

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. OPERE GEOTECNICHE

### PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

### ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA

### LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est

### GEOTECNICA

### Relazione geotecnica generale

SCALA:

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

IT1J 10 R 11 RH GE0006 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	L. Cosciotti	Maggio 2021	P. Di Gennaro	Maggio 2021	S. Lo Presti	Maggio 2021	L. Berardi Novembre 2021
B	Revisione a seguito istruttoria RFI	L. Cosciotti	Nov. 2021	P. Di Gennaro	Nov. 2021	S. Lo Presti	Nov. 2021	

File: IT1J10R11RHGE0006001B

n. Elab.:

## INDICE

1	INTRODUZIONE.....	4
1.1	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO .....	6
1.2	BIBLIOGRAFIA.....	6
1.3	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....	7
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E SISMICO .....	9
2.1	GEOLOGIA .....	9
2.1.1	<i>Unità del basamento metamorfico</i> .....	11
2.1.2	<i>Magmatismo Permiano e filoni</i> .....	12
2.1.3	<i>Unità della Gruppo Vulcanico Atesino</i> .....	13
2.1.4	<i>Successioni sedimentarie e vulcaniche Permo-Cenozoiche</i> .....	15
2.1.5	<i>Successione quaternaria continentale</i> .....	27
2.2	INQUADRAMENTO SISMICO .....	35
2.2.1	<i>Vita Nominale, Classe d'Uso, Tempo di Ritorno</i> .....	35
2.2.2	<i>Stati limite, probabilità di superamento e periodi di ritorno</i> .....	37
2.2.3	<i>Accelerazione di Riferimento su Suolo Rigido</i> .....	38
2.2.4	<i>Risposta Sismica Locale</i> .....	49
3	CAMPAGNE DI INDAGINE UTILIZZATE PER LO STUDIO GEOTECNICO.....	52
3.1	CAMPAGNA DI INDAGINE ITALFERR 2021.....	52
3.1.1	<i>Stratigrafia dei sondaggi</i> .....	57
3.1.2	<i>Prove SPT</i> .....	60
3.1.3	<i>Prove di permeabilità</i> .....	62
3.1.4	<i>Prove pressiometriche</i> .....	63
3.1.5	<i>Indagini geofisiche</i> .....	63
3.1.6	<i>Rilievi geomeccanici</i> .....	76

**RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE**

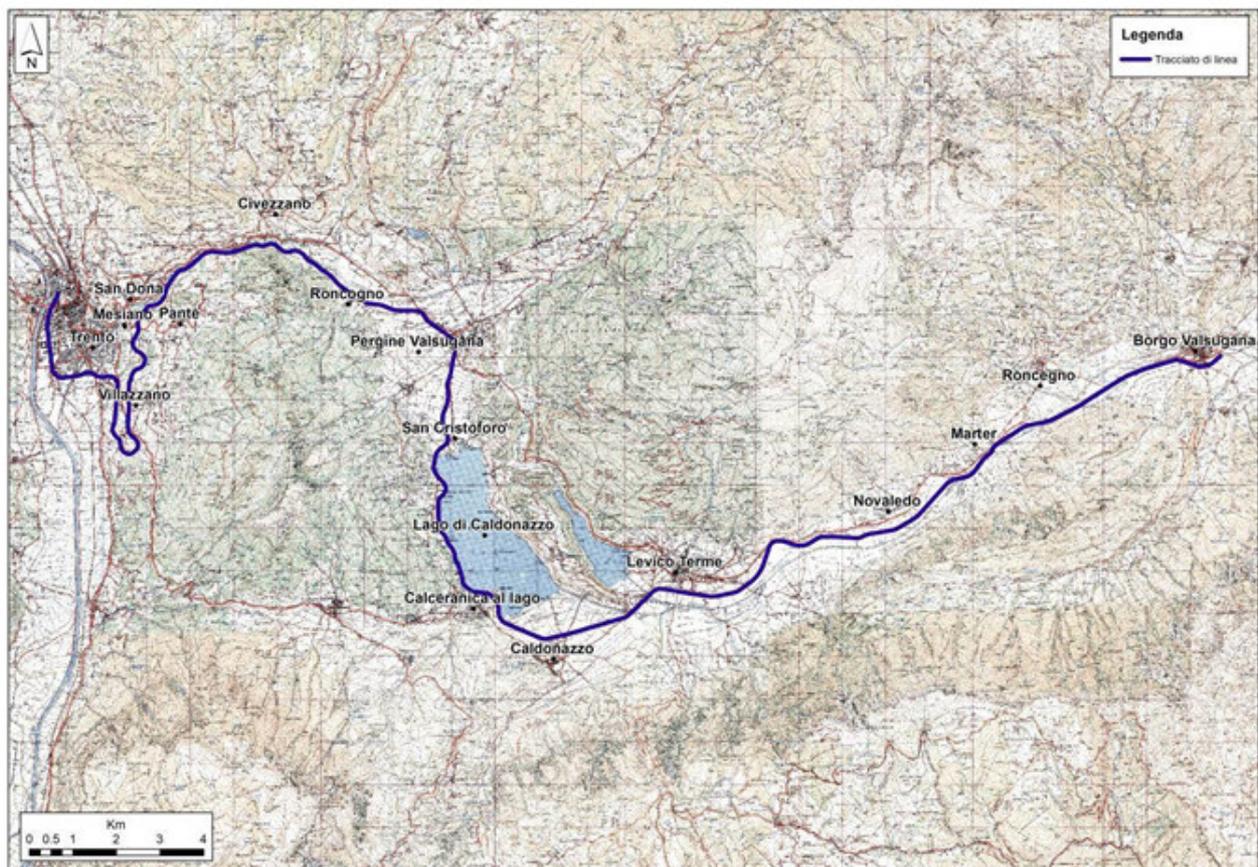
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IT1J	10	RH	GE0006001	B	3 di 158

3.2	CAMPAGNE DI INDAGINI PREGRESSE.....	77
4	INDICAZIONI SULLA FALDA.....	79
5	CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI TERRENI INTERFERENTI CON LA LINEA FERROVIARIA.....	80
6	UNITA' GEOTECNICHE E PARAMETRI CARATTERISTICI .....	93
6.1	TERRENI DI COPERTURA .....	95
6.1.1	Unità GS .....	95
6.1.2	Unità LSA.....	99
6.2	SUBSTRATO ROCCIOSO .....	102
6.2.1	Calcari e Calcari Marnosi (FMZ, LOP, RTZ, ARV, MAI, SAA) .....	104
6.2.2	Dolomie (BEL, SCI, DPR).....	107
6.2.3	Arenarie (GAR) .....	110
6.2.4	Lave porfiriche, lave massicce (LUB).....	112
6.2.5	Lapilli e Tuff (ICT) .....	114
7	SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI .....	118
8	CONSIDERAZIONI SULLA LIQUEFAZIONE.....	120
9	ASPETTI GEOTECNICI E SCELTE PROGETTUALI .....	130
10	CRITICITA' GEOLOGICO-GEOTECNICHE LUNGO LA LINEA ESISTENTE.....	152

## 1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione vengono descritti i risultati dello studio geotecnico svolto nell'ambito del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica relativo all'elettrificazione della linea Trento – Bassano del Grappa per la tratta da Trento a Borgo Valsugana Est, ossia dal Km146+989.al Km102+528 ( Lotto 1).

L'area oggetto di studio è ubicata nella porzione centro-orientale del territorio della Provincia Autonoma di Trento; il primo lotto del tracciato ferroviario, esistente e da elettrificare, si sviluppa tra l'abitato di Trento e l'abitato di Borgo Valsugana Est.



**Figura 1-1: Inquadramento geografico dell'area di studio**

Nei capitoli successivi, dopo un breve inquadramento geologico geomorfologico e sismico dell'area ed una sintetica descrizione delle indagini effettuate, viene riportata la caratterizzazione geotecnica dei

	<b>ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA</b> LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
<b>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</b>	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0006001	REV. B	FOGLIO 5 di 158

terreni interagenti con le opere in progetto, basata sullo studio dei dati stratigrafici e dei risultati delle prove in sito e di laboratorio.

La relazione esamina inoltre i principali aspetti geotecnici connessi con la realizzazione dell'elettrificazione lungo la linea e descrive le soluzioni progettuali adottate.

Si evidenzia che il presente PFTE ha come oggetto gli interventi strettamente legati all'elettrificazione della linea ferroviaria esistente: rimane escluso, pertanto, il progetto degli interventi finalizzati alla risoluzione delle criticità di carattere idraulico e geologico-geotecnico presenti lungo il tracciato. Tuttavia, sebbene il progetto non preveda la messa in sicurezza della linea dal punto di vista idraulico, geologico e geotecnico, nel presente progetto vengono censite le zone che risultano critiche nei confronti di questi aspetti.

In particolare, nell'ambito dello studio effettuato è stata elaborata la mappatura delle aree a pericolosità idraulica e geologico-geotecnica, individuate sulla base dei rilievi e delle indagini eseguite e sulla scorta di tutta la documentazione messa a disposizione dal Committente, inclusa la "Metodologia operativa per l'attivazione della vigilanza straordinaria in caso di previsione di avverse condizioni metereologiche o criticità idrogeologiche nelle linee di giurisdizione della DTP di Verona ( Rev. ottobre 2018)"; tali dati sono stati integrati e comparati con le informazioni estratte dalla Carta di Pericolosità della Provincia Autonoma di Trento (ottobre 2020), che riporta le aree caratterizzate da pericolosità per Alluvioni, Frane, Crolli rocciosi e Deformazioni Gravitative Profonde di Versante (DGPV).

Si osserva che gli interventi previsti nel progetto di elettrificazione della linea ferroviaria non consentono di mitigare il "rischio" della stessa nei confronti dei dissesti censiti e pertanto, sia la realizzazione di interventi di mitigazione, sia le attività di vigilanza sulla linea per la gestione del rischio rimangono in capo a RFI.

Si evidenzia inoltre che a seguito dell'integrazione delle aree a pericolosità idraulica, geologico-geotecnica, in assenza della messa in opera di interventi di mitigazione, RFI dovrà valutare un aggiornamento dei piani di gestione del rischio.

## **2 NORMATIVA, BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

### **2.1 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO**

- [1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30;
- [2] Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;
- [3] RFI DTC SI CS MA IFS 001 del 2021 - “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”;
- [4] RFI DTC SI CS SP IFS 004 del 2021- Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi” – RFI.
- [5] UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [6] UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- [7] AGI (1977) Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- [8] AGI (2005) Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee guida.

### **2.2 BIBLIOGRAFIA**

- [9] Brown E.T., Hoek E. (1988) “Discussion on paper n° 20431 by R. Ucae entitled “Determination of shear failure envelope in rock masses” Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. 114, n° 3.
- [10] Clayton C.R.I. (1995) “The Standard Penetration Test (SPT): Methods and use” CIRIA Report n° 143, 1995.
- [11] Hoek E., Brown E.T. (1988) “The Hoek-Brown failure criterion – A 1988 update” Proc. of 15th Canadian Rock Mechanics Symposium, Toronto, Canada.
- [12] Hoek E., Kaiser P.K., Bawden W.F. (1997) “Support of underground excavations in hard rock” Rotterdam, A.A. Balkema.

- [13] Hoek E., Carranza-Torres C.T., Corkum B. (2002) "Hoek-Brown failure criterion- 2002 edition" Proc. North American Rock Mechanics Society Meeting in Toronto, July.
- [14] Jamiolkowski M., Ghionna V.N., Lancellotta R., Pasqualini E. (1988) "New correlations of penetration tests for design practice" Proceedings of I International Symposium on Penetration Testing, ISOPT I, Orlando.
- [15] Kulhawy F.H. and Mayne P.W. (1990) Manual on estimating soil properties for foundation design. Electric Power Research Institute, EL-6800, Research Project 1493-6.
- [16] Lancellotta, R (2009). Geotechnical Engineering – Second Edition. Taylor & Francis.
- [17] San Francisco, 2. Balkema Pub, Rotterdam, pp. 907-912.
- [18] Marinos, P., Hoek, E., 2000. GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation, GEOENG 2000, Melbourne, Australia.
- [19] Skempton A.W. (1986) "Standard Penetration Test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation" Geotechnique 36, n° 3.
- [20] Stroud M.A. (1974) "The standard penetration test in insensitive clays and soft rocks" Proceedings ESOPT I.
- [21] Stroud M.A. (1988) "The Standard Penetration Test – Its application and interpretation" Penetration Testing in UK, Proceedings of the Geotechnical Conference organized by ICE, Birmingham.

### 2.3 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

- [22] ITALFERR – Indagini geofisiche (Doc. IT1J10R696IGGE00050001A)
- [23] ITALFERR – Prove laboratorio (Doc. IT1J10R696PRGE00050001A)
- [24] ITALFERR – Indagini geognostiche (Doc. IT1J10R696SGGE00050001A)
- [25] ITALFERR – Indagini pregresse (Doc. IT1J10R696RHGE00050004A)
- [26] ITALFERR – Relazione geologica (Doc. IT1J10R69RGGE0001001A)
- [27] ITALFERR – Rapporto sulle attività di campagna (Doc. IT1J10R69RHGE00050001A)

- [28] ITALFERR – Relazione sulla classificazione geomeccanica (Doc. IT1J10R69RHGE0005002A)
- [29] ITALFERR – Schede di rilievo geomeccanico (Doc. IT1J10R69RHGE0005003A)
- [30] ITALFERR – Profilo geologico in asse al tracciato - Tav. 1 (Doc. IT1J10R69F4GE0001001A)
- [31] ITALFERR – Profilo geologico in asse al tracciato - Tav. 2 (Doc. IT1J10R69F4GE0001002A)
- [32] ITALFERR – Profilo geologico in asse al tracciato - Tav. 3 (Doc. IT1J10R69F4GE0001003A)
- [33] ITALFERR – Profilo idrogeologico in asse al tracciato - Tav. 1 (Doc. T1J10R69F4GE0002001A)
- [34] ITALFERR – Profilo idrogeologico in asse al tracciato - Tav. 2 (Doc. T1J10R69F4GE0002002A)
- [35] ITALFERR – Profilo idrogeologico in asse al tracciato - Tav. 3 (Doc. T1J10R69F4GE0002003A)
- [36] ITALFERR – Profilo geotecnico con individuazione aree critiche - Tav.1 (Doc. IT1J10R11F4GE0001001A)
- [37] ITALFERR – Profilo geotecnico con individuazione aree critiche – Tav. 2 (Doc. IT1J10R11F4GE0001002A)
- [38] ITALFERR – Profilo geotecnico con individuazione aree critiche –Tav. 3 (Doc. IT1J10R11F4GE0001003A)
- [39] ITALFERR – Sezioni geotecniche (Doc. IT1J10R11WAGE0001001A)
- [40] ITALFERR – Sezioni caratteristiche - Tav. 1 (Doc. IT1J10R10WBIF0002001A)
- [41] ITALFERR – Sezioni caratteristiche - Tav. 2 (Doc. IT1J10R10WBIF0002002A)
- [42] ITALFERR – Sezioni caratteristiche - Tav. 3 (Doc. IT1J10R10WBIF0002003A)
- [43] ITALFERR – Sezioni caratteristiche - Tav. 4 (Doc. IT1J10R10WBIF0002004A)
- [44] ITALFERR – Sezioni caratteristiche - Tav. 5 (Doc. IT1J10R10WBIF0002005A)
- [45] ITALFERR – Sezioni caratteristiche - Tav. 6 (Doc. IT1J10R10WBIF0002006A)
- [46] RFI - Metodologia Operativa recante “Procedure e interventi di protezione della sede dai fenomeni di dissesto idrogeologico” (RFI DPR DTP\_VR SIGS)

### 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E SISMICO

Con riferimento alla Relazione Geologica (IT1J10R69RGGE0001001A) viene qui richiamato un breve inquadramento geologico e sismico dell'area oggetto di studio.

#### 3.1 GEOLOGIA

Le analisi effettuate ed i rilievi di campo condotti hanno permesso di distinguere e cartografare differenti unità geologiche. In particolare, le perimetrazioni e le descrizioni geologico-strutturali delle unità individuate nell'area derivano da un'integrazione tra le informazioni riportate in letteratura ed i dati raccolti dal rilevamento geologico di superficie e dalle indagini geognostiche a disposizione.

L'area oggetto di studio presenta terreni afferenti al dominio del Sudalpino. La successione affiorante nel settore di interesse copre un ampio intervallo stratigrafico e comprende unità appartenenti al basamento metamorfico di età Varisica, alla successione vulcanica permiana e alla successione sedimentaria permo-cenozoica (con rocce prevalentemente silico-clastiche alla base e prevalentemente carbonatiche nella parte superiore della serie) a cui sono localmente associati anche prodotti vulcanici basici di età eocenica.

Al substrato roccioso si sovrappongono le coperture pleistoceniche-oloceniche, caratterizzate da un'ampia varietà di depositi che rappresentano il prodotto delle dinamiche fluviali, glaciali, post-glaciali e di evoluzione dei versanti che nel Quaternario hanno fortemente influenzato l'evoluzione superficiale del territorio.

Come detto, il substrato roccioso è costituito da rocce del basamento cristallino, al di sopra del quale giacciono prodotti vulcanici di età permiana e una potente successione sedimentaria permo-cenozoica. Nel complesso l'intera successione registra, dalla base al tetto, una fase di distensione e la messa in posto di prodotti vulcanici effusivi, a cui segue una fase di ingressione marina con deposizione di una spessa sequenza sedimentaria. Quest'ultima è caratterizzata, alla base, dalla tipica successione silico-clastica continentale ad arenarie e siltiti (*red beds*), cui seguono evaporiti e carbonati di ambiente marino ristretto che testimoniano l'iniziale fase di *rifting* di età permiana, cui segue una spessa successione dolomitico-calcareo di piattaforma di età triassico-giurassica. A partire dal Giurassico medio (Lias superiore), la successione registra una fase di approfondimento dovuto ad una ulteriore fase distensiva, con la deposizione di emipelagiti calcaree e calcareo-marnose. La successione è localmente chiusa al tetto da depositi di piattaforma carbonatica e dai prodotti di risedimentazioni nel bacino di età eocenica.

	<b>ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA</b> LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
<b>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</b>	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0006001	REV. B	FOGLIO 10 di 158

Di età eocenica è anche l'evento vulcanico responsabile della messa in posto di prodotti effusivi (Note illustrative del Foglio Trento, progetto CARG).

Da ovest verso est si distinguono i seguenti macro-settori:

- Nella zona tra Trento e Mesiano affiorano i depositi alluvionali quaternari, passanti a unità del basamento cristallino e alla serie vulcanica e sedimentaria permiana, ricoperte da depositi alluvionali e glaciali;
- Nella zona da Mesiano a Roncogno affiorano le unità giurassico-cretacee, passanti alle unità permiane, a luoghi coperti da depositi quaternari alluvionali e glaciali;
- Da Roncogno a Caldonazzo affiorano le unità di basamento metamorfico, coperte dai depositi quaternari alluvionali, glaciali e di versante s.l.;
- Da Caldonazzo a Borgo Valsugana affiorano depositi quaternari alluvionali, inseriti in una struttura valliva ai cui margini affiorano unità afferenti al basamento metamorfico (a nord) e alla successione sedimentaria permo-eocenica (a sud).

Ai fini della rappresentazione del modello geologico dell'area in esame è stato realizzato, longitudinalmente all'asse ferroviario, un profilo geologico, riportato nei documenti IT1J10R69F4GE0001001A+ IT1J10R69F4GE0001003A. Il profilo geologico restituisce una immagine delle condizioni geologiche ricostruite lungo il tracciato, basata sia su dati di terreno che sui risultati delle indagini geognostiche disponibili; esso fornisce una rappresentazione previsionale ed interpretativa della variabilità delle caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo interessato dall'opera. Le faglie rappresentate sul profilo sono da intendersi come elementi tettonici generalmente costituiti da un "core", una zona di taglio ed una zona di danno.

Dall'esame del profilo geologico in asse tracciato emerge un quadro geologico piuttosto articolato, caratterizzato tuttavia da una modesta variabilità litologica: risultano preponderanti i depositi quaternari sciolti (di varia natura), mentre affiora in misura molto minore il substrato roccioso. Gli affioramenti rocciosi sono concentrati prevalentemente nella zona delle gole del Fersina, in corrispondenza delle

	<b>ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA</b> LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
<b>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</b>	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0006001	REV. B	FOGLIO 11 di 158

gallerie ferroviarie Malpensada, Serra, Albi e Cantaghel, costruite nella serie carbonatica dei Calcari Grigi.

Di seguito è riportata la descrizione delle unità geologiche interessate dallo studio, presentate dalle più antiche alle più recenti. La descrizione delle unità geologiche in parte deriva dai rilievi eseguiti in sito e in parte è desunta dalle informazioni di bibliografia; per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione Geologica.

### **3.1.1 Unità del basamento metamorfico**

Il basamento metamorfico affiorante nell'area di studio è rappresentato da rocce filladiche, scisti e metavulcaniti.

#### **3.1.1.1 Metavulcaniti e metavulcanoclastiti acidi (porfiroidi auct.) (VMM)**

Si tratta di metavulcaniti (lave e ignimbriti) e metavulcanoclastiti/piroclastiti di composizione da riolitica a riodacitica, da massicce o blandamente foliate fino a scistose, di colore variabile dal bianco-nocciola al grigio chiaro o scuro (talora alterate in toni bruni o rossastri). Età: Pre-Permiano

#### **3.1.1.2 Scisti quarzoso-sericitici (VQS)**

Si tratta di scisti di colore prevalentemente bruno-marrone fino ad argentei a quarzo e sericite/muscovite  $\pm$  clorite, plagioclasio e biotite, in cui la percentuale di quarzo aumenta considerevolmente rispetto alle filladi, dando luogo ad una struttura a sottili bande alternate di fillosilicati e di quarzo  $\pm$  plagioclasio. Età: Pre-Permiano

#### **3.1.1.3 Filladi e Filladi Quarzifere (VFS)**

Filladi più o meno quarzose da argentee a plumbee localmente con screziature verdastre, a quarzo, sericite/muscovite, clorite, plagioclasio  $\pm$  biotite e ilmenite. Le variazioni cromatiche sono legate ai minerali presenti: il colore è quindi argenteo se prevale la muscovite, verdastro in presenza di clorite, grigio scuro - nerastro se compaiono abbondanti quantità di grafite e/o ilmenite. La grana è generalmente molto sottile (sub millimetrica) e la roccia presenta una notevole fissilità parallelamente ai piani di scistosità. Sono presenti vistosi noduli di quarzo bianco intercalato alla scistosità della roccia. L'unità affiora estesamente nel versante orientale del M. Marzola, nonché in alcune zone della città di Trento. La scistosità è variabile da piano-parallela a deformata in vari ordini di micro pieghe. Sono stati

eseguiti stop geologici in corrispondenza del versante orientale del M. Marzola (Stop 24 e 44). Età: Pre-Permiano

#### **3.1.1.4 Scisti albitici nodulari (VNS)**

Si tratta di scisti albitici nodulari afferenti al basamento metamorfico ercinico. Età: Pre-Permiano

#### **3.1.1.5 Scisti della Valsugana (SVA)**

Si tratta di scisti micro occhiadini afferenti al basamento metamorfico ercinico. Età: Pre-Permiano

### **3.1.2 Magmatismo Permiano e filoni**

Il Magmatismo Permiano è rappresentato, nell'area di studio, da masse granitiche, granodioritiche e filoni.

#### **3.1.2.1 Corpo monzogranitico-granodioritico di Roncegno (RON).**

Si tratta di una massa di monzogranito e granodiorite afferente al complesso plutonico di Cima d'Asta e legato all'evoluzione tettonica della linea della Valsugana. Età: Permiano

#### **3.1.2.2 Corpi subvulcanici acidi (sb)**

Si tratta di corpi sub-vulcanici di composizione da monzogranitica a tonalitica e di dimensioni fino a pluri-decametriche, distinguibili per le dimensioni fino a centimetriche dei fenocristalli di K-feldspato, quarzo e plagioclasti. Età: Permiano

#### **3.1.2.3 Corpi filoniani indifferenziati (fx)**

Si tratta di piccoli filoni di varia natura e composizione. Si tratta di filoni magmatici acidi e basici o filoni a quarzo e calcite di origine idrotermale. Tagliano il basamento metamorfico ercinico e, talora, le vulcaniti del Gruppo Vulcanico Atesino. Età: Permiano

#### **3.1.2.4 Granito di Cima d'Asta (CGA)**

Si tratta di una massa intrusiva afferente al complesso plutonico di Cima d'Asta e legato all'evoluzione tettonica della linea della Valsugana. È costituito da graniti, tonaliti e granodioriti. Età: Permiano

### **3.1.3 Unità della Gruppo Vulcanico Atesino**

Il Magmatismo Permiano è rappresentato, nell'area di studio, principalmente dalla Formazione di Buss (LUB), dalla Formazione del Castelliere (ICT) e, in minima parte, dalla Formazione di Pinè (LPE), dalla Formazione di Cembra (LMB), dalla Formazione di Gargazzone (IGG), dalla Formazione di Bosco (LBS), dalla Formazione di Gries (IGR), dalla formazione di Ora (ORA) e dalle Lave Riodacitiche di Monte Zaccon (LMZ).

#### **3.1.3.1 Conglomerato basale auct. (CGB)**

Si tratta di conglomerati poligenici e subordinate arenarie in strati da medi a spessi amalgamati con tendenza a gradazione diretta e colore da grigio a rossastro. I clasti, in genere spigolosi con dimensioni centimetriche, sono costituiti da quarzo metamorfico in percentuale assai elevata, filladi e localmente vulcaniti permiane. Età: Permiano inferiore

#### **3.1.3.2 Formazione di Buss (LUB)**

I depositi relativi a questa formazione danno luogo a duomi e colate di limitata estensione. Il limite inferiore con il sottostante basamento cristallino spesso è mascherato dalle coperture quaternarie.

Si tratta di lave idrotermalizzate a composizione andesitica, porfiriche, nere, grigio violacee; sono massicce e pseudo-stratificate, associate a lave a blocchi arrotondati e spigolosi cementati tra loro da una matrice ad analoga composizione. L'ossatura è data da fenocristalli di plagioclasio zonato, clino- ed orto-piroseni, anfibolo bruno, biotite e scarso quarzo, in una pasta di fondo microgranulare a prevalenza di plagioclasio con piroseni ed opachi. I fenocristalli sono spesso parzialmente o completamente sostituiti da pseudomorfo di albite, sericite, clorite, epidoti (Bargossi et al., 1981; Di Battistini et al., 1988).

Localmente al tetto della formazione sono presenti epiclastiti rappresentate da conglomerati a clasti andesitici e dacitici (Parco di Gocciadoro) e livelli di calcari selciferi fittamente stratificati contenenti ostracodi dulcicoli, attribuibili a eventi sedimentari lacustri (Salè), con spessori massimi di circa 60 m.

La Formazione di Buss è stata osservata presso il parco Gocciadoro (TN), stop 20, in località Graffiano (TN), stop 4, e in località Salè (TN), stop 46, dove sono stati rinvenuti i calcari a selce nera. È stata osservata una formazione eterogenea che contiene depositi di lave andesitiche porfiriche, nere, grigie, verdi, lave basaltiche nere (stop 4) e facies marginali costituite da conglomerati a blocchi porfidici e

arenarie costituite da clasti di quarzo, anfiboli e feldspati con associate miche scure. Tale facies è affiorante nel parco Gocciadoro, stop 20. Età: Permiano.

### **3.1.3.3      *Formazione del Castelliere (ICT)***

Lapilli tuff riodacitici grigi, grigio-verdi e grigio-rossastri, con abbondanti fiamme disposte lungo il flusso. Danno luogo a bancate di spessore da metrico a decametrico, di forma tabulare e a luoghi condizionate dai duomi vulcanici della sottostante formazione di Buss che ne delimitano l'espansione. Al tetto sono presenti localmente epiclastiti a clasti dacitici e riodacitici. Si tratta di piroclastiti di colore da bruno-rossastro a grigio-verdognolo, costituite da alternanze di livelli metrici di lapilli tuff poco rinsaldati con sottili intercalazioni di tuff a stratificazione piano parallela o incrociata. Si classificano come ignimbriti limitatamente rinsaldate associate a surge, costituite da cristalli di quarzo, plagioclasti, biotite, cui si associano localmente fiamme rinsaldate di colore verdognolo e piccoli inclusi litici di natura filladica. Lo spessore della formazione è variabile da 50 a 100 metri mentre l'unità di tetto ha spessore stimato di 20-70 metri. La Formazione del Castelliere (compresa la porzione epiclastica) è stata osservata presso il parco Gocciadoro (TN), ove sono stati eseguiti gli stop 36, 39 e 40. Età: Permiano.

### **3.1.3.4      *Lave riodacitiche di Monte Zaccon (LMZ)***

Si tratta di lave riodacitiche a struttura porfirica a quarzo, plagioclasti e biotite in un fondo microcristallino uniforme. Spessore: 800 metri. Età: Permiano inferiore

### **3.1.3.5      *Formazione di Pinè (LPE)***

È rappresentata da lave dacitiche porfiriche idrotermalizzate di colore grigio-verde, massicce e a blocchi arrotondati o poligonali. L'ossatura è data da fenocristalli di plagioclasio, quarzo, biotite e pirosseno in una pasta di fondo a piccoli cristalli di plagioclasio e quarzo. Età: Permiano

### **3.1.3.6      *Formazione di Cembra (LMB)***

È costituita da lave andesitiche e quarzo-andesitiche, porfiriche, intensamente idrotermalizzate di colore nero, grigio-verde e grigio-violaceo, massicce nelle porzioni centrali, a blocchi cementati da una matrice della medesima composizione in quelle più esterne. Età: Permiano

### **3.1.3.7      *Formazione di Gargazzone (IGG)***

Si tratta di lapilli tuff di colore rosso vino in bancate metriche, massicci, con fiamme orientate lungo le direzioni di flusso; formano potenti espandimenti di forma tabulare. Età: Permiano inferiore

### **3.1.3.8 Formazione di Gries (IGR)**

Questa formazione è data da lapilli tuff e tuff riolitici di colore dal rosso al viola, caratterizzati da fiamme orientate parallelamente all'unità di flusso. Età: Permiano inferiore

### **3.1.3.9 Formazione di Ora (ORA)**

Si tratta di lapilli tuff di colore dal grigio al rosso, massicci, idrotermalizzati, con netta e regolare fessurazione sub verticale, ricchi di fiamme e litici orientati nel senso del flusso piroclastico. Età: Permiano inferiore

### **3.1.3.10 Formazione di Bosco (LBS)**

È costituita da lave di composizione riolitica di colore rosso vinaccia, a volte rosate, massive, raramente a blocchi, a struttura porfirica con fenocristalli di quarzo, plagioclasio, sanidino e biotite fresca. Età: Permiano superiore

## **3.1.4 Successioni sedimentarie e vulcaniche Permo-Cenozoiche**

Al termine del magmatismo permiano si osserva la deposizione della successione sedimentaria alpina intercalata a corpi vulcanici sostanzialmente basici.

### **3.1.4.1 Arenarie della Val Gardena (GAR)**

Arenarie rosse, grigie e bianche scarsamente compatte, in alternanza con siltiti rosse o grigie, siltiti marnose e marne, e con frequenti noduli di gesso rosato. Nei termini a granulometria sottile prevale il colore rossastro. Alla base della formazione affiora in modo discontinuo, nel Parco di Gocciadoro, un orizzonte conglomeratico di 5-10 metri, a clasti ignimbrici, da arrotondati a sub-arrotondati in matrice arenacea grigio-rossastra. La parte sommitale è sempre caratterizzata da siltiti e arenarie fini di colore rosso cupo con noduli e vene di gesso. Lo spessore, non facilmente individuabile e comunque variabile dal momento che la deposizione delle arenarie è avvenuta sopra un substrato vulcanico molto irregolare, apparentemente non supera i 70-80 metri. Il limite inferiore è erosivo, di solito para-concordante sul basamento metamorfico (filladi quarzifere) o sulle vulcaniti del gruppo atesino. Quello con la sovrastante Formazione a Bellerophon è ubicato in corrispondenza del passaggio tra le facies pelitiche di tetto e i primi calcari marnosi giallastri vacuolari. Non di rado il limite superiore è segnato dall'alternanza tra calcari della formazione a Bellerophon e livelli di arenarie. L'ambiente di sedimentazione è riconducibile

ad un fluviale meandriforme, che passa verso l'alto ad una laguna con condizioni di forte evaporazione. I noduli carbonatici stile "caliche" indicano condizioni climatiche di tipo semi-arido analogamente al colore rosso, generato da processi di umidificazione ed essiccamento di depositi di *overbank* o di *playa*. Presso il parco di Gocciadoro, è stato osservato il conglomerato basale, ricco di clasti ignimbrici (porfidi) estremamente spigolosi (stop 37) passanti ad arenarie fini e siltiti tettonizzate (stop 38). Scendendo lungo il rio del parco è possibile osservare il passaggio tra le epiclastiti della Formazione del Castelliere e le Arenarie della Val Gardena. Le arenarie si presentano varicolori da rosse a verdi passando per porzioni grigiastre. Età: Permiano superiore

#### **3.1.4.2 Formazione a Bellerophon (BEL)**

La formazione è rappresentata da calcari siltosi grigi e calcari nodulari scuri bituminosi fittamente stratificati alternati a siltiti grigie, interstrati marnosi e occasionali livelli carboniosi; procedendo verso la parte alta si assiste alla progressiva diminuzione delle facies marnoso-siltose e il concomitante aumento della frazione carbonatica. Nella parte sommitale dell'unità sono presenti *wackestone-packstone* grigio scuri e *packstone-grainstone* a luoghi dolomitizzati, in strati decimetrici separati da sottili veli siltosi. La potenza è valutabile tra i 10 e i 40 metri.

Il limite inferiore è transizionale rapido su GAR. Il limite superiore con il membro WER1 è posto in corrispondenza della completa scomparsa delle siltiti o dal passaggio tra i calcari marnosi vacuolari e le calcareniti oolitiche massicce. L'ambiente di sedimentazione è interpretabile come una *sabka* costiera o una laguna interessata da apporti terrigeni. La formazione è stata osservata sul versante orientale del M. Marzola. Età: Permiano superiore

#### **3.1.4.3 Formazione di Werfen (WER)**

La Formazione di Werfen è rappresentata da una complessa sequenza di sedimenti carbonatici, terrigeni e misti. I litotipi presenti sono molteplici: calcari e dolomie arenacee e siltose, calcari e dolomie marnose, marne, siltiti ed arenarie rosse e grigie, calcareniti (*grainstone* e *packstone*) oolitiche, bioclastiche, intraclastiche, a volte dolomitizzate, micriti (*mudstone* e *wackestone*) più o meno dolomitiche.

Lo spessore dell'intera Formazione non è stimabile con esattezza, ma dovrebbe aggirarsi sui 250-300 metri (Ghetti e Neri, 1983). Il contenuto fossilifero delle unità, seppur scarso risulta significativo dal punto di vista della cronostratigrafia della Formazione. La successione sedimentaria è associabile a facies di

mare sottile, che indicano l'inizio della trasgressione marina triassica. La Formazione di Werfen nella zona di Trento è stata suddivisa in dieci unità di rango minore (membri ed orizzonti) in base alle caratteristiche litostratigrafiche macroscopiche quali litologie prevalenti, colore e livelli fossiliferi (Bosellini, 1968; Farabegoli et al., 1977; Pisa et al., 1979; Broglio Loriga et al., 1983; 1990; Neri e Posenato, 1988). Dal basso verso l'alto queste unità di rango minore, non distinte in cartografia, sono rappresentate da:

- membro di Tesero;
- membro di Mazzin;
- membro di Andraz;
- membro di Siusi;
- membro dell'Oolite a Gasteropodi;
- membro di Campil;
- membro di Val Badia;
- membro di Cencenighe;
- membro di San Lucano
- membro di Terra Rossa che sostituisce localmente (settore Monte Marzola - Faedo) i Membri di Val Badia e Cencenighe.

Età: Triassico Inferiore: Induano - Olenekiano p.p.

#### ❖ **Membri di Tesero e Mazzin**

Il membro di Tesero è costituito da calcareniti oolitiche di colore chiaro alla base e che nella porzione superiore tendono al rosso bruno, spesso caratterizzate da laminazioni incrociate e dolomie grossolane, oolitiche, in banchi, di colore grigio giallastro. Il membro di Mazzin è costituito alla base da *wackestone-packstone* bioclastici grigio-verdognoli che evolvono verso l'alto a calcari marnosi grigi e siltiti grigio-gialle. I calcari marnosi, solitamente in lamine centimetriche, presentano anche una modesta frazione siltosa quarzoso-micacea. Lo spessore può arrivare a 15 metri. Età: Scitico Inferiore

#### ❖ **Orizzonte di Andraz e membro di Siusi**

L'orizzonte di Andraz affiora in modo discontinuo lungo il versante orientale del Monte Marzola. È costituito da alternanze di dolomie evaporitiche marnose o marnoso-siltose giallastre con vacuolarità diffuse e siltiti rossastre. Il membro di Siusi è formato da calcari marnosi e marnoso-siltosi grigi e/o

rossastri, a luoghi bioturbati, alternati a calcareniti oolitico-bioclastiche. Le calcareniti (grainstone e packstone) sono costituite da ooliti, lamellibranchi e microgasteropodi; sporadicamente presentano una notevole percentuale (packstone) di peloidi ricristallizzati. I litotipi pelitici si presentano in lamine centimetriche di colore grigio o, più raramente, in banchi massicci che possono arrivare al metro di spessore mentre le calcareniti formano strati di potenza anche decimetrica. Il tetto dell'unità è dato da un orizzonte evaporitico costituito da dolomie siltose e siltiti rosso-giallastre. Età: Scitico Inferiore

#### ❖ **Membro dell' Oolite a Gasteropodi e membro di Campil**

Il membro dell'Oolite a Gasteropodi è rappresentato da calcareniti rossastre stratificate a gradazione diretta, oolitico - bioclastiche, con lamellibranchi e microgasteropodi. In misura minore sono presenti marne calcaree grigiastre e calcari siltosi grigio - rossastri in strati decimetrici. Il membro di Campil è formato da un'alternanza di arenarie rosse in livelli decimetrici e siltiti o marne siltose rossastre. Rispetto al membro sottostante si nota un forte incremento della componente terrigena. Siltiti e marne siltose rosse sono caratterizzate da lamine millimetriche che danno luogo a strati centimetrici. Si osservano laminazioni incrociate e parallele, e risultano frequenti le strutture da carico sotto forma di cuscini che sporgono dal tetto degli strati. Età: Scitico Medio

#### ❖ **Membri di Val Badia, di Terra Rossa, Cencenighe, San Lucano**

Il membro di Val Badia è costituito nella porzione basale, da calcareniti bioclastiche chiare sovrastate da arenarie quarzoso - micacee, calcari, calcareniti, dolomie arenacee, di colore giallastro, caratterizzate da una frazione arenacea crescente verso l'alto. Il membro di Cencenighe è dato da calcareniti e dolomie oolitiche a stratificazione incrociata e siltiti rosse in prevalenza caratterizzate ripple marks. Le dolomie oolitiche e siltiti presentano laminazione millimetrica parallela deformata da strutture di esposizione subaerea (mud cracks e teepee). Il membro di Terra Rossa sostituisce i membri di Val Badia e Cencenighe nel settore nord-orientale del M. Marzola. È costituito prevalentemente da siltiti, marne siltose, arenarie fini rosse intensamente bioturbate con piste di limivori che possono obliterare del tutto la stratificazione originaria, che quando invece è preservata si manifesta in strati di 1-2 cm di spessore con ripple da onda. Il membro di San Lucano è costituito essenzialmente da dolomie marnose, siltose ed arenacee, siltiti, marne e arenarie principalmente di colore rosso cupo, più raramente giallastro o grigio. Età: Scitico medio-superiore

#### **3.1.4.4 Dolomia del Serla Inferiore (SLI)**

Si tratta di una dolomia microcristallina da grigio chiara a biancastra, in strati anche metrici, con livelli di arrossamento e paleocarsismo e occasionali intercalazioni di brecce e peliti rossastre. L'ambiente di sedimentazione corrisponde ad una piana tidale, con bassa profondità, interessata da forte evaporazione. In corrispondenza degli stop 9 e 10, si osserva una dolomia cristallina bianca in strati decimetrici, con sottili intercalazioni argillose di colore rossastro. Età: Triassico inferiore p.p. - Triassico medio p.p.: Olenekiano sup. - Anisico inf.

#### **3.1.4.5 Formazione a Gracilis (GLS)**

È costituita da dolomie calcareo marnose in alternanza con calcareniti grigie a bioclasti e peloidi in strati fino a decimetrici con un accenno di giunti nodulari. La parte alta dell'unità è rappresentata da calcari siltosi e siltiti grigio - giallastre. In corrispondenza del versante sud-occidentale del M. Marzola verso l'alto è presente una litofacies carbonatico-terrigena varicolori con intercalazioni evaporitiche. Lo spessore massimo è di circa 60 metri. Il limite è con la sottostante Dolomia del Serla risulta di tipo transizionale rapido. Il limite superiore corrisponde ad una superficie erosiva su cui poggia in para-concordanza il Conglomerato di Voltago (VTG) come presso Terra Rossa, sul versante orientale della Marzola o lungo il Rio Gola, o la Formazione di Giovo. L'ambiente di sedimentazione corrisponde a piane tidali e piccole piattaforme carbonatiche al margine di ambienti costieri a deposizione in prevalenza terrigena. In corrispondenza degli stop 13 e 29, si riconoscono dolomie fittamente stratificate intervallate da veli pelitici color nocciola. Le dolomie si presentano cristalline. Età: Bitinico-Pelsonico inferiore

#### **3.1.4.6 Conglomerato di Voltago (VTG)**

Arenarie fini e medie alternate a siltiti di colore rosso e grigio bioturbate. Sono presenti anche discontinui orizzonti di conglomerati di spessore fino a 2 metri. Età: Pelsonico

#### **3.1.4.7 Formazione di Giovo - Membro del M. Ozol (GIV3 - Dolomia della Valsugana Auct.)**

È costituita da una sequenza di calcari e dolomie grigiastre sottilmente stratificate (10-20 cm), a luoghi stromatolitiche, con sottili intercalazioni di peliti grigie laminate con quarzo e muscovite. Nella parte superiore si passa a dolomie bioclastiche (alghe calcaree e brachiopodi) biancastra e rosate. Lo spessore è di 180-200 metri. Presso il Dosso di San Rocco (stop 14 e 30), e nel versante orientale del M. Marzola (stop 5, 7 e 14) è stata osservata una dolomia calcarea, estremamente cariata, di colore

biancastro - beige ordinata in strati da centimetrici a decimetrici. Non è stato osservato paleo carsismo. Età: Anisico medio - superiore p.p. (Pelsonico-Ilirico)

#### **3.1.4.8 Conglomerato di Richthofen (Breccia di Ravina Auct.) (RIC)**

Si tratta di una megabreccia carbonatica formata da elementi fino a metri di calcari e dolomie provenienti dalla sottostante piattaforma carbonatica (membro del Monte Ozol della formazione di Giovo) alternata talora a peliti e arenarie rosse. Lo spessore non supera i 10 metri. Età: Illirico superiore

#### **3.1.4.9 Formazione del Contrin (CTR)**

La formazione è costituita da dolomie chiare ad alghe calcaree, in strati di spessore fino a metrico, e doloareniti grigio-verdastre (livelli di 10-30 cm). Frequentemente si osserva una tessitura grossolana e si individuano calcareniti a gasteropodi, lamellibranchi ed alghe. I giunti sono generalmente piano paralleli od ondulati. Età: Illirico p.p.

#### **3.1.4.10 Gruppo delle "Zwischenbildungen" (ZW)**

Il gruppo delle Zwischenbildungen (Barbieri e Grandesso, 2007) è suddiviso in quattro unità, non distinte nella cartografia di progetto, chiamate Calcari Scuri di Margon, Marne della Val di Centa, Buchenstein e i Calcari di Val Vela. Tale gruppo rappresenta le facies bacinali della successione anisica mentre il Contrin e lo Sciliar rappresentano la facies di piattaforma carbonatica.

##### **❖ Calcari Scuri di Margon**

È costituita da strati di spessore fino a decimetrico, di calcareniti fini laminate grigie, più o meno siltose, che si alternano a calciruditi e calcareniti grossolane grigie gradate contenenti alghe calcaree e rari clasti siltosi rossi arrotondati (nella parte bassa), a laminiti scure, da millimetriche a sub-millimetriche, carbonatico-siltoso- bituminose (con tracce di idrocarburi). Età: Anisico Superiore (Ilirico)

##### **❖ Marne della Val di Centa**

L'unità è caratterizzata da una alternanza di calcareniti siltose, grigie, organizzate in strati centimetrico- decimetrici a giunti piano paralleli o ondulati e da peliti, marne e arenarie grigio-brune. Si intercalano inoltre sottili livelli di argille smectitiche giallo-arancio. Età: Anisico Superiore (Ilirico)

##### **❖ Buchenstein ( Formazione di Livinallongo - " Calcarea della Val Gola" Auct.)**

È costituita da strati centimetrico-decimetrici di calcari micritici selciosi grigi nodulari, separati da esigui livelli di peliti grigie, calcari micritici nodulari rossi, rosati, verdastri potenti fino a mezzo metro, con intercalazioni pelitiche e “pietra verde” anche in livelli metrici. Al tetto si hanno calcari micritici neri a giunti piano paralleli. Età: Ladinico p.p

#### ❖ **Calcari della Val Vela ( VVL)**

L'unità è rappresentata da calcari, da grigio chiaro a nocciola-giallastri, fittamente laminati in strati decimetrici e separati da sottili livelli di argille giallo arancio che aumentano nella parte superiore. Età: Ladinico superiore (Longobardico)-Carnico inferiore

#### **3.1.4.11 Formazione dello Sciliar (SCI)**

È rappresentata da dolomie saccaroidi da biancastre a grigio chiare, ricristallizzate, grossolanamente stratificate e, in misura minore, da calcari dolomitici chiari. In prossimità della base sono talvolta riconoscibili dolomie stratificate organizzate in cicli peritidali e stromatoliti planari continue. Livelli argillitici millimetrici o dolomie marnose giallastre con screziature rossastre possono prendere il posto delle stromatoliti. Il tetto dell'unità è caratterizzato dalla presenza di brecce e piccoli filoni di dolomie cristalline scure. Lo spessore varia da 50 a 350 metri. Il limite inferiore con la sottostante Formazione del Contrin (CTR) è netto e marcato da sottili livelli di vulcanoclastiti o graduale rapido sui calcari della Val Gola. In affioramento presso lo stop 31, la formazione si presenta come una serie di calcari e calcari dolomitici bianchi, mal stratificati, in strati di spessore decimetrico. Nelle zone di faglia si osservano cataclasiti costituite da clasti romboidali affilati. Età: Illirico p.p.- ? Fassanico p.p.

#### **3.1.4.12 Vulcaniti Basaltiche (VAB)**

Si tratta di basalti molto alterati e parzialmente argillificati di colore rosso-violaceo stratigraficamente posizionati tra i calcari di Val Vela e la Formazione di Travenanzes (Gruppo di Raibl). Età: Ladinico superiore

#### **3.1.4.13 Formazione di Travenanzes (TVZ)**

Si tratta di successione di dolomie grigio-biancastre, localmente con fiamme gialle o rosate, in strati decimetrici cui si intercalano sottili livelli (al massimo centimetrici) di peliti verdi e grigie. Verso l'alto sono

presenti dolomie siltose chiare con stromatoliti, *fenestrae* e *mud crack* con intercalazioni di marne verdi e rosse potenti fino a mezzo metro. Età: Carnico p.p.

#### **3.1.4.14 Dolomia Principale (DPR)**

Si tratta di una monotona successione di cicli peritidali, ben stratificata e formata alla base da dolomie subtidali in strati decimetrici, giallastre o fiammate, con rari livelli di peliti giallo-verdastre cui si alternano *grainstone* oolitici, che possono anche poggiare direttamente su SCI. Nella porzione inferiore dell'unità, nei cicli peritidali si distingue una parte basale subtidale, con dolomie microcristalline a Megalodonti e Gasteropodi. La porzione medio-superiore della formazione è invece costituita da spessi banchi subtidali (fino a 2-3 metri) formati da dolomie massicce vacuolari di colore grigio chiaro, con frequenti accumuli tempestistici di lamellibranchi, gasteropodi, foraminiferi. La Dolomia Principale può raggiungere gli 800 metri di spessore. Il limite inferiore è graduale rapido su TVZ con la comparsa di grossi banchi di dolomie subtidali che si sovrappongono in modo netto alle dolomie e peliti policrome. L'ambiente deposizionale è quello di una grande piattaforma carbonatica dolomitizzata, con prevalenti facies lagunari e di piana tidale. Viene cartografato anche il Membro del M. Zenone costituito da un corpo biocostruito ad organismi incrostanti ora completamente dolomitizzato. In corrispondenza degli stop 12 e 16 è stata osservata una successione dolomitica ben stratificata in banchi decimetrici. Le dolomie sono bianche, cristalline, e hanno una rottura scheggiata. Età: Carnico superiore-Norico

#### **3.1.4.15 Gruppo dei Calcari Grigi (CG)**

Comprende quattro formazioni di piattaforma carbonatica (Avanzini et al., 2007) che costituiscono l'ossatura della porzione settentrionale dell'area di studio (M. Calisio). Vengono ricondotti al gruppo dei Calcari Grigi: la Formazione di Montezugna, il Calcare Oolitico di Loppio, la Formazione di Rotzo e il Calcare Oolitico di Massone, quest'ultimo non presente nell'area di studio.

##### **❖ Formazione di Monte Zugna (FMZ)**

Nella formazione di Monte Zugna sono presenti tre litofacies solitamente sovrapposte:

- sequenze cicliche sub-metriche e metriche di calcari prevalentemente micritici od oolitico bioclastici, bioturbati;

- successione prevalentemente peritidale di calcari stromatolitici in cicli a scala metrica suddivisi in una unità inferiore subtidale (spessore tra 10 e 100 cm) ed una superiore di tipo inter-sopratidale (spessore tra 2-3 e 50 cm);
- calcari micritici pseudo-nodulari e marne scure in una sequenza prevalentemente subtidale nella quale si riscontrano cicli con livelli carbonatici di base (potenti da 20 a 120 cm) seguiti da esigui intervalli argillosi di colore scuro.

Il limite inferiore con DPR è graduale quando tra le due unità si interpone una zona dolomitizzata, oppure è netto para-concordante quando FMZ poggia sugli orizzonti a *teepee* e paleosuoli del tetto della DPR. Età: Hettangiano-Sinemuriano

#### ❖ **Calcere Oolitico di Loppio (LOP)**

Il calcare oolitico di Loppio è rappresentato da una sequenza di calcari oolitici grossolani prevalentemente a cemento spatico, di colore biancastro o grigio-chiaro; i granuli sono per lo più ooidi e botroidi, in parte anche intraclasti e bioclasti. L'unità è mal stratificata o organizzata in bancate fino a decametriche, talora a lamine trattive parallele od inclinate a basso angolo, più raramente a stratificazione incrociata. Lo spessore può arrivare fino a 50-60 metri. Il suo limite inferiore è graduale rapido su FMZ. Il tetto è caratterizzato da una superficie di *unconformity*. È stato osservato presso lo stop 32, ove si presenta come un calcare bianco ad ooliti fini. Il carsismo è evidente, così come *karren* e cavità di varie dimensioni nell'ammasso; gli stati sono difficilmente riconoscibili. Età: Sinemuriano

#### ❖ **Formazione di Rotzo (RTZ)**

Depositatasi in ambiente prevalentemente subtidale, questa unità è suddivisibile in due litofacies sovrapposte:

- la litofacies basale, che può risultare anche ridotta o assente, è caratterizzata da calcari marnosi con strati metrici di packstone a peloidi bioturbati che si sovrappongono, nella porzione sommitale, ad alternanze calcareo-marnose in stati decimetrici con locali noduli di selce nerastra;
- la litofacies superiore, in cui il tetto dei cicli è spesso contraddistinto dalla presenza dei cosiddetti banchi a Lithiotis, costituiti da bivalvi coloniali che si sovrappongono a tetto ciclo

alle stesse alternanze calcareo-marnose sopra descritte. In questa porzione superiore della formazione di Rotzo sono frequenti anche biocalcareniti ruditiche e calcareniti oolitico-intraclastiche in strati e banchi di spessore superiore al metro. Questi livelli sono spesso intercalati nella successione all'interno dei cicli tidalici, e contengono anche strati di tempesta.

Lo spessore è sui 150 metri, il limite inferiore è para-concordante o discordante su LOP e localmente su FMZ. Età: Sinemuriano-Pliensbachiano

#### **3.1.4.16 Oolite di San Vigilio (OSV)**

*Grainstone* ad ooliti e *grainstone* ad ooliti e frammenti di echinodermi, in strati di potenza da 0,5 a 1 metro, a stratificazione incrociata, di colore giallo e rosato al tetto, a granulometria media o grossolana. Lo spessore è compreso tra 0 e 25 metri. Il limite inferiore è netto para-concordante su RTZ o su OOM. La biofacies pelagica dei sedimenti micritici, a luoghi intercalati ai livelli calcarenitici, indica un ambiente marino marginale aperto alla circolazione oceanica. In zona Rovereto, in corrispondenza dello stop 19 si osservano calcari oolitici grigiastro-rossicci con ooliti millimetriche, grossolanamente organizzati in strati decimetrici. Età: Toarciano - Aaleniano inferiore

#### **3.1.4.17 Formazione di Fonzaso (FOZ)**

Si tratta di una formazione sedimentaria costituita da sottili strati calcarei selciferi con associazioni di fossili pelagici intercalati a banchi di brecce calcaree compatte con frammenti di fossili di ambiente neritico. La stratificazione si presenta molto regolare con interstrati argillosi. Età: Giurassico medio-superiore

#### **3.1.4.18 Rosso Ammonitico Veronese (ARV)**

Il Rosso Ammonitico è formato da tre unità. Quella basale è formata da calcari micritici mal stratificati, a struttura nodulare, solitamente rosati, ma a luoghi giallastri o verdastri, in alcuni casi dolomitizzati, con lamellibranchi pelagici (tipo *Bositra*) e *Protoglobigerine*. Nella parte superiore si osserva un aumento della componente terrigena, gli strati divengono più nodulari e compaiono superfici stilolitiche arrossate. Questo intervallo (Bajociano-Bathoniano) è separato dalla sottostante Oolite di S. Vigilio da un *hardground* di spessore decimetrico, con noduli in prevalenza ferriferi e tipici orizzonti di stromatoliti cupoliformi. L'unità intermedia è rappresentata da calcari rosati a piccoli noduli nei quali sono diffusi

arnioni di selce rossa. L'unità superiore è costituita da calcari lastriformi, dalla tipica struttura nodulare, rossi e con Ammoniti. Sono riconoscibili *Belemniti* e *Aptici*. Macroscopicamente, appare marcatamente cristallina per la presenza di articoli e piastrine di *Saccocoma*. Il suo spessore varia tra 25-50 metri ed il suo limite inferiore è netto su RTZ, su OOM o su OSV. In corrispondenza degli stop 3, 15 e 33 si osserva un calcare nodulare, stratificato in strati sottili, con giunti di strato estremamente ondulati. Le fratture si presentano blandamente carsificate. Il colore varia dal bianco al rosso/rosato. Età: Bajociano sup.-Turoniano sup.

#### **3.1.4.19 Maiolica (MAI)**

Si tratta di calcari micritici lastriformi, dal colore rosato e con selce. Lo spessore è normalmente di qualche metro ma può raggiungere i 30 metri per effetto della tettonica. Il limite inferiore è graduale rapido su ARV. Età: Turoniano sup.-Barremiano sup.

#### **3.1.4.20 Scaglia Variegata Alpina (VAA)**

Calcari micritici varicolori, da grigi a verdini e biancastri ma anche rossi, spesso bioturbati, a Radiolari e Foraminiferi, ben stratificati e a volte con noduli e letti di selci nere, in alternanza con marne grigio-verdastre, nere e rossastre, talora bituminose fogliettate. Limite inferiore transizionale rapido su MAI o su ARV. Lo spessore varia da 1 a 70 metri a causa della subsidenza differenziale di vari settori. Età: Hauteriviano-Cenomaniano

#### **3.1.4.21 Scaglia Rossa (SAA)**

Si tratta di una sequenza di calcari micritici a "*Globotruncana*" ben stratificati (5-25 cm) per lo più lastriformi e talvolta selciferi, soprattutto nella parte inferiore. Comprende alla base un orizzonte di qualche metro di calcari micritici lastriformi nodulari rossi mentre al tetto è sempre individuabile una unità plurimetrica fogliettata, (bancone maastrichtiano *Auct.*) localmente con *hardground* apicale. Lo spessore è costantemente attorno ai 70 m. L'unità riflette condizioni di deposizione di tipo emipelagico con forti apporti terrigeni. In corrispondenza dello stop 2 e del 34 si rinviene una successione di calcari e calcari marnosi rossi, fittamente stratificati in strati mediamente di 10 cm di spessore, separati da sottili livelli siltosi. Età: Cretacico superiore-Paleocene

#### **3.1.4.22 Formazione di Chiusole (CHI)**

La formazione di Chiusole è costituita da calcari micritici più o meno glauconitici a Radiolari e Foraminiferi planctonici, con noduli e letti di selce da grigia a bruna e con sottili interstrati marnoso-argillosi; la stratificazione è sottile (10-30 cm). Età: Eocene inferiore

### 3.1.4.23 **Formazione di Ponte Pià (FPP)**

Si tratta di una successione sedimentaria bacinale. È costituita da *grainstone* bioclastici e da torbiditi che presentano alla base spessi livelli di calcareniti e di calciruditi (costituite essenzialmente da Foraminiferi bentonici) cui seguono calcareniti più fini e intervalli pelitici finemente laminati; la serie torbiditica si chiude con calcari bioclastici a stratificazione irregolare con Foraminiferi e frammenti di Lamellibranchi. Età: Eocene inferiore - Eocene medio superiore

### 3.1.4.24 **Magmatismo Eocenico**

L'attività vulcanica è collegata alla tettonica sin-sedimentaria distensiva dell'Eocene. Le manifestazioni vulcaniche sono legate alla messa in posto di lave basaltiche in ambiente sottomarino, con manifestazioni prevalentemente freato-magmatiche e colate laviche in parte subaeree che rappresentano gli eventi più tardi.

#### ❖ **Basalto della Val Lagarina (VUB)**

Sono riuniti in questa formazione tutti i prodotti vulcanici basici presenti all'interno della successione sedimentaria. I prodotti delle manifestazioni vulcaniche derivano generalmente dalle esplosioni delle lave basaltiche in ambiente sottomarino con manifestazioni freato-magmatiche. Livelli vulcanoclastici di esiguo spessore sono inoltre intercalati alle unità carbonatiche eoceniche del Doss Trento. I membri non sono stati distinti nella cartografia di progetto. Età: Eocene inferiore

#### ❖ **Membro di Lenzima**

Colate laviche da massicce a bollose e scoriacee e brecce laviche di prodotti scoriacei. Si hanno anche rare lave a cuscini passanti a brecce di cuscini lavici. Lo spessore è tra 0-10 metri. Contatto netto discordante su hardground di SAA. Età: Eocene inferiore

#### ❖ **Membro del Monte Biaena**

Si tratta prevalentemente di ialoclastiti costituite da arenarie e brecciole con clasti di basalto vetroso e bolloso cementati da calcite spatica. Si presentano ben stratificate e selezionate, a volte gradate. Derivano dalla polverizzazione esplosiva delle lave sottomarine. Più in particolare si distinguono brecce di esplosione, tufi e tufiti, lave basaltiche e filoni e dicchi (Lo spessore è compreso tra 0-70 metri. Età: Eocene inferiore

#### **3.1.4.25 Calcare di Malcesine (MCE)**

È costituito da calcareniti generalmente nummulitiche grigio-nocciola e grigio-scuro a granulometria prevalentemente sottile, siltitico-arenitica, che aumenta verso l'alto. Età: Eocene medio

#### **3.1.4.26 Calcare di Nago (NAG)**

Alternanze di calcari marnosi e marne scure laminate, di calcareniti micritiche grigie stratificate (10- 30 cm) e di calcari a rodoliti, coralli e briozoi, in bancate (3-10 metri) ricche in nummuliti e Discocycline. Età: Eocene medio-superiore

#### **3.1.4.27 Calcare di Linfano (CLN).**

Si tratta di un corpo carbonatico bioclastico il cui livello inferiore è costituito da biocalcareni bioturbate e mal stratificate passanti verso l'alto a biocalcareni grossolane. Spessore variabile tra 150 e 200 m. Età: Oligocene inferiore

#### **3.1.4.28 Vulcaniti basaltiche dell'Alpone (VPN)**

Si tratta di rocce filoniane a composizione basica e ultrabasica prodotte dall'attività vulcanica terziaria ed intruse all'interno delle formazioni sedimentarie più antiche. Spessore: da pochi decimetri a qualche decina di metri. Età: Paleocene superiore-Oligocene

#### **3.1.4.29 Formazione di Monte Brione (MBR)**

Si tratta di arenarie grigio-verdi scure con glauconite. Età: Chattiano-Burdigaliano

#### **3.1.4.30 Arenarie e conglomerati della Val Cova (AVC)**

Arenarie marnose grigie, talora giallastre, riccamente fossilifere con intercalazioni di calcari arenacei; marne arenacee molto fossilifere con intercalazioni conglomeratiche. Età: Miocene superiore

#### **3.1.5 Successione quaternaria continentale**

I depositi superficiali quaternari sono descritti, nell'ambito del presente lavoro, utilizzando la nomenclatura CARG della Provincia Autonoma di Trento. Le unità riconosciute hanno come riferimento l'ultimo episodio glaciale culminato nel *Last Glacial Maximum* (LGM).

È stata distinta la seguente sequenza:

- depositi pre-LGM;

- depositi riferibili a LGM, relativi al Sintema del Garda;
- depositi post-LGM.

Tutti i terreni di copertura sovrastanti il Sintema del Garda sono raggruppati nel Sintema Postglaciale Alpino (PTG). I sedimenti che lo compongono si sono formati dopo l'estinzione (locale) dei processi glaciali e fluvio-glaciali, a partire dall'intervallo finale del Pleistocene superiore, proseguiti durante l'Olocene e fino all'epoca Attuale.

Sono di seguito descritte solo le facies delle unità direttamente interessate dal progetto.

### **3.1.5.1 Unità stratigrafiche precedenti l'ultima espansione glaciale (pre-lgm)**

#### *3.1.5.1.1 Conglomerato di Tenna (TNE) – (Pleistocene inferiore? e medio)*

Affiora nel settore meridionale del Colle di Tenna, su entrambi i versanti che scendono al Lago di Caldonazzo e a quello di Levico. Si compone di conglomerati e ghiaie a matrice sabbiosa con ciottoli eterometrici (dimensioni da 0,5 a 20 cm, con moda a 3-6 cm) composti in media dall'85% di carbonati che mostrano talora un *cortex* di alterazione di circa 2 mm, dal 10% di metamorfiti mediamente alterate, e dal 5% di porfiriti.

#### *3.1.5.1.2 Gruppo di Forte Casara (FC) – (Pleistocene inferiore e medio)*

Riunisce depositi di versante s.l. e locali depositi di conoide, frequentemente cementati e contraddistinti da superficie limite superiore poligenica e polifasica, con morfologie erose verso valle, lateralmente e talora verso monte. Gli affioramenti principali sono localizzati sui versanti Ovest e Sud del Monte Marzola (Unità dei Bindesi).

❖ **Unità dei Bindesi (FCB) – (Pleistocene medio):** è un'unità costituita da corpi di frana, e in misura minore da depositi di versante localizzati sul versante occidentale e meridionale del M. Marzola. Affioramenti importanti si rinvencono nella zona del rifugio Bindesi a quota 600 m s.l.m., dove affiora un corpo piuttosto continuo, interessato da significative trincee di rilascio tensionale. Il deposito è costituito da diamicton clasto-sostenuto, con clasti di dimensioni medie di qualche cm e massime superiori al metro; presenti anche megablocchi di svariate decine di m<sup>3</sup>. I clasti, da angolari a sub-angolari, sono costituiti da dolomie grigio-biancastre, correlabili alle unità triassiche affioranti a monte. Sono invece rari i ciottoli da sub-arrotondati ad arrotondati di quarziti, ignimbriti (presenti nei depositi glaciali del sintema del Garda) e vulcaniti

andesitico-ioranti sul sovrastante versante). La matrice è siltoso-sabbiosa bruno-rossastra, a luoghi mescolata con una diffusa componente ghiaiosa fine. Il limite inferiore, visibile solo in alcuni punti di Pian dei Bindesi, è discordante con il substrato roccioso, quello superiore è discordante con i depositi glaciali del SGD e con i depositi di frana del PTG. Lo spessore complessivo è valutabile in oltre 50 metri.

#### 3.1.5.1.3 *Supersintema di Nogarè (NG) – (Pleistocene medio- Pleistocene superiore p. p.)*

Si tratta di depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi con subordinati depositi da *debris-flow* e di versante a cementazione variabile. A Ponte Alto affiora un deposito (spessore circa 20 metri) formato da ghiaie a matrice sabbiosa, con clasti da ben arrotondati a sub-arrotondati e dimensioni medie di circa 10 cm. I clasti sono soprattutto porfirici, in misura minore sono dolomitici, calcarei e metamorfici. L'alterazione è blanda, la cementazione è diffusa ma non pervasiva. Il limite inferiore, non visibile, coincide presumibilmente con il substrato (Scaglia Rossa) e quello superiore con la superficie topografica. Questo deposito rappresenta un riempimento pre-LGM di un possibile paleo-alveo del Fersina. Il limite inferiore dell'unità non è affiorante, il limite superiore è discordante con le ghiaie del subsintema di Lisignago (SGD12) e/o con i depositi del PTG.

#### 3.1.5.1.4 *Gruppo di Valsorda (DV) – (Pleistocene medio- superiore p. p.)*

Fanno parte di questa unità depositi di frana e di versante, con locali depositi di *debris flow*, contraddistinti da una cementazione discontinua. In corrispondenza del versante meridionale della Marzola costituiscono l'accumulo di frana principale (Frana di Valsorda): si tratta di un diamicton clasto-sostenuto con dimensioni medie comprese tra 5-15 cm e massime anche maggiori di un metro, con blocchi di diversi m<sup>3</sup>

### 3.1.5.2 **UNITÀ PERTINENTI ALL'ULTIMA GRANDE ESPANSIONE GLACIALE (LGM)**

Le unità appartenenti a tale periodo costituiscono il **Sintema del Garda** e sono rappresentate dai sedimenti messi in posto durante le fasi di crescita, di massimo sviluppo e di esaurimento avvenute durante l'ultimo grande evento glaciale (LGM: *Last Glacial Maximum*). Il limite inferiore è generalmente erosivo con il substrato roccioso o con sedimenti quaternari antecedenti all'ultima espansione glaciale (pre-LGM); il limite superiore è inconforme con il Sintema Postglaciale Alpino (PTG).

Sono di seguito descritte le unità costituenti il Sintema del Garda:

❖ **sintema del Garda indistinto**, utilizzato per le fasi di crescita e di massima espansione del ghiacciaio atesino e per le brevi avanzate durante la prima fase di deglaciazione (“tardoglaciale” Auct.) finché la calotta glaciale è rimasta sostanzialmente unitaria. Si distinguono tre subsintemi, la cui formazione è avvenuta durante la fase di frammentazione del ghiacciaio in bacini locali con evoluzione indipendente:

❖ **subsintema di Lisignago**, si forma nel momento di disattivazione delle transfluenze tra Valle di Cembra e Alta Valsugana (Valle di Fornace);

❖ **subsintema del Monte Gian**, formatosi nel momento in cui si sono progressivamente disattivate le transfluenze tra Valle dell’Adige e Alta Valsugana;

❖ **subsintema della Val Mana**, geneticamente diviso dal ghiacciaio atesino, sebbene durante la fase di culmine del LGM fosse in contatto con il ghiacciaio della Val dell’Adige.

#### 3.1.5.2.1 SINTEMA DEL GARDA INDISTINTO (SGD) – *Pleistocene superiore*

Il sintema del Garda “indistinto” è costituito in prevalenza da depositi glaciali e, in misura minore, di contatto glaciale (tra i quali depositi torrentizi margino-glaciali e conoidi di *debris-flow*) glacio-lacustri ed eolici.

Nella maggior parte dei casi i depositi del sintema del Garda sono scarsamente alterati, ad eccezione delle litologie più degradabili (tonaliti, marne della Formazione di Ponte Pià, arenarie e siltiti della formazione di Werfen). I suoli che si sviluppano su questi depositi alle quote meno elevate hanno spessori solitamente inferiori al metro, ma con orizzonti pedologici ben differenziati.

❖ Depositi glaciali, till indifferenziato.

Costituiscono i depositi glaciali maggiormente diffusi. In questa facies sono compresi anche i till di ablazione, discontinui e di spessore solitamente inferiore al metro. Sono diamicton massivi a supporto di clasti e/o di matrice da limosa a sabbiosa di colore chiaro. Le dimensioni dei ciottoli sono comprese da quelle delle ghiaie ai blocchi pluridecimetrici. Sul versante occidentale della Marzola, presso Malga Nova, affiorano limitati diamicton massivi, generalmente a supporto di matrice con prevalenza di ciottoli carbonatici subangolosi-subarrotondati, di dimensioni variabili fino al metro. Sul versante SW della Marzola

(Mattarello, Laste di Mattarello), sono presenti esposizioni di diamicton massivo *clast-supported* con prevalenti ciottoli subarrotondati-arrotondati di dolomie in matrice grigia, da sabbioso-ghiaiosa fine a limoso-sabbiosa.

❖ Depositi glaciali, till di alloggiamento.

Si tratta di diamicton massivi a supporto di matrice, a luoghi mal stratificati, con clasti eterometrici frequentemente striati e con spigoli smussati o rotti; la matrice limoso-sabbiosa è sovraconsolidata. Sul versante SW della Marzola, a monte dell'abitato di Valsorda (Maso Diler, Maso del Conte), formano sottili dorsali allungate lungo il pendio, oppure lungo il ciglio delle sponde delle vallecole che incidono il versante.

❖ Depositi di contatto glaciale e depositi di debris-flow.

Si tratta di ghiaie, sabbie e limi talora laminati, solitamente in strati discontinui; danno luogo a geometrie lentiformi e corpi canalizzati. I depositi di debris flow sono costituiti da ghiaie con matrice da sabbiosa a limosa e orizzonti sabbiosi.

❖ Depositi eolici (loess).

Sabbie fini e limi di colore giallastro-bruno chiaro, con spessori limitati, al massimo di poco più di un metro. I depositi del Sintema del Garda ricoprono indistintamente con contatto erosivo o limite inconforme il substrato pre-Quaternario o le formazioni pre-LGM. Il limite superiore può essere conforme o inconforme con SGD12, SGD13, con PTG o PTG3.

### 3.1.5.2.2 Subsintema del Monte Gian (SGD13)

Il Subsintema del Monte Gian, che comprende prevalentemente depositi di contatto glaciale, con intercalati depositi di *debris flow*, *mud flow* e glaciali, si è formato nei bacini del Torrente Fersina e del Fiume Brenta a partire dalla fase di disattivazione delle transfluenze tra Valle dell'Adige e Alta Valsugana. Lo spessore del subsintema supera i 30 metri. Il limite inferiore è erosivo sul substrato roccioso o su SGD; il limite superiore coincide con la superficie topografica o è inconforme con PTG.

### 3.1.5.2.3 Subsintema di Lisignago (SGD12)

Il subsintema di Lisignago, costituito principalmente da depositi fluvio-glaciali, alluvionali, glacio-lacustri e di contatto glaciale, si forma a partire dalla fase di disattivazione della trasfluenza tra Val di Cembra e alta Valsugana, in corrispondenza della valle di Fornace, con conseguente formazione di un ghiaccio morto in Val di Cembra. I depositi di questo subsintema sono suddivisi in diversi settori, caratterizzati da differenti condizioni litologiche deposizionali; di seguito sono descritti solo i depositi cartografati nell'ambito del presente lavoro:

#### ❖ Depositi glacio-lacustri e alluvionali (contatto glaciale s.l.) della Val di Cembra

Il SGD12 ha la sua maggiore espressione in Val di Cembra. Litologicamente è costituito da depositi sabbiosi cerniti, passanti gradualmente verso l'alto a ghiaie e ghiaie sabbiose sciolte. I clasti hanno una dimensione massima di 20 cm, sono ben arrotondati, di natura prevalentemente porfirica e abbondantemente dolomitica. Tali depositi si suppone siano stati generati da una fase di avanzata deglaciazione, con frammentazione del ghiacciaio proveniente dalla Val di Fiemme e condizioni di ghiaccio morto in Val di Cembra.

#### ❖ Depositi di contatto glaciale della Valle dell'Adige

Allo sbocco della Val di Cembra in Val d'Adige, sono presenti alcuni sistemi di terrazzi a morfologie fresche. Si rinvengono facies prevalentemente alluvionali, caratterizzate da ghiaie con matrice sabbiosa. Nella porzione superiore della Valsorda si rinvengono delle conoidi di debris flow sospese sul fondovalle e depositi di contatto glaciale rappresentati da diamicton a supporto di matrice limosa di colore oca-rosso-bruno.

#### ❖ Il deposito di frana dei Crozzi d'Agola

Fra i diversi corpi di frana che interessano il Monte Marzola, quello dei Crozzi d'Agola è ubicato alle quote meno elevate. A monte del deposito è ben visibile la nicchia di frana. La morfologia dell'accumulo è caratterizzata da dossi e depressioni, talvolta riempite da specchi d'acqua effimeri (Lago Turchino, Lago delle Cannelle) e da una evidente scarpata in erosione, alta un centinaio di metri, che divide la parte sommitale da quella inferiore a dossi e depressioni. L'accumulo, di potenza valutabile in oltre 40 metri, è costituito da diamicton massivi, clasto- sostenuti, con clasti dolomitici angolosi o sub-angolosi di dimensioni molto

eterogenee che vanno da pochi cm ai massi di alcuni m3. È presente una importante matrice di colore bianco-giallastro, formata da ghiaie e sabbie con un certo contenuto limoso-argilloso.

### **3.1.5.3 UNITÀ PERTINENTI AL POSTGLACIALE (Post-LGM)**

#### **3.1.5.3.1 3.1 SINTEMA POSTGLACIALE ALPINO (PTG) – (Pleistocene Sup. – Attuale)**

Quest'unità raggruppa i depositi che si sono formati al termine dei fenomeni glaciali, tra la parte terminale del Pleistocene superiore all'Attuale. I depositi sono descritti in relazione ai bacini idrografici e alle varie facies.

#### **❖ Depositi del Fondovalle Atesino**

Il fondovalle dell'Adige è riempito da notevoli spessori di depositi alluvionali, lacustri-palustri e subordinatamente di conoide. I dati di terreno sono piuttosto modesti ma integrabili con i dati geognostici disponibili presso il Servizio Geologico della Provincia. La conoide del Fersina è profonda una ventina di metri, essenzialmente ghiaiosa a meno di due canali ciottolosi, interpretabili come antichi alvei abbandonati. Al di sotto dei depositi ghiaiosi della conoide sono presenti depositi sabbioso-limosi. Si

osserva anche a sud di Mattarello, ad una profondità di circa 10 m dal piano campagna, un orizzonte decametrico di ghiaie-sabbiose, che potrebbe testimoniare una fase deposizionale di alta energia.

#### **❖ Depositi del fondovalle del Torrente Fersina e dell'Alta Valsugana**

Le alluvioni del torrente Fersina affiorano soprattutto in corrispondenza dell'abitato di Pergine, e formano una blanda conoide alla base della quale si sviluppa la piana alluvionale del Cirè. Sono prevalenti le ghiaie massive a supporto di clasti e matrice, in livelli sub-orizzontali, con matrice formata da sabbia medio-grossolana fino a ghiaia fine. I clasti sono rappresentati da rocce metamorfiche, porfidi, graniti e granitoidi, nonché da clasti di Conglomerato di Ponte Gardena. Le dimensioni prevalenti sono di qualche cm, con numerosi blocchi di dimensioni fino a un metro.

❖ Depositi alluvionali dei corsi d'acqua minori

Localizzati al di fuori delle aste vallive principali, sono costituiti da ghiaie e ciottoli eterometrici e poligenici mediamente arrotondati, in matrice ghiaioso-sabbioso-limosa, alternati a livelli sabbiosi o sabbioso-limosi. Litologicamente i clasti rispecchiano il bacino di alimentazione dei rispettivi corsi d'acqua.

❖ Depositi di origine mista (torrentizi e/o da debris flow)

Diamicton in prevalenza clasto-sostenuti, con ciottoli di provenienza locale, angolosi, sub-angolosi e sub-arrotondati, di dimensioni eterogenee, dalle ghiaie ai massi, in matrice da sabbioso-ghiaiosa a limoso-sabbiosa.

❖ Detrito di versante e detrito di falda

Depositi generalmente a scarsa cementazione, con granulometria variabile, dalla ghiaia al masso, con elementi da angolosi a sub-angolosi di provenienza locale.

❖ Depositi palustri e lacustri

Depositi a granulometria fine, anche torbosi, con locali orizzonti sabbiosi.

❖ Depositi antropici

Materiali localizzati in corrispondenza delle aree di cava ritombate, delle principali arterie stradali e di quelle ferroviarie, usualmente piuttosto grossolani, che possono passare a materiali più fini quali sabbie limose e limi.

### 3.1.5.3.2 Subsintema di Civezzano (PTG 3)

Comprende depositi alluvionali, di *debris flow* e di frana. Si tratta per lo più di porzioni di antichi conoidi da *debris flow* e porzioni di piane alluvionali attualmente in erosione. Rientra in questo subsintema il corpo di frana dei Crozzi dell'Altar, situato nella porzione più elevata del versante ovest della Marzola.

	<b>ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA</b> LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	<b>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</b>	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0006001	REV. B

### 3.2 INQUADRAMENTO SISMICO

Richiamando quanto già riportato nella Relazione Geologica (IT1J10R69RGGE0001001A), nel presente paragrafo vengono riassunti gli aspetti principali relativi alla sismicità dell'area oggetto di studio.

L'azione sismica che governa il rispetto dei diversi Stati Limite per le strutture in progetto (di esercizio – SLE e Ultimi - SLU) è qui definita in accordo alle Norme Tecniche 2018 (NTC2018), a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, espressa in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sottosuolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell'azione sismica include le ordinate dello spettro di risposta elastico di accelerazione  $S_e(T)$  corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  per la vita utile della struttura.

In sintesi, la forma degli spettri di risposta di progetto (considerati su sottosuolo rigido di riferimento) è definita dai seguenti parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima per sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei paragrafi seguenti verrà dapprima stabilito il periodo di riferimento per l'azione sismica ( $V_R$ ), in base alla classificazione delle opere in progetto. Successivamente, verranno definiti gli stati limite di interesse per la verifica strutturale, arrivando a definire i periodi di ritorno ( $T_R$ ) corrispondenti dell'azione sismica da considerare, determinata a sua volta per condizioni di suolo rigido ed a livello del piano campagna in corrispondenza di alcuni punti di interesse.

#### 3.2.1 Vita Nominale, Classe d'Uso, Tempo di Ritorno

La Vita Nominale  $V_N$  di un'opera, intesa come il periodo temporale entro cui l'opera stessa può essere usata per lo scopo al quale è destinata purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC2018:

- $V_N \leq 10$  anni, per opere provvisorie e opere provvisionali;

- $V_N \geq 50$  anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale;
- $V_N \geq 100$  anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Nel caso in esame, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è stato assunto in sede progettuale:

Per la linea ferroviaria:  $V_N = 50$  anni

Le opere sono suddivise dalle NTC2018 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita sulla base dell'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. In particolare, le classi d'uso sono così definite:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. Per le quali si ha un coefficiente d'uso  $C_U = 0.7$ .
- Classe II: ... *omissis* ... Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza ... *omissis* .... Per le quali  $C_U = 1.0$ .
- Classe III: ... *omissis* ... Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso IV, e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza ... *omissis* ... Per le quali  $C_U = 1.5$ .
- Classe IV: ... *omissis* ... Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico ... *omissis* ... Per le quali  $C_U = 2$ .

Nel caso in esame si assume:

Classe d'uso II ( $C_U = 1.0$ )

Pertanto, nel caso in esame, l'azione sismica di verifica viene associata ad un periodo di riferimento pari a:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.0 = 50 \text{ anni}$$

### 3.2.2 Stati limite, probabilità di superamento e periodi di ritorno

L'azione sismica di progetto deve essere determinata in funzione della probabilità di superamento  $P_{VR}$  dipendente dagli Stati Limite di verifica e correlata a periodo di ritorno ( $T_R$ ) e periodo di riferimento ( $V_R$ ) attraverso la seguente formulazione

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nelle NTC2018 al par.

3.2.1 sono:

#### Stato Limite Ultimo (SLU)

- Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in corrispondenza del quale la struttura subisce una significativa perdita della rigidezza nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontale. Ad esso è associata una probabilità di superamento  $P_{VR}=10\%$ ;
- Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali. Ad SLC è associata una  $P_{VR}=5\%$ .

#### Stato limite di Esercizio (SLE)

- Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico ( $P_{VR}=81\%$ );
- Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo ( $P_{VR}=63\%$ ).

Considerando il periodo di riferimento assunto ( $V_R=50$  anni), ai quattro stati limite sopra descritti corrispondono i tempi di ritorno  $T_R$  riportati nella tabella che segue.

**Tabella 3-1: Periodi di ritorno per l'azione sismica, per i diversi stati limite e relativi alla  $V_R$  assunta in progetto.**

STATO LIMITE	$T_R$ , anni
SLO	30
SLD	50
SLV	475
SLC	975

### 3.2.3 Accelerazione di Riferimento su Suolo Rigido

In allegato alle NTC2018, i valori  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_{C^*}$  sono forniti per ognuno dei 10751 nodi di un reticolo di riferimento che copre il territorio nazionale. I valori corrispondenti a punti intermedi ai nodi di griglia si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti.

Nelle successive tabelle sono riportati i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_{C^*}$  riferiti ai comuni attraversati dalla linea in esame. Nel dettaglio:

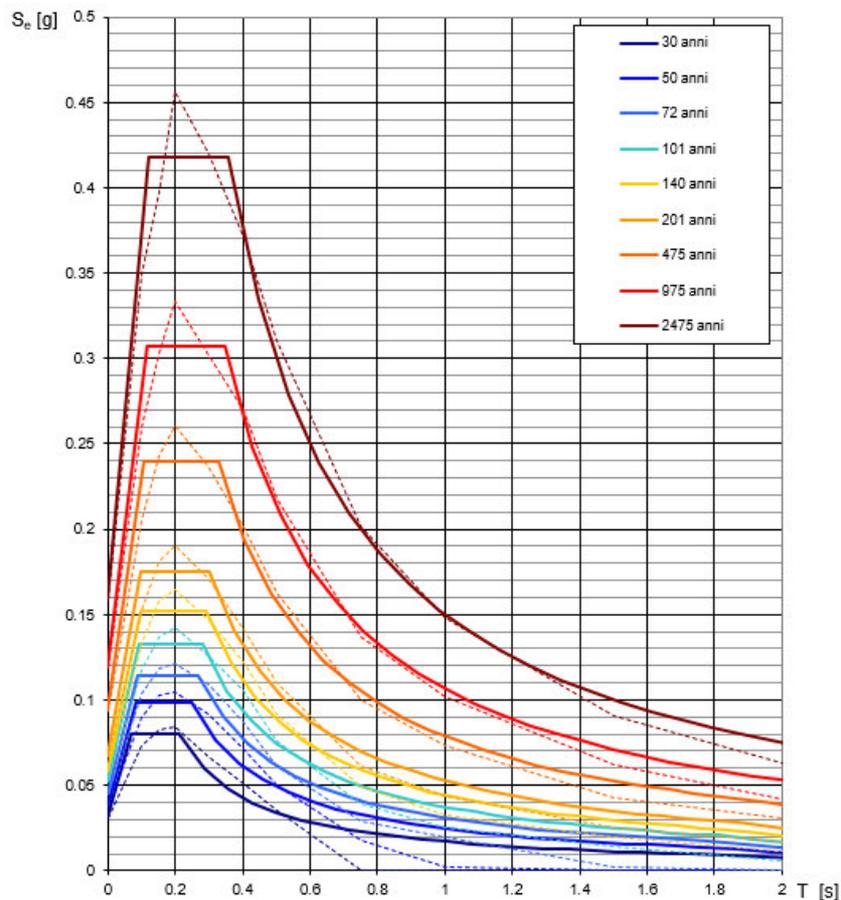
$a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito su suolo tipo A;

$F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_{C^*}$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

**Tabella 3-2: Valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_{c^*}$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento. Comune di Borgo Valsugana**

TR [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_{c^*}$
30	0.031	2.577	0.212
50	0.038	2.603	0.248
72	0.045	2.564	0.269
101	0.052	2.540	0.282
140	0.058	2.604	0.291
201	0.067	2.609	0.300
475	0.094	2.561	0.328
975	0.119	2.577	0.347
2475	0.159	2.629	0.359



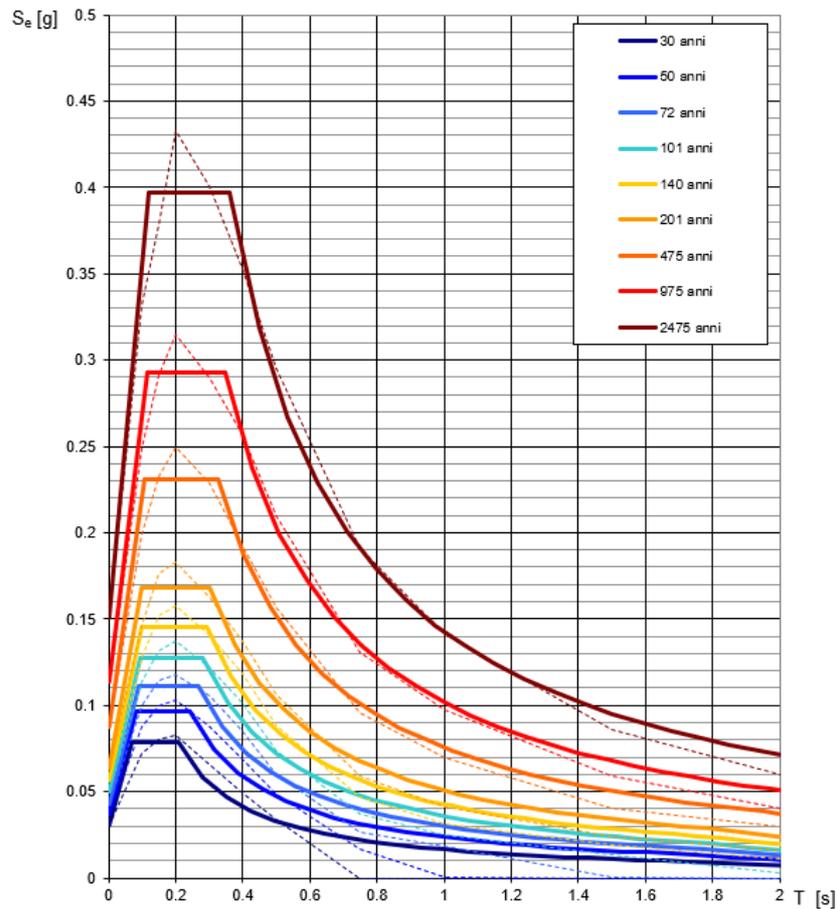
NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

**Figura 3-1: Spettri di risposta elastica per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento. Comune di Borgo Valsugana**

**Tabella 3-3: Valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento. Comune di Roncegno Terme**

TR [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_c^*$
30	0.030	2.569	0.210
50	0.037	2.593	0.244
72	0.043	2.571	0.269
101	0.050	2.533	0.282
140	0.056	2.582	0.292
201	0.064	2.642	0.303
475	0.088	2.627	0.327
975	0.114	2.578	0.347
2475	0.151	2.634	0.359



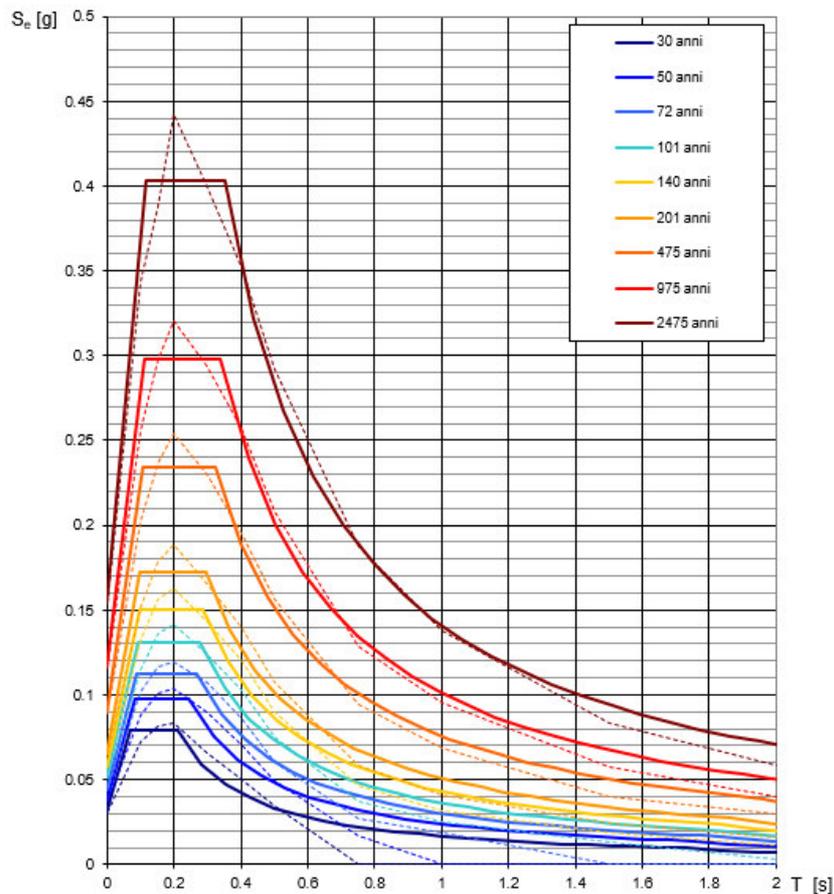
NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

**Figura 3-2: Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento. Roncegno Terme**

**Tabella 3-4: Valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_{C^*}$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento. Comune di Novaledo**

TR [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_{C^*}$
30	0.031	2.568	0.211
50	0.038	2.595	0.246
72	0.044	2.563	0.269
101	0.051	2.546	0.279
140	0.057	2.629	0.287
201	0.065	2.662	0.294
475	0.090	2.608	0.323
975	0.116	2.562	0.339
2475	0.154	2.614	0.350



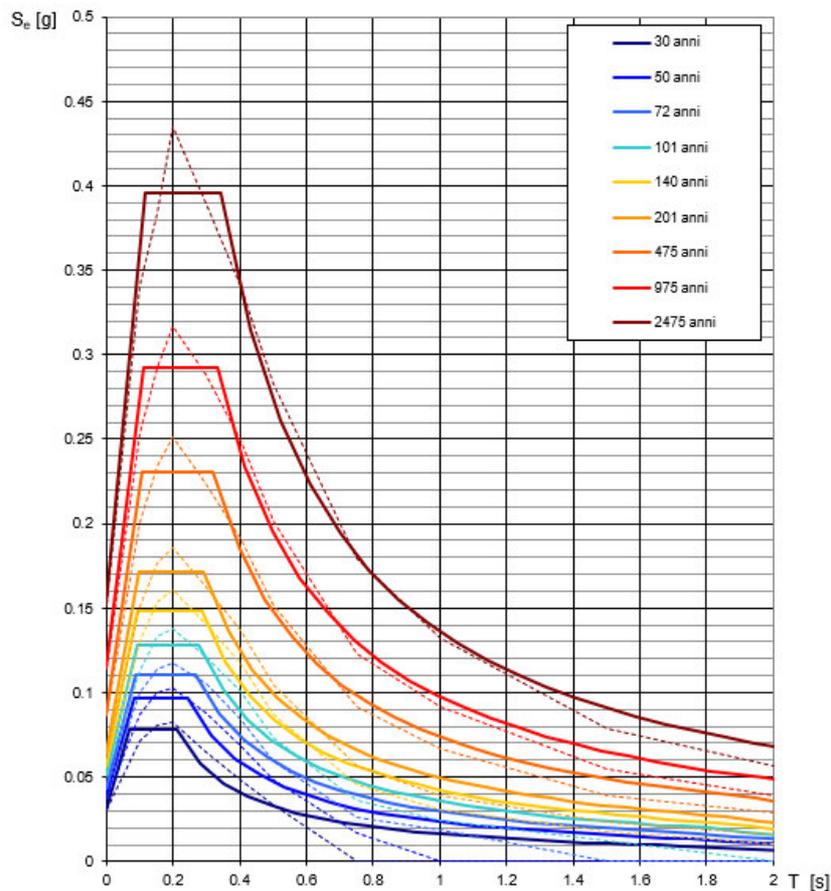
NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

**Figura 3-3: Spettri di risposta elastica per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento Comune di Novaledo**

**Tabella 3-5: Valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_{c^*}$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento. Comune di Levico Terme**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_{c^*}$
30	0.031	2.561	0.209
50	0.037	2.589	0.244
72	0.043	2.561	0.269
101	0.051	2.533	0.278
140	0.056	2.632	0.285
201	0.064	2.681	0.290
475	0.087	2.652	0.321
975	0.115	2.552	0.333
2475	0.152	2.596	0.344



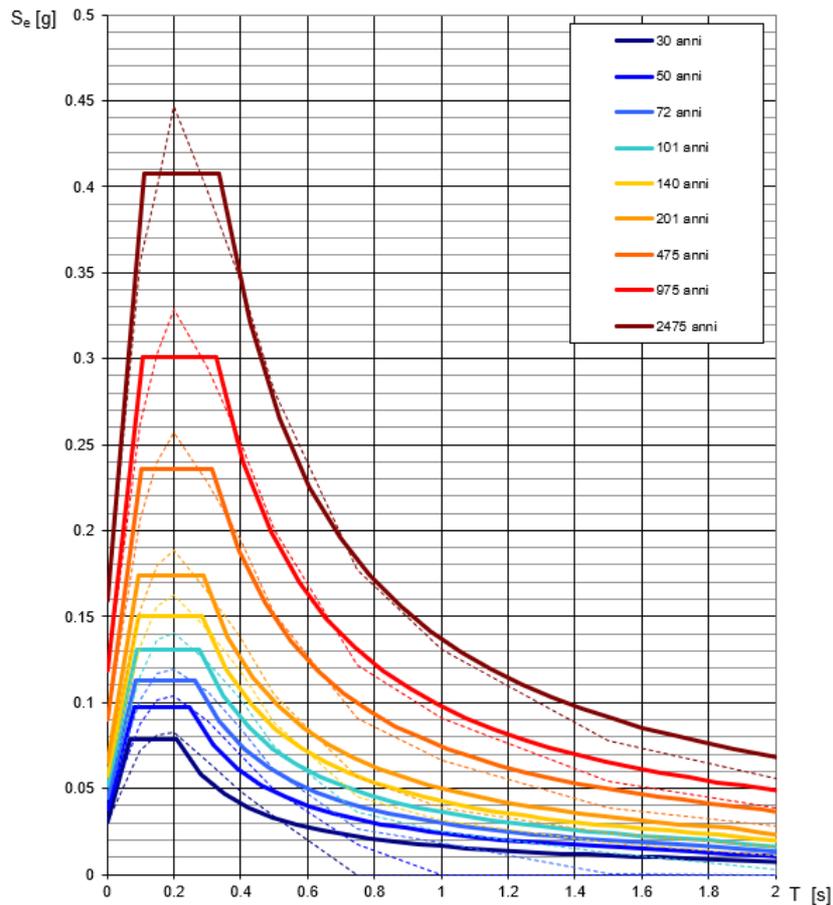
NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

**Figura 3-4: Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento. Comune di Levico Terme**

**Tabella 3-6: Valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_{C^*}$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento. Comune di Caldonazzo**

TR [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_{C^*}$
30	0.031	2.558	0.209
50	0.038	2.592	0.245
72	0.044	2.548	0.266
101	0.051	2.545	0.277
140	0.057	2.617	0.284
201	0.065	2.663	0.288
475	0.090	2.625	0.316
975	0.118	2.546	0.325
2475	0.159	2.564	0.336



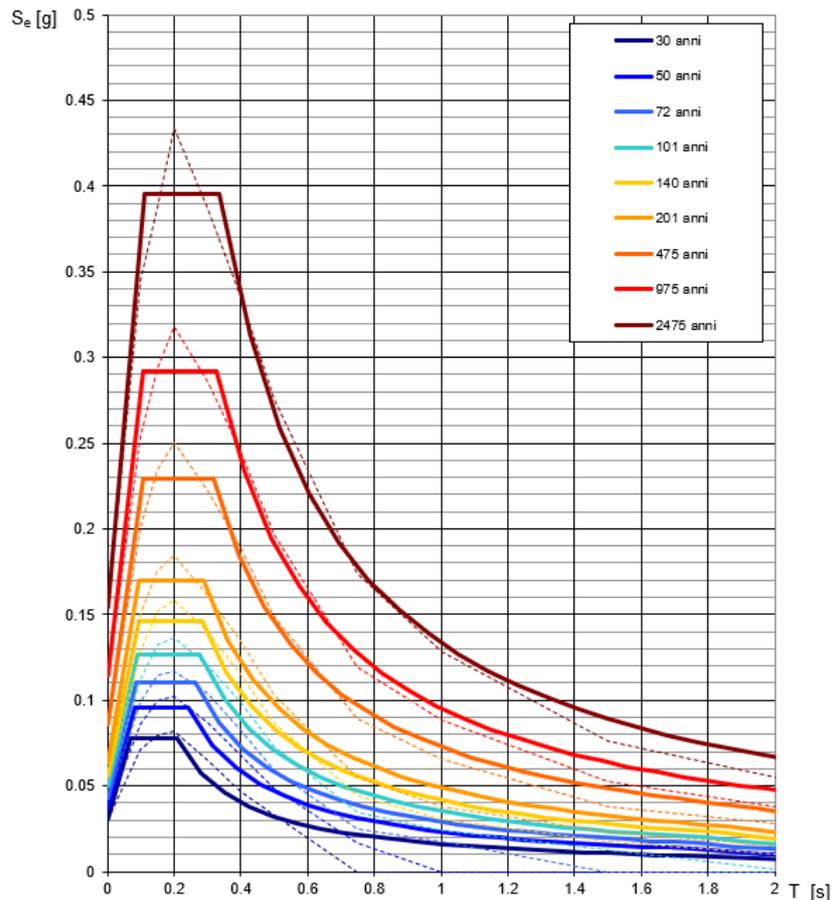
NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

**Figura 3-5: Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento. Comune di Caldonazzo**

**Tabella 3-7: Valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_{C^*}$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento. Comune di Calceranica Lago**

TR [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_{C^*}$
30	0.030	2.553	0.207
50	0.037	2.584	0.243
72	0.043	2.556	0.265
101	0.050	2.533	0.278
140	0.056	2.614	0.284
201	0.064	2.672	0.288
475	0.086	2.665	0.317
975	0.115	2.549	0.327
2475	0.154	2.570	0.337



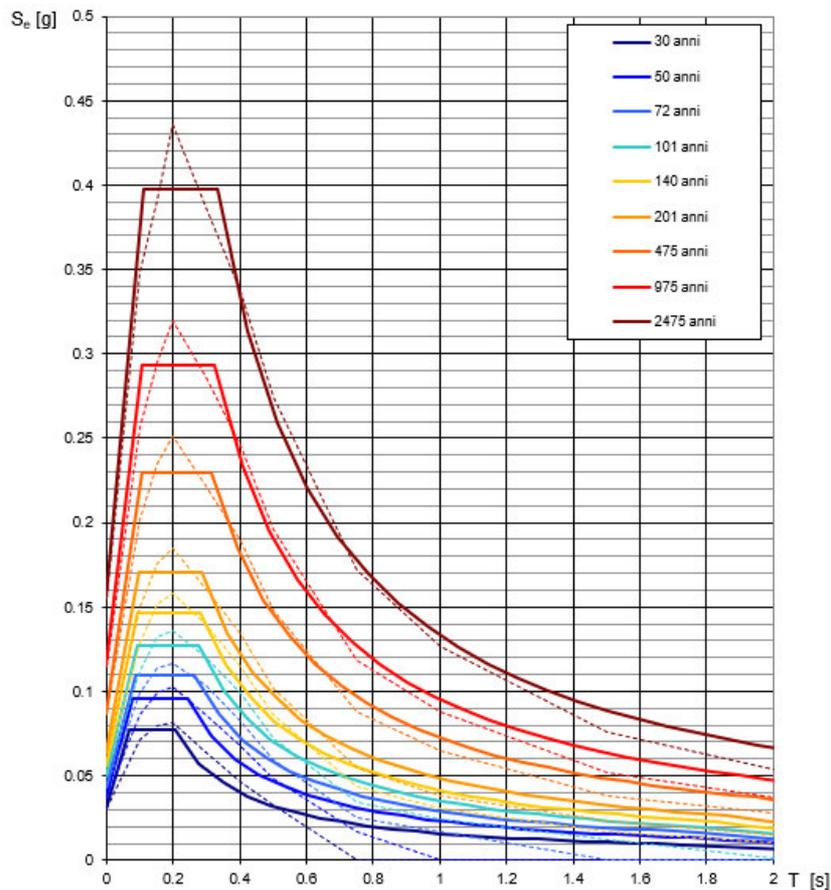
NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

**Figura 3-6: Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento. Comune di Calceranica Lago**

**Tabella 3-8: Valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_{c^*}$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento. Comune di Bosentino**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_{c^*}$
30	0.030	2.551	0.206
50	0.037	2.583	0.242
72	0.043	2.553	0.264
101	0.050	2.538	0.278
140	0.056	2.611	0.284
201	0.064	2.668	0.287
475	0.087	2.656	0.316
975	0.115	2.548	0.325
2475	0.155	2.561	0.335



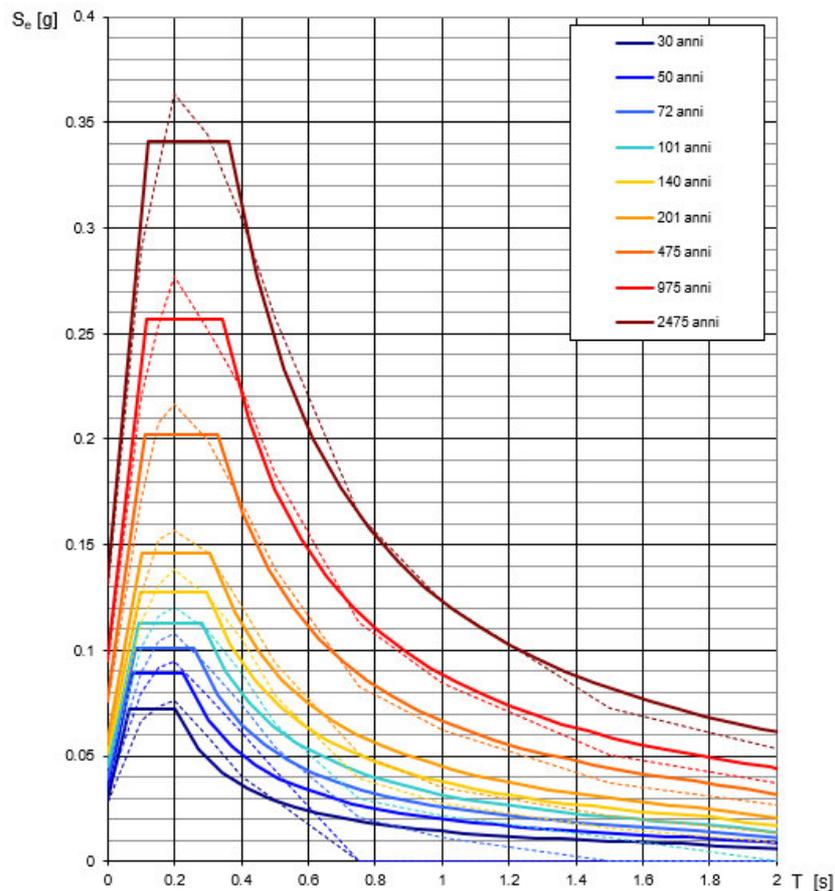
NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

**Figura 3-7: Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento. Comune di Bosentino**

**Tabella 3-9: Valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_{c^*}$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento. Comune di Pergine Valsugana**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_{c^*}$
30	0.028	2.533	0.200
50	0.035	2.555	0.226
72	0.039	2.567	0.257
101	0.045	2.515	0.281
140	0.051	2.503	0.296
201	0.057	2.568	0.306
475	0.076	2.669	0.329
975	0.095	2.697	0.344
2475	0.131	2.605	0.361



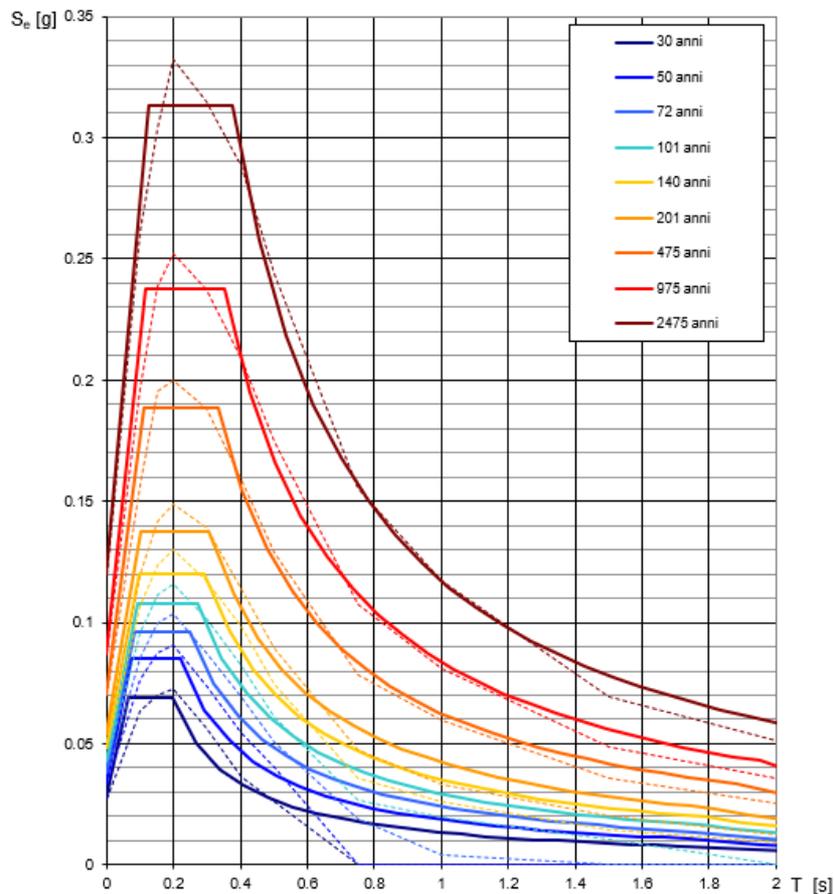
NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

**Figura 3-8: Spettri di risposta elastica per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento. Comune di Pergine Valsugana**

**Tabella 3-10: Valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_{c^*}$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento. Comune di Civezzano**

TR [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_{c^*}$
30	0.027	2.511	0.195
50	0.033	2.533	0.220
72	0.038	2.547	0.250
101	0.043	2.521	0.274
140	0.048	2.491	0.293
201	0.054	2.548	0.307
475	0.070	2.680	0.332
975	0.087	2.720	0.353
2475	0.120	2.616	0.374



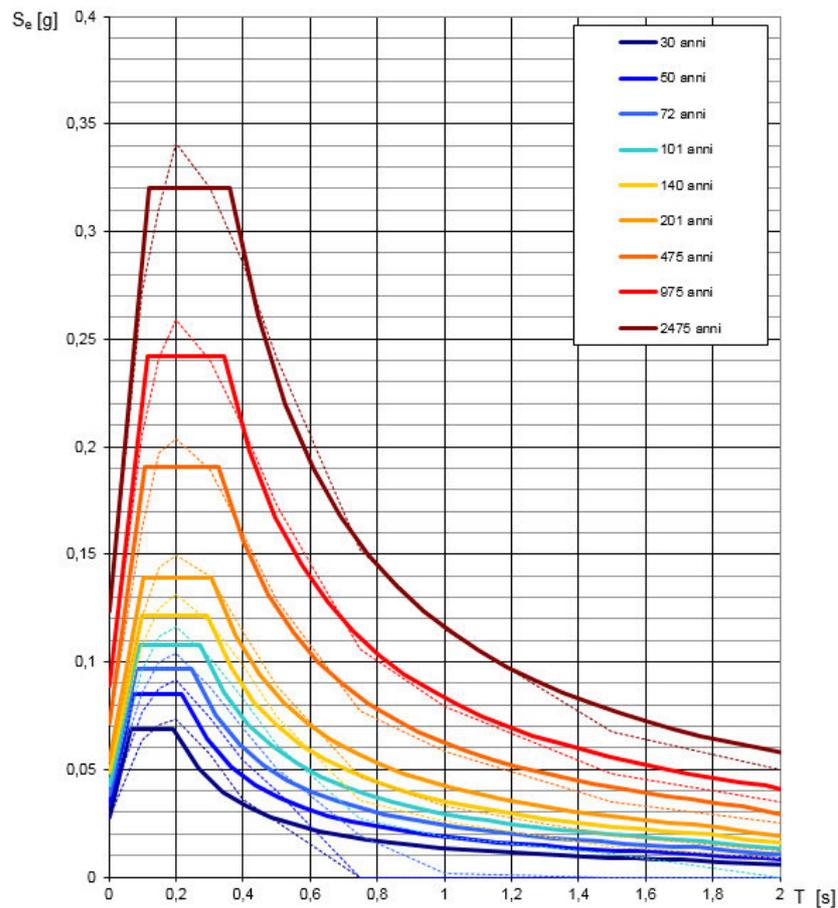
NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

**Figura 3-9: Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento. Comune di Civezzano**

**Tabella 3-11: Tabella 12. Valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_{c^*}$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento. Comune di Trento**

TR [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_{c^*}$
30	0.027	2.509	0.194
50	0.034	2.533	0.219
72	0.038	2.546	0.248
101	0.043	2.516	0.273
140	0.049	2.498	0.291
201	0.054	2.548	0.305
475	0.072	2.663	0.327
975	0.089	2.712	0.344
2475	0.123	2.595	0.362



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

**Figura 3-10: Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento. Comune di Trento**

### 3.2.4 Risposta Sismica Locale

Per i fini del presente studio, gli effetti di amplificazione stratigrafica e topografica sono stati valutati sulla base dell'approccio semplificato fornito dalle NTC2018, le quali definiscono un fattore di sito  $S$  di amplificazione sismica come funzione sia della categoria di sottosuolo ( $S_S$ ), sia dell'andamento della superficie topografica (attraverso il coefficiente  $S_T$ ):

$$S = S_S \cdot S_T$$

In particolare, il sottosuolo viene categorizzato a fini sismici in base alla velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  (in m/s) definita come:

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

dove:

- $h_i$  = spessore dell' $i$ -esimo strato;
- $V_{S,i}$  = valore di 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  $V_s \geq 800$  m/s.

Nella campagna geognostica del 2021, per la definizione della categoria di sottosuolo sono state realizzate le seguenti indagini geofisiche:

- n. 3 prove di tipo M.A.S.W.;
- n. 2 prove HVSR;
- n. 5 prove Down Hole realizzate nei fori di sondaggio TN4, TN5, TN7, TN8 e TN9.

La documentazione di dettaglio è riportata nel documento IT1J10R00IGGE0005001.

Per quanto concerne le prove M.A.S.W., nella seguente tabella sono riportati i risultati dell'indagine in termini di velocità delle onde S e di categoria di sottosuolo a fini sismici. Le indagini HVSR sono state realizzate in prossimità delle prove M.A.S.W..

**Tabella 3-13: Risultati dell'indagine M.A.S.W.**

Prova	Località	Vs,eq(0-30) [m/s]	Categoria sottosuolo
M.A.S.W. 1	Gionghi	366	B
M.A.S.W. 2 – HVSR2	Caldonazzo	450	B
M.A.S.W. 3 – HVSR1	S. Rocco	519	B

Le prove Down-Hole sono state realizzate in 5 dei 6 sondaggi realizzati nella campagna indagini 2021. Nella tabella che segue sono riportati i risultati delle prove in termini di Vs,eq e categoria di suolo.

**Tabella 3-14: Risultati dell'indagine Down Hole**

Sondaggio	Località	Vseq(0-30) [m/s]	Categoria sottosuolo
TN4	Roncogno	436	B
TN5	Pergine Valsugana	332	C
TN7	Borgo Valsugana	346,8	C
TN8	Campregheri	353	C
TN9	Roncegno	312	C

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, la maggior parte del tracciato in esame ricade in aree localizzate in ambito di pianura o alla base dei versanti. Le morfologie possono essere ricondotte ad una delle configurazioni superficiali semplici previste nel D.M. 17/01/2018 in Tabella 3.2.III. In particolare, la maggior parte della tratta può essere classificata come **categoria T1**: “Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ”, caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica  $ST = 1,0$ ”.

Le uniche emergenze topografiche sono presenti nell'area delle gole del Fersina, indicativamente tra la pk 133+500 e pk 137+500. Per questa tratta è necessario calcolare il coefficiente secondo quanto riportato nelle NTC 2018: *“La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o del rilievo, dalla sommità o dalla cresta, dove ST assume il valore massimo riportato nella Tab. 3.2.V, fino alla base, dove ST assume valore unitario”*. In base a questo enunciato, il coefficiente di amplificazione può essere stimato in 1,15.

#### 4 CAMPAGNE DI INDAGINE UTILIZZATE PER LO STUDIO GEOTECNICO

Per la redazione del presente studio sono stati utilizzati sia i risultati delle indagini geognostiche in sito e geotecniche di laboratorio della campagna eseguita da Italferr nel 2021 (IT1J10R69RGGE0001001A) sia i dati i stratigrafici provenienti dalla banca dati sondaggi della Provincia Autonoma di Trento.

##### 4.1 CAMPAGNA DI INDAGINE ITALFERR 2021

La campagna di indagini eseguita da ITALFERR nel 2021 ha compreso le seguenti tipologie di prove:

- n. 6 perforazioni meccaniche a carotaggio continuo a profondità variabile;
- n. 1 prelievo di campione indisturbato prelevato con campionatore tipo Shelby;
- n. 42 prelievi di campioni rimaneggiati;
- n. 72 prove penetrometriche dinamiche in foro (SPT);
- n. 7 prove di permeabilità in foro (n. 1 Lugeon e n. 6 Lefranc);
- n. 3 prove pressiometriche di tipo Menard;
- installazione di strumentazione in foro (n. 6 tubazione per sismica in foro).

Nella tabella che segue sono descritte le principali caratteristiche delle indagini realizzate, mentre nella successiva figura è riportata l'ubicazione delle prove.

**Tabella 4-1: Indagini in sito campagna 2021**

Denominazione punto	Profondità dal p.c	Indisturbati	Rimaneggiati	SPT	MENARD	LUGEON	LEFRANC	Tubazione per sismica in foro
	ml	n	n	n	n	n	n	ml
<b>TN4</b>	30,00		4	6		1	1	30,00
<b>TN5</b>	30,00		7	12			1	30,00
<b>TN6</b>	40,00		9	15			1	40,00
<b>TN7</b>	40,00		10	13	1		1	40,00
<b>TN8</b>	40,00		6	11	1		1	40,00
<b>TN9</b>	40,00	1	6	15	1		1	40,00



**Figura 4-1: Ubicazione Indagini in sito- Google Earth**

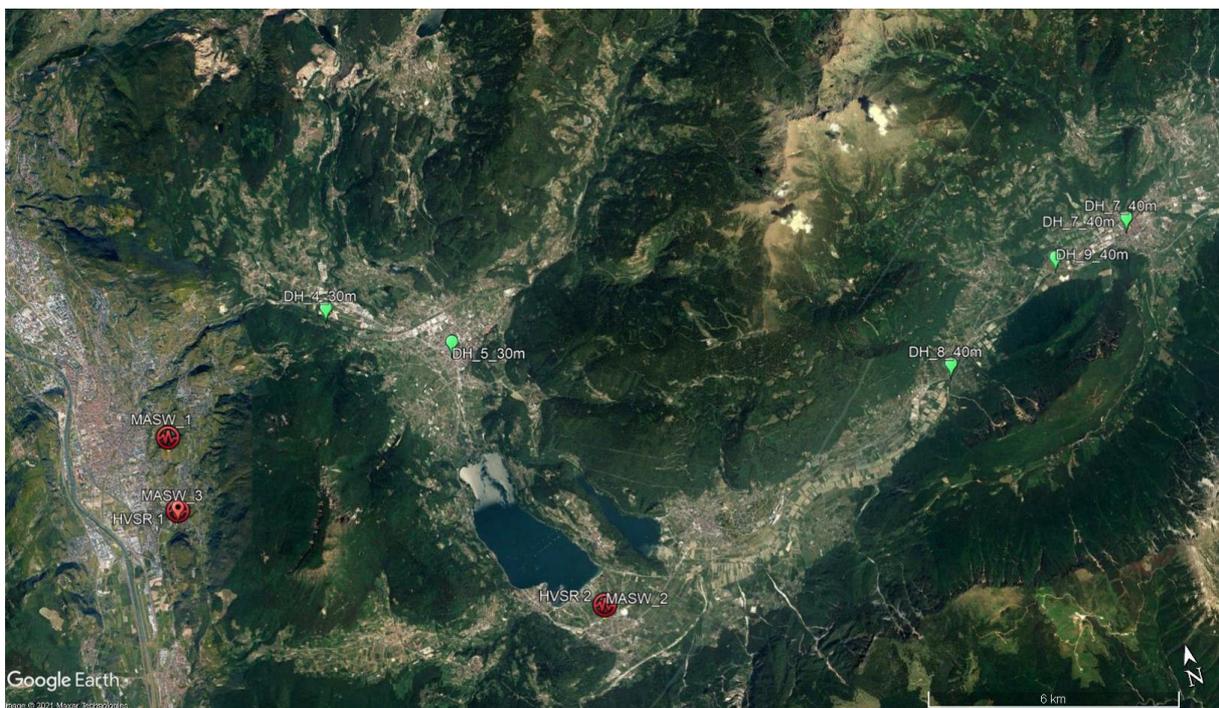
I campioni prelevati nel corso delle perforazioni sono stati analizzati al fine di determinare le caratteristiche fisiche e meccaniche dei litotipi costituenti il sottosuolo. Nella tabella che segue sono riportate le profondità di prelievo e la tipologia dei campioni prelevati ed analizzati. I campioni rimaneggiati sono indicati con la sigla CR, mentre quelli indisturbati con la sigla CI.

**Tabella 4-2: Campioni sottoposti a prove di laboratorio nella campagna 2021**

Sondaggio	Campione	Profondità [m dal p.c.]	Tipo
TN9	CI1	33,00-33,50	Indisturbato
	CR1	2,50-3,00	Rimaneggiato
	CR2	8,60-9,00	Rimaneggiato
	CR3	10,50-11,00	Rimaneggiato
	CR4	19,50-20,00	Rimaneggiato
	CR5	22,70-23,00	Rimaneggiato
	CR6	35,00-35,40	Rimaneggiato
	SPT4	6,00-6,45	SPT
	SPT5	9,00-9,45	SPT
	SPT6	12,00-12,45	SPT
	SPT7	15,00-15,45	SPT
	SPT8	18,00-18,45	SPT
	SPT9	21,00-21,45	SPT
	SPT10	24,00-24,45	SPT
	SPT11	27,00-27,45	SPT
SPT12	30,00-30,45	SPT	
SPT13	33,00-33,45	SPT	
SPT14	36,00-36,45	SPT	
SPT15	39,00-39,45	SPT	
TN8	CR1	1,50-2,00	Rimaneggiato
	CR2	4,00-4,50	Rimaneggiato
	CR3	7,60-8,00	Rimaneggiato
	CR4	14,00-14,30	Rimaneggiato
	CR5	19,00-19,50	Rimaneggiato
	CR6	28,20-28,60	Rimaneggiato
	SPT2	5,50-5,95	SPT
	SPT3	9,00-9,45	SPT
SPT4	12,00-12,45	SPT	
TN6	CR1	2,10-2,50	Rimaneggiato
	CR2	5,00-5,50	Rimaneggiato
	CR3	8,60-9,00	Rimaneggiato
	CR4	11,50-12,00	Rimaneggiato
	CR5	15,50-16,00	Rimaneggiato
	CR6	20,00-20,50	Rimaneggiato
	CR7	24,50-25,00	Rimaneggiato
	CR8	28,50-29,00	Rimaneggiato
	CR9	37,00-37,50	Rimaneggiato
TN7	CR1	-	Rimaneggiato
	CR2	4,00-4,50	Rimaneggiato
	CR3	6,00-6,50	Rimaneggiato
	CR4	8,50-9,00	Rimaneggiato
	CR5	13,00-13,50	Rimaneggiato
	CR6	17,30-17,60	Rimaneggiato
	CR7	21,10-21,60	Rimaneggiato
	CR8	26,10-26,50	Rimaneggiato
	CR9	29,00-29,50	Rimaneggiato
	CR10	32,00-32,50	Rimaneggiato
TN5	CR1	2,50-3,00	Rimaneggiato
	CR2	5,40-5,70	Rimaneggiato
	CR3	9,00-9,40	Rimaneggiato
	CR4	12,50-13,00	Rimaneggiato
	CR5	17,40-17,70	Rimaneggiato
	CR6	20,20-20,60	Rimaneggiato
	CR7	29,00-29,50	Rimaneggiato
TN4	CR1	2,60-3,00	Rimaneggiato
	CR2	3,20-3,60	Rimaneggiato
	CR3	5,00-5,30	Rimaneggiato
	CR4	6,20-6,60	Rimaneggiato

Nella campagna del 2021 sono state eseguite inoltre le seguenti indagini geofisiche:

- n°3 prospezione MASW;
- n°5 prospezione down-hole;
- n° 2 indagini HVSR;
- n°2 indagine di tomografia elettrica ERT;
- n°2 indagine sondaggi elettrici verticali (SEV). La tomografia elettrica risulta parzialmente sovrapposta alla MASW 1 e all'HVSR.

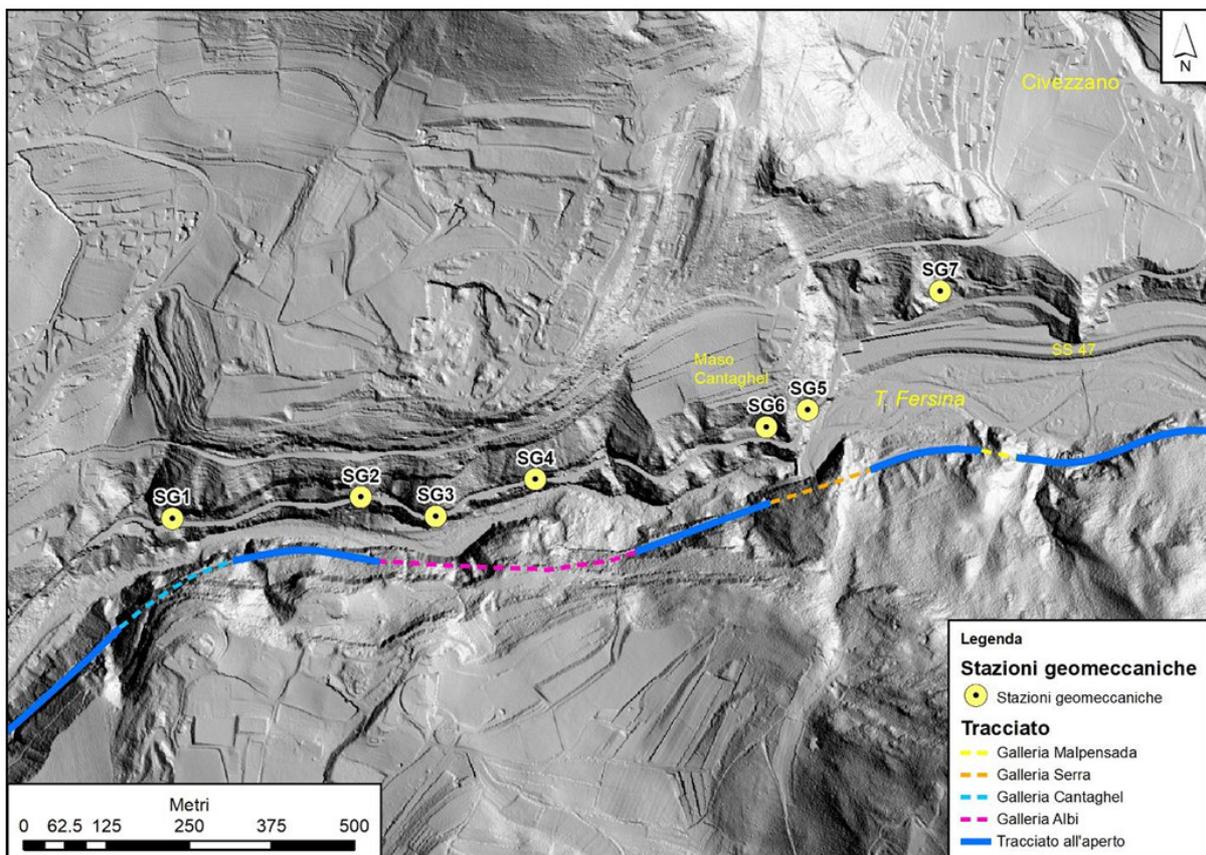


**Figura 4-2: Ubicazione Indagini geofisiche - Google Earth**

Per la caratterizzazione geomeccanica dei litotipi affioranti sono state altresì realizzate stazioni di misura geostrutturale (IT1J10R69RHGE0005002A e IT1J10R69RHGE0005003A) sulle formazioni affioranti in corrispondenza delle gallerie esistenti lungo il tracciato ferroviario. L'elaborazione dei dati acquisiti ha permesso di classificare dal punto di vista geomeccanico le porzioni rocciose oggetto dei rilievi,

utilizzando sia la classificazione di Bieniawski (1989), basata sulla stima del coefficiente RMR (*Rock Mass Rating*), sia la classificazione di Barton (1974) che utilizza l'indice Q (*Tunnelling Quality Index*).

Nello specifico sono state realizzate n° 7 stazioni geomeccaniche, la cui ubicazione è riportata nella figura seguente; per il dettaglio delle prove si rimanda agli specifici elaborati (Doc. IT1J10R69RHGE0005003A).



**Figura 4-3: Planimetria con ubicazione delle stazioni geomeccaniche**

Nel seguito vengono brevemente descritti i principali risultati della campagna di indagini; per maggiori dettagli si rimanda ai report delle stesse allegati al progetto.

#### 4.1.1 Stratigrafia dei sondaggi

I sondaggi geognostici hanno attraversato depositi quaternari, ad esclusione del TN4 che ha intercettato il substrato vulcanico a circa 9 m di profondità. Nel seguito viene descritta schematicamente la stratigrafia dei 6 sondaggi realizzati; per maggiori dettagli si rimanda al quaderno delle indagini.

**Tabella 4-3: Stratigrafie dei sondaggi campagna 2021**

Sondaggio TN4						
Profondità (m)		Spessore (m)	Descrizione	SPT	Campioni	Prove in sito
Da	a					
0	1.6	1.6	Limo e terreno organico deb. Ciottoloso (D=80mm)	1,5m: 15-50		
1.6	4.5	2.9	Ghiaia sabbiosa limosa e ciottoli	3.0m: 50	2.6m: CR1 3.2m: CR2	
4.5	5.5	1	Ghiaia sabbiosa con ciottoli da limosa a deb. Limosa	4.5m: 22-20-25	3.5m: CR2	
5.5	6	0.5	Ghiaia sabbiosa limosa e ciottoli	6.0m: 4-6-11	5.0m: CR3	5.0m: LE1
6	7.3	1.3	Limo con sabbia da argillosa deb. Argilloso	7.5m: 18-50	6.0m: CR4	
7.3	9.3	2	Ciottoli e blocchi deb. Ghiaiosi e deb. Limosi	9.0m: 50		
9.3	30	20.7	Lapilli tuff rioldatici; zone cataclastiche (gauge di faglia) tra 25 e 26.1			15.0m: LE2

Sondaggio TN5						
Profondità (m)		Spessore (m)	Descrizione	SPT	Campioni	Prove in sito
Da	a					
0	0.4	0.4	Sabbia ghiaiosa deb. Ciottolosa			
0.4	1.2	0.8	limo deb. Ghiaioso			
1.2	8.25	7.05	Ghiaia e sabbia da deb. Limosa a limosa, ciottolosa	1,5m: 12-16-21 3,0m: 26-30-35 4,5m: 20-24-29 6,0m: 50 7,5m: 126-50	2.5m: CR1 5.4m: CR2	5.2m: LE1
8.25	11	2.75	limo con ghiaia deb. Sabbioso deb ciottoloso	9.0m: 5-8-8	9.0m: CR3	
11	14	3	Sabbia e limo, ghiaiosa, localmente ciottolosa	12.0m: 7-3-7	12.5m: CR4	
14	17.3	3.3	Ghiaia sabbiosa da limosa a debolmente limosa ciottolosa	15.0m: 14-18-24		
17.3	18	0.7	limo con ghiaia		17.4m: CR5	
18	28	10	Ghiaia con limo sabbiosa deb ciottolosa	18.0m: 19-23-26 21.0m: 16-31-23 24,0m: 20-24-29 27.0m: 50	20.2m: CR6	
28	28.4	0.4	Sabbia limosa deb ghiaiosa e deb ciottolosa		29.0m: CR7	
28.4	30	1.6	Ghiaia e limo, sabbiosa			

Sondaggio TN6						
Profondità (m)		Spessore (m)	Descrizione	SPT	Campioni	Prove in sito
Da	a					
0	0.5	0.5	ghiaia sabbiosa deb limosa deb ghiaiosa			
0.5	1.2	0.7	ghiaia limosa de sabbiosa a deb. sabbiosa			
1.2	4	2.8	Ghiaia, da con sabbia a ghiaiosa deb ciottolosa	1,5m:9-11-12 3.0m: 7-10-10	2.1m: CR1	
4	5.75	1.75	ghiaia sabbiosa deb limosa deb ciottolosa	4.5m: 11-16-15	5.0m: CR2	5.0m: LE1
5.75	8	2.25	sabbia ghiaiosa da limosa a deb. ciottolosa	6.0m:30-37-35 7.5m: 35-40-44		
8	9.5	1.5	ghiaia sabbiosa deb limosa	9.0m: 50	8.6m: CR3	
9.5	11.45	1.95	ghiaia da sabbiosa a con sabbiosa deb limosa			
11.45	13.3	1.85	sabbia ghiaiosa da limosa a debolmente limosa deb ciottolosa	12.0m: 33-50	11.5m: CR4	
13.3	40	26.7	ghiaia da limosa a con limo da deb sabbiosa a sabbiosa deb ciottolosa	15.0m: 16-24-29 18.0m: 19-29-31 21.0m: 28-34-34 24.0m: 34-30-35 27.0m: 28-36-40 30.0m: 25-30-26 33.0m: 29-29-21 36.0m: 19-22-19 39.0m: 28-30-31	15.5m: CR5 20.0m: CR6 24.5m: CR7 28.5m: CR8 37.0m: CR9 20.0m: CR6	

Sondaggio TN7						
Profondità (m)		Spessore (m)	Descrizione	SPT	Campioni	Prove in sito
Da	a					
0	1.5	1.5	Ciottoli e ghiaie sabbiose (ballast)			
1.5	7.5	6	sabbia con ghiaia localmente ghiaiosa ciottolosa	1,5m: 12-12-15 3.0m: 8-8-14 4,5m: 7-9-11	2.0m: CR1 4.0m: CR2 5.0m: CR3	5.5m: PM1
7.5	21	13.5	ghiaia da sabbiosa a con ghiaia deb limosa debolmente ciottolosa	7.5m: 16-31-44 12.0m: 26-100 15,0m: 22-33-39 18.0m: 15-30-34	8.5m: CR4 13.0m: CR5 17.3m: CR6	12.0m: LE1
21	23.6	2.6	argilla da limosa a con limo da con sabbia a sabbiosa ghiaiosa da molto consistente a consistente	22.5m: 50	21.0m: CR7	
23.6	28.2	4.6	sabbia da ghiaiosa a con ghiaia limosa	24.0m:19-22-25 27.05m: 50	26.1m: CR8	
28.2	33	4.8	sabbia con limo ghiaiosa localmente con ghiaia	30.0m: 100	29.0m: CR9 32m: CR10	
33	40	7	ghiaia ciottolosa localmente sabbiosa localmente deb. Limosa	33.5m: 100		

**Sondaggio TN8**

Profondità (m)		Spessore (m)	Descrizione	SPT	Campioni	Prove in sito
Da	a					
0	0.4	0.4	sabbie ghiaiose deb limosa			
0.4	2.4	2	ghiaia con ciottoli da sabbiosa a deb sabbiosa	1.5m: 50	1.5m: CR1	
2.4	4.6	2.2	Argilla con limo localmente argilloso limosa localmente deb sabbiosa e deb ghiaiosa		4.0m: CR2	3.0m: PM1
4.6	6	1.4	Argilla limosa deb sabbiosa con livelli centimetrici di limo sabbioso argilloso	5.5m: 7-6-6		5.0m: LE1
6	6.3	0.3	trovante litico (marmo)			
6.3	7.3	1	ghiaia ciottolosa sabbiosa			
7.3	8.1	0.8	argilla torbosa		7.6m: CR3	
8.1	8.5	0.4	sabbia limoso ghiaiosa deb argillosa			
8.5	10.6	2.1	argilla da deb limosa a limosa	9.0m: 7-5-7		
10.6	11.2	0.6	limo sabbioso argilloso localmente con argilla			
11.2	12.5	1.3	sabbia da media a grossolana da ghiaiosa a con ghiaia limosa	12.0m: 39-27-14		12.0m: LE1
12.5	14.5	2	limo con argilla sabbioso con livelli di torba		14.0m: CR4	
14.5	40	25.5	Ghiaia con ciottoli o trovanti, localmente deb. Sabbiosa limosa molta addensata	19.0m: 43-100 21.0m: 50 24.0m: 37-100 27.0m: 50 30.0m: 50 33.5m: 33-100 39.0m: 43-100	19.0m: CR5 28.2m: CR6	

**Sondaggio TN9**

Profondità (m)		Spessore (m)	Descrizione	SPT	Campioni	Prove in sito
Da	a					
0	1	1	Sabbia ghiaiosa, localmente deb. Limosa			
1	2.7	1.7	Ghiaia con sabbia ciottolosa molto addensata	1.5m: 21-27-31	2.5m: CR1	
2.7	4.7	2	Ghiaia con sabbia ciottolosa loc. deb limosa moderatamente addensata	3.0m: 11-11-15 4.5m: 8-9-10		3.0m: LE1
4.7	5.5	0.8	sabbie fini con limo deb ghiaiose			
5.5	6.3	0.8	limo con argilla da sabbioso a deb sabbioso	6.0m: 8-9-13		
6.3	9.9	3.6	limo con argilla e sabbia fine	9.0m: 3-5-9	8.6m: CR2	7.5m: PM1
9.9	11	1.1	sabbia fine limosa		10.5m: CR3	
11	12	1	limo sabbioso argilloso da ghiaioso a deb ghiaioso			
12	15	3	limo argilloso da deb sabbioso a sabbioso	12.0m: 5-5-6		
15	16	1	sabbia con ghiaia limosa	15.0m: 7-11-17		
16	19.4	3.4	argilla con limo deb sabbiosa, plasticità elevata, poco consistente	18.0m: 6-6-7		
19.4	25.4	6	argilla con limo, localmente deb sabbiosa con livelli di torba, plasticità da media a elevata da consistente a moderatamente consistente	21.0m: 7-7-9 24.0m: 7-9-12	19.5m: CR4 22.7m: CR5	
25.4	37.4	12	argilla con limo, localmente deb sabbiosa, con rare ghiaie, con livelli di torba, plasticità da media a bassa da consistente a moderatamente consistente	27.0m: 7-10-11 30.0m: 6-11-14 33.6m: 5-10-12 36.0m: 8-12-13	33.0m: C11 35.0: CR6	
37.4	40	2.6	argilla con limo, localmente deb sabbiosa, con rare ghiaie, con livelli di torba, plasticità da media a bassa da consistente a localmente molto consistente	39.0m: 11-12-14		

#### 4.1.2 Prove SPT

Nella successiva tabella sono riportati i valori dell'indice Nspt registrati durante le perforazioni di sondaggio.

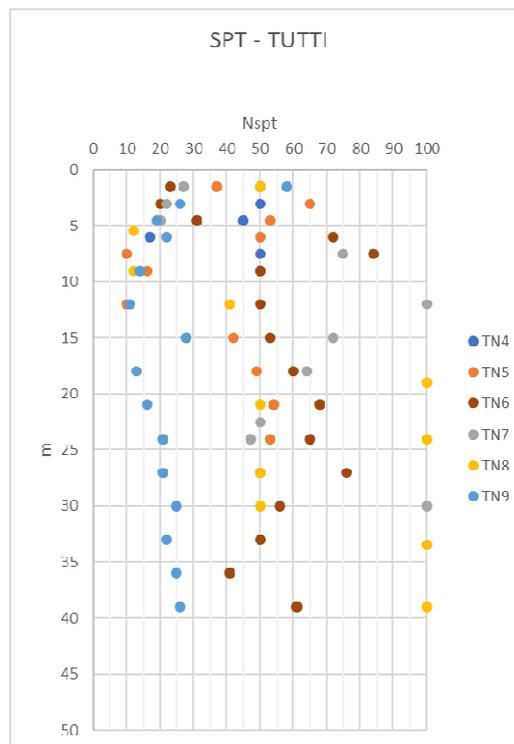
**Tabella 4-4: Risultati prove SPT campagna 2021**

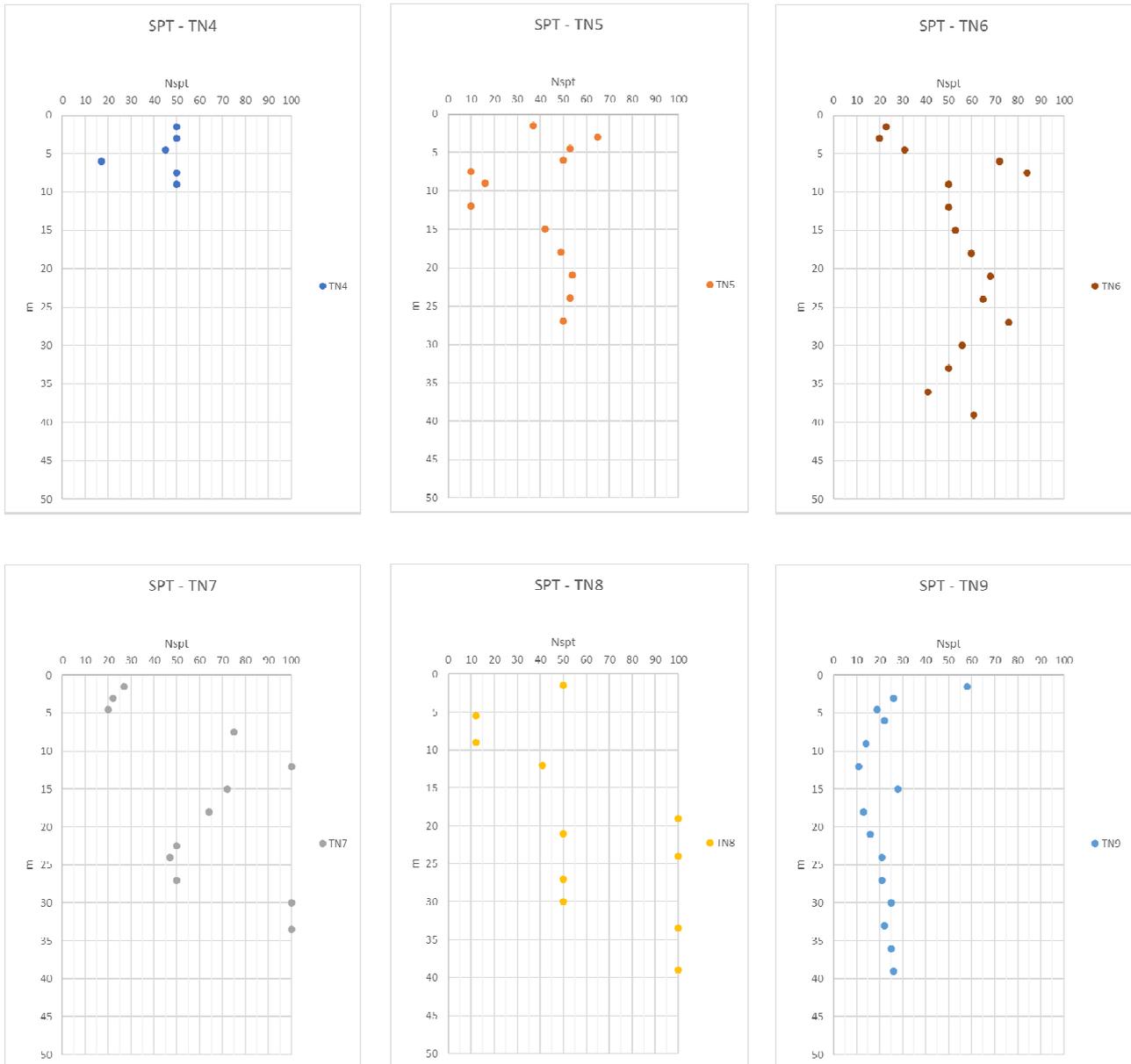
Sondaggio	profondità	N1	N2	N3	Nspt
TN4	1.5	15	50		50
TN4	3	50			50
TN4	4.5	22	20	25	45
TN4	6	4	6	11	17
TN4	7.5	18	50		50
TN4	9	50			50
TN5	1.5	12	16	21	37
TN5	3	26	30	35	65
TN5	4.5	20	24	29	53
TN5	6	50			50
TN5	7.5	7	3	7	10
TN5	9	5	8	8	16
TN5	12	7	3	7	10
TN5	15	14	18	24	42
TN5	18	19	23	26	49
TN5	21	16	31	23	54
TN5	24	20	24	29	53
TN5	27	50			50
TN6	1.5	9	11	12	23
TN6	3	7	10	10	20
TN6	4.5	11	16	15	31
TN6	6	30	37	35	72
TN6	7.5	35	40	44	84
TN6	9	50			50
TN6	12	33	50		50
TN6	15	16	24	29	53
TN6	18	19	29	31	60
TN6	21	28	34	34	68
TN6	24	34	30	35	65
TN6	27	28	36	40	76
TN6	30	25	30	26	56
TN6	33	29	29	21	50
TN6	36	19	22	19	41
TN6	39	28	30	31	61
TN7	1.5	12	12	15	27
TN7	3	8	8	14	22
TN7	4.5	7	9	11	20
TN7	7.5	16	31	44	75
TN7	12	26	100		100
TN7	15	22	33	39	72
TN7	18	15	30	34	64
TN7	22.5	50			50
TN7	24	19	22	25	47
TN7	27.05	50			50
TN7	30	100			100
TN7	33.5	100			100
TN8	1.5	50			50
TN8	5.5	7	6	6	12
TN8	9	7	5	7	12
TN8	12	39	27	14	41
TN8	19	43	100		100
TN8	21	50			50

**RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IT1J	10	RH	GE0006001	B	61 di 158

TN8	24	37	100		100
TN8	27	50			50
TN8	30	50			50
TN8	33.5	100			100
TN8	39	100			100
TN9	1.5	21	27	31	58
TN9	3	11	11	15	26
TN9	4.5	8	9	10	19
TN9	6	8	9	13	22
TN9	9	3	5	9	14
TN9	12	5	5	6	11
TN9	15	7	11	17	28
TN9	18	6	6	7	13
TN9	21	7	7	9	16
TN9	24	7	9	12	21
TN9	27	7	10	11	21
TN9	30	6	11	14	25
TN9	33	5	10	12	22
TN9	36	8	12	13	25
TN9	39	11	12	14	26





**Figura 4-4: Risultati prove SPT campagna 2021 (singoli sondaggi)**

### 4.1.3 Prove di permeabilità

Le prove Lefranc e Lugeon effettuate nei sondaggi, hanno evidenziato le permeabilità indicate nella tabella sottostante.

**Tabella 4-5: Risultati prove Lefranc**

Sondaggio	Tipo prova	Profondità prova (m da p.c.)	Profondità falda (m da p.c.)	K (m/sec)	Litologia tasca filtrante
TN4	Lefranc a carico variabile	5.0 – 5.6	3.88	1.6e-06	Ghiaia limosa sabbiosa
TN4	Lugeon	15.0 – 16.0	2.5	7.88e-07	Lapilli tuff rioldatici
TN5	Lefranc a carico costante	5.2 – 5.7	-	2.1e-04	Ghiaia sabbiosa
TN6	Lefranc a carico costante	5.0 – 5.5	-	2.3e-04	Ghiaia sabbiosa
TN7	Lefranc a carico costante	12.0 – 12.5	-	7.2e-05	Ghiaia sabbiosa
TN8	Lefranc a carico variabile	5.0 – 5.5	-	1.44e-06	Argilla limosa
TN9	Lefranc a carico costante	3.0 – 3.6	2.19	2.1e-04	Ghiaia sabbiosa

#### 4.1.4 Prove pressiometriche

Le prove pressiometriche, tipo Menard, hanno evidenziato i parametri di deformabilità e resistenza indicati in tabella.

**Tabella 4-6: Risultati prove pressiometriche tipo Menard**

Sondaggio	Tipo prova	Profondità prova	Profondità falda	E	cu	$\phi$	Litologia
		(m da p.c.)	(m da p.c.)	MPa	kPa	°	
					(per terreni coesivi)	(per terreni granulari)	
TN7	Menard	5.5-6.1	5	88.16	177.98	38.31	sabbia con ghiaia limosa
TN8	Menard	3.0-3.6	2.71	5.89	56.58	25.35	argilla con limo
TN9	Menard	7.5-9.0	2.71	5.25	65.64	26.8	argilla con limo

#### 4.1.5 Indagini geofisiche

Nelle tabelle che seguono sono elencate le indagini geofisiche svolte.

**Tabella 4-7: Quadro delle indagini geofisiche effettuate**

ID Prova	Lunghezza (m)	Coordinate inizio linea (A)	Coordinate fine linea (B)
MASW 1	80	46° 3'21.39"N11°8'32.00"E	46° 3'20.01"N11°8'35.19"E
MASW2	79	45°59'49.87"N 11°15'45.06"E	45°59'50.10"N11°15'48.74"E
MASW 3	67	46° 2'22.04"N11°8'25.77"E	46° 2'23.80"N11°8'27.72"E
ERT1	70	46° 3'2.83"N11°27'20.30"E	46° 3'3.99"N 11°27'17.46"E
ERT2	71	45°59'49.84"N 11°15'45.08"E	45°59'50.10"N 11°15'48.38"E

ID Prova	Coordinate
HVSR 1	46° 2'22.49"N,11°8'26.53"E
HVSR 2	45°59'49.83"N,11°15'46.95"E
DH4 30	46° 4'29.23"N11°11'58.79"E
DH5 30	46° 3'37.92"N11°14'9.68"E
DH7 40	46° 3'2.86"N 11°27'18.97"E
DH8 40	46° 1'43.58"N11°23'15.56"E
DH9 40	46° 2'45.53"N11°25'46.16"E
SEV1	46° 3'2.83"N11°27'20.30"E
SEV2	46° 3'2.83"N11°27'20.30"E

### Indagini MASW

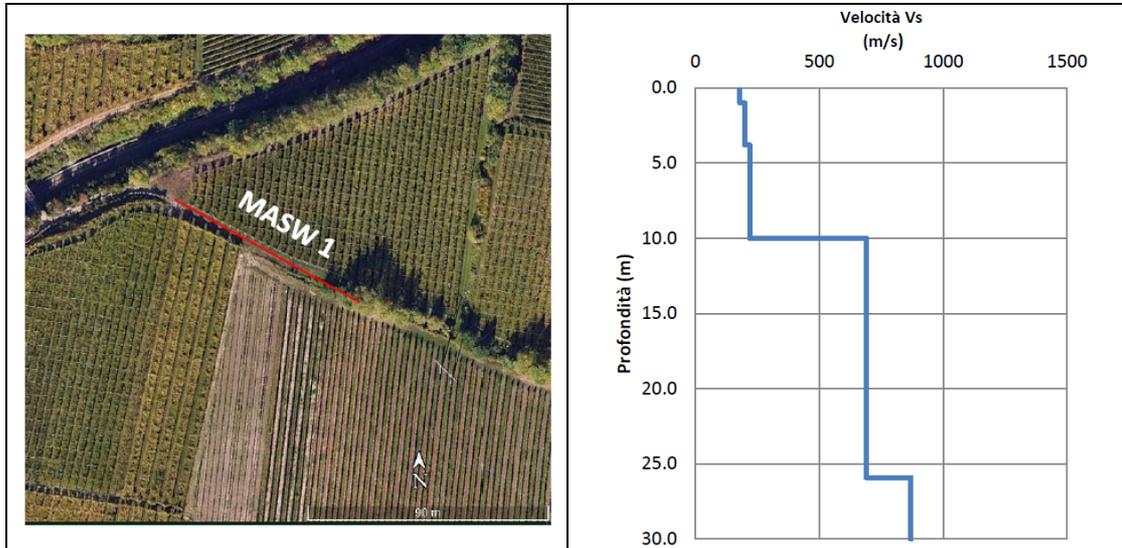
Sulla base dei sismo-strati individuati, è stato calcolato un parametro di Vs Equivalente pari a 366 m/s per la MASW 1, 450 m/s per la MASW 2 e 527 m/s per la MASW 3. Pertanto, si riscontra la presenza di terreno che va a collocarsi nella categoria di suolo **B**, secondo la nuova normativa NTC2018.

L'indagine MASW 1 ha fornito delle informazioni riguardanti la presenza del bedrock sismico ad una profondità poco superiore ai 26 m dal p.c.; per tale motivo i grafici Velocità-Profondità in allegato grafico mostrano i valori di Vs fino a 26 m dal piano campagna.

La MASW 1 mostra due principali aumenti di velocità, uno a circa 3 m dal p.c. in cui le Vs aumentano da 180 e 200 m/s e un altro a circa 16 m dal p.c. in cui le Vs aumentano a 690 m/s. Il bedrock sismico è stato intercettato a circa 25 m di profondità con Vs che aumentano fino a 870 m/s.

**Tabella 4-8: MASW1 - Modello sismo-stratigrafico e categoria di suolo**

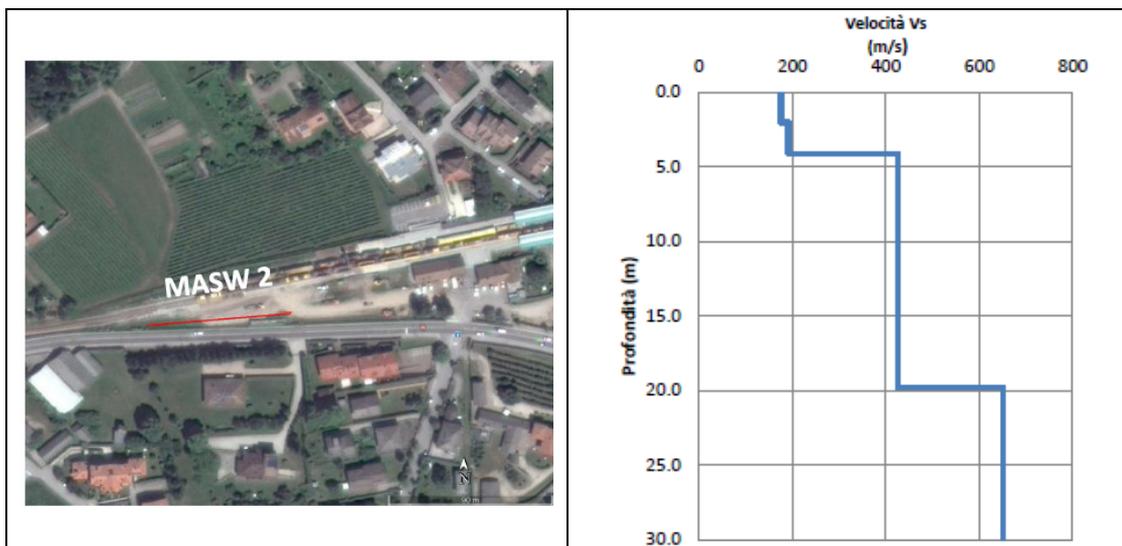
Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)	Vs <sub>eq(0-30)</sub>	366 m/s
1	0.00	1.00	1.00	180.00		
2	1.00	3.80	2.80	200.00		
3	3.80	10.00	6.20	220.00		
4	10.00	25.90	15.90	690.00		
5	25.90	inf.	inf.	870.00		
					<b>Suolo</b>	<b>B</b>



La MASW 2 mostra due principali aumenti di velocità, uno a circa 4 m dal p.c. in cui le Vs aumentano da circa 190 e 425 m/s e un altro a circa 20 m dal p.c. in cui le Vs aumentano a 650 m/s.

**Tabella 4-9: MASW2 Modello sismo-stratigrafico e categoria di suolo**

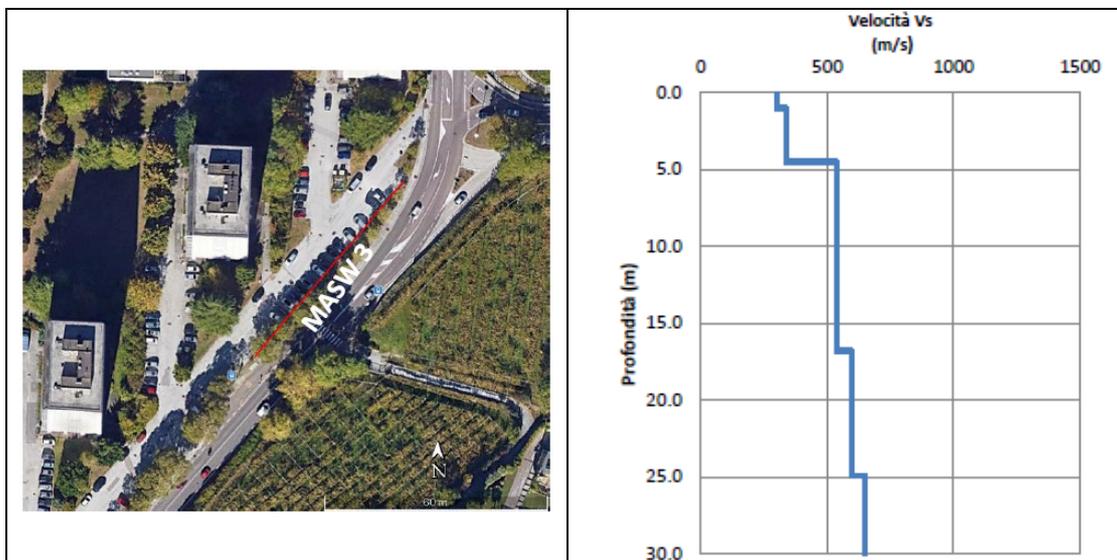
Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)	V <sub>seq(0-30)</sub>	400 m/s
1	0.00	2.00	2.00	175.00		
2	2.00	4.10	2.10	191.00		
3	4.10	19.80	15.70	425.00		
4	19.80	inf.	inf.	650.00		
					<b>Suolo</b>	<b>B</b>



La MASW 3 mostra due principali aumenti di velocità, uno a circa 3.5 m dal p.c. in cui le Vs aumentano da 300 e 340 m/s e un altro a circa 16 m dal p.c. in cui le Vs aumentano a 540 m/s.

**Tabella 4-10: MASW3 Modello sismostratigrafico e categoria di suolo**

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)	V <sub>Seq(0-30)</sub>	519 m/s
1	0.00	1.00	1.00	300.00		
2	1.00	4.50	3.50	340.00		
3	4.50	16.80	12.30	540.00		
4	16.80	24.90	8.10	600.00		
5	24.90	inf.	inf.	650.00		

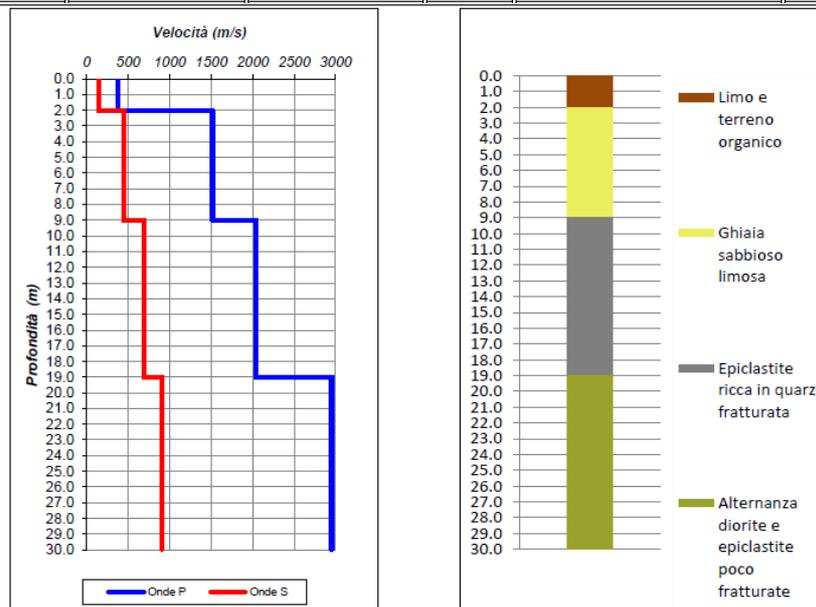


**Indagini DOWH HOLE**

La prova down-hole, effettuata nel foro di sondaggio TN4, ha evidenziato la presenza di bedrock sismico (Vs > 900 m/s) a circa 19m da p.c.. La prova evidenzia, fino a 2 m dal p.c., la presenza di materiale di limo e terreno organico caratterizzato da valori medi di Vp di 970 m/s e di Vs di 149.14 m/s mentre, da 9 m a 19 m di profondità si riscontra la presenza di ghiaia sabbioso limosa e epiclastite ricca in quarzo fratturata caratterizzata da valori crescenti di Vp e Vs fino a circa 2039 m/s e Vs di 693 m/s, rispettivamente. A circa 19 m di profondità si evince la presenza di alternanza di diorite e epiclastite poco fratturate che restituiscono valori di Vp e Vs di 2953 m/s e 907 m/s, rispettivamente.

**Tabella 4-11: DOWN HOLE TN4 - Modello sismo-stratigrafico e categoria di suolo**

Profondità base(m)	Onde P	Onde S	Poisson	Young (MPa)	Share (MPa)	Bulk (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
	Velocità (m/sec)	Velocità (m/sec)					
2.00	377.47	149.14	0.41	104.91	37.27	189.04	16.8
9.00	1514.79	444.87	0.45	1094.27	376.61	3864.34	19.0
19.00	2039.72	693.76	0.43	2772.87	966.43	7065.37	20.1
30.00	2953.51	907.03	0.45	5219.20	1802.29	16706.94	21.9

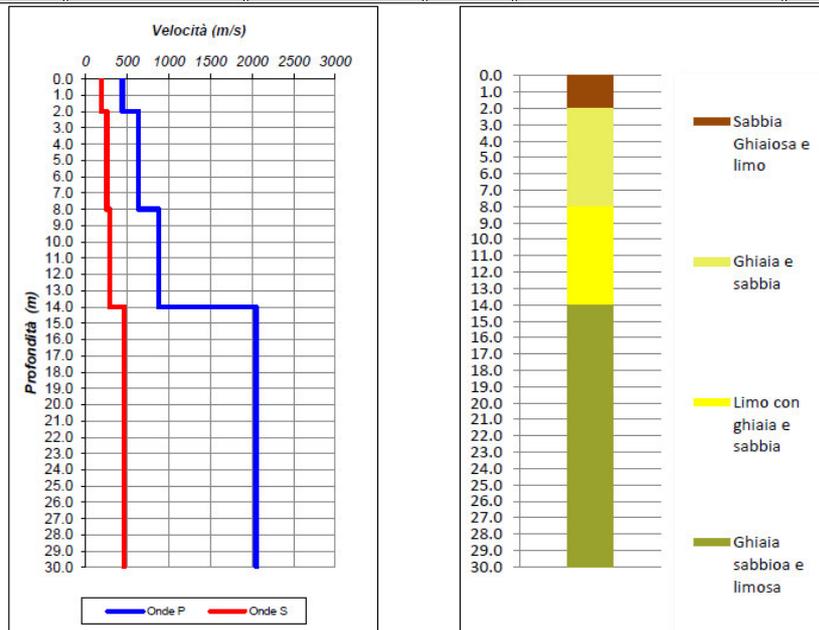


$V_{s \text{ eq (0-19)}}$	Suolo
436	B

La prova down-hole, effettuata nel foro di sondaggio TN5, non ha evidenziato la presenza di bedrock sismico ( $V_s > 459$  m/s) entro i primi 30 m di terreno indagato. La prova evidenzia, fino a 2 m dal p.c., la presenza di materiale di riporto e sabbia ghiaiosa e limo caratterizzato da valori medi di  $V_p$  di 440 m/s e di  $V_s$  di 188 m/s mentre, da 8 m a 14 m di profondità si riscontra la presenza di ghiaia e sabbia da valori crescenti di  $V_p$  e  $V_s$  fino a circa 880 m/s e di 286 m/s, rispettivamente. Da 14 m a 30 m di profondità si riscontra la presenza di limo con ghiaia e sabbia caratterizzata da valori di  $V_p$  di 2049 m/s e  $V_s$  di 459 m/s. A circa 30 m di profondità si evince la presenza di ghiaia sabbiosa e limosa che restituiscono valori di  $V_p$  e  $V_s$  di 2049 m/s e 459 m/s, rispettivamente.

**Tabella 4-12- DOWN HOLE TN5 - Modello sismostratigrafico e categoria di suolo**

Profondità base(m)	Onde P	Onde S	Poisson	Young (MPa)	Share (MPa)	Bulk (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
	Velocità (m/sec)	Velocità (m/sec)					
2.00	440.94	188.09	0.39	165.89	59.72	248.60	16.9
8.00	633.06	251.47	0.41	307.10	109.19	546.39	17.3
14.00	880.59	286.26	0.44	419.43	145.54	1183.21	17.8
30.00	2049.87	459.77	0.47	1252.17	424.89	7879.28	20.1

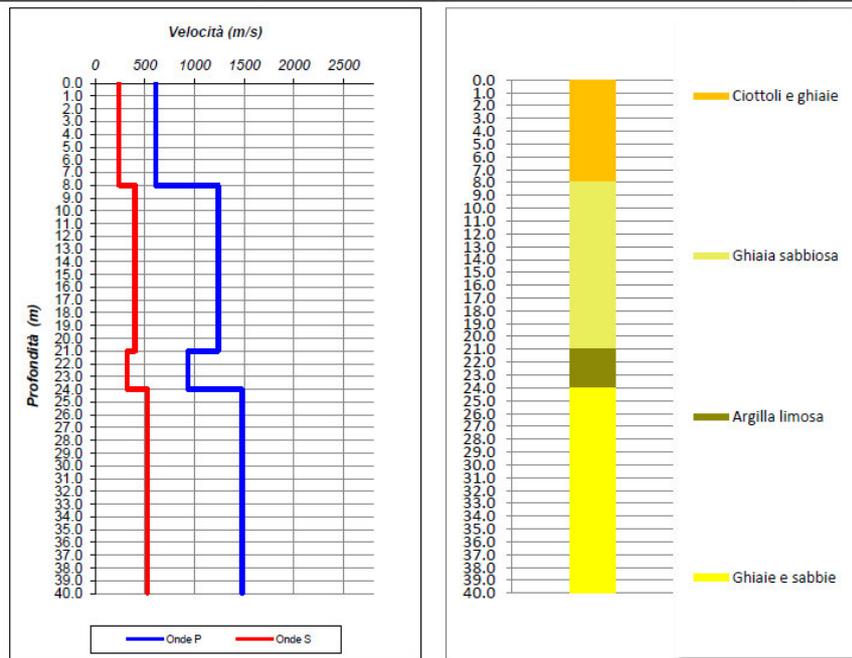


$V_s$ eq (0-30)	Suolo
332	C

La prova down-hole, effettuata nel foro di sondaggio TN7, non ha evidenziato la presenza di bedrock sismico ( $V_s > 525$  m/s) entro i primi 40 m di terreno indagato. Nello specifico, la prova DH evidenzia, fino a 8 m dal p.c., la presenza di materiale di riporto e ciottoli e ghiaie caratterizzato da valori medi di  $V_p$  di 611 m/s e di  $V_s$  di 239 m/s. Da 8 m a 21 m di profondità si riscontra la presenza ghiaia sabbiosa e argilla limosa caratterizzata da valori crescenti di  $V_p$  e  $V_s$  fino a circa 1236 m/s e di 400 m/s, rispettivamente. A circa 40 m di profondità si evince la presenza di ghiaie e sabbie che restituiscono valori di  $V_p$  e  $V_s$  di 1470 m/s e 525 m/s, rispettivamente.

**Tabella 4-13: DOWN HOLE TN7 - Modello sismo-stratigrafico e categoria di suolo**

Profondità base(m)	Onde P	Onde S	Poisson	Young (MPa)	Share (MPa)	Bulk (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
	Velocità (m/sec)	Velocità (m/sec)					
8.00	611.19	239.47	0.41	278.38	98.76	511.67	17.2
21.00	1236.70	400.96	0.44	856.09	296.99	2429.36	18.5
24.00	936.12	323.73	0.43	536.46	187.30	1316.44	17.9
40.00	1478.01	525.65	0.43	1495.47	523.77	3442.60	19.0

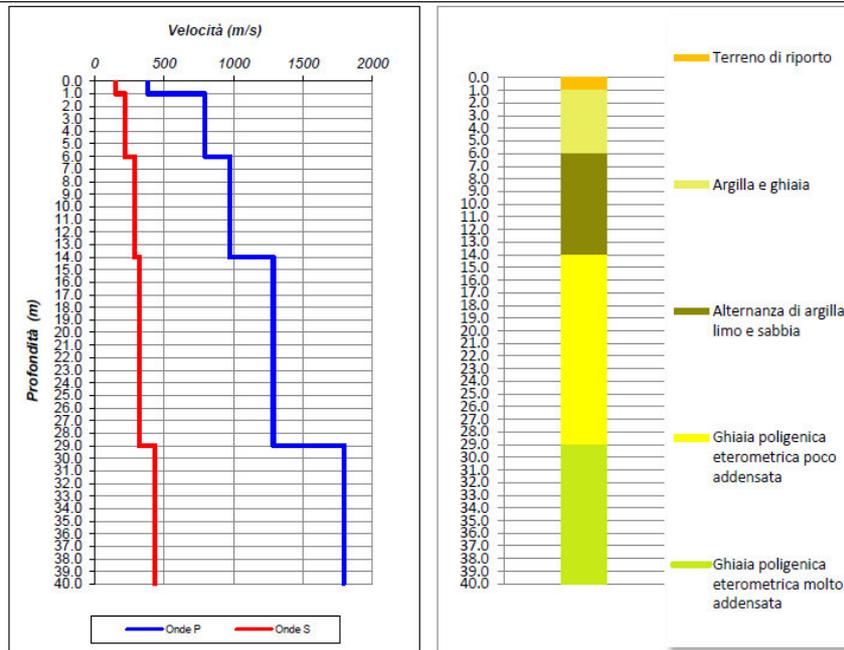


TN7	Profondità		Spessore	Vs	H	Vs,eq
	da	a				
Sismostrato			m	(m/s)	m	(m/s)
1	0	8	8	239,47	30	346,7779
2	8	21	13	400,96		
3	21	24	3	323,73		
4	24	30	6	525,65		

La prova down-hole, effettuata nel foro di sondaggio TN8, non ha evidenziato la presenza di bedrock sismico ( $V_s > 353$  m/s) entro i primi 40 m di terreno indagato. La prova evidenzia, fino a 1 m dal p.c., la presenza di materiale di riporto caratterizzato da valori medi di  $V_p$  di 382 m/s e di  $V_s$  di 151 m/s. Da 2 m a 6 m di profondità si riscontra la presenza di argilla e ghiaia caratterizzata da valori crescenti di  $V_p$  e  $V_s$  fino a circa 794 m/s e di 218 m/s, rispettivamente. Da 14 m a 29 m di profondità si riscontra alternanza di limo e sabbia caratterizzata da valori crescenti di  $V_p$  e  $V_s$  fino a circa 1286 m/s e di 320 m/s, rispettivamente. A circa 40 m di profondità si evince la presenza di ghiaia poligenica eterometrica molto addensata che restituiscono valori di  $V_p$  e  $V_s$  di 1793 m/s e 433 m/s, rispettivamente.

**Tabella 4-14: DOWN HOLE TN8 - Modello sismo-stratigrafico e categoria di suolo**

Profondità base(m)	Onde P	Onde S	Poisson	Young (MPa)	Share (MPa)	Bulk (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
	Velocità (m/sec)	Velocità (m/sec)					
1.00	382.39	151.76	0.41	108.62	38.61	193.66	16.8
6.00	794.13	218.34	0.46	244.69	83.85	997.39	17.6
14.00	973.30	285.16	0.45	424.11	145.94	1505.52	17.9
29.00	1286.14	320.03	0.47	558.09	190.22	2818.51	18.6
40.00	1793.73	433.80	0.47	1082.89	368.60	5810.76	19.6

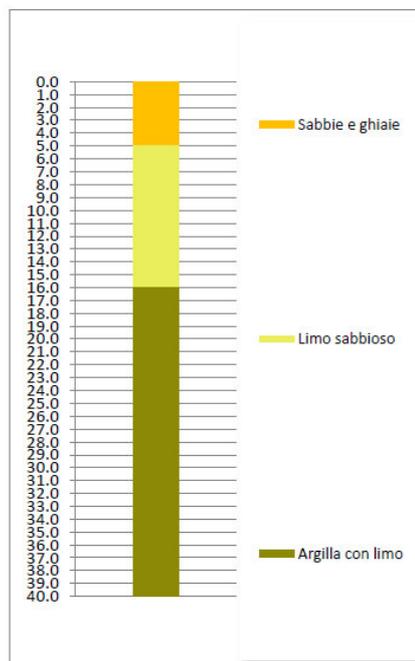
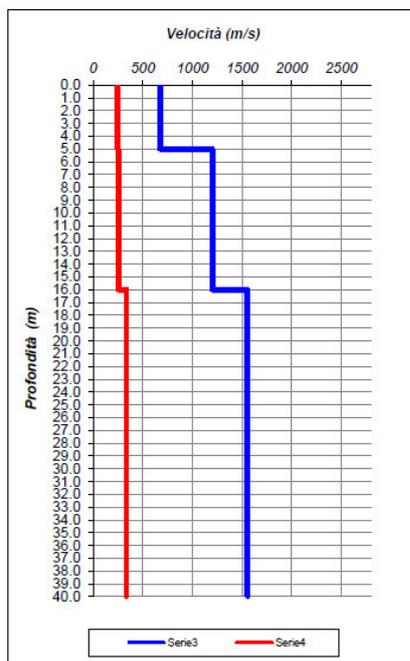


TN8	Profondità		Spessore	Vs	H	Vs,eq	SUOLO
Sismostrato	da	a	m	(m/s)	m	(m/s)	-
1	0	1	1	151,8	30,0	281,1	C
2	1	6	5	218,3			
3	6	14	8	285,2			
4	14	29	15	320,0			
5	29	30	1	433,8			

La prova down-hole, effettuata nel foro di sondaggio TN9, non ha evidenziato la presenza di bedrock sismico ( $V_s > 336$  m/s) entro i primi 40 m di terreno indagato. Nello specifico, la prova DH evidenzia, fino a 5 m dal p.c., la presenza di ghiaie e sabbie caratterizzato da valori medi di  $V_p$  di 674 m/s e di  $V_s$  di 245 m/s. Da 5 m a 16 m di profondità si riscontra la presenza limo sabbiosa caratterizzata da valori crescenti di  $V_p$  e  $V_s$  fino a circa 1201 m/s e di 253 m/s, rispettivamente. Da 16 m a 29 m di profondità si riscontra alternanza di argilla con limo caratterizzata da valori crescenti di  $V_p$  e  $V_s$  fino a circa 1554 m/s e di 336 m/s, rispettivamente.

**Tabella 4-15; DOWN HOLE TN9 - Modello sismo-stratigrafico e categoria di suolo**

Profondità base(m)	Onde P	Onde S	Poisson	Young (MPa)	Share (MPa)	Bulk (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
	Velocità (m/sec)	Velocità (m/sec)					
5.00	674.62	245.25	0.42	297.17	104.35	650.45	17.3
16.00	1201.64	253.28	0.48	348.68	118.06	2499.93	18.4
40.00	1554.02	336.16	0.48	637.18	215.93	4326.66	19.1



TN9	Profondità		Spessore	Vs	H	Vs,eq	SUOLO
Sismostrato	da	a	m	(m/s)	m	(m/s)	-
1	0	5	5	245,3	30,0	284,5	C
2	5	16	11	253,3			
3	16	30	14	336,2			

### **Indagini ERT**

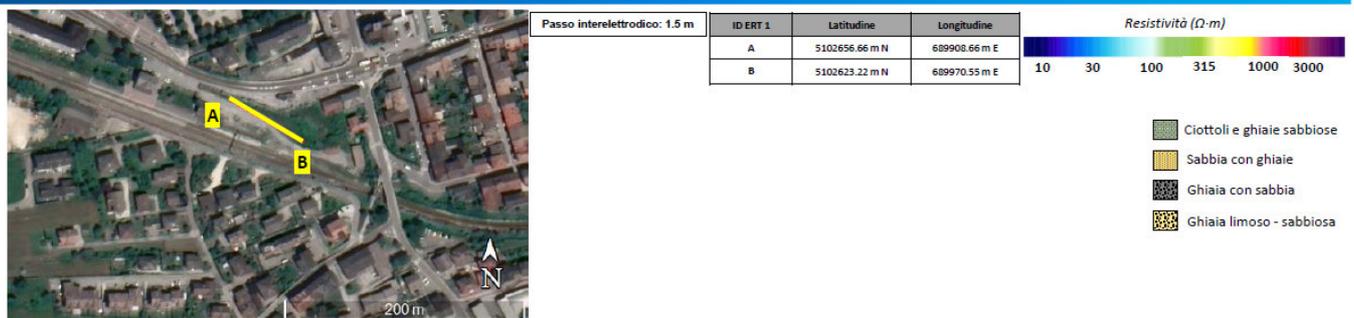
L'indagine ha consentito di ottenere due tomografie di misura di resistività lungo due profili 2d dell'area d'indagine, che ha permesso di ricostruire le caratteristiche stratigrafiche fino ad una profondità di circa 12-13 m. Da una prima analisi è possibile definire un modello stratificato con alternanza di elettrostrati a differenti valori di resistività. I valori di resistività misurati presentano un range di resistività compreso tra 10 Ohm·m a 3000 Ohm·m.

In particolare, dall'analisi della tomografia di resistività ERT 1 è possibile definire un modello elettrostratigrafico come descritto: a partire dal p.c., si rileva un costante aumento delle resistività elettriche; in particolare, nel settore sud-est della tomografia si riscontra la presenza di un'area, a circa 7 m dal p.c.,

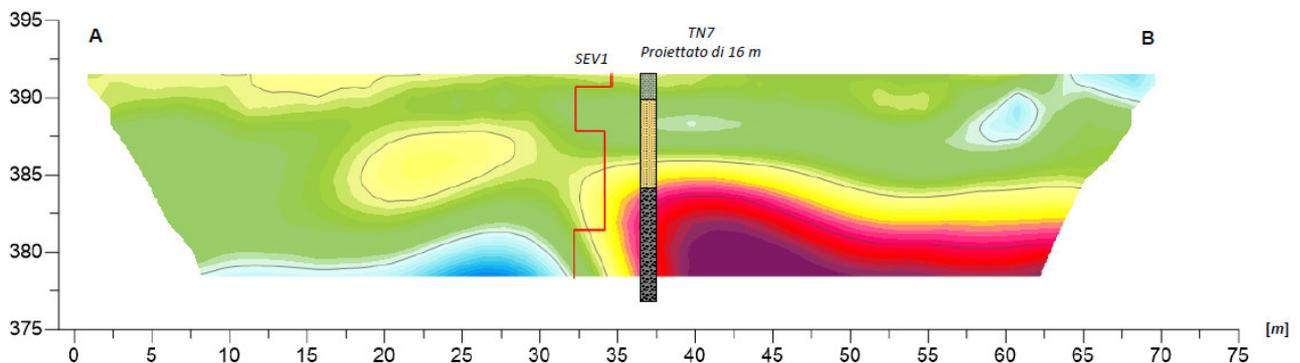
caratterizzata da valori di resistività superiori a 1000 Ohm·m associabile alla presenza di ghiaia sabbiosa, come suggerirebbe il sondaggio geognostico TN7. Nel settore nord-ovest dell'area indagata si rileva, a circa 10 – 11 m dal p.c., un'area fortemente conduttiva associabile probabilmente alla presenza di terreni a grana fine.

**TAVOLA N°3**

Tomografia di resistività elettrica –ERT1


**ERT1**

Quota ellissoidica [m]



La tomografia ERT2 mostra la presenza di un elettro-strato fortemente resistivo ( $\rho \geq 1000$  Ohm·m) nei primi 5 m dal p.c. suggerendo la presenza di terreni a grana grossa probabilmente arenati e/o antropici. L'assenza di sondaggi geognostici lungo il profilo, non consente di vincolare l'indagine dal punto di vista litologico. Inoltre, al di sotto dei 5 m dal p.c., si riscontra un aumento dei valori di conducibilità il quale suggerirebbe la presenza di litologie caratterizzate da una granulometria più fine; tuttavia sono presenti lenti di materiale mediamente più grossolano.

**TAVOLA N°4**

Tomografia di resistività elettrica –ERT2



Passo interelettrodo: 1.5 m

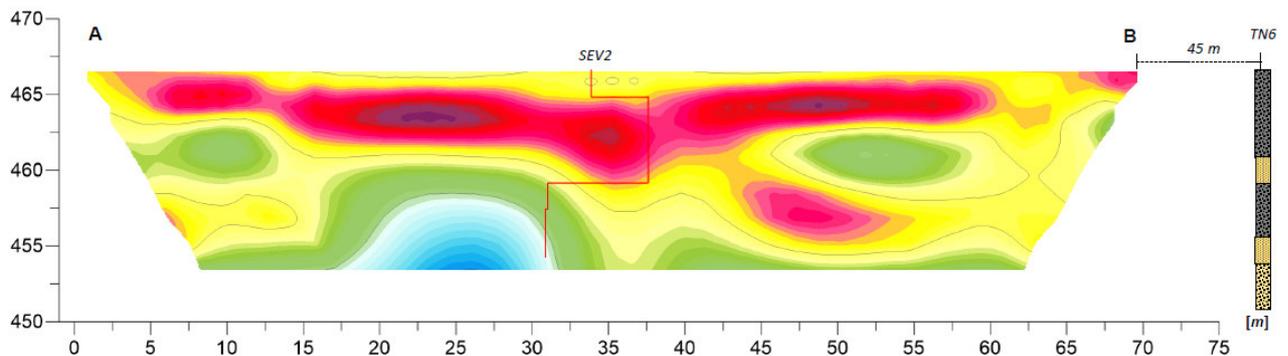
ID ERT 2	Latitudine	Longitudine
A	5096222.42 m N	675199.79 m E
B	5096232.06 m N	675270.12 m E



-  Ciottoli e ghiaie sabbiose
-  Sabbia con ghiaie
-  Ghiaia con sabbia
-  Ghiaia limoso - sabbiosa

ERT2

Quota ellissoidica [m]

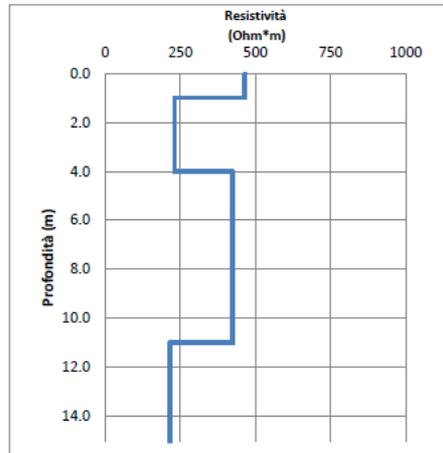


**Indagini SEV**

Il SEV1 mostra la presenza di due elettrostrati caratterizzati da valori di  $\rho$  di circa 460 – 420 Ohm·m collocati, rispettivamente ad una profondità di 0 -1 m e 4 – 11 m dal p.c.; inoltre sono presenti altri due elettrostrati più conduttivi con valori di  $\rho$  intorno ai 220 Ohm·m i quali suggerirebbero la presenza di litologie caratterizzata da un aumento di matrice a grana fine.

**Tabella 4-16: Risultati SEV1**

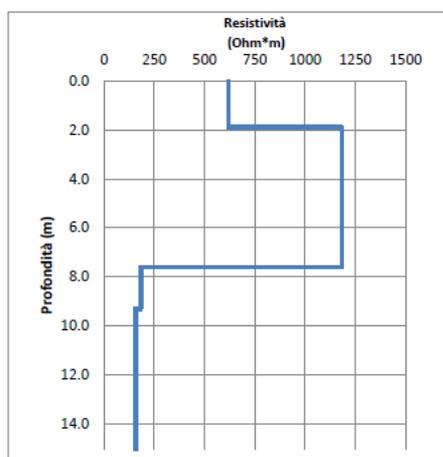
Sismostrato	Profondità		Spessore	Resistività
1	0.00	1.00	1.00	465.00
2	1.00	4.00	3.00	231.00
3	4.00	11.00	7.00	424.00
4	11.00	inf.	inf.	215.00



Il SEV2 mostra un graduale decremento dei valori di resistività che passano da circa 620 a 80 Ohm·m ad eccezione di un elettrostrato presente tra 2 e 8 m di profondità caratterizzato da valori di resistività di circa 1180 Ohm·m i quali suggerirebbero la presenza di terreni ghiaiosi e/o arenati.

**Tabella 4-17: Risultati SEV2**

Sismostrato	Profondità		Spessore	Resistività
1	0.00	1.90	1.90	619.00
2	1.90	7.60	5.70	1184.00
3	7.60	9.30	1.70	182.00
4	9.30	32.70	23.40	156.00
5	32.70	inf.	inf.	80.00

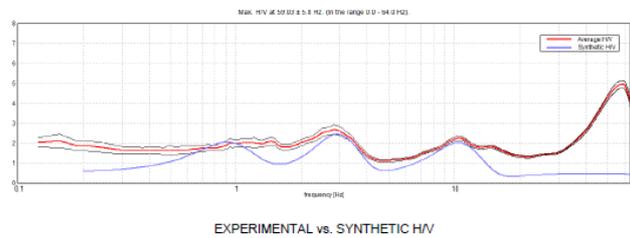


**Indagini HVSR**

La prova HVSR1, adiacente alla MASW 3, mostra velocità già abbastanza elevate già dai primi metri e un incremento a 503m/s a 4 m di profondità e un ulteriore aumento di velocità a 16 m di profondità (668 m/s).



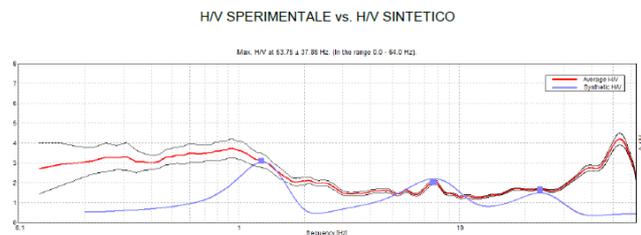
Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
3.00	3.00	302
22.00	19.00	590
122.0	100.0	752
inf.	inf.	900



La prova HVSR2, adiacente alla MASW 2, mostra un netto aumento delle velocità da 168 m/s a 340 m/s a circa 2 m di profondità; mostra un netto aumento delle velocità da 340 m/s a 565 m/s a circa 11 m di profondità; il basamento sismico è individuato a circa 88 m dal p.c., con valori di velocità che arrivano a 1006 m/s.



Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
2.00	2.00	168
11.00	9.00	340
88.00	77.0	565
inf.	inf.	1006



#### 4.1.6 Rilievi geomeccanici

Lungo le scarpate in prossimità della linea ferroviaria sono state eseguite complessivamente n° 7 stazioni geomeccaniche. Nelle tabelle che seguono si riporta una sintesi dei principali risultati, mentre per maggiori dettagli si rimanda alle schede dei rilievi (doc. IT1J10R69RGGE0001002A-3A)

**Tabella 4-18: Risultati rilievi Geomeccanici**

STAZIONE	Litotipo	$\sigma_c$ (MPa)	Spaziatura media (mm)	K1		K2		K3		S	
				Imm	Inc	Imm	Inc	Imm	Inc	Imm	Inc
SG1	Calcari	105	60-200	114	88	10	82			310	4
SG2	Calcari	66	60-200	125	85	199	86			160	1
SG3	Calcari	-	60-200	116	85	194	85				
SG4	Calcari	66	60-200	132	88	221	88			260	7
SG5	Calcari	65	60-200	122	88	200	89				
SG6	Calcari	84	60-200	111	64	36	75			250	32
SG7	Dolomia principale	79	60-200	25	69	151	58	199	85		

STAZIONE	Litotipo	RMR base	Q	GSI
SG1	Calcari	60	2.31	50-60
SG2	Calcari	56	2.1	50-60
SG3	Calcari	57	2.1	50-60
SG4	Calcari	56	2.1	50-60
SG5	Calcari	56	2.1	50-60
SG6	Calcari	57	2.1	50-60
SG7	Dolomia principale	54	0.8	40-50

## 4.2 CAMPAGNE DI INDAGINI PREGRESSE

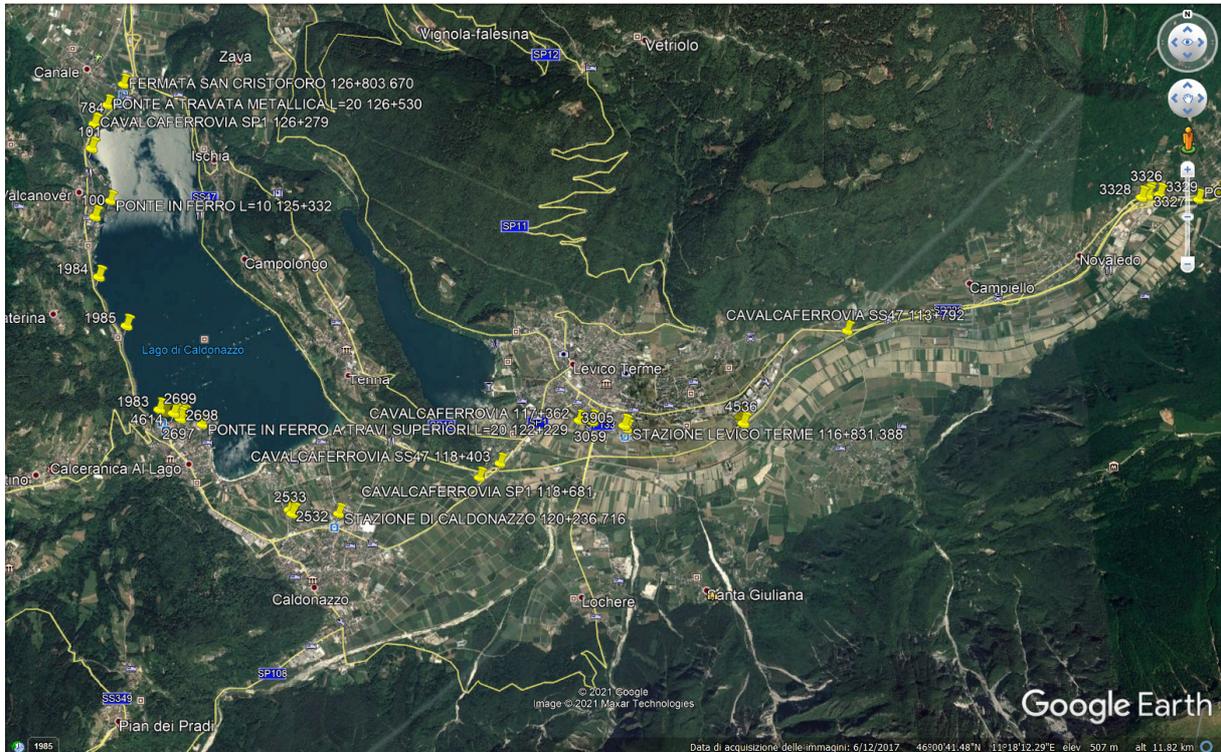
Per quel che riguarda i dati stratigrafici provenienti dalla banca dati sondaggi della Provincia Autonoma di Trento, nell'area oggetto di studio il dataset di indagini disponibili è costituito da 508 stratigrafie. Sono inoltre disponibili 2 sondaggi stratigrafici realizzati durante la campagna indagini Italferr 2020-21 per il Lotto 3 dell'accesso sud alla galleria di base del Brennero (TN4 ubicato a Mesiano e TN6 ubicato in zona Casteller), 6 sondaggi stratigrafici realizzati nella presente fase progettuale e un sondaggio stratigrafico realizzato da Dolomiti Energie per la ricerca geotermica nella zona di San Rocco.

Nella figura sono presenti i sondaggi che ricadono a ridosso della linea nel primo lotto in progetto. Per ciascun sondaggio è riportata una descrizione della lito-stratigrafia e l'eventuale presenza della falda.



**RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IT1J	10	RH	GE0006001	B	78 di 158



**Figura 4-5: Planimetria con ubicazione delle indagini pregresse**

## 5 INDICAZIONI SULLA FALDA

Le caratteristiche idrogeologiche generali dell'area in esame sono descritte in uno specifico capitolo della Relazione Geologica.

I livelli di falda sono stati definiti in primo luogo sulla base delle letture piezometriche effettuate nell'ambito della campagna Italferr 2021. La tabella seguente descrive la posizione del livello di falda misurata in corrispondenza delle operazioni di perforazione e in successive misurazioni. I valori dei livelli di falda  $z_w$  sono espressi in metri come soggiacenza della stessa dal piano campagna. Nella stessa tabella sono indicati i sondaggi presi a riferimento.

**Tabella 4-1: letture piezometriche – sondaggi 2021**

SONDAGGIO	LIVELLO FALDA DA P.C. (m)
TN4	2.4
TN5	9.5
TN6	14.9
TN7	38.7
TN8	6.7
TN9	3.7

Sono stati presi in considerazione inoltre i livelli di falda rilevati nei sondaggi pregressi. Nella tabella che segue sono riportati i valori di falda riportati nelle stratigrafie presenti nella banca dati della provincia di Trento.

**Tabella 4-1: letture piezometriche – sondaggi pregressi**

SONDAGGIO	LIVELLO FALDA DA P.C. (m)	SONDAGGIO	LIVELLO FALDA DA P.C. (m)
4137	3.54	3903	5.58
3327	0.2	2110	6.6
4536	4.8	3377	3.46
4614	4.48	3376	4.28
100	5.4	606	4.18
101	2.4	2016	4.8
2562	2	2009	6.57
2489	5.2	2008	6.81
2490	5.3	2007	6.64
2491	5.5	3876	7.03
2492	5.4	3834	6.1
1658	1.2	2002	6.05
3904	4.76	2003	6.3
3902	7.5	2001	5.03
3901	9.78	1999	6.75

## 6 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI TERRENI INTERFERENTI CON LA LINEA FERROVIARIA

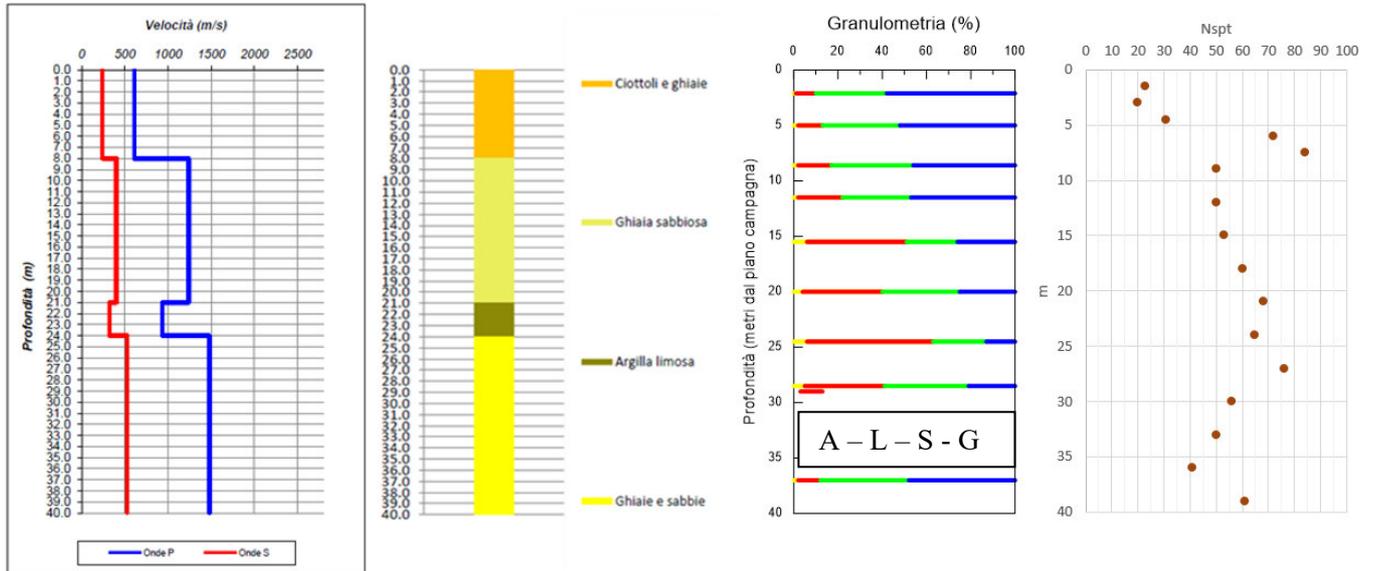
Di seguito, per diverse tratte del tracciato che presentano caratteristiche geologiche omogenee, vengono descritti le principali caratteristiche litostratigrafiche del tracciato e le indagini effettuate nella singola tratta. In uniformità alla relazione geologica le distanze sono riferite ad uno 0 corrispondente alla stazione di Borgo Valsugana Est (indicativamente alla progressiva 102+528,050). Tra parantesi sono riportate anche le progressive della linea ferroviaria.

I riporti antropici presenti lungo le tratte sono attribuibili al rilevato ferroviario e al ballast ivi presente.

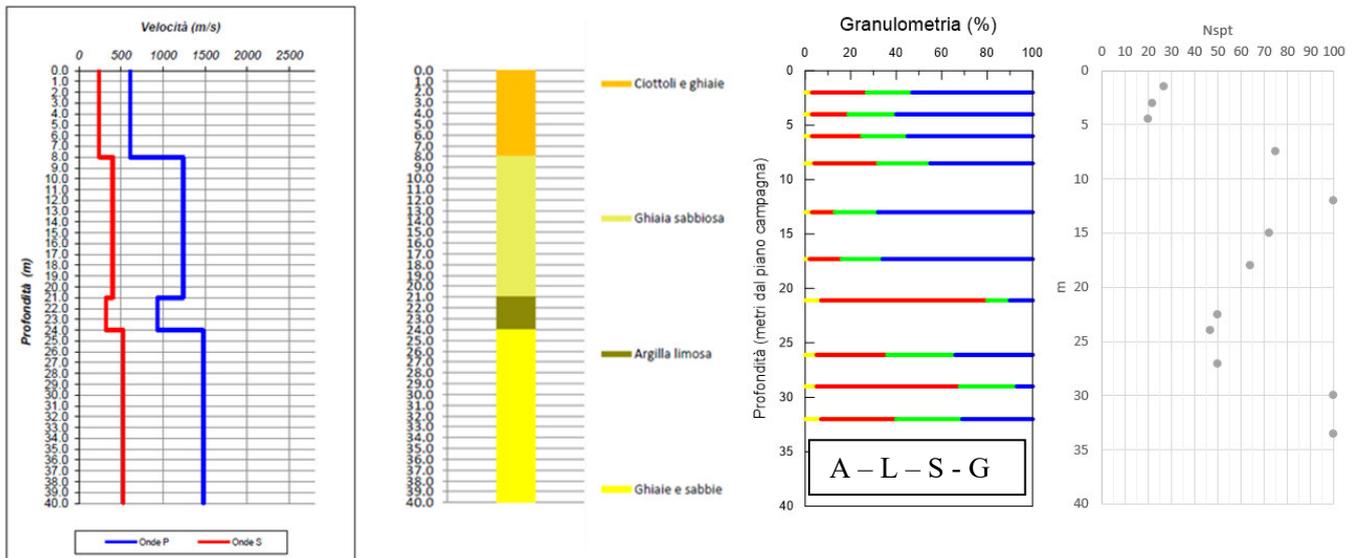
### Tratta 0+000 (pk 102+528) – 20+250 (123+028): Valsugana

La prima tratta si sviluppa nell'area centrale della Valsugana, lungo la pianura intravalliva del fiume Brenta. Il fondovalle in cui scorre il Brenta è costituito da depositi quaternari fluviali interdigitati, ai bordi, con le conoidi alluvionali e/o detritiche appartenenti ai corsi d'acqua tributari dell'asta principale. I depositi sono costituiti essenzialmente da terreni grossolani ghiaioso-sabbiosi di origine fluviale e/o fluvio-glaciale passanti, a luoghi, a depositi lacustri e palustri fini, in particolare nelle aree di interferenza con le conoidi laterali. Le conoidi sono altresì costituite da depositi grossolani ghiaioso-sabbiosi.

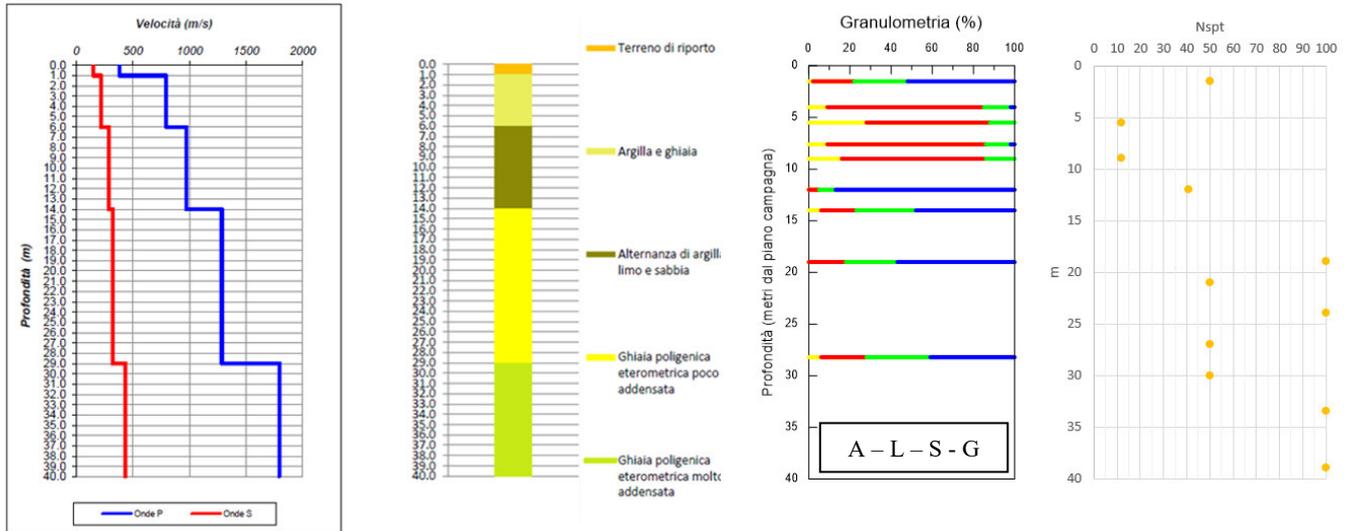
Nella campagna del 2021 in questa zona sono stati realizzati i sondaggi TN7, TN9, TN8 e TN6 che hanno evidenziato la presenza di terreni costituiti prevalentemente da ghiaie sabbiose e con sabbia, con intercalati strati di limo sabbioso ghiaioso debolmente argilloso. Fa eccezione il sondaggio TN9 dove lungo tutta la verticale sono stati intercettati terreni costituito da limo sabbioso debolmente argilloso. Nelle figure che seguono sono descritte le granulometrie intercettate lungo la verticale ed i risultati delle prove effettuate lungo le verticali.



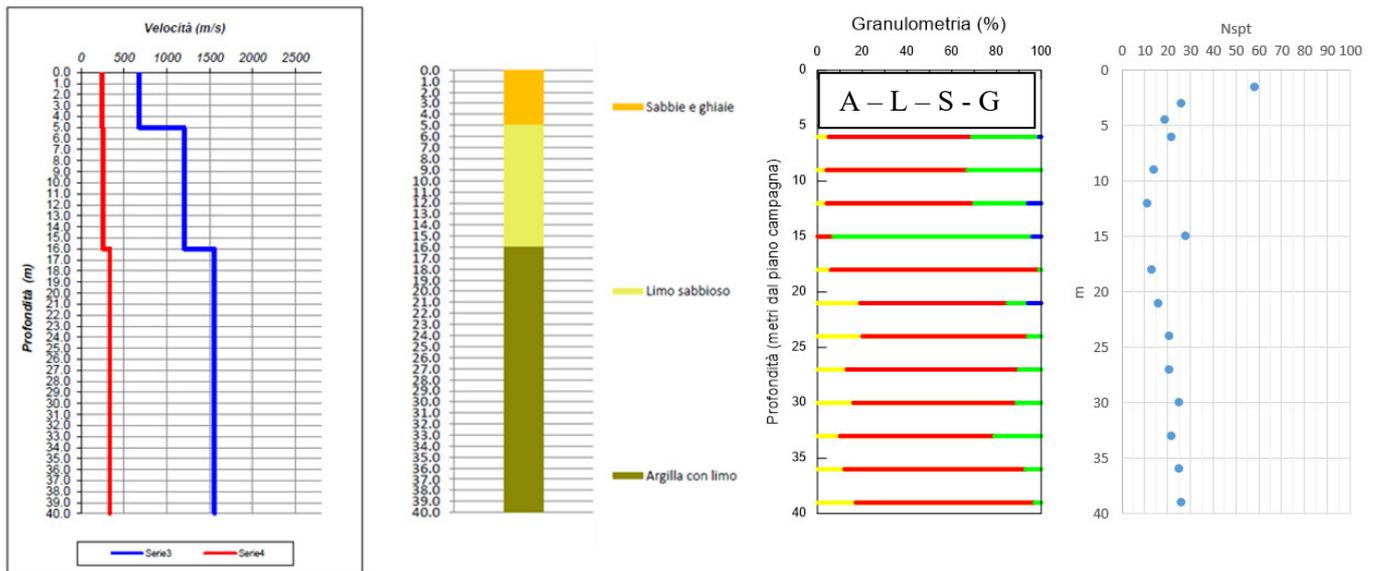
**Figura 6-1: Sondaggio TN6 – Granulometrie, SPT e Geofisica**



**Figura 6-2: Sondaggio TN7 – Granulometrie, SPT e Geofisica**



**Figura 6-3: Sondaggio TN8 – Granulometrie, SPT e Geofisica**

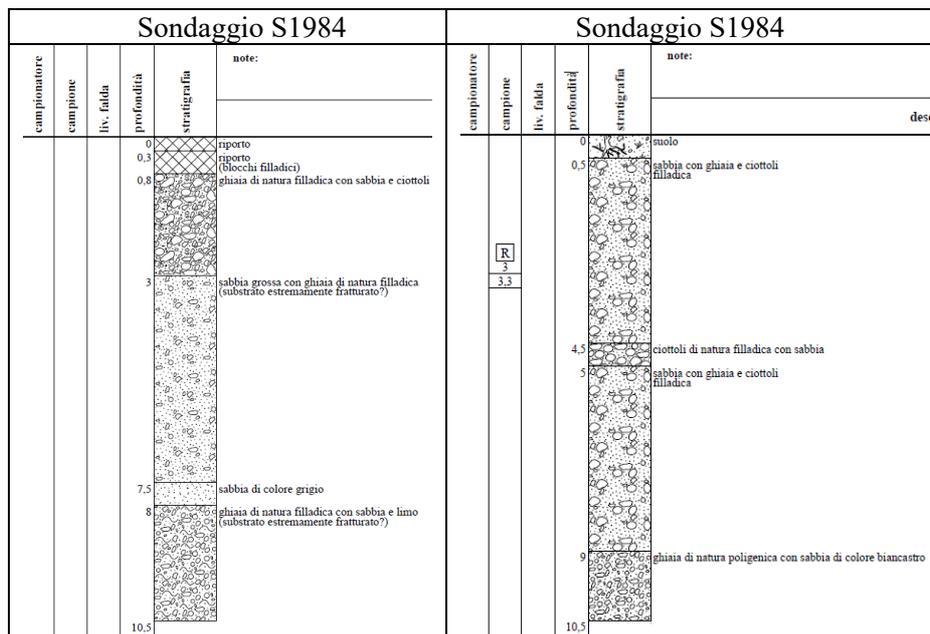


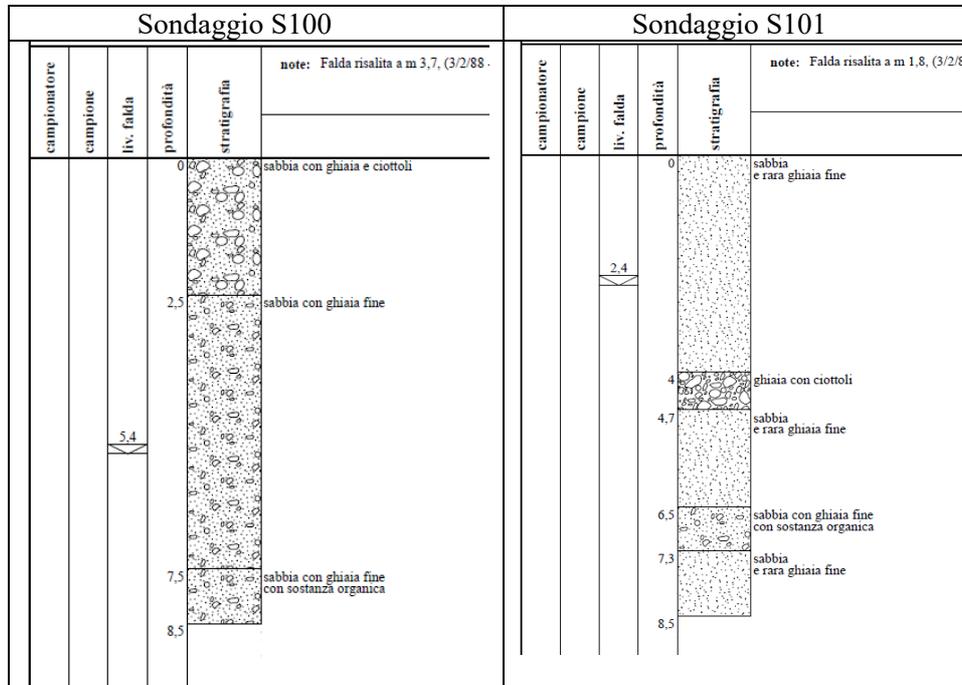
**Figura 6-4: Sondaggio TN9 – Granulometrie, SPT e Geofisica**

**Tratta 20+250 (123+028) – 23+550 (126+078): pendici est del Monte Marzola**

In questa tratta il tracciato ferroviario affianca la sponda occidentale del lago di Caldonazzo, al margine orientale del Monte Marzola. Il tracciato insiste per 500 m sul substrato roccioso, costituito dalle Filladi e Filladi Quarzifere, per poi passare a depositi quaternari di frana quiescente, di larghezza di circa 500 m, e ai depositi glaciali del Sintema del Garda e di conoide. La tratta termina in corrispondenza delle filladi di basamento sub-affioranti.

In questa tratta, nella campagna del 2021 non sono stati realizzati sondaggi, mentre sono presenti 4 sondaggi pregressi, 2 che intercettano i depositi glaciali del sintema del Garda (1985 e 1984) e 2 i depositi di conoide (100 e 101). I sondaggi realizzati nei depositi glaciali del sintema del Garda mostrano alternanze di sabbie, sabbie con ghiaie e ghiaie con ciottoli, mentre quelli realizzati nei depositi di conoide una prevalenza di sabbie con ghiaie.





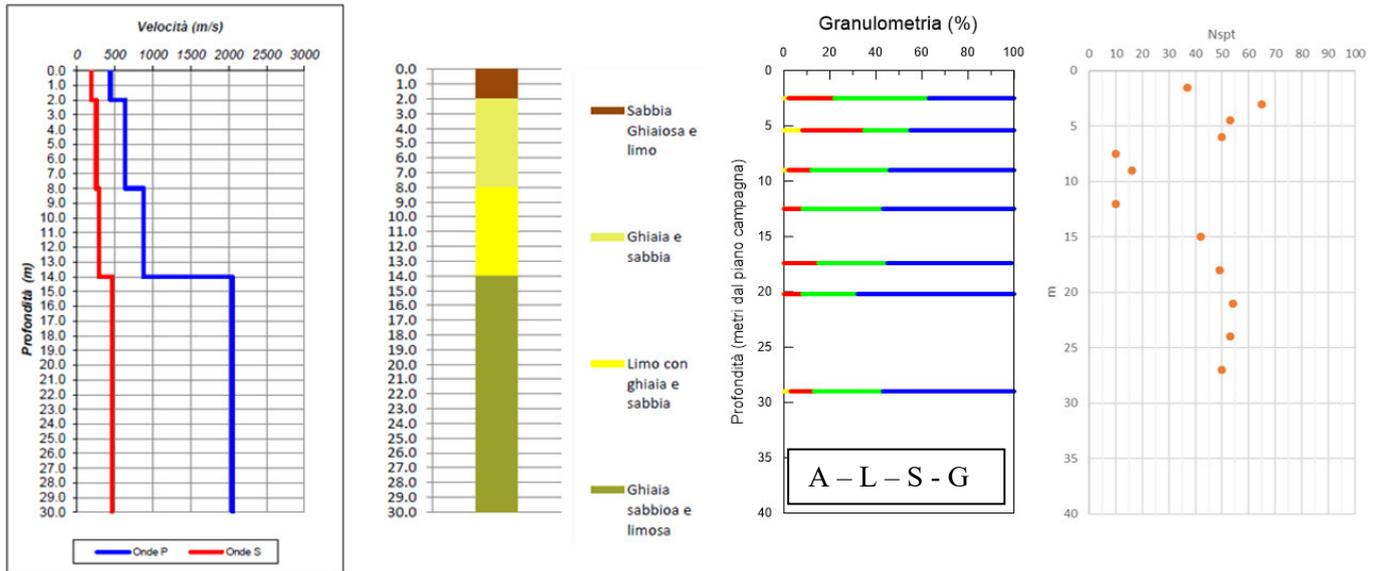
**Tratta 23+550 (126+078) – 29+640 (132+168): valle del T. Fersina**

Al termine del tratto su substrato filladico affiorante, il tracciato abbandona le pendici di M. Marzola e prosegue nei depositi di conoide e di fondo valle del torrente Fersina. Questi terreni, principalmente costituiti da ghiaie e sabbie, poggiano al di sopra di un potente corpo lacustre/palustre, spesso circa 80-100 m, che poggia a sua volta sulle filladi di basamento, come osservato nel sondaggio 2562.

Nella campagna geognostica del 2021 è stato realizzato unicamente il sondaggio TN5; nel tratto sono anche presenti 6 sondaggi pregressi (784, 2562, 2489, 2490, 2491 e 2492). Nelle figure che seguono sono descritte le stratigrafie dei sondaggi pregressi ed i risultati delle indagini effettuate nel sondaggio TN5. Si evidenzia che il sondaggio 784 intercetta un deposito di frana presente tra pk 23+550 (126+078) e 24+000 (126+528) circa, con la presenza di potenti strati di limo con sabbia e limo con torba.

**RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE**

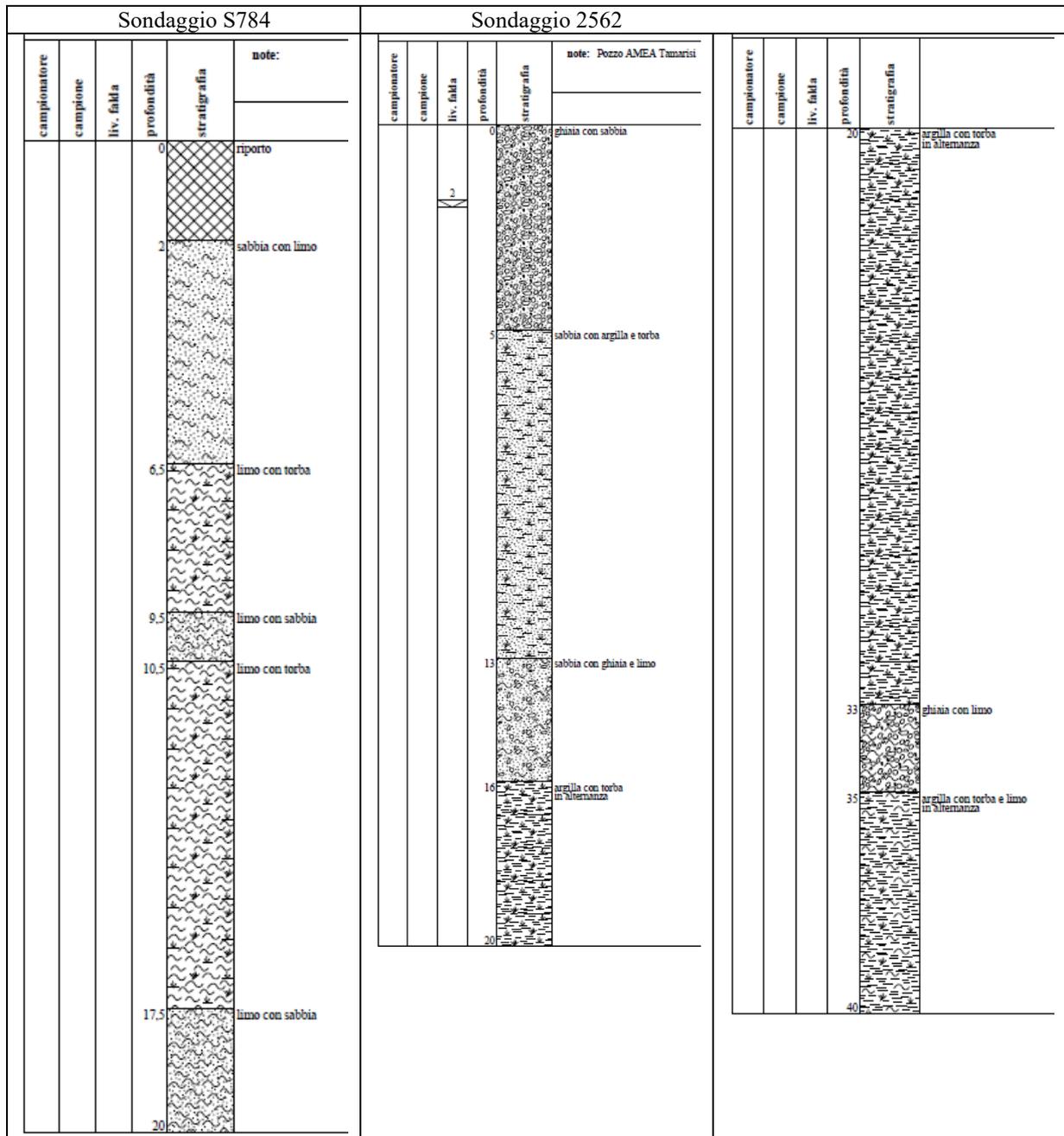
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IT1J	10	RH	GE0006001	B	85 di 158

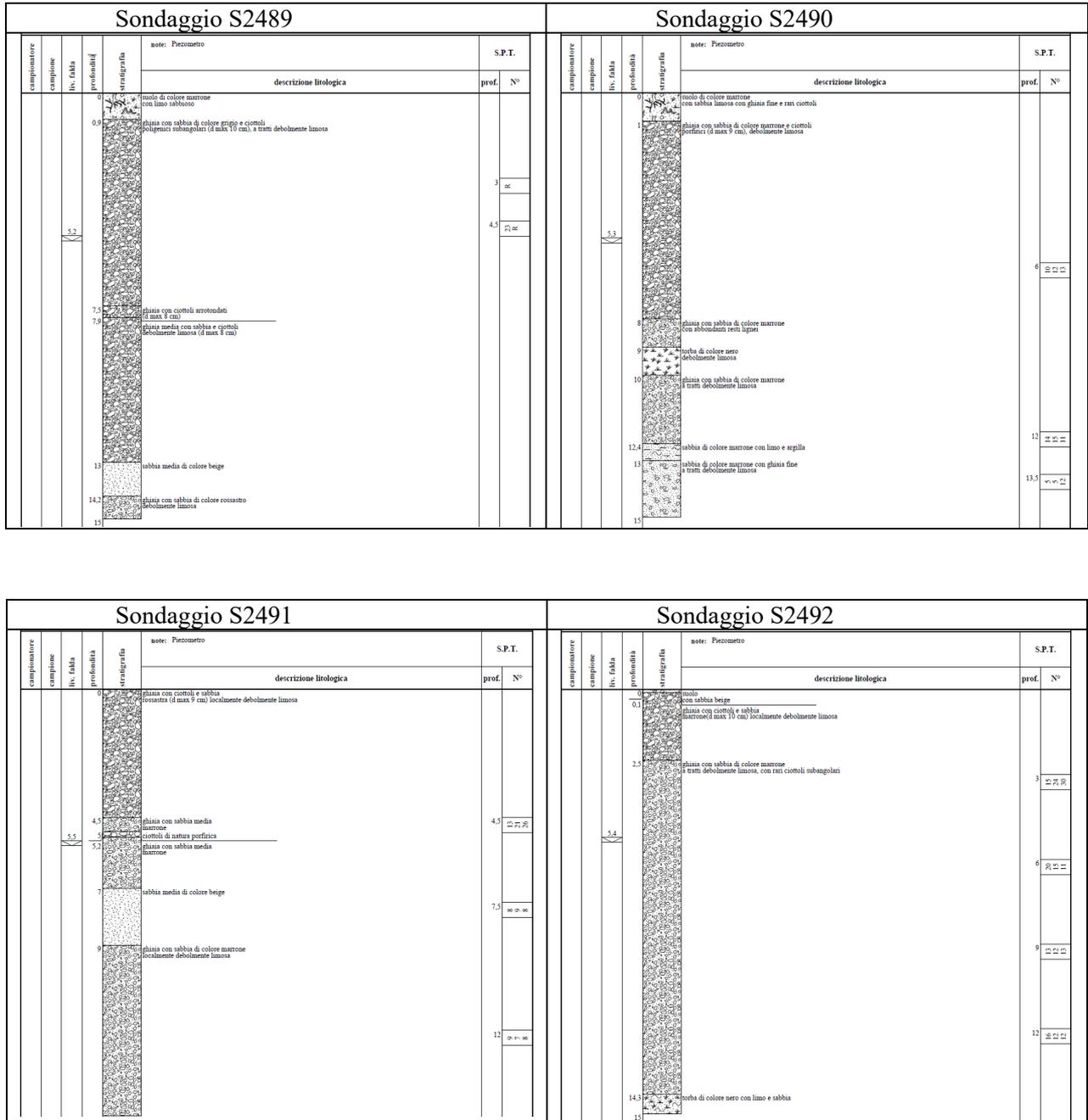


**Figura 6-5: Sondaggio TN5 – Granulometrie, SPT e Geofisica**

**RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
 IT1J 10 RH GE0006001 B 86 di 158

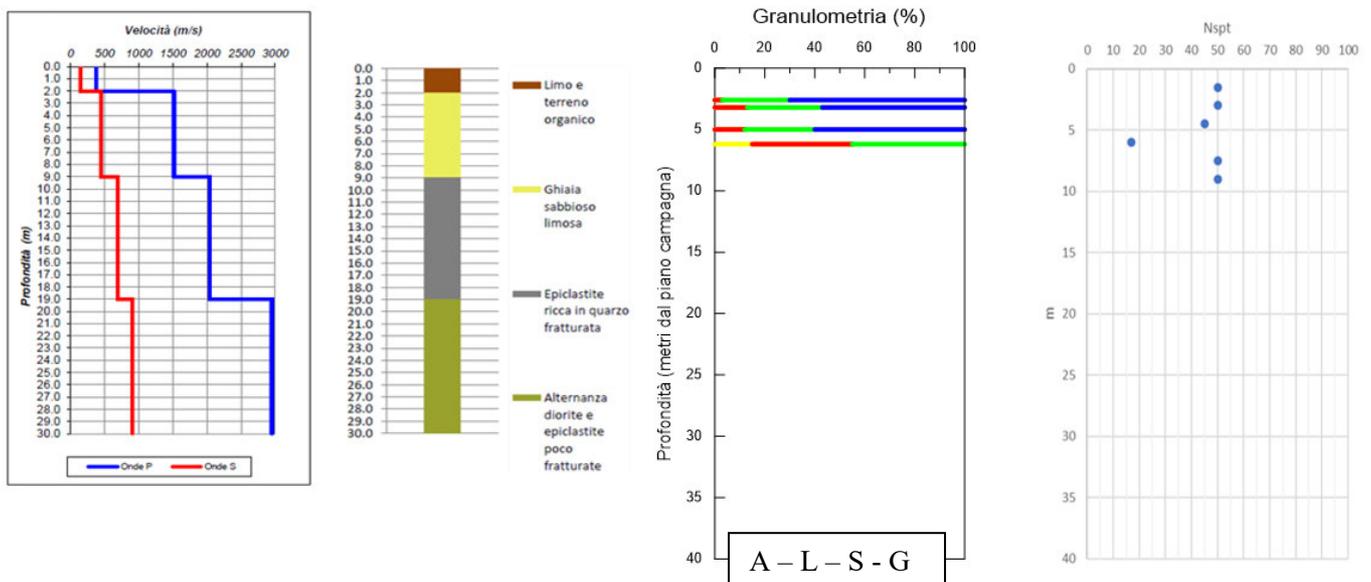


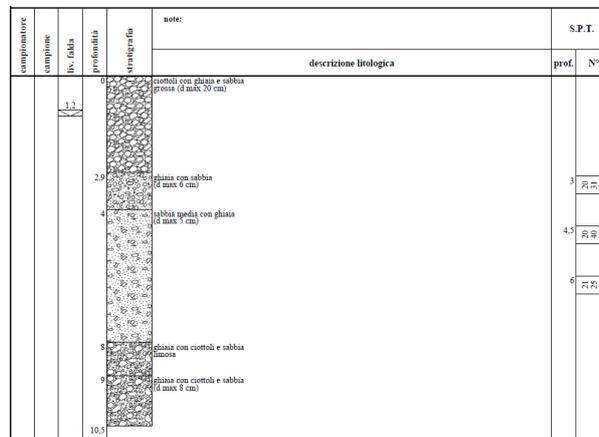


**Figura 6-6: Stratigrafia sondaggio progressi**

**Tratta 29+640 (132+168) – 32+000 (134+528): Pendici nord di M. Marzola**

La tratta in esame corre alle pendici settentrionali di Monte Marzola parallelamente al torrente Fersina. Il tracciato insiste sui depositi glaciali ghiaioso-sabbiosi del Subsistema di Lisignago (Sintema del Garda) poggianti sul substrato roccioso caratterizzato da un articolato assetto. Il substrato vede il passaggio laterale, per faglia, tra le filladi di basamento, le vulcaniti della Formazione del Castelliere, perforata dal sondaggio TN4 e la Formazione a Bellerophon, sub-affiorante tra le pk 30+400 (132+928) e pk 30+550 (133+078) circa. I depositi glaciali terminano a pk 31+290 (133+818) circa, dove il tracciato ferroviario insiste sui calcari della Formazione dello Sciliar passante attraverso un contatto tettonico (faglia) alla Dolomia Principale. Al termine di questa tratta, tra la pk 31+910 (134+431) e la pk 32+000 (134+512), è ubicata la galleria Malpensada. In questa tratta è presente il sondaggio TN4 della campagna 2021 ed il sondaggio pregresso S1658.


**Figura 6-7: Sondaggio TN4 – Granulometrie, SPT e Geofisica**



**Figura 6-8: Stratigrafia Sondaggio S1658**

**Tratta 32+000 (134+528) – 34+700 (137+228): gallerie nei Calcari Grigi**

La parte iniziale di questa tratta è costituita da Dolomia Principale passante, per faglia, ai calcari della Formazione di Monte Zugna, unità basale del complesso dei Calcari Grigi. In quest'ultima formazione sono state costruite le gallerie Serra, Albi e Cantaghel. Alla pk 33+700 (136+228) circa avviene il passaggio, per faglia, alla Scaglia Rossa. Durante i sopralluoghi è stata rilevata la presenza di una importante frattura in corrispondenza dell'imbocco lato Borgo Valsugana della Galleria Cantaghel. La frattura si sviluppa per tutta l'altezza del versante e interseca la galleria nel tratto in artificiale.

La tratta in esame si sviluppa lungo il versante meridionale delle gole del Fersina; la valle, inizialmente ampia e sub-pianeggiante, diviene poi (verso Trento) stretta e profonda. Questo cambio morfologico è attribuibile al passaggio litologico tra i termini triassici della sequenza stratigrafica (facilmente erodibili), ai termini calcarei delle serie giurassico-cretaciche (meno erodibili). L'assetto morfologico influenza negativamente la stabilità locale delle pareti rocciose: in questo tratto infatti la ferrovia è protetta da diverse opere di difesa contro la caduta massi. Non si esclude quindi la possibilità di fenomeni di rilascio di blocchi rocciosi anche di volumi significativi, in concomitanza di eventi piovosi intensi e/o prolungati o di scioglimento delle nevi. Nella zona di attraversamento dei Calcari Grigi, occorre tenere in conto l'eventualità di fenomeni carsici di allargamento delle fratture.

In questo tratto sono state eseguite n° 7 stazioni geomeccaniche, i cui principali risultati sono riportati nella tabella seguente.

STAZIONE	Litotipo	$\sigma_c$ (Mpa)	Spaziatura media (mm)	K1		K2		K3		S	
				Imm	Inc	Imm	Inc	Imm	Inc	Imm	Inc
SG1	Calcari	105	60-200	114	88	10	82			310	4
SG2	Calcari	66	60-200	125	85	199	86			160	1
SG3	Calcari	-	60-200	116	85	194	85				
SG4	Calcari	66	60-200	132	88	221	88			260	7
SG5	Calcari	65	60-200	122	88	200	89				
SG6	Calcari	84	60-200	111	64	36	75			250	32
SG7	Dolomia principale	79	60-200	25	69	151	58	199	85		

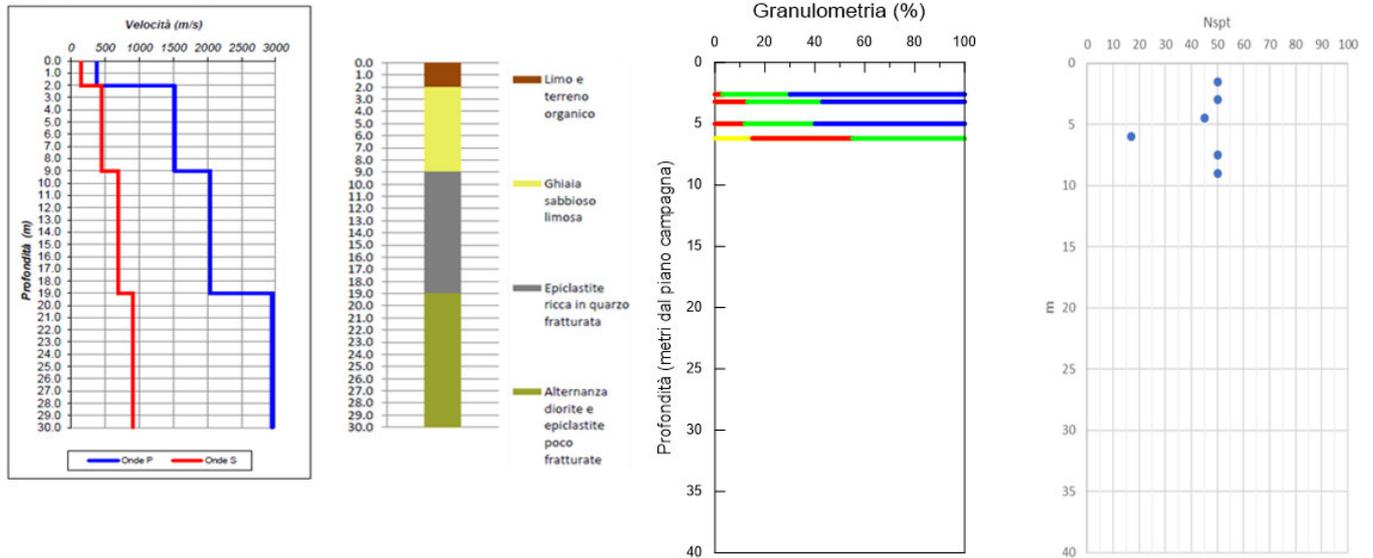
STAZIONE	Litotipo	RMR base	Q	GSI
SG1	Calcari	60	2.31	50-60
SG2	Calcari	56	2.1	50-60
SG3	Calcari	57	2.1	50-60
SG4	Calcari	56	2.1	50-60
SG5	Calcari	56	2.1	50-60
SG6	Calcari	57	2.1	50-60
SG7	Dolomia principale	54	0.8	40-50

### Tratta 34+700 (137+228) – 35+650 (138+178): linea Trento-Roncogno

In questa tratta, il tracciato attraversa coperture glaciali sabbioso-ghiaiose afferenti al Subsistema di Lisignago (Sintema del Garda), che ricoprono il substrato roccioso interessato da un sistema di faglie inverse, immergenti verso sud, denominato linea Trento-Roncogno. Questo lineamento regionale pone in contatto le unità permiane, costituite dalle Arenarie di Val Gardena e dalla Formazione a *Bellerophon*, con le più recenti unità geologiche mesozoiche costituite da Dolomia Principale e Scaglia Rossa. In questo tratto sono presenti il sondaggio TN4 (fuori asse di 120m, 2021) ed il sondaggio S3904 (pregresso). Nelle figure che seguono sono riportate le stratigrafie dei due sondaggi ed i risultati delle indagini in sito.

**RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IT1J	10	RH	GE0006001	B	91 di 158



**Figura 6-9: Sintesi delle indagini in sito realizzate nel sondaggio TN4**

campionatore				S.P.T.	
campione	liv. fonda	profondità	stratigrafia	prof.	N°
		0	spetto (finito)		
		0,05	ghiaia di natura poligenica con sabbia e limo e rari ciottoli arrotondati	1,5	
	4,76				
		5,35	silte di colore rosso molto alterata con intercalazioni arenacee	4,5	
		15			

note: Piezometro L=15 m

**Figura 6-10: Stratigrafia Sondaggio S3904**

**Tratta 35+650 (138+178) – 41+080 (143+680): Pendici ovest del Monte Marzola**

In questo settore il tracciato si sviluppa in parte sui terreni quaternari del Sintema del Garda e del Sintema Post Glaciale alpino e in parte sulle formazioni rocciose di substrato. I depositi quaternari sono costituiti da unità glaciali e fluvio-glaciali; queste ultime sono intersecate da due depositi di conoide. Proprio in corrispondenza di queste unità è ubicata la galleria artificiale di San Rocco, tra le pk 38+750 (141+260) e 39+100 (141+633) circa, che attraversa quindi i depositi fluvio-glaciali e di conoide, costituiti da sabbie e ghiaie.

Per quanto concerne il substrato, in tutta la tratta in esame affiorano le unità più antiche di tutta l'area di studio. Tra l'inizio della tratta e la galleria S. Rocco, tutta la sequenza presenta un'immersione verso sud a bassa inclinazione ed è costituita da filladi di basamento, Formazione di Buss, Formazione del Castelliere, Arenarie di Val Gardena, Formazione a Bellerophon, Formazione di Werfen e Dolomie del Serla Inferiore.

**Tratta 41+080 (143+680) – 44+482.8 (107+010): piana del F. Adige**

Nell'ultima tratta, il tracciato ferroviario abbandona le pendici del Monte Marzola inserendosi nei depositi fluviali e fluvio-glaciali della Val d'Adige. Il raccordo tra il versante e il fondovalle avviene lungo la conoide del torrente Fersina, terreno di sedime della città di Trento.

I depositi di conoide del Fersina e del fondovalle Adige sono costituiti prevalentemente da sabbie e ghiaie; localmente possono essere presenti depositi più fini costituiti da limi e argille, raramente torbosi.

	<b>ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA</b> LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
<b>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</b>	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0006001	REV. B	FOGLIO 93 di 158

## 7 UNITA' GEOTECNICHE E PARAMETRI CARATTERISTICI

Partendo dall'inquadramento delle principali unità geologiche individuate nel profilo geologico, sulla base di tutte le indagini e prove disponibili, si sono elaborati i dati con la profondità delle principali caratteristiche geotecniche e confrontando i risultati con il maggior dettaglio stratigrafico dei vari sondaggi, si è operata una schematizzazione con l'individuazione di unità geotecniche di riferimento, associando ad esse dei parametri caratteristici.

Tale schematizzazione costituisce il modello geotecnico di riferimento che potrà essere eventualmente dettagliato o modificato con specifiche ipotesi di progetto dal progettista delle opere specifiche nelle relazioni del dimensionamento delle stesse.

Il tracciato della linea ferroviaria è caratterizzato da una modesta variabilità litologica. Affiorano diffusamente depositi quaternari che rappresentano il prodotto delle dinamiche fluviali, glaciali, post-glaciali e di evoluzione dei versanti. Questi depositi sono costituiti da una preminenza di materiale a granulometria grossolana, con poca matrice fine e con ciottoli. All'interno di questi materiali sono localmente presenti strati e lenti di materiale fino, a volte plastico.

In alcuni tratti i depositi quaternari hanno invece origine fluvio-lacustre e sono costituiti prevalentemente da limi sabbiosi argillosi e argille limose, con livelli di torbe o materia organica ed in maniera subordinata livelli di ghiaie e sabbie.

Lungo tutto il tracciato il substrato roccioso è costituito da unità appartenenti al basamento metamorfico, alla successione vulcanica e alla successione sedimentari, con rocce prevalentemente silico-clastiche alla base e prevalentemente carbonatiche nella parte superiore della serie, a cui sono localmente associati anche prodotti vulcanici basici di età eocenica. Di norma il substrato è ricoperto dai depositi quaternari mentre gli affioramenti rocciosi sono concentrati prevalentemente nella zona delle gole del Fersina, in corrispondenza delle gallerie ferroviarie Malpensada, Serra, Albi e Cantaghel, costruite nella serie carbonatica dei Calcarì Grigi.

Nel seguito vengono descritte le principali caratteristiche fisiche e meccaniche delle unità geotecniche interferenti con gli interventi previsti in progetto per l'elettrificazione della linea (fondazioni pali TE, snicchiature su pareti rocciosi, scavi superficiali).

Nel modello geotecnico i depositi quaternari rinvenuti lungo il tracciato sono stati distinti sulla base della granulometria in due unità geotecniche:

- GS: ghiaie sabbiose e con sabbia con intercalati strati di limo sabbioso ghiaioso debolmente argilloso (accorpa le seguenti formazioni geologiche: PTG\_c, PTG\_f, SDG\_g, PTG3\_f , PTG3\_g, PTG, SGD13\_c, SGD13\_g, SGD12\_g, SGD12\_c)
- LSA: limo sabbioso debolmente argilloso (accorpa le seguenti formazioni geologiche: PTG\_l, SDG\_l)

Per quanto riguarda il substrato roccioso le formazioni che affiorano lungo la linea ed interagiscono con gli interventi di progetto sono (da est verso Ovest);

- BEL - Dolomie siltose e calcari siltosi, alternati ad arenarie e siltiti e marne (Formazione a Bellerophon);
- SCI - Dolomie stratificate (Formazione dello Sciliar);
- DPR - Dolomie fossilifere, doloareniti oolitiche, in strati da decimetrici a metrici (Dolomia Principale);
- FMZ - Calcari prevalentemente micritici con intercalazioni di peliti (Formazione di Monte Zugna – Calcari Grigi)
- LOP - Calcare oolitico grossolano in strati da medi a spessi (Calcario Oolitico di Loppio – Calcari grigi)
- RTZ - Calcari bioclastici organizzati in sequenze di spessore da metrico a decametrico. localmente sono presenti livelli marnosi decimetrici (Formazione di Rotzo – Calcari grigi)
- ARV - Calcari micritici / calcari ben stratificati con frequenti intercalazioni di selce rossa / calcari nodulari ad ammoniti in strati fino a molto spessi (Rosso Ammonitico Veronese)
- MAI - Calcari micritici ben stratificati a granulometria molto sottile (Maiolica)
- SAA - Calcari micritici lastriformi fittamente stratificati (5-15 cm) (Scaglia Rossa)
- LUB - Lave porfiriche, lave massicce e pseudostratificate, associate a lave a blocchi arrotondati e spigolosi cementati (Formazione di Buss)

- GAR - Arenarie scarsamente compatte, alternate a siltiti, siltiti marnose e marne (ARENARIA DI VAL GARDENA)
- VFS - Filladi con grana generalmente molto sottile e una notevole fissilità parallelamente ai piani di scistosità (Filladi e Filladi Quarzifere)
- ICT - Lapilli tuff riodacitici in bancate di spessore plurimetrico (Formazione del Castelliere)

Per il substrato roccioso le unità geotecniche sono state denominate come le formazioni geologiche corrispondenti.

Per i parametri fisici e meccanici dei depositi di terreni a grana grossa, data l'impossibilità di prelevare campioni indisturbati, sono state prese in considerazione le prove svolte in sito supportate con indicazioni rinvenute nella letteratura tecnica (mediante correlazioni empiriche) nonché le prove di laboratorio, di classificazione e meccaniche, eseguite su campioni rimaneggiati.

Per la valutazione delle caratteristiche del substrato roccioso sono stati utilizzati invece i risultati dei rilievi geostrutturali eseguiti in sito.

Nel seguito, dopo una breve descrizione delle diverse unità geotecniche, vengono descritte le elaborazioni effettuate per la definizione delle caratteristiche fisiche, di resistenza e di rigidità dei litotipi individuati.

## **7.1 TERRENI DI COPERTURA**

### **7.1.1 Unità GS**

L'unità GS è costituita da ghiaie sabbiose e con sabbia, con intercalati strati di limo sabbioso ghiaioso debolmente argilloso.

In questi terreni sono stati prelevati solo campioni rimaneggiati sui quali sono state effettuate analisi granulometriche e, quando possibile, la valutazione dei limiti di Atterberg.

### 7.1.1.1 Parametri di stato e caratteristiche fisiche

I campioni prelevati all'interno di questa unità presentano un contenuto di ghiaia + sabbia compreso tra il 64 e il 97%, con un valore medio del 82.8%. Il contenuto medio di sabbia è del 27.5% mentre quello di ghiaia del 55% circa. La frazione fina (limo + argilla) varia tra il 3 ed il 36% (valore medio 17.2%) con quantità di limo pari in media al 15% ed un contenuto di argilla compreso tra 0% e 8%.

Il peso specifico dei grani è risultato variabile tra il 25.5 ed il 26.5 kN/mc (valore medio 26.2 kN/mc).

La maggior parte dei campioni risulta non plastico; nei campioni con maggior contenuto di fine il limite di liquidità (LL) ed il limite di plasticità (LP) assumono rispettivamente valore medio pari a 19% e 14.8%, con valori dell'indice di plasticità (Ip) variabili da un minimo del 2% (non plastico) ad un massimo del 8% (poco plastico).

Per la stima delle proprietà fisiche, Viggiani (1999) individua i seguenti intervalli del peso della sostanza solida,  $\gamma_s$ , del peso dell'unità di volume,  $\gamma_n$ , del peso secco dell'unità di volume,  $\gamma_d$ , e della porosità, n:

$$\gamma_s = 26 - 27 \text{ kN/m}^3;$$

$$\gamma_n = 18 - 21 \text{ kN/m}^3;$$

$$\gamma_d = 14 - 20 \text{ kN/m}^3;$$

$$n = 0.20 - 0.45.$$

### 7.1.1.2 Parametri di resistenza

La stima dell'angolo di attrito di picco può essere effettuata sulla base della correlazione proposta da Lundgren e Brinch Hansen (1958) da cui risulta:

$$\varphi' = 36^\circ + \Delta\varphi'1 + \Delta\varphi'2 + \Delta\varphi'3 + \Delta\varphi'4$$

essendo:

$$\Delta\varphi'1 = \text{fattore funzione della densità (sciolta: } -6^\circ, \text{ media: } +0^\circ, \text{ densa: } +6^\circ);$$

$$\Delta\varphi'2 = \text{fattore funzione della forma e rugosità dei grani (spigolo vivi: } +1^\circ, \text{ media: } +0^\circ, \text{ arrotondati: } -3^\circ, \text{ molto arrotondati: } -5^\circ);$$

$$\Delta\varphi'3 = \text{fattore funzione della dimensione dei grani (sabbia: } +0^\circ, \text{ ghiaia fine: } +1^\circ, \text{ ghiaia grossa: } +2^\circ);$$

$$\Delta\varphi'4 = \text{fattore funzione della distribuzione granulometrica (uniforme: } -3^\circ, \text{ media: } +0^\circ, \text{ distesa: } +3^\circ).$$

	<b>ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA</b> LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
<b>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</b>	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0006001	REV. B	FOGLIO 97 di 158

L'utilizzo di tale correlazione porta a definire un intervallo dell'angolo di attrito variabile tra 35° e 40°.

Le prove SPT forniscono valori dell'indice  $N_{spt}$  mediamente compresi tra 40 e 60, con numerose prove a rifiuto. In alcune zone, specialmente nelle porzioni superiori degli strati, sono stati registrati valori dell'indice  $N_{spt}$  compresi tra 20 e 30.

Sulla base dei risultati delle prove SPT, utilizzando la formulazione  $\varphi = [20 \cdot (0.1735 \cdot N_{SPT} + 19.677)]^{0.5} + 20$ , proposta da Hatanaka e Uchida (1996) e valida per le ghiaie in genere, è stato possibile ricavare valori dell'angolo di attrito compresi tra 43 e 44° per i valori di  $N_{spt}$  compresi tra 40 e 60 e tra 41 e 42° per i valori compresi tra 20 e 30.

La prova pressiométrica eseguita nel sondaggio TN7 ha evidenziato un angolo di attrito di 38.3°.

### 7.1.1.3 Parametri di rigidezza

Per la valutazione del modulo di elasticità può farsi riferimento all'intervallo 50 - 80 MPa sulla base di quanto riportato in letteratura da Kedzi (1974) per le ghiaie mediamente addensate. Il coefficiente di Poisson può, invece, assumersi pari a 0.30.

Utilizzando le correlazioni con l'indice  $N_{spt}$  fornite da D'Appolonia il modulo elastico risulta compreso tra 50 e 65 MPa, per  $N_{spt}$  compresi tra 40 e 50, e tra 35 e 45 MPa per  $N_{spt}$  compresi tra 20 e 30.

La prova pressiométrica effettuata alla profondità di 5.5m ha evidenziato un modulo elastico di 88 MPa.

La rigidezza a bassi livelli deformativi è stata stimata sulla base dei risultati delle prove geofisiche. I parametri di deformabilità dinamici sono stati ricavati attraverso le seguenti relazioni:

$$G_0 = \gamma_t \cdot V_s^2 / 9.81$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

dove  $\gamma_t$  è il peso di volume del terreno (kPa),  $V_s$  la velocità delle onde di taglio e  $\nu'$  il coefficiente di Poisson.

Nei terreni appartenenti a questa unità le prove Down Hole hanno fatto registrare valori delle velocità  $V_s$ , crescenti con la profondità, compresi tra 250 (nella parte più superficiale) e 500 m/s (in profondità) a cui corrispondono valori del modulo di taglio,  $G_0$ , compresi tra 120 e 480 MPa. Il modulo di Young a piccole deformazioni,  $E_0$ , può infine assumersi variabile tra 310 e 1200 MPa.

Una volta determinato il modulo di Young iniziale  $E'_0$ , i valori dei moduli operativi possono essere determinati in funzione del livello deformativo distorsionale tipico del problema in esame. Di norma, si assume un modulo operativo  $E'_{op,1} = E_0/3 \div E_0/5$  per il calcolo dei cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni dirette e  $E'_{op,2} = E_0/10 \div E_0/15$  per il calcolo dei cedimenti dei rilevati. Tali valori risultano comunque maggiori di quelli valutati con le indagini in sito.

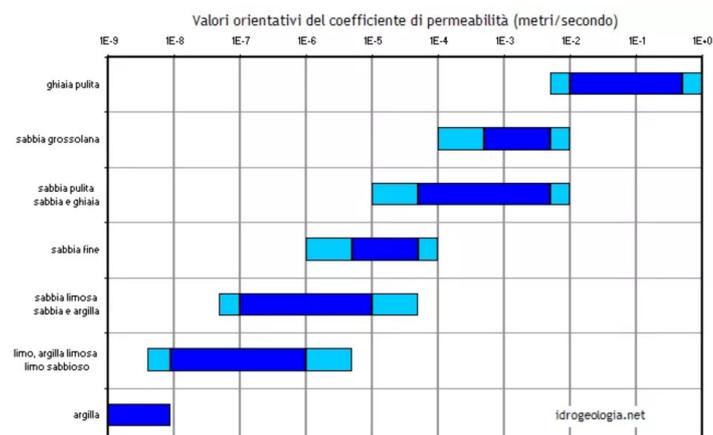
#### 7.1.1.4 Permeabilità

Le prove Lefranc eseguite in questa unità, hanno evidenziato un coefficiente di permeabilità compreso tra  $7.2e-5$  e  $2.3e-4$  m/sec (vedi tabella sottostante).

**Tabella 7-1: Risultati prove Lefranc**

Sondaggio	Tipo prova	Profondità prova (m da p.c.)	Profondità falda (m da p.c.)	K (m/sec)	Litologia tasca filtrante
TN5	Lefranc a carico costante	5.2 – 5.7	-	$2.1e-04$	Ghiaia sabbiosa
TN6	Lefranc a carico costante	5.0 – 5.5	-	$2.3e-04$	Ghiaia sabbiosa
TN7	Lefranc a carico costante	12.0 – 12.5	-	$7.2e-05$	Ghiaia sabbiosa
TN9	Lefranc a carico costante	3.0 – 3.6	2.19	$2.1e-04$	Ghiaia sabbiosa

Tali valori sono in buona accordo con i valori di letteratura del coefficiente di permeabilità delle ghiaie con sabbie.



**Figura 7-1: Valori orientativi del coefficiente di permeabilità orizzontale in m/sec**

### 7.1.2 Unità LSA

L'unità LSA identifica i terreni appartenenti ai depositi fluvio-lacustri, costituiti principalmente da limo sabbioso debolmente argilloso. Per i terreni appartenenti a questa unità è stato prelevato un unico campione indisturbato e diversi campioni rimaneggiati sui quali sono state effettuate analisi granulometriche e valutazione dei limiti di Atterberg.

#### 7.1.2.1 Parametri di stato e caratteristiche fisiche

I campioni presentano un contenuto di frazione fina (limo + argilla) compreso tra 55 e 99% (valore medio 82%) con una quantità di limo in media pari al 70% ed un contenuto di argilla compreso tra 4% e 28%. Il contenuto di sabbia è variabile tra il 1% ed il 45%, mentre la frazione ghiaiosa è compresa tra 0 e 10%.

Il peso specifico dei grani è compreso tra 24.1 e 26.5 kN/mc con un valore medio di 25.9 kN/mc. Il peso di volume naturale, valutato su un campione con elevato contenuto di sabbia, è risultato pari a 20.9 kN/mc.

Il limite di liquidità (LL) ed il limite di plasticità (LP) assumono rispettivamente valore medio di 31.6% e 20.8%, con valori dell'indice di plasticità,  $I_p$ , variabili da un minimo del 5% (poco plastico) ad un massimo del 16% (plastico).

#### 7.1.2.2 Parametri di resistenza

L'unica prova di taglio diretto effettuata su un campione con elevato contenuto di sabbia ha evidenziato una coesione ( $c'$ ) di 8 kPa ed un angolo di attrito ( $\phi'$ ) di 26°.

Per la stima della resistenza non drenata,  $c_u$ , si è fatto riferimento alle correlazioni con l'indice  $N_{spt}$ , utilizzando la formula proposta da Terzaghi:

$$c_u = 6.7 \cdot N_{SPT} \text{ (kPa)}$$

In questa unità le prove SPT evidenziano un numero di colpi compreso tra 10 e 20, ottenendo pertanto una resistenza non drenata compresa tra 70 e 140 kPa, in linea con i risultati dei pocket realizzati sulle carote più coesive.

Le due prove pressiometriche realizzate nei sondaggi TN8 e TN9 hanno evidenziato una coesione non drenata di 56 e 65 kPa.

**Tabella 7-2: Risultati prove pressiometriche nei terreni coesivi**

Sondaggio	Tipo prova	Profondità	Profondità	E	cu	
		prova	falda		MPa	kPa
		(m da p.c.)	(m da p.c.)			(per terreni coesivi)
TN8	Menard	3.0-3.6	2.71	5.89	56.58	
TN9	Menard	7.5-9.0	2.71	5.25	65.64	

### 7.1.2.3 Parametri di rigidezza

Vista l'assenza di prove geotecniche, la valutazione della rigidezza a grandi deformazioni è stata fatta utilizzando la correlazione proposta da Teixeira e Godoy (1996), valida per limi sabbiosi:

$$E = 5 \cdot 0.45 \cdot \sqrt{N_{SPT}} \text{ (MPa)}$$

Il modulo di Young risulta compreso tra 7 e 10 MPa. Il coefficiente di Poisson per questi terreni può ritenersi pari a 0.35.

Le prove pressiometriche eseguite negli strati più superficiali hanno evidenziato moduli compresi tra 5 e 6 MPa.

La rigidezza a bassi livelli deformativi è stata stimata sulla base dei risultati delle prove geofisiche. Nei terreni appartenenti a questa unità le prove down-hole hanno fatto registrare valori delle velocità Vs, in funzione della profondità, compresi tra 200 e 350 m/s a cui corrispondono valori del modulo di taglio, G<sub>0</sub>, compresi tra 70 e 240 MPa. Il modulo di Young a piccole deformazioni, E<sub>0</sub>, può infine assumersi variabile tra 190 e 650 MPa.

### 7.1.2.4 Permeabilità

Le prove Lefranc eseguite in questa unità, hanno evidenziato un coefficiente di permeabilità di circa 1.5e-06 m/sec (vedi tabella sottostante).

**Tabella 7-3: Risultati prove Lefranc nei terreni prettamente coesivi**

Sondaggio	Tipo prova	Profondità	Profondità	K (m/sec)
		prova (m da p.c.)	falda (m da p.c.)	

**RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IT1J	10	RH	GE0006001	B	101 di 158

TN4	Lefranc	5.0 – 5.6	3.88	1.6e-06
TN8	Lefranc	5.0 – 5.5	-	1.44e-06

Tali valori sono in buona accordo con i valori di letteratura del coefficiente di permeabilità di limi sabbiosi debolmente argillosi

## 7.2 SUBSTRATO ROCCIOSO

Le proprietà meccaniche dell'ammasso roccioso dipendono sia dalle caratteristiche del materiale roccioso intatto sia dal numero e dalle caratteristiche delle discontinuità. Nella letteratura tecnica sono presenti numerose classificazioni che permettono di formulare un giudizio sulla "qualità" dell'ammasso sulla base di alcuni parametri indici. I due sistemi di classificazione più utilizzati sono il "Rock Mass Rating" (indice RMR) di Bieniawski (1984, 1989) ed il "Rock tunnelling quality index" (indice Q) di Barton (1974). Nella tabella che segue sono riportati i parametri principali con i relativi indici per la classificazione dell'ammasso secondo quanto proposto da Bieniawski nel 1989.

**Tabella 7-4: Classifica dell'ammasso roccioso secondo Bieniawski (1984, 1989)**

PARAMETRI PER LA CLASSIFICAZIONE									
PARAMETRI			CAMPO VALORI						
1	Resistenza roccia intatta	Carico puntuali	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Non applicabile		
		Compres. unissiale	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
Indice			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
	Indice		20	17	13	8	3		
3	Spaziatura giunti		> 2 m	0.6 - 2 m	200- 600mm	60-200 mm	< 60 mm		
	Indice		20	15	10	8	5		
4	Condizione giunti		Superfici molto scabre, non continue. Chiusi. Pareti della roccia non alterate	Superfici legg. scabre Apertura < 1 mm Pareti della roccia legg. alterate	Superfici legg. scabre Apertura < 1 mm Pareti della roccia alterate	Superfici lisce o riempimento < 5 mm o aper 1-5 mm Giunti cont.	Riempimento tenero > 5 mm o Apertura > 5 mm Giunti continui		
	Indice		30	25	20	10	0		
5	Condizioni idrauliche	Afflusso per 10m lung. tunnel	Assente	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		(pressione nei giunti) / (soll. Nat. in situ)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Condizioni generali	Completa. asciutto	Umido	Bagnato	Stillicidio	Flusso		
Indice			15	10	7	4	0		
FATTORI CORRETTIVI FUNZIONE DELL'ORIENTAZIONE DEI GIUNTI									
Direzione e immersione			Molto favorevole	Favorevole		Sfavorevole	Molto sfavorevole		
Indice	Gallerie e miniere		0	-2	-5	-10	-12		
	Fondazioni		0	-2	-7	-15	-25		
	Pendii		0	-5	-25	-50			
CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO									
Indice			100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21		
Classe			I	II	III	IV	V		
Descrizione			Molto buona	Buona	Discreta	Scadente	Molto scadente		

Nel 1995 Hoek et al. hanno introdotto l'indice GSI (Geological Strength Index) basato sulle caratteristiche geolitologiche e strutturali della formazione e sulle condizioni delle superfici di discontinuità dell'ammasso.

Per valutare l'indice di "qualità" intrinseca dell'ammasso Hoek et al. (1995) suggeriscono di utilizzare la versione della classifica RMR proposta da Bieniawski nel 1989, attribuendo all'indice che tiene conto dell'entità del flusso di acqua nell'ammasso (A5) un valore pari a 15. Nella stima del valore intrinseco dell'RMR non viene inoltre applicato alcun fattore correttivo relativo all'orientazione delle discontinuità rispetto all'opera in esame (A6). Dal valore dell'RMR così determinato può essere ricavato l'indice GSI utilizzando la seguente espressione:

$$GSI = RMR_{89} - 5$$

La resistenza dell'ammasso può essere espressa in termini di sollecitazioni principali efficaci  $\sigma_1'$  e  $\sigma_3'$  mediante il criterio non lineare di Hoek e Brown (1980):

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \left( m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_c} + s \right)^a$$

in cui  $\sigma_c$  indica la resistenza a compressione uniassiale del materiale roccioso mentre  $m_b$ ,  $s$  ed  $a$  sono costanti che caratterizzano l'ammasso roccioso.

La resistenza a compressione uniassiale può essere determinata da prove di laboratorio su campioni di roccia intatta oppure, in assenza di prove dirette, da indicazioni reperibili in letteratura (Hoek, 1983; Doruk, 1991; Hoek et al., 1992).

Per quanto riguarda le costanti  $m_b$ ,  $s$  ed  $a$ , Hoek, Carranza-Torres e Corkum (2002) hanno proposto le seguenti relazioni con l'indice GSI:

$$m_b = m_i \cdot e^{\frac{(GSI-100)}{(28-14D)}}$$

$$s = e^{\frac{(GSI-100)}{(9-3D)}}$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right)$$

in cui  $m_i$  è una costante che caratterizza il materiale roccioso, determinata mediante prove triassiali di laboratorio o stimata dai dati di letteratura, e  $D$  è un fattore variabile tra 0 e 1 che dipende dal grado di disturbo dovuto alle operazioni di scavo e al detensionamento dell'ammasso (0 per un ammasso indisturbato, 1 per un ammasso molto disturbato). Nelle analisi si è fatto riferimento ad un valore univoco del grado di disturbo pari a 0.50.

Il modulo dell'ammasso viene valutato applicando la formula di Hoek e Diederichs (2006).

Ai fini della caratterizzazione geomeccanica delle diverse formazioni rocciose affioranti lungo la linea le stesse sono state accorpate sulla base della litologia, delle caratteristiche de materiale roccioso e delle discontinuità.

### 7.2.1 *Calcari e Calcari Marnosi (FMZ, LOP, RTZ, ARV, MAI, SAA)*

Questa unità accorpa i calcari ed i calcari marnosi appartenenti alle seguenti formazioni:

- FMZ - Calcari prevalentemente micritici con intercalazioni di peliti (Formazione di Monte Zugna – Calcari Grigi)
- LOP - Calcare oolitico grossolano in strati da medi a spessi (Calcare Oolitico di Loppio – Calcari grigi)
- RTZ - Calcari bioclastici organizzati in sequenze di spessore da metrico a decametrico. localmente sono presenti livelli marnosi decimetrici (Formazione di Rotzo – Calcari grigi)
- ARV - Calcari micritici / calcari ben stratificati con frequenti intercalazioni di selce rossa / calcari nodulari ad ammoniti in strati fino a molto spessi (Rosso Ammonitico Veronese)
- MAI - Calcari micritici ben stratificati a granulometria molto sottile (Maiolica)
- SAA - Calcari micritici lastriformi fittamente stratificati (5-15 cm) (Scaglia Rossa)

Nella campagna del 2021 su tali formazioni, sono state realizzate 6 stazioni geomeccaniche, mentre nell'ambito del Progetto Preliminare del Lotto 3 della Circonvallazione di Trento sono stati realizzati ulteriori 6 stop geologici. Nelle tabelle che seguono sono riportati i risultati dei rilievi effettuati.

**Tabella 7-5: Risultati stazioni geomeccaniche campagna 2021**

STAZIONE GEOMECCANICA	FORMAZIONE	Litologia	$\sigma_c$ (MPa)	Spaziatura media (mm)	K1		K2		K3		S	
					Imm	Inc	Imm	Inc	Imm	Inc	Imm	Inc
SG1	FMZ	Calcari	105	60-200	114	88	10	82			310	4
SG2	FMZ	Calcari	66	60-200	125	85	199	86			160	1
SG3	FMZ	Calcari	-	60-200	116	85	194	85				
SG4	FMZ	Calcari	66	60-200	132	88	221	88			260	7
SG5	FMZ	Calcari	65	60-200	122	88	200	89				
SG6	FMZ	Calcari	84	60-200	111	64	36	75			250	32

STAZIONE	FORMAZIONE	Litologia	RMR base	Q	GSI
SG1	FMZ	Calcari	60	2.31	50-60
SG2	FMZ	Calcari	56	2.1	50-60
SG3	FMZ	Calcari	57	2.1	50-60
SG4	FMZ	Calcari	56	2.1	50-60
SG5	FMZ	Calcari	56	2.1	50-60
SG6	FMZ	Calcari	57	2.1	50-60

**Tabella 7-6: Risultati stop geologici del Progetto Preliminare del Lotto 3 della Circonvallazione di Trento**

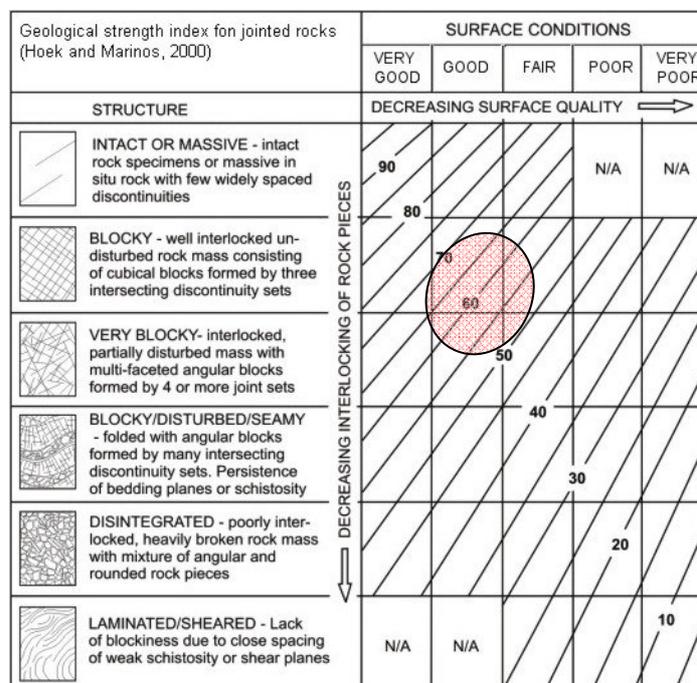
STOP	FORMAZIONE	LITOLOGIA	STRATIFICAZIONE	GRADO DI ALTERAZIONE	TENACITA'	GIACITURA PIANI DI STRATO	NUMERO FAMIGLIE GIUNTI	RIEMPIMENTO FRATTURE	DISTURBI TETTONICI	INDICE GSI	$\sigma_c$ (MPa)	
2	SAA	Scaglia rossa	Calcari marnosi	da centimetrica a decimetrica	II	R2-R3	140/1 1	3 + S	-	-	60-70	
3	ARV	Rosso ammonitico Veronese	Calcari micritici	-	II	R3	non perce p	3	-	-	50-60	
15	ARV	Rosso ammonitico Veronese	Calcare nodulare	-	II	-	-	-	-	-	80-90	
32	LOP	Calcare Oolitico di Loppio	Calcare Oolitico	decimetrica	II	R3-R4	275/5 0	2 + S			65-75	50
33	ARV	Rosso ammonitico Veronese	Calcare micritico c		II	R3-R4	250/2 0	3 + S			60-70	41
34	SAA	Scaglia rossa	Calcari micritico	fittamente stratificato da cent a decimetrica	II	R2-R3	180/1 4	3 + S			50-60	45

Il materiale lapideo di base è stato caratterizzato meccanicamente con il valore della resistenza a compressione monoassiale ricavata da prove sclerometriche, che forniscono valori di resistenza a compressione monoassiale,  $\sigma_c$  o UCS, compresi tra 41 e 105 MPa.

Per quanto riguarda le discontinuità tutte le formazioni sono caratterizzate dalla presenza di 2 o 3 famiglie di giunti sub-verticali, e piani di strato sub-orizzontali. Il grado di alterazione è risultato sempre leggero, mentre l'indice di resistenza ha indicato sempre una roccia tra mediamente resistente e resistente.

Nei rilievi geomeccanici i giunti sono risultati generalmente ondulati e lisci con una spaziatura di norma stretta (60-200mm); le pareti risultano non alterate o con lievi ossidazioni.

Sulla base delle caratteristiche della roccia intatta e delle discontinuità questa unità è stato valutato valori dell'indice GSI mediamente compreso tra 50 e 70, evidenziando nel complesso una qualità dell'ammasso da discreta a buona.



**Figura 7-2: Valutazione dell'indice GSI per l'unità Calcari e Calcari Marnosi**

I parametri di resistenza che caratterizzano l'ammasso secondo il criterio non lineare di Hoek e Brown (1980) sono stati ricavati assumendo cautelativamente:

$$\sigma_c = 50 \text{ MPa}$$

$$\text{GSI} = 50$$

$$m_i = 8$$

$$D = 0,5$$

Essi risultano:

$$m_b = 0.74$$

$$s = 0.0013$$

$$a = 0.506$$

Il modulo dell'ammasso, valutato applicando la formula di Hoek e Diederichs (2006), è risultato pari a circa 6 GPa.

### **7.2.2 Dolomie (BEL, SCI, DPR)**

Questa unità accorpa le Dolomie appartenenti alle seguenti formazioni:

- BEL - Dolomie siltose e calcari siltosi, alternati ad arenarie e siltiti e marne (Formazione a Bellerophon);
- SCI - Dolomie stratificate (Formazione dello Sciliar);
- DPR - Dolomie fossilifere, doloareniti oolitiche, in strati da decimetrici a metrici (Dolomia Principale);

Nella campagna del 2021 su queste formazioni è stata realizzata un'unica stazione geomeccanica; per la caratterizzazione sono stati recepiti anche i risultati di stop geologici realizzati nell'ambito del Progetto Preliminare del Lotto 3 della Circonvallazione di Trento. Nelle tabelle che seguono sono riportati i risultati dei rilievi effettuati.

**Tabella 7-7: Risultati stazioni geomeccaniche campagna 2021**

STAZIONE GEOMECCANICA	FORMAZIONE	Litologia	$\sigma_c$ (MPa)	Spaziatura media (mm)	K1		K2		K3		S	
					Imm	Inc	Imm	Inc	Imm	Inc	Imm	Inc
SG7	DPR	Dolomia	79	60-200	25	69	151	58	199	85		

STAZIONE	Litotipo	RMR base	Q	GSI
SG7	Dolomia principale	54	0.8	40-50

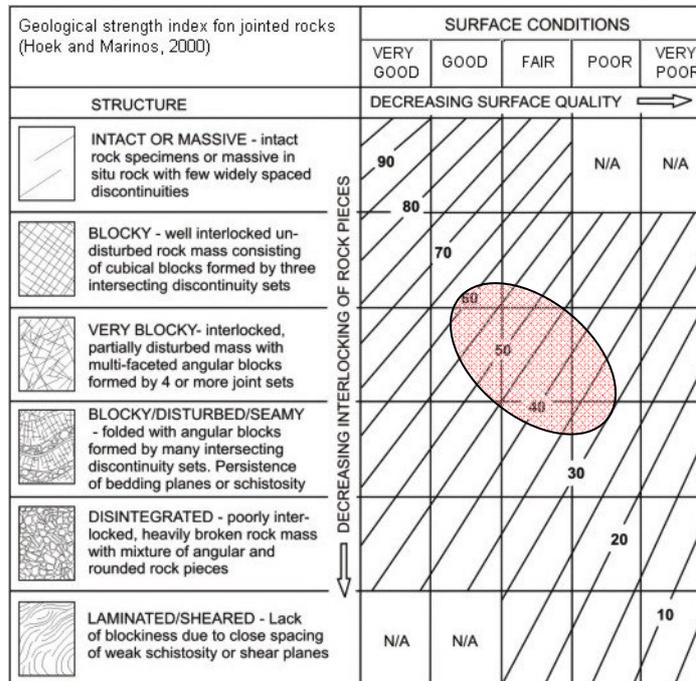
**Tabella 7-8: Risultati stop geologici del Progetto Preliminare del Lotto 3 della Circonvallazione di Trento**

STOP	FORMAZIONE		LITOLOGIA	STRATIFICAZIONE	GRADO DI ALTERAZIONE	TENACITA'	GIACITURA PIANI DI STRATO	NUMERO FAMIGLIE GIUNTI	RIEMPIMENTO FRATTURE	DISTURBI TETTONICI	INDICE GSI	$\sigma_c$ (MPa)
12	DPR	Dolomia principale	Dolomie	non rilevabile		R2	non rilev.	>4			30-40	
31	SCI	Formazione dello Scillar	calcare micritico	da decimetrica a metrica	II	R3-R4	270/3 0	3 + S	piccol a faglia	-	50-60 30-40 (zona faglia)	45

Il materiale lapideo di base è stato caratterizzato meccanicamente con il valore della resistenza a compressione monoassiale ricavata da prove sclerometriche, che forniscono valori di resistenza a compressione monoassiale,  $\sigma_c$  o UCS, compresi tra 45 e 79 MPa.

Per quanto riguarda le discontinuità tutte le formazioni sono caratterizzate dalla presenza di un numero di famiglie di giunti maggiore di 3, e piani di strato, o non rilevabili o con inclinazione pari a 30°. Il grado di alterazione è risultato leggero.

Sulla base delle caratteristiche della roccia intatta e delle discontinuità questa unità è stato valutato valori dell'indice GSI mediamente compreso tra 30 e 60, evidenziando nel complesso una qualità dell'ammasso da scadente a buona.



**Figura 7-3: Valutazione dell'indice GSI per le Dolomie**

I parametri di resistenza che caratterizzano l'ammasso secondo il criterio non lineare di Hoek e Brown (1980) sono stati ricavati assumendo cautelativamente:

$$\sigma_c = 45 \text{ MPa}$$

$$\text{GSI} = 40$$

$$m_i = 9$$

$$D = 0,5$$

Essi risultano:

$$m_b = 0.517$$

$$s = 0.0003$$

$$a = 0.511$$

Il modulo dell'ammasso, valutato applicando la formula di Hoek e Diederichs (2006), è risultato pari a circa 1.5 GPa.

### 7.2.3 Arenarie (GAR)

Questa unità comprende la seguente formazione:

- GAR - Arenarie scarsamente compatte, alternate a siltiti, siltiti marnose e marne (ARENARIA DI VAL GARDENA)

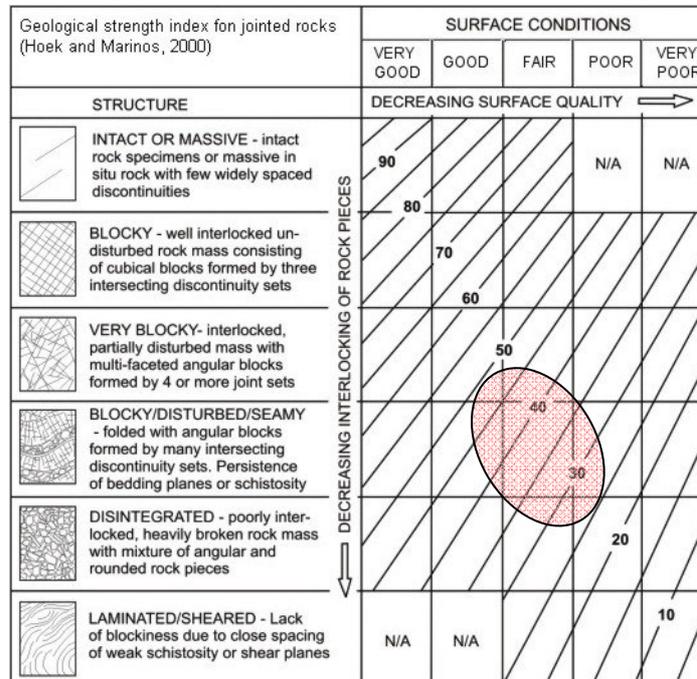
Nelle tabelle che seguono sono riportati i risultati dei stop geologici realizzati nell'ambito del Progetto Preliminare del Lotto 3 della Circonvallazione di Trento.

**Tabella 7-9: Risultati stop geologici del Progetto Preliminare del Lotto 3 della Circonvallazione di Trento**

STOP	FORMAZIONE		LITOLOGIA	STRATIFICAZIONE	GRADO DI ALTERAZIONE	TENACITA'	GIACITURA PIANI DI STRATO	NUMERO FAMIGLIE GIUNTI	RIEMPIMENTO FRATTURE	DISTURBI TETTONICI	INDICE GSI	$\sigma_c$ (MPa)
37	GAR	Arenarie della Val Gardena	Conglomerato a blocchi e ciottoli arrotondati porfirici in matrice sabbiosa	indistinta	III	R0 (solo matric e)	-	-	-	-	25-35	
38	GAR	Arenarie della Val Gardena	Arenarie a grana media e grossa	da centimetrica a decimetrica	IV	R1	160/2 1 - 160/1 9	> 4	zona di faglia piega		40-50	

Per questa formazione non sono è stata valutata la resistenza a compressione monoassiale da prove sclerometriche o prove di laboratorio. Prove di indice manuale hanno fornito un grado di resistenza da estremamente debole a molto debole, corrispondente a valori di resistenza a compressione monoassiale comprese tra 0.5 e 5 MPa. La formazione è risultata da moderatamente alterata a fortemente alterata.

L'indice GSI risulta compreso tra 25 e 35, nei casi in cui la formazione si presenta come un conglomerato, e tra 40 e 50 nei casi in cui la formazione si presenta più compatta.



**Figura 7-4: Valutazione dell'indice GSI per le Arenarie**

Per la parte più alterata della formazione, i parametri di resistenza che caratterizzano l'ammasso secondo il criterio non lineare di Hoek e Brown (1980) sono stati ricavati assumendo cautelativamente:

$$\sigma_c = 3 \text{ MPa}$$

$$\text{GSI} = 25$$

$$m_i = 17$$

$$D = 0,5$$

Essi risultano:

$$m_b = 0.478$$

$$s = 4.5e-5$$

$$a = 0.531$$

Il modulo dell'ammasso, valutato applicando la formula di Hoek e Diederichs (2006), è risultato pari a circa 100 MPa.

### 7.2.4 Lave porfiriche, lave massicce (LUB)

Tale unità comprende:

- LUB - Lave porfiriche, lave massicce e pseudo-stratificate, associate a lave a blocchi arrotondati e spigolosi cementati (Formazione di Buss)

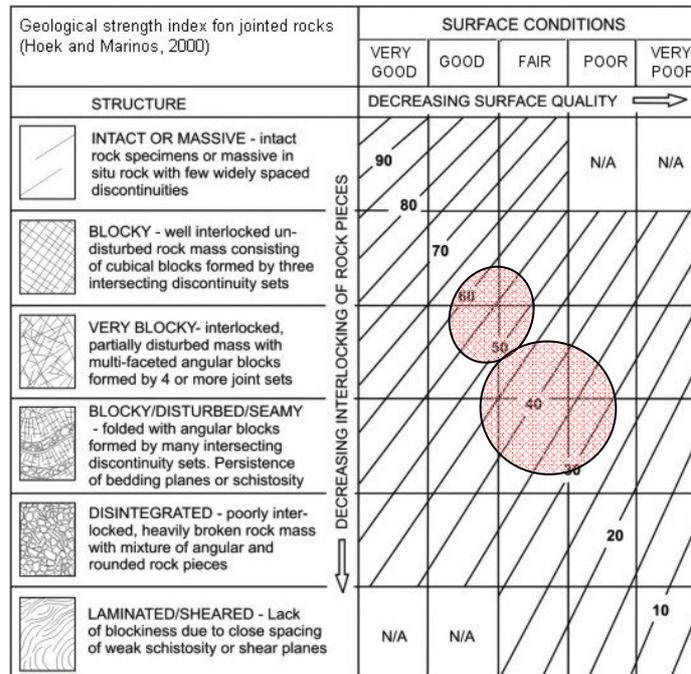
Per la caratterizzazione geomeccanica si è fatto riferimento ai risultati di stop geologici realizzati nell'ambito del Progetto Preliminare del Lotto 3 della Circonvallazione di Trento.

**Tabella 7-10: Risultati stop geologici del Progetto Preliminare del Lotto 3 della Circonvallazione di Trento**

STOP	FORMAZIONE		LITOLOGIA	STRATIFICAZIONE	GRADO DI ALTERAZIONE	TENACITA'	GIACITURA PIANI DI STRATO	NUMERO FAMIGLIE GIUNTI	RIEMPIMENTO FRATTURE	DISTURBI TETTONICI	INDICE GSI	$\sigma_c$ (MPa)
4	LUB	Formazione di Buss	Basalto nero	-	-	-	-	-	-	-	50-60	
20	LUB	Formazione di Buss	Ignimbrite, conglomerato a blocchi arrotondati di porfido	-	II	R3	-	-	-	-	25-50	-

Per questa formazione non sono stati determinati valori della resistenza a compressione monoassiale da prove sclerometriche o da prove di laboratorio. Prove di indice manuale hanno fornito per il conglomerato a blocchi un grado di resistenza medio, corrispondente a valori di resistenza a compressione monoassiale compresi tra 25 e 50 MPa. Per il basalto i valori della resistenza a compressione sono superiori a 100 MPa. L'alterazione dell'ammasso è risultato leggero.

L'indice GSI risulta compreso tra 25 e 50, nei casi in cui la formazione si presenta come un conglomerato, e tra 50 e 60 nei basalti.



**Figura 7-5: Valutazione dell'indice GSI per l'unità C-D**

Per la parte più alterata della formazione, i parametri di resistenza che caratterizzano l'ammasso secondo il criterio non lineare di Hoek e Brown (1980) sono stati ricavati assumendo cautelativamente:

$$\sigma_c = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{GSI} = 30$$

$$m_i = 25$$

$$D = 0,5$$

Essi risultano:

$$m_b = 0.4363$$

$$s = 0.0001$$

$$a = 0.522$$

Il modulo dell'ammasso, valutato applicando la formula di Hoek e Diederichs (2006), è risultato pari a circa 400 MPa.

Per i basalti, i parametri di resistenza che caratterizzano l'ammasso secondo il criterio non lineare di Hoek e Brown (1980) sono stati ricavati assumendo cautelativamente:

$\sigma_c = 100 \text{ MPa}$

GSI = 50

$m_i = 25$

$D = 0,5$

Essi risultano:

$m_b = 0.2312$

$s = 0.0013$

$a = 0.506$

Il modulo dell'ammasso, valutato applicando la formula di Hoek e Diederichs (2006), è risultato pari a circa 5000 MPa.

### **7.2.5 Lapilli e Tuff (ICT)**

Questa unità comprende :

- ICT - Lapilli tuff riodacitici in bancate di spessore plurimetrico (Formazione del Castelliere)

Nella campagna del 2021 tale unità è stata attraversata dal sondaggio TN4. Per la caratterizzazione sono stati anche recepiti i risultati di stop geologici realizzati nell'ambito del Progetto Preliminare del Lotto 3 della Circonvallazione di Trento.

Nel sondaggio la formazione è risultata poco fratturata evidenziando un indice RQD mediamente compreso tra 80 e 100%, con alcuni tratti maggiormente fratturati dove l'RQD è pari al 50%. Nella tabella che segue sono riportate le foto delle cassette con l'indicazione dell'indice RQD per ogni metro di profondità.

**RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IT1J	10	RH	GE0006001	B	115 di 158

**Tabella 7-11: Sondaggio TN4 – Indice RQD**

DA	A		Spezzioni < 5 cm	Spezzioni > 5 e < 10cm	Spezzioni > 10 cm	Non libride	IF	TRC %	SRC %	RQD %	IF	TRC %	SRC %	RQD %
5	6		0	0	0	100	-	100	0	0	-	100	0	0
6	7		0	0	0	100	-	100	0	0	-	100	0	0
7	8		0	0	0	100	-	100	0	0	-	100	0	0
8	9		12	0	0	88	-	100	0	0	-	100	0	0
9	10		26	13	61	0	-	100	74	61	-	100	74	61
10	11		8	11	81	0	0.237	100	81	81	0.237	100	81	81
11	12		35	15	48	0	0.315	100	63	48	0.315	100	63	48
12	13		4	15	77	0	0.240	96	92	77	0.24	96	92	77
13	14		4	11	84	0	0.166	100	95	84	0.166	100	95	84
14	15		6	6	88	0	0.310	100	94	88	0.31	100	94	94
15	16		15	0	85	0	0.425	100	85	85	0.425	100	85	85
16	17		15	0	82	0	0.820	97	82	82	0.82	97	82	82
17	18		5	8	87	0	0.200	100	95	87	0.2	100	95	87
18	19		0	0	100	0	0.500	100	100	100	0.5	100	100	100
19	20		0	5	93	0	0.333	98	98	93	0.33	98	98	93
20	21		3	0	97	0	1	100	97	97	1	100	97	97
21	22		7	0	93	0	0.300	100	93	93	0.3	100	93	93
22	23		0	0	100	0	1	100	100	100	1	100	100	100
23	24		0	0	100	0	1	100	100	100	1	100	100	100
24	25		5	15	80	0	-	100	100	80	-	100	100	80
25	26		16	5	74	5	0.135	100	79	74	0.135	100	79	74
26	27		4	18	78	0	0.250	100	96	78	0.25	100	96	78
27	28		3	0	94	0	0.161	97	97	94	0.161	100	97	94
28	29		4	6	90	0	0.200	100	96	90	0.2	100	96	90
29	30		0	8	92	0	0.500	100	100	92	0.5	100	100	92

Nelle tabelle che seguono sono riportati invece i risultati dei rilievi effettuati.

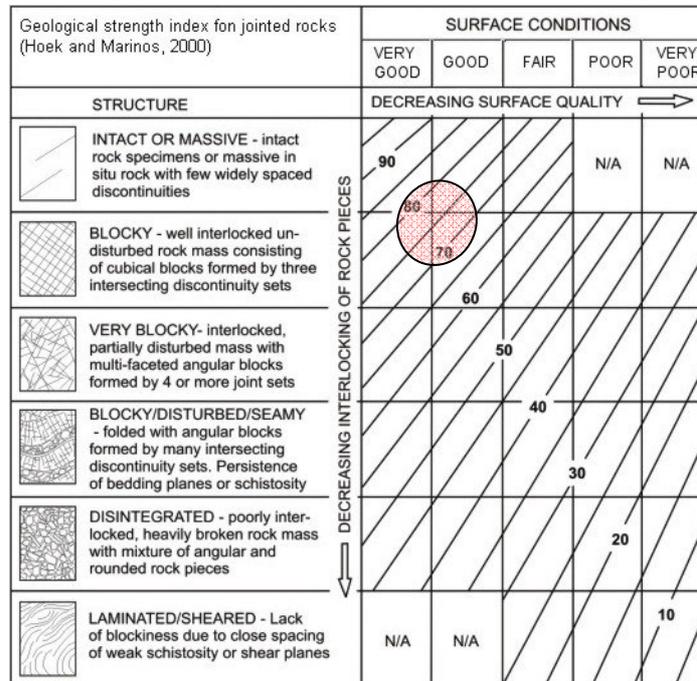
**Tabella 7-12: Risultati stop geologici del Progetto Preliminare del Lotto 3 della Circonvallazione di Trento**

STOP	FORMAZIONE	LITOLOGIA	STRATIFICAZIONE	GRADO DI ALTERAZIONE	TENACITA'	GIACITURA PIANI DI STRATO	NUMERO FAMIGLIE GIUNTI	RIEMPIMENTO FRATTURE	DISTURBI TETTONICI	INDICE GSI	$\sigma_c$ (MPa)
36	ICT Formazione del Castelliere	Lapilli Tuff rinsaldati	assente	II	R1	-	4			70-80	22

Il materiale lapideo di base è stato caratterizzato meccanicamente con il valore della resistenza a compressione monoassiale ricavata da prove sclerometriche, che forniscono valori di resistenza a compressione monoassiale,  $\sigma_c$  o UCS, di 22 MPa.

Per quanto riguarda le discontinuità la formazione è caratterizzata dalla presenza di 4 famiglie di giunti. Il grado di alterazione è risultato leggero, mentre l'indice di resistenza ha indicato roccia scarsamente resistente.

L'indice GSI è risultato compreso tra 70 e 80 evidenziando un'ammasso di buona qualità.



**Figura 7-6: Valutazione dell'indice GSI per l'unità Lapilli e Tuff**

I parametri di resistenza che caratterizzano l'ammasso secondo il criterio non lineare di Hoek e Brown (1980) sono stati ricavati assumendo cautelativamente:

$\sigma_c = 20 \text{ MPa}$

$GSI = 70$

$m_i = 13$

$D = 0,5$

Essi risultano:

$m_b = 0.4596$

$s = 0.0183$

$a = 0.501$

Il modulo dell'ammasso, valutato applicando la formula di Hoek e Diederichs (2006), è risultato pari a circa 2500 MPa.

## 8 SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Nel seguito una sintesi dei valori caratteristici dei principali parametri geotecnici e dei livelli di falda, assunti per la progettazione.

I valori che seguono delle proprietà geotecniche sono da intendersi come valori guida per la progettazione; resta inteso che nelle analisi geotecniche di dettaglio delle varie opere andranno calibrati sulla base delle condizioni geotecniche locali, oltre che rapportati alla tipologia di opere (fondazioni o opere di sostegno) ed alle ipotesi di calcolo assunte.

**Tabella 8-1: Intervalli di variazione dei parametri geotecnici**

	Unità geotecnica	Litologia prevalente	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\sigma_c$ (MPa)	GSI (-)	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$c_u$ (kPa)	$E_{op}$ (MPa)	$\nu$ (-)
<b>TERRENI DI COPERTURA</b>	<b>GS(*)</b>	Ghiaie sabbiose	18 ÷ 21	-	-	0 ÷ 5	38 ÷ 42	-	40 ÷ 80	0.30
	<b>LSA</b>	Limi sabbiosi deb. argillosi	19 ÷ 21	-	-	5 ÷ 10	23 ÷ 26	50 ÷ 150	5 ÷ 20	0.35
<b>SUBSTRATO</b>	<b>FMZ, LOP, RTZ, ARV, MAI, SAA</b>	Calcari e calcari mamosi	24 ÷ 26	60 ÷ 100	50 ÷ 70	-	-	-	6000 ÷ 8000	0.25
	<b>BEL, SCI, DPR</b>	Dolomie	24 ÷ 26	40 ÷ 70	30 ÷ 60	-	-	-	1500 ÷ 2000	0.25
	<b>GAR</b>	Arenarie	21 ÷ 24	0.5 ÷ 10	25 ÷ 50	-	-	-	100 ÷ 400	0.25
	<b>LUB_a</b>	Basalto	26 ÷ 27	>100	50 ÷ 60	-	-	-	5000 ÷ 7000	0.25
	<b>LUB_b</b>	Ignimbrite, conglomerato a blocchi arrotondati di porfido	25 ÷ 26	25 ÷ 50	25 ÷ 50	-	-	-	400 ÷ 600	0.25
	<b>ICT</b>	Lapilli e tuff	16 ÷ 19	15 ÷ 30	70 ÷ 80	-	-	-	2000 ÷ 3000	0.25

(\*) per gli strati e le lenti limo sabbiose argillose presenti all'interno dell'unità GS si può far riferimento ai parametri geotecnici dell'unità LSA

Sulla base di una stima ragionata e cautelativa i parametri fisico-meccanici sono espressi come valori caratteristici; per la scelta del valore caratteristico dei parametri geotecnici da utilizzare nelle verifiche, sulla base degli intervalli riportati in tabella, è stato fatto riferimento alle indicazioni del C.S.L.P., tenendo conto del volume significativo interessato dalla verifica in esame per lo stato limite considerato.

Qualora infatti nel meccanismo in esame sia coinvolto un elevato volume di terreno, tale da poter compensare locali eterogeneità, (i.e. carico limite di fondazioni superficiali, resistenza laterale di un palo, pendii e fronti di scavo di elevata ampiezza, opere di contenimento di notevole altezza) e/o la struttura

sia dotata di sufficiente rigidità, motivo per cui è possibile considerare il trasferimento delle azioni dalle zone a minor resistenza a quelle a più resistenti, il valore caratteristico può assumersi pari al valore medio.

Valori caratteristici prossimi ai valori minimi appaiono più giustificati nel caso siano coinvolti modesti volumi di terreno (i.e. scorrimento di fondazioni superficiali, resistenza alla punta di un palo, pendii e fronti di scavo di modesta ampiezza, opere di contenimento di altezza moderata) e/o la struttura non sia dotata di sufficiente rigidità per trasferire i carichi alle zone più resistenti.

I parametri di progetto per le verifiche delle opere, secondo l'approccio considerato, sono determinati dai parametri caratteristici applicando i coefficienti parziali  $\gamma_M$  di seguito riportati.

**Tabella 8-2: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coeff. parziale	Coeff. parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan(\varphi'_k)$	$\gamma_{\varphi'}$	1.00	1.25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1.00	1.40
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_{\gamma}$	1.00	1.00

Si osserva che, sebbene si reputa che il grado di approfondimento della caratterizzazione geotecnica operata sia coerente con quanto richiesto per il livello di progettazione in atto, si ritiene opportuno evidenziare che nelle successive fasi della progettazione dovranno essere approfonditi sia l'assetto geologico strutturale e stratigrafico nelle aree di intervento, sia il comportamento meccanico delle unità geotecniche individuate.

Per quanto riguarda i livelli di falda nei profili e nelle sezioni geotecniche sono riportati i livelli di falda desunti dalle letture effettuate nei sondaggi presenti lungo la linea.

## 9 CONSIDERAZIONI SULLA LIQUEFAZIONE

La liquefazione è un fenomeno associato alla perdita di resistenza al taglio o ad un accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni dinamiche (terremoti) che agiscono in condizioni non drenate.

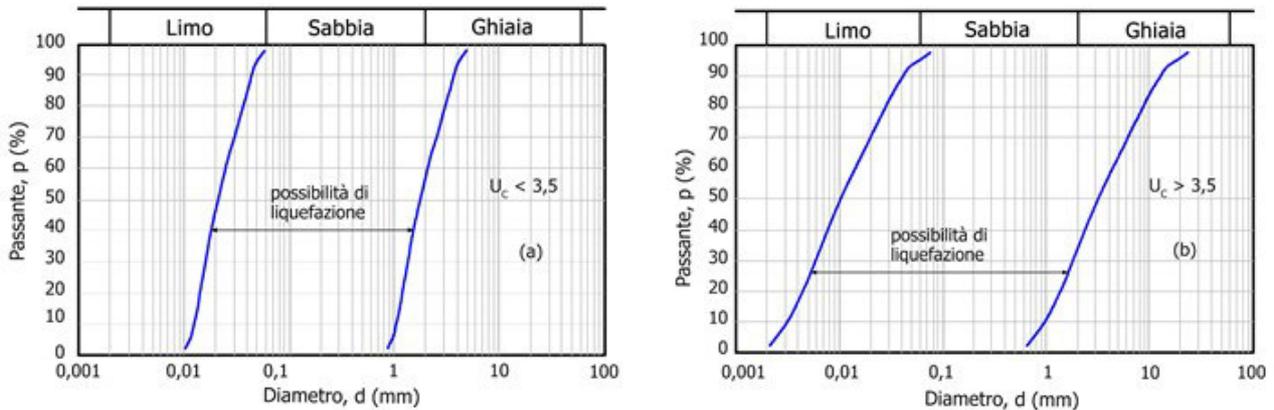
L'analisi della suscettibilità alla liquefazione di un dato sito dipende da:

- Caratteristiche dell'azione sismica (intensità e durata);
- Proprietà geotecniche dei terreni;
- Caratteristiche litologiche dei terreni e profondità della falda.

La liquefazione di un deposito è dunque il risultato dell'effetto combinato di due principali categorie di fattori: le condizioni del terreno (fattore predisponente) e la sismicità (fattore scatenante).

Relativamente alle verifiche a liquefazione la normativa di riferimento permette di escluderle quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.10 g;
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle figure seguenti (*a* per terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.50$  e *b* per terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.50$ ).



**Figura 9-1: Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione”**

Secondo l'Eurocodice 8 è, invece, possibile escludere la liquefazione quando l'accelerazione massima è minore di 0.15 g ed è soddisfatta almeno una delle seguenti condizioni:

- Le sabbie hanno un contenuto di argilla maggiore del 20% con un indice di plasticità  $I_p > 10\%$ ;
- Le sabbie hanno un contenuto di limo maggiore del 35% e, allo stesso tempo, il valore dei colpi SPT normalizzato alla pressione di confinamento e al rapporto di energia  $(N_1)_{60} > 20$ ;
- Le sabbie contengono una frazione fine non trascurabile ( $FC > 5\%$ ), con il valore del numero di colpi SPT normalizzato alla pressione di confinamento e al rapporto di energia  $(N_1)_{60} > 30$ .

Per il tratto di linea tra i Comuni di Borgo Valsugana Est e Pergine Valsugana le accelerazioni massime attese al piano campagna, in condizioni di campo libero, risultano essere di poco superiori al limite definito da normativa, mentre tra i Comuni di Pergine Valsugana fino e Trento le accelerazioni massime sono inferiori a limite di 0.1g.

Nel primo tratto pertanto, considerando i solo criteri speditivi proposti dal D.M. 17/01/2018, non risulta possibile escludere che i fenomeni di liquefazione interessino i terreni lungo la linea, mentre per il secondo tale esclusione è possibile.

Per la prima tratta sono state eseguite quindi specifiche analisi per verificare la presenza di orizzonti stratigrafici potenzialmente liquefacibili.

La verifica si sviluppa controllando che, ad una generica profondità, la sollecitazione, CSR, sia inferiore al valore della resistenza, CRR, ridotto per un opportuno coefficiente di sicurezza, FSL, che assume il valore di 1.25 così come indicato nell'Eurocodice 8.

Per le verifiche nei confronti del rischio liquefazione è stato fatto ricorso ad espressioni per la stima dell'azione, Cyclic Stress Ratio (CSR), che tengono conto, in maniera semplificata, dei parametri che influenzano la risposta del banco di terreno assegnati la magnitudo dell'evento e la massima accelerazione attesa a piano campagna.

Il valore di resistenza, Cyclic Resistance Ratio, CRR, viene individuato sulla base di abachi di origine semi-empirica, in cui la resistenza del terreno potenzialmente liquefacibile è espressa o a partire dai risultati di prove penetrometriche, siano esse statiche o dinamiche, ovvero dai risultati delle prove di misura di velocità di propagazione delle onde di taglio.

Il rapporto di tensione ciclica, ad una determinata profondità, può essere valutato attraverso la seguente espressione (Seed e Idriss, 1971):

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_v} = 0.65 r_d \frac{\sigma_v a_{max}}{\sigma'_v g} = 0.65 r_d \frac{\sigma_v S_S S_T a_g}{\sigma'_v g}$$

in cui:

$\tau_{av}$  è la tensione tangenziale media agente alla profondità di verifica;

$\sigma'_v$  è la tensione verticale efficace agente in sito agente alla profondità di verifica;

$\sigma_v$  è la tensione verticale totale agente in sito agente alla profondità di verifica;

$r_d$  è un coefficiente che tiene conto della riduzione dell'azione sismica all'aumentare della profondità, calcolato come proposto da Golesorkhi (1989):

$$r_d = \exp(\alpha(z) + \beta(z)M_w)$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \operatorname{sen}\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right);$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \operatorname{sen}\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right);$$

$g$  è l'accelerazione di gravità;

$a_{\max}$  è l'accelerazione orizzontale di picco;

$a_g$  è l'accelerazione orizzontale al bedrock, valutata per il periodo di ritorno definito per l'opera;

$S_S$  è il coefficiente di amplificazione stratigrafica;

$S_T$  è il coefficiente di amplificazione topografica.

Poiché le procedure semplificate sono state elaborate sulla base di osservazioni sul comportamento dei depositi durante eventi sismici con magnitudo di momento,  $M_w$ , pari a 7.5, come consuetudine per eventi di magnitudo diversa è stato ricondotto il carico sismico a quello equivalente di un terremoto di magnitudo 7.5,  $(CSR)_{M=7.5} = CSR/MSF$ , attraverso il coefficiente MSF valutato sulla base dell'espressione indicata da Idriss (1999) e riportata nelle linee guida AGI (2005):

$$MSF = 6.9 \exp\left(\frac{-M_w}{4}\right) - 0.058 \leq 1.80$$

Nel caso in esame è stata considerata una magnitudo di riferimento  $M = 6,60$ .

La valutazione del fattore CRR da prove di misura della velocità delle onde S,  $V_s$ , è ricondotta ad un valore di riferimento  $V_{s1}$  attraverso la relazione (Sykora, 1987; Robertson et al., 1992):

$$V_{s1} = C_V \cdot V_s$$

in cui

$C_v$  rappresenta un coefficiente di normalizzazione pari a  $C_v = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v}\right)^{0.25} \leq 1.40$   
 $p_a$  rappresenta la pressione atmosferica.

Dal valore di  $V_{s1}$ , la resistenza alla liquefazione può essere ottenuta attraverso abachi di letteratura, ricavati dall'osservazione dei casi storici, nei quali sono rappresentate le curve limite che separano le zone di possibile liquefazione da quelle di non liquefazione aventi equazione:

$$CRR = 0.022 \left(\frac{V_{s1}}{100}\right)^2 + 2.80 \left(\frac{1}{V_{s1}^* - V_{s1}} - \frac{1}{V_{s1}^*}\right)$$

Il parametro  $V_{s1}^*$  rappresenta il valore di soglia della velocità delle onde di taglio normalizzata,  $V_{s1}$ , oltre il quale la liquefazione non avviene. Esso può essere valutato, in funzione della frazione di fine, FC, attraverso le seguenti relazioni:

per  $FC \leq 5\%$  ->  $V_{s1}^* = 215$  m/s;

per  $5\% \leq FC \leq 35\%$  ->  $V_{s1}^* = 215 - 0.5 (FC - 5)$  m/s;

per  $FC > 35\%$  ->  $V_{s1}^* = 200$  m/s.

Nelle analisi condotte, a vantaggio di sicurezza, è stato trascurato il contenuto di frazione fina.

L'equazione per stimare il CRR è valida per stati tensionali efficaci limitati; per tensioni efficaci superiori a 100kPa l'equazione che valuta la resistenza deve essere moltiplicata per un coefficiente correttivo  $K_\sigma$  che assume la forma:

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln\left(\frac{\sigma'_v}{p_a}\right) \leq 1$$

con  $C_\sigma = 1/[18.9 - 3.1 \cdot (\sigma'_v / p_a)^{1.976}] \leq 0.3$ .

Al fine di valutare il rischio complessivo di liquefazione del terreno lungo la verticale oggetto di studio si è valutato il potenziale di liquefazione,  $P_L$ , convenzionalmente esteso fino a – 20 m p.c., mediante la seguente espressione:

$$I_L = \sum_{i=1}^n I_{L,i} = \sum_{i=1}^n FL w(z)$$

dove:

$n$  è il numero degli strati;

$FL$  è dato dall'espressione  $FL = \begin{cases} 0 & \text{se } FSL > 1 \\ 1 - FSL & \text{se } FSL < 1 \end{cases}$

$w(z)$  è definito come  $w(z) = 10 - 0.5 \cdot z$

Il concetto della probabilità di liquefazione,  $P_L$ , nasce dalla considerazione che nei metodi semplificati il coefficiente di sicurezza teorico ( $FSL = CRR / CSR$ ) non implica, in pratica, che se  $FSL \leq 1$  si avrà liquefazione e se  $FSL > 1$  non si avrà liquefazione. Negli anni recenti, da parte di diversi autori, è stata introdotta la valutazione del potenziale di liquefazione in termini probabilistici.

Iwasaki et al (1982) definiscono 4 categorie in funzione del valore assunto dal potenziale di liquefazione:

$PL = 0$  Non esiste un potenziale di rottura a liquefazione;

$0 < PL \leq 5$  Il potenziale di rottura è basso;

$5 < PL \leq 15$  Il potenziale di rottura è elevato;

$PL > 15$  Il potenziale di rottura è estremamente elevato.

Per il sito in esame le analisi sono state condotte in corrispondenza delle verticali indagate con i sondaggi TN5, TN7; TN8 e TN9, dove sono state eseguite prove Down Hole.

Come si evince dai tabulati riportati nelle pagine seguenti in corrispondenza delle verticali indagate il sito non risulta suscettibile a liquefazione.



# ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA

LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est

## RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IT1J	10	RH	GE0006001	B	126 di 158

### VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Release: v3

OPERA: SONDAGGIO TN5

#### DATI DI PROGETTO:

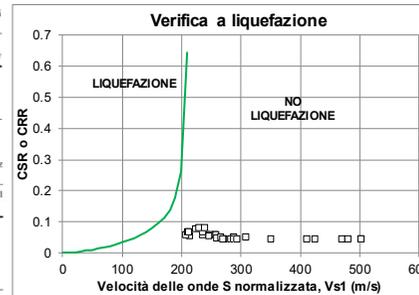
Profondità della falda	Z <sub>w</sub>	9.48	(m)
Sovraccarico agente a p.c.	q	0	(kPa)
Magnitudo di momento attesa dell'evento sismico	M <sub>w</sub>	6.6	(-)
Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	S <sub>s</sub>	1.50	(-)
Coefficiente Amplificazione Topografico	S <sub>T</sub>	1.00	(-)
Accelerazione sismica	a <sub>g</sub> /g	0.076	(-)
Accelerazione sismica massima	a <sub>max</sub> /g	0.114	(-)
Teoria per il calcolo di MSF	AGI (2005)	MSF	1.267 (-)
Teoria per il calcolo di rd	Blake (1996)		
Teoria per il calcolo di CRR	Idriss e Boulanger (2004)		

Table 1 Liquefaction potential categories based on I<sub>t</sub> (Iwasaki et al. 1982)

I <sub>t</sub>	Liquefaction potential category
0	Very low
0 < I <sub>t</sub> ≤ 5	Low
5 < I <sub>t</sub> ≤ 15	High
15 > I <sub>t</sub>	Very high

Table 2 Liquefaction potential classification proposed by Sommez (2003)

I <sub>t</sub>	Liquefaction potential category
0	Non-liquefiable (based on F <sub>1</sub> > 1.2)
0 < I <sub>t</sub> ≤ 2	Low
2 < I <sub>t</sub> ≤ 5	Moderate
5 < I <sub>t</sub> ≤ 15	High
15 > I <sub>t</sub>	Very high



POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE SECONDO IWASAKI et al. (1982): **PL = 0 - MOLTO BASSO**  
 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE SECONDO SOMMEZ et al. (2003): **PL = 0 - NON LIQUEFICABILE**

z	z <sub>med</sub>	Litologia	Liquefacibile?	γ <sub>n</sub>	γ <sub>sat</sub>	V <sub>s</sub>	V <sub>s,med</sub>	FC	σ <sub>v</sub>	σ'v0	r <sub>d</sub>	C <sub>v</sub>	V <sub>s1</sub>	V <sub>s1</sub> *	C <sub>σ</sub>	K <sub>σ</sub>	CSR	CSR <sub>7,5kσ</sub>	CRR	FSL	ESITO (FSL≥1,25)	PL		
[m]	[m]	[-]		[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]	[-]	[kPa]	[kPa]	[-]	[-]	[m/s]	[m/s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]		
0	0	Limo deb ghiaioso							0	0														
1.0	0.5	Limo	S	19.0	19.0	183.2	183.2		9.5	9.5	0.998	1.40	256.5	215.0	0.00	1.00	0.074	0.058	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
2.0	1.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	193.0	188.1		28.5	28.5	0.990	1.37	257.4	215.0	0.00	1.00	0.073	0.058	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
3.0	2.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	208.9	200.9		47.5	47.5	0.983	1.20	242.0	215.0	0.00	1.00	0.073	0.057	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
4.0	3.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	239.2	224.0		66.5	66.5	0.976	1.11	248.1	215.0	0.00	1.00	0.072	0.057	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
5.0	4.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	234.7	236.9		85.5	85.5	0.969	1.04	246.4	215.0	0.00	1.00	0.072	0.057	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
6.0	5.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	198.6	216.6		104.5	104.5	0.962	0.99	214.3	215.0	0.20	0.99	0.071	0.057	3.893	68.61	NO LIQUEFAZIONE	0.00	NON LIQUEF. QUASI CERTA	
7.0	6.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	299.5	249.1		123.5	123.5	0.953	0.95	236.3	215.0	0.30	0.94	0.071	0.060	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
8.0	7.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	328.0	313.8		142.5	142.5	0.943	0.92	287.2	215.0	-0.17	1.06	0.070	0.052	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
9.0	8.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	254.4	291.2		161.5	161.5	0.930	0.89	258.3	215.0	-0.76	1.10	0.069	0.049	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
10.0	9.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	223.4	238.9		180.5	180.3	0.914	0.86	206.2	215.0	0.17	0.90	0.068	0.059	0.397	6.68	NO LIQUEFAZIONE	0.00	NON LIQUEF. QUASI CERTA	
11.0	10.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	330.6	277.0		199.5	189.3	0.894	0.85	236.2	215.0	0.30	0.79	0.070	0.070	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
12.0	11.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	399.9	365.3		218.5	198.3	0.870	0.84	307.8	215.0	-0.10	1.08	0.071	0.052	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
13.0	12.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	237.6	318.8		237.5	207.3	0.842	0.83	265.7	215.0	-0.40	1.10	0.071	0.051	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
14.0	13.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	271.6	254.6		256.5	216.3	0.811	0.82	209.9	215.0	0.18	0.83	0.071	0.068	0.637	9.38	NO LIQUEFAZIONE	0.00	NON LIQUEF. QUASI CERTA	
15.0	14.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	277.5	274.5		275.5	225.3	0.778	0.82	224.1	215.0	0.28	0.72	0.070	0.077	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
16.0	15.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	290.0	283.8		294.5	234.3	0.744	0.81	229.4	215.0	0.30	0.68	0.069	0.081	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
17.0	16.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	240.3	265.2		313.5	243.3	0.712	0.80	212.3	215.0	0.19	0.78	0.068	0.069	1.126	16.36	NO LIQUEFAZIONE	0.00	NON LIQUEF. QUASI CERTA	
18.0	17.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	359.9	300.1		332.5	252.3	0.681	0.79	238.1	215.0	0.30	0.64	0.067	0.082	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
19.0	18.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	358.5	359.2		351.5	261.3	0.654	0.79	282.5	215.0	-0.19	1.10	0.065	0.047	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
20.0	19.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	334.6	346.5		370.5	270.3	0.629	0.78	270.2	215.0	-0.31	1.10	0.064	0.046	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
21.0	20.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	359.6	347.1		389.5	279.3	0.608	0.77	268.5	215.0	-0.34	1.10	0.063	0.045	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
22.0	21.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	388.2	373.9		408.5	288.3	0.589	0.77	286.9	215.0	-0.17	1.10	0.062	0.044	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
23.0	22.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	380.1	384.2		427.5	297.3	0.573	0.76	292.6	215.0	-0.14	1.10	0.061	0.044	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
24.0	23.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	544.9	462.5		446.5	306.3	0.559	0.76	349.6	215.0	-0.06	1.08	0.060	0.044	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
25.0	24.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	548.0	546.4		465.5	315.3	0.547	0.75	410.1	215.0	-0.03	1.05	0.060	0.045	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
26.0	25.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	590.1	569.1		484.5	324.3	0.536	0.75	424.1	215.0	-0.03	1.05	0.059	0.045	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
27.0	26.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	677.8	634.0		503.5	333.3	0.527	0.74	469.2	215.0	-0.02	1.03	0.059	0.045	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
28.0	27.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	686.0	681.9		522.5	342.3	0.519	0.74	501.4	215.0	-0.02	1.03	0.059	0.045	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
29.0	28.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	686.3	686.2		541.5	351.3	0.511	0.73	501.2	215.0	-0.02	1.03	0.058	0.045	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
30.0	29.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	634.7	660.5		560.5	360.3	0.505	0.73	479.4	215.0	-0.02	1.03	0.058	0.044	-	-	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-



# ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA

LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est

## RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IT1J	10	RH	GE0006001	B	127 di 158

### VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Release: v3

OPERA: SONDAGGIO TN7

#### DATI DI PROGETTO:

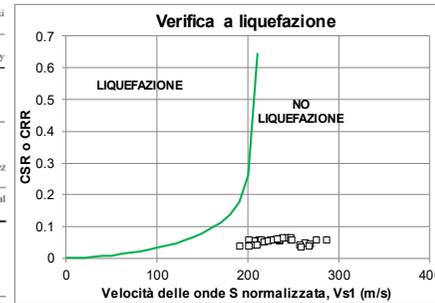
Profondità della falda	Z <sub>w</sub>	38.70	(m)
Sovraccarico agente a p.c.	q	0	(kPa)
Magnitudo di momento attesa dell'evento sismico	M <sub>w</sub>	6.6	(-)
Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	S <sub>s</sub>	1.20	(-)
Coefficiente Amplificazione Topografico	S <sub>T</sub>	1.00	(-)
Accelerazione sismica	a <sub>g</sub> /g	0.094	(-)
Accelerazione sismica massima	a <sub>max</sub> /g	0.113	(-)
Teoria per il calcolo di MSF	AGI (2005)	MSF	1.267 (-)
Teoria per il calcolo di rd	Blake (1996)		
Teoria per il calcolo di CRR	Idriss e Boulanger (2004)		

Table 1 Liquefaction potential categories based on I<sub>L1</sub> (Iwasaki et al. 1982)

I <sub>L1</sub>	Liquefaction potential category
0 < I <sub>L1</sub> ≤ 5	Very low
5 < I <sub>L1</sub> ≤ 15	Low
15 < I <sub>L1</sub>	High
	Very high

Table 2 Liquefaction potential classification proposed by Sommez (2003)

I <sub>L1</sub>	Liquefaction potential category
0	Non-liquefiable (based on F <sub>L1</sub> ≥ 1.2)
0 < I <sub>L1</sub> < 2	Low
2 < I <sub>L1</sub> < 5	Moderate
5 < I <sub>L1</sub> < 15	High
15 > I <sub>L1</sub>	Very high



POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE SECONDO IWASAKI et al. (1982): **PL = 0 - MOLTO BASSO**  
 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE SECONDO SONMEZ et al. (2003): **PL = 0 - NON LIQUEFACILE**

z	zmed	Litologia	Liquefacibile?	γ <sub>n</sub>	γ <sub>sat</sub>	V <sub>s</sub>	V <sub>s,med</sub>	FC	σ <sub>v</sub>	σ' <sub>v0</sub>	r <sub>d</sub>	Cv	V <sub>S1</sub>	V <sub>S1</sub> *	Cσ	Kσ	CSR	CSR <sub>7,5,Kσ</sub>	CRR	FSL	ESITO (FSL≥1,25)	PL	
[m]	[m]	[-]		[kN/m³]	[kN/m³]	[m/s]	[m/s]	[-]	[kPa]	[kPa]	[-]	[-]	[m/s]	[m/s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	
0	0	Ghiaia sabbiosa							0	0													
1.0	0.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	151.8	151.8		9.5	9.5	0.998	1.40	212.5	215.0	0.00	1.00	0.073	0.058	1.190	20.61	NO LIQUEFAZIONE	0.00	NON LIQUEF. QUASI CERTA
2.0	1.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	249.4	200.6		28.5	28.5	0.990	1.37	274.5	215.0	0.00	1.00	0.073	0.057	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
3.0	2.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	225.7	237.5		47.5	47.5	0.983	1.20	286.1	215.0	0.00	1.00	0.072	0.057	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
4.0	3.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	198.3	212.0		66.5	66.5	0.976	1.11	234.7	215.0	0.00	1.00	0.072	0.056	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
5.0	4.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	203.6	200.9		85.5	85.5	0.969	1.04	208.9	215.0	0.00	1.00	0.071	0.056	0.545	9.73	NO LIQUEFAZIONE	0.00	NON LIQUEF. QUASI CERTA
6.0	5.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	214.8	209.2		104.5	104.5	0.962	0.99	206.9	215.0	0.17	0.99	0.071	0.056	0.426	7.61	NO LIQUEFAZIONE	0.00	NON LIQUEF. QUASI CERTA
7.0	6.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	280.5	247.7		123.5	123.5	0.953	0.95	234.9	215.0	0.30	0.94	0.070	0.059	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
8.0	7.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	187.0	233.7		142.5	142.5	0.943	0.92	213.9	215.0	0.20	0.93	0.069	0.059	2.714	46.18	NO LIQUEFAZIONE	0.00	NON LIQUEF. QUASI CERTA
9.0	8.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	265.5	226.2		161.5	161.5	0.930	0.89	200.7	215.0	0.15	0.93	0.068	0.058	0.271	4.67	NO LIQUEFAZIONE	0.01	NON LIQUEF. QUASI CERTA
10.0	9.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	296.6	281.0		180.5	180.5	0.914	0.86	242.5	215.0	0.30	0.82	0.067	0.064	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
11.0	10.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	327.9	312.3		199.5	199.5	0.894	0.84	262.7	215.0	-0.50	1.10	0.066	0.047	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
12.0	11.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	322.9	325.4		218.5	218.5	0.870	0.82	267.7	215.0	-0.36	1.10	0.064	0.046	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
13.0	12.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	290.6	306.7		237.5	237.5	0.842	0.81	247.1	215.0	0.30	0.74	0.062	0.066	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
14.0	13.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	310.4	300.5		256.5	256.5	0.811	0.79	237.4	215.0	0.30	0.72	0.059	0.065	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
15.0	14.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	350.4	330.4		275.5	275.5	0.778	0.78	256.4	215.0	-0.97	1.10	0.057	0.041	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
16.0	15.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	350.6	350.5		294.5	294.5	0.744	0.76	267.5	215.0	-0.36	1.10	0.055	0.039	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
17.0	16.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	265.0	307.8		313.5	313.5	0.712	0.75	231.3	215.0	0.30	0.66	0.052	0.063	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
18.0	17.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	340.7	302.8		332.5	332.5	0.681	0.74	224.3	215.0	0.28	0.67	0.050	0.059	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
19.0	18.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	364.9	352.8		351.5	351.5	0.654	0.73	257.6	215.0	-0.82	1.10	0.048	0.034	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
20.0	19.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	319.9	342.4		370.5	370.5	0.629	0.72	246.8	215.0	0.30	0.61	0.046	0.060	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
21.0	20.5	Limo sabbioso arg	S	19.0	19.0	291.4	305.6		389.5	389.5	0.608	0.71	217.6	215.0	0.22	0.70	0.045	0.050	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
22.0	21.5	Limo sabbioso arg	S	19.0	19.0	340.9	316.1		408.5	408.5	0.589	0.70	222.4	215.0	0.26	0.64	0.043	0.054	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
23.0	22.5	Limo sabbioso arg	S	19.0	19.0	370.8	355.9		427.5	427.5	0.573	0.70	247.5	215.0	0.30	0.56	0.042	0.059	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
24.0	23.5	Limo sabbioso arg	S	19.0	19.0	290.3	330.5		446.5	446.5	0.559	0.69	227.4	215.0	0.30	0.55	0.041	0.059	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
25.0	24.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	304.2	297.2		465.5	465.5	0.547	0.68	202.3	215.0	0.16	0.76	0.040	0.042	0.298	7.17	NO LIQUEFAZIONE	-	-
26.0	25.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	306.8	305.5		484.5	484.5	0.536	0.67	205.9	215.0	0.17	0.74	0.039	0.042	0.388	9.20	NO LIQUEFAZIONE	-	-
27.0	26.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	322.9	314.9		503.5	503.5	0.527	0.67	210.2	215.0	0.18	0.70	0.039	0.043	0.667	15.37	NO LIQUEFAZIONE	-	-
28.0	27.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	282.9	302.9		522.5	522.5	0.519	0.66	200.4	215.0	0.15	0.75	0.038	0.040	0.267	6.68	NO LIQUEFAZIONE	-	-
29.0	28.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	299.0	290.9		541.5	541.5	0.511	0.66	190.7	215.0	0.13	0.78	0.037	0.038	0.182	4.83	NO LIQUEFAZIONE	-	-
30.0	29.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	415.2	357.1		560.5	560.5	0.505	0.65	232.1	215.0	0.30	0.48	0.037	0.060	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-



# ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA

LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est

## RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IT1J	10	RH	GE0006001	B	128 di 158

### VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Release: v3

OPERA: SONDAGGIO TN8

### DATI DI PROGETTO:

Profondità della falda	Z <sub>w</sub>	6.70 (m)
Sovraccarico agente a p.c.	q	0 (kPa)
Magnitudo di momento attesa dell'evento sismico	M <sub>w</sub>	6.6 (-)
Coefficiente Amplificazione Stratigrafica	S <sub>s</sub>	1.50 (-)
Coefficiente Amplificazione Topografico	S <sub>T</sub>	1.00 (-)
Accelerazione sismica	a <sub>g</sub> /g	0.088 (-)
Accelerazione sismica massima	a <sub>max</sub> /g	0.132 (-)
Teoria per il calcolo di MSF	MSF	1.267 (-)
Teoria per il calcolo di rd		
Teoria per il calcolo di CRR		

Table 1 Liquefaction potential categories based on I<sub>L</sub> (Iwasaki et al. 1982)

I <sub>L</sub>	Liquefaction potential category
0	Very low
0 < I <sub>L</sub> ≤ 5	Low
5 < I <sub>L</sub> ≤ 15	High
15 > I <sub>L</sub>	Very high

Table 2 Liquefaction potential classification proposed by Sommez (2003)

I <sub>L</sub>	Liquefaction potential category
0	Non-liquefiable (based on F <sub>L</sub> = 1.2)
0 < I <sub>L</sub> < 2	Low
2 < I <sub>L</sub> < 5	Moderate
5 < I <sub>L</sub> < 15	High
15 > I <sub>L</sub>	Very high



POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE SECONDO IWASAKI et al. (1982): **PL = 0 - MOLTO BASSO**  
 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE SECONDO SONMEZ et al. (2003): **PL = 0 - NON LIQUEFACIBILE**

z	z <sub>med</sub>	Litologia	Liquefacibile?	Y <sub>n</sub>	Y <sub>sat</sub>	V <sub>s</sub>	V <sub>s,med</sub>	FC	σ <sub>v</sub>	σ' <sub>v0</sub>	r <sub>d</sub>	C <sub>v</sub>	V <sub>S1</sub>	V <sub>S1</sub> *	C <sub>σ</sub>	K <sub>σ</sub>	CSR	CSR <sub>7,5,Kσ</sub>	CRR	FSL	ESITO (FSL≥1,25)	PL	
[m]	[m]	[-]		[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[m/s]	[m/s]	[-]	[kPa]	[kPa]	[-]	[-]	[m/s]	[m/s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	
0	0	Ghiaia sabbiosa							0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1.0	0.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	151.8	151.8		9.5	9.5	0.998	1.40	212.5	215.0	0.00	1.00	0.086	0.068	1.190	17.61	NO LIQUEFAZIONE	0.00	NON LIQUEF. QUASI CERTA
2.0	1.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	249.4	200.6		28.5	28.5	0.990	1.37	274.5	215.0	0.00	1.00	0.085	0.067	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
3.0	2.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	225.7	237.5		47.5	47.5	0.983	1.20	286.1	215.0	0.00	1.00	0.084	0.067	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
4.0	3.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	198.3	212.0		66.5	66.5	0.976	1.11	234.7	215.0	0.00	1.00	0.084	0.066	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
5.0	4.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	203.6	200.9		85.5	85.5	0.969	1.04	208.9	215.0	0.00	1.00	0.083	0.066	0.545	8.31	NO LIQUEFAZIONE	0.00	NON LIQUEF. QUASI CERTA
6.0	5.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	214.8	209.2		104.5	104.5	0.962	0.99	206.9	215.0	0.17	0.99	0.083	0.066	0.426	6.50	NO LIQUEFAZIONE	0.00	NON LIQUEF. QUASI CERTA
7.0	6.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	280.5	247.7		123.5	123.5	0.953	0.95	234.9	215.0	0.30	0.94	0.082	0.069	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
8.0	7.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	187.0	233.7		142.5	134.5	0.943	0.93	217.0	215.0	0.22	0.92	0.086	0.073	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
9.0	8.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	265.5	226.2		161.5	143.5	0.930	0.91	206.7	215.0	0.17	0.92	0.090	0.077	0.417	5.41	NO LIQUEFAZIONE	0.00	NON LIQUEF. QUASI CERTA
10.0	9.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	296.6	281.0		180.5	152.5	0.914	0.90	252.9	215.0	-2.04	1.10	0.093	0.067	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
11.0	10.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	327.9	312.3		199.5	161.5	0.894	0.89	277.0	215.0	-0.23	1.10	0.095	0.068	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
12.0	11.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	322.9	325.4		218.5	170.5	0.870	0.88	284.8	215.0	-0.18	1.10	0.096	0.069	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
13.0	12.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	290.6	306.7		237.5	179.5	0.842	0.86	265.0	215.0	-0.42	1.10	0.096	0.069	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
14.0	13.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	310.4	300.5		256.5	188.5	0.811	0.85	256.4	215.0	-0.97	1.10	0.095	0.068	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
15.0	14.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	350.4	330.4		275.5	197.5	0.778	0.84	278.7	215.0	-0.22	1.10	0.093	0.067	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
16.0	15.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	350.6	350.5		294.5	206.5	0.744	0.83	292.3	215.0	-0.14	1.10	0.091	0.065	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
17.0	16.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	265.0	307.8		313.5	215.5	0.712	0.83	254.0	215.0	-1.52	1.10	0.089	0.064	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
18.0	17.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	340.7	302.8		332.5	224.5	0.681	0.82	247.4	215.0	0.30	0.64	0.087	0.107	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
19.0	18.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	364.9	352.8		351.5	233.5	0.654	0.81	285.4	215.0	-0.17	1.10	0.084	0.061	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
20.0	19.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	319.9	342.4		370.5	242.5	0.629	0.80	274.4	215.0	-0.26	1.10	0.082	0.059	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
21.0	20.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	291.4	305.6		389.5	251.5	0.608	0.79	242.7	215.0	0.30	0.59	0.081	0.108	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
22.0	21.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	340.9	316.1		408.5	260.5	0.589	0.79	248.8	215.0	0.30	0.58	0.079	0.108	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
23.0	22.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	370.8	355.9		427.5	269.5	0.573	0.78	277.8	215.0	-0.23	1.10	0.078	0.056	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
24.0	23.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	290.3	330.5		446.5	278.5	0.559	0.77	255.9	215.0	-1.06	1.10	0.077	0.055	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
25.0	24.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	304.2	297.2		465.5	287.5	0.547	0.77	228.2	215.0	0.30	0.54	0.076	0.111	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
26.0	25.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	306.8	305.5		484.5	296.5	0.536	0.76	232.8	215.0	0.30	0.53	0.075	0.113	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
27.0	26.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	322.9	314.9		503.5	305.5	0.527	0.76	238.2	215.0	0.30	0.52	0.075	0.114	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
28.0	27.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	282.9	302.9		522.5	314.5	0.519	0.75	227.5	215.0	0.30	0.50	0.074	0.116	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
29.0	28.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	299.0	290.9		541.5	323.5	0.511	0.75	216.9	215.0	0.22	0.63	0.073	0.092	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-
30.0	29.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	415.2	357.1		560.5	332.5	0.505	0.74	264.4	215.0	-0.44	1.10	0.073	0.052	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-	-

### RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IT1J	10	RH	GE0006001	B	129 di 158

#### VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Release: v3

OPERA: SONDAGGIO TN9

#### DATI DI PROGETTO:

Profondità della falda	Z <sub>w</sub>	3.70	(m)
Sovraccarico agente a p.c.	q	0	(kPa)
Magnitudo di momento attesa dell'evento sismico	M <sub>w</sub>	6.6	(-)
Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	S <sub>S</sub>	1.50	(-)
Coefficiente Amplificazione Topografico	S <sub>T</sub>	1.00	(-)
Accelerazione sismica	a <sub>y</sub> /g	0.094	(-)
Accelerazione sismica massima	a <sub>max</sub> /g	0.141	(-)
Teoria per il calcolo di MSF	AGI (2005)	MSF	1.267 (-)
Teoria per il calcolo di rd	Blake (1996)		
Teoria per il calcolo di CRR	Idriss e Boulanger (2004)		

Table 1 Liquefaction potential categories based on L<sub>i</sub> (Iwasaki et al. 1982)

L <sub>i</sub>	Liquefaction potential category
0	Very low
0 < L <sub>i</sub> ≤ 5	Low
5 < L <sub>i</sub> ≤ 15	High
L <sub>i</sub> > 15	Very high

Table 2 Liquefaction potential classification proposed by Sommez (2003)

L <sub>i</sub>	Liquefaction potential category
0	Non-liquefiable (based on F <sub>1, 1.2</sub> )
0 < L <sub>i</sub> < 2	Low
2 < L <sub>i</sub> < 5	Moderate
5 < L <sub>i</sub> < 15	High
L <sub>i</sub> > 15	Very high



POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE SECONDO IWASAKI et al. (1982): **PL = 0 - MOLTO BASSO**  
 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE SECONDO SONMEZ et al. (2003): **PL = 0 - NON LIQUEFACIBILE**

z	zmed	Litologia	Liquefacibile?	Y <sub>n</sub>	Y <sub>sat</sub>	V <sub>s</sub>	V <sub>s,med</sub>	FC	σ <sub>v</sub>	σ'v <sub>0</sub>	r <sub>d</sub>	Cv	V <sub>S1</sub>	V <sub>S1</sub> '	Cσ	Kσ	CSR	CSR <sub>r,s,Kσ</sub>	CRR	FSL	ESITO (FSL≥1,25)	PL
[m]	[m]	[-]		[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[m/s]	[m/s]	[-]	[kPa]	[kPa]	[-]	[-]	[m/s]	[m/s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]		[-]
0	0	Ghiaia sabbiosa							0	0												
1.0	0.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	180.9	180.9		9.5	9.5	0.998	1.40	253.3	215.0	0.00	1.00	0.091	0.072	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
2.0	1.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	191.8	186.4		28.5	28.5	0.990	1.37	255.0	215.0	0.00	1.00	0.091	0.072	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
3.0	2.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	257.3	224.6		47.5	47.5	0.983	1.20	270.5	215.0	0.00	1.00	0.090	0.071	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
4.0	3.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	271.4	264.4		66.5	66.5	0.976	1.11	292.8	215.0	0.00	1.00	0.089	0.071	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
5.0	4.5	Ghiaia sabbiosa	S	19.0	19.0	324.8	298.1		85.5	77.5	0.969	1.07	317.7	215.0	0.00	1.00	0.098	0.077	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
6.0	5.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	255.1	290.0		104.5	86.5	0.962	1.04	300.7	215.0	0.00	1.00	0.106	0.084	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
7.0	6.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	290.8	273.0		123.5	95.5	0.953	1.01	276.1	215.0	0.00	1.00	0.113	0.089	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
8.0	7.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	316.4	303.6		142.5	104.5	0.943	0.99	300.3	215.0	-0.12	1.04	0.118	0.089	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
9.0	8.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	164.4	240.4		161.5	113.5	0.930	0.97	232.9	215.0	0.30	0.86	0.121	0.112	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
10.0	9.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	313.1	238.7		180.5	122.5	0.914	0.95	226.9	215.0	0.30	0.82	0.123	0.118	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
11.0	10.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	264.6	288.9		199.5	131.5	0.894	0.93	269.8	215.0	-0.32	1.10	0.124	0.089	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
12.0	11.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	276.7	270.7		218.5	140.5	0.870	0.92	248.6	215.0	0.30	0.77	0.124	0.128	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
13.0	12.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	190.6	233.7		237.5	149.5	0.842	0.90	211.3	215.0	0.19	0.84	0.123	0.116	0.843	7.29	NO LIQUEFAZIONE	0.00
14.0	13.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	229.4	210.0		256.5	158.5	0.811	0.89	187.2	215.0	0.12	0.89	0.120	0.107	0.165	1.54	NO LIQUEFAZIONE	0.20
15.0	14.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	280.5	255.0		275.5	167.5	0.778	0.88	224.1	215.0	0.28	0.72	0.117	0.128	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
16.0	15.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	204.3	242.4		294.5	176.5	0.744	0.87	210.3	215.0	0.18	0.80	0.114	0.112	0.684	6.10	NO LIQUEFAZIONE	0.00
17.0	16.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	297.8	251.1		313.5	185.5	0.712	0.86	215.1	215.0	0.21	0.76	0.110	0.114	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
18.0	17.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	310.3	304.1		332.5	194.5	0.681	0.85	257.5	215.0	-0.84	1.10	0.107	0.077	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
19.0	18.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	324.3	317.3		351.5	203.5	0.654	0.84	265.7	215.0	-0.40	1.10	0.103	0.074	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
20.0	19.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	211.7	268.0		370.5	212.5	0.629	0.83	222.0	215.0	0.26	0.67	0.101	0.119	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
21.0	20.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	360.8	286.2		389.5	221.5	0.608	0.82	234.6	215.0	0.30	0.59	0.098	0.131	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
22.0	21.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	251.2	306.0		408.5	230.5	0.589	0.81	248.3	215.0	0.30	0.58	0.096	0.131	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
23.0	22.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	207.9	229.5		427.5	239.5	0.573	0.80	184.5	215.0	0.12	0.83	0.094	0.089	0.154	1.72	NO LIQUEFAZIONE	-
24.0	23.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	301.3	254.6		446.5	248.5	0.559	0.80	202.8	215.0	0.16	0.77	0.092	0.095	0.306	3.22	NO LIQUEFAZIONE	-
25.0	24.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	360.0	330.6		465.5	257.5	0.547	0.79	281.0	215.0	-0.58	1.10	0.091	0.065	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
26.0	25.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	296.1	328.1		484.5	266.5	0.536	0.78	256.8	215.0	-0.93	1.10	0.089	0.064	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
27.0	26.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	362.5	329.3		503.5	275.5	0.527	0.78	255.6	215.0	-1.11	1.10	0.088	0.063	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
28.0	27.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	289.9	316.2		522.5	284.5	0.519	0.77	243.4	215.0	0.30	0.50	0.087	0.137	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
29.0	28.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	310.6	290.3		541.5	293.5	0.511	0.76	221.8	215.0	0.25	0.57	0.086	0.119	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
30.0	29.5	Limo sabb. Argill.	S	19.0	19.0	443.9	377.2		560.5	302.5	0.505	0.76	286.0	215.0	-0.17	1.10	0.086	0.061	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-

## 10 ASPETTI GEOTECNICI E SCELTE PROGETTUALI

I principali aspetti geotecnici connessi con la realizzazione dell'elettrificazione lungo la linea in esame riguardano il posizionamento dei pali TE, con le relative fondazioni, in funzione delle caratteristiche geometriche della ferrovia.

Lungo la linea ferroviaria è stato individuato un tratto definito "critico", tra il Km 137+200 e il Km 133+000 circa, dove la stessa si sviluppa nella stretta e profonda valle del torrente Fersina. Tale tratto è costituito da un susseguirsi di gallerie naturali, gallerie artificiali, trincee molto strette tra pareti rocciose subverticali ed una serie di opere d'arte lungo linea, dove gli spazi per poter installare i pali TE e le relative fondazioni sono molto ridotti.

Nel tratto critico, dove è stato previsto l'utilizzo della catenaria rigida, la soluzione adottata è stata quella di posizionare i pali TE ad una distanza dal binario pari a 1750mm e di realizzare i relativi blocchi di fondazione su micropali, in modo da limitare al minimo gli scavi di sbancamento, che interesseranno in larga parte il substrato roccioso.

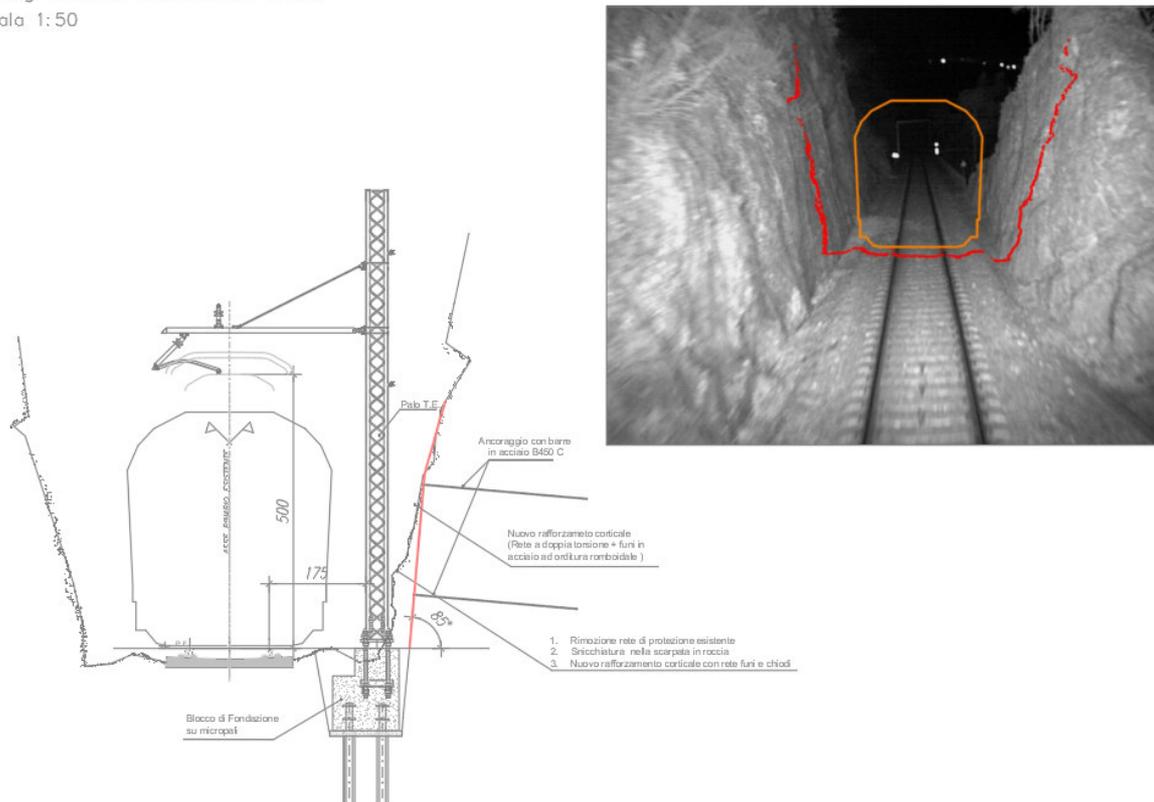
Nei tratti in cui le pareti rocciose subverticali sono a ridosso dei binari, per posizionare i pali TE sarà inoltre necessario scavare delle piccole nicchie nella roccia. Nelle figure che seguono sono riportati alcuni esempi della soluzione precedentemente descritta.

Il blocco di fondazione sarà realizzato in c.a., avrà dimensioni (B x L x H) pari a 1.2 x 1.2 x 1.0m e sarà sormontato da un dado, sempre in c.a., di dimensioni 0.8 x 0.8 x 0.5m, su cui verranno posizionati i tirafondi del palo. Il blocco sarà fondato su 4 micropali di lunghezza pari a 7m. I micropali, con diametro di perforazione di 200mm, saranno armati con tubi in acciaio S355, di diametro 114.3mm e spessore 6.3mm. I micropali verranno di norma realizzati in un ammasso roccioso poco fratturato di buone caratteristiche meccaniche.

Le eventuali snicchature necessarie per poter posizionare i pali TE verranno realizzate secondo le seguenti operazioni principali:

1. Rimozione rete di protezione (a doppia torsione) esistente;
2. Scavo e riprofilatura delle pareti di scavo con pendenza sub-verticale;
3. Realizzazione di un nuovo rafforzamento corticale con rete a doppia torsione, funi in acciaio armonico e chiodi di ancoraggio (in acciaio B450C, maglia 3x3m, lunghezza 3m).

Progressiva 133+885 circa  
 scala 1:50



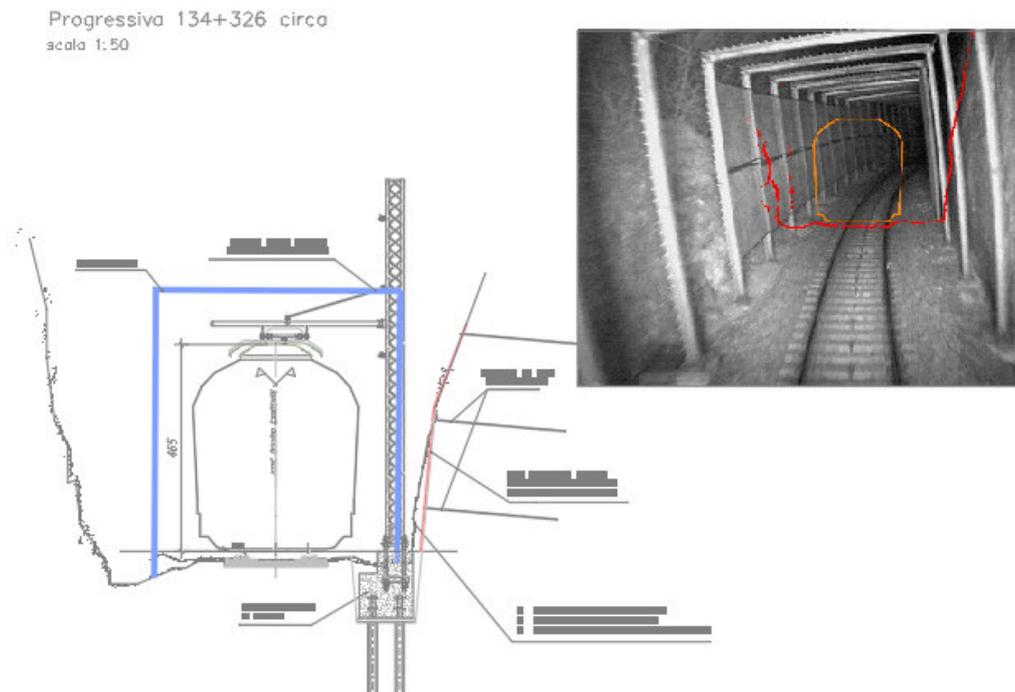
**Figura 10-1: Sezione caratteristica nel tratto "critico"**

Nel tratto "critico" sono presenti alcuni portali paramassi allarmati collegati ai segnali, che qualora intercettino eventuali blocchi/massi fanno virare al rosso il segnale (vedi tabella sottostante). In queste zone, per poter posizionare la linea elettrica ed i pali di sostegno, sarà necessario smontare e rimontare i portali interferenti. Nella successiva figura è riportato invece un esempio di tratta con portali paramassi allarmati.

**Tabella 10-1: Tratte di linea con portali allarmati**

Linea	Località/Tratta	Da km	A km	Tipologia Rete Allarmata
Trento-Primolano	Povo-Pergine	134+019	134+431	Portale
		135+070	134+887	Portale
		135+638	135+739	Portale
		135+944	136+089	Portale

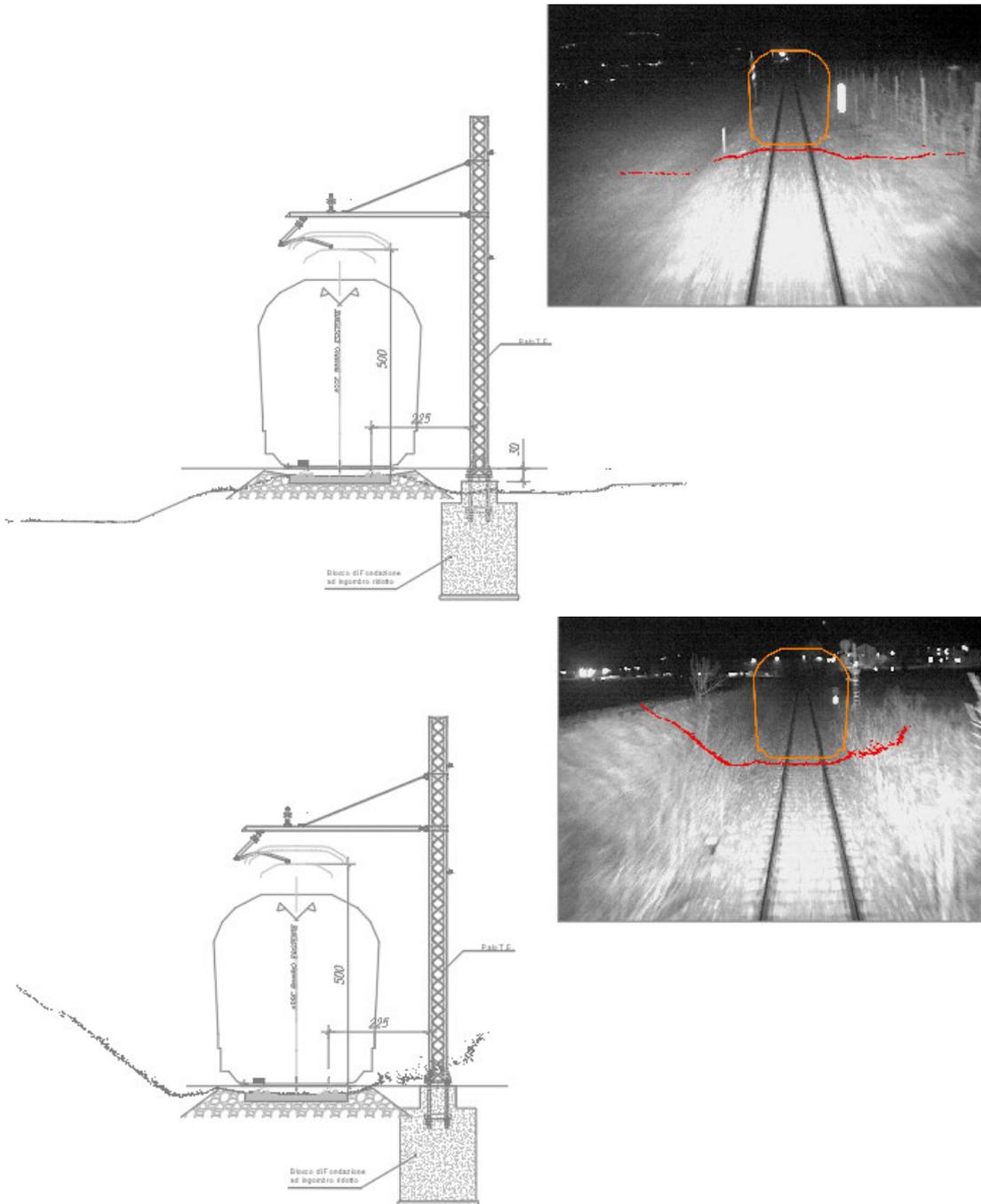
## PORTALINI "PARAMASSI"



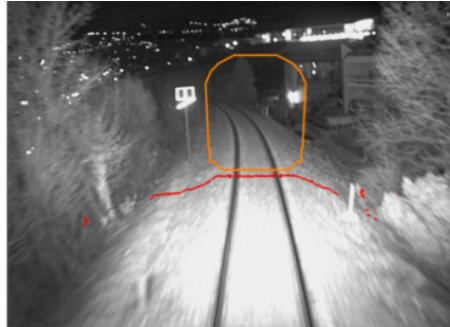
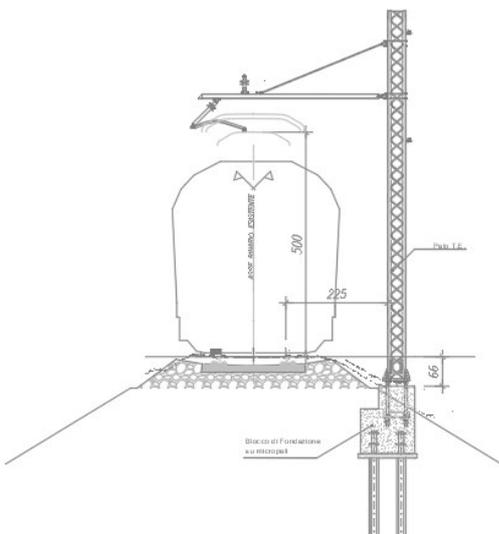
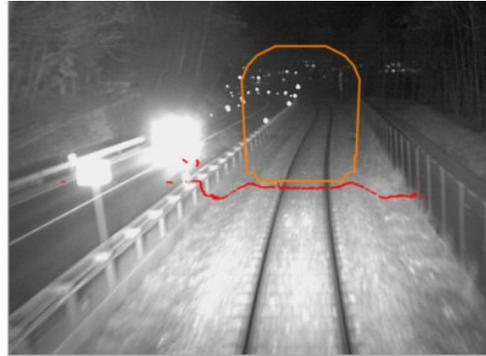
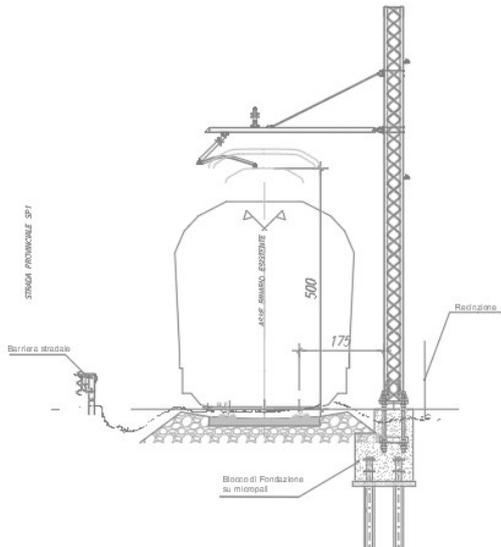
**Figura 10-2: Sezione caratteristica nel tratto "critico" con interferenza con i portali allarmati**

Nei tratti di linea al di fuori del tratto "critico", i pali TE verranno posizionati di norma ad una distanza dal binario di 2250mm; fanno eccezione le zone dove sono presenti ostacoli continui su entrambi i lati del binario, in cui pali verranno posizionati ad una distanza di 1750mm, come nel tratto critico. I blocchi di fondazione dei pali TE saranno di norma di tipo superficiale, standard o ad ingombro ridotto, in funzione degli spazi disponibili. I blocchi di fondazione verranno realizzati nella generalità dei casi all'interno di terreni ghiaioso-sabbiosi (unità GS) o nella parte più superficiale substrato roccioso; entrambe le tipologie di terreno hanno caratteristiche di resistenza uguali o migliori di quelle considerate nelle verifiche dei blocchi standard ( $c=0$  kPa ,  $\phi=38^\circ$ ) e pertanto le verifiche geotecniche delle fondazioni sono garantite.

Al di fuori del tratto critico si prevede comunque la realizzazione di un 20% di fondazioni su micropali, da utilizzarsi nelle zone con presenza di ostacoli, in corrispondenza di trincee molto strette o di rilevati con scarpate molto ripide e nei tratti in cui i terreni di fondazione possiedono caratteristiche di resistenza inferiori a quelli considerati nelle verifiche dei blocchi standard (ad es terreni limoso-sabbiosi argillosi).



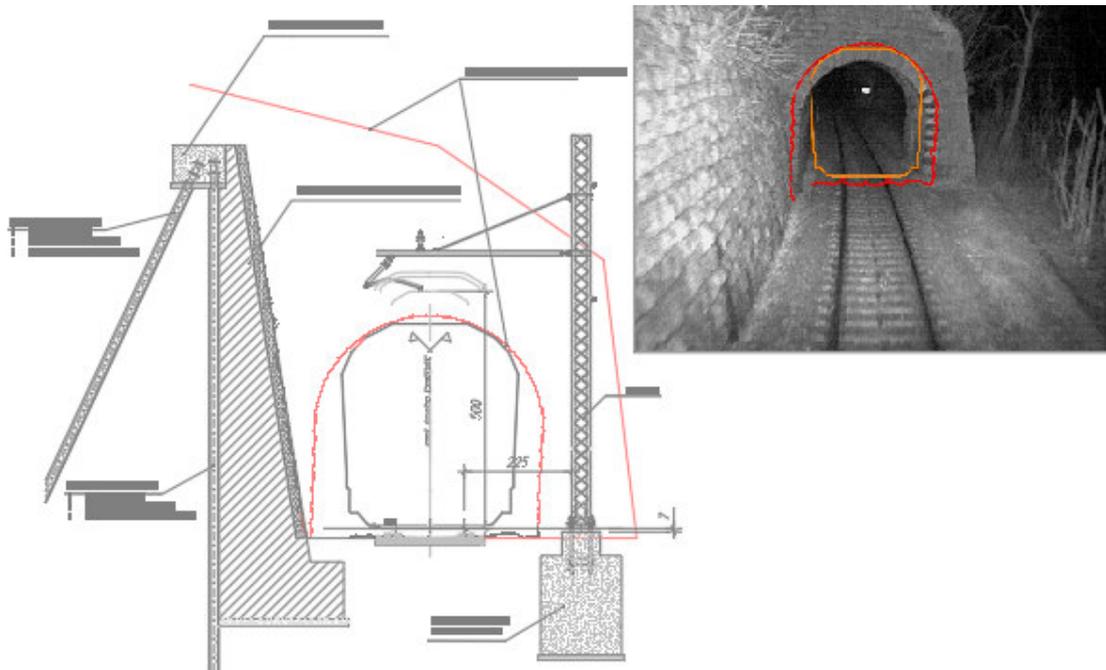
**Figura 10-3: Sezione caratteristica fuori dal tratto “critico” – fondazioni di tipo superficiale**



**Figura 10-4: Sezione caratteristica fuori dal tratto "critico" – fondazioni su micropali**

In corrispondenza del Km 134+610 circa è attualmente presente lungo linea un ponte in muratura che in passato svolgeva la funzione di scivolo per il legname. Le dimensioni della struttura non sono compatibili con l'elettificazione della linea e pertanto dovrà essere demolito.

Per poter demolire in sicurezza la struttura verrà realizzata un'opera di sostegno lato monte, costituita da una paratia di micropali a cavalletto. I micropali, con diametro di perforazione di 240mm, saranno armati con tubi in acciaio S355, di diametro 193.7.3mm e spessore 10mm. I micropali verticali avranno un interasse di 40 cm, mentre quelli inclinati di 160 cm. Nelle successive fasi di progettazione si valuterà la necessità di un livello di ancoraggio intermedio. Terminata la demolizione della struttura esistente verrà realizzato un muro di sostegno in c.a. a ridosso della paratia. Il paramento verticale del muro verrà rivestito in pietrame per dare continuità al muro presente attualmente prima e dopo lo scivolo. Nella figura sottostante è riportata una foto dello stato attuale ed uno schema dell'intervento.



**Figura 10-5: Sezione caratteristica in corrispondenza dello scivolo legname**

Il progetto comprende inoltre la realizzazione di due Sottostazioni elettriche (SSE), ubicate in prossimità delle stazioni di Borgo Valsugana e Caldonazzo:

- SSE Borgo Valsugana (Km 103+190 circa)
- SSE Caldonazzo (Km 120+390 circa)

Le aree di sedime di entrambe le SSE sono caratterizzate dalla presenza di terreni ghiaioso-sabbiosi appartenenti all'unità geotecnica GS. Alla luce delle buone caratteristiche geotecniche di questa unità, per i basamenti e per i fabbricati sono da prevedersi fondazioni di tipo superficiale, con piano di posa posto ad una profondità minima dal p.c. di 1.5m.



**Tabella 10-3: Caratteristiche geometriche dei blocchi di fondazione superficiali (specificata E64865)**

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEI BLOCCHI DI FONDAZIONE

TIPOLOGIA FONDAZIONE	DIMENSIONI FONDAZIONE											TIRAFONDI	
	A (m)	B (m)	C (m)	A1 (m)	B1 (m)	C1 (m)		A2 (m)	volume scavo (m <sup>3</sup> )	volume calcestruzzo (m <sup>3</sup> )		D (mm)	E (mm)
						min.	max.			min.	max.		
B0	1,9	1,6	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	4,10	3,50	3,66	400	400
B0a	2,2	1,65	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	4,90	4,15	4,31	400	400
B1	2,3	1,7	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	5,27	4,46	4,62	400	400
B2	2,4	1,8	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	5,83	4,91	5,07	400	400
B3	2,5	1,9	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	6,41	5,38	5,54	400	400
B3a	2,6	2,0	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	7,02	5,88	6,04	400	400
B4	2,6	2,3	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	8,07	6,74	6,90	400	400
B5	2,6	2,8	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	9,82	8,17	8,32	400	400
B6	2,6	3,5	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	12,28	10,17	10,33	400	400
B7	2,6	4,0	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	14,04	11,60	11,76	400	400
B6M	2,6	3,5	1,1	0,9	0,9	0,25	0,50	0,8	12,28	10,21	10,41	550	500
B7M	2,6	4,0	1,1	0,9	0,9	0,25	0,50	0,8	14,04	11,64	11,84	550	500
B8	2,6	4,4	1,1	0,9	0,9	0,25	0,50	0,8	14,74	12,17	12,33	550	500

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEI BLOCCHI DI FONDAZIONE

TIPOLOGIA FONDAZIONE	DIMENSIONI FONDAZIONE										TIRAFONDI PER LSU14-22		TIRAFONDI PER LSU24	
	A (m)	B (m)	C (m)	A1 (m)	B1 (m)	C1 (m)		volume scavo (m <sup>3</sup> )	volume calcestruzzo (m <sup>3</sup> )		D (mm)	E (mm)	D (mm)	E (mm)
						min.	max.		min.	max.				
P0	1,1	1,1	1,8	0,8	0,8	0,25	0,50	2,48	2,33	2,49	400	400		
P1	1,3	1,3	1,8	0,8	0,8	0,25	0,50	3,46	3,20	3,36	400	400		
P2	1,4	1,4	1,9	0,8	0,8	0,25	0,50	4,21	3,88	4,04	400	400		
P3	1,6	1,6	2,0	0,8	0,8	0,25	0,50	5,76	5,28	5,44	400	400		
P4	1,7	1,7	2,1	0,8	0,8	0,25	0,50	6,79	6,23	6,39	400	400		
P5	1,8	1,9	2,1	0,8	0,8	0,25	0,50	8,03	7,34	7,50	400	400		
P6	1,8	2,1	2,2	0,8	0,8	0,25	0,50	9,26	8,48	8,64	400	400		
P7	1,9	2,2	2,2	0,8	0,8	0,25	0,50	10,24	9,36	9,52	400	400	550	500
P7M	1,9	2,2	2,2	0,9	0,9	0,25	0,50	10,24	9,40	9,60	400	400	550	500
P8M	2,2	2,2	2,2	0,9	0,9	0,25	0,50	11,85	11,05	13,06	400	400	550	500

**Tabella 10-4: Caratteristiche geometriche dei blocchi di fondazione su micropali (specificata E64865)**

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEI BLOCCHI DI FONDAZIONE

	DIMENSIONI FONDAZIONE										TIRAFONDI PER LSU14-22		TIRAFONDI PER LSU24	
	A (m)	B (m)	C (m)	A1 (m)	B1 (m)	C1 (m)		volume scavo (m <sup>3</sup> )	volume calcestruzzo (m <sup>3</sup> )		D (mm)	E (mm)	D (mm)	E (mm)
						min.	max.		min.	max.				
BLOCCO PER FONDAZIONI PROFONDE TIPO M1 - M2 - M3	1,2	1,2	1,0	0,8	0,8	0,25	0,50	1,80	1,6	1,76	400	400	550	500
	NUMERO DI MICROPALI		DIAMETRO DEL MICROPALO			CARATTERISTICHE DEL TUBO IN ACCIAIO								
						DIAMETRO (mm)		SPESSORE (mm)		LUNGHEZZA (mm)				
FONDAZIONI PROFONDE TIPO M1	4		200			114.3		6.3		6000				
FONDAZIONI PROFONDE TIPO M2	4		200			114.3		6.3		7000				
FONDAZIONI PROFONDE TIPO M3	4		200			114.3		6.3		8000				

In questa fase progettuale (PFTE) non viene definita l'esatta ubicazione dei pali TE e pertanto non è possibile definire in dettaglio i carichi agenti sugli stessi e sulle fondazioni, in quanto questi ultimi dipendono dalle caratteristiche geometriche della linea (posizione dei pali, dai raggi di curvatura, dalla poligonazione, ecc). Le verifiche strutturali e geotecniche delle diverse tipologie di blocchi di fondazione previste in progetto per le differenti condizioni al contorno verranno pertanto eseguite nelle successive fasi progettuali quando verrà elaborato il piano di elettrificazione, con la definizione dell'esatta ubicazione dei pali.

In questa fase la fattibilità delle fondazioni ipotizzate è stata pertanto valutata tenendo conto che le condizioni di verifica dei blocchi standard, riportate nella specifica E64864, risultano più gravose di quelle da adottare per i blocchi della linea in esame. Nello specifico per la linea in esame, sia la pressione aerodinamica sia l'azione sismica sono inferiori a quelle considerate nella specifica RFI, calcolate rispettivamente per velocità di 250 km/h e per  $a_{max}$  pari 0.3g. Per la linea in esame inoltre le caratteristiche di resistenza dei terreni di fondazione sono uguali o migliori di quelle considerate nelle specifiche RFI per le verifiche dei blocchi standard ( $c=0$  kPa,  $\phi=38^\circ$ )

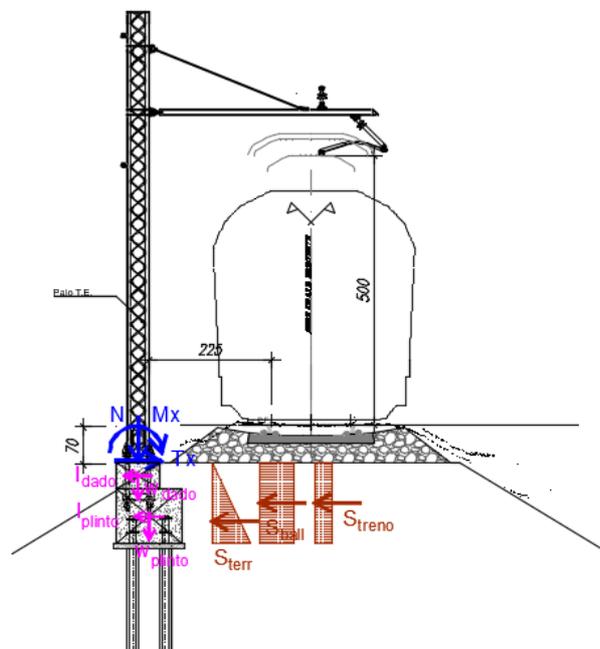
I blocchi di fondazione su micropali sono stati previsti essenzialmente nel tratto critico, dove i micropali interessano il substrato roccioso, e nei tratti in cui la linea si sviluppa su rilevati stretti ed alti con poco spazio per posizionare le fondazioni dirette, dove i micropali interessano invece i terreni granulari appartenenti al rilevato ferroviario o all'unità GS.

Nel seguito sono riportate le verifiche geotecniche preliminari dei micropali previsti nei tratti in rilevato, in quanto sono quelli soggetti alle condizioni più gravose. Le verifiche sono state effettuate utilizzando i carichi riportati nelle Relazione Tipologica "*Verifiche strutturali dei sostegni e blocchi di fondazione T.E. per linee di trazione elettrica a 3 KVCC palo normale - Idc 440 mm<sup>2</sup> - Report di calcolo dei plinti di fondazione e dei pali*" (elab. D12H00E18CLLC0200001).

Nella Relazione sono stati individuati 21 casi di carico dipendenti dalla geometria della linea, che corrispondono ai 21 casi di utilizzo riportati nelle tabelle di utilizzo presenti nella E64864 (vedi tabella alla pagina precedente). Come già fatto precedentemente, si evidenzia che per le 21 condizioni di carico analizzate le ipotesi assunte per accelerazione sismica e pressione aerodinamica, sono più gravose di quelle effettivamente presenti sulla linea in esame.

Per la verifica dei micropali oltre alle sollecitazioni provenienti dal palo e a quelle dovute ai pesi della fondazione sono state considerate anche le spinte delle terre e quelle dovute alla presenza del ballast; è stata trascurata invece la spinta dovuta alla presenza dei treni in quanto per la diffusione del carico tale sovraccarico interessa solamente per una piccola parte il plinto e pertanto non risulta dimensionante.

Fondazione con micropali  
 "in rilevato"



**Figura 10-6: Schema di calcolo della fondazione su micropali**

Nella tabella che segue sono riportate le sollecitazioni alla base del palo calcolate per la condizioni di carico 1 corrispondente ad un palo posizionato ad esterno curva in un tracciato con raggio di curvatura compreso tra 250 e 600m (sono positive le azioni dirette verso il binario).

Caso di carico	COMB.	SOLLECITAZIONI BASE PALO					
		N	VH	VL	Tz	MH	ML
		(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
1	STR-SLU1	11,8	9,6	0,8		74,0	6,3
1	STR-SLU2	13,7	14,0	0,8		101,0	6,3
1	STR-SLU3	12,8	16,9	0,8		114,5	6,3
1	STR-SLU4	11,8	20,0	0,8		124,6	6,3
1	STR-SLU5	11,8	9,6	5,0		74,0	26,7
1	STR-SLU6	11,8	16,9	3,8		109,4	20,6
1	STR-SLU7	8,8	6,4	0,5		49,5	4,2
1	SLV1	8,8	13,1	2,5		81,6	13,9
1	SLV2	8,8	13,1	-1,5		81,6	-5,4
1	SLV3	8,8	-0,2	2,5		17,3	13,9
1	SLV4	8,8	-0,2	-1,5		17,3	-5,4
1	SLV5	8,8	8,4	7,2		59,1	36,4
1	SLV6	8,8	4,4	7,2		39,8	36,4
1	SLV7	8,8	8,4	-6,1		59,1	-27,9
1	SLV8	8,8	4,4	-6,1		39,8	-27,9

Nelle tabelle che seguono sono riportate invece le sollecitazioni all'intradosso fondazione (testa micropali) e le sollecitazioni ripartite sui 4 micropali della fondazione.

Le sollecitazioni dovute alle spinte delle terre ( $F_x$  e  $M_x$ ) sono state sommate cautelativamente con segno concorde alle sollecitazioni alla base del palo.

Caso di carico	COMB.	SOLLECITAZIONI BASE PALO					
		N	VH	VL	Tz	MH	ML
		(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
1	STR-SLU1	69,0	34,5	0,8	0,0	91,2	7,5
1	STR-SLU2	60,1	44,6	0,8	0,0	124,4	7,5
1	STR-SLU3	59,2	51,3	0,8	0,0	142,5	7,5
1	STR-SLU4	58,2	58,4	0,8	0,0	157,3	7,5
1	STR-SLU5	58,2	34,5	5,0	0,0	91,2	34,2
1	STR-SLU6	58,2	51,3	3,8	0,0	137,5	26,2
1	SLV1	52,8	29,8	2,5	0,0	106,8	18,5
1	SLV2	52,8	29,8	-1,5	0,0	106,8	-6,8
1	SLV3	52,8	-16,9	2,5	0,0	22,6	18,5
1	SLV4	52,8	-16,9	-1,5	0,0	22,6	-6,8
1	SLV5	52,8	25,2	7,2	0,0	77,3	47,9
1	SLV6	52,8	21,2	7,2	0,0	52,1	47,9
1	SLV7	52,8	25,2	-6,1	0,0	77,3	-36,3
1	SLV8	52,8	21,2	-6,1	0,0	52,1	-36,3
1	STR-SLU1	69,0	34,5	0,8	0,0	91,2	7,5

Caso di carico	COMB.	SOLLECITAZIONE SUI PALI			
		Nsd,p1	Nsd,p2	Nsd,p3	Nsd,p4
		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
1	STR-SLU1	99,5	-52,5	-65,0	87,0
1	STR-SLU2	124,9	-82,4	-94,9	112,5
1	STR-SLU3	139,8	-97,7	-110,2	127,3
1	STR-SLU4	151,9	-110,3	-122,8	139,4
1	STR-SLU5	119,1	-32,9	-90,0	62,0
1	STR-SLU6	151,0	-78,2	-121,9	107,3
1	STR-SLU7	70,0	-34,0	-42,4	61,7
1	SLV1	117,6	-60,4	-91,2	86,8
1	SLV2	96,5	-81,5	-70,1	107,9
1	SLV3	47,4	9,7	-21,0	16,7
1	SLV4	26,4	-11,3	0,0	37,7
1	SLV5	117,6	-11,3	-91,2	37,7

1	SLV6	96,5	9,7	-70,1	16,7
1	SLV7	47,4	-81,5	-21,0	107,9
1	SLV8	26,4	-60,4	0,0	86,8

Le massime sollecitazioni nei micropali risultano:

- $N_{\text{compressione}} = 151.9 \text{ kN}$
- $N_{\text{trazione}} = -122.8 \text{ kN}$
- Taglio = 14.6 kN

Le verifiche geotecniche dei micropali sono state condotte con i metodi semiprobabilistici allo stato limite ultimo, verificando che:

$$F_{c,d} \leq R_{c,d}$$

dove  $F_{c,d}$  è il carico di progetto ed  $R_{c,d}$  la resistenza di progetto allo stato limite ultimo.

Le verifiche sono state effettuate seguendo l'approccio 2:

- combinazione 1 (A1+M1+R3)

Per la verifica geotecnica dei micropali si è fatto riferimento all'approccio di Bustamante e Doix (1985) che sostanzialmente affida la trasmissione del carico completamente per attrito laterale.

La portata limite del micropalo è data da:

$$Q_{\text{lim}} = Q_{\text{Punta}} + Q_{\text{Laterale}} = Q_{\text{Punta}} + \pi(\alpha\varphi) s L$$

ove la portata di punta è valutata come  $Q_{\text{Punta}} = 0.15 Q_{\text{Laterale}}$

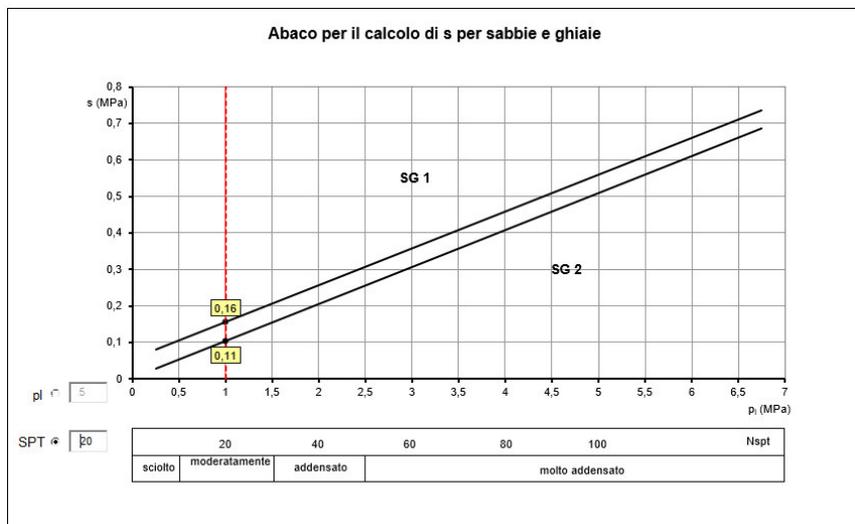
Il valore della resistenza tangenziale all'interfaccia "s" da introdurre nei calcoli è ricavabile dal valore medio della resistenza a rottura determinabile a partire dagli abachi di Bustamante e Doix (Resistenza Laterale secondo Bustamante e Doix) in essi sono riportati, in base alla litologia dei terreni e alla tecnologia di iniezione, i valori limite di resistenza dell'interfaccia. In funzione della resistenza alla penetrazione ( $N_{\text{spt}}$ ) o dai risultati di prove pressiometriche, è possibile ricavare il valore della resistenza

**RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IT1J	10	RH	GE0006001	B	144 di 158

laterale unitaria  $s$ . La curva a cui fare riferimento dipende dal tipo di iniezione dove con IRS, viene ad essere indicata una tipologia di iniezione ripetuta e selettiva, mentre con IGU, viene ad essere indicata una tipologia di iniezione effettuata in una unica soluzione.

TERRENO	Tipo di iniezione	
	IRS	IGU
Da ghiaia a sabbia limosa	SG1	SG2
Limo e argilla	AL1	AL2
Marna, calcare marnoso, calcare tenero fratturato	MC1	MC2
Roccia alterata e/o fratturata	$\geq R1$	$\geq R2$



TERRENO	Valori di $\alpha$		Quantità minima di miscela consigliata	
	IRS	IGU	IRS	IGU
Ghiaia	1,8	1,3-1,4	1,5 Vs	1,5 Vs
Ghiaia sabbiosa	1,6-1,8	1,2-1,4	1,5 Vs	1,5 Vs
Sabbia ghiaiosa	1,5-1,6	1,2-1,3	1,5 Vs	1,5 Vs
Sabbia grossa	1,4-1,5	1,1-1,2	1,5 Vs	1,5 Vs
Sabbia media	1,4-1,5	1,1-1,2	1,5 Vs	1,5 Vs
Sabbia fine	1,4-1,5	1,1-1,2	1,5 Vs	1,5 Vs
Sabbia limosa	1,4-1,5	1,1-1,2	(1,5-2) Vs	1,5 Vs
Limo	1,4-1,6	1,1-1,2	2 Vs	1,5 Vs
Argilla	1,8-2,0	1,2	(2,5-3) Vs	(1,5-2) Vs
Marne	1,8	1,1-1,2	(1,5-2) Vs per strati compatti	
Calcarei marnosi	1,8	1,1-1,2	(2-6) Vs o più per strati fratturati	
Calcarei alterati o fratturati	1,8	1,1-1,2		
Roccia alterata e/o fratturata	1,2	1,1	(1,1-1,5) Vs per strati poco fratturati; 2 Vs o più per strati fratturati	

Nel caso specifico si è assunto che:

- I micropali interessano terreni sabbiosi-ghiaiosi appartenenti all'unità GS o costituente il rilevato ferroviario
- I micropali verranno realizzati con iniezioni a pressione effettuate in una unica soluzione (IGU);
- il parametro di amplificazione del diametro del bulbo è stato considerato pari a 1;
- la portanza alla punta è stata trascurata;
- la resistenza al taglio lungo le superfici laterali a contatto tra miscela e terreno è stata assunta cautelativamente pari a 100 kPa, (pali in terreni ghiaioso-sabbiosi moderatamente addensati);
- è stata trascurata la resistenza dei primi 2m di palo.

I valori delle resistenze di progetto  $R_{cd}$  sono ricavati dai valori caratteristici tramite i coefficienti parziali riportati nella tabella sottostante:

$$R_{bd} = R_{bk} / \gamma_b$$

$$R_{sd} = R_{sk} / \gamma_s$$

$$R_{cd} = R_{bd} + R_{sd}$$

Nella valutazione dei valori caratteristici delle resistenze i parametri geotecnici del terreno non sono fattorizzati.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
	$\gamma_R$	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,70	1,35	1,0	1,60	1,30
Laterale in compr.	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale(*)	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,60	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in traz.	$\gamma_{st}$	1,0	1,60	1,25	1,0	1,60	1,25	1,0	1,60	1,25

Il valore caratteristico della resistenza è dato dal minore dei valori ottenuti applicando alle resistenze calcolate i fattori di correlazione riportati nella tabella sottostante. Con questo metodo di calcolo, è necessario valutare due volte la resistenza del palo, una volta con i parametri geotecnici medi ed una volta con quelli minimi.

Num. Vert. indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Le verifiche dei pali sono state effettuate nei confronti del massimo carico di compressione pari a N a 151.9 kN. Le verifiche risultano soddisfatte anche con le ipotesi cautelative assunte.

Le verifiche geotecniche e strutturali dei blocchi di fondazioni di tutte le tipologie costruttive e per le diverse condizioni al contorno verranno eseguite nelle successive fasi progettuali quando verrà elaborato il piano di elettrificazione, con la definizione dell'esatta ubicazione dei pali.

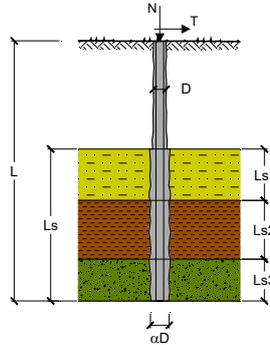
**CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO**

OPERA: Micropali in rilevato

DATI DI INPUT:

Sollecitazioni Agenti:

	Permanenti	Temporanee	Calcolo
N (kN)	152,00	0,00	152,00
T (kN)	14,00	0,00	14,00



coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale	
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	$\gamma_s$	$\gamma_s + \text{az}$
SLU	A1+M1+R1	1,30	1,50	1,00	1,00
	A2+M1+R2	1,00	1,30	1,45	1,60
	A1+M1+R3	1,30	1,50	1,15	1,25
	SISMA	1,00	1,00	1,15	1,25
DM88		1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dal progettista		1,00	1,00	1,15	1,25

n	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$	DM88	prog.
$\xi_s$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
$\xi_d$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00

Caratteristiche del micropalo:

Diametro di perforazione del micropalo (D): 0,2 (m)  
 Lunghezza del micropalo (L): 8,00 (m)

Armatura:

IPE  INP  HEA  HEB  HEM  Tubi  ALTRO

**ø114,3 x 6,3**

Area dell'armatura (Aarm): 2138 (mm<sup>2</sup>)

Momento di inerzia della sezione di armatura (Jarm): 3,127E+06 (mm<sup>4</sup>)

Modulo di resistenza della sezione di armatura (Warm): 54.718 (mm<sup>3</sup>)

Tipo di acciaio: S 355 (Fe 510)

Tensione di snervamento dell'acciaio (fy): 355 (N/mm<sup>2</sup>)

Coefficiente Parziale Acciaio  $\gamma_M$ : 1,05

Tensione ammissibile dell'acciaio ( $\sigma_{adm}$ ): 338 (N/mm<sup>2</sup>)

Modulo di elasticità dell'acciaio ( $E_{arm}$ ): 210.000 (N/mm<sup>2</sup>)

Coefficiente di Reazione Laterale:

Coeff. di Winkler (k): 10,0 (MN/m<sup>3</sup>)

**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

Capacità portante di fusto

$$Ql = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot l_{s_i}$$

Tipo di Terreno	Spessore $l_{s_i}$ (m)	$\alpha$ (-)	$Ds_i = \alpha \cdot D$ (m)	$s_i$ media (MPa)	$s_i$ minima (MPa)	$s_i$ calcolo (MPa)	$Qs_i$ (kN)
Trascurato	2,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00
Rilevato	6,00	1,00	0,20	0,100	0,100	0,051	192,83
			0,00			0,000	0,00

$L_s = 8,00$  (m)  $Ql = 192,83$  (kN)

Capacità portante di punta  $Qp = \%Punta \cdot Ql$  (consigliato 10-15%)

$\% Punta = 0\%$   $Qp = 0,00$  (kN)

CARICO LIMITE DEL MICROPALO

$$Qlim = Qb + Ql$$

$Qlim = 192,83$  (kN)

COEFFICIENTE DI SICUREZZA

$$Fs = Qlim / N \quad (Fs > 1)$$

$Fs = 1,27$

## 12 STABILITA' DEI VERSANTI INTERESSATI DALLE "SNICCHIATURE"

Le verifiche di stabilità dei versanti interessati dalle "snicchiature", necessarie per l'installazione dei pali TE, verranno eseguite in dettaglio nelle successive fasi progettuali, quando verrà definito il piano di elettrificazione con l'esatta posizione dei pali TE. La stabilità delle scarpate rocciose interessate dalle snicchiature dipende infatti sia dalle caratteristiche delle discontinuità (immersione, inclinazione, scabrezza, ecc.) sia dall'orientazione del fronte di scavo nella zona dove verrà realizzati gli interventi.

Tuttavia, si ritiene che gli interventi tipologici previsti in progetto in corrispondenza delle snicchiature (rafforzamento corticale con rete a doppia torsione e funi ancorate con barre in acciaio), consentano di garantire la stabilità locale della scarpata.

Nel seguito verrà riportata comunque la verifica di stabilità di un "intervento tipologico", effettuata ipotizzando che lo scivolamento avvenga su discontinuità/giunti preesistenti, con inclinazioni inferiori a quelle del fronte di scavo. L'inclinazione delle superfici di scivolamento è stata definita sulla base dei risultati dei rilievi geostrutturali eseguiti sulle scarpate ubicate nelle vicinanze della linea.

Cautelativamente è stato considerato un fronte di scavo di altezza pari a 10m con inclinazione di 85°, una inclinazione della scarpata superiore di 65° ed una inclinazione media della superficie di scivolamento di 70° (vedi schede rilievo).

Le caratteristiche di resistenza dei giunti sono state definite sulla base delle schede dei rilievi geomeccanici secondo una legge di resistenza tipo Barton-Bandis:

$$\tau = \sigma'_n \cdot \tan \left[ (JRC_0) \cdot \log \left( \frac{JCS_0}{\sigma'_n} \right) + \varphi'_b \right]$$

dove:

- $JRC_0$  (Joint Roughness Coefficient) è la scabrezza della superficie di discontinuità, valutata in laboratorio confrontando il profilo di scabrezza;
- $JCS_0$  (Joint Compression Strength) è la resistenza a compressione della superficie di discontinuità; per superfici integre  $JCS_0 = \sigma_c$  (resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta);

- $\phi'_b$  è l'angolo di resistenza al taglio di base da determinarsi mediante prove su superfici piane e lisce

Nel caso in esame per il giunto possono essere assunti, cautelativamente, i seguenti parametri di resistenza:

- JRC (-) = 8
- JCS (MPa) = 65
- $\phi'_b$  (°) = 30°

Il contributo della chiodatura prevista in progetto è stato schematizzato come una coesione equivalente funzione della resistenza a taglio dei chiodi in acciaio.

**Forza limite di taglio del singolo chiodo**

$$T = f_{yk} \cdot A / \gamma_s \quad T = \boxed{177,02} \text{ (kN)}$$

**Coesione equivalente dovuta alla presenza della chiodatura**

$$C_{eq} = T / A_{inf}$$

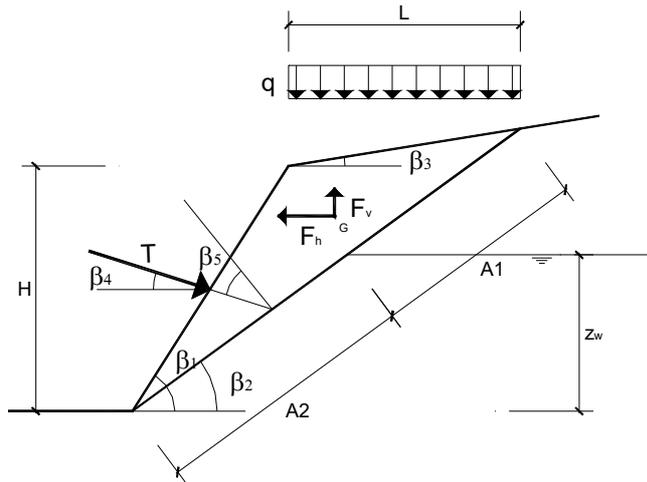
$$A_{inf} = (S_v) \cdot (S_o) = 9,00 \text{ (mq)}$$

$$C_{eq} = \boxed{19,67} \text{ (kN/mq)}$$

Nei tabulati che seguono sono riportate le verifiche per le condizioni sismiche, che risultano essere maggiormente gravose. Si rimandano alle successive fasi progettuali le verifiche puntuali delle diverse snicchiature, a seguito della definizione esatta dell'ubicazione dei pali TE.

**SCIVOLAMENTO PIANO IN ASSENZA DI "TENSION CRACK"**

**LAVORO:**



**DATI DI INPUT:**

Metodo di calcolo	Azioni			Proprietà roccia		Resistenze
	permanentifavorevoli	permanentisfavorevoli	variabili	tan φ'	γ	
Stato limite ultimo A2+M2+R2	1,00	1,00	1,30	1,25	1,00	1,1
Stato limite ultimo Sisma	1,00	1,00	1,00	1,25	1,00	1,1
Tensioni ammissibili	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,3
Definiti dal progettista	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2

		Valori Caratteristici	Valori di Progetto
JRC	(-)	8,00	8,00
JCS	(Mpa)	65,00	65,00
γ	(kN/mc)	25,00	25,00
φ' <sub>r</sub>	(°)	30,00	30,00
i <sub>u</sub>	(°)	0,00	0,00

H = 10,00 (m)

z<sub>w</sub> = 0,00 (m)

β<sub>1</sub> = 85,00 (°)

β<sub>2</sub> = 70,00 (°)

β<sub>3</sub> = 65,00 (°)

β<sub>4</sub> = 0,00 (°)

		Valori Caratteristici	Valori di Progetto
q	(kN/mq)	0,00	0,00
T	(kN/m)	0,00	0,00
c*b	(kN/mq)	19,67	19,67

**RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IT1J	10	RH	GE0006001	B	151 di 158

$\beta_m = 0,38$  (-) (Fattore Riduttivo)

$a_{max}/g = 0,10$  (-) (Accelerazione Orizzontale Max)

$\beta_5 = 90^\circ - \beta_2 - \beta_4 = 20,00$  (°)

$A = A_1 + A_2 = H (1 - \text{tg}\beta_3/\text{tg}\beta_1)/(\sin\beta_2(1 - \text{tg}\beta_3/\text{tg}\beta_2)) = 39,39$  (m)

$L = A \cos\beta_2 - H / \text{tg}\beta_1 = 12,60$  (m)

$A_2 = z_w / \sin \beta_2 = 0,00$  (m)

$W = (\gamma H (1 / \text{tg}\beta_2 - 1 / \text{tg}\beta_1) A \sin\beta_2) / 2 = 1279,30$  (kN/m)

CONDIZIONI SISMICHE

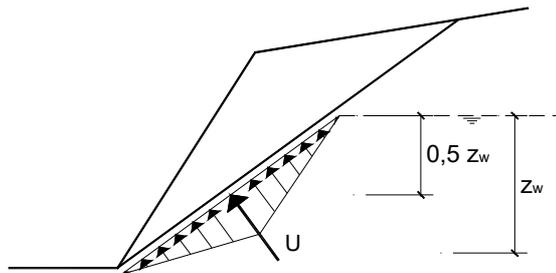
$F_h = 25,49$  (kN)

$F_v = 12,75$  (kN)

CONDIZIONI IDRAULICHE

$U = 0,25 (\gamma_w z_w A_2)$

$U = 0,00$  (kN/m)



Coefficiente di Sicurezza

$\tau = \sigma'_n \text{tg}(JRC \log (JCS / \sigma'_n) + i_u + \phi'_r)$  (Barton)

$$F_s = \frac{(\tau + c^* b) A}{(W + qL \pm F_v) \text{sen}\beta_2 \pm F_h \cdot \cos\beta_2 + V \cdot \cos\beta^* - T \cdot \text{sen}\beta_5}$$

$\sigma'_n = ((W + qL \pm F_v) \cos \beta_2 \pm F_h \cdot \text{sen} \beta_2 - U + T \cdot \cos \beta_5) / (A_1 + A_2)$

$\sigma'_{nmin} = 0,001$  (Mpa)

$\sigma'_n(1) = 0,0104$  (Mpa)

$\sigma'_n(2) = 0,0116$  (Mpa)

$\sigma'_n(3) = 0,0118$  (Mpa)

$\sigma'_n(4) = 0,0106$  (Mpa)

$\tau(1) = 0,0183$  (Mpa)

$\tau(2) = 0,0201$  (Mpa)

$\tau(3) = 0,0204$  (Mpa)

$\tau(4) = 0,0186$  (Mpa)

$F_{s1} = 1,22$  (-) **1a Condizione Fh(+) e Fv(+)**

$F_{s2} = 1,30$  (-) **2a Condizione Fh(-) e Fv(+)**

$F_{s3} = 1,34$  (-) **3a Condizione Fh(-) e Fv(-)**

$F_{s4} = 1,26$  (-) **4a Condizione Fh(+) e Fv(-)**

Fsmin Coefficiente di Sicurezza Minimo del Pendio

$F_{smin} = 1,22 > 1,2 = \gamma_R$

### 13 CRITICITA' GEOLOGICO-GEOTECNICHE LUNGO LA LINEA ESISTENTE

Gli studi di carattere geologico-geotecnico condotti per la stesura del progetto in esame hanno evidenziato la presenza lungo la linea di aree "critiche" per la presenza di fenomeni gravitativi di versante, quali cadute massi, colate rapide e frane.

Nel presente paragrafo, ancorché da contratto con RFI siano esclusi dalla progettazione .....*"Studi idraulici o geotecnici necessari per la messa in sicurezza di eventuali tratti di linea soggetti a modifica della livelletta a seguito dell'elettrificazione, posti in aree a rischio o in aree individuate come punti singolari"*..... sono state censite le zone che risultano critiche.

In particolare, in calce ai profili geotecnici sono state individuate le zone classificate a rischio nella *"Metodologia Operativa recante "Procedure e interventi di protezione della sede dai fenomeni di dissesto idrogeologico"* (RFI DPR DTP\_VR SIGS) predisposta da RFI per la linea Trento – Primolano.

La citata MO individua per la tratta in esame punti/tratti di linea che, nel caso di criticità idrogeologiche o idrauliche conseguenti ad avverse condizioni metereologiche, devono essere oggetto di attività di vigilanza straordinaria. Tali punti, denominati punti "sensibili", comprendono:

- tutti i **"punti singolari"** inseriti sul sistema InRete 2000 sensibili e vulnerabili agli eventi meteorologici (all. 7 della MO);
- **altri tratti di linea** individuati sul territorio come vulnerabili agli eventi meteorologici previsti e/o in atto selezionati tra quelli,intersecanti le **aree definite a rischio idrogeologico dalle Autorità di Bacino/Distretto (PAI E IFFI)** e non censiti su InRete2000 come punti singolari (all.8 della MO);

Per ciascuno dei tratti dell'infrastruttura sensibili agli eventi e oggetto di vigilanza straordinaria è stata indicata la tipologia di criticità:

- fenomeni idraulici: alluvione (con l'indicazione se si tratta di un parallelismo o attraversamento fluviale/torrentizio), erosione fluviale;
- fenomeni gravitativi di versante: cadute massi, colate rapide e frane.

Per i punti "singolari" riportati nell'allegato 7 sono state predisposte delle "relazioni progettuali di intervento" che descrivono il dissesto e propongono interventi di messa in sicurezza della linea. Nella

	<b>ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA</b> LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	<b>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</b>	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0006001	REV. B

tabella seguente si elencano i punti definiti singolari che rientrano all'interno di un programma di risanamento del dissesto.

**Tabella 13-1: Punti singolari per i quali è previsto un programma di risanamento del dissesto**

Km inizio	Km fine	Fenomeno	politiche manutentive dirette da parte di RFI
142+710	143+200	Gravitativo - Frana/Idraulico- Alluvione-Attraversamento	intervento di sistemazione 6_TN: realizzato nel 2017
138+681	139+756	Gravitativo - Caduta Massi/Idraulico- Alluvione-Attraversamento	intervento di sistemazione 48_TN: realizzato dalla provincia di Trento
136+520	136+540	Idraulico - Erosione Spondale	intervento di sistemazione 62_TN: realizzato un muro di sostegno e delle gabbionate
132+215	137+809	Gravitativo - Caduta Massi/Idraulico- Alluvione-Attraversamento	L'intervento "2_TN – PR km 131+000-135+000" è stato realizzato, utilizzando delle reti paramassi e delle reti allarmate ma possono ancora esserci situazioni puntuali che necessitano di attenzione di anno in anno.
126+525	126+545	Gravitativo - Caduta Massi/Idraulico- Alluvione-Attraversamento	intervento di sistemazione 63_TN alla pk 126+525: consiste in un ponte con un franco idraulico molto ridotto, la cui competenza riferita all'intervento da porre in essere non è esclusiva di RFI; è in fase di progettazione

I punti/tratti di linea per cui la MO di RFI individua la presenza di criticità di carattere geologico-geotecnico (all.7 e 8) sono stati confrontati e integrati con i tratti di linea che intersecano, o sono prossime, zone che la Carta di Pericolosità della Provincia Autonoma di Trento individua come caratterizzate da pericolosità per Frane, Crolli rocciosi e Deformazioni Gravitative Profonde di Versante (DGPV).

Nelle tabelle seguenti sono riportati alcuni stralci degli all.7 ed 8 per la linea in esame, mentre nel profilo geotecnico sono riportati anche i tratti individuati dalla Carta di Pericolosità della provincia di Trento.

Si osserva che gli interventi previsti nel progetto di elettrificazione della linea ferroviaria non consentono di mitigare il "rischio" della stessa nei confronti dei dissesti censiti e pertanto, sia la realizzazione di interventi di mitigazione, sia le attività di vigilanza sulla linea per la gestione del rischio rimangono in capo a RFI.



**ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA**  
LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est

**RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IT1J	10	RH	GE0006001	B	154 di 158

Si evidenzia inoltre che a seguito dell'integrazione delle aree a pericolosità idraulica, geologico-geotecnica, in assenza della messa in opera di interventi di mitigazione, RFI dovrà valutare un aggiornamento dei piani di gestione del rischio.



ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA  
LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
IT1J 10 GE GE0006001 A 155 di 158

ALL.7 ELENCO PUNTI SINGOLARI

Nota: ove la casella "Se. Te. Opera adiacente/interessata" non risulta valorizzata e tra i codici di vigilanza sia previsto il controllo delle opere di difesa/contenimento, si dovrà fare riferimento alle opere presenti in prossimità del punto e che non risultano inserite a sistema in quanto non di proprietà di RFI (es: provincia, regione, altro ente)

ZONA DI ALLERTA	Linea	Tratta	Da km	A km	Fenomeno - Criticità	Se. Te.	Se. Te. Opera adiacente/interessata	Unità Manutentiva	Div. Ubic	Nucleo-Squadra	CdL	Stato Utente	Codici per l'Attività di Vigilanza	NOTE
TREN-B	Trento-Primolano	TRENTO S. CHIARA - TRENTO S. BARTOLAMEO	142+710	143+200	Gravitativo - Frana/Idraulico-Alluvione-Attraversamento	TR7232-SD-CS00-PS0-FR1	TR7232-SD-OA00-OD0-M03	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU4	ESER	F01-F02-F03-F04	Scarpata di trincea soggetta a frana e ruscellamento superficiale.
TREN-B	Trento-Primolano	POVO-PERGINE	132+215	137+809	Gravitativo - Caduta Massi/Idraulico-Alluvione-Attraversamento	TR2997-SD-CS00-PS0-CMI1	TR2997-SD-OA00-OD0-M10/TR2997-SD-OA00-OD0-M11/TR2997-SD-OA00-OD0-M12/TR2997-SD-OA00-OD0-M13/TR2997-SD-OA00-OD0-M14/TR2997-SD-OA00-OD0-M15/TR2997-SD-OA00-OD0-M16/TR2997-SD-OA00-OD0-M17/TR2997-SD-OA00-OD0-M18/TR2997-SD-OA00-OD0-M19/TR2997-SD-OA00-OD0-M20/TR2997-SD-OA00-OD0-M21/TR2997-SD-OA00-OD0-M22/TR2997-SD-OA00-OD0-M23/TR2997-SD-OA00-OD0-M24/TR2997-SD-OA00-OD0-M25/TR2997-SD-OA00-OD0-M26/TR2997-SD-OA00-OD0-M27/TR2997-SD-OA00-OD0-M28/TR2997-SD-OA00-OD0-M29/TR2997-SD-OA00-OD0-M30/TR2997-SD-OA00-OD0-M31/TR2997-SD-OA00-OD0-M32/TR2997-SD-OA00-OD0-M33/TR2997-SD-OA00-OD0-M34/TR2997-SD-OA00-OD0-M35/TR2997-SD-OA00-OD0-M36/TR2997-SD-OA00-OD0-M37/TR2997-SD-OA00-OD0-M38/TR2997-SD-OA00-OD0-M39/TR2997-SD-OA00-OD0-M40/TR2997-SD-OA00-OD0-G01/TR2997-SD-OA00-OD0-S01/TR2997-SD-OA00-OD0-N01	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU4	ESER	M01-M02-M03-A01-A02-A04-A06	Verifiche della parete in roccia della mezacosta e degli attraversamenti di rii e rogge. La sede tecnica PS per Cm è compresa tra km 133+523 e km 137+300
TREN-B	Trento-Primolano	S. CRISTOFORO AL LAGO-CALCERANICA	126+525	126+545	Gravitativo - Caduta Massi/Idraulico-Alluvione-Attraversamento	TR2999-SD-CS00-PS0-AL1	TR2999-SD-OA00-PT0-P04	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU4	ESER	M01-M02-M03-A01-A02-A04-A06	Verifiche sulla scarpata a monte della linea
TREN-B	Trento-Primolano	VILLAZZANO-POVO	138+681	139+756	Gravitativo - Caduta Massi/Idraulico-Alluvione-Attraversamento	TR2996-SD-CS00-PS0-CMI1	---	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU4	ESER	F01-F02-F05-A02-A03-A04-A06	Verifiche della parete in roccia della mezacosta e degli attraversamenti di rii e rogge
TREN-B	Trento-Primolano	POVO-PERGINE	136+520	136+540	Idraulico - Erosione Spondale	TR2997-SD-CS00-PS0-ER1	---	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU4	ESER	A03-A05	Erosione da parte del Fersina



ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA  
 LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IT1J	10	GE	GE0006001	A	156 di 158

TREN-B	Trento-Primolano	POVO-PERGINE	132+820	132+860	Gravitativo - Frana	TR2997-SD-CS00-PS0-FR1	TR2997-SD-OA00-OD0-M07	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU4	ESER	F01-F02	Instabilità della coltre detritica di ricoprimento del versante roccioso. Il dissesto interessa la scarpa di monte della mezzacosta. Presenza di nicchie di distacco. Il detrito estremamente eterogeneo (terra e frammenti rocciosi) potrebbe essere rammollito oltremodo in occasione di eventi piovosi intensi. Al



ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA  
 LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IT1J	10	GE	GE0006001	A	157 di 158

ALL.8 ALTRI TRATTI DI LINEA SELEZIONATI TRA QUELLI INTERSECANTI LE AREE DEFINITE A RISCHIO IDROGEOLOGICO DALLE AUTORITÀ DI BACINO NON RICOMPRESI NELL'ALLEGATO 7 E NELL'ALLEGATO 9

Nota: ove la casella "Se. Te. Opera adiacente/interessata" non risulta valorizzata e tra i codici di vigilanza sia previsto il controllo delle opere di difesa/contenimento, si dovrà fare riferimento alle opere presenti in prossimità del punto e che non risultano inserite a sistema in quanto non di proprietà di RFI (es: provincia, regione, altro ente). Le schede della PAT cui si fa riferimento nelle note sono a disposizione nella cartella su server di rete \\vr0rs010\sf\_4\ingtec\GEOLOGIA-PUBBLICA\Materiale consultazione MO ALLERTA METEO

ZONA DI ALLERTA	Linea	Tratta	Da km	A km	Fenomeno - Criticità	Se. Te. Opera adiacente/interessata	Unità Manut.	Div. Ubic.	Nucleo-Squadra	CdL	Codici per l'Attività di Vigilanza	NOTE	Livello Pericolosità/Rischio
TREN-B	Trento - Primolano	RONCEGNO -BORGO VALSUGANA	104+632	106+048	Idraulico - Alluvionale-Parallelismo	---	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU4	A-03/A-04/A-06	Vedi scheda PAT TV 8.b. Zona a rischio esondazione.	R4
TREN-B	Trento - Primolano	RONCEGNO -BORGO VALSUGANA	106+048	107+034	Gravitativo - Caduta Massi	---	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU4	M-01/M-02	Vedi scheda PAT TV8.a. Problematica di carattere geologico per stabilità versanti e crolli rocciosi, connesse per lo più al vecchio tracciato ferroviario. Vedi scheda PAT TV8.a. Problematica di carattere geologico per stabilità versanti e crolli rocciosi, connesse per lo più al vecchio tracciato ferroviario.	Molto Elevata
TREN-B	Trento - Primolano	LEVICO-RONCEGNO	108+317	108+567	Idraulico - Alluvionale - Attraversamento/Gravitativo - Colata Rapida	TR3002-SD-OA00-PT0-P01	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU4	A-01/A-02/A-03/A-04/A-05/A-06/F-01/F-02/F-03	Vedi scheda PAT TV7. Alveo poco marcato, completamente vegetato anche con cespugli ed alberi; talora con sponde realizzate con muri in sasso. Potenziale colata rapida (segnalata da IFFI) innescentesce tra i depositi dell'alveo del torrente	R4
TREN-B	Trento - Primolano	LEVICO-RONCEGNO	109+308	109+357	Idraulico - Alluvionale - Attraversamento	TR3002-SD-OA00-PT0-P02	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU4	A-01/A-02/A-03/A-04/A-05	Vedi scheda PAT TV 6d. Note: ponte in travata metallica sul fiume Brenta dal km 109+332 al km 109+449.	Molto Elevata
TREN-B	Trento - Primolano	LEVICO-RONCEGNO	110+760	110+849	Idraulico - Alluvionale - Attraversamento	TR3002-SD-OA00-PT0-P03	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU4	A-01/A-02/A-03/A-04/A-05	Vedi scheda PAT TV 6c. A monte del ponte alveo recentemente sistemato con sponde in scogliera e fondo in grossi massi.	R4
TREN-B	Trento - Primolano	LEVICO-RONCEGNO	112+342	112+419	Idraulico - Alluvionale - Attraversamento	TR3002-SD-OA00-PT0-A13	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU4	A-01/A-02/A-03/A-04/A-05	Vedi scheda PAT TV 6b. L'alveo si presenta di modeste dimensioni, con vegetazione (erba e piante) in alveo. Sono presenti, a monte della Ferrovia, numerosi tratti intubati parzialmente ostruiti.	R4
TREN-B	Trento - Primolano	LEVICO-RONCEGNO	114+183	114+484	Gravitativo - Caduta Massi	---	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU4	M-01/M-02/M-03	Vedi scheda PAT TV 6a. Lungo il versante presenza di muretti a secco in precarie condizioni di stabilità e di affioramenti rocciosi isolati, particolarmente fratturati e disarticolati anche ad opera degli apparati radicali della vegetazione arborea presente.	Elevata

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
IT1J 10 GE GE0006001 A 158 di 158

TRENTO	PRIMOLANO	STAZIONE	CHILOMETRO INIZIO	CHILOMETRO FINE	TIPOLOGIA	CODICE	PROGETTO	REVISIONE	STAZIONE	FOGLIO	NOTE	CLASSIFICAZIONE
TRENTO	PRIMOLANO	S. CRISTOFORO AL LAGO-CALCERANICA	122+669	126+595	Gravitativo - Caduta Massi	---	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU 4	M-01/M-02/M-03	Vedi scheda PAT TV 5. Elevata/Molto Elevata
TRENTO	PRIMOLANO	S. CRISTOFORO AL LAGO-CALCERANICA	125+507	125+571	Gravitativo-Caduta Massi	---	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU 4	M-01/M-02/M-03	P3-R2
TRENTO	PRIMOLANO	VILLAZZANO-POVO	139+877	140+114	Idrraulico - Alluvionale-Attraversamento/Gravitativo - Frana	TR2996-SD-OA00-PT0-P01/TR2996-SD-OA00-PT0-P02	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU 4	A-01/A-02/A-03/A-04/A-05/A-06/F-01/F-02/F-03	Intersezioni della sede ferroviaria con rii e rogge, intersezioni della sede ferroviaria con rii e rogge. Possibili problemi legati al deflusso. Vedi scheda PAT TV 6. R3
TRENTO	PRIMOLANO	VILLAZZANO-POVO	140+286	140+433	Idrraulico - Alluvionale-Attraversamento/Gravitativo - Frana	TR2996-SD-OA00-PT0-A01	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU 4	A-01/A-02/A-03/A-04/A-05/A-06/F-01/F-02/F-03	Intersezioni della sede ferroviaria con rii e rogge, intersezioni della sede ferroviaria con rii e rogge. Possibili problemi legati al deflusso. Vedi scheda PAT TV 6. R4
TRENTO	PRIMOLANO	TRENTO S. BARTOLAMEO - VILLAZZANO	141+024	141+183	Gravitativo-Caduta Massi	---	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU 4	M01/M02/M03/M04	P2-R3
TRENTO	PRIMOLANO	TRENTO S. BARTOLAMEO - VILLAZZANO	141+848	141+859	Gravitativo-Caduta Massi	---	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU 4	M01/M02/M03/M04	P3-R4
TRENTO	PRIMOLANO	TRENTO S. BARTOLAMEO - VILLAZZANO	141+795	141+861	Idrraulico - Alluvionale-Attraversamento/Gravitativo - Frana	---	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU 4	A-01/A-02/A-03/A-04/A-05/A-06/F-01/F-02/F-03	Intersezioni della sede ferroviaria con rii e rogge. Prossimità Imbocco est galleria San Rocco. vedi scheda PAT TV 1. R4
TRENTO	PRIMOLANO	TRENTO S. BARTOLAMEO - VILLAZZANO	142+457	142+525	Idrraulico - Alluvionale-Attraversamento/Gravitativo - Frana	---	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU 4	A-01/A-02/A-03/A-04/A-05/A-06/F-01/F-02/F-03	Intersezioni della sede ferroviaria con rii e rogge. Prossimità Imbocco est galleria San Rocco. vedi scheda PAT TV 1. R4
TRENTO	PRIMOLANO	TRENTO - TRENTO S. CHIARA	143+534	143+552	Idrraulico	vedi note	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU 4	A-02/A-03/A-04/A-05/A-06	Verificare pozzetto e relativo attraversamento in prossimità dell'inizio del marciapiede direzione San Bartolameo. R4
TRENTO	PRIMOLANO	TRENTO S. CHIARA - TRENTO S. BARTOLAMEO	143+464	143+552	Idrraulico - Alluvionale-Attraversamento/Gravitativo - Frana	---	BZ/LVU4	VRM2	Trento	LVU 4	A-01/A-02/A-03/A-04/A-05/A-06	Intersezioni della sede ferroviaria con rii e rogge, vedi scheda PAT TV 1. R4