

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J41C09000000005

U.O. GALLERIE

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

**ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA**

LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

GALLERIA TRENTO

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

SCALA:

-

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

I B 0 Q 3 A 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	A. Coluccio	Aprile 2021	F. Iannotta	Aprile 2021	C. Mazzocchi	Aprile 2021	A. Sciom	Giugno 2021
B	Aggiornamento a seguito richiesta RFI	S. Saviani	Giugno 2021	F. Iannotta	Giugno 2021	C. Mazzocchi	Giugno 2021	Dot. Ing. Alessandro Sciom	Ordine degli Ingegneri di Verona n° 1984B

ITALFERR S.P.A.
U.O. GALLERIE
Dot. Ing. Alessandro Sciom
Ordine degli Ingegneri di Verona
n° 1984B

File: IB0Q3AR07RHGN000001B.docx

INDICE

1	PREMESSA	4
2	SCOPO DEL DOCUMENTO	5
3	NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO	6
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
5	ALLEGATI	7
6	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO	7
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA	9
7.1	IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO	9
7.2	OPERE DI IMBOCCO	11
7.3	OPERE PER LA SICUREZZA IN GALLERIA	13
7.4	OPERE TECNOLOGICHE	15
8	METODOLOGIA DI LAVORO	16
9	FASE CONOSCITIVA	17
9.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	17
9.2	ASSETTO GEOLOGICO LUNGO IL TRACCIATO	22
9.3	INDAGINI GEOTECNICHE	23
9.4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	27
9.5	IL REGIME IDRAULICO	62
10	FASE DI DIAGNOSI	63
10.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO	63
10.2	DEFINIZIONE DELLE TRATTE A COMPORTAMENTO TENSIO-DEFORMATIVO OMOGENEO	64
11	FASE DI TERAPIA	65
11.1	DEFINIZIONE DEL METODO DI SCAVO	65
11.2	METODO DI SCAVO DELLA GALLERIA NATURALE	66
11.3	METODO DI SCAVO DELLE OPERE ACCESSORIE	68



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA
IB0Q

LOTTO
3A

CODIFICA
R07RH

DOCUMENTO
GN 00 00 001

REV.
B

FOGLIO
3 di 77

11.4	RISCHI POTENZIALI	69
12	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO.....	74
12.1	SCAVO MECCANIZZATO	74
12.2	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA	74
13	PROGRAMMA DI INDAGINI PER LE SUCCESSIVE FASI DI PROGETTAZIONE	76
14	CONCLUSIONI	77

1 PREMESSA

Il Lotto 3 “Circonvallazione di Trento e Rovereto” fa parte dei quattro lotti prioritari del progetto di Quadruplicamento della linea Fortezza – Verona, tratta di Accesso sud alla galleria di Base del Brennero, che ricade nel Corridoio della rete centrale europea denominato “Scandinavia – Mediterraneo”.

Il presente progetto sviluppa la sola circonvallazione ferroviaria della Città di Trento, denominata lotto 3A, ricadente interamente nel Comune di Trento, come parte integrante dei progetti di riqualificazione urbana e potenziamento della mobilità all’interno della città di Trento.

Gli interventi in progetto mirano al raggiungimento di importanti obiettivi in termini di incremento di capacità del corridoio e canalizzazione dei flussi, con il massimo beneficio per il territorio, dato dall’eliminazione del transito dei treni merci all’interno dell’abitato.

Il nuovo tracciato ferroviario si sviluppa per circa 13 km sulla sinistra orografica della Val d’Adige, tra i confini della Val Lagarina fino al tessuto insediativo della città di Trento, tra le località Acquaviva a Sud e Roncafort a Nord. La riconnessione alla linea esistente Verona – Brennero avviene mediante tratti in trincea e rilevato in stretto affiancamento.



La presente revisione progettuale è stata emessa a seguito della richiesta di RFI di eliminare la comunicazione pari/dispari in ingresso sud alla stazione provvisoria di Trento. In nuovo requisito ha permesso di semplificare notevolmente la configurazione della galleria Trento nel tratto finale nord, consentendo di eliminare il camerone di biforcazione delle gallerie e l’ultimo tratto di galleria a doppio binario, necessario, per l’appunto, all’inserimento delle due comunicazioni. Per effetto di questa modifica, la galleria Trento si configura interamente a doppia canna e risulta vattaggioso, ai fini dei tempi esecutivi, affrontare tutto lo scavo con sistema meccanizzato con ulteriori due TBM (oltre le due già previste all’imbocco sud) anche dal lato nord. La separazione delle due gallerie per tutto lo sviluppo in sotterraneo, da imbocco a imbocco, ha permesso di eliminare, inoltre, il complesso sistema di gallerie e pozzo profondo per la sconnessione dei fumi. L’attacco con due TBM anche dall’imbocco Nord ha richiesto la modifica del tratto finale della galleria artificiale GA02 che si allarga e approfondisce per permettere il montaggio delle due TBM. La GA02 è pertanto trattata nell’ambito delle opere eseguite a cielo aperto lato Trento perché in continuità progettuale e costruttiva con esse.



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

**ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA**

LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA
IB0Q

LOTTO
3A

CODIFICA
R07RH

DOCUMENTO
GN 00 00 001

REV.
B

FOGLIO
5 di 77

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Scopo del documento è la descrizione delle principali soluzioni tecnico-progettuali individuate per la realizzazione della galleria naturale Trento e delle relative opere accessorie.

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B

3 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] Decreto Ministeriale 28/10/2005. “Sicurezza nelle gallerie ferroviarie”;
- Rif. [4] Regolamento (UE) N° 1303/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità concernente la “sicurezza nelle gallerie ferroviarie” del sistema ferroviario dell’Unione europea, rettificato dal Regolamento (UE) 2016/912 del 9 giugno 2016 e modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- Rif. [5] Regolamento (UE) N. 1300/2014/UE Specifiche Tecniche di Interoperabilità per l’accessibilità del sistema ferroviario dell’Unione europea per le persone con disabilità e le persone a mobilità ridotta del 18/11/2014, modificato con il Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/772 della Commissione del 16 maggio 2019;
- Rif. [6] Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- Rif. [7] SIG, “Linee guida per la progettazione, l’appalto e la costruzione di opere in sotterraneo”, 1997;
- Rif. [8] ITA, “Guidelines for the design of tunnels”, 1988;
- Rif. [9] AGI, “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”, 1977;
- Rif. [10] RFI, doc RFI DTC SI SP IFS 001 D “Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili” (20/12/2019);
- Rif. [11] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 D “Manuale di Progettazione delle opere civili” (20/12/2019);
- Rif. [12] Italferr, Specifica Tecnica PPA.0002403 “Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali” (Dicembre 2015).

4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Rif. [13] Italferr, Dossier dati e requisiti di base:
- RFI-DIN-DINE.VE.BZ\A0011\P\2019\0000565 del 07.11.2019 (AGCN.VP.0077654.19.E)
 - AGCN.VP.0079039.19.U del 12.11.2019
 - RFI-DIN-DINE.VE.BZ\A0011\P\2019\0000623 del 03.12.2019 (AGCN.VP.0085514.19.E)
- Rif. [14] UO Geologia Tecnica, dell’Ambiente e del Territorio - “Elaborati specialistici”;
- Rif. [15] UO Coordinamento No Captive e Ingegneria di Sistema - “Elaborati specialistici”;



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA
IB0Q

LOTTO
3A

CODIFICA
R07RH

DOCUMENTO
GN 00 00 001

REV.
B

FOGLIO
7 di 77

- Rif. [16] U.O. Costruzioni - Cantierizzazione - “Elaborati Specialistici”;
- Rif. [17] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.).
- Rif. [18] 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;
- Rif. [19] 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. [20] 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. [21] Bolton M.D. (1986) “The strength and dilatancy of sands” Geotechnique, 36(1), 65-78;
- Rif. [22] 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. [23] 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. [24] Ohta, Y., Goto, N. (1978): "Empirical Shear Wave Velocity Equations in Terms of Characteristic Soil Indexes," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 6
- Rif. [25] 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. [26] Truzman M., Corley D. & Lipka D. (2011) “Determination of Unit Tip Resistance for Drilled Shafts in Fractured Rocks using the Global Rock Mass Strength”. 2011 Pan-Am CGS Geotechnical Conference;

5 ALLEGATI

Non sono presenti documenti allegati.

6 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

- Rif. [27] Italferr, U.O. Gallerie, documento n. IB0Q3AR07PZGA0100001B. Galleria Trento - Imbocco lato Rovereto - Sistemazione definitiva, planimetria e sezioni;
- Rif. [28] Italferr, U.O. Gallerie, documento n. IB0Q3AR07F4GN0000001B. Galleria Trento - Profilo Geotecnico;
- Rif. [29] Italferr, U.O. Gallerie, documento n. IB0Q3AR07RHGN0000001B. Galleria Trento - Relazione tecnica delle opere in sottterraneo;
- Rif. [30] Italferr, U.O. Gallerie, documento n. IB0Q3AR07WBG0100001B. Gallerie naturali - Sezioni tipo di intradosso;



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

**ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA**

LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA
IB0Q

LOTTO
3A

CODIFICA
R07RH

DOCUMENTO
GN 00 00 001

REV.
B

FOGLIO
8 di 77

Rif. [31] Italferr, U.O. Gallerie, documento n. IB0Q3AR07BBGN0100001B. Gallerie naturali - Scavo meccanizzato - Sezione tipo di avanzamento e carpenteria anello;

Rif. [32] Italferr, U.O. Gallerie, documento n. IB0Q3AR07WAGN0100001A. Gallerie naturali - By-pass trasversali - Piante e sezioni;

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B

7 DESCRIZIONE DELL'OPERA

7.1 Il tracciato e le opere in sotterraneo

La lunghezza totale del tracciato del Lotto 3A del Quadruplicamento della linea Fortezza-Verona è di circa 13 km e si sviluppa in sotterraneo per una lunghezza complessiva di circa 10,6 km, mediante una galleria naturale denominata Trento.

La galleria naturale Trento è caratterizzata per tutta la sua lunghezza da una configurazione a doppia canna semplice binario. La doppia canna (realizzata con scavo meccanizzato, cfr. § 11) si sviluppa a partire dall'imbocco Sud in località Acquaviva in prossimità del fiume Adige e a partire dall'imbocco Nord in località Filzi. Di seguito, procedendo da Sud (Verona) verso Nord (Trento), sono elencate le progressive di inizio-fine dell'opera riferite al binario pari:

- da pk 0+745,43 a pk 0+839,43 (L=94,00 m) galleria artificiale Sud (GA01).
- da pk 0+839,43 a pk 11+319.76 (L=10480,33 m) galleria naturale doppia canna singolo binario (GN01).

Per la galleria artificiale Nord (GA02), si rimanda agli specifici elaborati di progetto (Rif. [15]).



Figura 1 Schema della galleria Trento

Il profilo altimetrico della galleria naturale è monopendente in salita verso Nord (con pendenza variabile tra 2,579 e 2,011‰) fino al punto di massimo altimetrico in corrispondenza del km 9+173,95 b.p.; nell'ultimo tratto di galleria naturale, la pendenza è in discesa secondo le progressive crescenti (con pendenza variabile tra 10,50 e 2,00‰) fino alla fine della galleria naturale.

Procedendo dall'imbocco Sud della galleria naturale, il primo tratto di galleria presenta coperture non superiori a 30 m per uno sviluppo di circa 355 m; successivamente le coperture aumentano gradualmente fino a raggiungere il valore massimo, pari a circa 240 m, in prossimità della pk 5+550 b.p.. Ad eccezione della tratta iniziale e di quella finale della galleria, dove è presente per circa 150 m una copertura pressoché costante di 35-

40 m, la copertura minima della galleria Trento, pari a 45 m, si ha in prossimità del Torrente Fresina alla pk 9+650 b.p..

Le sezioni geometrico-funzionali previste, in accordo con le sezioni tipo del Manuale di Progettazione RFI (Rif. [11]) consentono:

- velocità di tracciato ≤ 250 km/h per le gallerie a doppia canna singolo binario;
- il transito del Gabarit di tipo C (P.M.O.5);
- l'alimentazione a 3 kV, con predisposizione a 25 kV;
- l'adozione dell'armamento di tipo non tradizionale (su piastra) nei tratti in galleria naturale e artificiale.

La sezione di intradosso della galleria è uguale a quella adottata per le gallerie di linea del progetto del lotto 1 (Fortezza-Ponte Gardena). La sezione d'intradosso (Figura 2) è circolare con raggio pari a 4,20 m e sviluppa un'area libera di circa 48,60 m²; essa è in accordo con le sezioni tipo del Manuale di Progettazione RFI (Rif. [11]) per velocità di progetto $200 < v \leq 250$ km/h (cfr. Tavole 58, 59 e 60 Rif. [11]).

A tal proposito si evidenzia che, sebbene la velocità massima di tracciato della galleria Trento non superi i 200 km/h, il maggior raggio interno di 4,20 m (corrispondente a velocità $200 < v \leq 250$ km/h) è dettato dalla necessità di poter installare in futuro la trazione elettrica a 25kV.

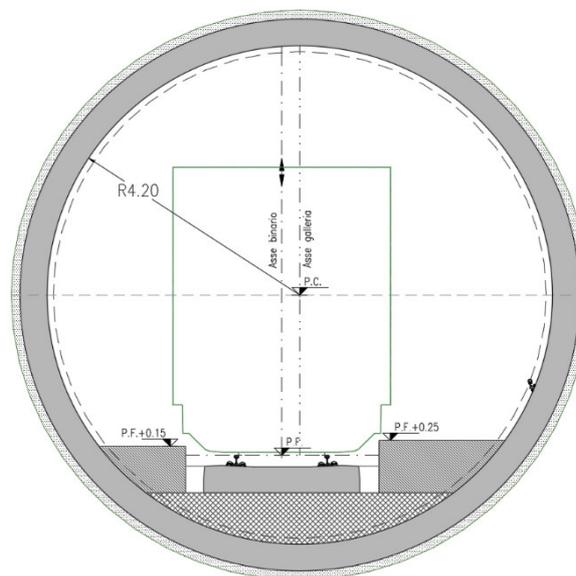


Figura 2. Profilo di intradosso galleria a doppia canna



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA
IB0Q

LOTTO
3A

CODIFICA
R07RH

DOCUMENTO
GN 00 00 001

REV.
B

FOGLIO
11 di 77

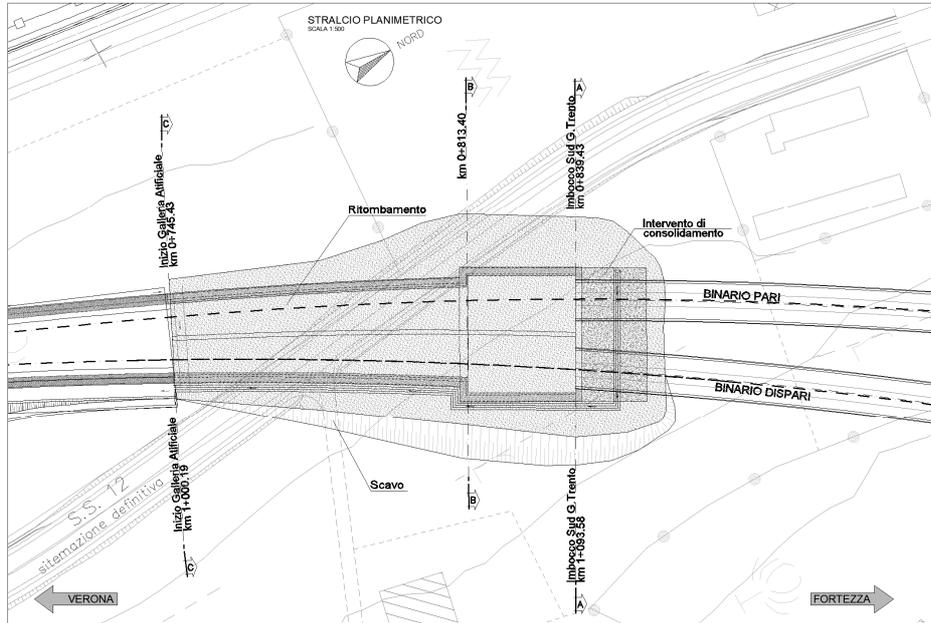
Le sezioni di intradosso delle gallerie presentano un marciapiede d'esodo con andamento del ciglio variabile in funzione della quota del binario attiguo. Nello specifico, trattandosi di armamento su piastra, l'altezza del ciglio risulta pari a +25 cm, misurata perpendicolarmente al piano di rotolamento del binario attiguo, mentre la distanza del ciglio dal bordo interno della più vicina rotaia, misurata parallelamente al piano di rotolamento, è pari a 90 cm (Rif. [11]).

Tale camminamento ha una larghezza non inferiore a 120 cm ed è corredato da corrimano posto sul paramento interno della galleria ad una quota di 1m dal piano di calpestio del marciapiede.

7.2 Opere di imbocco

Le gallerie a doppia canna in scavo meccanizzato verranno realizzate a partire dall'imbocco Sud in località Acquaviva e a partire dall'imbocco Nord in corrispondenza dello scalo Filzi.

L'imbocco si trova in località Acquaviva nell'area compresa tra il fiume Adige e la strada Statale 12. Esso è costituito da un unico manufatto scatolare interrato (GA01), realizzato con opere di sostegno e scavi di sbancamento all'aperto, in cui i binari si divaricano gradualmente per raggiungere la distanza necessaria al montaggio e partenza delle due frese (TBM) per lo scavo del successivo tratto di galleria naturale (Figura 3). All'interno della galleria artificiale i binari sono divisi da un setto in c.a. per creare una separazione di sicurezza dei fumi in caso di incendio.



SEZIONE TRASVERSALE A-A Km 0+839.43

SCALA 1:500

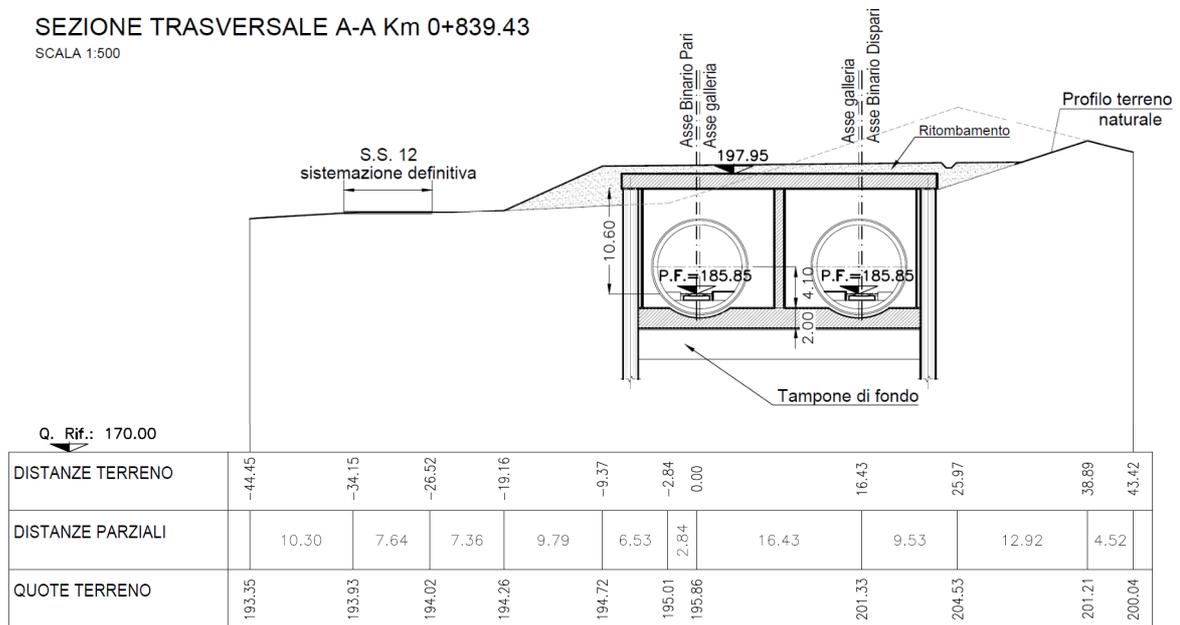


Figura 3. Imbocco sud

Un tratto della galleria artificiale verrà realizzato per fasi al fine di limitare l'interferenza con la Statale 12 che verrà, allo scopo, temporaneamente deviata. In quest'area è collocato il cantiere di supporto allo scavo delle gallerie naturali. Il manufatto verrà mantenuto in parte scoperto, tranne il tratto interferente con la Statale 12, finché le due gallerie naturali non saranno completate.

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B

In corrispondenza della paratia frontale e per una tratta di circa 15 m è previsto un intervento di consolidamento dei terreni, che potrà essere in pali plastici o in jet grouting, per garantire la stabilità dei terreni in questo tratto iniziale dove la TBM non può ancora esercitare la pressione sul fronte.

Imbocco Nord

In prossimità dello scalo Filzi è prevista la realizzazione di una galleria artificiale (GA02) composta da un manufatto scatolare interrato in c.a. per il quale si rimanda agli elaborati (Rif. [15]). Da questo imbocco partiranno le altre 2 frese (TBM) che scaveranno il successivo tratto di galleria naturale. Analogamente a quanto previsto all'imbocco Sud, anche nell'area dell'imbocco Nord sarà collocato il cantiere di supporto allo scavo delle gallerie naturali. Viste le condizioni geotecniche e sulla base delle informazioni attualmente disponibili, non si ritiene necessaria al momento l'esecuzione di opere di consolidamento nel tratto iniziale di scavo in TBM.

7.3 Opere per la sicurezza in galleria

I requisiti di sicurezza previsti per la galleria Trento sono conformi alle disposizioni legislative emanate in campo europeo attraverso la Specifica Tecnica di Interoperabilità STI-SRT 2014 "Safety in Railway Tunnels, in vigore dal 01/01/2015 (Rif. [4]) e le indicazioni del Manuale di Progettazione delle opere civili di RFI (Rif. [11]).

By-pass trasversali

La configurazione a doppia canna prevede, per la gestione della sicurezza in galleria, la realizzazione di collegamenti trasversali (by-pass), che permettono l'esodo dei passeggeri dalla galleria in cui avviene un incidente all'altra (Figura 4).

I collegamenti sono predisposti ad interasse non superiore a 500 metri con dimensioni interne rispondenti ai requisiti della STI-SRT 2014 (Rif. [4]). In corrispondenza dei due innesti alle gallerie, i by-pass sono dotati di doppie porte per la messa in sovrappressione di una zona "filtro" necessaria ad impedire ai fumi di passare dalla galleria interessata dall'incendio all'altra (luogo sicuro) durante il transito dei passeggeri.

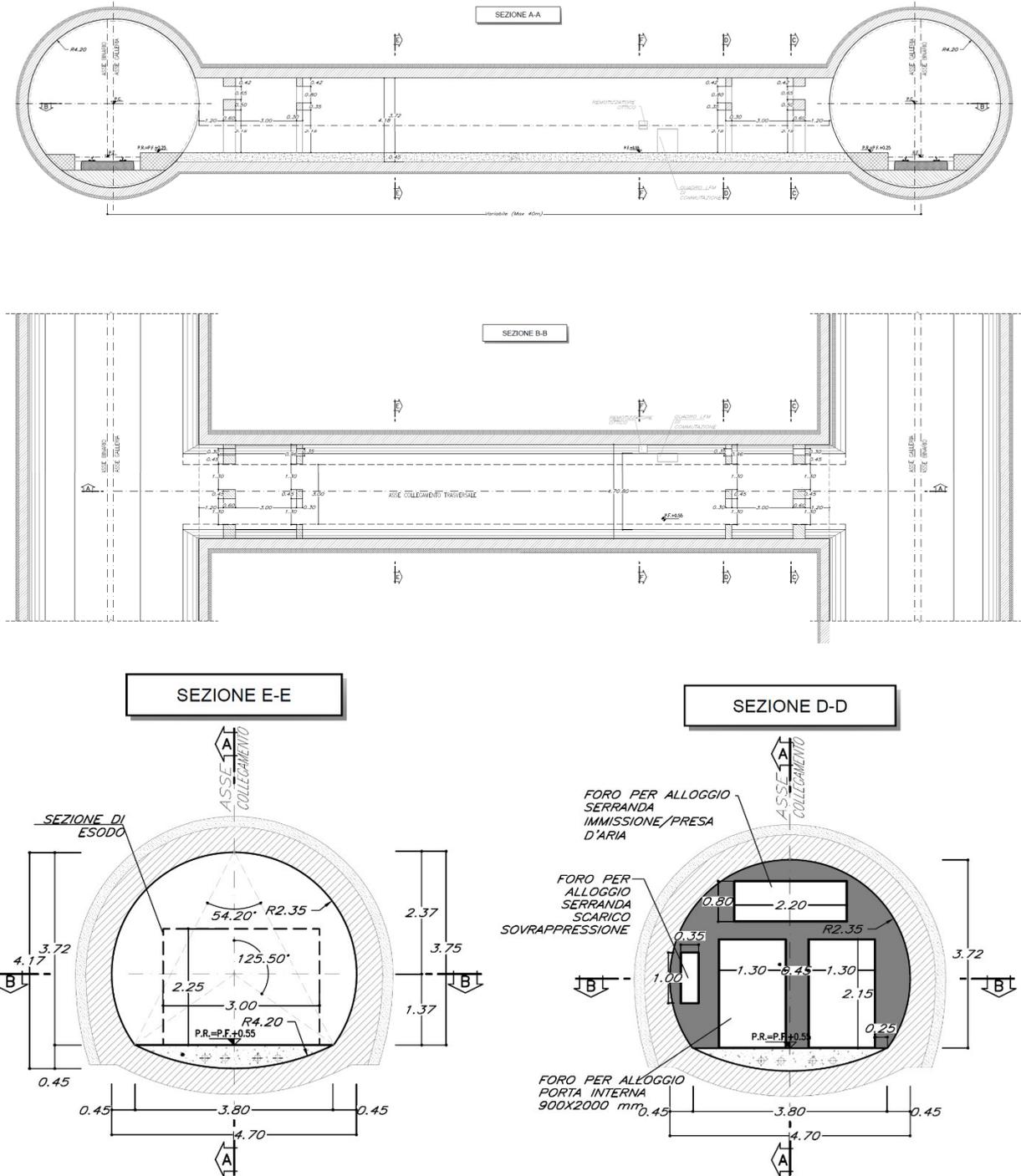


Figura 4. By-Pass trasversali



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA
IB0Q

LOTTO
3A

CODIFICA
R07RH

DOCUMENTO
GN 00 00 001

REV.
B

FOGLIO
15 di 77

7.4 Opere tecnologiche

Le gallerie non sono dotate di nicchie di ricovero personale (Rif. [11]), ma esclusivamente di nicchie tecnologiche e per impianti le cui dimensioni e collocazione saranno oggetto dei successivi approfondimenti progettuali.



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA
IB0Q

LOTTO
3A

CODIFICA
R07RH

DOCUMENTO
GN 00 00 001

REV.
B

FOGLIO
16 di 77

8 METODOLOGIA DI LAVORO

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [17]), si è articolata nelle seguenti fasi:

1. fase conoscitiva: è finalizzata allo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico in cui deve essere realizzata l'opera;
2. fase di diagnosi: si esegue la valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione per la determinazione delle categorie di comportamento;
3. fase di terapia: sulla base dei risultati delle precedenti fasi progettuali, si individuano le modalità di scavo e gli interventi di stabilizzazione idonei (sezioni tipo) per realizzare l'opera in condizioni di sicurezza.
4. fase di verifica e messa a punto: il progetto è completato dal piano di monitoraggio da predisporre ed attuare nella fase realizzativa. Nel piano di monitoraggio sono individuati i valori delle grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d'opera per controllare la risposta deformativa dell'ammasso al procedere dello scavo, verificare la rispondenza con le previsioni progettuali e mettere a punto le soluzioni progettuali nell'ambito delle variabilità previste.



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA
IB0Q

LOTTO
3A

CODIFICA
R07RH

DOCUMENTO
GN 00 00 001

REV.
B

FOGLIO
17 di 77

9 FASE CONOSCITIVA

Nella fase conoscitiva si acquisiscono gli elementi necessari alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito e alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo interessato dalle opere in sotterraneo. Nel seguito si riporta un breve inquadramento geologico e la sintesi della caratterizzazione e modellazione geotecnica.

9.1 Inquadramento geologico e geomorfologico

Metodi e risultati dello studio geologico sono illustrati e commentati negli elaborati specialistici di progetto (Rif. [14]). Nell'area in esame sono presenti unità geologiche costituite da rocce metamorfiche filladiche, vulcaniche e sedimentarie, costituite da successioni sia terrigene sia calcareo-dolomitiche. Oltre alle suddette unità, il tracciato attraversa, in località Acquaviva e Trento, depositi alluvionali e di versante del Quaternario. Si riporta di seguito una breve sintesi dei principali caratteri litologici e strutturali delle formazioni interessate dallo scavo della galleria (Rif. [14]).

Caratteri litologici e stratigrafici

successione quaternaria continentale:

Sintema Postglaciale Alpino (PTG) (Pleistocene Sup. P.P. – Attuale)

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 a supporto di clasti e/o matrice, massivi o con orizzonti di ghiaie e sabbie mal selezionate (debris flow e di origine mista). Blocchi e ghiaie eterometriche, diamicton a supporto di clasti e/o matrice (accumuli gravitativi). Ghiaie con elementi angolosi di provenienza locale (detrito di versante e di falda), localmente di grandi dimensioni (detrito a grossi blocchi). Depositi colluviali. Travertini. Depositi antropici. Limite superiore coincidente con la superficie topografica. Spessore oltre 80 metri.

successione sedimentaria e vulcanica permo-eocenica:

Formazione di Chiusole (CHI) (Eocene inferiore).

Calcarei micritici e marne calcaree biancastre o grigie, a stratificazione sottile (10-30 cm), biancastre o grigie, glauconitici, con radiolari e foraminiferi planctonici, con radiolari e foraminiferi, talora lastriformi con noduli e letti di selce e con sottili interstrati marnoso-argillosi. Spessore: 80-90 m.

Scaglia Rossa (SAA) (Cretacico Superiore - Paleocene)

Calcarei micritici lastriformi fittamente stratificati (5-15 cm) rossi o rosso mattone, selciferi nella parte inferiore, con interstrati marnosi e marne, a foraminiferi planctonici. Al tetto unità plurimetrica fittamente stratificata ("bancone maastrichtiano" Auct.) localmente con hardground apicale. Spessore: maggiore di 70 m.

Maiolica (MAI) (Titoniano Sup. - Barremiano Sup.)

Calcarei micritici ben stratificati a granulometria molto sottile, rosati e biancastri alla base.

Rosso Ammonitico Veronese (ARV) (Bajociano Sup. - Titoniano Sup.)

La formazione è costituita da tre intervalli. Alla base calcari micritici a lamellibranchi pelagici (tipo Bositra) e Protoglobigerine, mal stratificati e a struttura nodulare di colore generalmente bianco, rosato e verdastro

talora dolomitizzati. Nella parte intermedia calcari rossastri ben stratificati con fitte intercalazioni di selce rossa in letti e livelli cineritici. Nella parte superiore calcari nodulari rossi e bianchi ad Ammoniti in strati anche molto spessi.

Formazione di Rotzo (RTZ) (Sinemuriano – Pliensbachiano)

Calcari bioclastici da grigio chiaro/bianco a bruno organizzati in sequenze di spessore da metrico a decametrico. Localmente sono presenti livelli marnosi decimetrici. La parte inferiore della successione contiene localmente argille scure laminate a piccoli bivalvi.

**Gruppo
 dei**

Calcarea Oolitico di Loppio (LOP) (Sinemuriano)

**Calcari
 Grigi**

Calcarea oolitico grossolano in strati da medi a spessi, da biancastro a grigio-chiaro con rare laminazioni incrociate

(CG)

Formazione di Monte Zugna (FMZ) (Hettangiano – Sinemuriano)

Calcari da grigio chiari a biancastri, prevalentemente micritici con intercalazioni di peliti rossastre e verdi alla base che passano a calcari stromatolitici e a calcari micritici scuri nodulari nella parte superiore. Possono essere presenti strati oolitici.

Dolomia Principale (DPR) (Carnico Sup. – Norico)

Dolomie stromatolitiche chiare fossilifere (rari megalodontidi e Worthenia sp.), doloareniti oolitiche, in strati medio spessi (da decimetrici a metrici). Limite inferiore graduale rapido su TVZ. Spessore superiore variabile da 200 a 800 m.

Formazione di Travenanzes (Fm. di Raibl Auct.) (TVZ) (Carnico P.P.)

Dolomie finissime grigio-chiare e giallastre in strati decimetrici separate da sottili intercalazioni di marne verdastre.

Gruppo dello Zwischenbildungen Auct. (ZW) (Anisico Sup – Carinico Inf)

Comprende, indistinti, i Calcari Scuri di Margon, Marne della Val di Centa, Buchstein e Calcari della Val Vela. Comprende calcari bituminosi scuri (alla base), calcari e marne fittamente stratificati e livelli argillosi.

Formazione di Giovo - Membro del M. Ozol (Dolomia della Valsugana Auct.) (GIV3) (Anisico Medio - Sup. P.P. (Pelsonico-Illirico))

Calcari e dolomie grigiastre e biancastre stratificate, talora stromatolitiche, intercalate a sottili livelli di peliti grigie con quarzo e muscovite. Nella parte superiore passano a dolomie bioclastiche (alghe calcaree e brachiopodi) biancastre e rosate. A tetto presente un caratteristico bancone plurimetrico mal stratificato con tasche di peliti grigio rossastre e veli argillosi bianco-giallastri. Spessore: 180-200 m.

Formazione a Gracilis (GLS) (Bitinico - Pelsonico Inf.)

Dolomie calcareo marnose e calcari grigi in strati da tabulari a nodulari per biturbazione, con intervalli marnoso-siltosi grigi. A luoghi si rinviene verso l'alto una litofacies carbonatico-terrigena varicolore rosso-giallastro, con intercalazioni evaporitiche. Spessore minimo 60 m.

Dolomia del Serla Inferiore (SLI) (Olenekiano Sup. - Anisico Inf.)

Dolomie cristalline grigio chiaro o biancastre in strati da decimetrici fino a metrici con qualche intercalazione di breccie e peliti rossastre. Spessore: 15-100 m.

Formazione di Werfen (WER)



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA
IB0Q

LOTTO
3A

CODIFICA
R07RH

DOCUMENTO
GN 00 00 001

REV.
B

FOGLIO
19 di 77

Formazione di Werfen indistinta, costituita da una successione di sedimenti carbonatici, terrigeni e misti. Alternanze di calcari, dolomie, arenarie siltiti e marne.

Formazione a Bellerophon (BEL) (Permiano Sup.)

Dolomie siltose grigio-giallastre e calcari siltosi grigio scuri compatti in strati prevalentemente nodulari di 10-40 cm di spessore, alternati ad arenarie e siltiti grigie e marne con orizzonti carboniosi, organizzate sia in sottili interstrati sia in pacchi di alcuni decimetri. La potenza è valutabile tra i 10 e i 40 metri.

Arenaria di Val Gardena (GAR) (Permiano Sup.)

Arenarie rosse, grigie, verdastre e bianche scarsamente compatte, alternate a siltiti rosse, verdi o grigie, siltiti marnose e marne. Spessore: 70-80 metri.

Formazione del Castelliere (ICT) (Permiano)

Lapilli tuff riodacitici grigi, grigio-verdi e grigio-rossastro, in bancate di spessore plurimetrico, con abbondanti fiamme orientate; frequenti livelli di tuff fini laminati (surge) e breccia tuff ad abbondanti litici e inclusi. Localmente presenza di piccoli domi di lave dacitiche (F. di Pinè) inclusi nelle bancate. Alterazioni autometasomatiche intense. Ossatura con fenocristalli di quarzo a bordi corrosi, plagioclasio, biotite e pirosseno in una massa di fondo felsitica. Danno luogo a potenti espansioni di forma tabulare.

Localmente al tetto dell'unità sono presenti epiclastiti (ICTc) date da conglomerati a clasti dacitici e riodacitici. Spessore 50-100 m.

Formazione di Buss (LUB) (Permiano)

Lave andesitiche porfiriche molto idrotermalizzate, nere, grigio verdi o grigio violacee; lave massicce e pseudostratificate, associate a lave a blocchi arrotondati e spigolosi cementati. Ossatura con fenocristalli di plagioclasio, pirosseni, anfiboli, biotite e scarso quarzo fratturato in una pasta di fondo microgranulare a prevalenti plagioclasti.

In località Gocciadoro sono presenti conglomerati a blocchi arrotondati di porfido e arenarie di origine vulcanica. Spessore 0-60 m.

basamento metamorfico:

Filladi e Filladi Quarzifere (VFS) (Pre Permiano)

Filladi di colore grigio-argento, localmente con screziature verdastre, a quarzo, sericite/muscovite, clorite, albite ± biotite e ilmenite. Presentano una grana generalmente molto sottile e una notevole fissilità parallelamente ai piani di scistosità. Frequenti i noduli di quarzo bianco concordanti con la scistosità.

Caratteri idrogeologici

Sulla base degli approfondimenti specialistici riportati negli elaborati di progetto dedicati (Rif. [14]) è stato possibile definire i principali caratteri idrogeologici delle formazioni interessate dallo scavo della galleria Trento.

Le caratteristiche idrogeologiche delle diverse unità sono legate alla litologia delle rocce e alla fratturazione indotta dai fenomeni tettonici che hanno interessato l'area di studio. Un ulteriore fattore che influenza notevolmente le caratteristiche idrogeologiche delle unità è dato dalla carsificabilità dei litotipi. Fenomeni carsici sono maggiormente attesi, lungo le principali faglie, nelle successioni calcaree (Gruppo dei Calcari Grigi) e, in subordine, nella successioni dolomitiche (Dolomia Principale). Le formazioni terrigene, più facilmente alterabili, tendono a presentare minori permeabilità d'ammasso (fratture riempite di materiali fini).

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B

Sulla base della presenza di termini litologici simili, aventi “*permeabilità prevalente in comune e un grado di permeabilità relativa che si mantiene in un campo di variazione piuttosto ristretto*” (Rif. [14]), sono stati individuati i sottostanti complessi idrogeologici:

- *Complesso dei Post-Calcarei Grigi*: raggruppa una serie di formazioni permeabili per fratturazione generalmente non carsificabili. Le formazioni incontrate lungo lo sviluppo della galleria che rientrano in questo gruppo sono il Rosso Ammonitico Veronese (ARV), la Maiolica (MAI), la Scaglia Rossa (SAA), la Formazione di Chiusole (CHI).
- *Complesso dei Calcarei Grigi*: comprendente la formazione di Monte Zugna (FMZ), il Calcere Oolitico di Loppio (LOP) e la Formazione di Rotzo (RTZ). L'elemento principale di questo complesso idrogeologico è la carsificabilità. In questo complesso idrogeologico la circolazione idrica avviene principalmente attraverso le discontinuità, che, ad opera del carsismo, possono essere state dilavate ed ampliate fino alla formazione di veri e propri condotti sotterranei.
- *Complesso della Dolomia Principale*: questo complesso non presenta caratteri di accentuato carsismo. È possibile tuttavia che si presentino locali dissoluzioni con allargamenti di fratture con conseguente incremento della trasmissività idraulica. In questo complesso idrogeologico la circolazione avviene quindi principalmente attraverso la rete di fratture che possono essere considerate con una discreta conducibilità idraulica.
- *Complesso Pre-Dolomia*: si tratta di un macro raggruppamento di unità dal comportamento eterogeneo. In particolare in questo raggruppamento ricadono le Filladi del basamento metamorfico (VFS), le Unità del Magmatismo Permiano (LUB e ICT) e le successioni sedimentarie e vulcaniche permo-mesozoiche limitatamente alle Arenarie della Val Gardena (GAR), Formazione a Bellerophon (BEL), Formazione di Werfen indifferenziata (WER), Dolomia del Serla inferiore (SLI), Formazione a Gracilis (GLS), Formazione di Giovo (GIV3), Gruppo dello Zwischenbildungen (ZW) e Formazione di Travenanzes (TVZ). Il comportamento generale di questo complesso idrogeologico è caratterizzato da una circolazione idrica attraverso la rete di fratture con conducibilità idraulica mutevole sia per le complicazioni tettoniche sia per il variabile contenuto terrigeno e grado di alterabilità delle formazioni.
- *Complesso delle Alluvioni*: questo complesso idrogeologico è rappresentato in larga prevalenza dalle alluvioni di fondo valle dell'Adige, caratterizzate da una permeabilità per porosità ed un livello di falda regolato dalle oscillazioni dell'Adige.
- *Depositi detritici e di versante*: al tetto dei primi quattro complessi idrogeologici si ritrovano spessori variabili di depositi di versante, depositi di frana o depositi glaciali con caratteristiche nettamente differenti rispetto a quelle dei sottostanti ammassi rocciosi. Questi corpi superficiali, lateralmente discontinui, possono essere sede di falde superficiali che in parte emergono in forma di sorgenti e in parte si infiltrano all'interno degli ammassi rocciosi su cui poggiano ove questi presentino idonee caratteristiche di permeabilità.

Caratteristiche di sismicità della zona

Per le caratteristiche di sismicità della zona si rimanda agli elaborati di progetto Rif. [14].

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B

Fenomeni gravitativi profondi del Monte Marzola

Il Monte Marzola è contraddistinto da una complessa dinamica di versante che ha dato luogo a grandi accumuli di frana e numerose trincee di deformazione (Rif. [14]).

Per quanto riguarda i fenomeni di deformazione gravitativa profonda, responsabili di importanti distacchi e frane di crollo, la deformazione viene legata alla presenza di una superficie di taglio basale, impostata in corrispondenza di un livello gessoso della Formazione a Gracilis (GLS), emergente nella parte alta del versante (Rif. [14]).

Fra i dati disponibili sull'area della Marzola, si citano quelli di monitoraggio derivanti da Interferometria satellitare, messi a disposizione dalla Provincia Autonoma di Trento e riferiti a due diverse generazioni di satelliti, ERS ed ENVISAT. In particolare, i dati ERS contengono serie storiche di misure sui PS (Permanent Scatterers) riconosciuti, comprese tra l'anno 1992 e l'anno 2000, mentre, i dati ENVISAT contengono informazioni relative unicamente alle annualità 2003 e 2007, senza contenere serie storiche.

Un ulteriore dataset a disposizione è rappresentato da quello relativo alla costellazione COSMO-SkyMed per il periodo temporale 2011-2015. È stata analizzata un'area di sviluppo pari a circa 35 km² e comprende tutto il versante occidentale del Monte Marzola. In estrema sintesi, le velocità di spostamento stimate con le acquisizioni discendenti COSMO-SkyMed sul versante del Monte Marzola sono in linea con i valori di spostamento stimati a partire dalle acquisizioni discendenti di ERS ed ENVISAT: velocità medie annue <5mm/anno in superficie nell'area attraversata dal tracciato.

Nell'ambito della presente fase progettuale, per valutare le condizioni di stabilità lungo le pendici del Monte Marzola è stata condotta un'analisi interferometrica, con metodologie allo stato dell'arte, dei dati acquisiti tra il 2016 e il 2020 dal satellite Sentinel. Si è osservato che gli spostamenti, ove rilevati, sono caratterizzati da velocità ridotte, al massimo pari a 20 mm/anno lungo la LOS.

Dai risultati delle analisi non appaiono riscontrabili fenomeni deformativi a carico dei depositi affioranti lungo lo sviluppo del tracciato di progetto.

Per la comprensione dell'estensione del fenomeno negli strati profondi, sono disponibili i dati P.A.T. relativi all'inclinometro realizzato nei pressi della cava Ronchi (sondaggio 3898), che mostrano minime deformazioni, dell'ordine di 1 mm anno alla profondità di 80 m. Come chiarito nella "Relazione Geologica" (Rif. [14]), il sondaggio ha rilevato la presenza di una coltre detritica di spessore importante (75 metri circa), che, sulla base del modello geologico proposto nell'ambito del presente studio, non viene interessata dallo scavo delle gallerie in progetto.

Gli studi condotti (Rif. [14]) evidenziano che il tracciato di progetto si colloca al di fuori di quest'area, pertanto il fenomeno gravitativo non interessa lo scavo della galleria. In ogni caso, lo scavo della galleria in prossimità dell'area interessata dal fenomeno del Monte Marzola rappresenta un elemento di attenzione che andrà approfondito nelle successive fasi progettuali.

Per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione geologica e idrogeologica (Rif. [14]).

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B

9.2 Assetto geologico lungo il tracciato

L'imbocco Sud in naturale della Galleria Trento è situato alla progressiva km 0+839, preceduto da un tratto di galleria artificiale scatolare che ha inizio al km 0+745. La galleria artificiale lato sud e i primi 260 m circa di galleria naturale attraversano depositi grossolani appartenenti ad un conoide alluvionale torrentizio (PTG).

Al km 1+098 circa la galleria intercetta il substrato litoide: fino al km 2+560 la galleria attraversa i seguenti litotipi: Formazione di Zwischenbildungen (ZW), Formazione di Travenanzes (TVZ) e Dolomia Principale (DPR). In questa tratta sono presenti le seguenti discontinuità tettoniche: la faglia intorno alla progressiva km 1+488, le faglie ravvicinate intorno alle progressive km 2+176 e km 2+210 e ulteriori due faglie ravvicinate al km 2+541 e al km 2+560, che interessano i litotipi del Gruppo dello Zwischenbildungen (ZW).

Dal km 2+560 al km 3+835 circa lo scavo della galleria interessa per circa 1275 m le dolomie del Membro di Monte Ozol della Formazione di Giovo (GIV3), interessata da faglie al km 2+953, al km 3+110 e al km 3+835. È opportuno segnalare che modeste variazioni nello spessore delle unità ipotizzate potrebbero portare la presenza della formazione a Gracilis (GLS) alla quota di scavo della galleria.

Dal km 3+835 al km 6+406 il tracciato della galleria è interessato dalla presenza di faglie normali e trascorrenti, pertanto, tale settore risulta piuttosto articolato e con divedi contatti tettonici tra litotipi. Per i primi 587 m, fino al km 4+423 circa, a quota cavo si intercettano le unità triassiche della Formazione di Werfen (WER), per i successivi 234 m le unità del Gruppo dello Zwischenbildungen (ZW), e successivamente le unità triassiche della Formazione di Werfen (WER) sino a fine tratta, localizzata in corrispondenza di una faglia inversa alpina immergente verso Nord. In questa tratta la galleria intercetta cinque faglie in corrispondenza delle progressive: km 4+096, km 4+425, km 4+657, km 5+089 e km 5+772. In questo settore si hanno le massime coperture della galleria Trento, circa 250 m in prossimità del Doss San Rocco.

Al km 6+406 si entra nella Formazione a Bellerophon (BEL) fino al km 7+015 circa e successivamente nelle Arenarie della Val Gardena (GAR) costituite da arenarie, siltiti e marne per circa 794 m. Una faglia è intercettata al fm 6+408.

Intorno alla progressiva km 7+810, la Galleria Trento lascia la successione sedimentaria e attraversa la serie vulcanica e il basamento metamorfico. Per circa 573 m si incontrano le vulcaniti della Formazione del Castelliere (ICT e ICTc) e della Formazione di Buss (LUB). In corrispondenza del km 8+382 si prevede il passaggio, che potrebbe anche essere geometricamente articolato, al basamento metamorfico (VFS) rappresentato da Filladi e Filladi Quarzifere (VFS) per uno sviluppo di circa 830 m.

Alla pk 9+210 circa si prevede di intercettare una fascia tettonizzata afferente alla linea Trento-Roncogno, rappresentata da una zona di faglia immergente verso Sud a meccanismo inverso. Gli scavi interesseranno quindi le Arenarie della Val Gardena, verticalizzate per effetto della suddetta faglia, passanti lateralmente alla Formazione a Bellerophon e, in minima parte, alla Formazione di Werfen. Infine, dalla pk 9+310 si prevede di attraversare la zona di nucleo della linea Trento-Roncogno, costituita da cataclasi e ultracataclasi carbonatiche.

Escludendo i litotipi metamorfici, le formazioni sopra indicate presentano un assetto sostanzialmente Sud-immergente con una variazione verso la parte terminale della tratta interpretata come piega anticlinale di rampa alla linea Trento Roncogno.

 ITAFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B

Dal km 9+414, superata la fascia di deformazione, lo scavo interessa la sequenza carbonatica giurassico eocenica che caratterizza l'abitato di Trento.

La galleria si sviluppa nella sinclinale di Doss Castion fino al km 10+130 attraversando la formazione del Rosso Ammonitico (ARV) fino alla pk 10+130 circa, dove, attraverso una faglia trascorrente, si passa ai calcari della Formazione di Rotzo (RTZ). Si prevede inoltre di intercettare una ulteriore faglia trascorrente alla pk 10+605 circa. In base alla ricostruzione effettuata, gli scavi dovrebbero poi interessare i litotipi del Rosso Ammonitico dal km 10+785 sino al km 11+117 e, dopo aver attraversato l'orizzonte decametrico di micriti della Maiolica (MAI) per circa 10 m, incontrare i calcari micritici localmente selciferi della Scaglia Rossa (SAA) per i successivi 144 m circa.

Al km 11+271 una faglia taglia la successione descritta e si passa ai calcari della Formazione di Chiusole (CHI) fino al km 11+319 circa.

9.3 Indagini geotecniche

Ai fini della caratterizzazione geotecnica delle unità che interessano le opere in sotterraneo in progetto, oltre alla campagna d'indagine appositamente realizzata nell'ambito della presente fase progettuale (Italferr 2020-2021), sono stati utilizzati anche i dati relativi a campagne geognostiche precedenti. In particolare si è fatto riferimento alla campagna indagini Italferr 2014-2015 ed è stata consultata la documentazione prodotta nel Progetto Preliminare del 2008 sviluppato da RFI e dalla Provincia Autonoma di Trento, nonché la banca dati geologica disponibile. Inoltre, in questa fase progettuale è stato acquisito il sondaggio denominato Dolomiti Energia eseguito alla fine del 2019 in località Madonna Bianca da Dolomiti Energia Solutions Srl.

In sintesi, le campagne di indagini a cui si è fatto riferimento sono le seguenti:

- Campagna 2003-2007, RFI e Provincia Autonoma di Trento;
- Campagna 2014-2015, Italferr S.p.A.;
- Campagna 2020-2021, Italferr S.p.A.;
- Sondaggio Dolomiti Energia (2019).



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA
IB0Q

LOTTO
3A

CODIFICA
R07RH

DOCUMENTO
GN 00 00 001

REV.
B

FOGLIO
24 di 77

Prove in sito e di laboratorio

Nella Tabella 1 si riporta l'elenco dei sondaggi in cui sono state eseguite prove in sito e di laboratorio, utilizzate ai fini della caratterizzazione geotecnica delle formazioni interessate dallo scavo della galleria Trento e delle opere accessorie, con indicazione della quota di testa foro, del fuori asse rispetto al tracciato di progetto del binario pari e della lunghezza di perforazione. Per i dettagli si rimanda agli elaborati specialistici (Rif. [14]).

Tabella 1. Sondaggi di interesse per la caratterizzazione geotecnica

CAMPAGNA	SONDAGGIO	QUOTA (m s.l.m.)	FUORI ASSE (m)	LUNGHEZZA (m)
RFI e Provincia Autonoma di Trento. 2003/2007	4329 - Villa Gentilotti	325 c.a.	140	142.6
ITF 2014/2015	B1	194 c.a.	17	30
	B2	350 c.a.	95	150
ITF 2020/2021	TN4	337 c.a.	150	230
	TN6	294 c.a.	114	230

Rilievi Geostrutturali

I rilievi geostrutturali sono stati eseguiti sugli affioramenti rocciosi e hanno permesso di determinare lo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso e di risalire alle sue caratteristiche fisico-meccaniche più importanti. Per ogni singolo stop geologico, è stato valutato il valore di GSI e in corrispondenza di alcuni sono state eseguite stazioni geomeccaniche. Nella Tabella 2 si riportano gli stop geologici utilizzati per la caratterizzazione geotecnica delle formazioni interessate dallo scavo della galleria Trento, eseguiti durante la Campagna di indagine 2003/2007 (RFI e Provincia Autonoma di Trento) e durante la Campagna di indagine 2014/2015 (Italferr S.p.A.), con le relative formazioni interessate e i valori di GSI e UCS (dove presenti).

Tabella 2. Stop di riferimento per le varie unità geologiche

FORMAZIONE	STOP		GSI	oci, MEDIA da martello di Schmidt (MPa)	Rilievo geomeccanico
	Campagna 2014/2015 Italferr	Campagna 2003/2007 RFI e PAT			
FPP	1		50-60		
	35		50-60	31	x
CHI	1		50-60		
	35		50-60	31	x
SAA	2		60-70		
	34		50-60	45	x
MAI	-	-			
ARV	3		50-60		
	15		80-90		
	33		60-70	41	x
RTZ		SG6	65-70	80	x
FMZ	-	-			
LOP	32		65-75	50	x
DPR	12		30-40		
		SG7	55-60	90	x
		SG9	60-65	90	x
		SG16	55-60	90	x
VFS	24		30-40		
	44		20-30		x
		SG8	50-55	70	x
ICT	36		70-80	22	
ICTc	39		60-70		
	40		70-80		
	4		50-60		
LUB	20		25-50		
	46		50-60		
		SG5	50-55	120	x
GAR	37		25-35		
	38		40-50		
	39		60-70		
GLS	13		50-60		
	29		35-45	42	x
SLI	9		40-50		
	10		30-40		
WER	6		30-40	24	
	41		55-60		x
	42		50-60		x
	43		50-60		x
	45		55-65		x
		SG17	45-50	50	x
BEL	-	-			
GIV3	5		30-40	30	
	7		-		
	14		60-70		
	30		50-60	38	x
		SG3	50-55	70	x
TVZ	16		50-60	70	x
ZW-MTB	27		35-45	24	x
ZW-CSM	25		15-25		
	26		15-25	24	x
ZW-VVL	11		55-65		

Indagini geofisiche

Nell'area oggetto di studio sono state eseguite indagini di tipo geofisico. Fra i dati di base acquisiti dal Servizio Geologico della Provincia vi è una linea sismica in corrispondenza dell'aeroporto di Mattarello, perpendicolare al fiume Adige e un'ulteriore indagine geofisica (AMT) realizzata a nord-est di Villazano.

Nell'ambito della campagna indagini Italferr 2014-2015 sono state realizzate linee sismiche tomografiche e prove MASW, mentre nella campagna indagini Italferr 2020-2021 sono stati realizzati rilievi Tomografici



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

**ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA**

LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA
IB0Q

LOTTO
3A

CODIFICA
R07RH

DOCUMENTO
GN 00 00 001

REV.
B

FOGLIO
26 di 77

Elettrici per la ricostruzione delle geometrie e dei rapporti tra le unità elettrostratigrafiche nel tratto tra il Casteller e Doss di San Rocco.

Per i dettagli si rimanda agli elaborati specialistici (Rif. [14]).

I risultati delle indagini geotecniche, in situ e di laboratorio, hanno permesso di definire il modello geotecnico rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni/rocce interessati dalle opere in sotterraneo. L'ubicazione dei sondaggi ed il modello geotecnico sono rappresentati nell'elaborato "Galleria Trento - Profilo geotecnico" (Rif. [28]). Nei paragrafi che seguono si riepilogano in sintesi i risultati della caratterizzazione e modellazione geotecnica per ciascuna delle formazioni interessate dallo scavo.

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B

9.4 Caratterizzazione geotecnica

La caratterizzazione geotecnica è stata condotta sulla base dei dati forniti dalle campagne di indagine indicate nel paragrafo § 9.3; in assenza di informazioni specifiche si è fatto riferimento a dati di letteratura.

In ogni caso, la caratterizzazione effettuata, sia per i terreni che per le rocce, sarà approfondita con i dati provenienti dalle campagne di indagini geotecniche integrative nelle successive fasi di progettazione.

Sistema postglaciale alpino (PTG)

Il Sistema postglaciale alpino è un deposito appartenente alla successione quaternaria continentale e raggruppa i depositi che si sono formati al termine dei fenomeni glaciali, tra la parte terminale del Pleistocene superiore fino ad oggi. Tale unità risulta affiorante in corrispondenza dell'imbocco Sud della galleria Trento. La formazione è costituita prevalentemente da ghiaie, sabbie e limi a stratificazione orizzontale o incrociata (Figura 5) ed è stata intercettata dal sondaggio B1 eseguito durante la campagna indagini Italferr 2014-2015.



Figura 5. Sistema postglaciale alpino (PTG) nel foro di sondaggio B1

Lo scavo della galleria Trento interessa il Sistema postglaciale alpino complessivamente per circa 260 m a partire dall'imbocco Sud, con coperture variabili tra 10 e 22 m rispetto al piano del ferro.

Caratteristiche fisiche

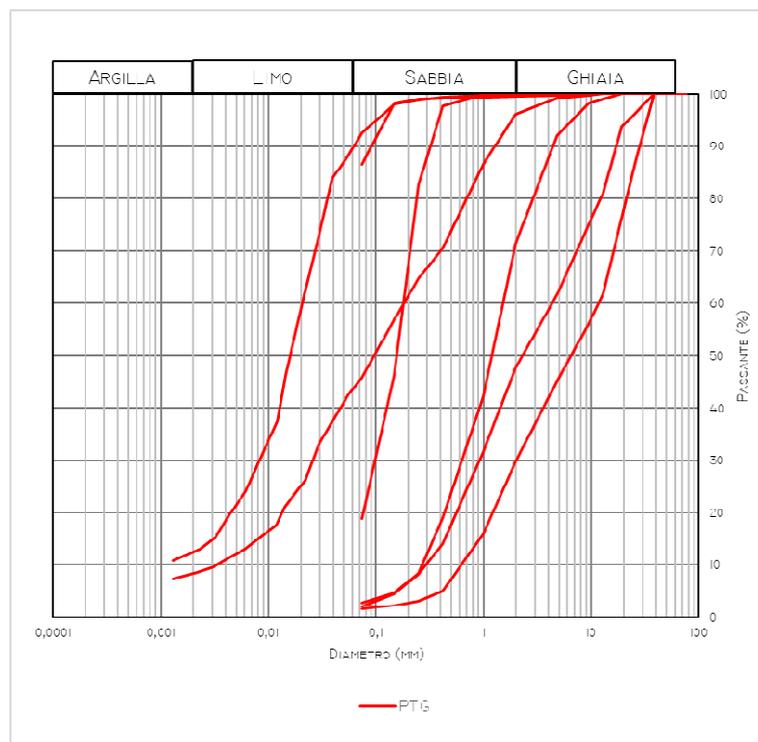
Sono stati prelevati, a profondità variabili tra 3 m e 24 m da piano campagna, 1 campione indisturbato sottoposto a prove di laboratorio e 6 campioni rimaneggiati (utilizzati solo per determinare il profilo stratigrafico del sondaggio e la composizione granulometrica).

L'analisi granulometrica eseguita sui campioni prelevati dal sondaggio B1 mostra una variabilità della composizione granulometrica, il terreno è classificabile mediamente come sabbia con limo e ghiaia, a luoghi l'unità geotecnica si presenta come limo argilloso o come ghiaia con sabbia (AGI, 1977) (Figura 6).

L'unico campione indisturbato presenta una componente a grana fine predominante come mostrato in Tabella 3 e pertanto i risultati delle prove di laboratorio eseguite su tale campione saranno da attribuirsi alla componente fine della formazione in esame.

Tabella 3. Granulometria campione B1-S1

G	S	L	A
%	%	%	%
0	11	77	12


Figura 6. Analisi granulometrica

Il peso dell'unità di volume, valutato attraverso l'unico campione indisturbato, risulta pari a 18 kN/m^3 mentre il peso di volume del materiale secco è pari a $12,3 \text{ kN/m}^3$. Il peso specifico è pari a 27 kN/m^3 .

Il contenuto d'acqua naturale w è pari al 43%.

Si riportano in Tabella 4 i valori delle caratteristiche fisiche della formazione *PTG*:

Tabella 4. Caratteristiche fisiche

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	γ_d	w
(-)	(-)	(m)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(%)
B1	S1	4.7	17.63	12.36	42.7

Caratteristiche meccaniche

Per determinare le caratteristiche di resistenza della formazione *PTG* sono stati elaborati i risultati di una prova triassiale consolidata non drenata (CIU) eseguita sull'unico campione indisturbato e di 7 prove SPT.

L'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti t' ed s' fornisce un valore di intercetta di coesione c' pari a circa 7 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a circa 30° (Figura 7).

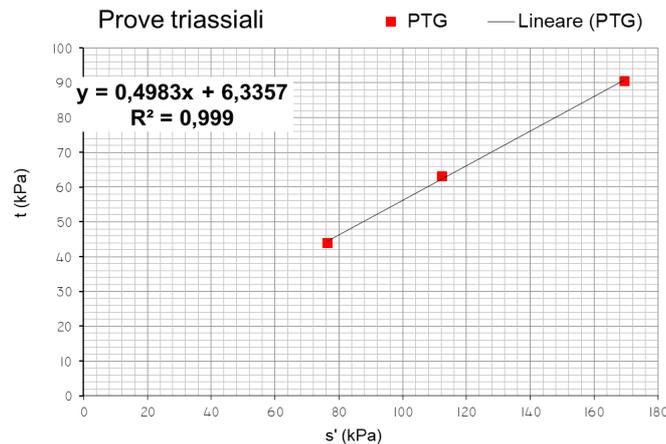


Figura 7. Involuppo di resistenza della prova triassiale

Di seguito la tabella riassuntiva, con i valori a rottura della prova triassiale:

Tabella 5. Valori a rottura della prova triassiale

Prove di compressione triassiale						
Prova	Sondaggio / Campione	Profondità da p.c.	σ'_1	σ'_3	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$	$(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$
(-)	(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)
CIU	B1 - S1	4.7	120	33	44	76
			175	49	63	112
			260	79	90	170

Le 7 prove penetrometriche dinamiche SPT (riportate nella Tabella 6) sono state elaborate in accordo 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)). 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)).

Tabella 6. Numero di colpi N_{SPT}

Sondaggio	z	N_{SPT}
B1	3.0	5
B1	7.5	9
B1	12.0	15
B1	15.0	20
B1	19.0	6
B1	24.0	11
B1	28.5	21

In Figura 8 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' .

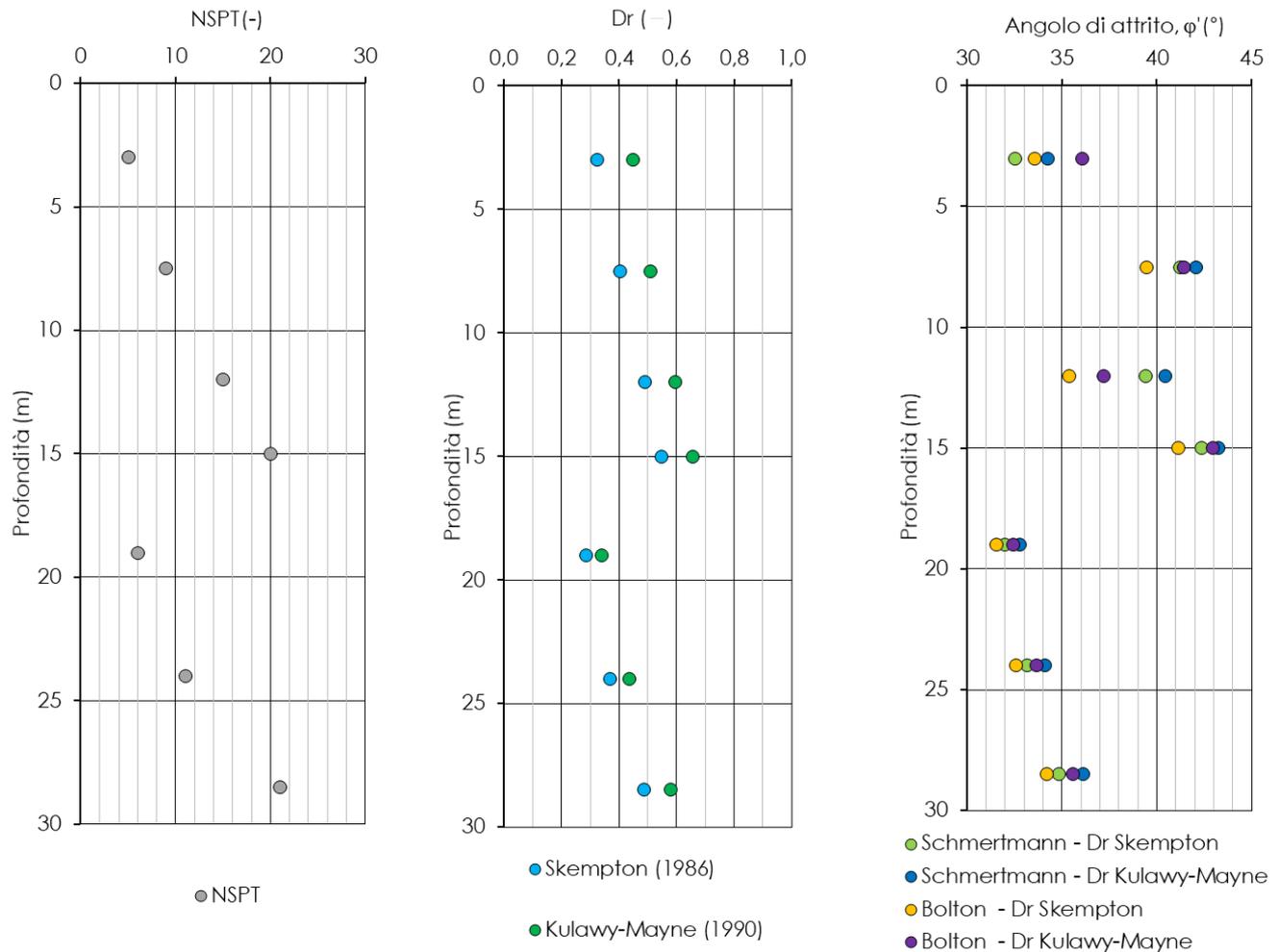


Figura 8. N_{SPT} , densità relativa e angolo di attrito da prove SPT

I risultati delle prove in sito mostrano un angolo di attrito compreso tra 32° e 43° e densità relativa compresa tra 0,3 e 0,7.

Per determinare le caratteristiche di deformabilità e compressibilità, sono stati elaborati i risultati di una prova di compressione edometrica (eseguita sulla frazione fine), 6 prove geofisiche di sismica a rifrazione, 2 prove pressiometriche e 7 prove penetrometriche dinamiche SPT.

I parametri ottenuti dall'elaborazione della prova di compressione edometrica sono riportati in Tabella 7: tale prova risulta rappresentativa solo per la frazione fina dell'Unità in esame.

Tabella 7. Prova edometrica eseguita sulla frazione fine del terreno

sondaggio	campione	Profondità da p.c.	C _c	C _s	OCR	e ₀	E'ed
(-)	(-)	(m)	(-)	(-)	(-)	(-)	(MPa)
B1	S1	3.0	0.37	0.04	4.70	1.13	10.16

La Figura 9 mostra gli andamenti con la profondità del modulo elastico E' e del modulo di taglio iniziale G₀ ottenuti da prove SPT. I parametri risultano rispettivamente compresi negli intervalli: 4 ÷ 21 MPa e 22 ÷ 189 MPa.

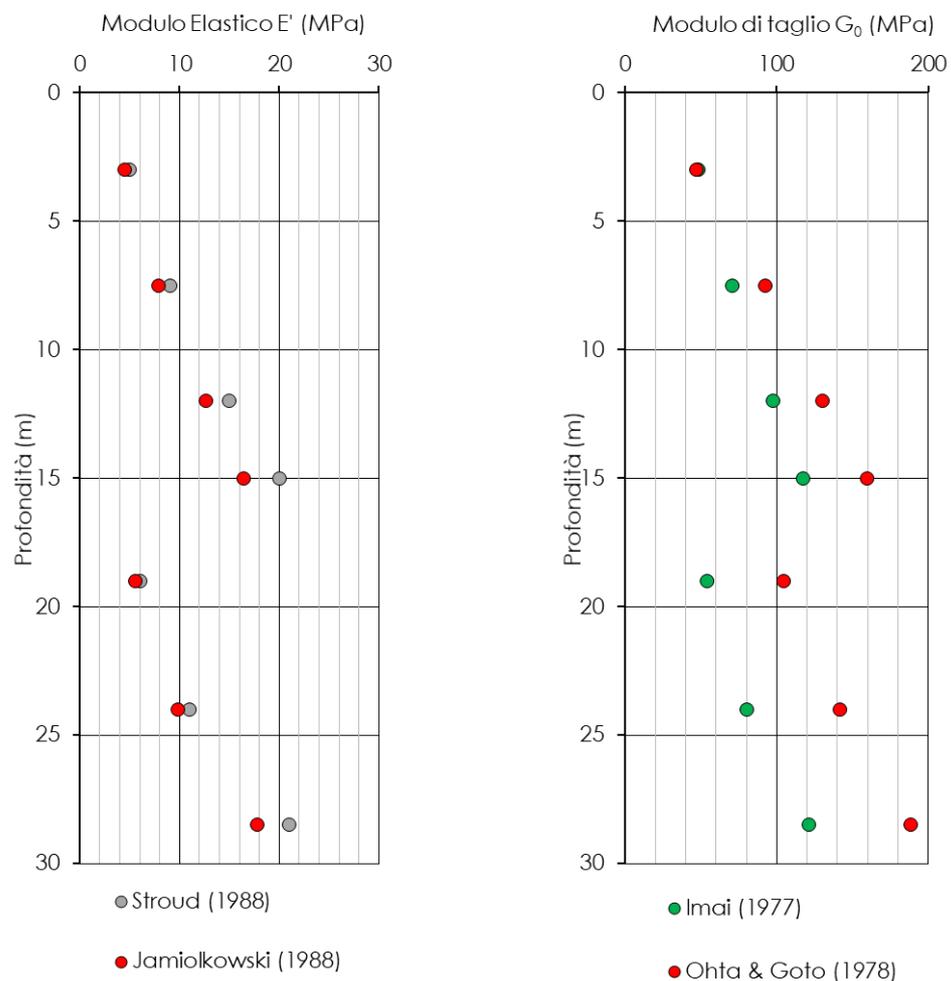


Figura 9. Modulo elastico E' e modulo di taglio G₀ da prove SPT

L'interpretazione delle prove pressiometriche è stata condotta determinando i moduli di deformabilità nel ramo di scarico. Il modulo elastico E' dedotto da tali prove risulta compreso nell'intervallo 38÷40 MPa. Di seguito la Tabella 8 riassuntiva, con i valori ottenuti dall'elaborazione della prova:

Tabella 8. Prove pressiometriche

sondaggio	Profondità da p.c.	E
(-)	(m)	(MPa)
B1	73.8	38
B1	90.9	40

L'interpretazione delle prove di sismica a rifrazione è stata condotta determinando due moduli di deformabilità: il modulo di taglio iniziale G_0 e il modulo elastico operativo E_{op} , corrispondente 10% del modulo elastico iniziale E_0 . Si riportano in Figura 10 gli andamenti con la profondità dei moduli elastici.

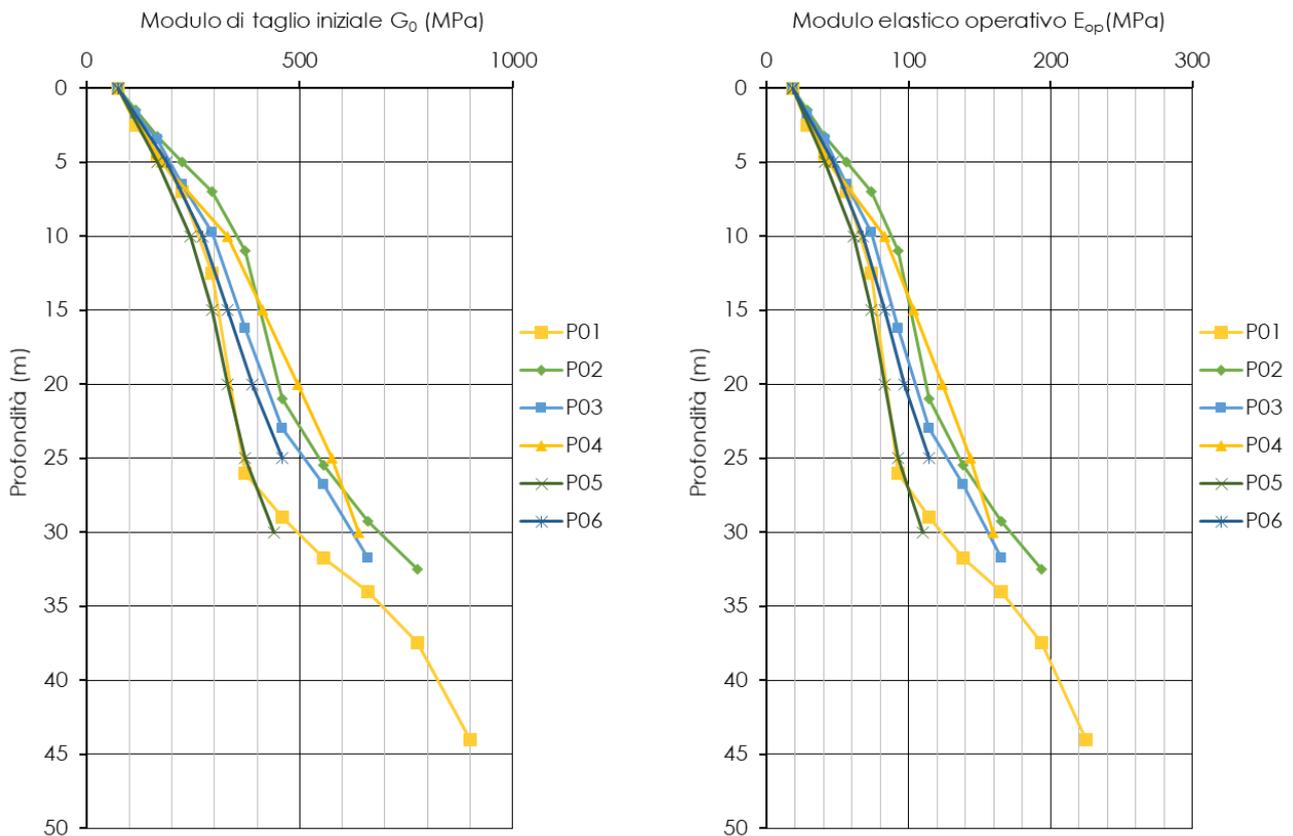


Figura 10. Prove geofisiche di sismica rifrazione

Per la determinazione del coefficiente di permeabilità sono state eseguite 2 prove di permeabilità di tipo Lefranc nei fori di sondaggio alle profondità di 6 e 14 m da p.c.. Il coefficiente di permeabilità k risulta mediamente pari a $7 \cdot 10^{-5}$ m/s (Tabella 9).

Tabella 9. Coefficiente di permeabilità k da prove in sito

Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lefranc	B1	6.10	7.9E-05
Lefranc	B1	14.00	5.5E-05

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 l'unità PTG. La Tabella 10 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro. Per la valutazione degli intervalli di variabilità dei moduli elastici E' e G_0 si è scelto di fare riferimento ai risultati ottenuti dalle prove pressiometriche e geofisiche alla quota media della galleria.

Tabella 10. Sintesi parametri geotecnici

	min	max	
γ	17.6		(kN/m ³)
γ_d	12.4		(kN/m ³)
w	42.7		(%)
D_r	0.3	0.7	(-)
φ'_{SPT}	31.5	43.2	(°)
E'	38.0	125.0	(MPa)
G_0	330.0	496.0	(MPa)
k	5.49E-05	7.93E-05	(m/s)

involuppo di rottura		
c'_{TX}	7	(kPa)
φ'_{TX}	30	(°)

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B

Gruppo dello Zwischenbildungen (ZW)

Il gruppo dello Zwischenbildungen è suddiviso in quattro unità: Calcari Scuri di Margon, Marne della Val di Centa Tale, Buchenstein e Calcari della Val Vela. Comprende calcari bituminosi scuri (alla base), calcari e marne fittamente stratificati e livelli argillosi (Figura 11). La formazione è stata intercettata dal sondaggio B2 eseguito durante la campagna indagini Italferr 2014-2015.



Figura 11. Gruppo dello Zwischenbildungen (ZW) nel foro di sondaggio B2

Lo scavo della galleria interessa la formazione complessivamente per un'estensione pari a circa 930 m con coperture variabili tra 10 e 135 m rispetto al piano del ferro.

Caratteristiche fisiche e meccaniche

Nel sondaggio B2 sono stati prelevati, a profondità variabile tra 62 m e 148 m da piano campagna, 7 campioni indisturbati sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume della formazione varia tra 23 e 27 kN/m³ (Figura 12).

Per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa sono stati presi a riferimento i risultati di 5 prove di compressione monoassiale, una Point load test e una prova di trazione indiretta eseguite sui campioni lapidei prelevati dal sondaggio B2. I valori di resistenza a compressione monoassiale σ_{ci} risultano compresi nell'intervallo 4÷69 MPa (Figura 13). La prova di trazione indiretta ha fornito un valore di resistenza σ_t pari a 7,7 MPa.

Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato dall'interpretazione di 5 prove di velocità sonica su provino e 5 prove di compressione monoassiale (CM) condotte con rilievo delle deformazioni. Da queste ultime sono stati determinati i moduli tangenti iniziali. I valori dei moduli di elasticità ricavati con le diverse prove mostrano un intervallo del modulo variabile tra 1,1 e 37,3 GPa (Figura 14).

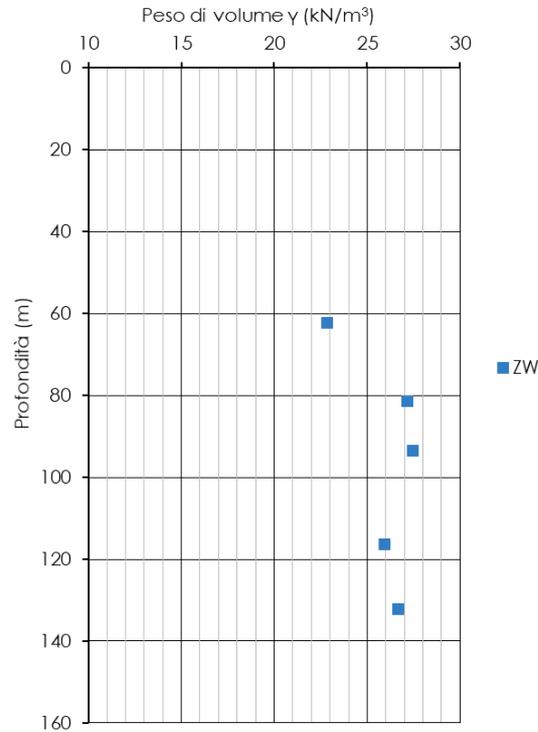


Figura 12. Peso dell'unità di volume γ

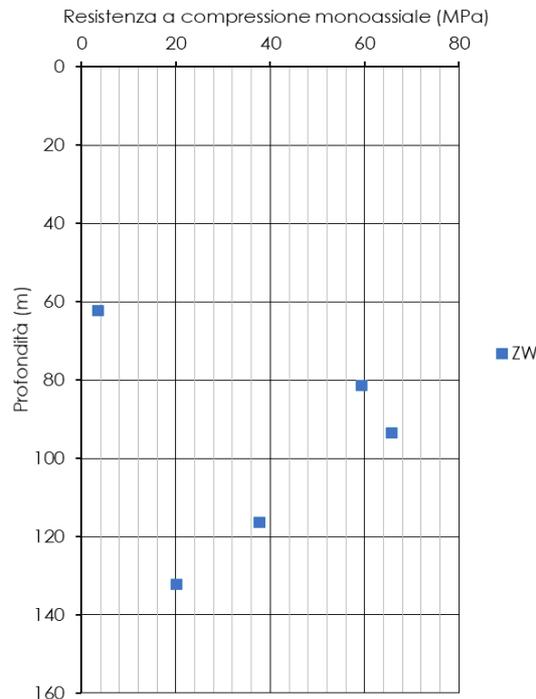


Figura 13. Prove di compressione monoassiale

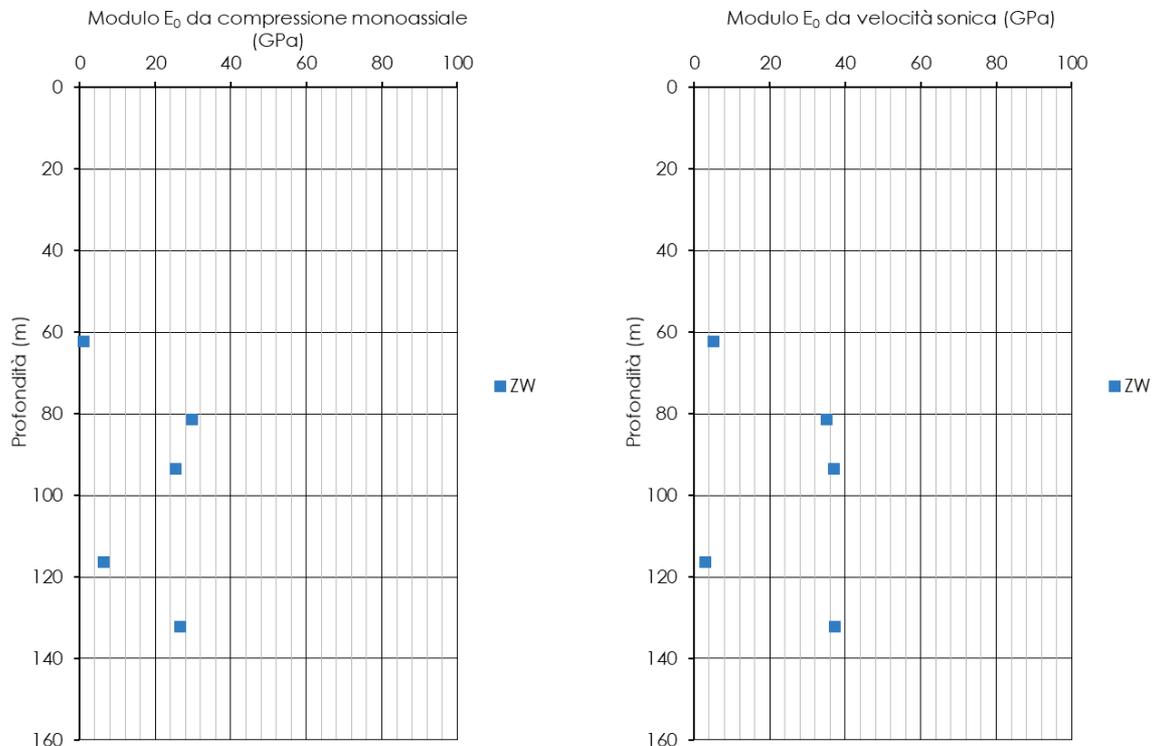


Figura 14. Modulo elastico della roccia intatta

La Tabella 11 riporta i valori del peso dell'unità di volume, della resistenza a compressione monoassiale, della resistenza a trazione e del modulo elastico per la roccia intatta, ricavato per ogni campione della formazione ZW.

Tabella 11. Peso di volume, resistenza a compressione monoassiale, resistenza a trazione e modulo di deformabilità da prove di laboratorio

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	σ_{ci}	$\sigma_{ci,PLT}$	σ_t	$E_{i,UNI}$	$E_{i,vel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m^3)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
B2	C6	62.25	22.85	3.54			1.11	5.18
B2	C7	71.15						
B2	C8	81.40	27.18	59.32			29.77	34.94
B2	C9	93.55	27.45	65.77		7.72	25.32	37.04
B2	C10	116.30	25.92	37.75			6.29	2.95
B2	C11	132.25	26.68	20.11			26.64	37.31
B2	C12	148.25			68.64			

Per determinare le caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso sono stati elaborati i risultati di 2 prove dilatometriche. L'interpretazione della prova è stata condotta determinando il modulo di deformabilità nel ramo di scarico relativo al terzo ciclo. Il modulo elastico E dedotto da tali prove risulta compreso nell'intervallo 4071÷11362 MPa. Di seguito la Tabella 12 riassuntiva, con i valori ottenuti dall'elaborazione delle prove:

Tabella 12. Prove dilatometriche

sondaggio	Profondità da p.c.	E
(-)	(m)	(MPa)
B2	106.1	11362
B2	84.5	4071

Per la determinazione del coefficiente di permeabilità sono state eseguite 3 prove Lugeon nei fori di sondaggio, a profondità variabili tra 90 e 138 m da p.c.. Il coefficiente di permeabilità k risulta mediamente pari a $3 \cdot 10^{-4}$ (Tabella 13).

Tabella 13. Coefficiente di permeabilità k da prove in sito

Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lugeon	B2	90.75	2.4E-04
Lugeon	B2	120.75	3.2E-04
Lugeon	B2	138.75	3.2E-04

Si rimanda al § “Rilievi geomeccanici da cassetta” per la valutazione dei valori degli indici RQD e GSI con la profondità.

Le caratteristiche meccaniche dell’ammasso roccioso sono state definite sulla base dell’indice di qualità GSI, da rilievi geostrutturali (Rif 14).

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per la formazione ZW. La Tabella 14 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro.

Tabella 14. Sintesi parametri geotecnici

	min	max	
γ	22.9	27.5	(kN/m ³)
σ_{ci}	3.5	68.6	(MPa)
σ_t	7.7		(MPa)
E_i	1.1	37.3	(GPa)
E	4071.0	11362.0	(MPa)
k	2.35E-04	3.17E-04	(m/s)
RQD	0.0	88.0	(%)
GSI	18.7	71.2	(-)

Formazione di Giovo - Membro del M. Ozol (GIV3)

La Formazione di Giovo 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 (alghie calcaree e brachiopodi) e rosate. Lo spessore è di 180-200 m. (Figura 11). La formazione è stata intercettata dal sondaggio 4329-Villa Gentilotti eseguito durante la campagna indagini RFI e PAT DEL 2003-2007. Lo scavo della galleria interessa la formazione complessivamente per un'estensione pari a circa 1275 m con coperture variabili tra 92 e 178 m rispetto al piano del ferro.

Caratteristiche fisiche e meccaniche

Nel sondaggio 4329-Villa Gentilotti sono stati prelevati, a profondità variabili tra 54 m e 139 m da piano campagna, 25 campioni indisturbati sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume della formazione varia tra 26 e 28 kN/m³ (Figura 15).

Per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa sono stati presi a riferimento i risultati di 16 prove di compressione monoassiale e una prova di trazione indiretta eseguite sui campioni lapidei prelevati dal sondaggio 4329-Villa Gentilotti. Sono stati ricavati valori di resistenza a compressione monoassiale σ_{ci} compresi nell'intervallo: 6÷128 MPa (Figura 15). La prova di trazione indiretta ha fornito un valore di resistenza σ_t pari a 8,7 MPa. Le profondità di prelievo dei campioni variano tra 54 e 137 m da p.c..

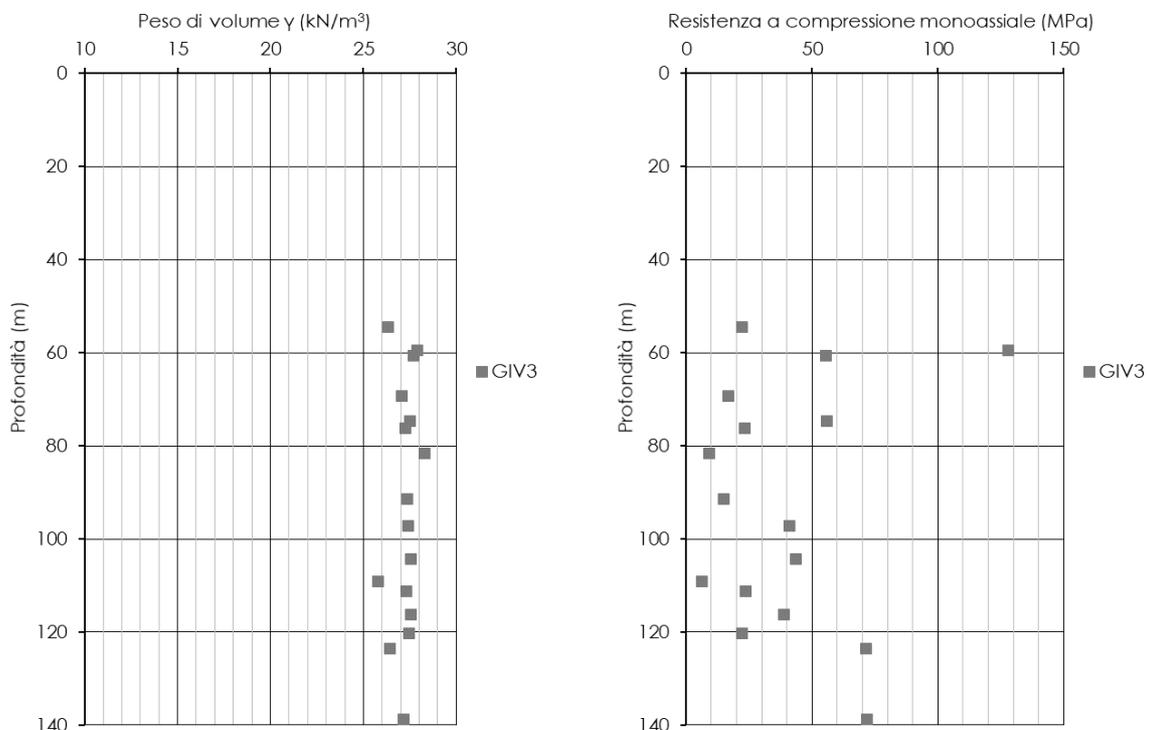


Figura 15. Peso dell'unità di volume γ e prove di compressione monoassiale

La Tabella 15 riporta i valori del peso dell'unità di volume, della resistenza a compressione monoassiale e della resistenza a trazione ricavati per ogni campione della formazione GIV3.

Tabella 15. Peso di volume, resistenza a compressione monoassiale e prove di trazione indiretta da prove di laboratorio

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	σ_{ci}	σ_t
(-)	(-)	(m)	(kN/m^3)	(MPa)	(MPa)
4329	1	54.40	26.35	22.13	
4329	2	59.50	27.89	127.87	
4329	3	60.70	27.68	55.40	
4329	4	69.20	27.09	16.62	
4329	5	74.65	27.50	55.92	
4329	6	76.25	27.25	23.39	
4329	7	81.65	28.31	9.21	
4329	8	89.75	27.38	14.74	
4329	0	91.45	27.39	40.96	
4329	10	97.25	27.56	43.44	
4329	11	104.25	25.79	6.27	
4329	12	109.15	27.33	23.75	
4329	13	111.25	27.54	38.92	
4329	14	116.25	27.46	22.22	
4329	15	120.20			
4329	16	128.10			
4329	17	129.60			
4329	18	129.70			
4329	19	130.60			
4329	20	134.30			
4329	21	136.75	27.17	71.76	
4329	22	138.85			
4329	23	138.85			
4329	A	120.50	26.45	71.46	
4329	BR	123.50			8.73

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei parametri per la formazione GIV3. La Tabella 16 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro.

Tabella 16. Sintesi parametri geotecnici

	min	max	
γ	25.8	28.3	(kN/m^3)
σ_{ci}	6.3	127.9	(MPa)
σ_t	8.7		(MPa)

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO				
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IBOQ	LOTTO 3A	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN 00 00 001

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 (Figura 16). La formazione è stata intercettata dal sondaggio TN6 eseguito durante la campagna indagini Italferr 2020-2021.

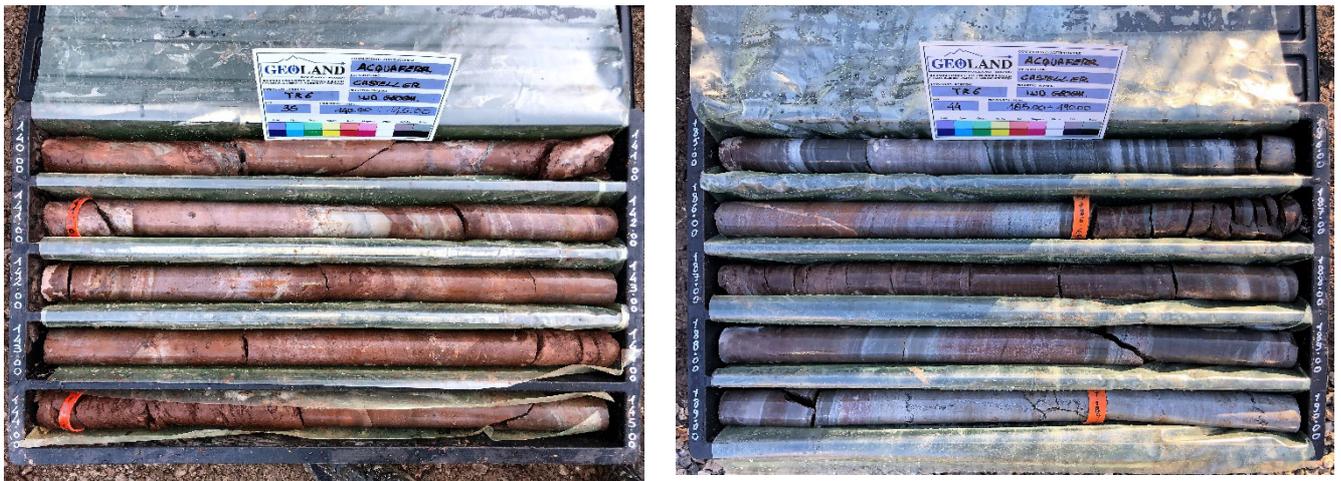


Figura 16. Formazione di Werfen (WER) nel foro di sondaggio TN6

Lo scavo della galleria interessa la formazione complessivamente per un'estensione pari a circa 2450 m con coperture variabili tra 105 e 245 m rispetto al piano del ferro.

Caratteristiche fisiche e meccaniche

Nel sondaggio TN6 sono stati prelevati, a profondità variabili tra 89 m e 222 m da piano campagna, 11 campioni indisturbati sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume dell'unità geotecnica varia tra 25 e 27,5 kN/m³ (Figura 17).

Per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa sono stati presi a riferimento i risultati di 6 prove di compressione monoassiale, una prova di trazione indiretta e 2 Point load test eseguite sui campioni lapidei prelevati dal sondaggio TN6. Sono stati ricavati valori di resistenza a compressione monoassiale σ_{ci} compresi nell'intervallo: 14÷100 MPa, per le prove di compressione monoassiale, e 32÷104 MPa per le prove PLT (Figura 18). La prova di trazione indiretta ha fornito un valore di resistenza a trazione σ_t pari a 3 MPa.

Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato dall'interpretazione di 7 prove di velocità sonica su provino e 6 prove di compressione monoassiale (CM) condotte con rilievo delle deformazioni. Da queste ultime sono stati determinati i moduli tangenti iniziali. I valori dei moduli di elasticità ricavati con le diverse prove mostrano un intervallo del modulo variabile tra 8,7 e 48,4 GPa (Figura 19).

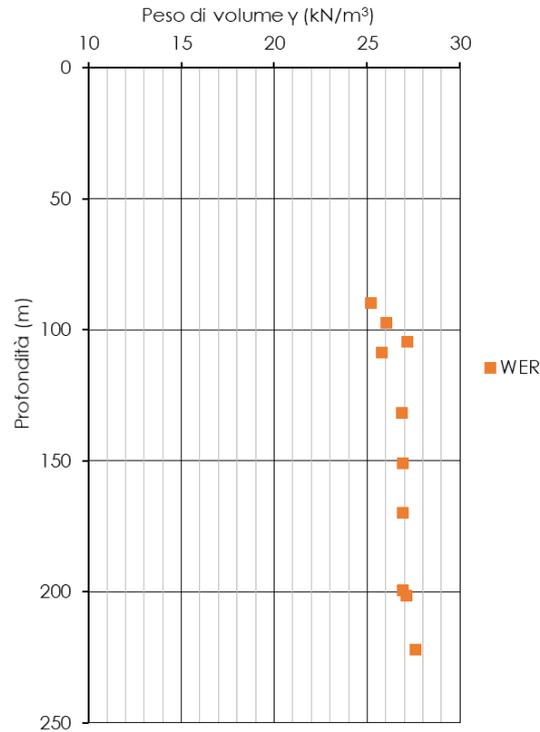


Figura 17. Peso dell'unità di volume γ

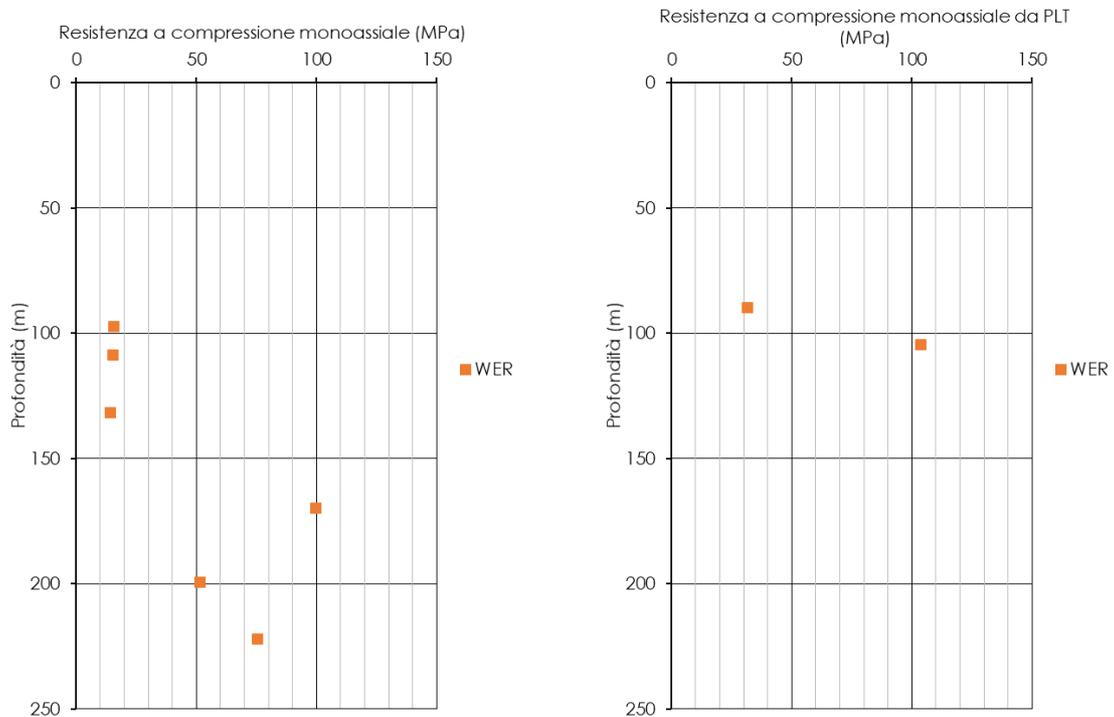


Figura 18. Prove di compressione monoassiale e point load test

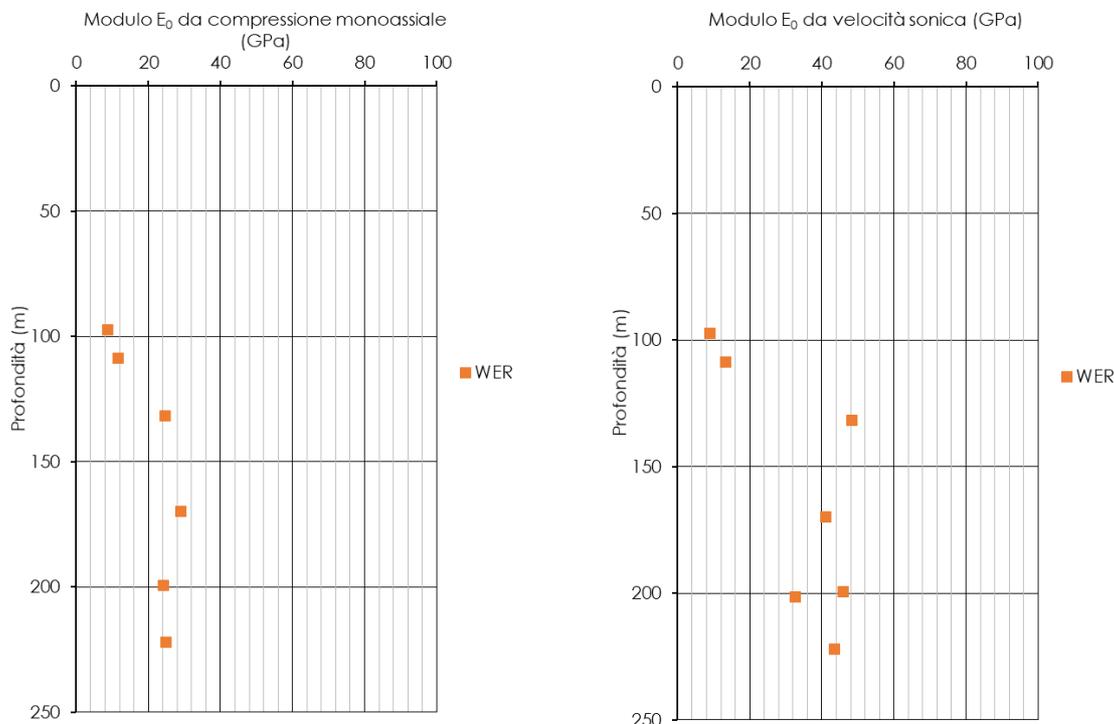


Figura 19. Modulo elastico della roccia intatta

La Tabella 17 riporta i valori del peso dell'unità di volume, della resistenza a compressione monoassiale, della resistenza a trazione e del modulo elastico per la roccia intatta, ricavato per ogni campione della formazione WER.

Tabella 17. Peso di volume, resistenza a compressione monoassiale, resistenza a trazione e modulo di deformabilità da prove di laboratorio

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c. (m)	γ (kN/m ³)	σ_{ci} (MPa)	$\sigma_{ci,PLT}$ (MPa)	σ_t (MPa)	$E_{i,UNI}$ (GPa)	$E_{i,vel\ ultra}$ (GPa)
(-)	(-)	(m)	(kN/m ³)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
TN6	B	89.75	25.18		31.68			
TN6	C	97.30	26.03	15.78		3.03	8.65	8.87
TN6	D	104.60	27.14		103.66			
TN6	E	108.65	25.78	15.14			11.54	13.36
TN6	G	131.50	26.85	14.34			24.69	48.37
TN6	H	150.80	26.93					
TN6	I	169.65	26.90	99.84			29.03	41.18
TN6	L	185.38						
TN6	M	199.25	26.90	51.46			24.29	45.88
TN6	N	201.35	27.10					32.74
TN6	O	222.20	27.59	75.41			24.85	43.39

Per determinare le caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso sono stati elaborati i risultati 2 prove dilatometriche. L'interpretazione della prova è stata condotta determinando il modulo di deformabilità nel ramo di scarico relativo al terzo ciclo. Il modulo elastico E dedotto da tali prove risulta compreso nell'intervallo 21457÷25964 MPa. Di seguito la Tabella 18 riassuntiva, con i valori ottenuti dall'elaborazione delle prove:

Tabella 18. Prove dilatometriche

sondaggio	Profondità da p.c.	E
(-)	(m)	(MPa)
TN6	104.5	21457
TN6	94.5	25964

Sono state condotte 3 prove di fratturazione idraulica per la determinazione del coefficiente di spinta a riposo K_0 , che risulta compreso tra 1 e 2,5; di seguito la tabella riassuntiva con i valori dedotti dall'elaborazione delle prove:

Tabella 19. Prove di fratturazione idraulica

Sondaggio	profondità da p.c.	K_{0min}	K_{0max}
(-)	(m)	(-)	(-)
TN6	150	0.99	1.08
TN6	108	2.02	2.07
TN6	99	2.21	2.51

Per la determinazione del coefficiente di permeabilità sono state eseguite 4 prove Lugeon nei fori di sondaggio, a profondità variabili tra 96 e 142 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità k risulta mediamente pari a $4 \cdot 10^{-7}$ (Tabella 20).

Tabella 20. Coefficiente di permeabilità k da prove in sito

Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lugeon	TN6	95.85	4.1E-07
Lugeon	TN6	101.55	3.1E-07
Lugeon	TN6	117.00	4.1E-07
Lugeon	TN6	141.80	3.6E-07

Si rimanda al capitolo § "Rilievi geomeccanici da cassetta" per la valutazione dei valori degli indici RQD e GSI con la profondità.

Le caratteristiche meccaniche dell'ammasso roccioso sono state definite sulla base dell'indice di qualità GSI, da rilievi geostrutturali (Rif 14).

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per la formazione WER. La Tabella 21 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro.

Tabella 21. Sintesi parametri geotecnici

	min	max	
γ	25.2	27.6	(kN/m ³)
σ_{ci}	14.3	99.8	(MPa)
$\sigma_{ci,PLT}$	31.7	103.7	(MPa)
σ_t	3.0		(MPa)
K_0	1.0	2.5	(-)
E_i	8.7	48.4	(GPa)
E	21457.0	25964.0	(MPa)
k	3.12E-07	4.13E-07	(m/s)
RQD	40.0	100.0	(%)
GSI	34.3	85.5	(-)

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IBOQ	LOTTO 3A	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B

Dolomie del Serla Inferiore (SLI)

La formazione è costituita da una dolomia microcristallina da grigio chiara a biancastra, in strati anche metrici, con livelli di arrossamento e paleocarsismo e occasionali intercalazioni di breccie e peliti rossastre. Lo spessore è stato valutato sui 60-70 metri. (Figura 20). La formazione è stata intercettata dal sondaggio TN6 eseguito durante la campagna indagini Italferr 2020-2021.



Figura 20. Dolomie del Serla Inferiore (SLI) nel foro di sondaggio TN6

Sulla base del modello geologico, lo scavo della galleria non intercetta la formazione SLI (Rif. [14]).

Caratteristiche fisiche e meccaniche

Nel sondaggio TN6 sono stati prelevati, alle profondità di 83 m e 119 m da piano campagna, 2 campioni indisturbati sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume dell'unità geotecnica risulta pari a 26,8 e 27,4 kN/m³.

Per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa sono stati presi a riferimento i risultati di una prova di compressione monoassiale e di una prova di trazione indiretta eseguite sui campioni lapidei prelevati dal sondaggio TN6. È stato ricavato un valore di resistenza a compressione monoassiale σ_{ci} pari a 60 MPa. La prova di trazione indiretta ha fornito un valore di resistenza σ_t pari a 11 MPa.

Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato dall'interpretazione di 2 prove di velocità sonica su provino e una prova di compressione monoassiale (CM) condotta con rilievo delle deformazioni. Da quest'ultima è stato determinato il modulo tangente iniziale. I valori dei moduli di elasticità ricavati con le diverse prove mostrano un intervallo del modulo variabile tra 33,6 e 87,8 GPa.

La Tabella 22 riporta i valori del peso dell'unità di volume, della resistenza a compressione monoassiale, resistenza a trazione e del modulo elastico per la roccia intatta, ricavato per ogni campione della formazione SLI.

Tabella 22. Peso di volume, resistenza a compressione monoassiale, resistenza a trazione e modulo di deformabilità da prove di laboratorio

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	σ_{ci}	$\sigma_{ci,PLT}$	σ_t	$E_{i,UNI}$	$E_{i,vel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m ³)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
TN6	A	83.20	26.84	60.42			46.31	33.61
TN6	F	118.70	27.41			11.19		87.80

Per determinare le caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso sono stati elaborati i risultati 2 prove dilatometriche. L'interpretazione della prova è stata condotta determinando i moduli di deformabilità nel ramo di scarico relativo al terzo ciclo. Il modulo elastico E dedotto da tali prove risulta compreso nell'intervallo 4244÷24010 MPa. Di seguito la Tabella 23 riassuntiva, con i valori ottenuti dall'elaborazione delle prove.

Tabella 23. Prove dilatometriche

sondaggio	Profondità da p.c.	E
(-)	(m)	(MPa)
TN6	117.5	24010
TN6	82.5	4244

Sono state condotte 2 prove di fratturazione idraulica per la determinazione del coefficiente di spinta a riposo K_0 , che risulta compreso tra 0,9 e 1; di seguito la tabella riassuntiva con i valori dedotti dall'elaborazione delle prove.

Tabella 24. Prove di fratturazione idraulica

Sondaggio	profondità da p.c.	K_{0min}	K_{0max}
(-)	(m)	(-)	(-)
TN6	125	0.91	0.93
TN6	85	0.92	0.96

Per la determinazione del coefficiente di permeabilità è stata eseguita una prova Lugeon nel foro di sondaggio, alla profondità di 72 m da p.c.. Il coefficiente di permeabilità k risulta pari a $6 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Si rimanda al capitolo § "Rilievi geomeccanici da cassetta" per la valutazione dei valori degli indici RQD e GSI con la profondità.

Le caratteristiche meccaniche dell'ammasso roccioso sono state definite sulla base dell'indice di qualità GSI, da rilievi geostrutturali (Rif 14).

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l'unità SLI. La Tabella 25 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro.

Tabella 25. Sintesi parametri geotecnici

	min	max	
γ	26.8	27.4	(kN/m ³)
σ_{ci}	60.4		(MPa)
σ_t	11.2		(MPa)
K_0	0.9	1.0	(-)
E_i	33.6	87.8	(GPa)
E	4244.0	24010.0	(MPa)
k	6.43E-06	6.43E-06	(m/s)
RQD	35.0	100.0	(%)
GSI	31.8	85.5	(-)

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B

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 (Figura 21). La formazione è stata intercettata dal sondaggio TN4 eseguito durante la campagna indagini Italferr 2020-2021.



Figura 21. Formazione a Bellerophon (BEL) nel foro di sondaggio TN4

Lo scavo della galleria interessa la formazione complessivamente per un'estensione pari a circa 645 m con coperture variabili tra 104 e 133 m rispetto al piano del ferro.

Caratteristiche fisiche e meccaniche

Nel sondaggio TN4 è stato prelevato un unico campione indisturbato alla profondità di 172 m da piano campagna, sottoposto a prove di laboratorio. Si evidenzia che tale campione è stato prelevato in prossimità della faglia Trento-Roncogno, pertanto si ritiene che i valori dedotti e riepilogati nella Tabella 27 possano risentire della presenza del contesto di faglia.

Il peso di unità di volume dell'unità geotecnica è pari a 23 kN/m³.

Per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa è stata eseguita una prova di compressione monoassiale e una Point load test. Il valore di resistenza a compressione monoassiale σ_{ci} risulta pari a 14,7 MPa per la prova di compressione monoassiale e a 9,5 MPa per la prova PLT.

Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato dall'interpretazione di una prova di velocità sonica e una prova di compressione monoassiale (CM) condotta con rilievo delle deformazioni. Da quest'ultime è stato determinato il modulo tangente iniziale. I valori dei moduli di elasticità ricavati con le diverse prove risultano pari a 11,5 e 14,6 GPa.

La Tabella 26 riporta i valori del peso dell'unità di volume, della resistenza a compressione monoassiale e del modulo elastico per la roccia intatta ricavati per il campione della formazione BEL.

Tabella 26. Peso di volume, resistenza a compressione monoassiale e modulo di deformabilità da prove di laboratorio

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	σ_{ci}	$\sigma_{ci,PLT}$	σ_t	$E_{i,UNI}$	$E_{i,vel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m ³)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
TN4	J	172.70	23.31	14.70	9.53		11.45	14.58

Si rimanda al capitolo § “Rilievi geomeccanici da cassetta” per la valutazione dei valori degli indici RQD e GSI con la profondità.

Le caratteristiche meccaniche dell’ammasso roccioso sono state definite sulla base dell’indie di qualità GSI, da rilievi geostrutturali (Rif 14).

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l’unità BEL. La Tabella 27 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro.

Tabella 27. Sintesi parametri geotecnici

	min	max	
γ	23.3		(kN/m ³)
σ_{ci}	14.7		(MPa)
$\sigma_{ci,PLT}$	9.5		(MPa)
E_i	11.5	14.6	(GPa)
RQD	35.0	100.0	(%)
GSI	31.8	85.5	(-)

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IBOQ	LOTTO 3A	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B

Arenarie della Val Gardena (GAR)

La Formazione delle Arenarie della Val Gardena è costituita da 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 (Figura 22). La formazione è stata intercettata dal sondaggio TN4 eseguito durante la campagna indagini Italferr 2020-2021.



Figura 22. Arenarie della Val Gardena (GAR) nel foro di sondaggio TN4

Lo scavo della galleria interessa la formazione complessivamente per un'estensione pari a circa 855 m con coperture variabili tra 106 e 146 m rispetto al piano del ferro.

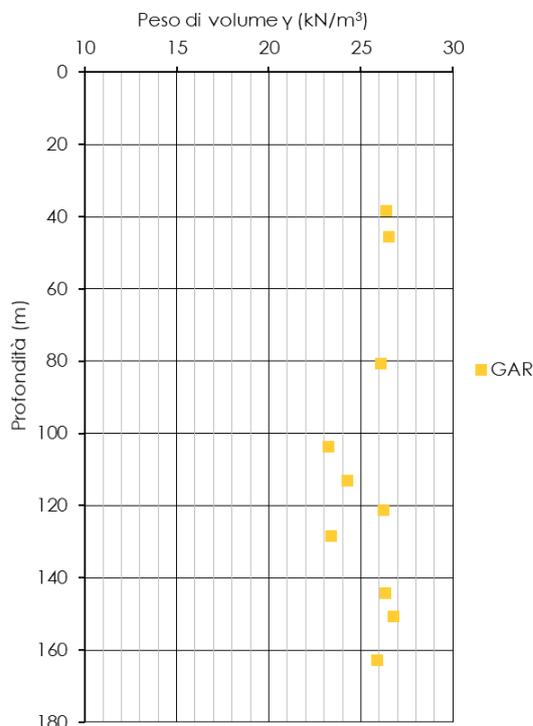
Caratteristiche fisiche e meccaniche

Nel sondaggio TN4 sono stati prelevati, a profondità variabili tra 38 m e 163 m da piano campagna, 10 campioni indisturbati sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume dell'unità geotecnica varia tra 23 e 27 kN/m³ (Figura 23).

Per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa sono stati presi a riferimento i risultati di una prova di compressione monoassiale, una prova di trazione indiretta e 6 di Point load test eseguite sui campioni lapidei prelevati dai fori di sondaggio. La resistenza a compressione monoassiale σ_{ci} risulta pari a 37,6 MPa dalla prova di compressione monoassiale e compresa nell'intervallo 8,9÷52,3 MPa dalle prove PLT (Figura 24). La prova di trazione indiretta ha fornito un valore di resistenza a trazione σ_t pari a 2,4 MPa.

Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato dall'interpretazione di 10 prove di velocità sonica su provino e una prova di compressione monoassiale (CM) condotta con rilievo delle deformazioni. Da quest'ultima è stato determinato il modulo tangente iniziale. I valori dei moduli di elasticità ricavati con le diverse prove mostrano un intervallo del modulo variabile tra 3,3 e 52,7 GPa (Figura 25).


Figura 23. Peso dell'unità di volume γ

La Tabella 28 riporta i valori del peso dell'unità di volume, della resistenza a compressione monoassiale, della resistenza a trazione e del modulo elastico per la roccia intatta, ricavato per ogni campione della formazione GAR.

Tabella 28. Peso di volume, resistenza a compressione monoassiale, resistenza a trazione e modulo di deformabilità da prove di laboratorio

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	σ_{ci}	$\sigma_{ci,PLT}$	σ_t	$E_{i,UNI}$	$E_{i,nel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m^3)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
TN4	A	38.25	26.36					20.93
TN4	B	45.50	26.53	37.60			6.70	25.78
TN4	C	80.65	26.09		24.36			12.72
TN4	D	103.75	23.26		13.70			4.95
TN4	E	113.20	24.27		8.90			4.07
TN4	F	121.25	26.22		13.56			3.34
TN4	G	128.50	23.39		9.17			35.41
TN4	H	144.25	26.34					52.72
TN4	0	150.70	26.75			2.43		36.00
TN4	I	162.75	25.88		52.30			9.04

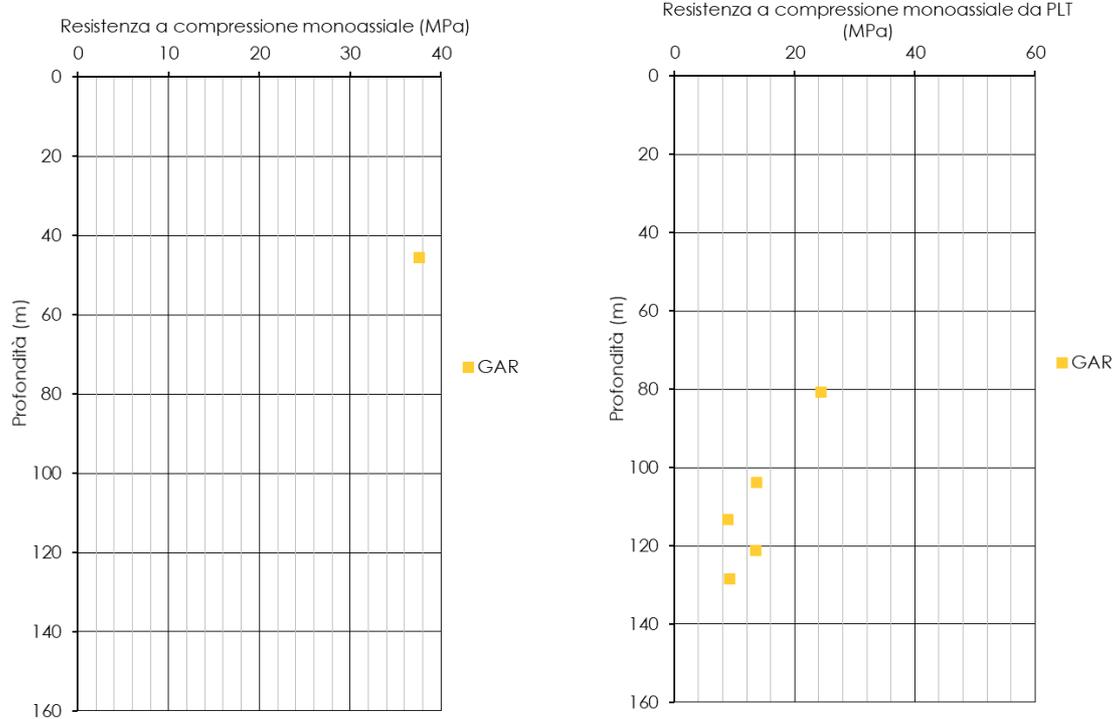


Figura 24. Prove di compressione monoassiale e point load test

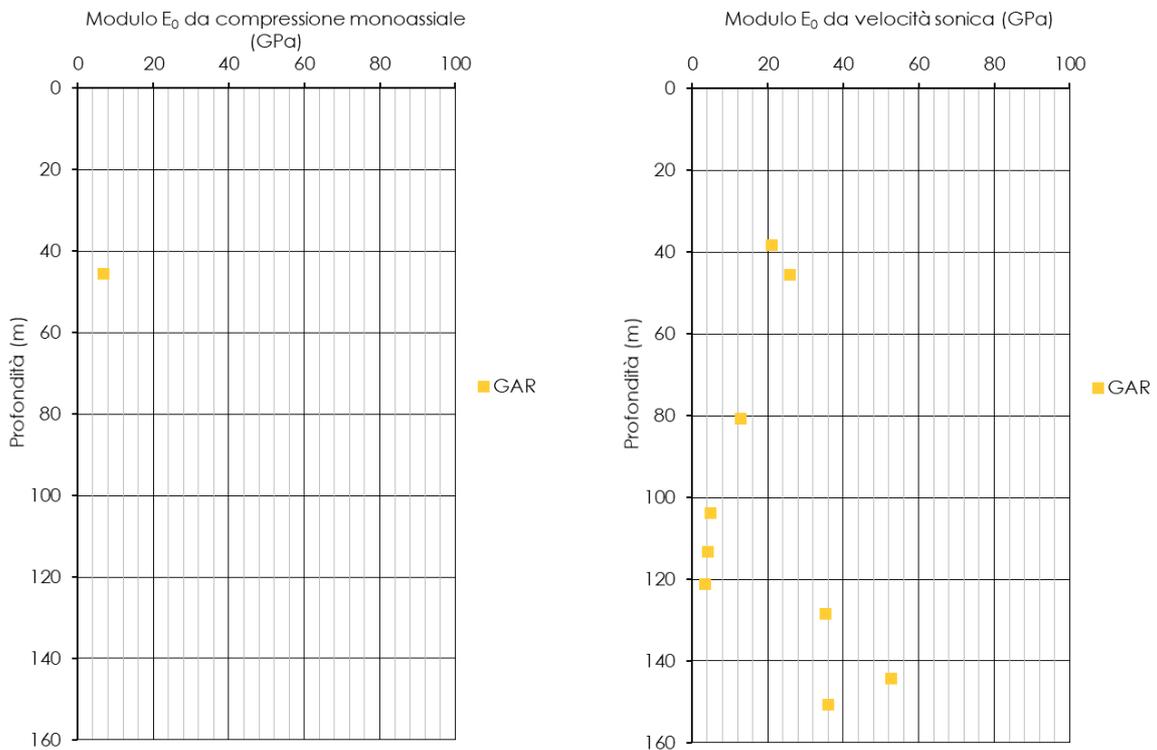


Figura 25. Modulo elastico della roccia intatta

Per determinare le caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso sono stati elaborati i risultati di 5 prove dilatometriche. L'interpretazione della prova è stata condotta determinando i moduli di deformabilità nel ramo di scarico relativo al terzo ciclo. Il modulo elastico E dedotto da tali prove risulta compreso nell'intervallo 912÷1789 MPa. Di seguito la tabella riassuntiva con i valori ottenuti dall'elaborazione delle prove,

Tabella 29. Prove dilatometriche

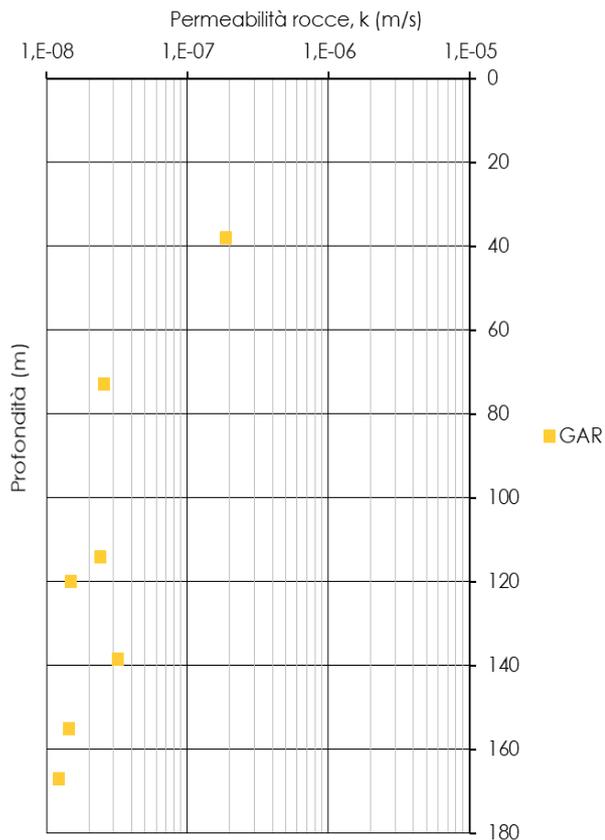
sondaggio	Profondità da p.c.	E
(-)	(m)	(MPa)
TN4	136.5	912
TN4	129.5	1789
TN4	116.5	1619
TN4	77.5	1062
TN4	47.5	1135

Sono state condotte 5 prove di fratturazione idraulica per la determinazione del coefficiente di spinta a riposo K_0 , di seguito la tabella riassuntiva con i valori dedotti dall'elaborazione delle prove.

Tabella 30. Prove di fratturazione idraulica

Sondaggio	profondità da p.c.	K_{0min}	K_{0max}
(-)	(m)	(-)	(-)
TN4	136	0.87	1.04
TN4	122	0.91	1.19
TN4	108	0.86	1.02
TN4	79	1.03	1.26
TN4	66	1.12	1.40

Per la determinazione del coefficiente di permeabilità sono state eseguite 7 prove Lugeon nel foro di sondaggio, a profondità variabili tra 38 e 167 m da p.c.. Il coefficiente di permeabilità k risulta compreso tra $2 \cdot 10^{-7}$ e $1 \cdot 10^{-8}$ m/s (Figura 26).



Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lugeon	TN4	38	1.9E-07
Lugeon	TN4	72.9	2.6E-08
Lugeon	TN4	114	2.4E-08
Lugeon	TN4	120	1.5E-08
Lugeon	TN4	138.5	3.2E-08
Lugeon	TN4	155.1	1.4E-08
Lugeon	TN4	166.95	1.2E-08

Figura 26. Coefficiente di permeabilità

Si rimanda al capitolo § “Rilievi geomeccanici da cassetta” per la valutazione dei valori degli indici RQD e GSI con la profondità.

Le caratteristiche meccaniche dell’ammasso roccioso sono state definite sulla base dell’indice di qualità GSI, da rilievi geostrutturali (Rif 14).

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l'unità GAR. La Tabella 31 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro.

Tabella 31. Sintesi parametri geotecnici

	min	max	
γ	23.3	26.8	(kN/m ³)
σ_{ci}	37.6	37.6	(MPa)
$\sigma_{ci,PLT}$	8.9	52.3	(MPa)
σ_t	2.4	2.4	(MPa)
K_0	0.9	1.4	(-)
E_i	3.3	52.7	(GPa)
E	912.0	1789.0	(MPa)
k	1.23E-08	1.86E-07	(m/s)
RQD	0.0	100.0	(%)
GSI	18.7	85.5	(-)

Zona di faglia Trento-Roncogno

Lungo il tracciato della galleria viene intercettata la faglia Trento-Roncogno di spessore complessivo pari a circa 100 m (Rif. [14]). La faglia è caratterizzata da una estesa fascia di deformazione fragile che solleva le filladi del basamento a sud mettendole a contatto con le unità permo-triassiche, a loro volta sollevate ed in contatto alle unità mesozoiche. L'involuppo generale ha direzione E-W ed è da subverticale a immergente verso S (Figura 27). La faglia è stata intercettata dal sondaggio TN4 eseguito durante la campagna indagini Italferr 2020-2021.



Figura 27. Zona di faglia Trento-Roncogno nel foro di sondaggio TN4

Caratteristiche fisiche e meccaniche

Nel sondaggio TN4 sono stati prelevati, a profondità variabili tra 167 m e 227 m da piano campagna, 4 campioni indisturbati sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume dell'unità geotecnica varia tra 23 e 27 kN/m³.

Per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa sono stati presi a riferimento i risultati di 2 prove PLT eseguite sui campioni lapidei prelevati dai fori di sondaggio. Sono stati ricavati valori di resistenza a compressione monoassiale σ_{ci} pari a 20,7 e 21,7 MPa.

Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato dall'interpretazione di 2 prove di velocità sonica su provino. I valori dei moduli di elasticità ricavati sono pari a 6,8 e 30,8 GPa.

La Tabella 32 riporta i valori del peso dell'unità di volume, della resistenza a compressione monoassiale e del modulo elastico per la roccia intatta, ricavato per la zona di faglia Trento-Roncogno.

Tabella 32. Peso di volume, resistenza a compressione monoassiale e modulo di deformabilità da prove di laboratorio

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	$\sigma_{ci,PLT}$	$E_{i,vel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m ³)		(GPa)
TN4	K	186.75	23.73	21.72	6.81
TN4	L	204.30	25.56	20.74	30.77
TN4	M	214.30	25.58		
TN4	N	227.20	26.46		

Si rimanda al capitolo § Rilievi geomeccanici da cassetta per la valutazione dei valori degli indici RQD e GSI con la profondità.

Le caratteristiche meccaniche dell'ammasso roccioso sono state definite sulla base dell'indice di qualità GSI, da rilievi geostrutturali (Rif 14).

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

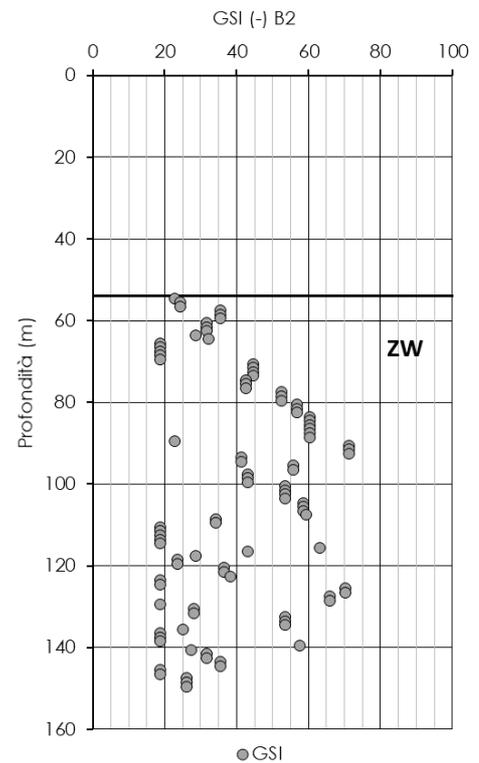
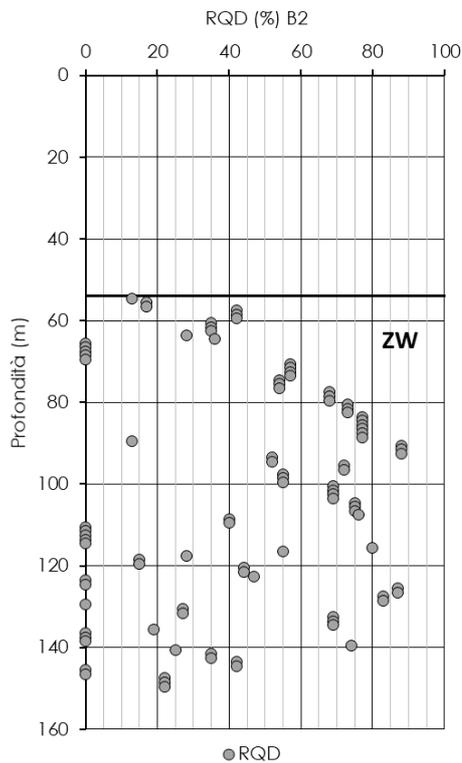
La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per la zona di faglia Trento-Roncogno. La Tabella 33 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro.

Tabella 33. Sintesi parametri geotecnici

	min	max	
γ	23.7	26.5	(kN/m ³)
$\sigma_{ci,PLT}$	20.7	21.7	(MPa)
E_i	6.8	30.8	(GPa)
RQD	0.0	100.0	(%)
GSI	18.7	85.5	(-)

Rilievi geomeccanici da cassetta

Nell'ambito dello studio dei sondaggi B2, TN4 e TN6 sono stati eseguiti i rilievi geomeccanici da cassetta. I risultati della campagna di indagini sono stati elaborati valutando l'indice GSI a partire dall'RQD secondo la formulazione di Truzman e al. (2011). La Figura 28 mostra l'andamento con la profondità dell'indice di qualità e dell'RQD distinto per formazione geologica, per i tre sondaggi realizzati.



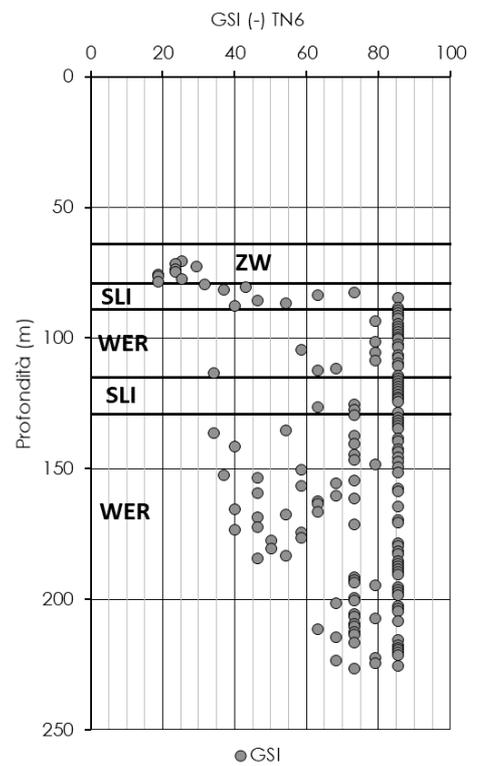
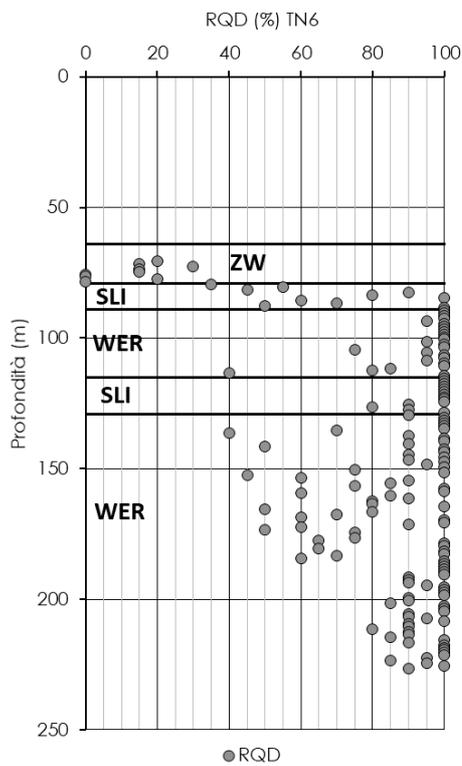
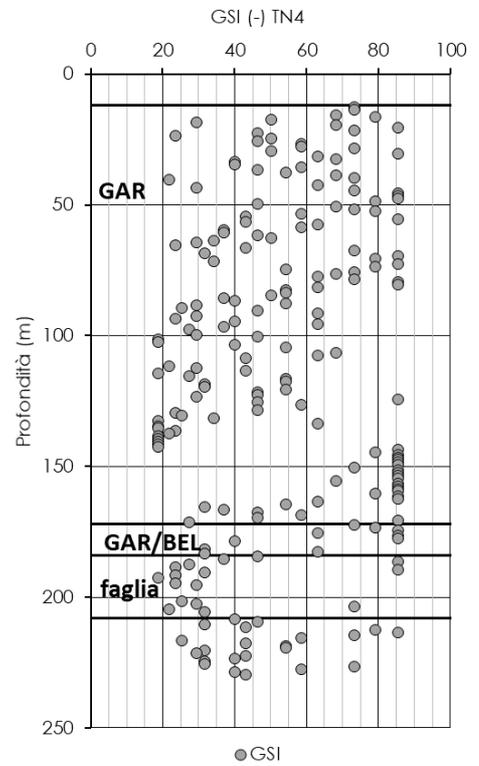
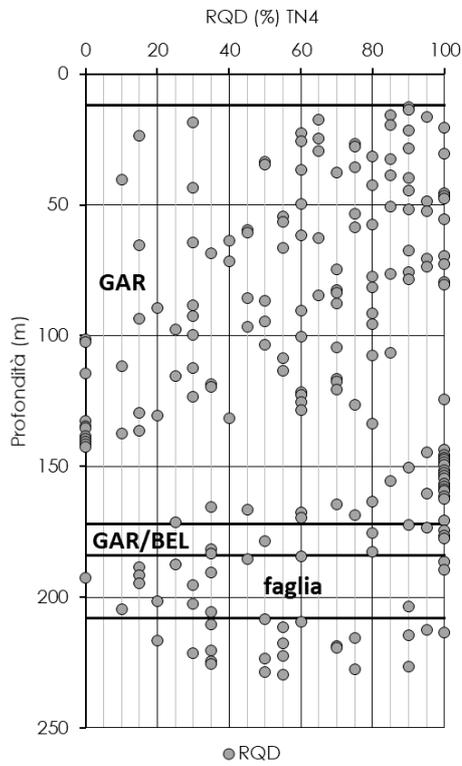


Figura 28. Indice GSI e RQD per i sondaggi B2, TN4 e TN6

Unità geotecniche

L'analisi e l'interpretazione di tutti i dati e le informazioni ad oggi disponibili hanno portato ad individuare formazioni assimilabili dal punto di vista geotecnico, anche con riferimento al progetto RFI-PAT. Ciò ha consentito di definire le "Unità geotecniche" riportate nella Tabella 34.

Tabella 34. Unità geotecniche

Formazioni geologiche	Unità geotecnica	Descrizione
FPP, CHI, SAA	1	Calcari micritici
MAI, ARV		
RTZ, FMZ	2	Calcari grigi
LOP		
DPR	3	Dolomie
VFS	4	Filladi
ICT, ICTc	5	Vulcaniti
LUB		
GAR	6	Arenarie
GLS, SLI	7	Dolomie, dolomie calcareo marnose, alternanze di calcari, dolomie, siltiti e marne
WER, BEL		
GIV3	8	Calcari e dolomie intercalati da sottili livelli pelitici
TVZ, ZW	9	Dolomie con sottili intercalazioni di marne; calcari, calcari e marne fittamente stratificati e livelli argillosi
PTG	10	Ghiaie, sabbie e limi

La caratterizzazione geotecnica degli ammassi rocciosi è stata effettuata a partire dalla stima dei valori dell'indice GSI (Geological Strength Index) e della resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta σ_{ci} sulla base dei rilievi geostrutturali eseguiti durante le campagne di indagine 2003-2007 (RFI e PAT) e 2014-2015 (Italferr) (cfr. § 9.3), integrati, ove disponibili, dai risultati della campagna di indagine 2020-2021 (Italferr) (cfr § 9.3 e 9.4).

Nella Tabella 35 è riepilogata la definizione delle Unità geotecniche omogenei con l'indicazione del range di variabilità dell'indice GSI, in funzione delle condizioni attese lungo lo sviluppo della galleria Trento, e del valore di resistenza a compressione monoassiale della roccia intatata σ_{ci} .

Per la caratterizzazione del gruppo geotecnico 7_2 si è fatto principalmente riferimento ai valori dedotti dalle prove per la formazione WER, in quanto nella formazione di Bellerophon (BEL) è stato prelevato un solo provino in prossimità della zona di faglia Trento-Roncogno.

Tabella 35. Definizione parametri per gruppo omogeneo

Formazione geologica	Unità geotecniche e sottogruppi	γ [kN/m ³]	GSI	m_i	σ_{ci} [MPa]
FPP	1a_1 condizioni ordinarie di fratturazione 1b_1 zone di faglia	24	40-50 15-20	8	30
CHI					
SAA					
MAI	1a_2 condizioni ordinarie di fratturazione H<150m 1b_2 zone di faglia	25	50-60 20-25	11	40
ARV					
RTZ	2a condizioni ordinarie di fratturazione H<150m 2b zone di faglia	25	50-60 20-25	10	80
FMZ					
LOP					
DPR	3a condizioni ordinarie di fratturazione per H<=150m 3b zone di faglia	26	40-50 15-20	10	90
VFS	4a condizioni ordinarie di fratturazione 4b zone di faglia	27	30-40 10-15	7	35
ICT	5_1 condizioni ordinarie di fratturazione	22	60-70	13	20
ICTc					
LUB	5_2 condizioni ordinarie di fratturazione	23	40-50	15	80
GAR	6a condizioni ordinarie di fratturazione 6b zone di faglia	25	30-40 15-20	13	35
GLS	7a_1 condizioni ordinarie di fratturazione 7b_1 zone di faglia	27	45-55 15-20	10	50
SLI					
WER	7a_2 condizioni ordinarie di fratturazione	24	40-50	8	35

Formazione geologica	Unità geotecniche e sottogruppi	γ [kN/m ³]	GSI	m_i	σ_{ci} [MPa]
BEL	7b_2 zone di faglia		15-20		
GIV3	8a condizioni ordinarie di fratturazione 8b zone di faglia	27	40-50 15-20	8	35
TVZ	9a condizioni ordinarie di fratturazione $H \leq 500m$ 9b zone tra faglie successive ravvicinate	26	30-45 20-30	8	30
ZW	9c zone di faglia		10-15		

I principali parametri fisici e meccanici dei terreni, rappresentati dal Sistema postglaciale alpino (PTG), sono riportati nella Tabella 36.

Tabella 36. Sintesi dei parametri fisici e meccanici per i terreni

Unità litostratigrafiche	γ [kN/m ³]	c' [MPa]	ϕ' [°]	E [GPa]
PTG	18	0	32-43	0,03-0,12

9.5 Il regime idraulico

Sono disponibili misure puntuali nei sondaggi attrezzati con piezometri relative alla campagna indagini 2003-2007 RFI e PAT e alla campagna indagini 2014-2015 Italferr S.p.A. (Rif. [14]): ciò ha permesso di ricostruire un'ipotesi del carico idraulico lungo il tracciato della galleria, che nella successiva fase progettuale sarà verificata con adeguate indagini e misure in sito.

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B

10 FASE DI DIAGNOSI

Nella fase di diagnosi, sulla base del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuati nella fase conoscitiva, si procede alla previsione della risposta tensio-deformativa dell'ammasso allo scavo, in assenza di interventi di stabilizzazione. La valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo è condotta con riferimento alle tre categorie di comportamento fondamentali individuate nel metodo ADECO-RS (Rif. [17]), di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

10.1 Classi di comportamento del fronte di scavo

Secondo l'approccio ADECO-RS (Rif. [17]) la previsione dell'evoluzione dello stato tensionale a seguito dell'apertura di una galleria è possibile attraverso l'analisi dei fenomeni deformativi, che forniscono indicazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine. Dati sperimentali e analisi teoriche hanno dimostrato che il comportamento della cavità è significativamente condizionato, oltre che dalle caratteristiche geometriche della galleria stessa e dai carichi litostatici, anche dalle caratteristiche di resistenza e di rigidità del nucleo d'avanzamento, inteso come il volume di terreno a monte del fronte di scavo. Se il nucleo non è costituito da materiale sufficientemente rigido e resistente da mantenere in campo elastico il proprio comportamento tensio-deformativo, si sviluppano fenomeni deformativi e plasticizzazioni rilevanti in avanzamento, a cui consegue l'evoluzione verso condizioni di instabilità del fronte e del cavo. Se, invece, il comportamento del nucleo d'avanzamento si mantiene in campo elastico, il nucleo stesso svolge un'azione di precontenimento del cavo, che si mantiene a sua volta in condizioni elastiche, conservando le caratteristiche di massima resistenza del materiale attraversato e quindi configurazioni di stabilità.

Sulla base di tali considerazioni, il comportamento del nucleo-fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente ricondotto alle seguenti tre categorie:

Categoria A: nucleo-fronte stabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità non supera le caratteristiche di resistenza dell'ammasso; in tal caso le deformazioni sono prevalentemente elastiche, di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente con la distanza dal fronte. Il fronte di scavo e il cavo sono stabili e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di stabilizzazione, se non localizzati e in misura ridotta. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

Categoria B: nucleo-fronte stabile a breve termine

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità, a seguito delle operazioni di scavo, raggiunge la resistenza dell'ammasso. I fenomeni deformativi sono di tipo elasto-plastico, di maggiore entità rispetto al caso precedente. Nell'ammasso può prodursi una eventuale riduzione delle caratteristiche di resistenza con decadimento verso i parametri residui. La risposta tensio-deformativa può essere opportunamente controllata con adeguati interventi di preconsolidamento del fronte e/o di consolidamento al contorno del cavo. In tal modo si fornisce l'opportuno contenimento all'ammasso perché mantenga un comportamento stabile. Nel caso non si prevedano interventi, lo stato tensio-deformativo può evolvere verso situazioni di instabilità del cavo in fase di realizzazione. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B

Categoria C: nucleo-fronte instabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui, superata la resistenza del terreno, i fenomeni deformativi evolvono molto rapidamente in campo plastico, producendo la progressiva instabilità del fronte di scavo e un incremento dell'estensione della zona dell'ammasso decompressa ed plasticizzata al contorno della cavità, con rapido decadimento delle caratteristiche meccaniche del materiale. L'espansione della fascia di materiale decompresso al contorno del cavo deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo, mediante interventi di preconsolidamento in avanzamento, che consentono di creare artificialmente l'effetto arco per far evolvere la risposta tensio-deformativa verso configurazioni di stabilità.

10.2 Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo

Tenendo conto delle condizioni geotecniche e di copertura, delle condizioni idrauliche al contorno, delle variabilità attese lungo il tracciato della galleria e delle possibili conseguenze per comportamenti imprevisti, è possibile concludere quanto segue:

- nel primo tratto di galleria a partire dall'imbocco Sud, interessato per circa 260 m dai terreni appartenenti al Sistema Postglaciale Alpino (PTG), è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C (instabile); stesso comportamento si prevede per la formazione ZW in corrispondenza dell'attraversamento delle tratte in faglia. Comportamento di tipo instabile è anche previsto nell'attraversamento della faglia Trento-Roncogno, in prossimità della pk 9+425 b.p., e dell'ultimo tratto di galleria naturale, di circa 70m, caratterizzato da una zona di faglia a bassa copertura che interessa la formazione di Chiusole (CHI).
- Un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria B (stabile a breve termine) è atteso nell'attraversamento di zone in faglia all'interno delle formazioni GIV3, WER, ARV ed RTZ, oltre alle due tratte comprese tra faglie ravvicinate nella formazione ZW. Nelle formazioni appartenenti al gruppo omogeneo 1, un comportamento stabile a breve termine è atteso per la tratta compresa tra le pk 10+775 e 11+250 b.p..
- Si prevede una risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in campo elastico, quindi stabile (categoria di comportamento di tipo A), per le restanti tratte interessate dallo scavo della galleria Trento.

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato della galleria sono illustrate in forma sintetica nell'elaborato di progetto "Galleria Trento - Profilo Geotecnico" (Rif. [28]).

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO									
	RELAZIONE SOTTERRANEO	TECNICA	DELLE	OPERE	IN	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B

11 FASE DI TERAPIA

Nel presente capitolo sono definiti gli interventi necessari per garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine, in accordo con le indicazioni provenienti dalla fase conoscitiva e dall'analisi del comportamento deformativo allo scavo (fase di diagnosi). Sono, quindi, descritte le caratteristiche principali delle sezioni tipo di avanzamento e il loro campo di applicazione.

In merito alla definizione delle carpenterie, si precisa che gli spessori ipotizzati derivano da valutazioni preliminari e sono quindi indicativi. Il dimensionamento delle opere sarà approfondito nella successiva fase progettuale, anche con riferimento al soddisfacimento dei requisiti di resistenza al fuoco (Rif. [2]), (Rif. [4]).

11.1 Definizione del metodo di scavo

A seguito dell'analisi del tracciato plano-altimetrico, dell'inquadramento geologico-idrogeologico, della previsione della risposta deformativa allo scavo (determinazione della categoria di comportamento) e in funzione della configurazione della galleria, deriva la scelta del metodo di scavo più appropriato per la realizzazione della galleria naturale di progetto.

I principali criteri considerati nella scelta del metodo di scavo sono:

- esigenza di operare nelle migliori condizioni di sicurezza in fase realizzativa (per l'ambiente e per gli addetti ai lavori);
- superamento di zone potenzialmente critiche dal punto di vista geologico, geomorfologico ed idrogeologico (fasce tettonizzate, elevati carichi idraulici, attraversamento di zone a bassa copertura);
- contenimento del fronte di scavo per evitare possibili instabilità del fronte medesimo legate alle condizioni geotecniche ed idrogeologiche degli ammassi attraversati;
- lunghezza delle gallerie e necessità di velocizzare le fasi di scavo e di rivestimento senza fronti d'attacco intermedi.

Questi criteri base hanno portato alla scelta del sistema meccanizzato per lo scavo della galleria naturale. La scelta del sistema meccanizzato consente di realizzare lo scavo delle gallerie a doppia canna da due punti d'attacco, posti all'imbocco Sud e all'imbocco Nord. Il ricorso al metodo di scavo in tradizionale, per poter garantire gli stessi tempi di realizzazione dell'opera, richiederebbe l'esecuzione di finestre o pozzi di attacco intermedi di notevole sviluppo, impatto e dispendio economico.

Si prevede l'impiego di macchine scudate TBM-S (Tunnel Boring Shield-Machine) a testa rotante a piena sezione in grado di garantire un elevato standard di sicurezza associata a produzioni elevate; l'utilizzo di macchine scudate consente di superare i limiti legati allo scavo con frese aperte in formazioni che possono risultare instabili.

È previsto lo scavo in tradizionale per tutte le opere accessorie previste lungo il tracciato quali collegamenti trasversali e nicchie tecnologiche.

Nei paragrafi che seguono sono affrontate nel dettaglio le modalità realizzative previste per le opere in sotterraneo di progetto. Per i tempi e le fasi esecutive di tali opere si rimanda agli specifici elaborati di progetto (Rif. [16]).

11.2 Metodo di scavo della galleria naturale

Per la galleria a doppia canna sono state valutate diverse tipologie di Tunnel Boring Machine (TBM), individuando quella ritenuta più valida in base alle risultanze delle fasi conoscitiva e di diagnosi.

Scelta della tipologia di TBM

Per l'attenuazione dei rischi e per incrementare le velocità di produzione, la scelta della tipologia di TBM si è orientata in questa fase di progettazione sull'impiego di una TBM monoscudata, equipaggiata con un sistema "dual-mode", che permette di condurre lo scavo sia in condizioni di fronte instabile (in modalità "chiusa" EPB - Earth Pressure Balance), sia nelle formazioni rocciose in condizioni di fronte stabile (in modalità "aperta"). Tale tipologia di macchina consente da un lato il superamento di condizioni complesse dal punto di vista geologico e geotecnico (zone di faglia e tratte a bassa copertura), limitando sensibilmente i risentimenti indotti al contorno dell'opera in sotterraneo, dall'altro di massimizzare la produzione durante lo scavo nelle formazioni rocciose in condizioni di fronte stabile.

La macchina sarà munita di un'opportuna testa fresante che consente di scavare sia nei terreni sia nella roccia e dovrà essere predisposta per consentire il cambio degli utensili installati senza procedere a modifiche sulla testa.

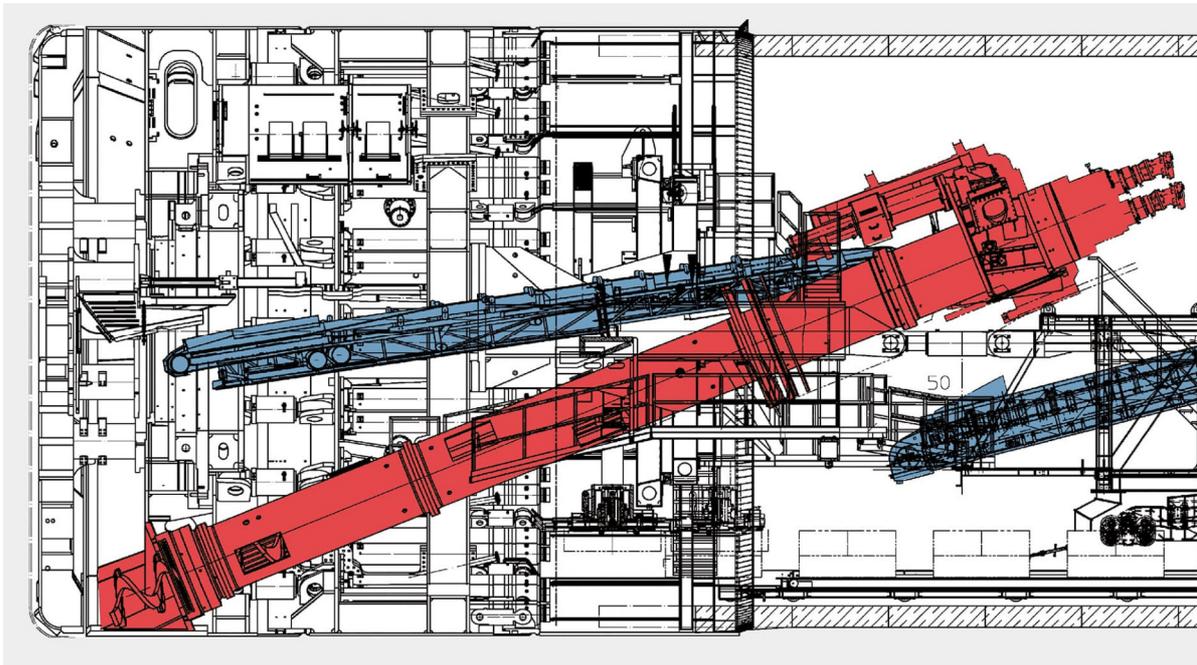


Figura 29. TBM Dual mode

Il sistema di smarino utilizzato quando la macchina lavora in modalità EPB (sia con camera completamente piena che parzialmente in pressione) è la coclea, mentre in modalità aperta "Open face" viene utilizzato un nastro trasportatore primario.

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B

Modalità di avanzamento

La TBM avanzerà in modalità EPB con camera piena e in pressione solo nelle tratte lunghe a comportamento instabile tipo C. Nelle restanti tratte potrà avanzare in modalità EPB con camera parzialmente vuota senza pressione o in modalità aperta nei tratti in roccia a comportamento stabile.

In particolare, l'avanzamento in modalità EPB con applicazione di pressione al fronte è al momento previsto:

- nel primo tratto di galleria, interessato per circa 260 m dai terreni appartenenti al Sistema Postglaciale Alpino (PTG);
- come eventuale nella formazione ZW in corrispondenza dell'attraversamento delle tratte in faglie;
- per l'attraversamento della faglia Trento-Roncogno, in prossimità della pk 9+425 b.p.;
- nella zona di faglia che interessa la formazione CHI in prossimità della zona di imbocco Nord, in prossimità della pk 11+275 b.p..

Si sottolinea che nella successiva fase progettuale dovranno essere approfondite le indagini e le analisi di comportamento per confermare o, eventualmente, modificare l'estensione di tali tratte. Appare, peraltro, evidente che la TBM è in grado di poter esercitare la pressione al fronte dove le evidenze di campo ne richiameranno la necessità o viceversa.

Numero di TBM e fasi di lavoro

Considerato lo sviluppo della galleria naturale, pari a 10,6 km c.a., si ritiene opportuno, ai fine di ottimizzare i tempi di realizzazione, utilizzare due coppie di macchine.

L'avvio di due delle quattro TBM è previsto dall'imbocco lato Sud alla progressiva km 0+839,43 b.p., mentre le altre due partiranno dall'imbocco lato Nord alla progressiva 11+319.76 b.p..

La partenza delle due TBM da Sud è prevista all'interno di una galleria artificiale scatolare che è l'opera terminale della trincea di imbocco in località Acquaviva. A tergo della paratia frontale di attacco in naturale verrà realizzato un intervento di consolidamento del terreno da piano campagna, per un'estensione di circa 15 m, propedeutico alla partenza della TBM ed alla stabilità della paratia frontale di attacco in naturale. Il pozzo potrà essere lasciato aperto (ad eccezione del tratto sovrappassato dalla Statale 12) per tutta la durata degli scavi al fine di consentire le attività di cantiere connesse con lo smaltimento dello smarino, l'approvvigionamento in galleria dei concii e di quanto necessario all'avanzamento delle TBM. Tale scelta, comunque, è demandata all'organizzazione di cantiere nella fase di appalto.

Anche le due TBM da Nord partiranno all'interno di una galleria artificiale scatolare, per i dettagli della quale si rimanda agli elaborati specialistici di riferimento (Rif. [15]).

Al termine dello scavo gli scudi delle frese saranno lasciati in posto e le altre componenti delle macchine saranno smontate e riportate indietro attraverso le gallerie scavate per essere poi evacuate in corrispondenza degli imbocchi Sud e Nord. Il punto di incontro delle due TBM dipenderà dalle velocità di avanzamento dei due fronti nord e sud e sarà definito più in dettaglio in relazione alle caratteristiche geotecniche.

Il rivestimento dei tratti occupati dagli scudi delle frese sarà gettato in opera.



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA
IB0Q

LOTTO
3A

CODIFICA
R07RH

DOCUMENTO
GN 00 00 001

REV.
B

FOGLIO
68 di 77

Sezione di avanzamento

La sezione tipo ha le seguenti caratteristiche (Rif. [31]):

- raggio interno: 4,20 m
- diametro scavo: 9,6 m
- tipologia anello: universale
- numero conci: 6+1
- spessore conci: 0,45 m
- lunghezza conci: 1,50 m
- guarnizioni in EPDM integrate su ciascun concio (sia longitudinali che radiali).

Si è scelto di adottare un anello di tipo universale, che consente, mediante la semplice rotazione attorno al proprio asse di un anello rispetto al precedente, di sfalsare i giunti longitudinali e di seguire l'andamento plano-altimetrico del tracciato e di apportare le eventuali necessarie correzioni in corso d'opera, senza ricorrere ad elementi speciali.

Lo scavo con TBM-Dual mode, grazie anche all'iniezione del bicomponente a tergo dei conci, garantisce un'impermeabilizzazione "full round".

11.3 Metodo di scavo delle opere accessorie

L'avanzamento in tradizionale è previsto per la realizzazione dei by-pass e delle nicchie tecnologiche presenti lungo lo sviluppo della galleria naturale.

Lo scavo dei by-pass sarà eseguito a fine scavo delle due canne e prevederà interventi di blindaggio dei conci prefabbricati ed eventuali consolidamenti prima della demolizione del rivestimento e dell'avvio dello scavo.



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA
IB0Q

LOTTO
3A

CODIFICA
R07RH

DOCUMENTO
GN 00 00 001

REV.
B

FOGLIO
69 di 77

11.4 Rischi potenziali

Sono di seguito descritte le principali criticità, legate al contesto geologico, idrogeologico, geotecnico e ambientale, che potrebbero avere ripercussioni sulla fase realizzativa della galleria, e le conseguenti azioni di mitigazione previste in progetto. La mappatura dei diversi rischi è illustrata nell'elaborato "Galleria Trento - Profilo geotecnico" (Rif. [28]).

Instabilità del fronte e del cavo

Fenomeni di instabilità possono interessare lo scavo a bassa copertura in prossimità della zona di imbocco Sud, nella zona di faglia a bassa copertura che interessa la formazione CHI in prossimità della zona di imbocco Nord e l'attraversamento di zone tettonizzate e intensamente fratturate in corrispondenza della formazione ZW e l'attraversamento della faglia Trento-Roncogno.

In queste tratte si prevede l'avanzamento in modalità chiusa, con applicazione della pressione al fronte; inoltre, dovrà essere adottato uno specifico protocollo di avanzamento in fase realizzativa che garantisca il controllo delle pressioni applicate e la massima continuità possibile delle operazioni di scavo (programmazione dei fermi macchina per interventi di manutenzione al di fuori di tali tratte).

Presenza di quarzo in elevate quantità

Sulla base dello studio geologico (Rif. [14]) è stata riscontrata la presenza di quarzo nelle Filladi Quarzifere del Basamento Metaforfico (VFS) e nella Formazione di Buss (LUB), per una tratta complessiva di circa 900 m. Il rischio associato alla presenza di quarzo in elevate quantità è stato definito "medio" per entrambe le formazioni VFS e LUB.

Per l'avanzamento con TBM, la presenza di quarzo nelle formazioni attraversate comporta il rischio di elevata usura dei cutters della testa fresante con la necessità di frequenti fermi per la sostituzione degli utensili. Tale rischio comporta la necessità di adeguata progettazione della testa fresante (scelta dei materiali impiegati per i taglienti) e la corretta pianificazione delle manutenzioni per sostituzione utensili.

Presenza di gas metano

Lo studio geologico esclude la presenza di gas metano.

Presenza di cavità carsiche/masse rocciose carsificate

Evidenze di carsismo si riscontrano nelle formazioni appartenenti al "Gruppo dei Calcarei Grigi" ed in misura minore nella Dolomia Principale (DPR).

Le problematiche legate alla presenza del carsismo dovranno essere approfondite nelle successive fasi della progettazione nei tratti che attraversano il "Gruppo dei Calcarei Grigi". In tali tratte, si dovrà prevedere che la TBM sia attrezzata per eseguire indagini in avanzamento, consistenti in perforazioni di sondaggio e rilievi di

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B

tipo geofisico al fine di individuare, in anticipo rispetto all'avanzamento, la presenza di eventuali cavità carsiche. Tale aspetto sarà approfondito nella successiva fase progettuale con opportune indagini.

Venute d'acqua in galleria

Il rischio di venute d'acqua in galleria è relativo esclusivamente alla fase transitoria di scavo, in quanto la galleria sarà rivestita con struttura impermeabile. Il potenziale rischio di venute d'acqua concentrate e con portate significative in fase di scavo dipende dalla conducibilità idraulica dei materiali attraversati e dal carico idraulico. Le formazioni rocciose attraversate sono caratterizzate da permeabilità per fratturazione bassa/media e per fratturazione e carsismo; mentre i depositi quaternari appartenenti al Sistema Postglaciale Alpino (PTG) hanno una permeabilità per porosità alta.

In considerazione di quanto sopra, e dei livelli piezometrici presunti, il rischio di venute d'acqua in fase di scavo è stimato generalmente molto basso/basso. Il rischio è classificato medio solo in tratte molto limitate e relative alle zone di faglia, dove è possibile un aumento delle permeabilità a causa della maggiore fratturazione e nella zona in cui la galleria attraversa i calcari grigi per effetto di fenomeni di carsismo.

In presenza di carichi idraulici fino all'ordine di 4-5bar la pressione del fronte esercitata dalla macchina in modalità EPB è in grado di scongiurare il moto idraulico. In prossimità delle zone a più alto rischio si potranno eseguire sondaggi in avanzamento per acquisire informazioni in anticipo agli scavi: laddove dovessero prevedersi/riscontrarsi portate d'acqua al fronte di scavo il rischio sarà mitigato con drenaggio preventivo e controllato eseguito dalla macchina.

Interferenza con sorgenti

Lo studio idrogeologico delle sorgenti ha evidenziato attraverso il metodo DHI (Rif. [14]) che il rischio è limitato a livello medio per 6 sorgenti. Nelle successive fasi progettuali verranno effettuati approfondimenti mirati sul livello piezometrico, sulla permeabilità dei terreni incontrati in galleria nei pressi di tali sorgenti e accertando il reale collegamento tra deflusso superficiale e profondo. Qualora confermato, tale rischio (presente solo nella fase transitoria di scavo) potrà essere mitigato attraverso il controllo del drenaggio e un attento monitoraggio in fase di avanzamento.

Esposizione ambientale e attacco chimico

Nella Formazione di Werfen (WER) e nelle Arenarie di Val Gardena (GAR) è stata rilevata la presenza di gesso Rif. [14]) che comporta un rischio di aggressività chimica nei confronti del rivestimento della galleria. La mitigazione consisterà nell'adozione di un calcestruzzo di adeguata classe di esposizione (XA).

Fenomeni di squeezing

Fenomeni di squeezing sono probabili solo in tratte limitate del tracciato interessate dallo scavo meccanizzato: nell'attraversamento delle Filladi (VSF) a copertura maggiore e nell'attraversamento del Gruppo dello Zwischenbildungen (ZW) nelle zone in faglia.

In questa fase progettuale, il potenziale rischio di fenomeni di squeezing è stato analizzato facendo ricorso a metodi semi-empirici di Jethwa e Hoek e Marinos che forniscono indicatori di occorrenza del fenomeno e una stima delle deformazioni attese. Il metodo di Jethwa et al. (1984) si basa sul confronto tra la resistenza a compressione uniassiale dell'ammasso e lo stato tensionale originario.

$$N_c = \frac{\sigma_{cm}}{p_0} = \frac{\sigma_{cm}}{\gamma H}$$

dove:

σ_{cm} = resistenza a compressione uniassiale dell'ammasso roccioso

p_0 = tensione litostatica

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso roccioso

H = profondità della galleria

e fornisce la seguente classificazione:

$\frac{\sigma_{cm}}{p_0}$	Livello di squeezing Metodo di Jethwa et al.
< 0,4	Highly squeezing
0,4 – 0,8	Moderately squeezing
0,8-2	Mildly squeezing
>2	Non squeezing

L'approccio di Hoek e Marinos (2000) si basa sulla relazione tra il rapporto $\frac{\sigma_{cm}}{p_0}$ e la deformazione del cavo ε_t :

$$\varepsilon_t = 0,15 \left(1 - \frac{p_i}{p_0} \right) \cdot \frac{\sigma_{cm}}{p_0} - \left(\frac{3 \frac{p_i}{p_0} + 1}{3,8 \frac{p_i}{p_0} + 0,54} \right)$$

dove:

σ_{cm} = resistenza a compressione uniassiale dell'ammasso roccioso

p_0 = tensione litostatica

p_i = pressione esercitata da un supporto interno.

La resistenza a compressione dell'ammasso roccioso è definita in funzione dell'indice GSI e dei parametri σ_{ci} e m_i della matrice intatta:

$$\sigma_{cm} = (0,0034 m_i^{0,8}) \sigma_{ci} \{ 1,029 + 0,025 e^{(-0,1 m_i)} \}^{GSI}$$

Sulla base di numerosi casi reali, la correlazione tra la deformazione ε_t e il rapporto $\frac{\sigma_{cm}}{p_0}$ è associata alla classificazione del livello di *squeezing* di seguito riassunta:

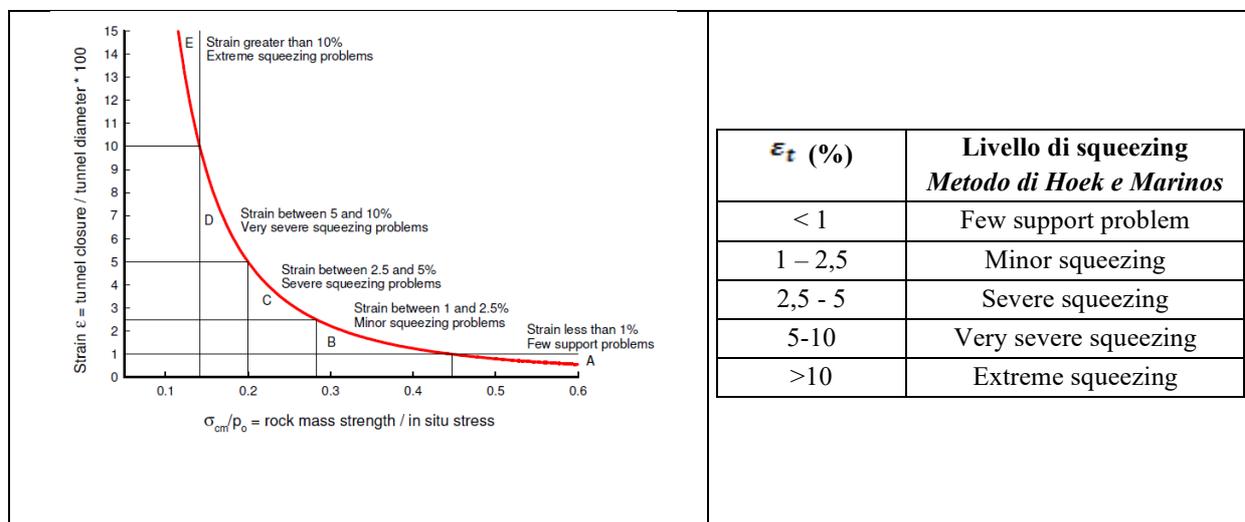


Figura 30. Definizione del livello squeezing (Hoek e Marinos, 2000)

Per la galleria Trento, le analisi sono state condotte per diverse classi di coperture e per diversi valori dei parametri di resistenza, rappresentativi delle differenti condizioni geotecniche che possono presentarsi nello scavo della galleria. Di seguito sono illustrati i risultati.

Tabella 37. Analisi squeezing

VFS - Gruppo omogeneo 4

Copertura (m)	γ (kN/m ³)	P_0 (MPa)	m_i	σ_{ci} (MPa)	GSI	σ_{cm} (MPa)	N_c	P_i (MPa)	ϵ_t (%)	ϵ_f (%)	Comportamento Metodo di Jethwa et al. (1984)	Comportamento Hoek & Marinos (2000)
80	27	2,16	7	35	30	1,907	0,88	0	0,189	0,481	Mildly squeezing	Few support problems
90	27	2,43	7	35	30	1,907	0,78	0	0,235	1,481	Moderately squeezing	Few support problems
100	27	2,7	7	35	30	1,907	0,71	0	0,286	2,481	Moderately squeezing	Few support problems
110	27	2,97	7	35	30	1,907	0,64	0	0,341	3,481	Moderately squeezing	Few support problems
120	27	3,24	7	35	30	1,907	0,59	0	0,400	4,481	Moderately squeezing	Few support problems
130	27	3,51	7	35	30	1,907	0,54	0	0,464	5,481	Moderately squeezing	Few support problems
140	27	3,78	7	35	30	1,907	0,50	0	0,533	6,481	Moderately squeezing	Few support problems

TVZ/ZW in faglia - Gruppo omogeneo 9

Copertura (m)	γ (kN/m ³)	P_0 (MPa)	m_i	σ_{ci} (MPa)	GSI	σ_{cm} (MPa)	N_c	P_i (MPa)	ϵ_t (%)	ϵ_f (%)	Comportamento Metodo di Jethwa et al. (1984)	Comportamento Hoek & Marinos (2000)
85	25	2,13	8	30	10	0,799	0,38	0	0,919	25,467	Highly squeezing	Few support problems
65	25	1,63	8	30	10	0,799	0,49	0	0,559	2,457	Moderately squeezing	Few support problems
105	25	2,63	8	30	10	0,799	0,30	0	1,358	1,753	Highly squeezing	Minor squeezing
125	25	3,13	8	30	10	0,799	0,26	0	1,876	1,384	Highly squeezing	Minor squeezing
150	25	3,75	8	30	10	0,799	0,21	0	2,630	1,088	Highly squeezing	Severe squeezing
70	25	1,75	8	30	20	1,185	0,68	0	0,309	0,498	Moderately squeezing	Few support problems
140	25	3,50	8	30	20	1,185	0,34	0	1,115	0,373	Highly squeezing	Minor squeezing

Il metodo di Jethwa fornisce risultati più conservativi, ma non permette la definizione dei corrispondenti livelli deformativi. Secondo il criterio di Hoek e Marinos, si evidenzia quanto segue:

**ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA****ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA****LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO**RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEOCOMMESSA
IB0QLOTTO
3ACODIFICA
R07RHDOCUMENTO
GN 00 00 001REV.
BFOGLIO
73 di 77

- per le Filladi e Filladi quarzifere (VFS) si osserva la possibilità di sviluppare deformazioni inferiori all'1% (*few support problems*),
- per il Gruppo omogeneo 9 nell'attraversamento di zone di faglia l'analisi determina un potenziale comportamento variabile da *few support problems*, per le coperture minori, a *severe squeezing* in corrispondenza della massima copertura.

Il rischio legato al possibile sviluppo di fenomeni di squeezing risulta, quindi, basso, ad eccezione della tratta in faglia nella formazione ZW attraversata con copertura di 150 m circa dove risulta medio (cfr. "Galleria Trento - Profilo Geotecnico"). Tale rischio può essere mitigato adottando opportuni accorgimenti costruttivi della TBM.

Fenomeni gravitativi profondi del Monte Marzola

Sotto il profilo geomorfologico, nel settore compreso tra il Dosso di San Rocco e Mattarello, è di particolare rilievo il sottoattraversamento del profondo del Monte Marzola (DGPV) che interessa la porzione meridionale del versante occidentale del Monte Marzola. Gli studi condotti (Rif. [14]) evidenziano che il tracciato di progetto si colloca al di fuori di quest'area, in prossimità della stessa, pertanto il fenomeno gravitativo non interessa lo scavo della galleria (cfr. § 9.1).

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B

12 FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO

12.1 Scavo meccanizzato

Nel caso di scavo meccanizzato, la flessibilità in fase di avanzamento, in risposta alle condizioni riscontrate, è garantita dalla variabilità dei parametri operativi di controllo della TBM.

Pertanto, sulla base dei dati macchina raccolti durante l'avanzamento e le risultanze del monitoraggio geotecnico e topografico in superficie e in galleria, i parametri macchina (ad es.: contropressione al fronte) saranno modificati operando all'interno della variabilità prevista in fase progettuale.

Nelle successive fasi di progettazione sarà redatto il profilo dettagliato delle pressioni operative da applicare lungo tutte le tratte previste con avanzamento in scavo meccanizzato in modalità chiusa, definendo altresì le relative soglie di attenzione e allarme e le corrispondenti azioni da intraprendere al superamento delle stesse.

12.2 Monitoraggio in corso d'opera

Nella fase realizzativa dovrà essere posto in opera un adeguato programma di monitoraggio, volto a verificare gli effetti indotti dalla realizzazione degli imbocchi ed in particolare della galleria naturale, in considerazione delle sezioni di avanzamento previste, ottimizzandole nell'ambito delle variabilità indicata in progetto.

Con riferimento alla realizzazione degli imbocchi, il programma di monitoraggio dovrà prevedere:

- monitoraggio piezometrico per la misura della variazione della quota di falda nelle aree prospicienti alle paratie di imbocco;
- monitoraggio inclinometrico per la misura degli spostamenti orizzontali delle paratie e del terreno limitrofo;
- monitoraggio degli spostamenti delle paratie mediante mire ottiche disposte sull'opera di sostegno;
- monitoraggio delle sollecitazioni indotte dallo scavo sui tiranti mediante celle di carico.

Con riferimento alle tratte realizzate con metodo di scavo meccanizzato il programma di monitoraggio dovrà prevedere:

- il controllo dei principali parametri macchina desunti direttamente in fase di scavo dalla fresa tra cui: pressione di supporto del fronte di scavo, densità del materiale nella camera di scavo, pressione e volume del materiale di intasamento iniettato a tergo dei conci, peso e volume del materiale scavato, condizionamento del terreno;
- il monitoraggio dello stato tensionale nel rivestimento definitivo mediante barrette estensimetriche saldate sui ferri di armatura dei conci e celle di carico tra i giunti longitudinali degli stessi.

Per le tratte a bassa copertura e in presenza di interferenze si prevede il seguente sistema di monitoraggio:

- il controllo dei cedimenti al piano campagna mediante installazione di capisaldi su sezioni di livellazione topografica;
- il controllo topografico degli spostamenti sugli edifici interferenti;



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA
IB0Q

LOTTO
3A

CODIFICA
R07RH

DOCUMENTO
GN 00 00 001

REV.
B

FOGLIO
75 di 77

- il controllo degli spostamenti e delle deformazioni indotte dallo scavo della galleria mediante installazione di assestimetri e inclinometri,
- il monitoraggio piezometrico per la misura della variazione della quota di falda nelle tratte a bassa copertura.

Il sistema di monitoraggio dovrà essere predisposto in modo tale da garantire l'esame tempestivo e continuativo dei dati rilevati e la trasmissione sistematica dei dati e delle elaborazioni, avendo precedentemente definito ed assegnato le responsabilità per la lettura, l'elaborazione e l'interpretazione dei dati di monitoraggio, nonché per la loro distribuzione.

Le grandezze individuate come rappresentative dovranno essere rilevate e controllate con un sistema di misura che abbia un grado di precisione compatibile con i valori attesi.

I parametri sono rilevati in automatico dalla TBM con alta frequenza e restituiti anche in remoto. Mentre per gli scavi in tradizionale le misure sono di tipo manuale. Per una efficace correlazione dei dati potrà essere istituito un sistema di raccolta e restituzione georeferenziato di tipo WEB-GIS.

Nelle successive fasi progettuali andranno definiti i valori di soglia delle principali grandezze misurate e definite le azioni da intraprendere al loro superamento.



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA
IB0Q

LOTTO
3A

CODIFICA
R07RH

DOCUMENTO
GN 00 00 001

REV.
B

FOGLIO
76 di 77

13 PROGRAMMA DI INDAGINI PER LE SUCCESSIVE FASI DI PROGETTAZIONE

Nella successiva fase progettuale, per definire in modo più dettagliato il contesto geologico e geomeccanico e le condizioni idrogeologiche di interesse per le opere in sotterraneo, anche in considerazione della complessità geologica delle formazioni attraversate, sarà necessario integrare la campagna di indagini già eseguita mediante sondaggi geognostici, prove in situ ed in laboratorio ed indagini sismiche al fine di confermare le scelte progettuali effettuate relativamente alle opere ed alle tecniche realizzative adottate.

In questo modo, sarà possibile approfondire la caratterizzazione geotecnica dei terreni e degli ammassi rocciosi interessati dallo scavo della galleria naturale, ed ottimizzare le scelte progettuali effettuate in questa fase preliminare.

Opportuni approfondimenti mediante indagini dirette, dove possibile in relazione alle coperture in gioco, dovranno essere dedicati allo studio delle zone tettonizzate, sede di faglie, sovrascorrimenti e altre discontinuità.

Sono inoltre necessari approfondimenti per la determinazione delle condizioni idrauliche lungo il tracciato della galleria: il programma di indagine dovrà essere orientato alla classificazione delle permeabilità e dei livelli piezometrici, con particolarmente riferimento alle formazioni appartenenti al "Gruppo dei Calcari Grigi".

Saranno necessari approfondimenti specialistici per una valutazione quantitativa dell'effettiva presenza di quarzo all'interno delle formazioni interessate dallo scavo della galleria e ulteriori analisi chimico-fisiche delle acque di sottosuolo per poter consolidare il rischio individuato di acque aggressive.



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 3 A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA
IB0Q

LOTTO
3A

CODIFICA
R07RH

DOCUMENTO
GN 00 00 001

REV.
B

FOGLIO
77 di 77

14 CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse con la realizzazione della galleria Trento.

La progettazione dell'opera in sotterraneo è stata condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [17]), articolandosi nelle seguenti fasi:

- Fase conoscitiva (cap. 9): questa fase è stata dedicata allo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico di inserimento in cui sarà realizzata la galleria, considerati anche i dati relativi alle precedenti fasi progettuali, ed ha portato alla definizione del modello geotecnico di sottosuolo utilizzato per le successive fasi del progetto.
- Fase di diagnosi (cap. 10): in questa fase è stata eseguita la valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione, per la determinazione delle categorie di comportamento; sulla base delle analisi condotte, lungo il tracciato della galleria il comportamento del fronte allo scavo risulta sia di tipo stabile o stabile a breve termine (categorie A e B) sia di tipo instabile (categoria C).
- Fase di terapia (cap. 11): si prevede di realizzare lo scavo con metodo meccanizzato. La soluzione progettuale è stata selezionata verificandone adeguatezza ed efficacia in tutte le fasi costruttive previste ed in condizioni di esercizio.

Il progetto è completato dal piano di monitoraggio (cap. 12) da predisporre ed attuare nella fase realizzativa, nel quale sono individuati i valori delle grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d'opera per controllare la risposta deformativa dell'ammasso e della galleria al procedere dello scavo e verificarne la rispondenza con le previsioni progettuali.