

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J14H20000970001

U.O. GALLERIE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est

ELABORATI GENERALI
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

SCALA:

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

I T 1 J 1 0 R 0 7 R H G N 0 0 0 0 0 0 1 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	M.N.Pascariello	Maggio 2021	M. Ricci	Maggio 2021	S. Lo Presti	Maggio 2021	A.Scig... Nov. 2021
B	Emissione a seguito verifica tecnica	M.N.Pascariello	Nov. 2021	M. Ricci	Nov. 2021	S. Lo Presti	Nov. 2021	ITALFERR S.p.A. U.O. GALLERIE Dott. Ing. Alessandra Scig... Ordine degli Ingegneri di Roma n° 19846
								n. Elab.

File: IT1J10R07RHGN0000001B.doc

INDICE

1	PREMESSA	4
2	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO	4
3	NORMATIVE E DOCUMENTI REFERENZIATI.....	5
3.1	NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO	5
3.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
3.3	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO.....	7
3.4	ALLEGATI.....	8
4	DESCRIZIONE DELLA LINEA.....	9
4.1	IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO.....	9
5	METODOLOGIA DI LAVORO.....	12
6	FASE CONOSCITIVA	13
6.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	13
6.1.1	<i>Assetto geologico lungo il tracciato.....</i>	<i>14</i>
6.2	INDAGINI GEOTECNICHE	15
6.3	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	16
6.3.1	<i>Sintema postglaciale alpino PTG.....</i>	<i>17</i>
6.3.2	<i>Subsintema di Lisignago SGD12.....</i>	<i>20</i>
6.3.3	<i>Dolomia Principale DPR.....</i>	<i>23</i>
6.3.4	<i>Formazione di Monte Zugna FMZ.....</i>	<i>27</i>
6.3.5	<i>Unità geotecniche.....</i>	<i>31</i>
6.4	LE CONDIZIONI IDRAULICHE.....	31
6.5	INDAGINI E RILIEVI IN GALLERIA	32
6.5.1	<i>Stato di fatto delle gallerie.....</i>	<i>33</i>
7	FASE DI DIAGNOSI.....	38
7.1	PROFILO DI TRANSITO.....	38

7.2	IMPIANTISTICA TE.....	38
7.3	VERIFICHE DI SAGOMA	38
8	FASE DI TERAPIA	40
8.1	DEFINIZIONE DEGLI INTEVENTI TIPO.....	40
8.1.1	<i>Intervento tipo 1A</i>	40
8.1.2	<i>Intervento tipo 1B</i>	41
8.2	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	42
9	PROGRAMMA DI INDAGINI PER LE SUCCESSIVE FASI DI PROGETTAZIONE	44
10	CONCLUSIONI.....	45
11	APPENDICE 1.....	46
11.1	METODI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA ATTRAVERSO PROVE PENETROMETRICHE.....	46

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est</p>					
<p>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</p>	<p>COMMESSA IT1J</p>	<p>LOTTO 10</p>	<p>CODIFICA R 07 RH</p>	<p>DOCUMENTO GN 0000 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 4 di 48</p>

1 PREMESSA

Il progetto riguarda l'elettificazione della tratta ferroviaria esistente Trento-Borgo Valsugana Est, Lotto 1 della linea ferroviaria Trento-Bassano del Grappa, e costituisce il completamento dell'elettificazione della rete ferroviaria gestita da RFI in Regione Trentino Alto-Adige citato nell'Accordo Quadro per l'utilizzo della capacità dell'infrastruttura ferroviaria nel territorio della Provincia Autonoma di Trento sottoscritto in data 09/08/2016 tra Provincia Autonoma di Trento e RFI.

2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Scopo del documento è la descrizione delle principali soluzioni tecnico-progettuali propedeutiche all'elettificazione delle gallerie esistenti presenti sulla tratta Trento-Borgo Valsugana Est, Lotto 1 della linea ferroviaria Trento-Bassano del Grappa.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

3 NORMATIVE E DOCUMENTI REFERENZIATI

3.1 Normative e specifiche tecniche di riferimento

- Rif. [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 17/01/2018, “Aggiornamento delle Nuove norme Tecniche per le Costruzioni”;
- Rif. [2] C.S.LL.PP., Circolare n°7 del 21/01/2019, “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al DM 14/01/2018”;
- Rif. [3] RFI, doc RFI DTC SI CS MA IFS 003 E “Manuale di Progettazione delle opere civili” - Parte II - Sezione 6 - Sagome e Profilo Minimo degli Ostacoli, datato 31/12/2020;

3.2 Documenti di riferimento

- Rif. [4] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69RGGE0001001A “Relazione geologica” datato Maggio 2021.
- Rif. [5] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69RHGE0005001A “Rapporto sulle attività di campagna” datato Maggio 2021;
- Rif. [6] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69RHGE0005002A “Schede di rilievo geomeccanico” datato Maggio 2021;
- Rif. [7] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69RHGE0005003A “Schede di rilievo geomeccanico” datato Maggio 2021;
- Rif. [8] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69IGGE0005001A “Indagini geofisiche” datato Maggio 2021;
- Rif. [9] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69F4GE0001001A “Profilo geologico in asse al tracciato tav 1/3” datato Maggio 2021;
- Rif. [10] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69F4GE0001002A “Profilo geologico in asse al tracciato tav 2/3” datato Maggio 2021;
- Rif. [11] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69F4GE0001003A “Profilo geologico in asse al tracciato tav 3/3” datato Maggio 2021;
- Rif. [12] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69F4GE0002001A “Profilo idrogeologico in asse al tracciato tav 1/3” datato Maggio 2021;
- Rif. [13] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69F4GE0002002A “Profilo idrogeologico in asse al tracciato tav 2/3” datato Maggio 2021;
- Rif. [14] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69F4GE0002003A “Profilo idrogeologico in asse al tracciato tav 3/3” datato Maggio 2021;

	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

- Rif. [15] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69G3GE0001001A “Carta geologica con elementi geomorfologici tav 1/ 2” datato Maggio 2021;
- Rif. [16] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69G3GE0001002A “Carta geologica con elementi geomorfologici tav 2/ 2” datato Maggio 2021;
- Rif. [17] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69G4GE0001001B “Carta ubicazione stop geologici, stazioni geomeccaniche e indagini geognostiche tav 1/ 5” datato Ottobre 2021;
- Rif. [18] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69G4GE0001002B “Carta ubicazione stop geologici, stazioni geomeccaniche e indagini geognostiche tav 2/ 5” datato Ottobre 2021;
- Rif. [19] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69G4GE0001003B “Carta ubicazione stop geologici, stazioni geomeccaniche e indagini geognostiche tav 3/ 5” datato Ottobre 2021;
- Rif. [20] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69G4GE0001004B “Carta ubicazione stop geologici, stazioni geomeccaniche e indagini geognostiche tav 4/ 5” datato Ottobre 2021;
- Rif. [21] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69G4GE0001005B “Carta ubicazione stop geologici, stazioni geomeccaniche e indagini geognostiche tav 5/ 5” datato Ottobre 2021;
- Rif. [22] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69G4GE0002001A “Carta idrogeologica tav 1/ 5” datato Maggio 2021;
- Rif. [23] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69G4GE0002002A “Carta idrogeologica tav 2/ 5” datato Maggio 2021;
- Rif. [24] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69G4GE0002003A “Carta idrogeologica tav 3/ 5” datato Maggio 2021;
- Rif. [25] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69G4GE0002004A “Carta idrogeologica tav 4/ 5” datato Maggio 2021;
- Rif. [26] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69G4GE0002005A “Carta idrogeologica tav 5/ 5” datato Maggio 2021;
- Rif. [27] U.O. Geologia, documento n° IT1J10R69G6GE0005001A “Tavola di sintesi delle analisi geomeccaniche” datato Maggio 2021;
- Rif. [28] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);
- Rif. [29] U.O. Energia e Impianti di Trazione Elettrica, elaborati specialistici;
- Rif. [30] 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(3): 425-447;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

- Rif. [31] F.H. Kulhawy and P.W. Mayne (1990), "Manual on estimating soil properties for foundation design", New York: Electric Power Res. Inst., Geotechnical Engineering Group, and (EPRI-EL-6800), Cornell University, 2-28 to 2-36;
- Rif. [32] Schmertmann, J.H.: Guidelines for cone penetration test, performance and design, Report no. FHWA-TS-78-209, Washington D.C., US Department of Transportation, p. 145 (1978);
- Rif. [33] Bolton M.D. (1986) "The strength and dilatancy of sands" *Geotechnique*, 36(1), 65-78;
- Rif. [34] de Mello, V.F.B. (1971) The standard penetration test, State of the Art Report. Proc. 4th Panamerican Conf. on Soil Mech. and Found. Engng, Puerto Rico, v. 1, pp. 1-86;
- Rif. [35] Stroud, M. A. 1989. The Standard Penetration Test – Its Application and Interpretation. Proceedings of the Geotechnology Conference on Penetration Testing in the UK, Thomas Telford;
- Rif. [36] Jamiolkowski, M., Ghionna, V. N., Lancellotta, R., & Pasqualini, E. (1988). New applications of penetration tests in design practice. In Proceedings of the First International Symposium on Penetration Testing (ISOPT I);
- Rif. [37] Ohta, Y., Goto, N. (1978): "Empirical Shear Wave Velocity Equations in Terms of Characteristic Soil Indexes," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 6;
- Rif. [38] Imai, T. (1977). "P-and S-wave velocities of the ground in Japan," Proc.9th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, vol 2, 127–32;
- Rif. [39] Hoek, E., Wood D. and Shah S. 1992. A modified Hoek-Brown criterion for jointed rock masses. Proc. Rock Characterization, Symp. Int. Soc. Rock Mech.: Eurock '92, (ed. J.A. Hudson), 209-214. London, Brit. Geotech. Soc.
- Rif. [40] Marinos P., Hoek E. (2000). GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Proc. GeoEng 2000 Conference, Melbourne.
- Rif. [41] Bieniawski Z.T. (1989). Engineering rock mass classification. John Wiley and Sons, New York.
- Rif. [42] Barton N. (2002). Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design. *Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 39, 185-216.
- Rif. [43] ISRM (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics abstracts*, 15, 6, 319-368.

3.3 Documenti prodotti a supporto

I contenuti della presente relazione sono completati dai seguenti elaborati di progetto:

- Rif. [44] U.O. Gallerie, documento n° IT1J10R07RHGN0000002A "Indagini 2021 - Relazione generale indagini" datato Maggio 2021;
- Rif. [45] U.O. Gallerie, documento n° IT1J10R07RHGN0000003A "Indagini 2021 - Relazione dei rilievi visivi" datato Maggio 2021;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

- Rif. [46] U.O. Gallerie, documento n° IT1J10R07SHGN0000001A “Indagini 2021 - Schede dei rilievi visivi” datato Maggio 2021;
- Rif. [47] U.O. Gallerie, documento n° IT1J10R07F4GN0000001B “Profilo geotecnico delle gallerie esistenti” datato Ottobre 2021;
- Rif. [48] U.O. Gallerie, documento n° IT1J10R07WAGN0100001A “Studio interferenze e applicazione interventi tipo - Galleria S. Rocco” datato Maggio 2021;
- Rif. [49] U.O. Gallerie, documento n° IT1J10R07WAGN0200001A “Studio interferenze e applicazione interventi tipo - Galleria Artificiale km135” datato Maggio 2021;
- Rif. [50] U.O. Gallerie, documento n° IT1J10R07WAGN0300001A “Studio interferenze e applicazione interventi tipo - Galleria Cantaghel” datato Maggio 2021;
- Rif. [51] U.O. Gallerie, documento n° IT1J10R07WAGN0400001A “Studio interferenze e applicazione interventi tipo - Galleria Albi” datato Maggio 2021;
- Rif. [52] U.O. Gallerie, documento n° IT1J10R07WAGN0500001A “Studio interferenze e applicazione interventi tipo - Galleria Serra” datato Maggio 2021;
- Rif. [53] U.O. Gallerie, documento n° IT1J10R07WAGN0600001A “Studio interferenze e applicazione interventi tipo - Galleria Malpensada” datato Maggio 2021;
- Rif. [54] U.O. Gallerie, documento n° IT1J10R07WAGN0700001A “Studio interferenze e applicazione interventi tipo - Galleria Artificiale km133” datato Maggio 2021;
- Rif. [55] U.O. Gallerie, documento n° IT1J10R07WAGN0800001A “Studio interferenze e applicazione interventi tipo - Galleria Artificiale km102” datato Maggio 2021;
- Rif. [56] U.O. Gallerie, documento n° IT1J10R07WZGN0000001A “Intervento Tipo 1A” datato Maggio 2021;
- Rif. [57] U.O. Gallerie, documento n° IT1J10R07WZGN0000002A “Intervento Tipo 1B” datato Maggio 2021;

3.4 Allegati

p.m.

	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

4 DESCRIZIONE DELLA LINEA

4.1 Il tracciato e le opere in sotterraneo

Le origini della costruzione della linea ferroviaria Trento - Bassano del Grappa - Venezia (detta della Valsugana) risalgono alla prima metà del secolo XIX (1840 circa), quando tutto il territorio interessato era sotto il dominio dell'impero austro-ungarico. Di fatto questo itinerario avrebbe unito il Brennero, e quindi il centro dell'Europa, con il porto di Venezia che rappresentava per gli austriaci un approdo secondario all'Adriatico subalterno al porto di Trieste che era stato da sempre considerato il naturale sbocco al mare dell'Impero. Le conseguenze della Terza guerra d'Indipendenza (1866) cambiarono l'assetto geopolitico della regione portando il Veneto nell'ambito territoriale del Regno d'Italia e dividendo l'onere della costruzione di questa linea ai due stati che intrapresero la costruzione delle rispettive tratte sino al confine politico, posto nelle vicinanze di Tezze di Grigno, che gli austriaci raggiunsero con l'apertura al traffico della loro tratta il 26 aprile 1896 dopo due anni di costruzione. Nel 1877, invece, da parte italiana era stata aperta all'esercizio, dalla Società Italiana per la Ferrovia della Valsugana SIFV (concessionaria per la costruzione e la gestione), la linea di pianura tra Mestre e Bassano e nella prima decade del 1900 la concessionaria cominciò la costruzione della linea che si inerpicava in direzione di Trento con aperture nel 1908 e nel 1909 sino a Carpanè concludendosi nel 1910 sino a Primolano, decretata come la stazione internazionale di confine tra i due Stati. L'apertura al traffico della linea completa risale al 21 luglio del 1910.

Due anni dopo le Ferrovie dello Stato rilevarono la gestione della parte italiana della linea dalla SIFV e, a seguito delle variazioni di confine conseguenti alla Prima Guerra Mondiale, con il passaggio del Trentino all'Italia, la gestione della linea fu unificata e la stazione di Primolano perse la titolarità di stazione internazionale.

La linea negli anni non ha subito particolari ammodernamenti, se non quelli legati all'upgrade dei sistemi di controllo, sino alla seconda metà degli anni Ottanta del secolo scorso quando fu oggetto di una prima parziale elettrificazione nella tratta veneta sino a Bassano del Grappa.

La linea è a semplice binario a trazione diesel della lunghezza di circa 95 km; da Trento a Tezze di Grigno rientra nel territorio della Provincia Autonoma di Trento, mentre da Primolano a Bassano ricade nella Regione Veneto.



Figura 1. Rappresentazione, stazioni e fermate della tratta ferroviaria Trento-Borgo Valsugana Est, Lotto 1 della linea Trento-Bassano del Grappa.

In Tabella 1 sono indicate le 8 gallerie presenti sulla tratta tra la stazione di Trento e la fermata di Borgo Valsugana Est. Le progressive ferroviarie indicate sono da considerarsi “storiche”, risalenti cioè alla documentazione ufficiale di costruzione e manutenzione della linea.

Le opere in sotterraneo sono prevalentemente situate tra la stazione di Pergine Valsugana e la fermata Povo-Mesiano in cui sono presenti 6 delle 8 gallerie della tratta. La galleria S. Rocco è ubicata tra la stazione Villazzano e la fermata S. Bartolomeo, mentre la galleria Artificiale km102 è situata in ambito urbano tra la stazione di Borgo Est e la stazione di Borgo Centro.

Le 8 gallerie presenti tra Trento e Borgo Valsugana Est hanno lunghezza complessiva di circa 1,32 km e rappresentano circa il 3% del tracciato; in particolare, le 6 gallerie tra la stazione di Pergine Valsugana e la fermata Povo-Mesiano hanno una lunghezza complessiva di circa 0,9 km e rappresentano circa il 10% del tracciato.

Tabella 1 – Elenco delle gallerie

N°Galleria	Stazione/Galleria	Progressive		L (m)
	<i>Stazione Trento</i>	146+981		
	<i>Fermata S. Bartolomeo</i>	142+829		
1	S. Rocco	141+633	141+260	373
	<i>Stazione Villazzano</i>	140+607		
	<i>Fermata Povo-Mesiano</i>	138+150		
2	Artificiale km135	135+941	135+896	45
3	Artificiale	135+879	135+869	10
	Cantaghel	135+869	135+743	126
4	Albi	135+450	135+074	376
5	Serra	134+826	134+660	166
6	Artificiale	134+546	134+516	30
	Malpensada	134+516	134+435	81
7	Artificiale km133	133+123	133+069	54
	<i>Stazione Pergine Valsugana</i>	129+711		
	<i>Stazione Borgo Centro</i>	103+377		
8	Artificiale km102	102+949	102+898	51
	<i>Stazione Borgo Est</i>	102+528		

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est</p>					
<p>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</p>	<p>COMMESSA IT1J</p>	<p>LOTTO 10</p>	<p>CODIFICA R 07 RH</p>	<p>DOCUMENTO GN 0000 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 12 di 48</p>

5 METODOLOGIA DI LAVORO

La progettazione degli interventi sulle gallerie in oggetto è stata condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [28]) e si è articolata nelle seguenti fasi:

1. fase conoscitiva (cap. 6): è finalizzata allo studio e all'analisi dello stato di fatto delle gallerie con riferimento alle caratteristiche geometriche delle sezioni di intradosso, agli spessori dei rivestimenti esistenti, alle condizioni delle murature, al contesto geologico e geotecnico di inserimento;
2. fase di diagnosi (cap. 7): definita la sagoma di transito di progetto e gli ingombri minimi da garantire per l'installazione dell'impiantistica TE, si eseguono le verifiche di sagoma sulle sezioni di intradosso per individuare le eventuali interferenze da risolvere;
3. fase di terapia (cap. 8): in funzione della tipologia dell'interferenza individuata e delle locali condizioni del rivestimento esistente, si definiscono le modalità di intervento necessarie per risolvere l'interferenza (interventi tipo) e garantire l'inserimento dell'impiantistica TE in condizioni di sicurezza;
4. fase di verifica e messa a punto (cap. 9): il progetto è completato da un piano di indagini integrative da predisporre ed attuare nell'ambito della successiva progettuale, per confermare o eventualmente ritrarre la distribuzione degli interventi tipo ipotizzata in questa fase.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

6 FASE CONOSCITIVA

Nella fase conoscitiva si sono acquisiti tutti gli elementi necessari per la definizione del contesto geologico e geotecnico e dell'attuale stato di fatto delle gallerie con riferimento in particolare alle caratteristiche geometriche delle sezioni di intradosso, agli spessori dei rivestimenti esistenti e alle condizioni delle murature, in termini di eventuali lesioni, venute d'acqua o degrado dei materiali.

A tale scopo, nell'ambito di questa fase progettuale, è stata condotta una campagna di indagini e rilievi in galleria per poter definire tutti gli interventi necessari all'installazione dell'impiantistica TE.

6.1 Inquadramento geologico e geomorfologico

Di seguito si riporta un breve inquadramento dell'area di progetto definito sulla base della relazione geologica (Rif. [4]). Per ulteriori dettagli si rimanda allo specifico elaborato.

La successione affiorante nell'area in esame presenta unità geologiche appartenenti al dominio del Subalpino e copre un ampio intervallo stratigrafico. Essa infatti comprende unità che appartengono al basamento metamorfico di età Varisca, costituito da rocce filladiche, scisti e metavulcaniti, alla successione vulcanica permiana costituita essenzialmente da masse granitiche e granodioritiche, e alla successione vulcano-sedimentaria permo-cenozoica comprendente vulcaniti, siltiti, arenarie e dolomie, sino alle formazioni carbonatiche giurassiche (Gruppo dei Calcari Grigi). Le coperture sono costituite da depositi di origine fluviale, glaciale, post-glaciale del Pleistocene-Olocene; in alcune zone, sono presenti depositi di frana.

Si riporta di seguito una breve sintesi dei principali caratteri litologici e strutturali delle formazioni in cui sono inserite le gallerie esistenti: Dolomia Principale DPR e Formazione di Monte Zugna FMZ facenti parte della successione vulcano-sedimentaria permo-cenozoica, Subsistema di Lisignano SGD12 e Sistema Postglaciale Alpino PTG appartenenti alla successione quaternaria continentale. Per la descrizione dettagliata di tutte le formazioni presenti nell'area di progetto si rimanda all'elaborato specialistico (Rif. [4]).

Dolomia Principale (DPR) (Carnico Sup. – Norico): è costituita nella porzione inferiore da dolomie microcristalline a Megalodonti e Gasteropodi e nella porzione superiore da dolomie massicce vacuolari di colore grigio chiaro. Lo spessore varia da 200 a 800 m.

Formazione di Monte Zugna (FMZ) (Hettangiano – Sinemuriano): è costituita da calcari da grigio chiari a biancastri facenti parte del gruppo dei Calcari Grigi CG, che presenta tre litofacies generalmente sovrapposte: calcari micritici-oolitici, calcari stromatolitici e calcari micritici associati a marne e intervalli argillosi di colore scuro.

Subsistema di Lisignano (SGD12) (Pleistocene sup. p.p.): si tratta di depositi fluvio-glaciali, alluvionali, glacio-lacustri, da debris-flow e frane facenti parte del Sistema del Garda indistinto SGD, costituiti da ghiaie, ghiaie sabbiose e sabbie (depositi fluvio-glaciali e alluvionali); ghiaie, sabbie e limi laminati (depositi glacio-lacustri); da ghiaie con clasti subangolari (depositi da debris-flow) e diamicton con clasti (depositi di frana). Lo spessore massimo può superare i 50 m.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

Sintema Postglaciale Alpino (PTG) (Pleistocene sup.– Attuale): si tratta di depositi costituiti da ghiaie, sabbie e limi a stratificazione orizzontale o incrociata (depositi alluvionali); limi, argille, torbe localmente con livelli sabbiosi, a stratificazione orizzontale (depositi palustri e lacustri); diamicton massivi o con orizzonti di ghiaie e sabbie mal selezionate (depositi da debris flow e di origine mista), blocchi e ghiaie eterometriche, ghiaie con elementi angolosi di provenienza locale (detrito di versante e di falda), depositi colluviali, travertini e depositi antropici. Il limite superiore coincide con la superficie topografica. Lo spessore massimo può superare gli 80 metri.

L'assetto geomorfologico del settore di studio, che ricade in un territorio montuoso alpino intervallato da profonde valli, è il risultato di processi avvenuti dalla glaciazione wurmiana ad oggi ed è legato alla litologia e ai caratteri strutturali delle formazioni. Ove la litologia prevalente è costituita da calcari e dolomie si hanno fenomeni carsici, accentuati in prossimità di linee tettoniche. Nel tratto situato all'interno delle gole del Fersina le litologie carbonatiche formano pareti sub-verticali di altezza superiore a 100 m potenzialmente in grado di rilasciare blocchi rocciosi anche di notevoli dimensioni. Piane alluvionali e depositi di fondovalle si ritrovano nella valle del fiume Brenta, del lago Caldonazzo e del fiume Adige. Importanti fenomeni gravitativi sono dovuti al complesso del Monte Marzola (da Rif. [15] a Rif. [21]).

Dal punto di vista idrogeologico, le formazioni geologiche di substrato presentano generalmente permeabilità medie per fratturazione, ad eccezione dei litotipi appartenenti al Gruppo dei Calcari Grigi che presentano permeabilità media per fratturazione e carsismo: non si escludono quindi fenomeni carsici in grado di veicolare i flussi di acqua lungo vie di drenaggio preferenziale (da Rif. [12] a Rif. [14] e da Rif. [22] a Rif. [26]). I depositi quaternari presentano tipicamente permeabilità per porosità medio-alte, che diminuiscono ove sono presenti depositi fini a permeabilità bassa.

6.1.1 Assetto geologico lungo il tracciato

Il tracciato ferroviario si sviluppa sia in un contesto di fondovalle, afferente alla Valsugana, al torrente Fersina e al fiume Adige, sia in un contesto pedemontano nel circondario di M. Marzola.

In particolare, le quattro gallerie naturali di Malpensada, Serra, Albi e Cantaghel sono inserite nella tratta delle gole del torrente Fersina e sono interessate rispettivamente dalla formazione della Dolomia Principale DPR (galleria Malpensada, copertura massima intorno ai 25 m) e dalla formazione di Monte Zugna FMZ (gallerie Serra, Albi e Cantaghel, aventi coperture massime di circa 45 m, 65 m e 50 m).

Si evidenzia la presenza di una faglia in corrispondenza della galleria Serra al passaggio tra la Dolomia Principale e la Formazione di Monte Zugna alla pk 134+705 circa e una presunta faglia in prossimità dell'imbocco lato Borgo Valsugana della galleria Malpensada alla pk 134+417 circa, in corrispondenza del passaggio tra le Dolomie della formazione dello Sciliar e la Dolomia Principale, che però non interessa direttamente l'opera in sotterraneo. Una discontinuità è stata inoltre rilevata in prossimità dell'imbocco lato Borgo Valsugana della Galleria Cantaghel.

Le pareti rocciose in questo tratto possono presentare fenomeni di instabilità locale (caduta massi) e fenomeni carsici di allargamento delle fratture possono interessare le formazioni calcaree.

	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

La galleria San Rocco invece è localizzata in depositi quaternari, nel sistema postglaciale subalpino PTG in corrispondenza dell'imbocco lato Borgo Valsugana e poi nel subsistema di Lisignago SGD12. La copertura massima su tale galleria è di circa 15 m.

Per il dettaglio completo dell'intero tracciato si rimanda al profilo geologico (da Rif. [9] a Rif. [11]).

6.2 Indagini geotecniche

Ai fini caratterizzazione geotecnica delle unità che interessano le opere in sotterraneo nella tratta in oggetto, sono stati utilizzati i dati relativi alla campagna d'indagine appositamente realizzata nell'ambito della presente fase progettuale (Italferr 2020-2021), i dati derivanti da campagne di indagini eseguite per lo sviluppo di progetti ricadenti nell'area di interesse e dati estratti dalla banca dati della Provincia Autonoma di Trento. Inoltre, in questa fase progettuale sono state acquisite le risultanze del sondaggio denominato Dolomiti Energia eseguito alla fine del 2019 in località Madonna Bianca da Dolomiti Energia Solutions Srl.

In dettaglio, si riepilogano le diverse campagne di indagini:

1. *Campagna indagini Italferr 2020-2021 – PFTE Elettrificazione Trento-Bassano del Grappa Lotto 1;*
2. *Campagna indagini Italferr 2020-2021 – Lotto 3 dell'accesso Sud alla galleria di Base del Brennero;*
3. *Campagna indagini Italferr 2014-2015 – PFTE Project Review Circonvallazione di Trento Lotto 3A;*
4. *Campagna indagini RFI e Provincia Autonoma di Trento 2003-2007 - PFTE Project Review Circonvallazione di Trento Lotto 3A;*
5. *Sondaggi geognostici archiviati nella banca dati della Provincia Autonoma di Trento;*
6. *Sondaggio Dolomiti Energia 2019.*

Nella campagna di indagini n.1 (Italferr 2020-2021 per il progetto in oggetto) sono stati eseguiti:

- n. 6 sondaggi a carotaggio continuo (profondità variabili tra 30 e 40 m dal piano campagna) di cui 1 attrezzato con piezometro;
- n. 73 prove SPT;
- n. 3 prove pressiometriche nei fori di sondaggio;
- n. 6 prove di permeabilità di tipo Lefranc e 1 di tipo Lugeon;
- n. 5 prove sismiche in foro di tipo Down-Hole;
- n. 3 prospezioni sismiche di tipo MASW;
- n. 2 prove HVSR;
- n. 2 tomografie elettriche ERT;
- n. 7 stazioni geomeccaniche;

	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

- n. 7 stop geologici.

Il numero totale di campioni prelevati durante queste campagne è di 43, di cui 1 indisturbato e 42 rimaneggiati.

Sono stati inoltre prelevati 4 campioni lapidei nell'ambito delle indagini eseguite in galleria mediante carotaggio continuo a tergo del rivestimento. È stato prelevato un campione per ognuna delle gallerie inserite nel tratto delle gole del Fersina (Malpensada, Serra, Albi e Cantaghel).

Della campagna n.2, realizzata da Italferr nel 2020-2021 per il Lotto 3 dell'accesso sud alla Galleria di base del Brennero, sono stati esaminati due sondaggi.

Delle campagne n.3 e n.4, realizzate rispettivamente da Italferr nel 2014-2015 e da RFI e Provincia autonoma di Trento nel 2003-2007 per il Lotto 3A della Circonvallazione di Trento, sono stati considerati per il presente progetto 36 stop geologici e 9 stazioni geomeccaniche.

Per quanto riguarda i sondaggi d'archivio della Provincia Autonoma di Trento, i sondaggi stratigrafici presenti nell'area sono 508 e in 62 di questi sono state realizzate delle prove SPT. Il numero totale di prove SPT eseguite è pari a 335.

Dai dati derivanti dalle precedenti campagne geotecniche, sono stati utilizzati per la caratterizzazione delle formazioni in corrispondenza delle gallerie quelli di seguito elencati:

- n. 10 sondaggi a carotaggio continuo (profondità variabili tra 9 m e 30 m dal piano campagna);
- n. 23 prove SPT;
- n. 3 prove di compressione monoassiale sui campioni lapidei prelevati in galleria;
- n. 1 prospezione sismica MASW;
- n. 1 prova HVSR;
- n. 7 stazioni geomeccaniche.

Per ulteriori dettagli relativi alle campagne di indagini si rimanda agli specifici elaborati di progetto (Rif. [4] e da Rif. [9] a Rif. [11]). I risultati delle indagini geotecniche hanno permesso di definire il modello geotecnico rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni/rocce presenti in corrispondenza delle gallerie. L'ubicazione dei sondaggi ed il modello geotecnico sono rappresentati nel profilo geotecnico (Rif. [47]).

6.3 Caratterizzazione geotecnica

Sono illustrate nel seguito le caratteristiche fisiche e meccaniche, ricavate dalle prove eseguite in sito ed in laboratorio, di ciascuna formazione all'interno delle quali si sviluppano le 8 gallerie della tratta in esame.

La Tabella 2 riporta i simboli di riferimento adottati nella caratterizzazione geotecnica.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

Tabella 2. Simboli di riferimento adottati per la caratterizzazione

γ	kN/m ³	Peso dell'unità di volume
D_r	-	Densità relativa
c^{TD}	kPa	Coesione efficace da prove di taglio diretto
φ^{TD}	°	Angolo di attrito efficace da prove di taglio diretto
c^{TX}	kPa	Coesione efficace da prove triassiali
φ^{TX}	°	Angolo di attrito da prove triassiali
φ^{SPT}	°	Angolo di attrito efficace da prove SPT
σ_{ci}	MPa	Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta
E_i	GPa	Modulo elastico della matrice rocciosa
$E_{0, \text{Geof}}$	MPa	Modulo di Young da prove geofisiche
E^{SPT}	MPa	Modulo elastico da prove SPT
$G_{0, \text{SPT}}$	MPa	Modulo di taglio iniziale da prove SPT
$G_{0, \text{Geof}}$	MPa	Modulo di taglio iniziale da prove geofisiche

6.3.1 Sintema postglaciale alpino PTG

La formazione è costituita prevalentemente da ghiaie, sabbie e limi a stratificazione orizzontale o incrociata. Clasti e blocchi localmente di grandi dimensioni dovuti essenzialmente ad accumuli gravitativi e fenomeni di debris flow possono essere presenti. Tale formazione risulta affiorante in corrispondenza dell'imbocco lato Borgo Valsugana della galleria S. Rocco.

Sebbene non siano disponibili analisi granulometriche, le descrizioni litologiche dei sondaggi utilizzati per la caratterizzazione evidenziano la predominanza della componente granulare all'interno della formazione (ghiaia, sabbia con ghiaia a tratti limosa).

Per determinare le caratteristiche di resistenza della formazione sono stati elaborati i risultati di 6 prove penetrometriche dinamiche SPT in accordo alle relazioni empiriche dei terreni granulari (§ 11). In Figura 1, si riporta l'andamento, in funzione della profondità, del numero di colpi N_{SPT} , della densità relativa D_r e dell'angolo di attrito efficace φ' , definito utilizzando le correlazioni empiriche riportate al 11.1.

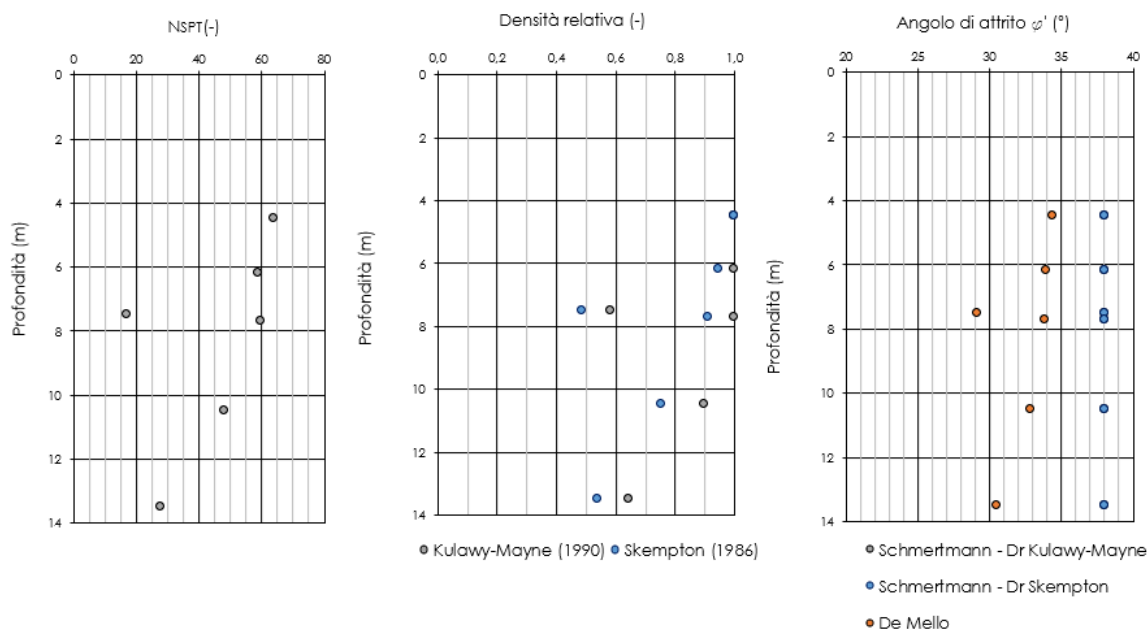


Figura 2. N_{SPT} , densità relativa e angolo di attrito da prove SPT

L'elaborazione dei risultati delle prove in situ definisce un angolo di attrito compreso tra 29° e 38° e densità relativa compresa tra 0,5 e 1,0. Di seguito la tabella riassuntiva delle prove relative ad ogni verticale di indagine (Tabella 3). Quando la prova SPT ha dato come risultato "rifiuto" è stato attribuito un valore pari a 100 colpi.

Tabella 3. Numero di colpi N_{SPT}

Sondaggio	Profondità da p.c. (m)	N_{SPT}
4110	4,5	64
4110	7,5	17
4110	10,5	48
4110	13,5	28
568	6,2	59
568	7,7	60

Per determinare le caratteristiche di deformabilità sono stati elaborati i risultati di 2 prove geofisiche eseguite in prossimità della galleria S. Rocco e 6 prove SPT.

Dai risultati delle 2 prove geofisiche si sono ricavati il modulo di rigidezza a taglio G_0 ed il modulo di rigidezza iniziali. Le prove sono state poi rielaborate considerando un valore del rapporto E/E_0 pari a 0,1 in funzione del livello deformativo atteso per ricavare un modulo di rigidezza operativo (Figura 2).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

I risultati ottenuti mostrano un incremento della rigidezza con la profondità. La prova MASW fornisce un limite inferiore dell'Unità localizzato intorno ai 16 m di profondità, mentre secondo la prova HVSR si potrebbe posizionare a 22 m di profondità.

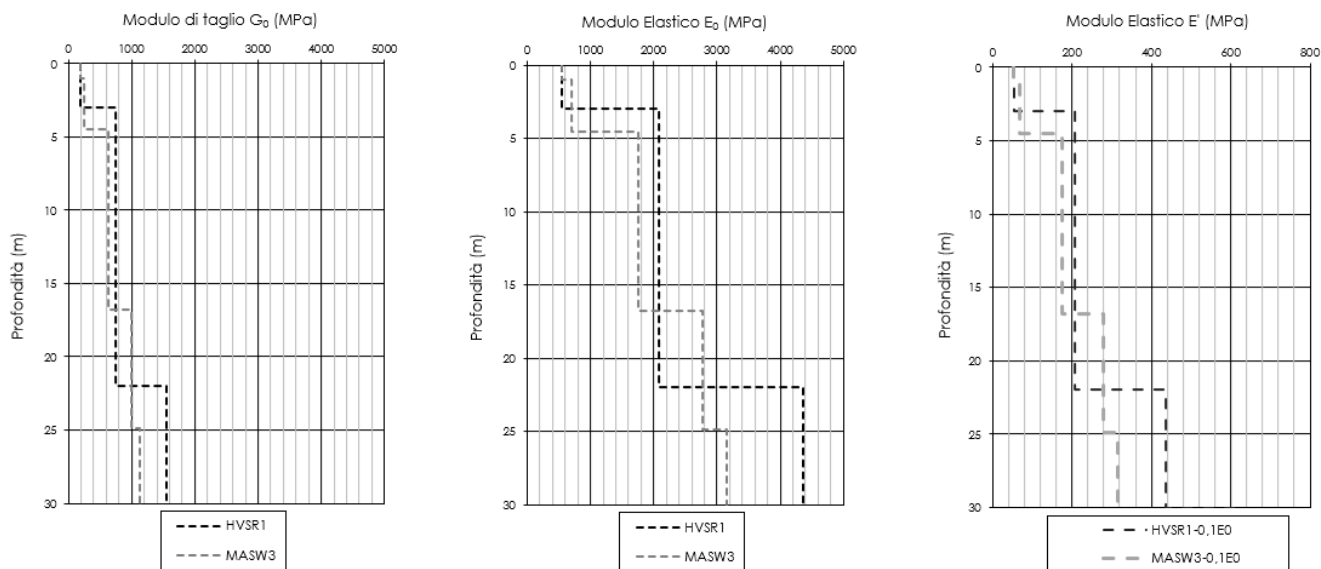


Figura 3. Moduli di rigidezza iniziali e modulo operativo da prove geofisiche

La Figura 3 mostra gli andamenti con la profondità del modulo elastico E' e del modulo di taglio iniziale G_0 ottenuti da prove SPT. I parametri risultano rispettivamente compresi negli intervalli 14÷45 MPa e 202÷330 MPa.

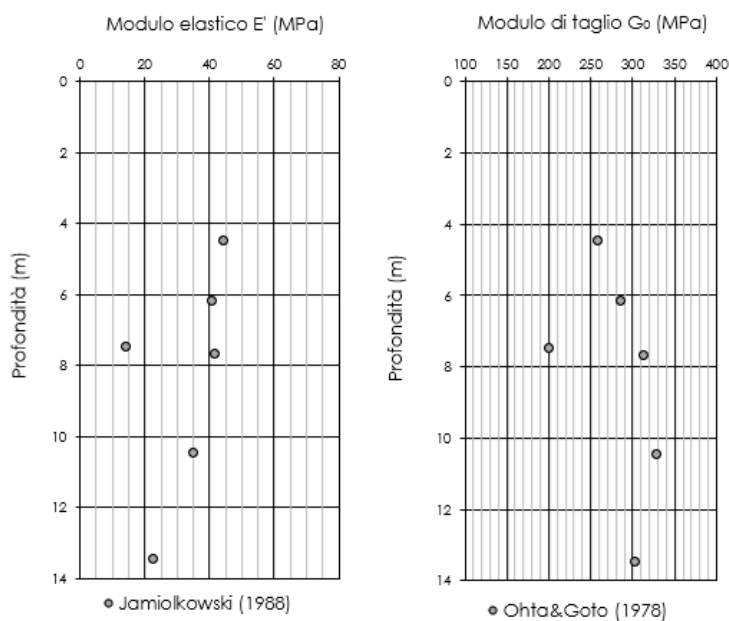


Figura 4. Modulo elastico E' e modulo di taglio G_0 da prove SPT

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per i depositi del Sintema Postglaciale alpino. La Tabella 4 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro; si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

Tabella 4. Sintesi parametri geotecnici PTG

	Min	Max	
D_r	0,5	1	(-)
φ'_{SPT}	29	38	(°)
E'_{SPT}	14	45	(MPa)
$G_{0,SPT}$	202	330	(MPa)
$G_{0,Geof}$	193	745	(MPa)
$E_{0,Geof}$	539	2087	(MPa)
$E_{op,Geof}$	54	209	(MPa)

6.3.2 Subsintema di Lisignago SGD12

Il Subsintema di Lisignago è composto essenzialmente da ghiaie, sabbie e limi. Clasti e blocchi localmente di grandi dimensioni dovuti essenzialmente a fenomeni di debris flow e di frana possono essere presenti all'interno della formazione. La galleria San Rocco si sviluppa all'interno di tale formazione.

Sebbene non siano disponibili analisi granulometriche, le descrizioni litologiche dei sondaggi utilizzati per la caratterizzazione evidenziano la predominanza della componente granulare all'interno della formazione (sabbia debolmente ghiaiosa a tratti limosa, ghiaia con sabbia e limo, sabbia con ghiaia e limo).

Per determinare le caratteristiche di resistenza sono stati elaborati i risultati di 17 prove penetrometriche dinamiche SPT in accordo alle relazioni empiriche dei terreni granulari (§ 11). In Figura 5 si riporta l'andamento, in funzione della profondità, del numero di colpi N_{SPT} , della densità relativa D_r e dell'angolo di attrito efficace φ' , definito utilizzando le correlazioni empiriche riportate al 11.1.

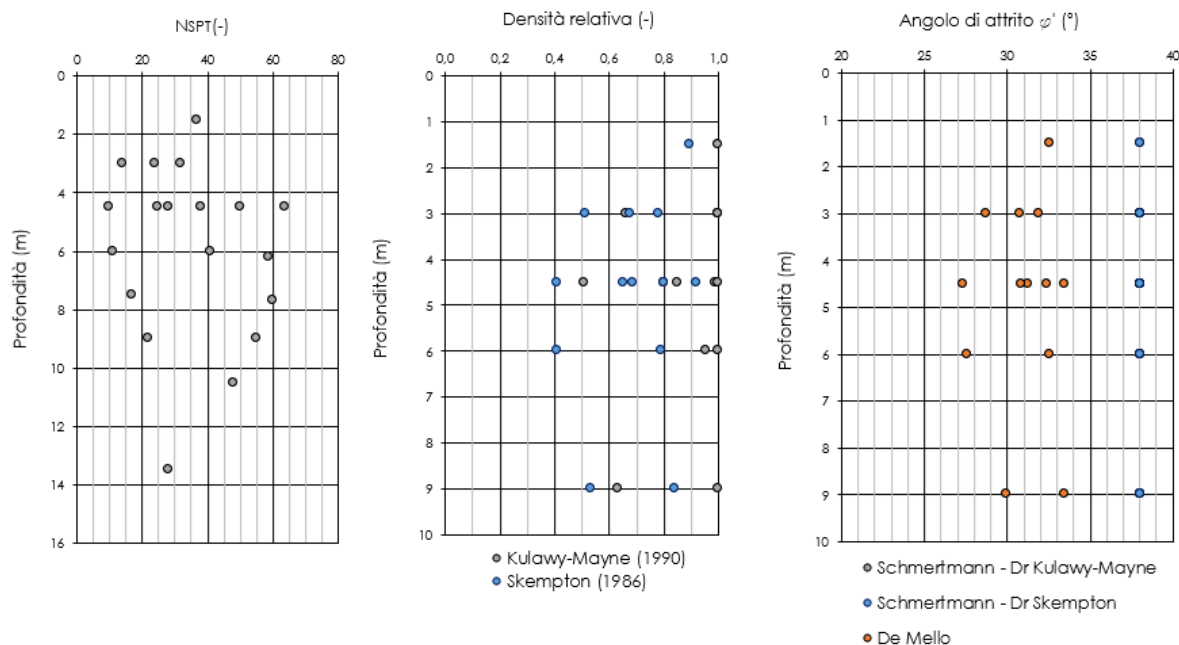


Figura 5. N_{SPT} , densità relativa e angolo di attrito da prove SPT

L'elaborazione dei risultati delle prove in situ definisce un angolo di attrito compreso tra 27° e 38° e densità relativa compresa tra 0,4 e 1,0. Di seguito la tabella riassuntiva delle prove relative ad ogni verticale di indagine (Tabella 6). Quando la prova SPT ha dato come risultato "rifiuto" è stato attribuito un valore pari a 100 colpi.

Tabella 5. Numero di colpi N_{SPT}

Sondaggio	Profondità da p.c. (m)	N_{SPT}
3902	3	32
3902	4,5	28
3903	1,5	37
3903	4,5	25
3368	3	100
3694	4,5	38
3694	6	41
3694	9	55
3367	3	14
2737	3	24
2737	4,5	50
3373	3	100
3373	4,5	10
3373	6	11
3373	9	22
3372	3	100
3372	6	100

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

Per determinare le caratteristiche di deformabilità sono stati elaborati i risultati delle 17 prove SPT.

La Figura 6 mostra gli andamenti con la profondità del modulo elastico E' e del modulo di taglio iniziale G_0 ottenuti da prove SPT. I parametri risultano rispettivamente compresi negli intervalli $8 \div 39$ MPa e $132 \div 325$ MPa.

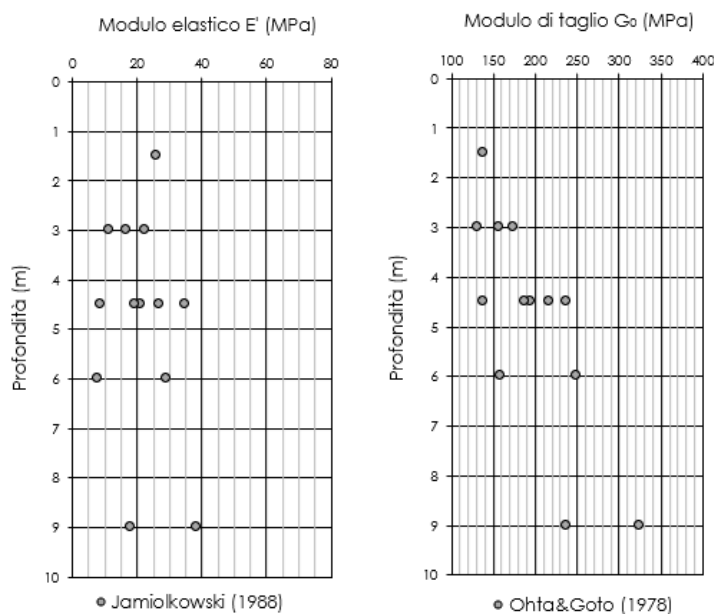


Figura 6. Modulo elastico E' e modulo di taglio G_0 da prove SPT

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per i depositi del Subsistema di Lisignago. La Tabella 6 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro; si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

Tabella 6. Sintesi parametri geotecnici SGD12

	Min	Max	
D_r	0,4	1	(-)
Φ'_{SPT}	27	38	(°)
E'_{SPT}	8	39	(MPa)
$G_{0,SPT}$	132	325	(MPa)

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

6.3.3 Dolomia Principale DPR

Tale formazione è costituita da dolomie. La galleria Malpensada si sviluppa in tale formazione.

Caratterizzazione dell'ammasso roccioso

Al fine di valutare le caratteristiche strutturali dell'ammasso roccioso sono stati considerati i risultati della stazione geomeccanica SG7 sulla formazione litoide affiorante (Figura 7) eseguita durante la campagna di indagini Italferr 2020-2021 ed i dati derivanti da 1 stop geologico e 7 stazioni geomeccaniche eseguiti durante le campagne dedicate al progetto della Circonvallazione di Trento.

Sono stati ricavati i seguenti dati:

- dati rilevati lungo la linea di scansione tramite rilievo geomeccanico (distanza della frattura dallo zero del nastro, tipo di terminazione, giacitura, apertura, ondulazione, persistenza, alterazione, tipo di giunto, ecc.) secondo ISRM, 1978,
- dati ottenuti da battute sclerometriche con martello di Schmidt,
- spaziature delle discontinuità,
- profili di rugosità,
- stereodiagrammi equiangolari sull'emisfero inferiore dei poli dei piani, della densità e della giacitura delle famiglie principali.

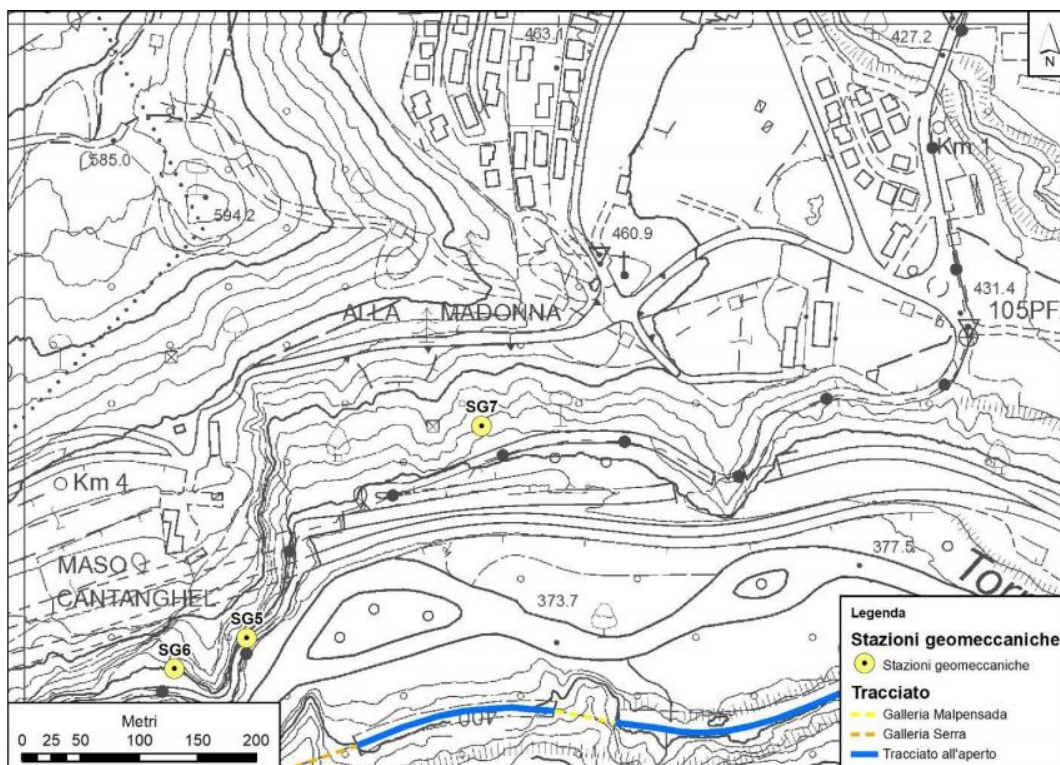


Figura 7. Ubicazione stazione geomeccanica 7 (campagna Italferr 2020-2021)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

È stato quindi possibile definire le caratteristiche generali dell'affioramento (descrizione geometrica, geologica e geomorfologica), i dati litologici (litologia, grado di alterazione) e i dati strutturali (giaciture, famiglie di giunti e discontinuità, riempimenti delle fratture ed eventuali disturbi tettonici). I dati così ricavati hanno inoltre permesso di caratterizzare le discontinuità presenti.

L'interpretazione dei dati ricavati dalle stazioni geostrutturali ha consentito di definire le caratteristiche geotecniche dell'ammasso a partire dagli indici di qualità RMR, GSI e Q (Figura 8). Tali indici, derivanti rispettivamente dalle classificazioni geomeccaniche di Bieniawski, Hoek e Barton (Rif. [40], Rif. [41] e Rif. [42]), forniscono indicazioni sulla qualità complessiva dell'ammasso roccioso e permettono una stima approssimata del suo comportamento e delle sue caratteristiche di resistenza e deformabilità.

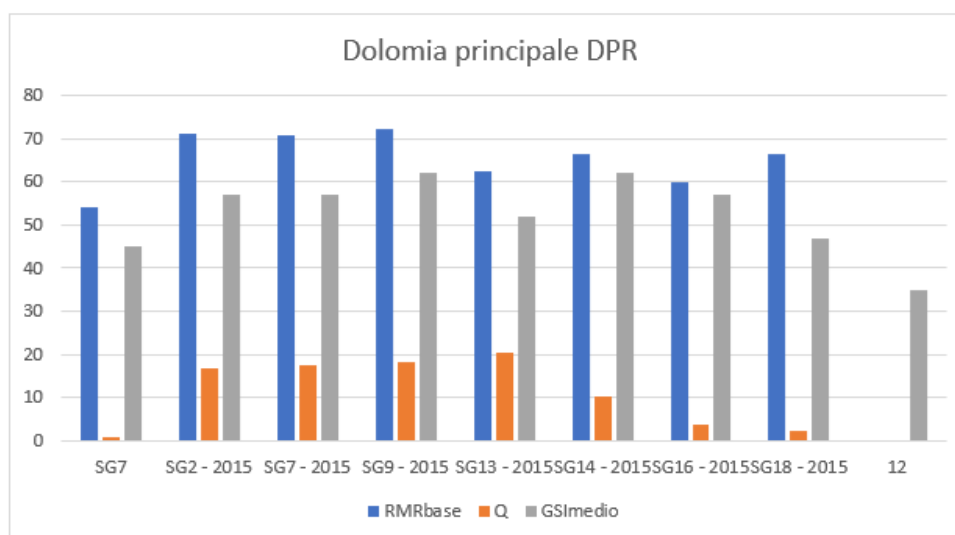


Figura 8. Indici RMR, Q e GSI

La formazione è caratterizzata da un indice di qualità GSI compreso tra 35 e 65, da un indice di Barton Q compreso tra 0,8 e 21 e da un indice di Bieniawski RMR di base compreso tra 54 e 72 (Tabella 7). La resistenza a compressione della roccia intatta determinata tramite battute sclerometriche varia tra 79 e 90 MPa ed è mediamente pari a 89 MPa.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

Tabella 7. Valori numerici RMR, Q e GSI e resistenza a compressione della roccia intatta

Formazione	Stazione	Stop geologico	Campagna di indagini	RMR _{base}	Q	GSI _{medio}	$\sigma_{ci, MEDIA}$ da martello di Schmidt (MPa)
DPR	SG7		ITF 2020-2021	54	0,8	45	79
	SG2 - 2015		RFI 2003/2007	71,1	16,76	57	90
	SG7 - 2015		RFI 2003/2007	70,6	17,56	57	90
	SG9 - 2015		RFI 2003/2007	72,1	18,1	62	90
	SG13 - 2015		RFI 2003/2007	62,5	20,36	52	90
	SG14 - 2015		RFI 2003/2007	66,3	10,25	62	90
	SG16 - 2015		RFI 2003/2007	59,9	3,78	57	90
	SG18 - 2015		RFI 2003/2007	66,6	2,39	47	90
		12	ITF 2014-2015	-	-	35	-

Caratteristiche delle discontinuità

Per la caratterizzazione delle discontinuità si è fatto riferimento ai dati ricavati dalla stazione geomeccanica SG7 eseguita durante la campagna 2020-2021 per il progetto. Il rilievo geostrutturale eseguito ha portato alla definizione dei principali sistemi di discontinuità. In particolare, è stata rilevata la presenza di 3 famiglie principali di discontinuità (Tabella 8).

Tabella 8. Famiglie di discontinuità

Stazione	Famiglia	Immersione	Inclinazione
		°	°
SG7	K5	205	21
SG7	K6	331	42
SG7	K7	19	5

Le spazature misurate durante il rilevamento sono state analizzate, attribuendole alle singole classi secondo lo standard ISRM (1978) (Tabella 9).

Tabella 9. Classificazione ISRM (1978)

Descrizione classe spazatura	Spazatura classi (mm)
estremamente stretta	<20
molto stretta	20÷60
stretta	60÷200
moderata	200÷600
larga	600÷2000
molto larga	2000÷6000
estremamente larga	>6000

Dalle analisi è emerso che nella formazione prevalgono le classi di spazatura stretta (60-200 mm) che hanno una frequenza di circa il 60% (Tabella 10).

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

Tabella 10. Classi di spaziatura

Descrizione classe spaziatura	Spaziatura classi (mm)	Stazione	
		SG7	
		N dati	Frequenza
estremamente stretta	<20	10	18,9
molto stretta	20-60	11	20,8
stretta	60-200	32	60,4
moderata	200-600		
larga	600-2000		
molto larga	2000-6000		
estremamente larga	>6000		

A seguito di quanto riscontrato, considerando il rapporto tra spaziatura delle discontinuità e dimensioni dello scavo, è possibile schematizzare l'ammasso roccioso come mezzo continuo equivalente (Figura 9), facendo riferimento alla classificazione di Hoek e Brown (1980).

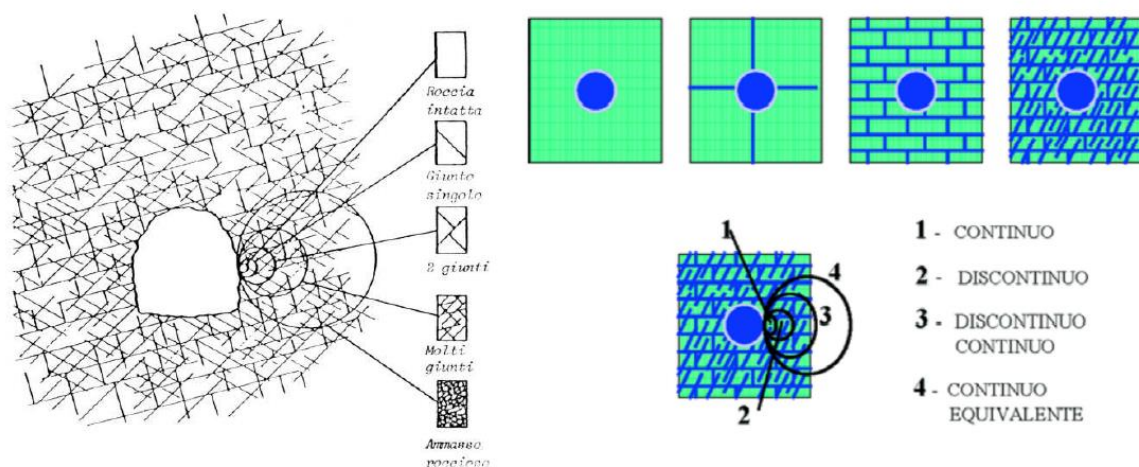


Figura 9. Dal modello continuo al modello discontinuo, in funzione del rapporto tra spaziatura delle discontinuità e dimensioni dello scavo (Hoek e Brown, 1980; Barla, 2005).

Per il dettaglio delle caratteristiche meccaniche delle varie famiglie di discontinuità relative ad ogni rilievo geostrutturale e delle rappresentazioni stereografiche si rimanda agli elaborati di riferimento (da Rif. [5] a Rif. [7]).

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

6.3.4 Formazione di Monte Zugna FMZ

La formazione di Monte Zugna è costituita da calcari. Le gallerie che la attraversano sono la Serra, Albi e Cantaghel.

Sono state eseguite tre prove di compressione monoassiale su 3 campioni lapidei prelevati tramite carotaggio continuo nelle gallerie Cantaghel e Serra: i valori ottenuti variano tra 130 e 155 MPa. La misura del modulo elastico tangente iniziale ha fornito un valore di 120 GPa.

In Tabella 11 si riportano i risultati delle prove realizzate.

Tabella 11. Prove di resistenza a compressione monoassiale

Campione	Posizione	γ (kN/m ³)	σ_{ci} (MPa)	E_i (GPa)
2a	Galleria Cantaghel pk 135+807	26,6	155,4	
2b	Galleria Cantaghel pk 135+807	26,6	147,6	120,5
12	Galleria Serra pk 134+743	27,0	129,6	

Caratterizzazione dell'ammasso roccioso

Al fine di valutare le caratteristiche strutturali dell'ammasso roccioso sono stati considerati i risultati di 6 stazioni geomeccaniche SG1÷SG6 sulla formazione litoide affiorante (Figura 10) eseguita durante la campagna di indagini Italferr 2020-2021 ed i dati derivanti da 3 stop geologici e 2 stazioni geomeccaniche eseguiti durante le campagne dedicate al progetto della Circonvallazione di Trento.

Sono stati ricavati i seguenti dati:

- dati rilevati lungo la linea di scansione tramite rilievo geomeccanico (distanza della frattura dallo zero del nastro, tipo di terminazione, giacitura, apertura, ondulazione, persistenza, alterazione, tipo di giunto, ecc.) secondo ISRM, 1978,
- dati ottenuti da battute sclerometriche con martello di Schmidt,
- spazature delle discontinuità,
- profili di rugosità,
- stereodiagrammi equiangolari sull'emisfero inferiore dei poli dei piani, della densità e della giacitura delle famiglie principali.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

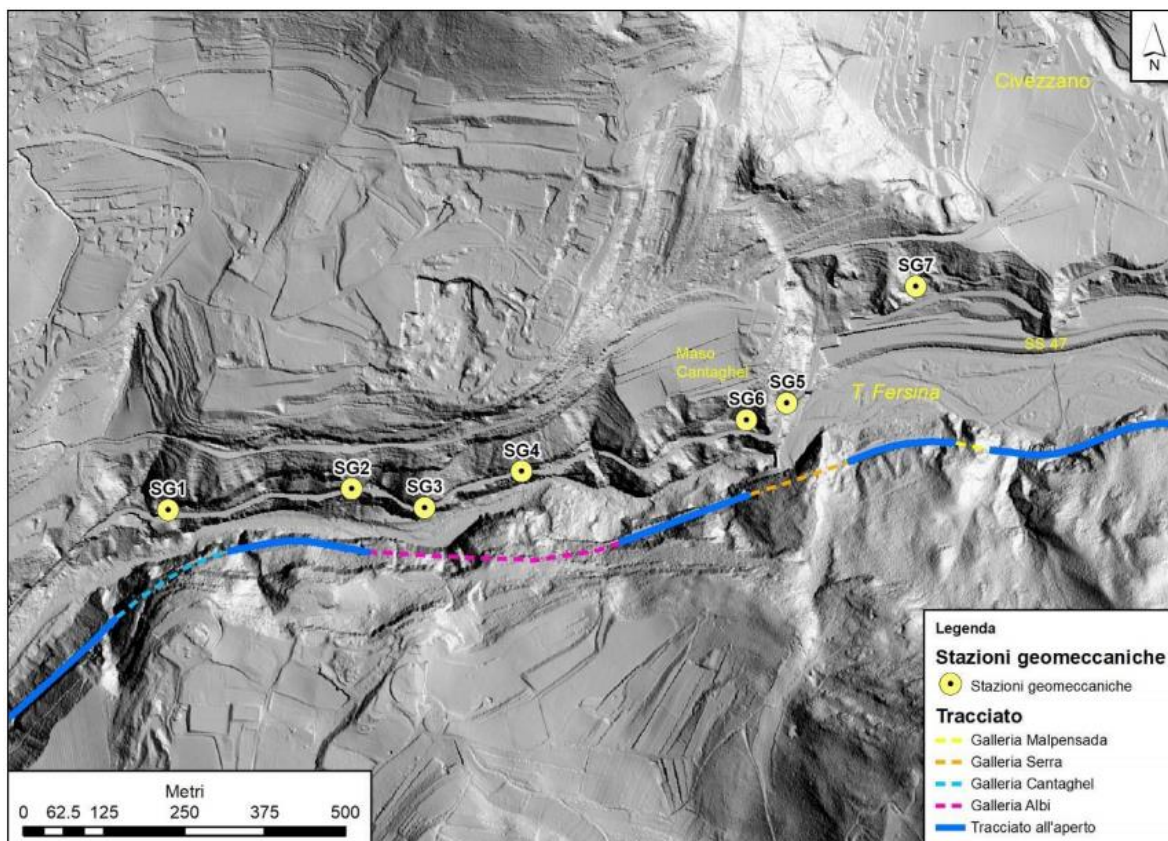


Figura 10. Ubicazione stazioni geomeccaniche da 1 a 6 (campagna Italferr 2020-2021)

È stato quindi possibile definire le caratteristiche generali dell'affioramento (descrizione geometrica, geologica e geomorfologica), i dati litologici (litologia, grado di alterazione) e i dati strutturali (giaciture, famiglie di giunti e discontinuità, riempimenti delle fratture ed eventuali disturbi tettonici). I dati così ricavati hanno inoltre permesso di caratterizzare le discontinuità presenti.

L'interpretazione dei dati ricavati dai rilievi geostrutturali ha consentito di definire le caratteristiche geotecniche dell'ammasso a partire dagli indici di qualità RMR, GSI e Q (Figura 11).

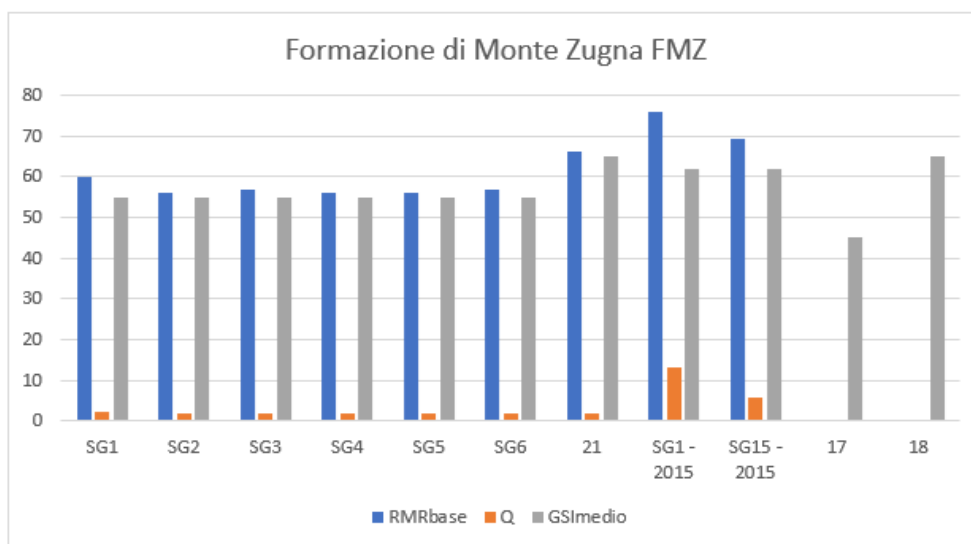


Figura 11. Indici RMR, Q e GSI

La formazione è caratterizzata da un indice di qualità GSI compreso tra 45 e 65, da un indice di Barton Q variabile tra 2 e 13,3 e da un indice di Bieniawski RMR di base compreso tra 56 e 76 (Tabella 12). La resistenza a compressione della roccia intatta determinata tramite battute sclerometriche varia tra 65 e 105 MPa ed è mediamente pari a 82 MPa; i valori ottenuti risultano inferiori a quelli determinati in laboratorio.

Tabella 12. Valori numerici RMR, Q e GSI e resistenza a compressione della roccia intatta

Formazione	Stazione	Stop geologico	Campagna di indagini	RMR _{base}	Q	GSImedio	$\sigma_{ci, MEDIA}$ da martello di Schmidt (MPa)	
FMZ	SG1		ITF 2020-2021	60	2,31	55	105	
	SG2		ITF 2020-2021	56	2,1	55	66	
	SG3		ITF 2020-2021	57	2,1	55	-	
	SG4		ITF 2020-2021	56	2,1	55	66	
	SG5		ITF 2020-2021	56	2,1	55	65	
	SG6		ITF 2020-2021	57	2,1	55	84	
		21		ITF 2014-2016	66	2	65	88
	SG1 - 2015			RFI 2003/2007	75,8	13,3	62	90
	SG15 - 2015			RFI 2003/2007	69,4	5,65	62	90
		17		ITF 2014-2015	-	-	45	-
		18		ITF 2014-2015	-	-	65	-

Caratteristiche delle discontinuità

Per la caratterizzazione delle discontinuità si è fatto riferimento ai dati ricavati dalle stazioni geomeccaniche eseguite durante la campagna 2020-2021 per il progetto.

Il rilievo geostrutturale eseguito ha portato alla definizione dei principali sistemi di discontinuità. In Tabella 13 si riportano per ogni stazione geomeccanica le famiglie individuate e i corrispettivi valori di immersione ed inclinazione. Si nota la presenza di famiglie di discontinuità suborizzontali e subverticali.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

Tabella 13. Famiglie di discontinuità

Stazione	Famiglia	Immersione	Inclinazione
		°	°
SG1	K1	294	2
SG1	K2	194	8
SG1	strato	130	86
SG2	K1	305	5
SG2	K2	19	4
SG2	strato	340	89
SG3	K1	296	5
SG3	K2	14	5
SG4	K1	312	2
SG4	K2	41	2
SG4	strato	80	83
SG5	K1	302	2
SG5	K2	20	1
SG6	K1	291	26
SG6	K2	216	15
SG6	strato	70	58

Le spazature misurate durante il rilevamento sono state analizzate, attribuendole alle singole classi secondo lo standard ISRM (1978).

Dalle analisi è emerso che nella formazione prevalgono le classi di spaziatura stretta (60-200 mm) che hanno una frequenza di circa l'81% (Tabella 14).

Tabella 14. Classi di spaziatura

Descrizione classe spaziatura	Spaziatura classi (mm)	Stazione SG1		Stazione SG2		Stazione SG3		Stazione SG4		Stazione SG5		Stazione SG6		Totale	
		N dati	Frequenza	N dati	Frequenza	N dati	Frequenza	N dati	Frequenza	N dati	Frequenza	N dati	Frequenza	N dati	Frequenza
estremamente stretta	<20														
molto stretta	20-60	6	16,2	5	13,9					4	18,2			15	8,2
stretta	60-200	30	81,1	30	83,3	24	80	36	87,8	14	63,6	14	82,4	148	80,9
moderata	200-600	1	2,7	1	2,8	6	20	5	12,2	3	13,6	3	17,6	19	10,4
larga	600-2000									1	4,5			1	0,5
molto larga	2000-6000														
estremamente larga	>6000														

A seguito di quanto riscontrato, considerando il rapporto tra spaziatura delle discontinuità e dimensioni dello scavo, è possibile schematizzare l'ammasso roccioso come mezzo continuo equivalente (Figura 9), facendo riferimento alla classificazione di Hoek e Brown (1980).

Per il dettaglio delle caratteristiche meccaniche delle varie famiglie di discontinuità relative ad ogni rilievo geostrutturale e delle rappresentazioni stereografiche si rimanda agli elaborati di riferimento (da Rif. [5] a Rif. [7]).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

6.3.5 Unità geotecniche

A partire dal modello geologico di riferimento, l'analisi e l'interpretazione dei risultati delle indagini geotecniche hanno consentito di individuare nell'area interessata dall'intervento in progetto le Unità geotecniche riportate in Tabella 15:

Tabella 15. Unità geotecniche

Formazioni geologiche	Unità geotecnica	Descrizione
PTG, SGD12	1	Ghiaie, sabbie e limi
DPR	2	Dolomie
FMZ	3	Calcari grigi

La caratterizzazione geotecnica è stata condotta sulla base dei dati forniti dalle campagne di indagine indicate nel paragrafo precedente.

Si rimanda all'elaborato "Profilo geotecnico delle gallerie esistenti" (Rif. [47]) per la rappresentazione delle caratteristiche geometriche (spessori ed estensione) di tali Unità Geotecniche.

Nella Tabella 16 è fornita per ogni Unità Geotecnica l'indicazione del range di variabilità dell'indice GSI, e del valore di resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta ricavati dalle stazioni geomeccaniche.

Tabella 16. Definizione parametri per gruppo omogeneo

Formazioni geologiche	Unità geotecnica	γ (kN/m ³)	GSI	mi	σ_{ci} (MPa)
DPR	2	24-26 ^(*)	35-65	10	80-90
FMZ	3	26-28	45-65	10	65-155

(*) Da dati bibliografici

I principali parametri fisici e meccanici dell'Unità geotecnica 1 sono riportati nella Tabella 17.

Tabella 17. Sintesi dei parametri fisici e meccanici per i terreni

Formazioni geologiche	Unità geotecnica	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	φ' (°)	E (MPa)
PTG, SGD12	1	18-20 ^(*)	0-5	27-38	10-210

(*) Da dati bibliografici

6.4 Le condizioni idrauliche

Sono disponibili misure puntuali nei sondaggi attrezzati con piezometri relativi alla campagna indagini Italferr 2020-2021 realizzata per il progetto in esame e misure derivanti dai sondaggi d'archivio della Provincia Autonoma di Trento: ciò ha permesso di ricostruire una prima ipotesi del carico idraulico lungo il tracciato, che nella successiva fase progettuale sarà verificata con adeguate indagini e misure in sito.

	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

6.5 Indagini e rilievi in galleria

Nell'ambito della presente fase progettuale nei mesi di Marzo-Aprile 2021 è stata condotta nelle gallerie una campagna di indagine che ha previsto l'esecuzione di rilievi visivi speditivi; tali rilievi hanno fornito informazioni riguardo la tipologia dei rivestimenti esistenti ed il relativo stato di conservazione, consentendo di individuare aree di possibile degrado, zone umide o con venute d'acqua, eventuali lesioni o stati fessurativi ecc.

Nell'ambito della stessa campagna di indagine sono stati eseguiti anche i rilievi topografici degli intradossi delle gallerie presenti lungo la tratta con la tecnica del laser scanner (Figura 12). Inoltre, sono state eseguite indagini sui rivestimenti esistenti delle gallerie: in particolare, perforazioni a distruzione di nucleo con videoispezione del foro, carotaggi continui con prelievo di campioni nei rivestimenti e nelle rocce a tergo e misure di stato tensionale mediante prove di martinetto piatto singolo.

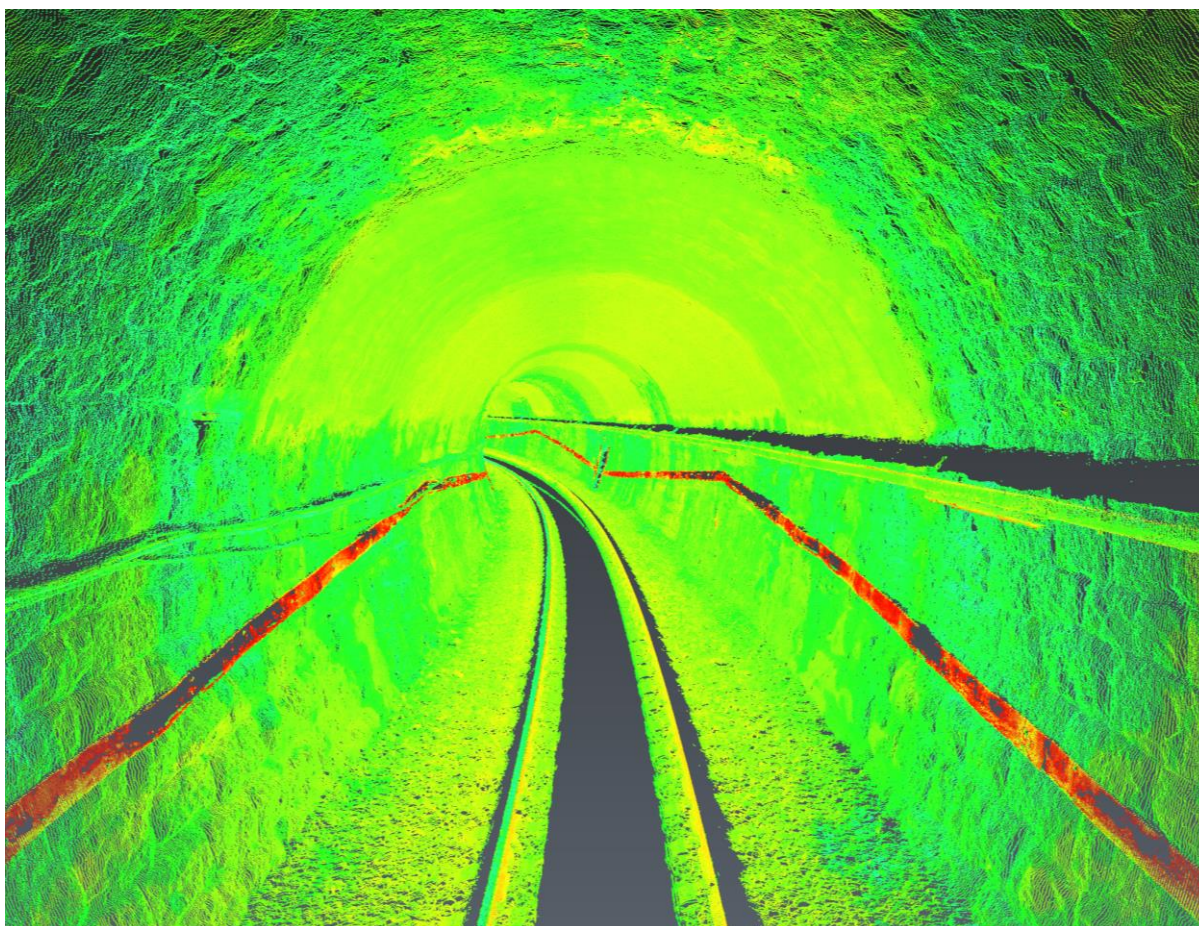


Figura 12. Esempio di rilievo laser scanner della Galleria S. Rocco (si nota la transizione tra rivestimento in muratura e spritz beton in calotta).

	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

6.5.1 Stato di fatto delle gallerie

A seguire sono sintetizzati i principali aspetti emersi dai rilievi visivi e dalle indagini eseguite; per ulteriori dettagli al riguardo si rimanda agli specifici elaborati di progetto (Rif. [44], Rif. [45] e Rif. [46]).

La galleria San Rocco, della lunghezza di 373 metri circa, è l'unica della tratta in esame collocata in zona suburbana nella periferia Sud di Trento. Il rivestimento risulta prevalentemente costituito da una muratura in bognini di pietrame e malta cementizia sia nei piedritti che in calotta; in tratte estese della galleria vi è presenza di spritz-beton in calotta e alle reni ed in fasce localizzate ai piedritti. La presenza di spritz-beton è riconducibile ad un intervento di impermeabilizzazione del rivestimento e veicolamento delle acque eseguito precedentemente dal gestore della rete. Le principali difettosità sono riconducibili ad aree umide diffuse con locali infiltrazioni d'acqua e stillicidi concentrati ai piedritti.

La galleria Cantaghel è la prima situata in Valsugana: la tratta in naturale è lunga 126 metri circa ed in prossimità dell'imbocco lato Trento presenta un tratto di artificiale scatolare di circa 10 metri di lunghezza (Figura 13). La galleria è in una condizione di parietalità; presenta rivestimenti in blocchi di muratura e malta cementizia celata da uno strato di spritz-beton superficiale che ricopre l'intera sagoma di intradosso ad eccezione di una ristretta fascia alla base dei piedritti. È presente una tratta di circa 10 m non rivestita. Il rilievo visivo non ha evidenziato aspetti significativi.

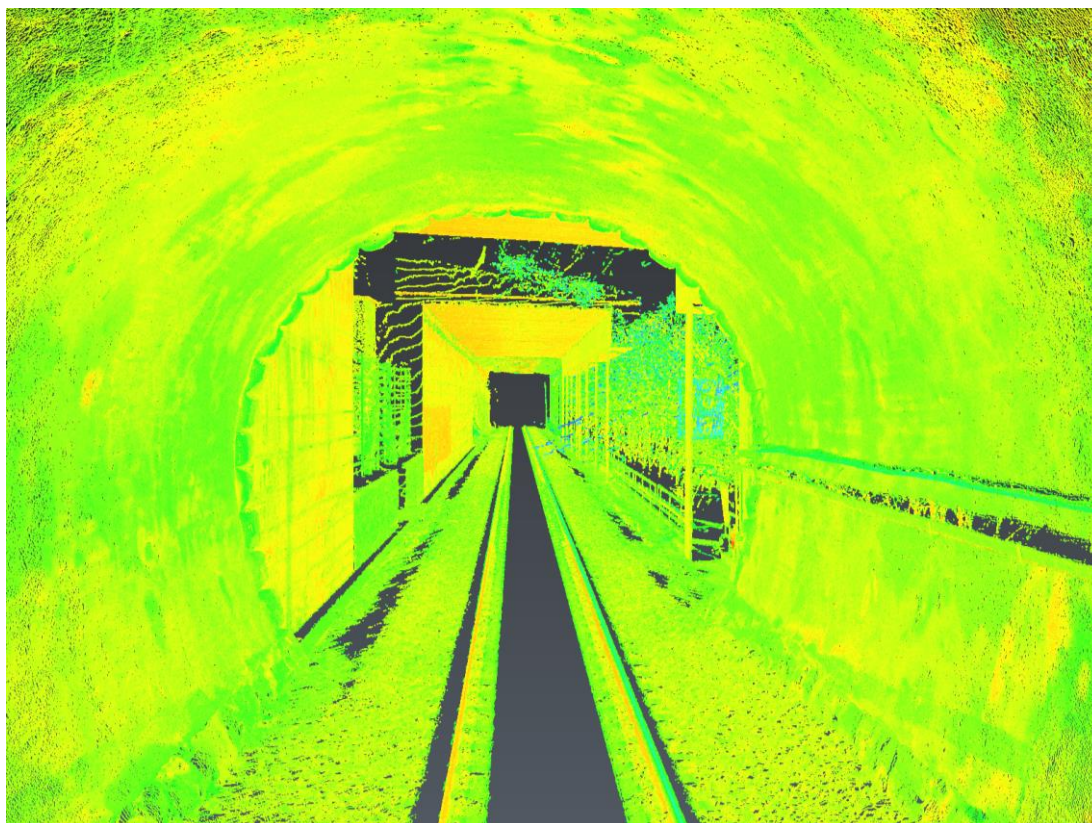


Figura 13. Galleria Cantaghel: transizione dalla galleria naturale alla breve tratta in artificiale all'imbocco lato Trento e successiva galleria Artificiale km135 (laser scanner)

	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

La galleria Albi, di lunghezza pari a circa 376 metri, presenta uno strato di spritz-beton superficiale che ricopre l'intera sagoma di intradosso della galleria. Il rivestimento originario, sulla base delle indagini eseguite, è in blocchi di muratura e malta. Sono presenti tre tratte non rivestite, per un'estensione complessiva di circa 55 m, due delle quali sono consecutive ed interposte ad una tratta rivestita di circa 10 m (Figura 14). Il rilievo visivo non ha evidenziato aspetti significativi.

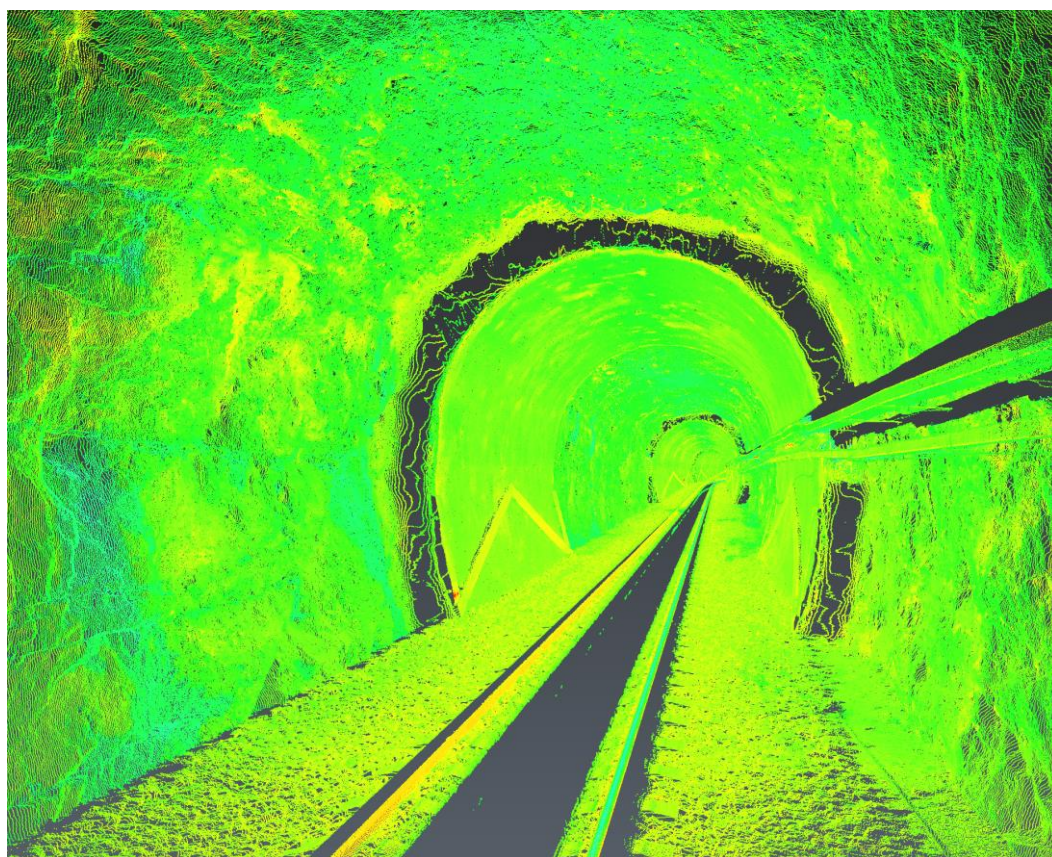


Figura 14. Galleria Albi: transizione tratta non rivestita (laser scanner)

La galleria Serra, di lunghezza pari a circa 166 metri, presenta uno strato di spritz-beton superficiale che ricopre l'intera sagoma di intradosso della galleria. Il rivestimento originario, sulla base delle indagini eseguite, è in blocchi di muratura e malta. È riscontrata una tratta di galleria non rivestita di lunghezza pari a circa 35 m. La galleria presenta limitate difettosità dovute all'umidità sia in calotta che sui piedritti, dove è riscontrata qualche zona in cui l'armatura dello spritz-beton risulta esposta. Nella zona priva di rivestimento sono riscontrabili alcuni stillicidi.

La galleria Malpensada ha una lunghezza di circa 81 metri nel tratto in naturale, a cui vanno aggiunti 54 metri di artificiale scatolare finestrata in c.a. all'imbocco lato Trento. La galleria è completamente rivestita da uno strato di spritz/gunite, nella sua tratta in naturale, che ne nasconde l'originario rivestimento in muratura di bolognini. I rilievi visivi non hanno evidenziato particolari criticità; si riscontrano localmente esposte armature dello strato di spritz-beton.



Figura 15. Galleria Malpensada: rivestimento in spritz beton e transizione con GA in uscita (laser scanner)

La campagna di indagini 2021 ha previsto l'esecuzione di una sezione di indagine per ogni galleria naturale della tratta, ubicata a circa metà dell'estensione dell'opera in sotterraneo.

Sono stati eseguiti carotaggi continui sub-orizzontali nei piedritti e inclinati alle reni con prelievo di campioni nel rivestimento e nelle rocce a tergo degli stessi per indagare gli spessori dei rivestimenti esistenti e le caratteristiche dei materiali costituenti. Gli spessori dei rivestimenti al piedritto, alle reni ed alla base della muretta sono stati indagati anche con perforazioni a distruzione corredate in parte con ispezioni con sonda televisiva in foro. Inoltre, sono stati realizzati ulteriori perforazioni a distruzione al di sotto del binario per valutare gli spessori di ballast presenti sotto traversa e verificare la presenza o meno dell'arco rovescio. Infine, per ciascuna galleria naturale sono state svolte prove con martinetto piatto su entrambi i piedritti.

In conclusione, nelle 5 gallerie della tratta sono stati eseguiti in totale: 10 prove di martinetto piatto ai piedritti, 5 carotaggi continui ai piedritti e 5 in calotta, 5 perforazioni a distruzione in calotta, 5 al piedritto e 5 alla base del piedritto corredate di ispezioni visive e 5 in arco rovescio; sono stati prelevati 10 campioni di rivestimento in muratura e sono state eseguite 6 prove di laboratorio di compressione uniassiale.

I rivestimenti investigati con carotaggi continui presentano spessori in calotta variabili tra 0.40 m e 0.55 m con un valore medio pari a 0.50 m, mentre al piedritto gli spessori risultano variabili tra 0.45 m e 0.65 m con un valore medio di circa 0.55 m. Le perforazioni a distruzione verticali eseguite nel ballast hanno indicato l'assenza di arco rovescio nelle sezioni di indagine.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

I valori di resistenza a compressione desunti dalle prove a compressione uniassiale sugli elementi di pietra naturale prelevati ai piedritti delle gallerie risultano variabili nell'intervallo tra 48 e 160 MPa; il valore medio di resistenza per la muratura analizzata è pari a 111 MPa.

L'ubicazione di prelievo del campione e i rispettivi risultati delle prove in termini di resistenza a compressione sono riepilogati in tabella e mostrati nell'istogramma.

Tabella 18. Valori di resistenza da prove di compressione uniassiale

Valori di resistenza a compressione			
Galleria	Ubicazione	pk	σ_c
(-)	(-)	(km)	(MPa)
S. Rocco	Piedritto	141+460	135,63
	Calotta		48,35
Cantaghel	Piedritto	135+807	137,18
	Calotta		-
Albi	Piedritto	135+280	77,33
	Calotta		-
Serra	Piedritto	134+743	-
	Calotta		-
Malpensada	Piedritto	134+475	160,11
	Calotta		109,68

Risultanze prove di compressione uniassiale

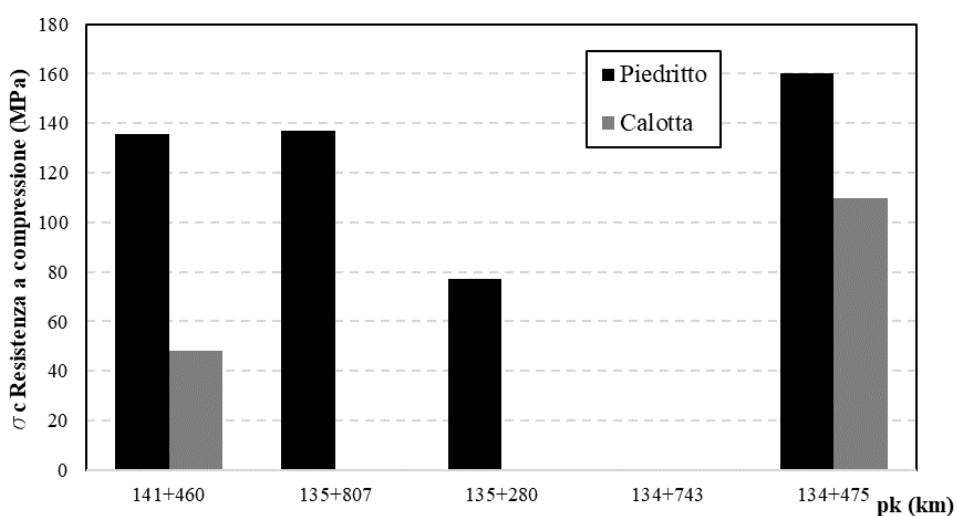


Figura 16. Risultanze prove di compressione uniassiale su elementi in pietra naturale

Infine, le 10 prove di martinetto piatto eseguite hanno restituito valori di compressione agente ai piedritti modesti, variabili tra i 0.10 MPa e 0.62 MPa nelle 4 gallerie della valle del Fersina, mentre valori più alti

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

sono stati riscontrati nella galleria S. Rocco, pari a circa 3 MPa. Nelle gallerie Cantaghel, Serra e Malpensada sono stati riscontrati, nella sezione di indagine, valori asimmetrici di stato tensionale riconducibili alla condizione di parietalità.

L'ubicazione e i rispettivi risultati delle prove sono riepilogati in tabella e mostrati nell'istogramma.

Tabella 19. Ubicazione e risultati prove di martinetto piatto

Prova di martinetto piatto			
Galleria	Ubicazione	pk	σ_c
(-)	(-)	(km)	(MPa)
S. Rocco	Piedritto sx	141+460	3,30
	Piedritto dx		3,03
Cantaghel	Piedritto sx	135+807	0,62
	Piedritto dx		0,15
Albi	Piedritto sx	135+280	0,24
	Piedritto dx		0,28
Serra	Piedritto sx	134+743	0,19
	Piedritto dx		0,10
Malpensada	Piedritto sx	134+475	0,37
	Piedritto dx		0,10

Risultanze prove di martinetto piatto

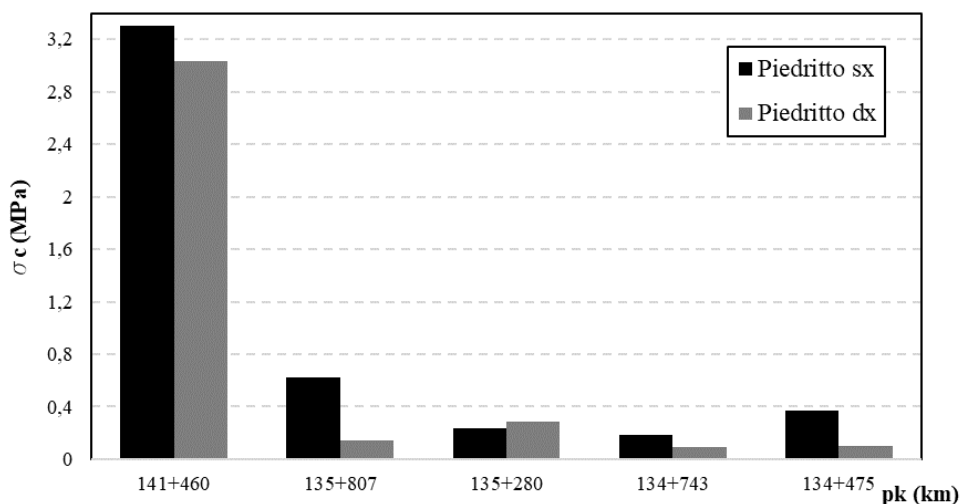


Figura 17. Risultanze prove di martinetto piatto

Per le risultanze delle indagini in dettaglio di rimanda all'elaborato dedicato (Rif. [44]).

	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

7 FASE DI DIAGNOSI

Nella fase di diagnosi, nota la sagoma di transito di progetto e definiti gli ingombri minimi da garantire alle varie componenti dell'impiantistica TE, sono state condotte le verifiche di interferenza, sulla base del rilievo laser scanner, eseguito per tutto lo sviluppo della galleria.

7.1 Profilo di transito

Il profilo di transito di progetto per tutte le gallerie è rappresentato dal Profilo Minimo degli Ostacoli n° 1 che ammette le sagome di riferimento alla Sagoma FS, alla Sagoma cinematica G1 (secondo la EN 15273/2017) nonché i trasporti combinati alle velocità di rango A associati a P.M.O.1 e riportati nel Manuale di Progettazione di RFI (Rif. [3]).

7.2 Impiantistica TE

Per minimizzare gli ingombri e ridurre quindi gli impatti sulle strutture di rivestimento esistente delle gallerie naturali, si è scelto di adottare una soluzione di elettrificazione con catenaria rigida e linea di contatto a +4,65 m sul piano del ferro. Questo ha consentito di ottimizzare gli ingombri anche in termini di franchi elettrici, eliminando ad esempio il sollevamento della sagoma meccanica cinematica del pantografo. Nelle gallerie Artificiale km133 ed Artificiale km102 date le maggiori dimensioni geometriche della sezione di intradosso, è previsto l'utilizzo di catenaria a corda regolata.

Per una definizione di dettaglio dell'impiantistica relativa alla trazione elettrica si rimanda agli elaborati specialistici (Rif. [29]).

7.3 Verifiche di sagoma

Le verifiche di sagoma sono state condotte in termini di sezioni trasversali estratte dai modelli tridimensionali delle gallerie, ottenuti dai rilievi laser scanner, secondo un passo significativo rispetto al posizionamento dell'impiantistica TE e comunque tale da rappresentare tutte le possibili interferenze e le situazioni di criticità. Le progressive delle sezioni sono state definite relativamente alla progressiva di imbocco delle gallerie secondo profilo storico.

Il rilievo laser scanner è stato eseguito in tutte le gallerie restituendo il profilo di intradosso delle stesse. L'estrazione delle sezioni trasversali consente di individuare e censire tutte le interferenze con le superfici di intradosso rilevate e di valutarne anche le entità. Il profilo minimo degli ostacoli di progetto, il pantografo e l'impiantistica TE con i relativi franchi elettrici e cinematici sono stati posizionati manualmente per eseguire il censimento delle interferenze di sagoma, sulla base della posizione delle rotaie rilevata con il rilievo laser scanner delle gallerie, verificando al contempo che la ricostruzione in curva fosse coerente con le indicazioni di raggio di curvatura, sopraelevazione ecc. desumibili dai tabellini delle curve.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est</p>					
<p>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</p>	<p>COMMESSA IT1J</p>	<p>LOTTO 10</p>	<p>CODIFICA R 07 RH</p>	<p>DOCUMENTO GN 0000 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 39 di 48</p>

Tutte le interferenze riscontrate sono legate alle sole sospensioni e ai relativi franchi elettrici; si tratta, pertanto, di interferenze sulle sezioni trasversali che possono considerarsi puntuali rispetto allo sviluppo longitudinale delle gallerie.

In conclusione, sulle 8 gallerie esistenti della tratta Trento-Borgo Valsugana Est, risultano complessivamente 19 interferenze isolate in calotta, di spessore massimo non superiore a 10 cm e associate agli ingombri da garantire alle sospensioni TE; in particolare, tali interferenze sono limitate alle gallerie S. Rocco e Albi.

Tutte le verifiche di sagoma effettuate ed il censimento delle interferenze riscontrate sono rappresentati negli elaborati grafici di progetto per ciascuna galleria (da Rif. [48] a Rif. [55]).

	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

8 FASE DI TERAPIA

Individuate e censite le interferenze, sono state quindi definite le modalità di intervento necessarie per risolvere tutte le interferenze individuate e garantire l'inserimento dell'impiantistica TE per l'elettrificazione della galleria.

8.1 Definizione degli interventi tipo

Sono state definite 2 diverse tipologie di intervento di cui si riporta una sintetica descrizione nei paragrafi a seguire. Gli interventi tipo trovano completa rappresentazione negli elaborati grafici di progetto cui si rimanda per gli approfondimenti del caso (Rif. [56] e Rif. [57]).

8.1.1 *Intervento tipo 1A*

L'intervento tipo 1A è stato definito per risolvere interferenze trasversali delle sospensioni per la TE con il profilo di intradosso, per spessori (radiali) massimi fino a 5 cm.

Per risolvere tali interferenze è prevista una semplice snicchiatura in calotta nella muratura esistente, senza necessità di interventi propedeutici. Infatti, rispetto all'intero anello di rivestimento esistente (di spessore in calotta stimato non inferiore a 45 cm) e al suo sviluppo longitudinale, un simile intervento può considerarsi puntuale e con effetti indotti sulla muratura esistente trascurabili.

È tuttavia molto importante curarne l'aspetto realizzativo, con particolare riferimento agli effetti vibrazionali; le snicchiature dovranno essere realizzate con demolizione controllata mediante testa fresante, per garantire il controllo delle vibrazioni indotte nella muratura esistente e non provocare lesioni sulle parti di rivestimento non interessate dall'intervento.

Sulla tratta in esame sono state individuati in totale 11 interventi tipo 1A, distribuiti su 2 gallerie; in Tabella 20 è mostrato un quadro riassuntivo degli interventi previsti in progetto: per ogni galleria, sono riportate le sezioni di rilievo risultate interferenti, le dimensioni delle snicchiature da realizzare (larghezza, spessore massimo e lunghezza). La lunghezza delle snicchiature in direzione longitudinale all'asse della galleria è sempre pari a 30 cm.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

Tabella 20. Dettaglio interventi tipo 1A

Galleria	Sezione (n.)	Pk (km)	largh. (cm)	sp.max (cm)	lungh. (cm)
S. Rocco	26	141+502	21	2	30
	32	141+572	40	5	30
	33	141+582	16	3	30
	36	141+612	22	5	30
Albi	4	135+096	36	4	30
	9	135+146	17	2	30
	10	135+156	19	2	30
	11	135+166	23	3	
	20	135+256	24	2	30
	23	135+286	72	5	30
	26	135+316	70	4	30

8.1.2 Intervento tipo 1B

L'intervento tipo 1B è stato definito per risolvere interferenze trasversali delle sospensioni per la TE con il profilo di intradosso, per spessori (radiali) massimi tra 5 cm e 10cm,

In questi casi, in considerazione delle maggiori dimensioni della snicchiatura da realizzare, è stato definito un eventuale preventivo consolidamento della muratura esistente da realizzare nel caso in cui nell'intorno dell'area di intervento il rivestimento presenti un certo stato di degrado, con presenza di fessure o discontinuità, muratura povera di malta con irregolarità o sporgenze, aree umide, concrezionate o alterate.

In particolare, sono previste iniezioni radiali di resine epossidiche mediante perforazioni radiali Ø24 mm lunghe 0.45 m, disposte a quinconce su una maglia equilatera da 0.40 m. Data la variabilità della geometria delle singole snicchiature da realizzare, il numero delle perforazioni per il consolidamento dovrà essere stabilito di volta in volta in modo tale che le perforazioni più esterne risultino almeno 5 cm oltre il limite della superficie da snicchiare.

Realizzato l'eventuale consolidamento della muratura, si potrà procedere alla snicchiatura. Come per l'intervento tipo 1A, le snicchiature dovranno essere realizzate con demolizione controllata mediante testa fresante, per garantire il controllo delle vibrazioni indotte nella muratura esistente e non provocare lesioni sulle parti di rivestimento non interessate dall'intervento.

Sulla tratta in esame sono state individuati in totale 8 interventi tipo 1B distribuiti su 2 gallerie; in Tabella 21 è mostrato un quadro riassuntivo degli interventi previsti in progetto: per ogni galleria, sono riportate le

	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

sezioni di rilievo risultate interferenti, le dimensioni delle snicchiature da realizzare (larghezza, spessore massimo e lunghezza). La lunghezza delle snicchiature in direzione longitudinale all'asse della galleria è sempre pari a 30 cm.

Tabella 21. Dettaglio interventi tipo 1B

Galleria	Sezione (n.)	Pk (km)	largh. (cm)	sp.max (cm)	lungh. (cm)
S. Rocco	29	141+532	57	8	30
	31	141+562	74	9	30
	35	141+602	60	6	30
	37	141+622	45	6	30
	38	141+631	26	6	30
Albi	2	135+076	74	7	30
	3	135+086	71	9	30
	25	135+306	72	6	30

8.2 Considerazioni conclusive

Le verifiche di sagoma condotte nella fase di diagnosi hanno consentito l'individuazione ed il censimento delle interferenze con gli attuali profili di intradosso, da risolvere per consentire l'elettificazione delle gallerie.

In fase di terapia, per le interferenze riscontrate, per lo più trasversali, legate cioè all'installazione delle singole sospensioni per la TE, sono stati definiti l'intervento tipo 1A (Rif. [56]) e l'intervento tipo 1B (Rif. [57]), costituiti entrambi da una snicchiatura nel rivestimento esistente della galleria nella zona interferente rispettivamente di spessore fino a 5cm e tra 5cm e 10cm.

In Tabella 22 è mostrato un quadro riassuntivo della distribuzione e del numero dei due interventi tipo previsti in progetto per le gallerie esistenti presenti lungo la tratta in oggetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

Tabella 22. Quadro di sintesi della distribuzione degli interventi tipo

GALLERIA	L (m)	Nessun intervento	1A	1B
S. Rocco	373		4	5
Artificiale km135	45	X		
Artificiale+Cantaghel	136	X		
Albi	376		7	3
Serra	166	X		
Artificiale+Malpensada	111	X		
Artificiale km133	54	X		
Artificiale km102	51	X		
Totale			11	8

	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B	FOGLIO 44 di 48

9 PROGRAMMA DI INDAGINI PER LE SUCCESSIVE FASI DI PROGETTAZIONE

Nell'ambito della successiva fase progettuale, sarà eseguito un rilievo laser scanner dedicato del binario che possa coprire con continuità anche le tratte all'aperto oltre che le opere in sotterraneo, consentendo di ricostruire la geometria planaltimetrica del tracciato esistente. Questo consentirà di valutare anche l'opportunità di prevedere delle varianti di tracciato plano-altimetriche per risolvere o mitigare le interferenze censite.

Nella successiva fase progettuale, saranno condotti gli opportuni approfondimenti di indagine anche rispetto a tali scenari di intervento.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est</p>					
<p>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</p>	<p>COMMESSA IT1J</p>	<p>LOTTO 10</p>	<p>CODIFICA R 07 RH</p>	<p>DOCUMENTO GN 0000 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 45 di 48</p>

10 CONCLUSIONI

Il presente documento riguarda la progettazione di fattibilità tecnico ed economica degli interventi civili propedeutici all'elettrificazione delle gallerie esistenti nella tratta Trento-Borgo Valsugana Est, Lotto 1 della linea ferroviaria Trento-Bassano del Grappa.

La progettazione è stata condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [28]) e si è articolata nelle seguenti fasi:

- Fase conoscitiva (cap. 6): è stato condotto lo studio e l'analisi dello stato di fatto delle gallerie con riferimento alle caratteristiche geometriche delle sezioni di intradosso, agli spessori dei rivestimenti esistenti, alle condizioni delle murature, al contesto geologico e geotecnico di inserimento.
- Fase di diagnosi (cap. 7): definita la sagoma di transito di progetto e gli ingombri minimi da garantire per l'installazione dell'impiantistica TE, sono state condotte le verifiche di sagoma sulle sezioni di intradosso per individuare le eventuali interferenze da risolvere.
- Fase di terapia (cap. 8): per le interferenze di sagoma riscontrate è stata definita la modalità di intervento necessaria (intervento tipo) a garantire l'inserimento dell'impiantistica TE in condizioni di sicurezza.

Il progetto è completato da un piano di indagini integrative (cap. 9), da predisporre ed attuare nell'ambito della successiva progettuale, per confermare o ritardare la distribuzione degli interventi tipo definita in questa fase.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

11 APPENDICE 1

11.1 Metodi per la caratterizzazione geotecnica attraverso prove penetrometriche

Prove penetrometriche dinamiche

Le prove penetrometriche dinamiche sono state elaborate in riferimento alle relazioni empiriche dei terreni granulari presenti nella letteratura tecnico-scientifica. Nello specifico il valore dell'angolo di attrito efficace è correlato alla densità relativa (Schmertmann (1977) e Bolton (1989)), anch'essa deducibile da relazioni empiriche (Skempton (1986) e Kulawy-Mayne (1990)), o esclusivamente al numero di colpi N_{SPT} (De Mello (1971)). I valori del modulo di Young E e del modulo di taglio iniziale G_0 sono stati ricavati dalle correlazioni con il numero di colpi N_{SPT} e la densità relativa (Stroud (1988), Jamiolkowski (1988), Otha e Goto (1978) e Imai (1977)).

Densità relativa da correlazione di Skempton (1986):

$$D_r = \left[\frac{(N_1)_{60}}{60} \right]^{0.5}$$

essendo:

$$(N_1)_{60} = \frac{ER}{60} C_N N_{SPT}$$

$$C_N = \frac{2}{1 + \frac{s'_v}{100}} \quad \text{sabbie fini}$$

$$C_N = \frac{3}{2 + \frac{s'_v}{100}} \quad \text{sabbie grosse}$$

Densità relativa da correlazione di Kulawy & Maine (1990):

$$D_r = \left[\frac{N_1}{40} \right]^{0.5}$$

essendo:

$$N_1 = \left[\frac{p_a}{s'_v} \right]^{0.5} N_{SPT}$$

Angolo di attrito da correlazione di Schmertmann (1977):

$$\varphi' (\text{°}) = 28 + 0.14 \cdot D_r \quad \text{per Sabbia fine uniforme}$$

$$\varphi' (\text{°}) = 31.5 + 0.115 \cdot D_r \quad \text{per Sabbia media uniforme e sabbia fine ben gradata}$$

$$\varphi' (\text{°}) = 34.5 + 0.10 \cdot D_r \quad \text{per Sabbia grossa uniforme e sabbia ben gradata}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

$\varphi'(^{\circ}) = 38 + 0.08 \cdot D_r$ per Ghiaia media e fine e sabbia e ghiaia poco limosa

Angolo di attrito da correlazione di Bolton (1989):

$$\varphi' - \varphi'_{cv} = 3 \cdot [D_r \cdot (10 - \ln \varphi') - 1]$$

con:

$\varphi'_{cv} = 30^{\circ} - 33^{\circ}$ sabbia quarzosa

$\varphi'_{cv} = 33^{\circ} - 36^{\circ}$ sabbia silicea

$\varphi'_{cv} = 35^{\circ} - 38^{\circ}$ sabbia ghiaia

Angolo di attrito da correlazione di De Mello (1971):

$$\varphi'(^{\circ}) = 19 - 0.38 \sigma'_v / 100 + 8.73 \log(N_{SPT})$$

Modulo di Young da correlazione di Stroud (1988):

$$\frac{E'}{N_{60}} = 1$$

essendo:

$$N_{60} = \frac{ER}{60} N_{SPT}$$

Modulo di Young da correlazione di Jamiolkowski (1988):

$$E' = (10.5 - 3.5 D_r) \frac{N_{SPT}}{10} \quad \text{nel caso dei terreni normalmente consolidati}$$

$$E' = (52.5 - 35 D_r) \frac{N_{SPT}}{10} \quad \text{nel caso dei terreni sovraconsolidati}$$

Modulo di taglio iniziale da correlazione di Ohta e Goto (1978):

$$G_0 = \frac{g_t}{9.81} (V_s)^2$$

$$V_s = 69 f_A f_B N_{SPT}^{0.17} z^{0.2}$$

essendo:

z = profondità dal p.c. in metri

f_A = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 0000 001	REV. B

f_B = coefficiente funzione della composizione granulometrica

Tabella 23: Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_A

(funzione dell'epoca geologica del deposito)

f_A	Olocene	Pleistocene
	1,0	1,3

Tabella 24 - Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_B

(funzione della composizione granulometrica del deposito)

f_B	Ghiaie	Sabbie ghiaiose	Sabbie grosse	Sabbie medie	Sabbie fini
	1,45	1,15	1,14	1,07	1,09

Modulo di taglio iniziale da correlazione di Imai (1977):

$$G_0 = \frac{g_t}{9.81} (V_s)^2$$

$$V_s = aN^b$$

essendo:

a e b = coefficiente funzione dell'epoca geologica e della composizione granulometrica del deposito

Tabella 25 - Relazione Imai, 1977 - Coefficienti a e b

a	b	Terreno/età
102	0.29	Argille – Olocene
81	0.33	Sabbie -Olocene
114	0.29	Argille – Pleistocene
97	0.32	Sabbie pleistocene