



# PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

## DIPARTIMENTO PROTEZIONE CIVILE FORESTE E FAUNA

### SERVIZIO GEOLOGICO

**Progetto di ampliamento delle Fermate 1070HG e 1070HR Cavalese  
TPL Tratta Ora-Penia (Andata) e Penia - Ora (Ritorno)**

### *PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA*

#### RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA

RELATORE: Dott. Riccardo CAMPANA

visto:

IL DIRETTORE

Dott. Alessandro MOLTRER

Questo documento, se trasmesso in forma cartacea, costituisce copia dell'originale informatico firmato digitalmente predisposto e conservato presso questa Amministrazione in conformità alle Linee guida AgID (artt. 3 bis e 71 D.Lgs. 82/05). La firma autografa è sostituita dall'indicazione a stampa del nominativo del responsabile (art. 3 D. Lgs. 39/1993).

Trento, maggio 2025

## Indice

<b>1</b>	<b>Premessa</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	<b>4</b>
2.1	Geomorfologia e Geologia . . . . .	5
2.2	Modello geologico dell'area di progetto . . . . .	5
2.3	Caratterizzazione idrogeologica del sottosuolo . . . . .	6
2.4	Conclusioni . . . . .	6
<b>3</b>	<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	<b>7</b>
3.1	Caratterizzazione geotecnica dei terreni superficiali . . . . .	7
3.2	Valutazione delle caratteristiche dei terreni e delle rocce nei confronti della classificazione sismica . . . . .	11
3.2.1	Verifica alla liquefazione . . . . .	12
3.3	Caratterizzazione ambientale dei terreni di scavo . . . . .	14
3.4	Conclusioni . . . . .	14

# 1 Premessa

Il Servizio Opere Stradali e Ferroviarie necessita, per l'organizzazione dei giochi olimpici invernali 2026, di ampliare o ricostruire per il trasporto pubblico una serie di fermate distribuite lungo la tratta Castello di Fiemme - Penia in quanto sono necessari alcuni requisiti da rispettare per l'utilizzo delle aree di sosta (si veda figura 1), in particolare:

- Larghezza piazzola minima per permettere la manovra in carrozzina 2.20m;
  - Presenza di scivoli e attraversamenti pedonali;
  - Altezza cordinata minima 15 cm;
  - Pendenza area di fermata  $\leq 7\%$
- Ulteriori indicazioni operative
- Lunghezza dimensionale del golfo di fermata 12 m + 20 m + 12 m;

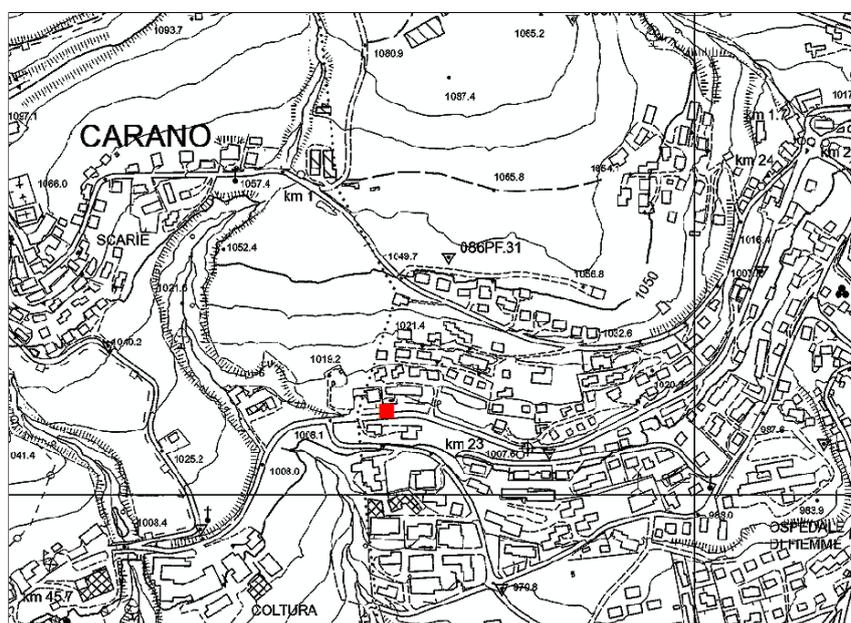


Figura 1: Ubicazione dell'area di intervento.

## 2 RELAZIONE GEOLOGICA

La nuova Carta di Sintesi della Pericolosità approvata dalla Giunta Provinciale con Deliberazione n.1317 di data 04/09/2020 ed aggiornata con DGP n.1737 e n.1748 del 29 settembre 2023, (figura 2) evidenzia che il progetto di ampliamento ricade in area classificata P1, nella quale, ai sensi dell'allegato C alla suddetta Deliberazione, per gli interventi di trasformazione edilizia, il progettista incaricato, mediante la relazione geologica quando prevista dalle Norme Tecniche per le Costruzioni o approfondimenti specifici, considera le eventuali misure precauzionali da adottare soprattutto per gli interventi che ricadono in prossimità di aree con livello di penalità maggiore.

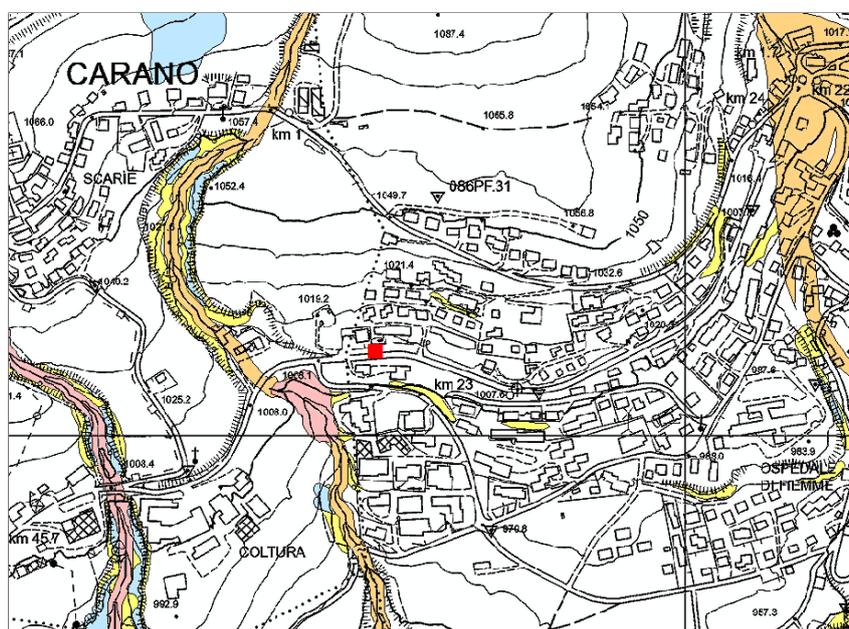


Figura 2: Estratto della Carta di Sintesi della Pericolosità approvata dalla Giunta Provinciale con Deliberazione n. 1317 di data 04/09/2020

Dall'analisi della zonizzazione relativa alla Carta di Sintesi della Pericolosità si può concludere che l'intervento non ricade in misura apprezzabile in prossimità di aree con livello di penalità maggiore e pertanto non sono necessari ulteriori misure precauzionali.

L'intera zona di intervento ricade inoltre in "zona sismica 3 - Aree a sismicità bassa".

La presente relazione ottempera alle prescrizioni del D.M. 17/01/2018, alle osservazioni per l'applicazione dello stesso emanate dalla Provincia Autonoma di Trento, nonché alle Norme di Attuazione del P.U.P. vigente.

## 2.1 Geomorfologia e Geologia

Le litologie affioranti nel sito di progetto sono visibili in figura 3 che rappresenta un estratto della carta geologica in scala nominale 1:10.000 pubblicata dal Servizio Geologico sul sito internet istituzionale della Provincia autonoma di Trento ([www.protezionecivile.provincia.tn.it](http://www.protezionecivile.provincia.tn.it)).

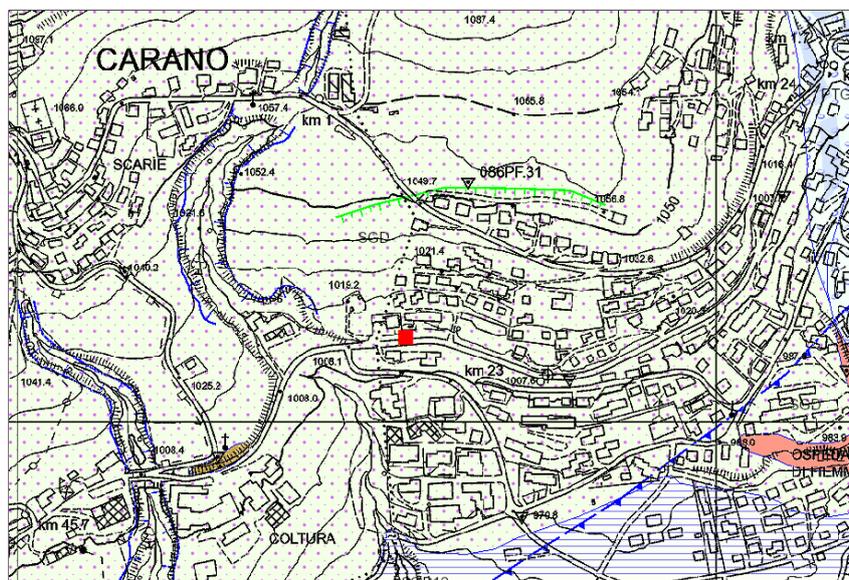


Figura 3: Estratto della carta geologica scala 1:10.000

Si tratta depositi pleistocenici appartenenti alla formazione SINTEMA DEL GARDA (SGD) depositi glaciali costituiti da till indifferenziato, che ricoprono il substrato roccioso costituito probabilmente dalla Formazione delle Arenarie di Valgardena (GAR).

Tali depositi sono costituiti in prevalenza da sabbie e ghiaie, ma possono essere rappresentati anche da sequenze litologiche prevalentemente limoso-argillose.

## 2.2 Modello geologico dell'area di progetto

Il modello geologico del sottosuolo dell'area di progetto, si basa sui dati di superficie derivati dalla carta geologica.

Esso può essere riassunto nella presenza di una spessa coltre di materiale sciolto di origine glaciale, dello spessore variabile, al di sotto della quale è presente il substrato roccioso costituito verosimilmente dalla Formazione delle Arenarie di Val Gardena.

Si può inoltre assumere l'assenza di falda freatica stabile nell'area di intervento sino alla profondità di scavo.

Sono disponibili, per l'intorno dell'area di progetto, due stratigrafie di sondaggi eseguiti poco a Est (si veda figura 4), dai quali si deduce che il sottosuolo dell'area in esame è costituito prevalentemente da limi argillosi rossastri compatti (stratigrafie in allegato 1).

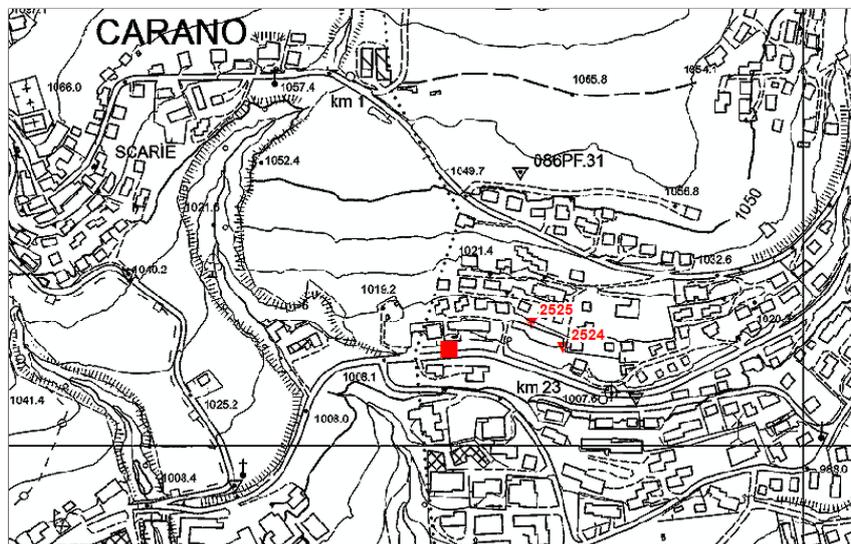


Figura 4: Ubicazione sondaggi della banca dati del Servizio Geologico.

## 2.3 Caratterizzazione idrogeologica del sottosuolo

Il sedime di progetto non ricade in area di protezione idrogeologica o di rispetto dei pozzi dell'acquedotto utilizzati a scopo idropotabile dal Comune, come risulta dalla Carta delle Risorse Idriche di corredo al Piano Urbanistico Provinciale e di cui è riportato uno stralcio in figura 5.

## 2.4 Conclusioni

La presente relazione descrive il modello geologico presente nell'area di interesse, che può essere riassunto come segue: presenza di una coltre di materiale sciolto di origine glaciale dello spessore variabile di fino ad alcuni metri al di sotto della quale è presente il substrato roccioso costituito verosimilmente dalla Formazione delle Arenarie di Val Gardena.

Si può assumere l'assenza di falda nell'area di intervento sino alla profondità di scavo.

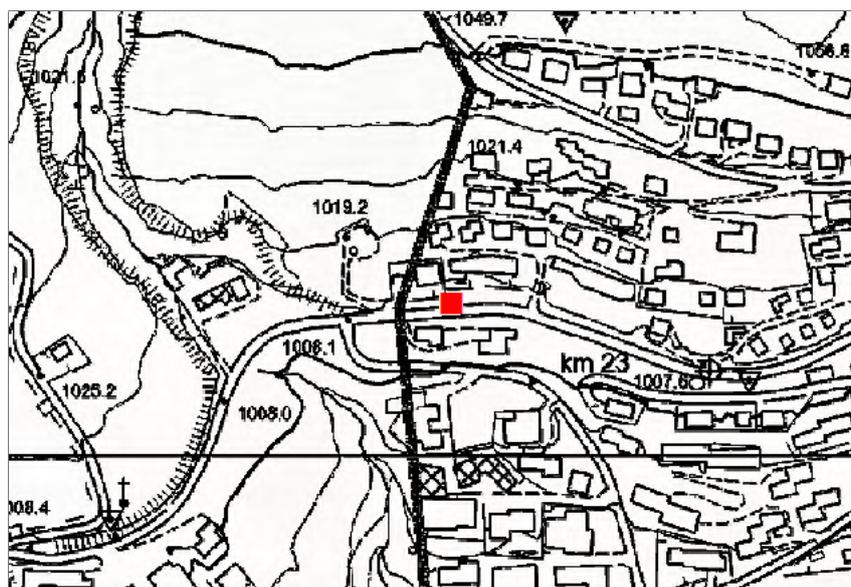


Figura 5: Estratto della carta delle risorse idriche.

### 3 RELAZIONE GEOTECNICA

La presente relazione descrive la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo, le caratteristiche geotecniche delle unità litologiche presenti nell'area di progetto che interessano l'opera da realizzare, con particolare riferimento al piano di fondazione, e fornisce alcune indicazioni sulle modalità operative da assumere per quanto riguarda gli interventi provvisori e definitivi.

#### 3.1 Caratterizzazione geotecnica dei terreni superficiali

Al fine di determinare lo spessore del materiale sciolto presente nell'area di progetto è stata effettuata una indagine geofisica con tecnica di sismica a rifrazione utilizzando uno stendimento della lunghezza di 25 m a 25 geofoni la cui posizione è riportata in figura 6.

Il primo orizzonte sismico proposto in figura 7 in basso a destra presenta un valore di velocità  $V_s = 150$  m/s per uno spessore di 1 metro.

Il secondo orizzonte dello spessore di 3.7 m presenta un valore di  $V_s = 400$  m/s.

Successivamente è presente un orizzonte sismico di spessore pari a 1.3 m con  $V_s = 150$  ms.

Più in profondità la velocità di propagazione delle onde  $V_s$  aumentano indicando la presenza di un terreni progressivamente più compatti.

Utilizzando la correlazione inversa di Iylian (1981) si ottengono i valori di NSPT esplicitati nella tabella 1.



Figura 6: Ubicazione stendimento sismico MASW con linea verde e H/V con triangolo rosso (a sinistra).

L'angolo di resistenza al taglio  $\Phi$  è ottenuto applicando la correlazione Road Bridge Specification (1982): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e l'angolo di attrito è pari a

$$\Phi = (15 * N_{spt})^{0.5} + 15 \quad (1)$$

In alternativa può essere utilizzata la correlazione di SHIOI e FUKUNI Japanese National Railway (1982): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e l'angolo di attrito è pari a

$$\Phi = 0.3 * N_{spt} + 27 \quad (2)$$

In base alle risultanze dei dati di superficie ed in accordo con quanto rilevato in contesti analoghi, il modello geotecnico può essere riassunto come segue:

LIVELLO 1 da 0 a 1.0 m da p.c. (terreno di riporto)

Peso di volume  $\gamma = 18 \text{ kN/mc}$

Angolo di attrito interno  $\varphi = 26^\circ$

Coesione apparente  $c = 5 \text{ kN/mq}$

LIVELLO 2 da 1.0 a  $> 4.7$  m da p.c. (depositi glaciali - limosi compatti)

Peso di volume  $\gamma = 18 \text{ kN/mc}$

Angolo di attrito interno  $\varphi = 28^\circ$  (\*)

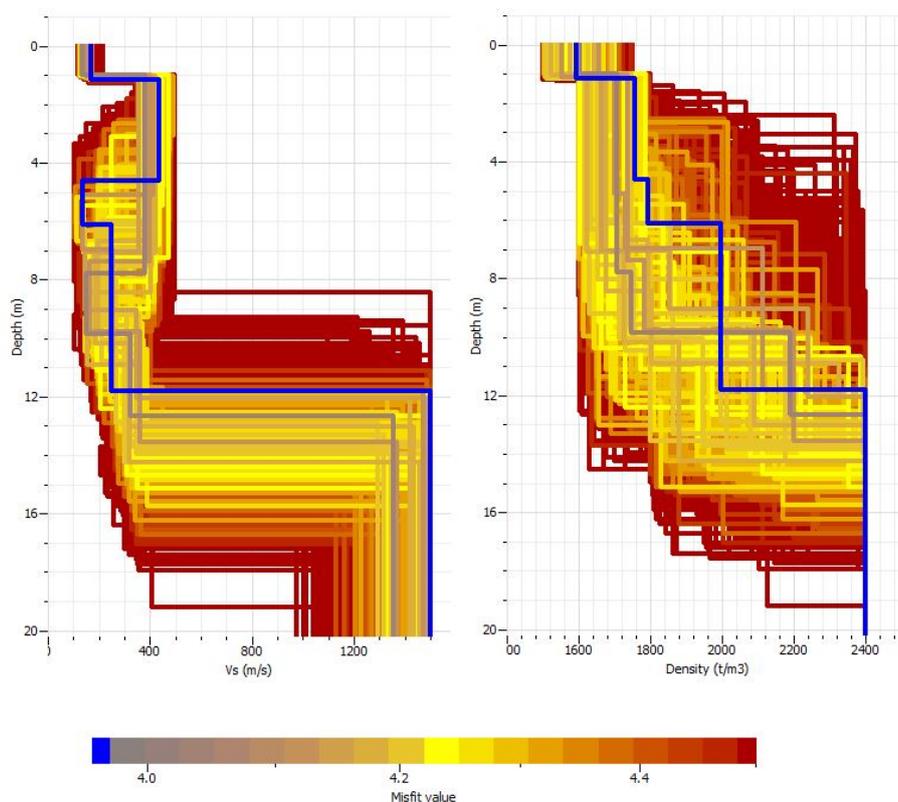


Figura 7: Interpretazione indagine sismica a MASW e H/V: profilo di velocità Vs e profilo di densità del terreno.

profondità da p.c. [m]	Velocità Vs [m/sec]	NSPT	$\Phi$ secondo RBS
1.0	150	4	26°
4.7	400	7	44°
6.0	150	7	26°

Tabella 1: Tabella riassuntiva dei valori di angolo d'attrito del terreno in relazione alla velocità Vs

Coesione apparente  $c = 15 \text{ kN/mq}$

LIVELLO 2 da 1.0 a  $> 4.7 \text{ m}$  da p.c. (depositi glaciali - limi)

Peso di volume  $\gamma = 18 \text{ kN/mc}$

Angolo di attrito interno  $\varphi = 28^\circ$

Coesione apparente  $c = 5 \text{ kN/mq}$

(\*) dalla stratigrafia presente in allegato 1 si osserva presenza di limi compatti a profondità superiori al metro, si ritiene di associare ai depositi limosi un angolo di attrito inferiore a quello derivato dalla velocità  $v_s$ , assegnando un valore di coesione più rilevante.

Per stabilire la pendenza da attribuire della scarpata di scavo provvisoria relativamente alla copertura di materiali sciolti piuttosto scadente da punto di vista geotecnico e sovrastante la roccia, è stato utilizzato il diagramma di Hoek e Bray (1981) che assume per verifica di stabilità di pendio una superficie di rottura circolare e assenza di falda.

Applicando i valori sopra stimati e assumendo un coefficiente parziale pari ad 1.4 per la coesione, 1.25 per  $\text{tg}\varphi$  ed infine un coefficiente di sicurezza pari ad 1.1 (approccio A2+M2+R2 D.M. 17.1.2018) si ottiene quanto riportato nella figura 8 che indica i valori di angolo d'attrito  $\varphi$  e coesione  $c$  utilizzati e quelli ridotti,  $\varphi_{rid}$  e  $c_{rid}$  risultanti dall'applicazione degli opportuni coefficienti parziali.

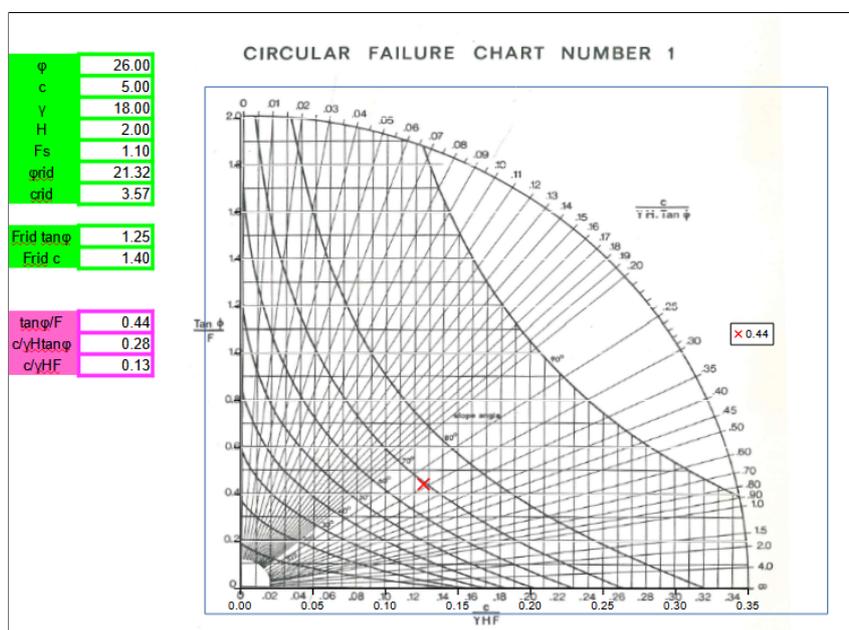


Figura 8: diagramma di Hoek e Bray (1981) per la stima di stabilità del pendio con rottura circolare in assenza di falda

In base a quanto sopra, si ricava, per un'altezza di H del fronte di scavo dell'ordine di 2 m, una pendenza della scarpata di scavo provvisoria pari a 70° circa.

*Il valore di coesione è da assumersi valido solo per verifica a breve termine e la stima dell'angolo di svaso non tiene conto di eventuali sovraccarichi anche accidentali nell'area di influenza della scarpata dello scavo che va protetta nel caso di forti o persistenti piogge e tenuta aperta per il tempo strettamente necessario all'esecuzione dei lavori. Al termine di prolungati periodi piovosi, inoltre, prima di scendere nello scavo deve essere verificata la stabilità delle scarpate da parte di un tecnico competente.*

### 3.2 Valutazione delle caratteristiche dei terreni e delle rocce nei confronti della classificazione sismica

Nel presente capitolo si forniscono ulteriori indicazioni concernenti la caratterizzazione sismica del sito, in accordo con le normative attualmente vigenti (D.M. 17.01.2018).

Il parametro Vs30, rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S entro 30 m di profondità (al di sotto del piano di fondazione) ed è calcolato mediante una specifica espressione matematica. Esso può essere ricavato in modo sperimentale con strumento di analisi dei microtremori (es Tromino®) o indagini sismiche (MASW).

Il D.M. 17.01.2018 (Norme Tecniche sulle Costruzioni), stabilisce la necessità di eseguire la progettazione antisismica in tutto il territorio provinciale sia nei comuni appartenenti alla zona 3 che alla zona 4 e sancisce inoltre la necessità, nell'ambito della fase progettuale, della definizione della categoria sismica del suolo di fondazione al fine della determinazione dello spettro elastico di risposta.

In relazione alle nuove normative per la classificazione sismica, si evidenzia che il territorio del Comune di Cavalese è attualmente inserito in zona sismica 3 - Aree a sismicità bassa.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	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.
B	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.

C	Depositi 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
D	Depositi 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.
E	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.

Tabella 2: Tab. 3.2.II –D.M. 17.01.2018 Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. In evidenza il parametro Vs30

L'opera in questione è classificata tra le tipologie di edifici e di opere infrastrutturali in classe d'uso III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

**In osservanza a quanto disposto dalla Circolare del Dipartimento Infrastrutture della Provincia di Trento del Maggio 2008, viene assunta per le nuove progettazioni di opere pubbliche (a qualsiasi classe d'uso appartengano) una vita nominale pari a 100 anni.**

In base alle caratteristiche litologiche del sottosuolo e alle indagini geofisiche condotte su depositi di materiali sciolti nelle vicinanze, si ritiene che il sottosuolo possa essere classificato come appartenente alla **categoria B**, come risulta anche dalla carta sismica dei suoli del Servizio Geologico della P.A.T. riportata in figura 9.

### 3.2.1 Verifica alla liquefazione

I risultati delle indagini geofisiche riportate nella figura 7 evidenziano come il sottosuolo dell'area di progetto ricada nella categoria di sottosuolo B della Tabella. 3.2.II del D.M. 17.01.2018.

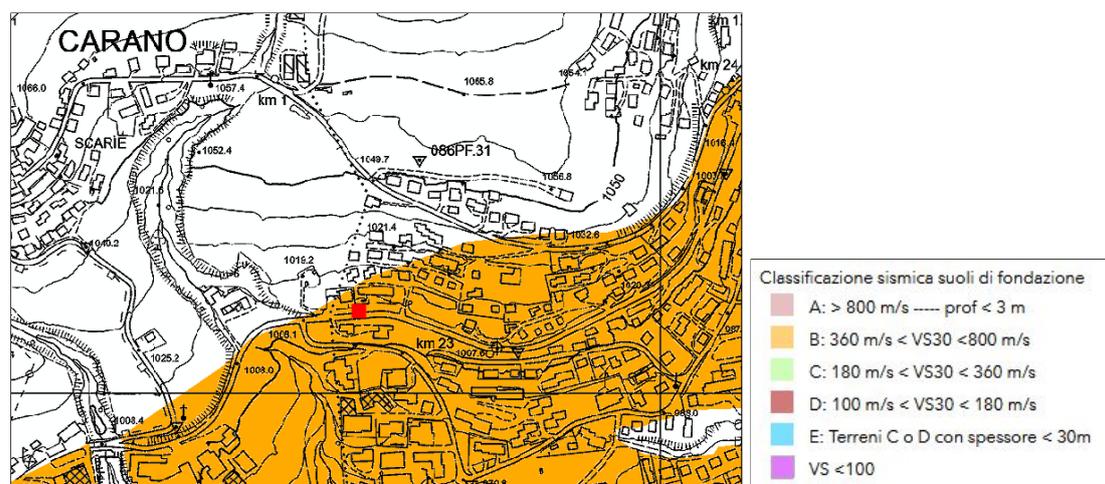


Figura 9: stralcio della carta sismica dei suoli del Servizio Geologico della P.A.T..

In tali condizioni il valore risultante dalla mappa di pericolosità sismica predisposta dall'INGV per edifici in classe d'uso III con vita nominale di 100 anni di  $ag0 = 0.090$  per lo stato limite di Salvaguardia della Vita (che combinato con un valore di amplificazione stratigrafica  $Ss=1.2$  ed uno di amplificazione topografica di  $St=1.0$  fornisce un valore di accelerazione massima attesa al suolo  $ag=ag0*Ss*St=0.090*1.2*1.0=0.108$ ).

Le NTC 2018, al capitolo 7.11.3.4.2 (Esclusione della verifica a liquefazione), stabiliscono che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)60 > 30$  oppure  $qc1N > 180$  dove  $(N1)60$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc1N$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $Uc < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $Uc > 3,5$ .

Nel caso in esame si rileva che nell'area di progetto non è necessario procedere alla verifica alla liquefazione in quanto il sito di progetto non risulta verificata la condizione n.4.

### **3.3 Caratterizzazione ambientale dei terreni di scavo**

In fase esecutiva, il produttore dovrà effettuare il campionamento del materiale e decidere, in funzione della destinazione dello stesso, il tipo di analisi da effettuare.

Qualora il materiale venga trattato come rifiuto esso potrà essere portato a discarica con le modalità stabilite in tabella 1 del D.M. 24 giugno 2015.

Nel caso venga destinato a centro di recupero lo stesso materiale verrà trattato secondo quanto previsto dal D.M. 5 febbraio 1998, mentre nel caso in cui esso venga destinato all'impiego come terre e rocce da scavo dovrà essere analizzato secondo i criteri previsti dal D.P.R. 120/2017.

### **3.4 Conclusioni**

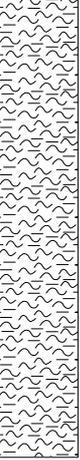
1. Il modello geotecnico è descritto al paragrafo 3.1 evidenzia la presenza di depositi glaciali sciolti dello spessore variabile con caratteristiche geotecniche da mediocri a scadenti al di sopra del substrato roccioso. Si può assumere l'assenza di falda nell'area di intervento sino alla profondità di scavo.
2. Parametri sismici: ai sensi del paragrafo 2.4.1 del D.M. 17 gennaio 2018, relativamente alle opere di tipo 1 o in fase di costruzione si può omettere la verifica sismica, quando il progetto preveda che tale condizione permanga per meno di 2 anni. Per le altre opere i parametri sismici vengono discussi nel capitolo 3.2 e nel relativo allegato 2
3. In fase di esecuzione dei lavori, andrà verificata la coerenza del modello geotecnico da parte di un tecnico abilitato e, nel caso di presenza di terreni scadenti andrà valutata la necessità dell'eventuale bonifica degli stessi apportando materiale arido ed interponendo un geotessile tessuto.

Trento, maggio 2025

Il Relatore: Dott. Riccardo CAMPANA

Allegato 1  
Indagini geognostiche

 <b>Provincia Autonoma di Trento</b> <b>Servizio Geologico</b>		<b>località:</b> Cavalese <b>opera:</b> Strada accesso <b>committente:</b> Pretura di Cavalese		<b>foglio n° 1</b>
				<b>coordinate</b> x(m): 688698.02 y(m): 5129122.33
<b>ID sondaggio:</b> 2524 <b>n° sondaggio:</b> 1 <b>data:</b> 13/10/1994		<b>prof. sondaggio (m):</b> 7 <b>bedrock (m):</b> <b>assistente:</b> Martintoni dr. Marco	<b>prof. falda (m):</b> .31 <b>quota pc (m):</b> 1013	<b>tipo falda:</b> libera <b>inclinazione:</b> Verticale (0°-20°) <b>operatori:</b> Tenaglia Alessandro
campionatore campione liv. falda profondità stratigrafia	<b>note:</b> Piezometro			
	<b>descrizione litologica</b>			
	R 0.7 1 R 2 2.5 R 4 4.4	0 0.5 7	riporto (ghiaia porfirica) limo di colore rossastro molto compatto con argilla con rari ciottoli poligenici arrotondati	

 <b>Provincia Autonoma di Trento</b> <b>Servizio Geologico</b>		<b>località:</b> Cavalese <b>opera:</b> Strada accesso <b>committente:</b> Pretura di Cavalese		<b>foglio n° 1</b>		
				<b>coordinate</b> x(m): 688657.88 y(m): 5129153.36		
<b>ID sondaggio:</b> 2525 <b>n° sondaggio:</b> 2 <b>data:</b> 13/10/1994		<b>prof. sondaggio (m):</b> 10 <b>bedrock (m):</b> <b>assistente:</b> Martintoni dr. Marco	<b>prof. falda (m):</b> 4 <b>quota pc (m):</b> 1020 <b>operatori:</b> Tenaglia Alessandro	<b>tipo falda:</b> libera <b>inclinazione:</b> Verticale (0°-20°)		
campionatore	campione	liv. falda	profondità	stratigrafia	note:	
					descrizione litologica	
		4	0	1	2.2	10
				 riporto (ghiaia grossa)	 limo di colore grigio con sabbia e rara ghiaia	 limo di colore rossastro molto compatto con argilla con rari ciottoli poligenici arrotondati

Progetto di ampliamento delle Fermate 1070HG e 1070HR Cavalese TPL Tratta Ora-Penia (Andata) e Penia - Ora (Ritorno) PFTE

Allegato 2  
Parametri sismici



Figura 10: Mappa sismica con localizzazione dell'area di progetto

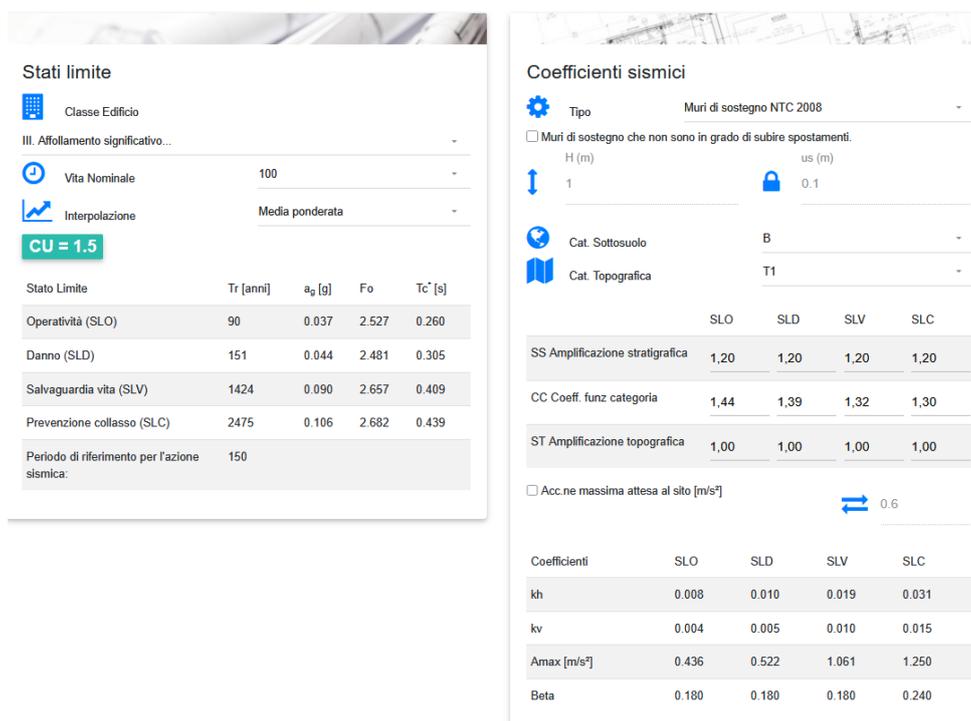


Figura 11: Valori coefficienti sismici  $V_n=100$  anni - Classe edificio III, categoria di sottosuolo di tipo B