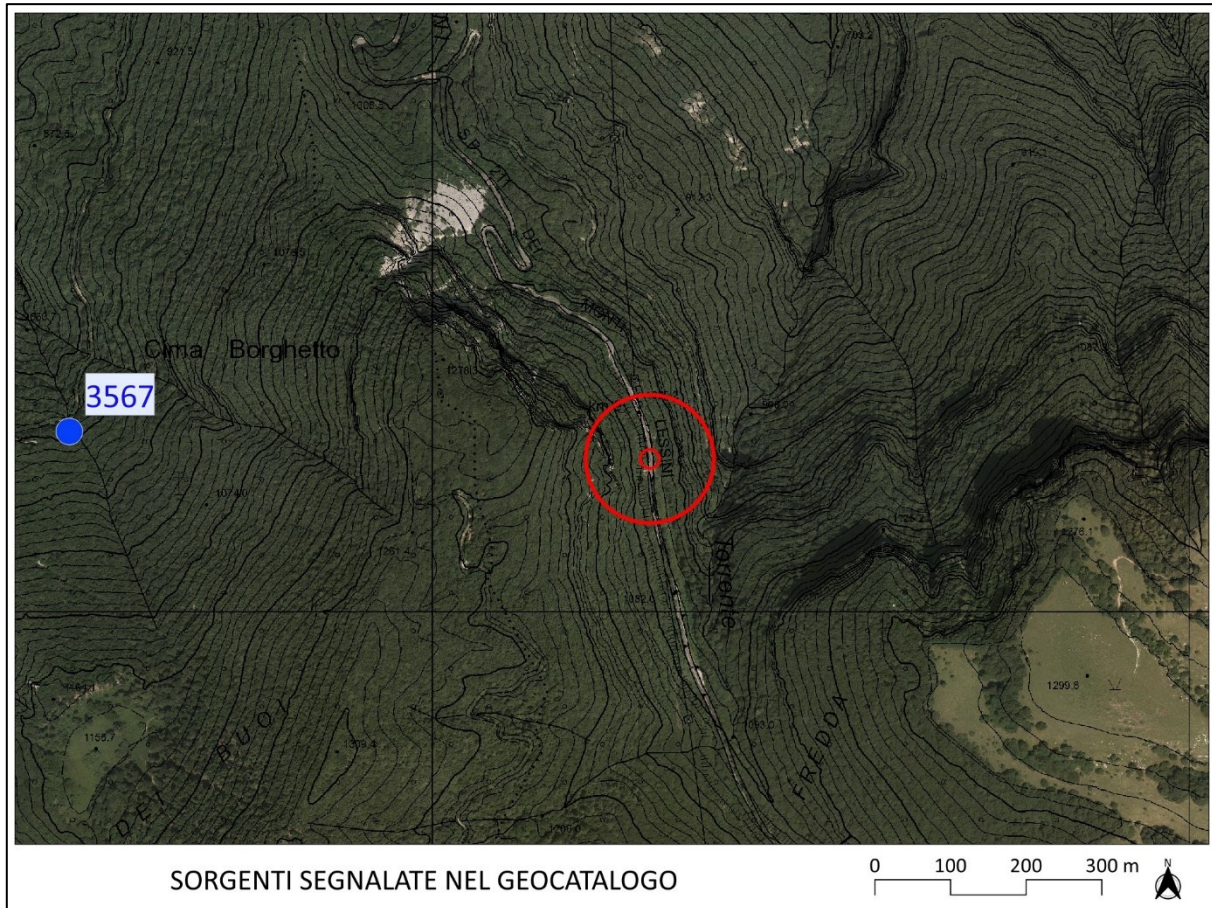


Figura 11. Sorgenti nell'area di interesse (fonte webgis provinciale)

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Nell'estratto della Carta Geologica 1:10.000 della PAT, riportato di seguito, si possono identificare le unità geologiche affioranti nell'area di interesse. In particolare, per quanto riguarda il substrato roccioso, si riconoscono alcune importanti formazioni mesozoiche (tratto da Legenda della Carta Geologica – Descrizione delle Unità. Servizio Geologico. Ottobre 2019).

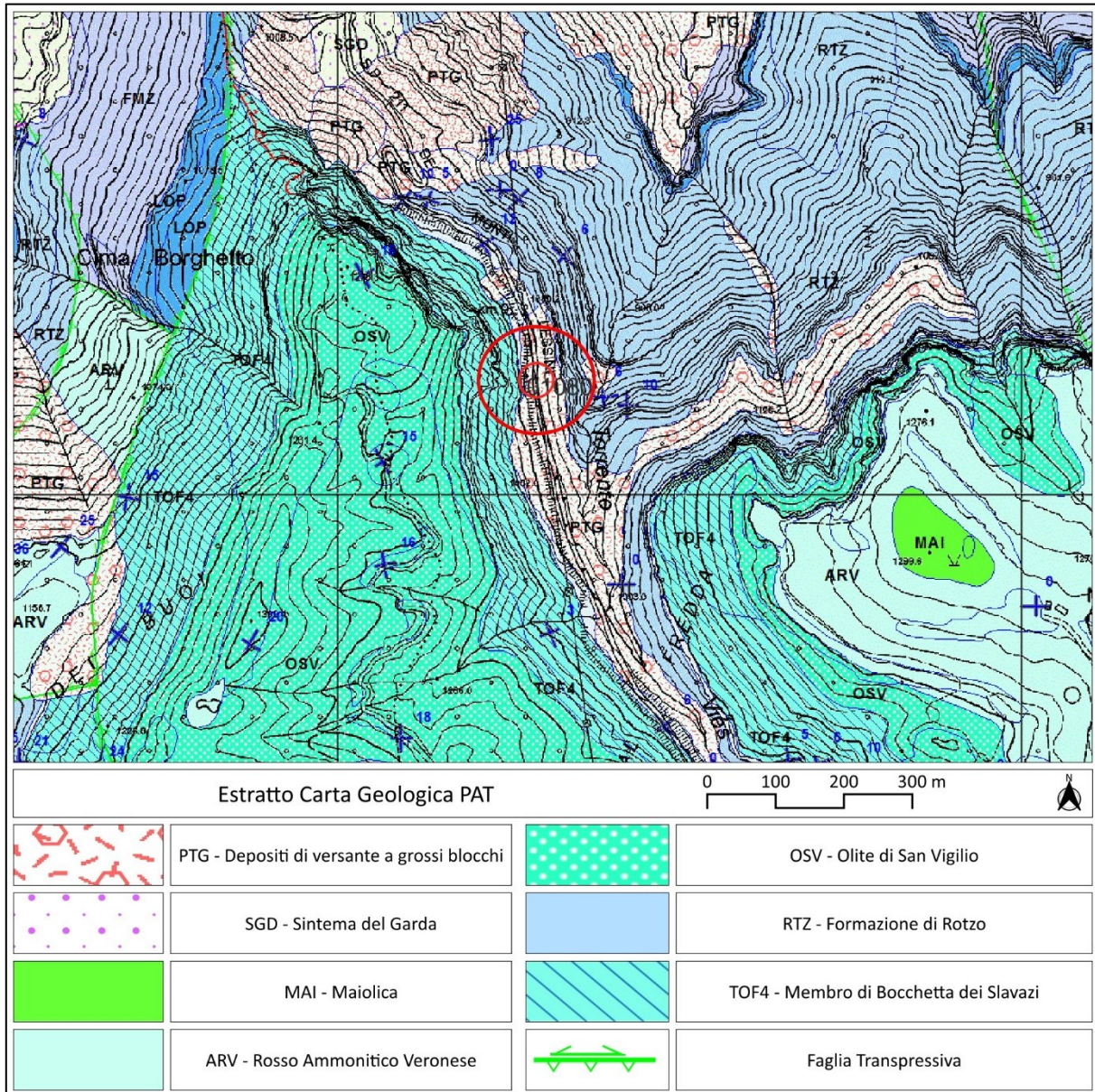


Figura 12. Estratto Carta Geologica PAT

- **MAI - MAIOLICA** – Si tratta di “*Calcari micritici bianchi e grigi ricchi in noduli e letti di selce (rosse, nere, giallastre), a radiolari e tintinnidi in strati medio - sottili, ondulati con rari interstrati marnosi. Spessore: 0-240 m. Età: Titoniano sup.- Aptiano inf.*”.
- **ARV – ROSSO AMMONITICO VERONESE.** Si tratta di “*Calcari micritici, selciferi, rossi nodulari a bivalvi pelagici (ammonoidi). Spessore: 0-20 m. Età: Bajociano-Titoniano sup.*”.
- **OSV – OLITE DI SAN VIGILIO.** Si tratta di “*Calcari oolitici grigio-giallastri a crinoidi, encriniti rosse, in strati spessi talora a stratificazione incrociata; presenti calcari giallastri a echinidi mal stratificati (Giallo di Mori). Spessore: 0-60 metri. Età: Toarciano-Aaleniano inf.*”.

- **RTZ – FORMAZIONE DI ROTZO.** Si tratta di “*Calcari micritici grigi con molluschi (Lithiotis) e foraminiferi (Orbitopsella), con interstrati di marne scure, calcareniti oolitiche in strati medio-spessi. Spessore: 0-250. Età: Sinemuriano sup. - Pliensbachiano.*”.

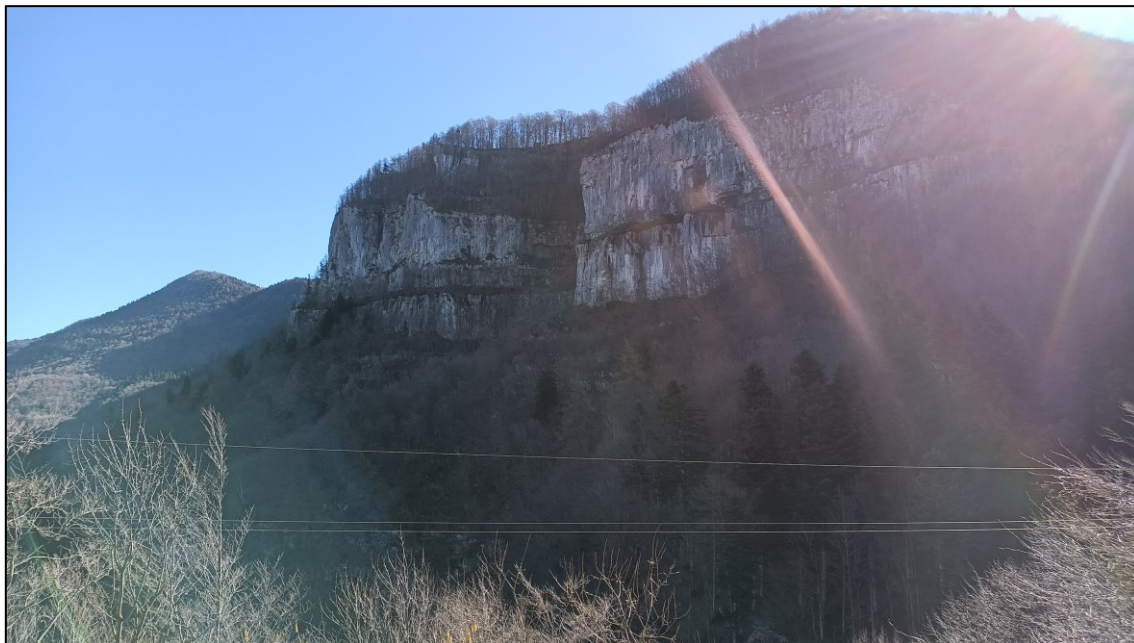


Figura 13. Pareti rocciose della Formazione di Rotzo

- **TOF4 – FORMAZIONE DEL TOFINO MEMBRO DI BOCCHETTA DEI SLAVAZI.** Si tratta di “*Calcari micritici grigio scuri fortemente selciferi a spicole di spugne e radiolari in strati medio sottili, con calcitorbiditi ruditiche a brachiopodi e crinoidi in strati spessi. Alla sommità abbondanti torbiditi a bivalvi pelagici. Spessore: 0-300 metri. Età: Toarciano-Bajociano inf.*”.



Figura 14. Pareti rocciose della Formazione del Tofino a monte del tratto di strada oggetto di intervento

Per quanto riguarda i depositi sciolti, al netto della presenza di materiali di riporto pressoché ubiquitari lungo la carreggiata stradale (lato di valle), si registra la presenza di unità quaternarie riconducibili a fenomeni di tipo gravitativo. I materiali sciolti possono essere quindi suddivisi in:

- Depositi di versante riconducibili al SINTEMA POSTGLACIALE ALPINO (PTG) costituiti prevalentemente da ghiaie e blocchi con matrici sabbie;



Figura 15. Panoramica materiali detritici che caratterizzano l'area di indagine

4.1. INDIVIDUAZIONE VOLUME GEOLOGICO SIGNIFICATIVO

Per un corretto approccio progettuale è indispensabile individuare il “volume geologico significativo” che, dal punto di vista formale, è definito come il sito geologico ed il relativo sottosuolo in cui è possibile cogliere interrelazioni di carattere dinamico di origine geologica o antropica influenzanti l’opera”.

Operativamente si è quindi valutata l’estensione di territorio entro il quale si possono determinare fenomeni geodinamici, idrogeologici e antropici in grado di provocare o subire azioni dirette o indirette sulle/dalle opere o su/da parti di esse. In relazione all’importanza e all’estensione dell’opera, e alle problematiche che vengono giustamente evidenziate dalle autorità competenti, si ritiene di considerare come volume geologico significativo l’intorno della superficie di progetto ed un’area limitata estesa attorno ad esso.

Per il caso in esame si sono individuate quindi tre unità geologiche.

UNITA'	DESCRIZIONE
UNITA' GEOLOGICA A MATERIALI DI RIPORTO	Si tratta di materiali eterometrici, per lo più costituiti da ghiaie, ciottoli e sabbie, derivanti dagli scavi di sbancamento per la realizzazione della strada e sono costituiti in generale da clasti grossolani spigolosi e che dal punto di vista litologico rispecchiano le unità affioranti in loco.
UNITA' GEOLOGICA B DEPOSITI QUATERNARI DI ORIGINE MISTA	Si tratta di materiali eterometrici, per lo più costituiti da ghiaie e clasti grossolani (depositi di versante), derivanti dai processi gravitativi. Il grado di elaborazione dei clasti è scarso con un grado di spigolosità elevato. I litotipi risultano in relazione alla unità presenti in loco.
UNITÀ GEOLOGICA C SUBSTRATO ROCCIOSO FRATTURATO	Il substrato roccioso come evidente dalla foto sopra esposte risulta stratificato in bancate metriche, ma tuttavia risulta caratterizzato da fratture che pervadono l’ammasso roccioso anche alla scala decimetrica. Si riconosce la stratificazione che nell’area risulta pressoché orizzontale. La roccia in affioramento presenta un grado di alterazione moderato.

5. PIANI DI GOVERNO DEL TERRITORIO

Il 02 ottobre 2020 è entrata in vigore la Carta di Sintesi della Pericolosità. Gli strumenti urbanistici messi a disposizione delle autorità della PAT, competenti in materia, rendono agilmente individuabili le problematiche geologico/ambientali che si riscontrano in ambiti territoriali specifici.

5.1. CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ

La legge provinciale 1 luglio 2011, n. 9 “Disciplina delle attività di protezione civile in provincia di Trento” pone in capo alla Provincia il compito di previsione dei pericoli e dei rischi (art. 6, comma 3) mediante la redazione e l’aggiornamento delle “carte della pericolosità” (art. 10, comma 1) che riguardano i pericoli connessi a fenomeni idrogeologici, valanghivi, alluvionali, sismici, a incendi boschivi, a determinate sostanze pericolose, a cavi sospesi o ad altri ostacoli alla navigazione aerea e ad ordigni bellici inesplosi. Tali strumenti costituiscono la base di riferimento per definire la Carta di Sintesi della Pericolosità, prevista dall’art. 22 della legge provinciale 4 agosto 2015, n. 15 (Legge provinciale per il governo del territorio), la quale individua le aree a diversa penalità ai fini dell’applicazione delle disposizioni relative all’uso del territorio previste dalla legge provinciale 27 maggio 2008, n.5 “Approvazione del nuovo piano urbanistico provinciale”. In particolare, la Carta di Sintesi della Pericolosità è uno degli elementi costituenti il Piano Urbanistico Provinciale PUP (comma 4, lettera d, dell’articolo 21 della legge provinciale 4 agosto 2015, n. 15 e comma 1 dall’articolo 3 della legge provinciale 27 maggio 2008, n. 5) e ha il compito di individuare le aree caratterizzate da diversi gradi di penalità ai fini dell’uso del suolo, in ragione della presenza dei pericoli idrogeologici, valanghivi, sismici e d’incendio boschivo, descritti nelle Carte della Pericolosità (articolo 10 della legge provinciale 1 luglio 2011, n. 9 e articolo 14 dalle legge provinciale 27 maggio 2008, n.5). In Figura 16 si riporta la Carta di Sintesi della pericolosità per l’area di interesse.

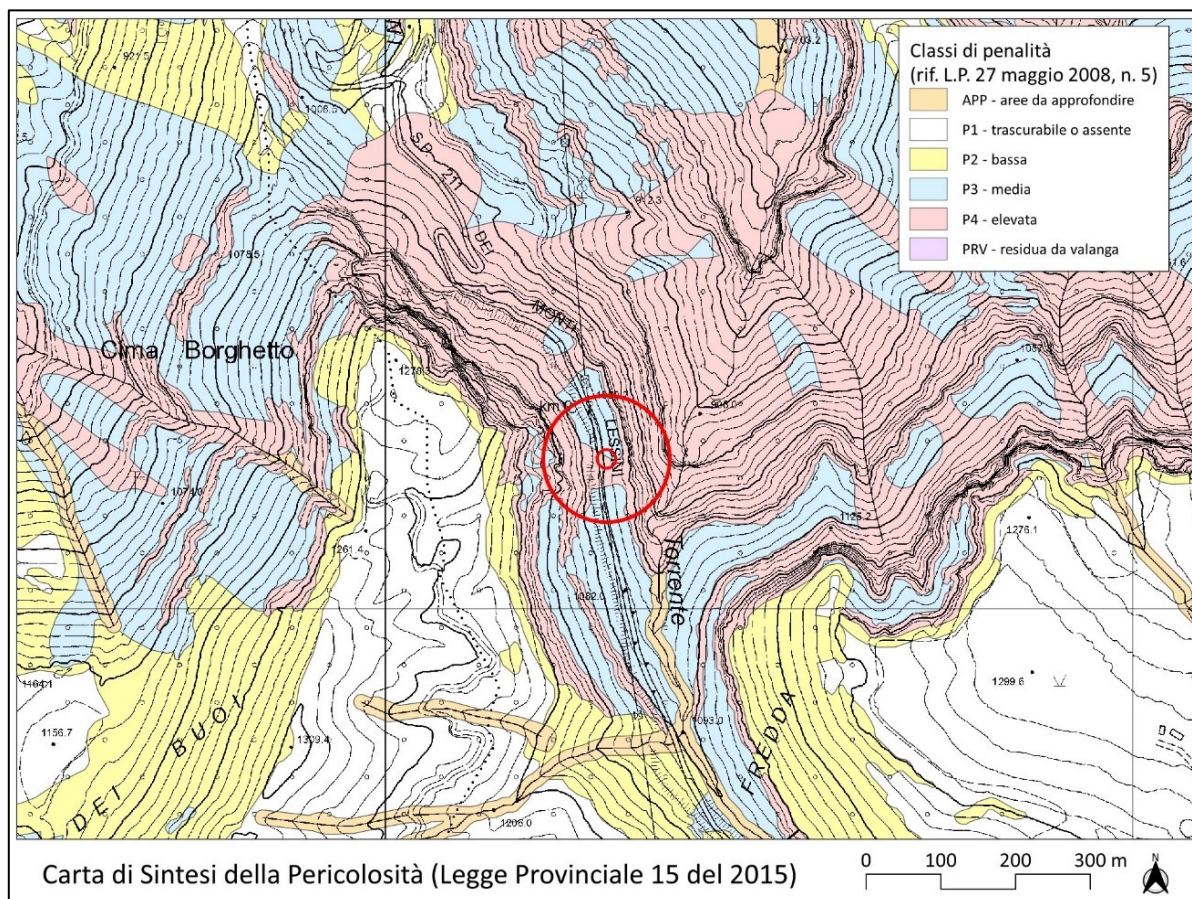


Figura 16. Carta della Sintesi di Pericolosità (aggiornamento settembre 2023)

Per quanto segnalato nella Carta di Sintesi della Pericolosità si evidenzia che le aree oggetto di intervento sono inserite in aree a differente penalità, per le quali vigono gli artt. 15 e 16 della L.P. 27 maggio 2008, n. 5).

Richiamando l'art.5 Interventi esclusi dall'applicazione del capo IV delle norme di attuazione del PUP del testo "Indicazioni e precisazioni per l'applicazione delle disposizioni concernenti le aree con penalità elevate, medie o basse e le aree con altri tipi di penalità" si riporta quanto segue:

"I progetti edilizi o infrastrutturali devono, in generale, tenere conto dei contenuti e delle informazioni delle Carte della pericolosità; ferma restando questa condizione e fermo restando il rispetto delle disposizioni contenute nelle NTC, sono esclusi dall'applicazione del capo IV delle norme del Piano urbanistico provinciale i seguenti interventi:"

j) manutenzione ordinaria e straordinaria delle infrastrutture per la mobilità esistenti con consolidamento di rampe e scarpate e sistemazione, rettifica e adeguamento della sezione viaria, compresa la regimazione delle acque mediante cunette e drenaggi, la sistemazione di parapetti o barriere antirumore;

Per quanto concerne le opere in oggetto, quindi, non è dovuto alcuno studio o relazione di compatibilità.

5.2. CARTA DELLE RISORSE IDRICHE

Con la L.P. 27 Maggio 2008, n.5, art. 21, comma 3 è stata approvata la Carta delle risorse Idriche del PUP. Principalmente nella Carta di sintesi geologica della Variante 2000 al PUP sono state indicate tutte le sorgenti e pozzi selezionati (5.034 sorgenti e 127 pozzi), indipendentemente dalle loro caratteristiche fisiche e dal loro utilizzo. Mentre il nuovo PUP, al fine di conformare la normativa in materia e di evitare improprie limitazioni dell'uso del suolo, ha definito che le risorse idriche meritevoli di tutela sono quelle previste dal d.lgs. 3 aprile 2006, n. 152 e pertanto quelle destinate al consumo umano e distribuite tramite pubblico acquedotto. Il giorno 12/10/2018 con Delibera G.P. n°1941 è stato approvato il terzo aggiornamento della Carta delle Risorse Idriche, dove in particolare, sono stati individuati circa 1840 sorgenti, più di 100 pozzi e una ventina di prese da acque superficiali utilizzati a scopo potabile con qualsiasi portata, comprese le sorgenti di acque minerali attualmente in concessione; oltre che le sorgenti ritenute strategiche per le peculiari caratteristiche di qualità, quantità e vulnerabilità, ancorché non sfruttate per uso umano, che potrebbero costituire riserve future. La Carta delle Risorse Idriche copre a scala 1:10.000 l'intero Trentino ed individua le seguenti aree di salvaguardia: a) zone di tutela assoluta; b) zone di rispetto idrogeologico; c) zone di protezione. Nella cartografia sono state altresì indicate con una croce blu anche tutte le altre sorgenti del catasto delle risorse idriche.

Le opere previste intersecano NON intersecano alcuna zona di protezione di sorgenti utilizzate a scopo idropotabile per tanto non si ravvisano problematiche relative.

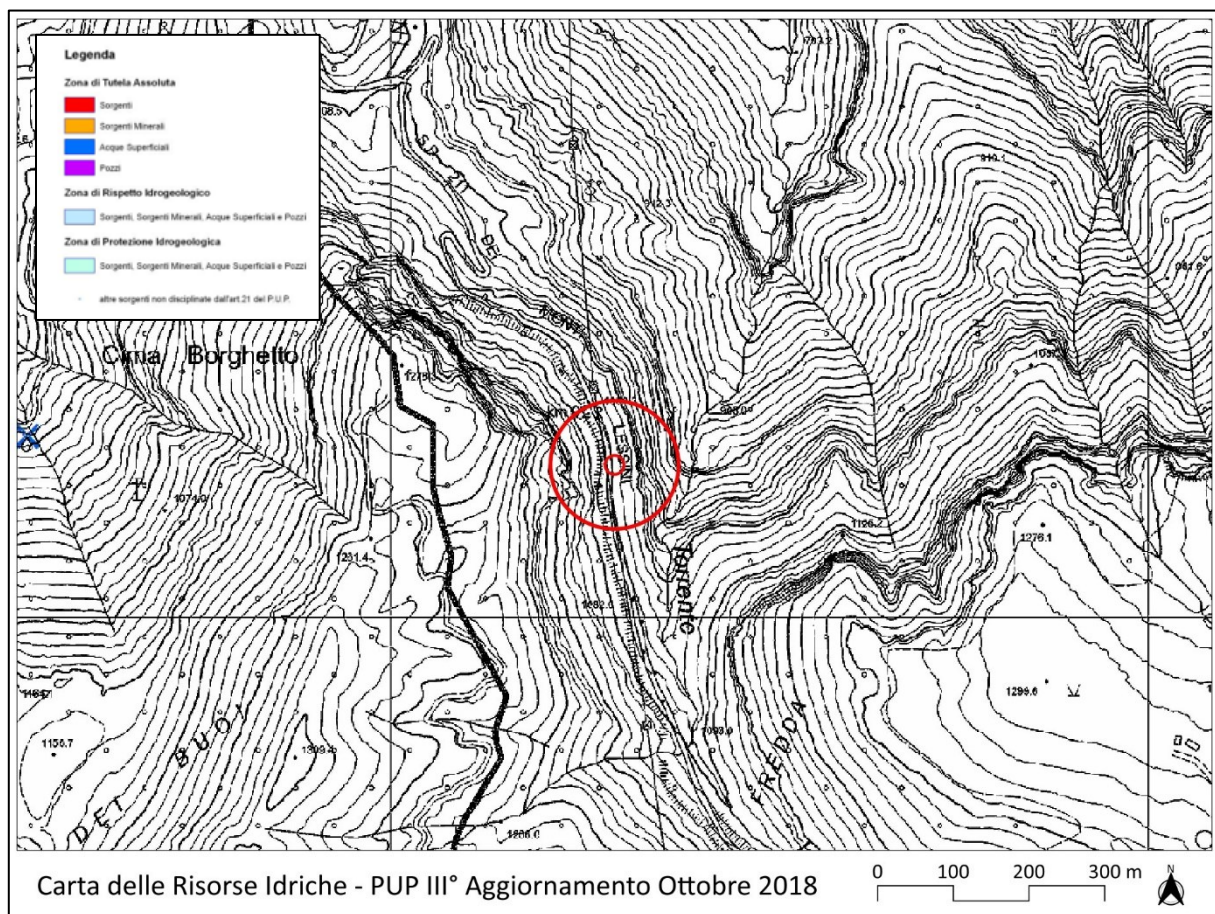


Figura 17. Carta delle Risorse Idriche. Terzo Aggiornamento. Delibera G.P. 1941 del 12 ottobre 2018

6. RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA

Le "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC) (D.M. 14/01/2008) e successivamente l'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018) definiscono la normativa di riferimento per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni, sia in zona sismica che in zona non sismica. Al cap. 3.2 delle NTC2018 si riporta che "le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale". E ancora "La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $Se(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento VR , come definito nel § 2.4". Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2. Si ricorda che da gennaio 2024 è entrata in vigore la nuova classificazione sismica del territorio del Trentino secondo quanto disposto dalla Deliberazione della Giunta Provinciale 20 ottobre 2023 n. 1937. La nuova classificazione sismica del Trentino prevede 4 Comuni in zona sismica 2, 147 Comuni in zona sismica 3 e 15 Comuni in zona sismica 4 (rif. Figura 20). In zona sismica 2, fra le tre la più pericolosa dal punto di vista sismico, ricadono Ala, Avio, Sagron Mis e Vallarsa. L'inserimento della zona sismica 2, sinora non utilizzata nella classificazione provinciale, implica che per gli interventi definiti come "rilevanti nei riguardi della pubblica utilità" sia necessaria una preventiva autorizzazione tecnica. Tale autorizzazione sarà gestita dall'Ufficio Laboratorio e Controlli Strutturali dell'Agenzia Provinciale per le Opere Pubbliche, attraverso lo sportello SUAP.

6.1. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Nell'estratto mappa di Figura 18 si riporta la carta della pericolosità sismica. Si osserva che l'area oggetto di studio, per quanto riguarda la pericolosità sismica locale, rientra in aree suscettibili di amplificazioni stratigrafiche ed eventualmente anche topografiche.

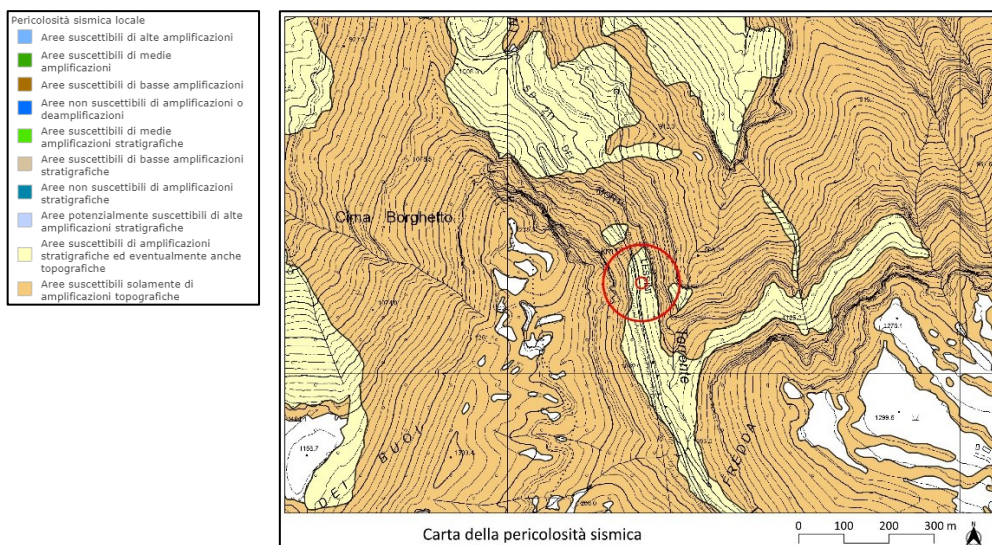


Figura 18. Carta della pericolosità sismica

In riferimento all'accelerazione orizzontale massima al suolo " $a_{g,475}$ " (espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi con $V_s > 800$ m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005) l'area in oggetto ricade nell'intervallo 0,15 - 0,25.

Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico
1	$0,25 < a_g \leq 0,35g$	0,35g
2	$0,15 < a_g \leq 0,25g$	0,25g
3	$0,05 < a_g \leq 0,15g$	0,15g
4	$\leq 0,05g$	0,05g

Figura 19. Zona sismica - Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g) – Fonte: INGV

La zona è pertanto inquadrata in Zona sismica 2, così come evidenziato in Figura 20.

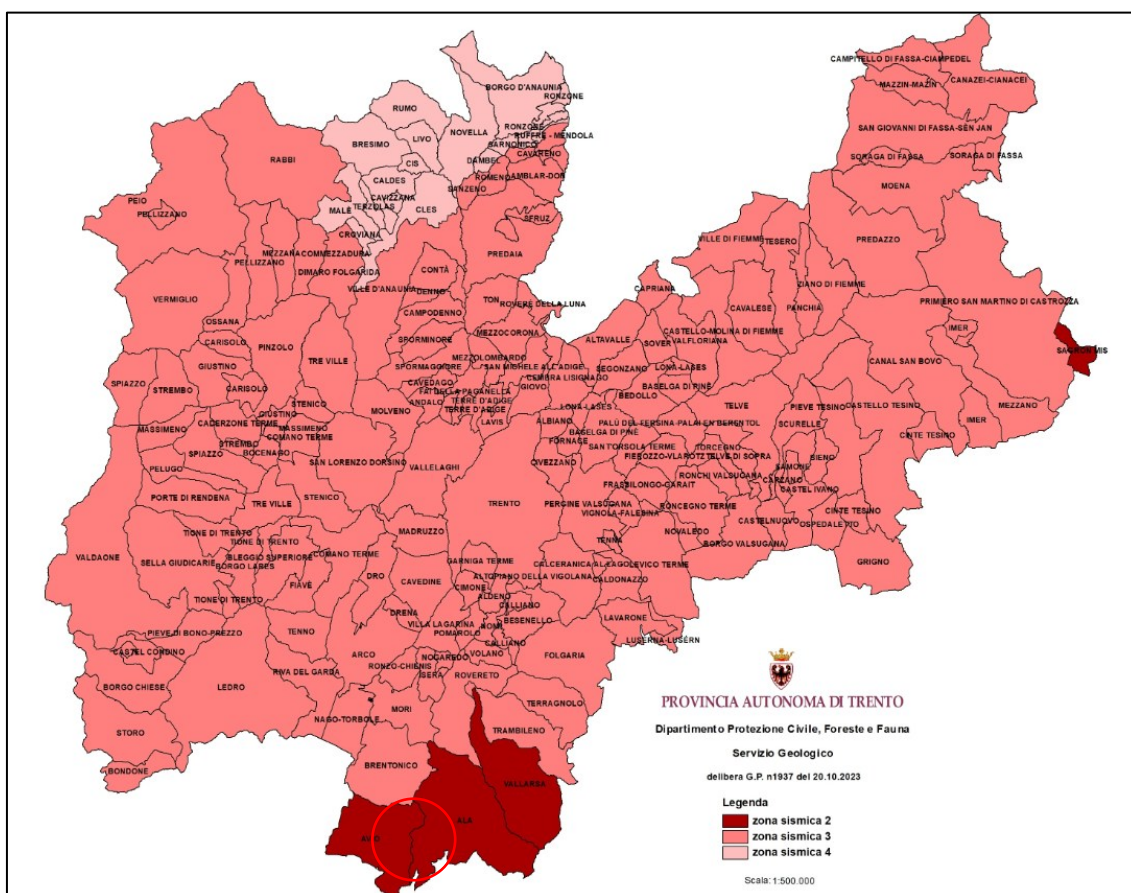


Figura 20. Nuova classificazione sismica del territorio provinciale (in vigore dal 15/01/2024)

6.2. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

- h_i spessore dell' i -esimo strato;
- $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II (Figura 21).

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Figura 21. Categoria dei suoli di fondazione

Dalle informazioni in possesso ricavate da opere limitrofe, dalla carta sismica dei suoli della PAT e dalle caratteristiche geologiche del sito in esame si può ragionevolmente attribuire al sottosuolo una categoria B. Un ulteriore parametro fondamentale per il calcolo della risposta sismica locale è la pendenza topografica. In Figura 22 si riportano i coefficienti T_n da utilizzarsi nel calcolo dei parametri sismici.

Per quanto riguarda la categoria topografica si potrà fare riferimento ad una categoria T1.

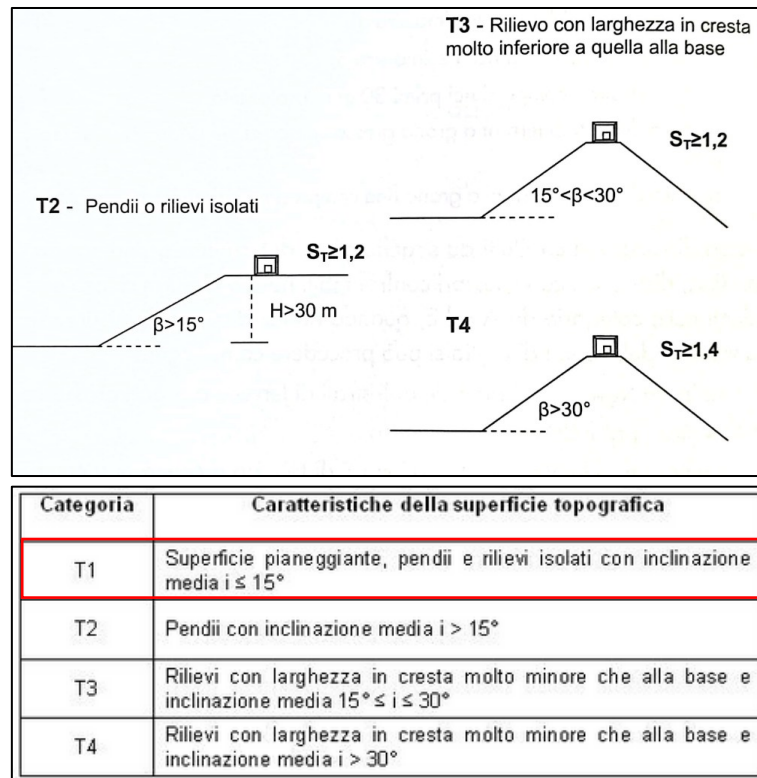


Figura 22. Categoria topografica

6.3. PARAMETRI SISMICI

Di seguito si riportano le informazioni necessarie per i calcoli strutturali di pertinenza del progettista. Sono riportati i dati dettagliati dei parametri sismici nonché i dati di input ottenuti dalle caratteristiche topografiche, geologiche dell'area in esame e di destinazione d'uso del progetto. Elaborazione effettuata mediante applicativo Geostru Parametri Sismici.

6.3.1. TIPO DI ELABORAZIONE

Paratie NTC 2018 – Stabilità dei pendii e fondazioni

6.3.2. SITO IN ESAME

latitudine: 45,715357
 longitudine: 10,970584
 Classe: 4
 Vita nominale: 100

6.3.3. SITI DI RIFERIMENTO

Sito 1	ID: 11397	Lat: 45,7075	Lon: 10,9161	Distanza: 4319,197
Sito 2	ID: 11398	Lat: 45,7090	Lon: 10,9876	Distanza: 1496,657
Sito 3	ID: 11176	Lat: 45,7590	Lon: 10,9855	Distanza: 4989,219
Sito 4	ID: 11175	Lat: 45,7575	Lon: 10,9140	Distanza: 6423,770

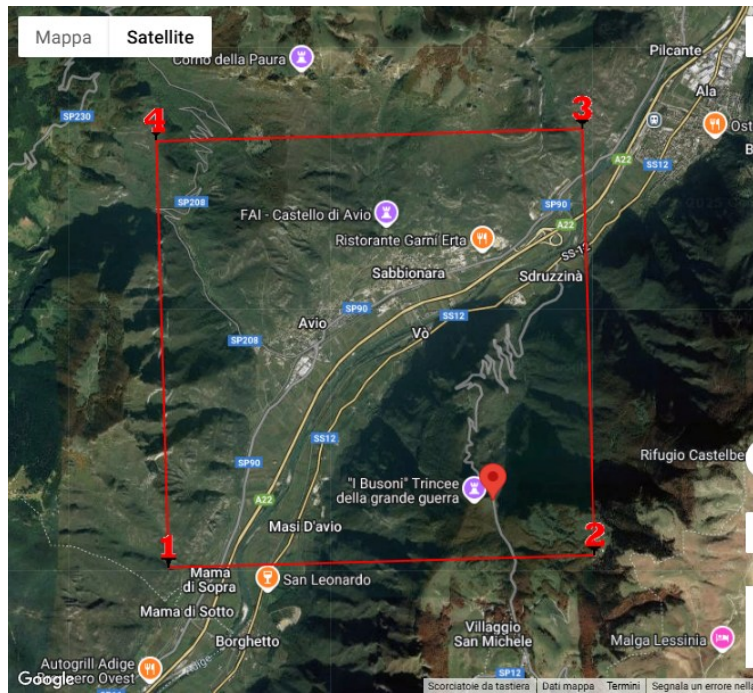


Figura 23. Sito di riferimento

6.3.4. PARAMETRI SISMICI

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	200anni
Coefficiente cu:	2

	SLO	SLD	SLV	SLC
Prob. di superamento	81 %	63 %	10 %	5 %
Tr	120 [anni]	201 [anni]	1898 [anni]	2475 [anni]
Ag	0,089 g	0,113 g	0,264 g	0,291 g
Fo	2,439	2,410	2,406	2,382
Tc	0,262 [s]	0,271 [s]	0,288 [s]	0,290 [s]

6.3.5. COEFFICIENTI SISMICI - PARATIE

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss	1,200	1,200	1,150	1,120
Cc	1,440	1,430	1,410	1,410
St	1,000	1,000	1,000	1,000
Kh	0,088	0,112	0,251	0,269
Kv	0,000	0,000	0,000	0,000
Amax	1,043	1,331	2,975	3,191
Beta	0,827	0,827	0,827	0,827

7. CONSIDERAZIONI FINALI SULLA MODELLAZIONE GEOLOGICA

In base ai sopralluoghi, ai dati esistenti ed alle verifiche effettuate sono state raccolte informazioni che hanno permesso di ricostruire con sufficiente dettaglio il contesto geologico ed idrogeologico dell'area di interesse evidenziando che non sussistono problematiche di ordine geologico ed idrogeologico tali da precludere la fattibilità dell'intervento. Durante i sopralluoghi sono state inoltre, raccolte informazioni circa la tipologia di terreni che si riscontrano nel perimetro di lavoro ove si prevede la realizzazione delle opere di consolidamento.

Nel presente elaborato si sono fornite informazioni dettagliate riguardo:

- la descrizione schematica del progetto, che prevede il consolidamento di un tratto della banchina di valle della S.P. 211 dei Monti Lessini (km 9+135);
- l'inquadramento dell'area di intervento dal punto di vista geografico e topografico;
- la descrizione della geologia generale dell'area, dell'assetto strutturale e geomorfologico;
- l'individuazione dello schema stratigrafico e idrogeologico di dettaglio;
- l'inquadramento relativo ai piani di governo del territorio provinciale;
- la descrizione della pericolosità sismica di base e la definizione dell'azione sismica di progetto.

Le opere in previsione avranno un impatto limitato sul contesto geologico, geotecnico ed idrogeologico, si tratta infatti di opere di consolidamento che apporteranno un miglioramento delle condizioni di stabilità della sede stradale.

In base ai sopralluoghi, ai dati esistenti ed alle verifiche effettuate, è stato riconosciuto che l'area progettuale può essere considerata idonea dal punto di vista geologico alla realizzazione delle opere in previsione. Non sono stati ravvisati fenomeni geologici in atto o potenziali in grado di interagire negativamente con quanto in previsione; l'area è pianeggiante e priva di accidenti morfologici. La falda non sarà intercettata durante gli scavi in quanto posizionata ben al di sotto del p.c..

Per quanto riguarda le indicazioni relative alla **Carta di sintesi della pericolosità** si precisa che l'area oggetto di studio ricade in aree con penalità differenti; tuttavia, stante la tipologia di opere, non è dovuto alcuno studio o relazione di compatibilità (interventi esclusi capo IV PUP).

Per quanto riguarda le indicazioni relative alla **Carta delle Risorse idriche** non sono state rilevate problematiche in merito.

Il presente elaborato è redatto in ottemperanza ai contenuti del D.M. 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni" e soddisfa i requisiti urbanistici e normativi di rilevanza geologica per cui costituisce documento progettuale idoneo per il rilascio della concessione ad edificare. In corso d'opera si dovrà controllare la corrispondenza tra il modello geologico di riferimento assunto in progetto e la situazione effettiva, differendo di conseguenza il modello geotecnico ed il progetto esecutivo, così come previsto dalla normativa di settore.

Pinzolo, aprile 2025




IL TECNICO GEOLOGO

DOTT. GIULIANO LORENZETTI



LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA SP 211 DEI MONTI LESSINI KM 9+135 CIRCA

RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE GEOTECNICA

<u>ELABORATO</u>	<i>R.02</i>	<u>CATEGORIA</u>	<i>CONSOLIDAMENTI STRADALI</i>
<u>DATA</u>	<i>Aprile 2025</i>	<u>COMMESSA</u>	<i>Rif. 501/25</i>
<u>COMMITTENTE</u>		 PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO DIPARTIMENTO INFRASTRUTTURE E TRASPORTO SERVIZIO GESTIONE STRADE UFFICIO GESTIONE PER LA ZONA CENTRO	
 Studio di Geologia Lorenzetti Servizi Per l'Ambiente e la Geologia Applicata Dott. Geol. Lorenzetti Giuliano - Dott.ssa Geol. Graba Magdalena			

A norma di legge il presente elaborato non può essere riprodotto o comunicato a terze parti senza espressa e preventiva autorizzazione dello Studio di Geologia Lorenzetti

Il tecnico Geologo
dott. Lorenzetti Giuliano



1. RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE GEOTECNICA

La presente relazione geotecnica fa esplicito riferimento al modello geologico definito nella relazione sulla modellazione geologica che viene recepito ed accettato dal Progettista. Per quanto si riferisce alla situazione geologica, quindi, si rimanda ai capitoli specifici dove sono state raccolte le informazioni di carattere generale e di dettaglio sui terreni, sulle litologie presenti e sull'assetto idrogeologico.

Le lavorazioni in previsione avranno un impatto piuttosto limitato sul mezzo geologico di riferimento. Per quanto riguarda i cordoli in micropalo non si prevedono scavi o movimenti terra; si tratta esclusivamente di opere che saranno realizzate con macchine operatrici da bordo strada senza la necessità di apertura di fronti di scavo.

Il quadro normativo di riferimento, §§ 6.2.2 delle NTC2018 DM 17-1-2018, prescrive quanto segue

“Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento, devono riguardare il volume significativo e, in presenza di azioni sismiche, devono essere conformi a quanto prescritto ai §§ 3.2.2 e 7.11.2. Ai fini dell’analisi quantitativa di uno specifico problema, per modello geotecnico di sottosuolo si intende uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico. Nel modello geotecnico di sottosuolo devono essere definiti il regime delle pressioni interstiziali e i valori caratteristici dei parametri geotecnici.” E ancora: “Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall’interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito. Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità. Deve inoltre essere specificato se la resistenza caratteristica si riferisce alle discontinuità o all’ammasso roccioso.” Inoltre, “Nel caso di costruzioni od interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata su preesistenti indagini e prove documentate, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali”.

La parametrizzazione geotecnica elaborata nel presente documento potrà essere utilizzata per il dimensionamento delle opere previste.

Le unità geotecniche individuate corrispondono alle unità geologiche individuate nella relazione sulla modellazione geologica.

I parametri geotecnici riportati qui di seguito sono da ritenersi “parametri caratteristici” e sono stati ricavati dalle indagini in situ effettuate di cui, di seguito, se ne riportano alcuni stralci.

La parametrizzazione meccanica delle unità geologiche del volume geologico significativo è avvenuta su base correlativa sulla scorta delle informazioni ricavate nell'intorno di progetto.

Per quanto riguarda i materiali sciolti, in assenza di determinazioni di laboratorio disponibili o di sondaggi, l'angolo di attrito interno del deposito superficiale costituito prevalentemente da materiali sciolti, è determinato riferendosi al metodo suggerito dal Congresso Internazionale di Geotecnica di Rotterdam – formula di Chen (1948). Tale valore, riferito a formazioni granulari clastiche, è infatti determinato dalla formula:

$$\varphi = 36 + \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4$$

dove

- φ_1 è funzione della compattezza del deposito;
- φ_2 è funzione della forma dei grani;
- φ_3 è funzione del taglio dei grani;
- φ_4 è funzione della granulometria.

<i>Compattezza</i>	φ_1	<i>Molle</i>	- 6°
		<i>Media</i>	0
		<i>Serrata</i>	+ 6
<i>Forma e rugosità dei grani</i>	φ_2	<i>Spigolosa</i>	+ 1°
		<i>Media</i>	0
		<i>Arrotondata</i>	- 3°
		<i>Assai arrotondata</i>	- 5°
<i>Grossezza dei grani</i>	φ_3	<i>Sabbia</i>	0
		<i>Ghiaia fine</i>	+ 1°
		<i>Ghiaia grossa</i>	+ 2°
<i>Granulometria</i>	φ_4	<i>Uniforme</i>	- 3°
		<i>Media</i>	0
		<i>Estesa</i>	+ 3°

Figura 24. Formulazione per l'attribuzione dell'angolo di attrito al materiale granulare

Nello specchio sono riportate le rispettive unità geotecniche-geologiche.

Unità geotecnica A: materiali di riporto	
Tipologia materiale	Materiali di riporto derivanti dagli scavi di sbancamento lato di monte carreggiata. Stante la granulometria grossolana priva o scarsa di matrice la coesione risulta prossima a 0.
Spessore	0,5 ÷ 3,0 m da p.c.
Angolo di attrito efficace (φ')	35°
Coesione (c')	0 kPa
Peso di Volume (γ)	16.0 – 16.5 kN/m ³

Unità geotecnica B: materiali di copertura detritici di origine gravitativa

Tipologia materiale	Ghiaie spigolose, ciottoli e blocchi in scarse matrici sabbioso-ghiaiose. Al materiale stante la presenza ridotta di matrici sabbiose può essere attribuita un coesione di minima entità.
Spessore	0,5 ÷ 6,0 m da p.c.
Angolo di attrito efficace (φ')	35°
Coesione (c')	0 – 3 kPa
Peso di Volume (γ)	18.0 – 18.5 kN/m ³

Unità geotecnica B: materiali di copertura detritici di origine gravitativa consolidati ovvero porzione superficiale del substrato roccioso

Tipologia materiale	Ghiaie spigolose, ciottoli e blocchi in scarse matrici sabbioso-ghiaiose consolidate. Bedrock fratturato.
Spessore	> 4,0 - 6,0 m da p.c.
Angolo di attrito efficace (φ')	40°
Coesione (c')	40 kPa
Peso di Volume (γ)	19.0 – 19.5 kN/m ³

1.1. INDICAZIONI SUGLI INTERVENTI – REALIZZAZIONE CORTINA DI MICROPALI

I consolidamenti con cortine di micropali sono una tecnica ingegneristica utilizzata per migliorare la stabilità di terreni o strutture, rafforzare fondazioni esistenti o creare barriere strutturali per trattenere terreni instabili. La cortina di micropali è una struttura composta da una serie di micropali installati in sequenza, spesso con sovrapposizione o contiguità, per creare un sistema continuo di rinforzo. Questa tecnica è particolarmente efficace per il consolidamento di pendii, il contenimento di terreni franosi, il supporto di scavi profondi o il rafforzamento di banchine stradali, come nel caso in oggetto.

Le fasi per la realizzazione di una cortina di micropali possono essere di seguito elencate.

1. Indagine Geotecnica

- Studio preliminare del terreno per determinarne le caratteristiche meccaniche e fisiche; operazione eseguita dallo scrivente durante i sopralluoghi;
- Progettazione della cortina sulla base dei dati raccolti, definendo diametro, lunghezza e disposizione dei micropali; operazione predisposta da parte del tecnico calcolatore ING. Stefano Filippi.

2. Progettazione della Cortina

- Determinazione del numero di micropali necessari.
- Configurazione geometrica (lineare, ad arco, a ventaglio) in funzione della stabilità richiesta.
- Scelta dei materiali, spesso acciaio o calcestruzzo armato.

3. Esecuzione dei Fori

- Perforazione del terreno con attrezzature specializzate, come perforatrici idrauliche o rotative.
- Diametro del foro tipicamente compreso tra 80 mm e 250 mm.
- Profondità variabile in base alle necessità strutturali.

4. Inserimento del Micropalo

- Inserimento della barra o tubo in acciaio nel foro perforato.
- I micropali possono essere tubolari (cavi) o pieni, e spesso dotati di iniezioni aggiuntive per aumentarne la capacità portante.

5. Iniezione di Malte Cementizie

- Riempimento del foro con malta cementizia ad alta resistenza per garantire l'aderenza tra il micropalo e il terreno.
- Tecniche di iniezione:
 - **Iniezione semplice:** riempimento del foro in una singola fase.
 - **Iniezione ripetitiva (rip-grouting):** successive iniezioni per migliorare la compattazione.

6. Collegamenti e Finishing

- Installazione di elementi di collegamento (ad esempio travi di ripartizione) per distribuire i carichi in modo uniforme.
- Eventuale completamento con sistemi drenanti o impermeabilizzanti.

Tipologie di Configurazioni

- **Cortina a Pali Contigui:** Micropali installati con spazi minimi o nulli tra loro per formare una parete continua.
- **Cortina a Pali Intersecati:** I pali si sovrappongono per creare una barriera impermeabile o altamente resistente.
- **Cortina a Pali Alternati:** Alternanza di pali armati e non armati per ridurre i costi mantenendo adeguate prestazioni.

Applicazioni Tipiche

1. Consolidamento di Fondazioni

- Stabilizzazione di edifici esistenti.
- Miglioramento della capacità portante di terreni deboli.

2. Consolidamento di Pendii

- Contenimento di smottamenti o frane.
- Rinforzo di terreni instabili.

3. Supporto di Scavi

- Protezione di scavi profondi o in aree urbane.
- Creazione di pareti di sostegno temporanee o permanenti.

4. Barriere Antifiltrazione

- Riduzione del flusso idrico in terreni permeabili.
- Stabilizzazione di argini o dighe.

Vantaggi

- Elevata adattabilità a spazi ristretti e terreni complessi.
- Basso impatto ambientale durante l'installazione.
- Possibilità di interventi localizzati senza compromettere la struttura esistente.

Limiti

- Costi elevati rispetto a tecniche meno specializzate.

- Necessità di attrezzature specifiche e personale qualificato.
- Efficienza dipendente dalla qualità dell'iniezione e dalla progettazione.

I **consolidamenti con cortine di micropali lungo le strade** sono interventi utilizzati per garantire la stabilità del terreno, il supporto delle infrastrutture stradali e la sicurezza del traffico in presenza di terreni instabili o in aree a rischio di frana. Questi interventi sono particolarmente comuni in zone collinari o montuose, dove la strada può essere soggetta a cedimenti, erosione o movimenti franosi.

Applicazioni Specifiche Lungo le Strade

1. Consolidamento di Scarpate e Pendii

- Stabilizzazione di versanti in frana a monte o a valle della strada.
- Prevenzione di smottamenti che potrebbero invadere la carreggiata.
- Rinforzo del terreno instabile per evitare cedimenti.

2. Supporto a Margini Stradali

- Contenimento dei bordi stradali soggetti a erosione o cedimenti, ad esempio nei pressi di curve strette o strade a strapiombo.
- Creazione di una base stabile per allargamenti della carreggiata.

3. Barriere Contro Cedimenti

- Realizzazione di cortine a valle per prevenire il collasso di scarpate o la caduta di materiale sulla strada.
- Rinforzo del terreno a monte per evitare che frane blocchino la viabilità.

4. Protezione di Fondazioni di Ponti o Viadotti

- Stabilizzazione del terreno circostante ai piloni di sostegno.
- Creazione di barriere impermeabili per proteggere il terreno da infiltrazioni d'acqua.

Fasi Operative degli Interventi

1. Analisi Preliminare

- **Rilievo geotecnico e topografico** per determinare le condizioni del terreno, l'estensione dell'instabilità e i carichi previsti.
- Valutazione del rischio per il traffico durante i lavori e progettazione di eventuali deviazioni stradali.

2. Progettazione della Cortina

- Dimensionamento dei micropali in base alle caratteristiche del terreno e ai carichi da sostenere.
- Configurazione della cortina:
 - Lineare: lungo il margine stradale.

- A ventaglio: per rinforzare ampie superfici di pendio.
- A più file: per un consolidamento più profondo e duraturo.

3. Preparazione del Cantiere

- Installazione di recinzioni e barriere di sicurezza per separare il traffico dall'area di lavoro.
- Predisposizione delle attrezzature, come perforatrici e pompe per iniezione.

4. Perforazione e Installazione

- Realizzazione dei fori per l'installazione dei micropali con inclinazioni variabili (verticali o oblique) per adattarsi alla conformazione del terreno.
- Inserimento dei micropali e successiva iniezione di malta cementizia.

5. Collegamenti e Rinforzi

- Collegamento dei micropali con **travi di coronamento** o strutture di contenimento in calcestruzzo armato per uniformare la distribuzione dei carichi.
- Eventuale installazione di **reti metalliche** o geotessili per il contenimento superficiale del terreno.

6. Drenaggio

- Integrazione di sistemi drenanti per prevenire infiltrazioni e ridurre la pressione idraulica nel terreno.

Tipologie di Cortine Utilizzate

1. Cortine Contigue

- Adatte per creare una barriera continua lungo il margine stradale o per sostenere pendii instabili.
- Utilizzate in zone a rischio di colate detritiche o cedimenti progressivi.

2. Cortine Intersecate

- Ideali in situazioni con alta presenza di acqua, come terreni argillosi o sabbiosi, per creare una struttura impermeabile e resistente.

3. Cortine Discontinue

- Più economiche, impiegate in aree dove è necessario solo un supporto parziale o per rinforzare fondazioni esistenti.

Vantaggi Specifici per le Strade

- **Minimo impatto sull'ambiente circostante**, essenziale per zone protette o sensibili.
- **Adattabilità a spazi ridotti**, tipica di interventi lungo strade strette o di montagna.
- **Rapidità di esecuzione**, riducendo al minimo i disagi per il traffico.

- **Resistenza a lungo termine**, anche in condizioni climatiche avverse.

Le cortine di micropali, in generale, sono costituite da un paramento verticale formato da micropali ($\varnothing 90 \div 250$ mm) posizionati ad un determinato interasse; per altezze significative, il contrasto alle spinte orizzontali è solitamente affidato a tirantature provvisionali, oppure, nel caso di altezze ridotte o come nel caso in oggetto, a micropali inclinati.

L'opera è completata dalle travi di coronamento in testa ai pali e dalle eventuali travi di ripartizione dei tiranti, che possono essere realizzate in c.a. o più comunemente in acciaio. L'altezza dei fronti di scavo non ha limitazioni teoriche, ma viene normalmente limitata attorno ai 15 m a causa di possibili deviazioni dalla verticalità dei pali.

La pressione orizzontale del terreno (spinta attiva) agisce sulla paratia che si reagisce flettendosi e, se lo scavo è troppo profondo o la paratia non è adeguatamente rigida, possono comunque verificarsi crolli e smottamenti parziali o totali.

Di seguito alcune immagini a scopo esemplificativo delle tipologie di intervento possibili per il sostegno degli scavi nel contesto specifico. Gli estratti sono stati selezionati da "MANUALE OPERE DI PALIFICAZIONE" Studio MC INGEGNERIA Ing. Maurizio Colombo Via Copernico n. 7.

Nella figura riportata nella pagina successiva un esempio di Berlinese "a sbalzo", senza cioè strutture atte a limitare o vincolare le possibili deformazioni nelle armature. La problematica rilevabile nel caso in oggetto potrebbe essere quella di avere deformazioni non tollerabili presso la testa dei pali, che potrebbero indurre a cedimenti nell'intorno.



Figura 25. Sezione tipo berlinese a sbalzo

Qui sotto uno schema esemplificativo di un berlinese realizzata con un ordine di tiranti. Questo sistema garantisce, mediante il vincolo in testa, una minor deformazione dei pali e un minor rischio quindi di indurre cedimenti nella parte sensibile a monte della paratia. Nell'estratto si riportano alcune misure indicative dei vari elementi che costituiscono il sistema di sostegno dello scavo.

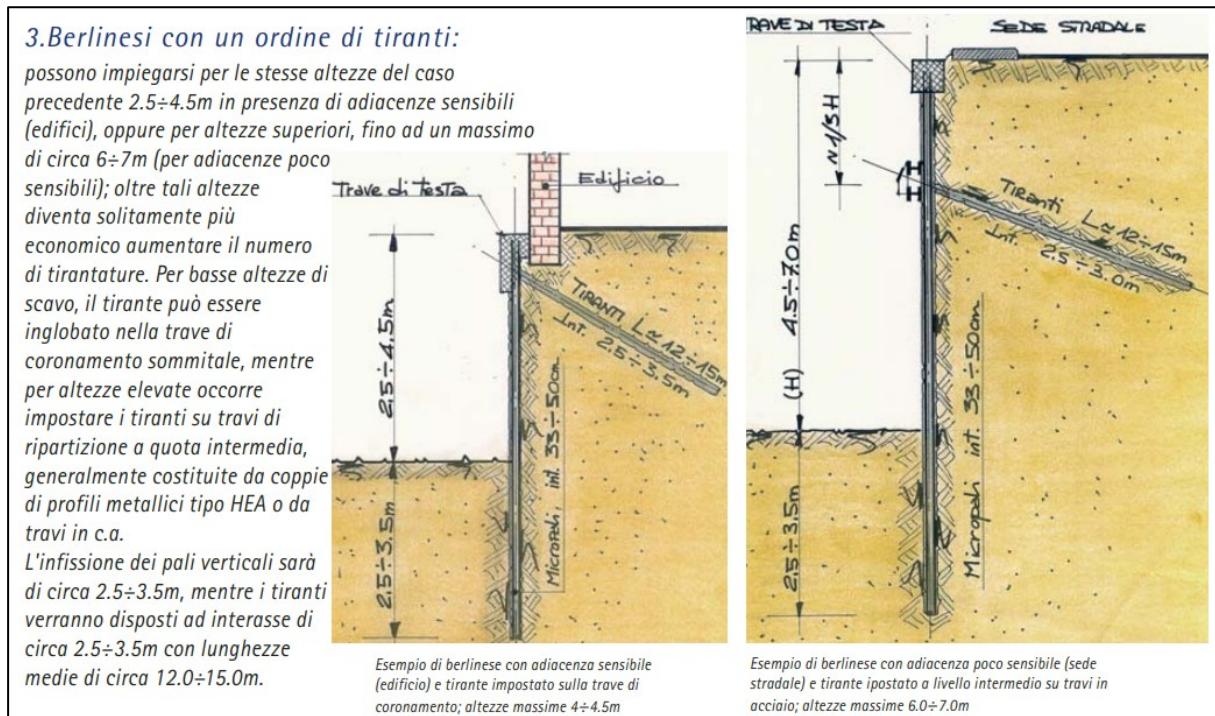


Figura 26. Sezione tipo berlinese con un ordine di tiranti

Il progettista incaricato potrà verificare, ai sensi della normativa vigente (NTC2018), la cortina di micropali secondo le azioni di progetto e la resistenza del terreno derivanti dalla schematizzazione geotecnica fornita dallo scrivente. Ai fini cautelativi non è stata presa in considerazione la presenza del substrato roccioso in profondità. Una verifica indiretta della presenza di roccia nella profondità del sottosuolo potrà avvenire durante la perforazione dei primi pali della paratia: in caso di difformità di quanto previsto nel presente elaborato dovranno essere adottate specifiche misure di ricalcolo dell'opera di sostegno.

Nei capitoli successivi alcune indicazioni per il corretto dimensionamento della palificata.

1.1.1. CALCOLO GEOTECNICO DELLA RESISTENZA ASSIALE DEL MICROPALO A COMPRESSIONE E TRAZIONE

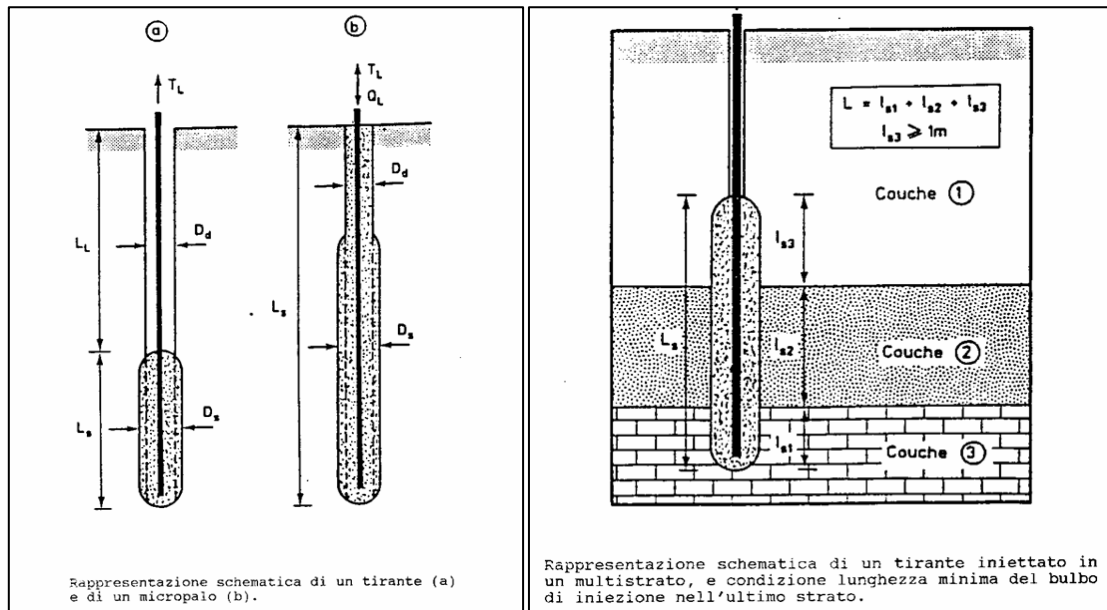
I micropali trasferiscono il carico essenzialmente per attrito laterale: in primo luogo l'area ridotta della punta non permette di considerarla come elemento portante; in secondo luogo, per mobilitarne la portata bisognerebbe avere un cedimento significativamente maggiore di quello che tipicamente si manifesta nel micropalo. L'area laterale è molto maggiore e la relativa portata viene mobilitata per cedimenti molto ridotti.

La resistenza limite assiale (GEO) in compressione ed a trazione (Q_L e Q_{sL}) applicabile alla testa di un micropalo IGU (iniezione globale unica; non valvolato) eseguito entro i materiali dell'UNITA' A viene calcolato con la metodologia proposta da BUSTAMANTE e DOIX (1985):

$$R_{c,cal} = Q_L^s + Q_L^p$$

dove:

- $R_{c,cal}$ = Resistenza assiale limite di calcolo;
- Q_L^s = Resistenza laterale limite;
- Q_L^p = Resistenza di punta limite (Non considerata).



Il micropalo viene quindi suddiviso in elementi finiti; su ciascuno (i-esimo) viene calcolata la portata laterale come

$$Q_i = \pi * d_s * l_i * q_s$$

In cui q_s è la tensione limite di contatto bulbo-terreno, l_i la lunghezza dell'elemento e d il diametro del bulbo di iniezione¹. La portata totale sarà data dalla somma di tutti gli n (numero di elementi finiti in cui è stato suddiviso il micropalo) contributi.

I parametri " d_s " e " q_s " si ricavano dalle tabelle allegate in funzione del tipo di terreno o roccia attraversati e dei parametri di resistenza misurati. Questi ultimi vengono determinati solitamente attraverso le prove SPT.

Tabella per la determinazione del coefficiente α per il calcolo del diametro medio di iniezione di un micropalo.

SOLS	Coefficient α		Quantité minimale de coulis conseillée V_i
	IRS*	IGU**	
Grave	1,8	1,3 à 1,4	1,5 V_s
Grave sableuse	1,6 à 1,8	1,2 à 1,4	1,5 V_s
Sable graveleux	1,5 à 1,6	1,2 à 1,3	1,5 V_s
Sable grossier	1,4 à 1,5	1,1 à 1,2	1,5 V_s
Sable moyen	1,4 à 1,5	1,1 à 1,2	1,5 V_s
Sable fin	1,4 à 1,5	1,1 à 1,2	1,5 V_s
Sable limoneux	1,4 à 1,5	1,1 à 1,2	{ 1,5 à 2 V_s pour IRS 1,5 V_s pour IGU
Limon	1,4 à 1,6	1,1 à 1,2	{ 2 V_s pour IRS 1,5 V_s pour IGU
Argile	1,8 à 2	1,2	{ 2,5 à 3 V_s pour IRS 1,5 à 2 V_s pour IGU
Marno	1,8	1,1 à 1,2	1,5 à 2 V_s pour couche compacte
Marno-calcaire	1,8	1,1 à 1,2	
Craie altérée ou fragmentée	1,8	1,1 à 1,2	2 à 6 V_s ou plus, si couche fracturée
Rocher altéré ou fragmenté	1,2	1,1	1,1 à 1,5 V_s si couche finement fissurée 2 ou plus si couche fracturée

V_s : volume du bulbe de scellement.
IRS: injection répétitive et sélective.
IGU: injection globale en presse unifiée.

*: avec $p_1 \geq p_2$
**: avec $0,5 p_1 < p_1 < p_2$

Figura 27. Stima coefficiente α per il calcolo del diametro del bulbo di iniezione

Le rette contrassegnate con il n°1 sono relative alle iniezioni tipo IRS (valvolati), mentre le curve n°2 riguardano le iniezioni tipo IGU (non valvolati).

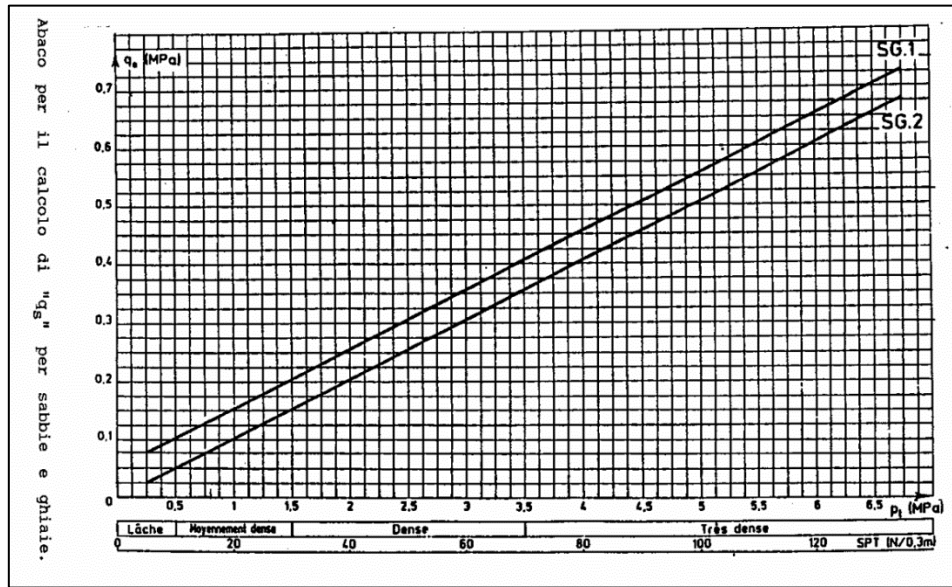


Figura 28. Abachi per il dimensionamento delle cortine di micropali

2. CONSIDERAZIONI FINALI SULLA MODELLAZIONE GEOTECNICA

In sintesi, si ritiene di aver ricostruito un quadro dettagliato sia per quanto riguarda l'identificazione e la descrizione delle condizioni della viabilità che risulta in più punti danneggiata sia per quanto riguarda la schematizzazione del mezzo geologico di riferimento.

La relazione sulla modellazione geotecnica ha approfondito gli aspetti legati alla parametrizzazione meccanica delle unità geologiche individuate durante i sopralluoghi all'area di interesse. Nei paragrafi dedicati sono stati forniti i parametri di resistenza dei terreni ai quali il progettista incaricato potrà fare riferimento per il corretto dimensionamento delle opere previste (cortina di micropali).

Pinzolo, aprile 2025

Il tecnico geologo

Dott. Lorenzetti Giuliano

