

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



CUP J94J17000040001

**DIREZIONE TECNICA**

**U.O. GALLERIE**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA BOLZANO – MERANO**

**REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI**

**SPOSTAMENTO BIVIO LINEA MERANESE**

GALLERIA DEL VIRGOLO

Relazione tecnica

SCALA:

-

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

N B 1 D 0 1 D 0 7 R H G N 0 0 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	Emissione esecutiva	L. PERAZZONI <i>[Signature]</i>	Aprile 2021	H.M. DAHIR <i>[Signature]</i>	Aprile 2021	C. MAZZOCCHI <i>[Signature]</i>	Aprile 2021	ITALFERR S.P.A. U.O. GALLERIE Dott. Ing. Alessandra Sciotto Incaricata degli Ingegneri di Roma n° 13946 <i>[Signature]</i>

File: NB1D01D07RHGN0000001A.doc

n. Elab.: XXX

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA <b>NB1D</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	SCOPO DEL DOCUMENTO .....	4
3	NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO .....	5
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
5	ALLEGATI .....	6
6	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO .....	6
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	10
7.1	IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO.....	10
7.2	CAMERONE DI DIRAMAZIONE .....	15
7.3	OPERE DI IMBOCCO.....	17
7.4	MARCIAPIEDI DI ESODO .....	21
7.5	INTERFERENZE.....	22
7.6	OPERE TECNOLOGICHE .....	26
8	METODOLOGIA DI LAVORO.....	27
9	FASE CONOSCITIVA .....	28
9.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO .....	28
9.2	INDAGINI GEOTECNICHE .....	29
9.3	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	30
9.3.1	<i>Formazione di Gries (IGR)</i> .....	30
9.4	IL REGIME IDRAULICO.....	32
10	FASE DI DIAGNOSI.....	33
10.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO .....	33
10.2	DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO.....	34
10.3	DEFINIZIONE DELLE TRATTE A COMPORTAMENTO TENSIO-DEFORMATIVO OMOGENEO.....	34

11	FASE DI TERAPIA .....	35
11.1	SCelta DEL METODO DI SCAVO.....	35
11.2	FASI DI AVANZAMENTO .....	39
11.3	SEZIONI DI AVANZAMENTO.....	41
11.4	RISCHI POTENZIALI .....	47
12	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO.....	50
12.1	SCAvo TRADIZIONALE.....	50
12.2	MONITORAGGIO IN CORSO D’OPERA .....	51
13	CONCLUSIONI.....	52

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
Relazione tecnica	COMMESSA NB1D	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 4 di 52

## 1 PREMESSA

Il Progetto del nuovo Tunnel del Virgolo a tre binari e spostamento del Bivio della linea Meranese, fa parte degli interventi individuati nell'Accordo Quadro sottoscritto da RFI e Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige per l'implementazione della capacità dell'infrastruttura ferroviaria.

Il progetto prevede un nuovo sedime del binario che si sviluppa in parte in variante, con una galleria di lunghezza complessiva di poco superiore a 500 metri, ed in parte allo scoperto, dove, per la maggior parte dello sviluppo, risulta in affiancamento alla sede esistente e presenta un tratto di sottoattraversamento dell'autostrada.

## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Scopo del documento è la descrizione delle principali soluzioni tecnico-progettuali individuate per la realizzazione della galleria.

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA NB1D	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

### 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] SIG, “Linee guida per la progettazione, l’appalto e la costruzione di opere in sotterraneo”, 1997;
- Rif. [6] ITA, “Guidelines for the design of tunnels”, 1988;
- Rif. [7] AGI, “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”, 1977.
- Rif. [8] RFI, doc RFI DTC SI SP IFS 001 D “Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili” (20/12/2019);
- Rif. [9] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 D “Manuale di Progettazione delle opere civili” (20/12/2019);
- Rif. [10] Italferr, Specifica Tecnica PPA.0002403 “Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali” (Dicembre 2015).
- Rif. [11] UNI 9916:2004. Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici.
- Rif. [12] DIN 4150. Structural vibration.
- Rif. [13] SN 640312a. *Effet des ébranlements sur les constructions.*

### 4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Rif. [14] Progetto FS, Linea Verona – Brennero. Variante del Virgolo (1988);
- Rif. [15] ITALFERR, Progettazione preliminare della galleria ferroviaria del Virgolo (2013);
- Rif. [16] ITALFERR, Linea Bolzano – Merano: Adeguamento progetto preliminare galleria ferroviaria del Virgolo - Progetto di fattibilità tecnico economica (Marzo 2019);
- Rif. [17] ITALFERR, Linea Bolzano – Merano: Realizzazione Nuovo Tunnel del Virgolo a 3 binari: Spostamento bivio linea Meranese - Progetto di fattibilità tecnico economica (Gennaio 2021);
- Rif. [18] ITALFERR, Linea Bolzano – Merano: Realizzazione Nuovo Tunnel del Virgolo a 3 binari: Spostamento bivio linea Meranese - Stabilizzazione versante del colle Virgolo;
- Rif. [19] ITALFERR - NB1D01D05PGMD0000001A, Dossier dati e requisiti di base 21/05/2020.

Nel presente documento si fa inoltre riferimento ai seguenti elaborati allegati al progetto.

- Rif. [20] U.O. Geologia Tecnica dell’Ambiente e Territorio – Elaborati specialistici.
- Rif. [21] U.O. Impianti Industriali e Tecnologici - Sicurezza dell’Infrastruttura – Elaborati specialistici.

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA <b>NB1D</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

Rif. [22] U.O. Opere civili – Verifiche di resistenza al fuoco.

Rif. [23] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.).

## 5 ALLEGATI

Non sono presenti documenti allegati.

## 6 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

I contenuti della presente relazione sono illustrati negli elaborati grafici specialistici allegati al progetto:

Rif. [24] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07RHGN0100001A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Relazione tecnica” datato Aprile 2021;

Rif. [25] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07SPGN0100001A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Caratteristiche dei materiali - Note generali” datato Aprile 2021;

Rif. [26] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07CEGN0000001A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Computo metrico estimativo” datato Aprile 2021;

Rif. [27] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07CLGN0000001A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Relazione geotecnica e di calcolo della galleria naturale” datato Aprile 2021;

Rif. [28] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07CLGA0000001A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco” datato Aprile 2021;

Rif. [29] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07F6GN0100001A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Profilo Geotecnico” datato Aprile 2021;

Rif. [30] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07WBG0100001A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Sezioni tipo di intradossi” datato Aprile 2021;

Rif. [31] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BZGN0200001A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Cameroni di transizione - Pianta e sezioni” datato Aprile 2021;

Rif. [32] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07P8GN0100001A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Interferenza con cunicolo esplorativo - Planimetra e sezioni” datato Aprile 2021;

Rif. [33] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BBGN0100001A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Sezione tipo A1 singolo binario - Carpenteria, scavo e consolidamenti” datato Aprile 2021;

Rif. [34] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BBGN0100002A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Sezione tipo A2 singolo binario - Carpenteria, scavo e consolidamenti” datato Aprile 2021;

Rif. [35] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BBGN0100003A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Sezione tipo A1 doppio binario - Carpenteria, scavo e consolidamenti” datato Aprile 2021;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA NB1D	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

- Rif. [36] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BBGN0100004A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Sezione tipo A2 doppio binario - Carpenteria, scavo e consolidamenti” datato Aprile 2021;
- Rif. [37] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BBGN0100005A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Sezione tipo A0 triplo binario - Carpenteria, scavo e consolidamenti” datato Aprile 2021;
- Rif. [38] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BBGN0100006A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Sezione tipo A1 triplo binario - Carpenteria, scavo e consolidamenti” datato Aprile 2021;
- Rif. [39] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BAGN0200001A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Camerone di transizione tipo 1 - Tratto interasse da 4 m - 5 m - A0 -Carpenteria, scavo e consolidamenti datato Aprile 2021;
- Rif. [40] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BAGN0200002A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Camerone di transizione tipo 2 - Tratto interasse da 5 m - 8 m - A0 - Carpenteria, scavo e consolidamenti” datato Aprile 2021;
- Rif. [41] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BAGN0200003A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Camerone di transizione tipo 3 - Tratto interasse da 8 m -11,45 m - A0 - Carpenteria, scavo e consolidamenti” datato Aprile 2021;
- Rif. [42] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07P8GN0200001A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Fasi esecutive” datato Aprile 2021;
- Rif. [43] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07WZGN0100001A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Corrimano - Particolari costruttivi” datato Aprile 2021;
- Rif. [44] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07PZGN0100001A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Sistema di smaltimento delle acque in galleria” datato Aprile 2021;
- Rif. [45] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BZGN0100001A “GALLERIA DEL VIRGOLO -Andamento plano-altimetrico del marciapiede a ciglio variabile” datato Aprile 2021;
- Rif. [46] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07P9GI0000001A “IMBOCCO LATO VERONA - INTERVENTO DI RAFFORZAMENTO CORTICALE-Planimetria generale di intervento” datato Aprile 2021;
- Rif. [47] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07W9GI0000001A “IMBOCCO LATO VERONA - INTERVENTO DI RAFFORZAMENTO CORTICALE-Sezioni caratteristiche” datato Aprile 2021;
- Rif. [48] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BZGI0000001A “IMBOCCO LATO VERONA - INTERVENTO DI RAFFORZAMENTO CORTICALE-Particolari costruttivi” datato Aprile 2021;
- Rif. [49] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07PZGI0000001A “IMBOCCO LATO VERONA - INTERVENTO DI RAFFORZAMENTO CORTICALE-Zona di imbocco 3D - Sistemazione finale” datato Aprile 2021;
- Rif. [50] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07L9GI0100001A “IMBOCCO LATO VERONA - DOPPIO BINARIO-Fase provvisoria - Planimetria e profilo longitudinale' datato Aprile 2021;
- Rif. [51] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07W9GI0100001A “IMBOCCO LATO VERONA - DOPPIO BINARIO-Fase provvisoria - Sezioni caratteristiche” datato Aprile 2021;

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA <b>NB1D</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

- Rif. [52] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07L9GA0100001A “IMBOCCO LATO VERONA - DOPPIO BINARIO-Sistemazione definitiva - Planimetria e profilo longitudinale” datato Aprile 2021;
- Rif. [53] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07W9GA0100001A “IMBOCCO LATO VERONA - DOPPIO BINARIO-Sistemazione definitiva - Sezioni caratteristiche” datato Aprile 2021;
- Rif. [54] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BBGI0100001A “IMBOCCO LATO VERONA - DOPPIO BINARIO-Dima e concio d'attacco - Scavo e consolidamenti” datato Aprile 2021;
- Rif. [55] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BBGA0100001A “IMBOCCO LATO VERONA - DOPPIO BINARIO-Portale di imbocco - Carpenteria” datato Aprile 2021;
- Rif. [56] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07P9GI0100001A “IMBOCCO LATO VERONA - DOPPIO BINARIO-Schema delle fasi esecutive” datato Aprile 2021;
- Rif. [57] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07L9GI0200001A “IMBOCCO LATO VERONA - SINGOLO BINARIO-Fase provvisoria - Planimetria e profilo longitudinale” datato Aprile 2021;
- Rif. [58] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07W9GI0200001A “IMBOCCO LATO VERONA - SINGOLO BINARIO-Fase provvisoria - Sezioni caratteristiche” datato Aprile 2021;
- Rif. [59] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07L9GA0200001A “IMBOCCO LATO VERONA - SINGOLO BINARIO-Sistemazione definitiva - Planimetria e profilo longitudinale” datato Aprile 2021;
- Rif. [60] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07W9GA0200001A “IMBOCCO LATO VERONA - SINGOLO BINARIO - Sistemazione definitiva - Sezioni caratteristiche” datato Aprile 2021;
- Rif. [61] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BBGI0200001A “IMBOCCO LATO VERONA - SINGOLO BINARIO-Dima e concio d'attacco - Scavo e consolidamenti” datato Aprile 2021;
- Rif. [62] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BBGA0200001A “IMBOCCO LATO VERONA - SINGOLO BINARIO-Galleria artificiale policentrica - Carpenteria” datato Aprile 2021;
- Rif. [63] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BBGA0200002A “IMBOCCO LATO VERONA - SINGOLO BINARIO-Portale di imbocco - Carpenteria” datato Aprile 2021;
- Rif. [64] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07P9GI0100001A “IMBOCCO LATO VERONA - SINGOLO BINARIO-Schema delle fasi esecutive” datato Aprile 2021;
- Rif. [65] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07L9GI0300001A “IMBOCCO LATO BOLZANO-Fase provvisoria - Planimetria e profilo longitudinale” datato Aprile 2021;
- Rif. [66] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07W9GI0300001A “IMBOCCO LATO BOLZANO-Fase provvisoria - Sezioni caratteristiche” datato Aprile 2021;
- Rif. [67] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BZGI0300001A “IMBOCCO LATO BOLZANO-Fase provvisoria - Sviluppata delle opere di imbocco” datato Aprile 2021;
- Rif. [68] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BZGI0300002A “IMBOCCO LATO BOLZANO-Fase provvisoria - Particolari costruttivi” datato Aprile 2021;

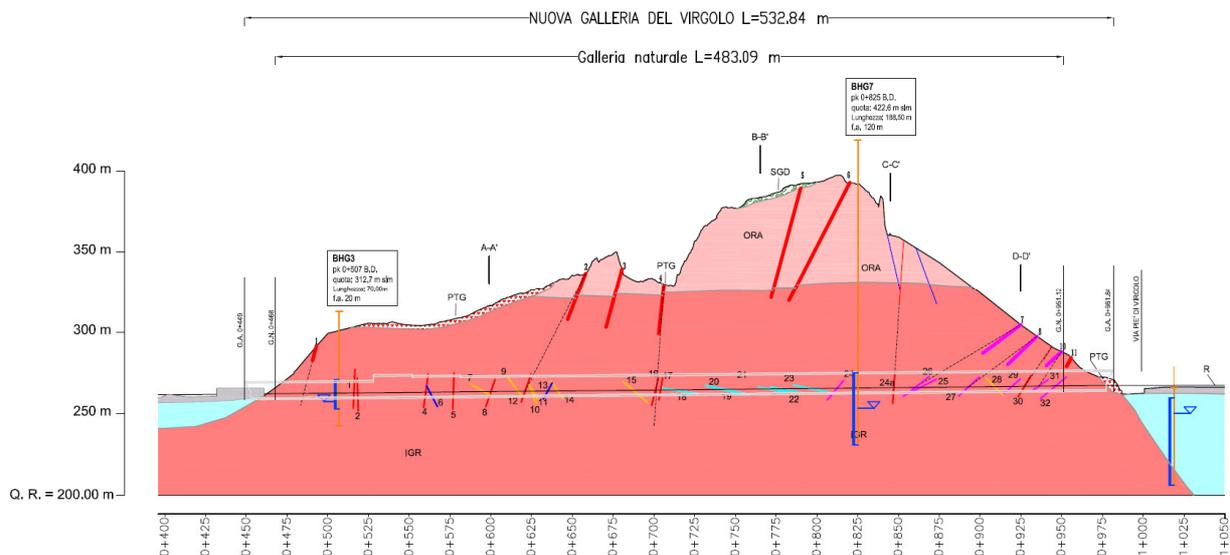
	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA <b>NB1D</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

- Rif. [69] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07L9GA0300001A “IMBOCCO LATO BOLZANO-Sistemazione definitiva - Planimetria e profilo longitudinale” datato Aprile 2021;
- Rif. [70] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07W9GA0300001A “IMBOCCO LATO BOLZANO-Sistemazione definitiva - Sezioni caratteristiche” datato Aprile 2021;
- Rif. [71] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BBGI0300001A “IMBOCCO LATO BOLZANO-Dima e concio d'attacco - Scavo e consolidamenti” datato Aprile 2021;
- Rif. [72] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BBGA0300001A “IMBOCCO LATO BOLZANO-Galleria artificiale policentrica - Carpenteria” datato Aprile 2021;
- Rif. [73] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07BBGA0300002A “IMBOCCO LATO BOLZANO-Portale di imbocco - Carpenteria” datato Aprile 2021;
- Rif. [74] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07P9GI0300001A “IMBOCCO LATO BOLZANO-Schema delle fasi esecutive” datato Aprile 2021;
- Rif. [75] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07WAGA0000001A “MONITORAGGIO-Opere di imbocco - Sezioni tipologiche” datato Aprile 2021;
- Rif. [76] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07WAGN0000001A “MONITORAGGIO-Galleria di linea - Sezioni strumentate” datato Aprile 2021;
- Rif. [77] U.O. Gallerie, documento NB1D01D07WAGN0000002A “MONITORAGGIO-Cameroni - Sezioni strumentate” datato Aprile 2021;

## 7 DESCRIZIONE DELL'OPERA

### 7.1 Il tracciato e le opere in sotterraneo

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un tratto di nuova linea a tre binari per una lunghezza complessiva di circa 1,2 chilometri dal km 148+529.86 della linea Verona-Brennero al km 149+790.04, in corrispondenza del ponte sul fiume Isarco. Lungo il tracciato della nuova linea è presente la galleria del Virgolo. Ubicata fra le progressive di tracciato (binario dispari (B.D.) linea del Brennero) km 0+449 (imbocco lato Verona galleria singolo binario) e km 0+981,84 (imbocco lato Bolzano), la galleria del Virgolo presenta una lunghezza complessiva in sotterraneo di circa 533 m. Partendo dall'imbocco lato Verona, posto ad una quota di 262 m s.l.m., il tracciato della galleria procede sempre in salita fino all'imbocco lato Bolzano (alla quota di 267,15 m s.l.m.) con pendenza compresa tra 9,4 ‰ e 10,2 ‰ (Figura 1). La copertura massima è di circa 110 metri. Il tracciato dell'opera in sotterraneo si sviluppa per un lungo tratto in condizioni di parietalità: la distanza estradosso galleria – versante varia da un minimo di pochi metri in prossimità degli imbocchi, ad un massimo di circa 70 m.



**Figura 1. Profilo nuova Galleria del Virgolo**

Sono di seguito illustrate le principali caratteristiche e i requisiti funzionali della galleria del Virgolo.

La nuova Galleria del Virgolo è costituita da un tratto in naturale di 483,1 m e da due tratti in artificiale in corrispondenza degli imbocchi di lunghezza pari a 19 m per l'imbocco lato Verona della galleria singolo binario e pari a 30,7 m per l'imbocco lato Bolzano. Il tratto di galleria a doppio binario (imbocco lato Verona) prevede un tratto di galleria artificiale sotto dima di 3 m e un portale di imbocco di 8 m.

Partendo dall'imbocco lato Bolzano la galleria presenta una configurazione a tre binari, per una lunghezza di 350 m circa. Alla pk 0+625 (B.D. linea del Brennero) i tre binari iniziano a divergere: la linea Meranese ed il binario pari

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA NB1D	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

della linea del Brennero continuano affiancati, con interasse pari a 4,75 m, mentre il binario dispari della linea del Brennero si separa piegando verso il rilievo del Virgolo fino all'imbocco lato Verona, passando quindi dalla configurazione a tre binari ad una configurazione doppio e singolo binario tramite un camerone di diramazione. Il tratto a singolo binario ha una lunghezza di 58 m circa; il tratto a due binari ha una lunghezza di 38 m circa. Il camerone di diramazione ha una lunghezza di 100 metri circa; ha un andamento planimetrico pressoché rettilineo e sezioni di larghezza crescente.

In tabella sono riportate le progressive delle opere in sotterraneo previste lungo la tratta e delle opere di imbocco ad esse connesse.

**Tabella 1. Progressive della galleria**

Opera	pk <sub>inizio</sub>	pk <sub>fine</sub>	L <sub>parziale</sub>	L <sub>TOT</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m]
Galleria artificiale singola canna/doppio binario (GA01)	0+474,1 (B.P.)	0+485 (B.P.)	10,9	532,8 (B.D.)
Galleria artificiale singola canna/singolo binario (GA02)	0+449	0+468	19	
Galleria Naturale (GN01)	0+468	0+951,1	483,1	
Galleria artificiale singola canna triplo binario (GA03)	0+951,1	0+981,8	30,7	

Lo scavo della galleria del Virgolo è previsto con metodo tradizionale (cfr. capitolo 10).

La galleria è progettata per consentire il transito del Gabarit C (P.M.O. n°5). La velocità di tracciato in galleria è pari a 60 km/h.

La sezione a singolo binario è stata definita in accordo agli standard RFI per velocità  $160 < v \leq 200$  km/h e Gabarit C (cfr. Tavole 23, 24 e 25 del Manuale di Progettazione RFI, (Rif. [9]). La sezione a doppio binario è stata progettata per la specifica situazione, dovendo prevedere un marciapiede d'esodo tra i due binari: ciò ha comportato l'adozione di un interasse tra i due binari pari a 4,75 m (rispetto ai 4 m standard).

Pertanto, nel tratto a singolo binario è prevista una sezione policentrica (Figura 2) con raggio di calotta pari a 2,85 m ed area libera pari a 39 m<sup>2</sup> circa, nel tratto a doppio binario è prevista una sezione policentrica (Figura 3) con raggio di calotta pari a 5,70 m ed area libera pari a 71 m<sup>2</sup> circa, mentre. Nel tratto a tre binari la sezione ha raggio di calotta pari a 8,30 m ed area libera pari a 110 m<sup>2</sup> circa (Figura 4).

È previsto l'alloggiamento dell'armamento tradizionale con traverse tipo "RFI-240" poggiate su ballast ed elettrificazione a c.c. a 3 kV (Rif. [19]).

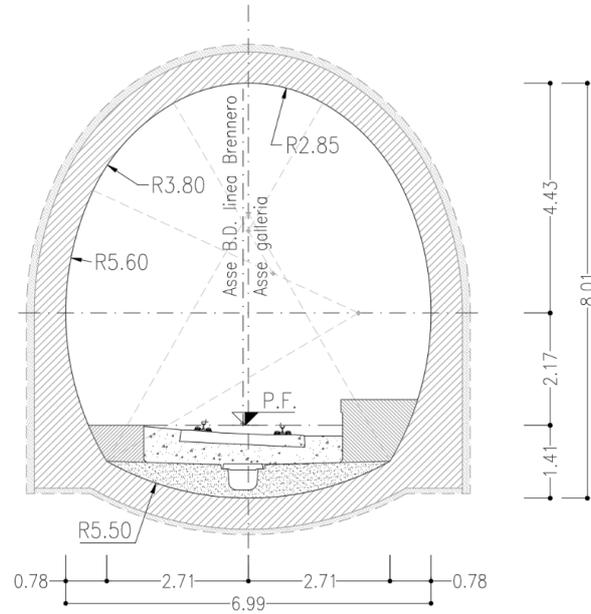


Figura 2. Sezione di intradosso per la tratta a singolo binario

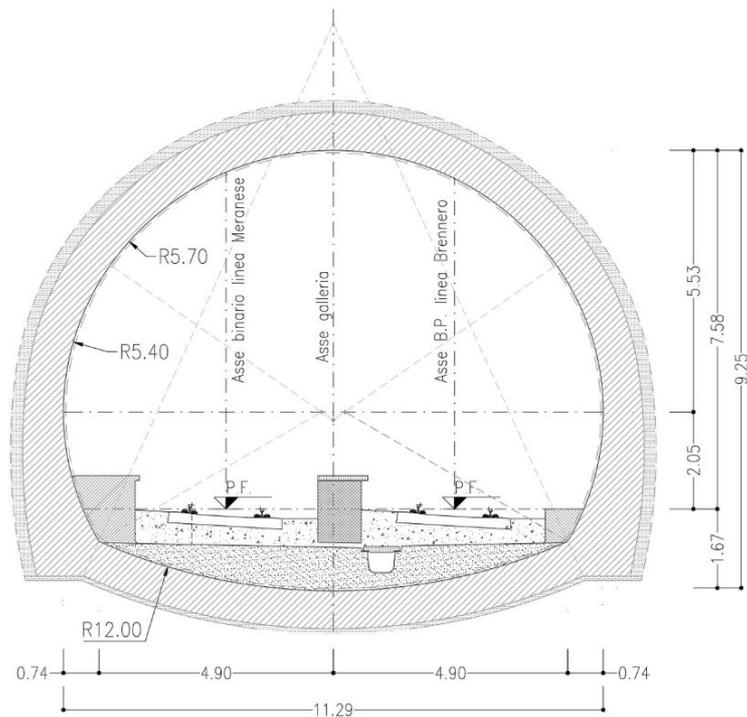
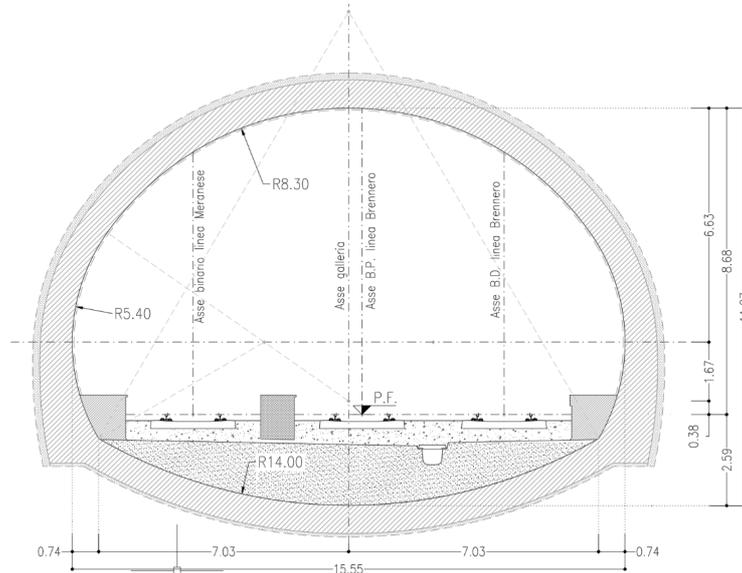


Figura 3. Sezione di intradosso per la tratta a doppio binario



**Figura 4. Sezione di intradosso per la tratta a triplo binario**

Le sezioni di intradosso presentano un marciapiede d'esodo con andamento del ciglio variabile in funzione della quota del binario attiguo. Nello specifico, l'altezza del ciglio risulta pari a + 55 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 113 cm (Rif. [9]).

Lungo il tracciato di progetto è presente un cunicolo realizzato negli anni '90 del secolo scorso. Il cunicolo ha una lunghezza di circa 440 m e un'area interna di circa 15 m<sup>2</sup> per gran parte del suo sviluppo, a meno della tratta tra le pk 0+715 e 0+738 (con riferimento alle progressive della galleria del Virgolo: B.D. linea del Brennero) in cui è presente una sezione allargata con area interna pari a circa 30 m<sup>2</sup>. Il tracciato plano-altimetrico del cunicolo si colloca all'interno dell'area di scavo della futura galleria del Virgolo (Figura 5). In particolare, nel primo tratto esso occupa la porzione centrale della Galleria del Virgolo, fino alla pk 0+602 B.D., collocandosi in prossimità del piedritto lato linea Meranese (Figura 6); a partire dalla pk 0+780 B.D il tracciato del cunicolo devia verso l'interno della galleria, portandosi nella zona centrale della stessa fino alla pk 0+906 B.D., da dove si sviluppa parallelamente al piedritto lato B.D. della linea del Brennero.

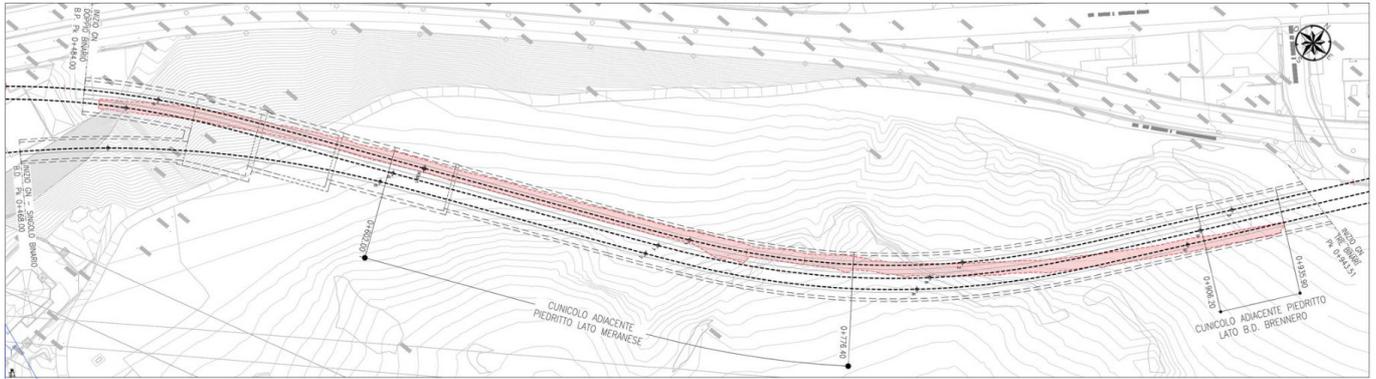


Figura 5. Planimetria galleria con cunicolo esplorativo

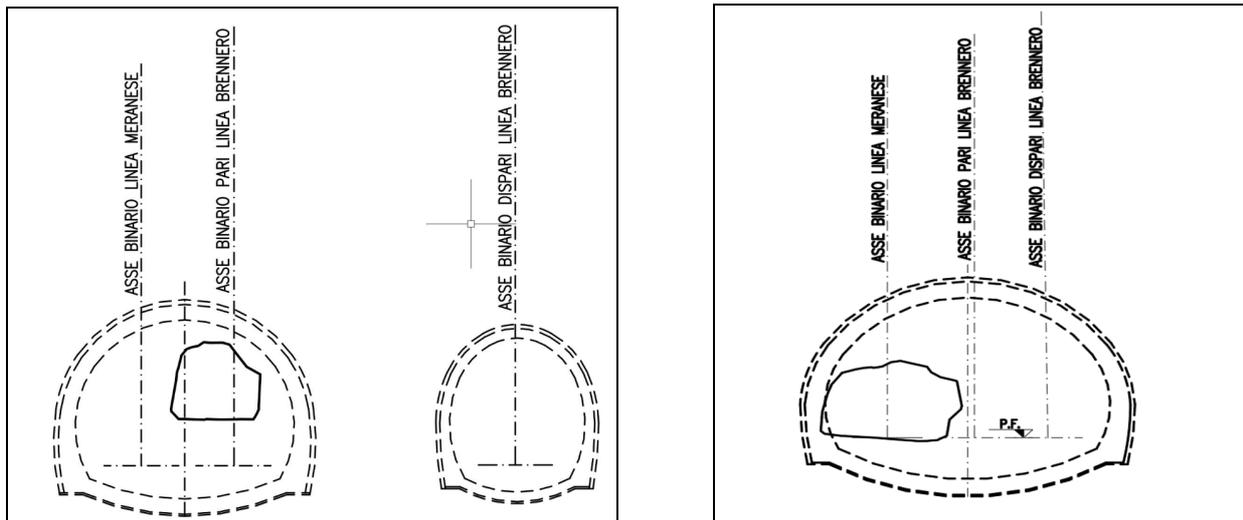


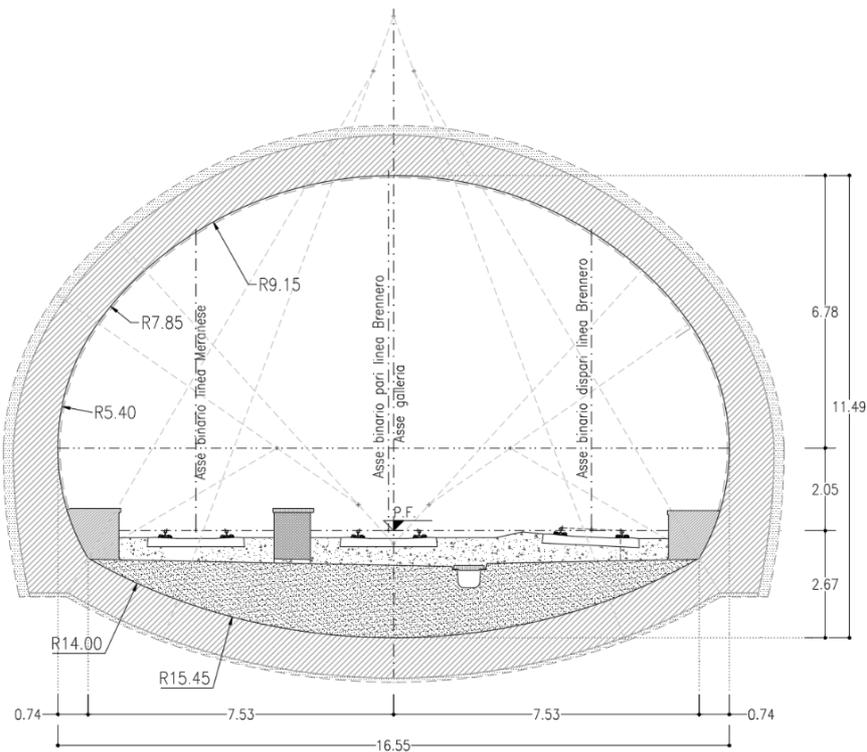
Figura 6. Sezioni galleria con cunicolo esplorativo

## 7.2 Camerone di diramazione

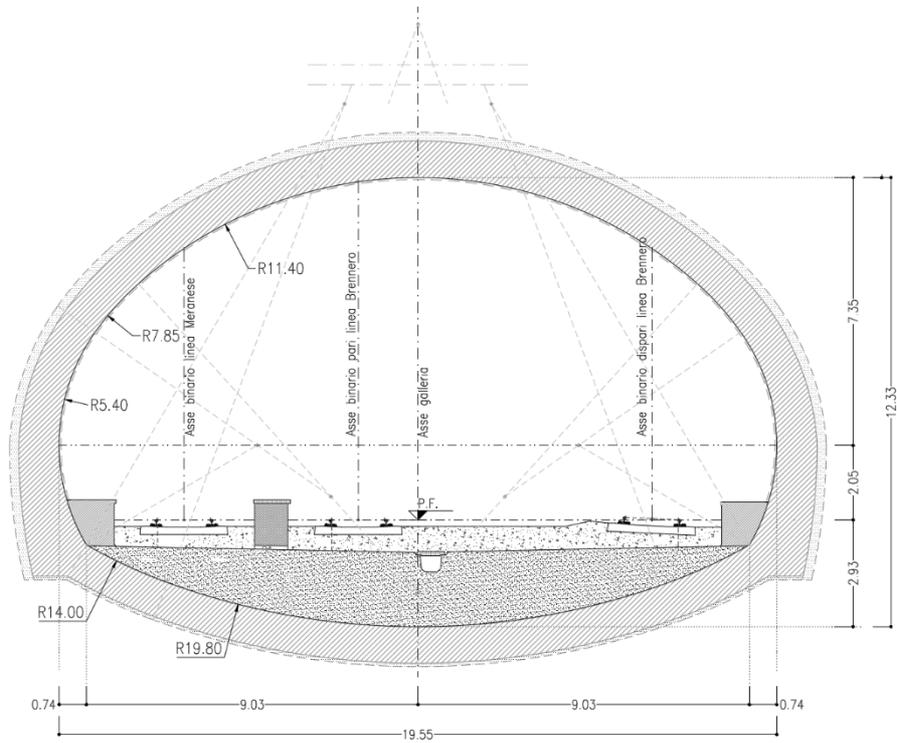
Per il passaggio dalla configurazione a singola canna tre binari alla configurazione a doppia canna doppio binario e singolo binario è previsto un camerone di diramazione a sezione variabile per accogliere l'interasse variabile tra i due binari della linea del Brennero, da 4 m fino a 11,45 m. Sono previste 3 sezioni di intradosso (da Figura 7 a Figura 9) con le caratteristiche geometriche riportate in Tabella 2.

**Tabella 2. Sezioni del camerone di diramazione**

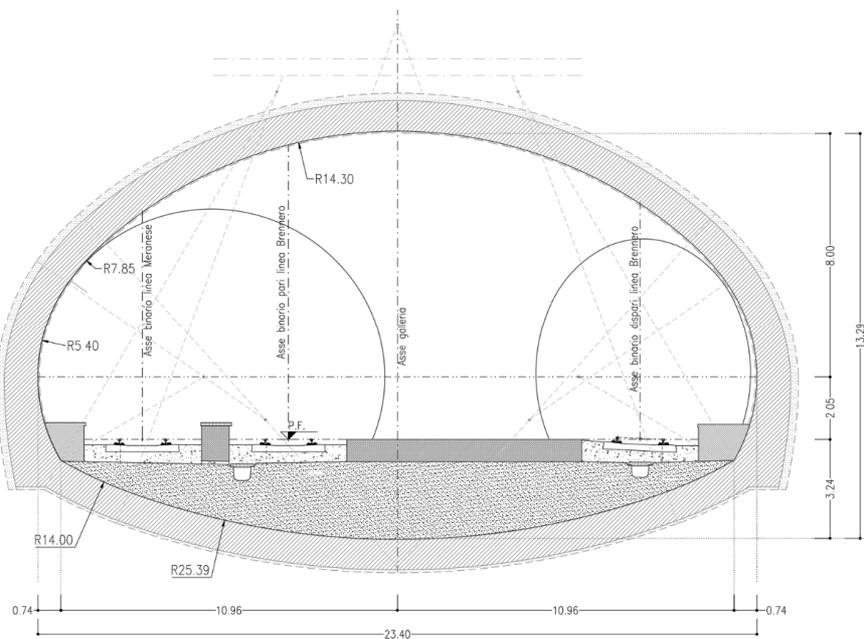
	Lunghezza [m]	Area libera [m <sup>2</sup> ]
CAMERONE INTERASSE 4-5	43,7	120
CAMERONE INTERASSE 5-8	28,9	150
CAMERONE INTERASSE 8-11,45	27,5	190



**Figura 7. Sezione di intradosso camerone interasse 4 – 5**



**Figura 8. Sezione di intradosso camerone interasse 5 - 8**



**Figura 9. Sezione di intradosso camerone interasse 8 - 11,45**

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA <b>NB1D</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

### 7.3 Opere di imbocco

Per la zona di imbocco lato Verona è previsto un intervento di stabilizzazione della porzione di versante adiacente alle aree di intervento: in coerenza con quanto previsto per l'intervento di consolidamento del Colle del Virgolo (Rif. [18]), saranno realizzati interventi di rafforzamento corticale per mezzo di rete metallica a doppia torsione, ancoraggi e funi metalliche. Per la zona di imbocco lato Bolzano è previsto un intervento di consolidamento delle pareti di scavo in quanto la porzione adiacente alla zona di imbocco è già interessata da interventi di consolidamento per mezzo di barriere paramassi di recente realizzazione (Rif. [18]).

#### Imbocco lato Bolzano

Le opere di imbocco della Nuova galleria del Virgolo lato Bolzano ricadono tra le progressive (B.D. Brennero) km 0+951,10 e km 0,981,80. La configurazione della galleria a partire da tale imbocco è a singola canna tre binari. Data la natura dell'ammasso interessato dalla realizzazione dell'imbocco, è stata prevista una soluzione che prevede un attacco diretto in roccia. In considerazione della condizione di parietalità, nonché delle interferenze con le viabilità esistenti, l'attacco della galleria naturale non è ortogonale agli assi dei binari (Figura 10). La realizzazione dell'imbocco richiede sbancamenti con pendenze significative (80° circa sull'orizzontale). Dalle analisi condotte le scarpate non richiedono interventi di stabilizzazione propedeutici allo scavo; tuttavia, è previsto un intervento di stabilizzazione con chiodi, funi e rete metallica a doppia torsione che verrà realizzato contestualmente allo scavo ed è concepito per stabilizzare la coltre superficiale della parete soggetta ad alterazione nel lungo termine. È inoltre prevista una galleria artificiale con un portale in oggetto a "becco di flauto rovesciato", che assolve anche alla funzione di protezione della piattaforma ferroviaria dalla caduta eventuale di blocchi di roccia di piccole dimensioni, proveniente dal versante sovrastante. Per tale motivo è stata prevista una carpenteria della galleria artificiale con spessori maggiori rispetto al tratto in galleria naturale.



	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA NB1D	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

### Imbocco lato Verona

Lato Verona sono previste due opere di imbocco, una per la galleria a singolo binario, una per la galleria a doppio binario. Entrambi gli imbocchi sono caratterizzati da una condizione di spiccata parietalità che ha portato allo studio di una soluzione comune per entrambe che consente di evitare riprofilature e scavi importanti del versante, con conseguenti problemi di sicurezza e di impatto ambientale. Si prevede la realizzazione di una “protesi” che consente di fornire alla galleria la copertura idonea per un attacco in naturale. La protesi sarà realizzata per mezzo di un calcestruzzo alleggerito che permette un getto omogeneo, veloce, stabile e l’altrettanto veloce demolizione con mezzi meccanici (escavatore, martello demolitore). Nella parte superiore della protesi sarà realizzato un muretto di contenimento allo scopo di trattenere materiale di piccola dimensione che potrebbe cadere dal versante sovrastante. Non sono previste opere di contenimento ma un semplice cassero, avendo l’accortezza di realizzare il getto per strati di altezza limitata. Nella condizione definitiva è previsto un intervento di riambientalizzazione di tale copertura.

Per garantire le lavorazioni in sicurezza, è previsto un intervento di stabilizzazione della parete rocciosa sovrastante (Figura 12 e Figura 13) mediante chiodi, funi e rete metallica a doppia torsione. L’intervento ha carattere definitivo ed è concepito per stabilizzare la coltre superficiale del versante sottoposta ad alterazione dovuta agli agenti atmosferici che potrebbe provocare l’insorgenza di crolli. Per la galleria a singolo binario il tratto sotto protesi si estende da pk 0+468 a pk 0+485 per una lunghezza pari a 17 m, mentre per il tratto di galleria a doppio binario si estende da pk 0+484 a pk 0+495,5 B.P. per una lunghezza pari a 10,5 m circa.



**Figura 12. Zona di imbocco lato Verona (fonte Google Maps)**



Figura 13. Parete rocciosa imbocco lato Verona (fonte Google Maps)

In uscita dal tratto sotto protesi è previsto, per la sola galleria a singolo binario, un tratto di galleria artificiale per la quale non è previsto un ricoprimento nella sistemazione definitiva, in analogia con quanto previsto per l’imbocco lato Bolzano. Per entrambe le gallerie è previsto un portale in aggetto (“becco di flauto rovesciato”) (Figura 14).



Figura 14. Sistemazione finale imbocco lato Verona

#### 7.4 Marciapiedi di esodo

La nuova Galleria del Virgolo ha una lunghezza superiore a 500 m, pertanto è necessario prevedere marciapiedi di esodo a servizio dei tre binari (Meranese, Brennero pari e dispari). I marciapiedi a servizio della linea Meranese e del binario dispari della linea del Brennero sono posti all'esterno del tracciato, hanno larghezza minima non inferiore a 120 cm e sono dotati di corrimano posto a circa 1 m di altezza dal piano di calpestio del marciapiede. Il marciapiede di esodo a servizio del binario pari della linea del Brennero è realizzato tra il binario della Meranese e il binario pari della linea del Brennero: il marciapiede ha una larghezza non inferiore a 80 cm ed è in grado di accogliere l'ingombro minimo di 0,80\*2,25 m previsto dalle STI per l'esodo dei passeggeri (Figura 15). È previsto un corrimano lungo il camminamento a servizio del binario pari della Brennero, posto a 1 m di altezza dal piano di calpestio del marciapiede e sorretto da montanti progettati in modo da non interferire con il percorso di esodo.

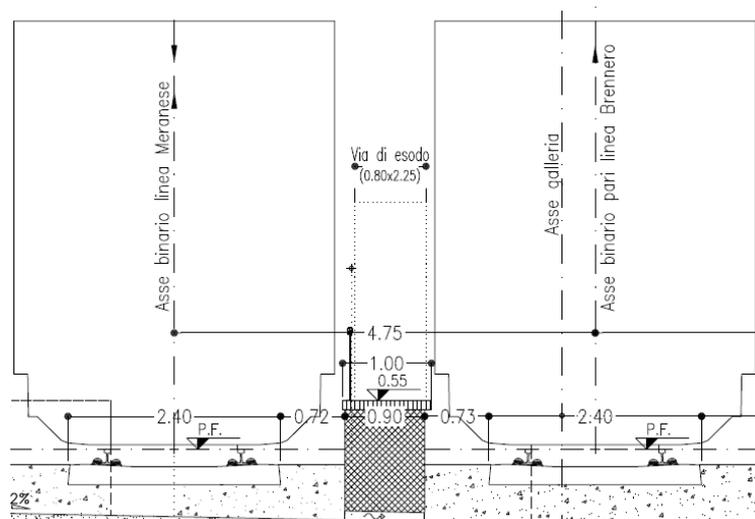
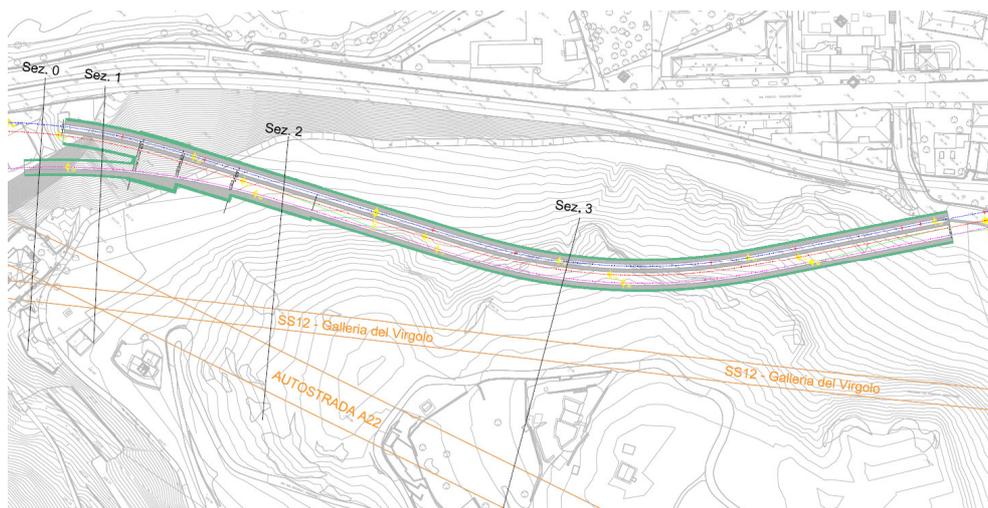


Figura 15. Dettaglio marciapiede binario pari Brennero

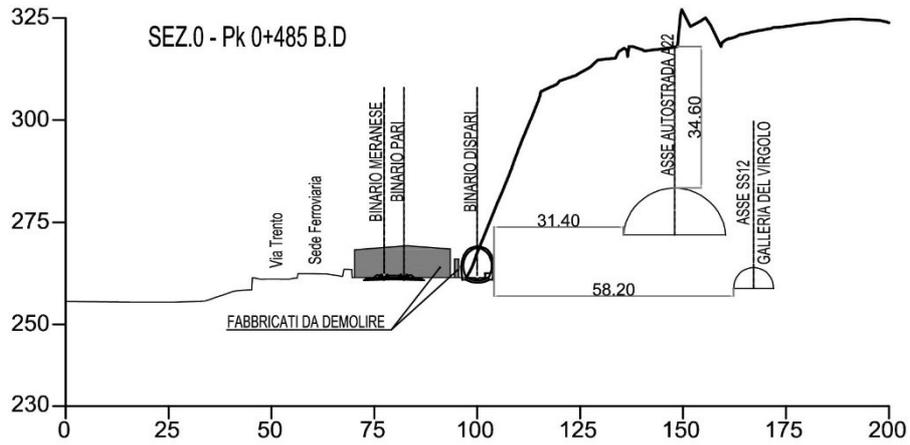
## 7.5 Interferenze

Nel rilievo del Virgolo sono presenti altre due importanti infrastrutture sotterranee: la Strada Statale 12 e l'autostrada del Brennero A22. Il tracciato ferroviario si sviluppa quasi in affiancamento alla galleria della SS12, che corre alla stessa quota della galleria del Virgolo, con una distanza minima tra le due opere di circa 30 m. La galleria dell'autostrada del Brennero A22, prossima al tracciato ferroviario nella zona dell'imbocco Sud, diverge rapidamente procedendo verso Nord: la distanza tra la futura galleria ferroviaria e l'opera autostradale aumenta dai 30 m circa a più di 100 m. Lungo tutto il suo sviluppo la galleria del Virgolo si mantiene ad una quota inferiore rispetto alla galleria autostradale (da Figura 17 a Figura 20).

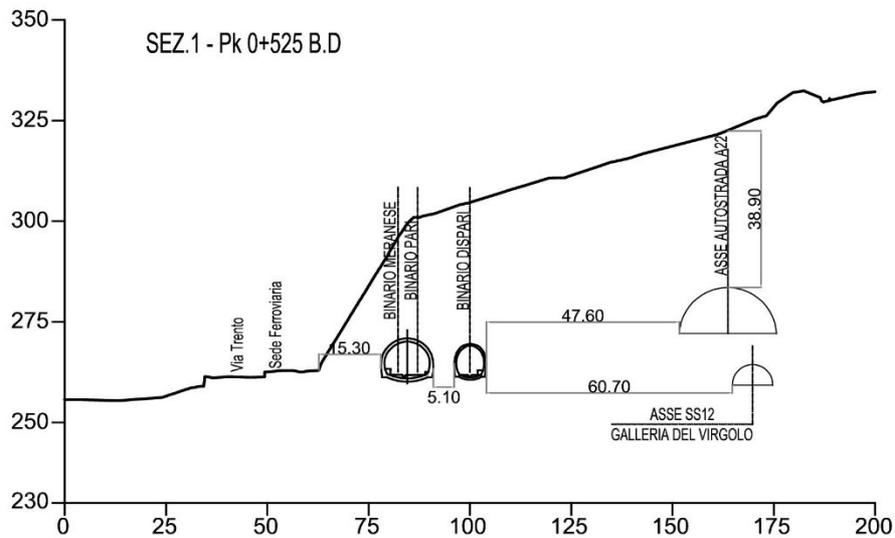
Il rilievo del Virgolo attraversato dalla linea ferroviaria è pressoché disabitato; sono presenti pochi edifici collegati al fondovalle dalla strada del Calvario che si inerpica sul versante e che conduce alla chiesa del Calvario.



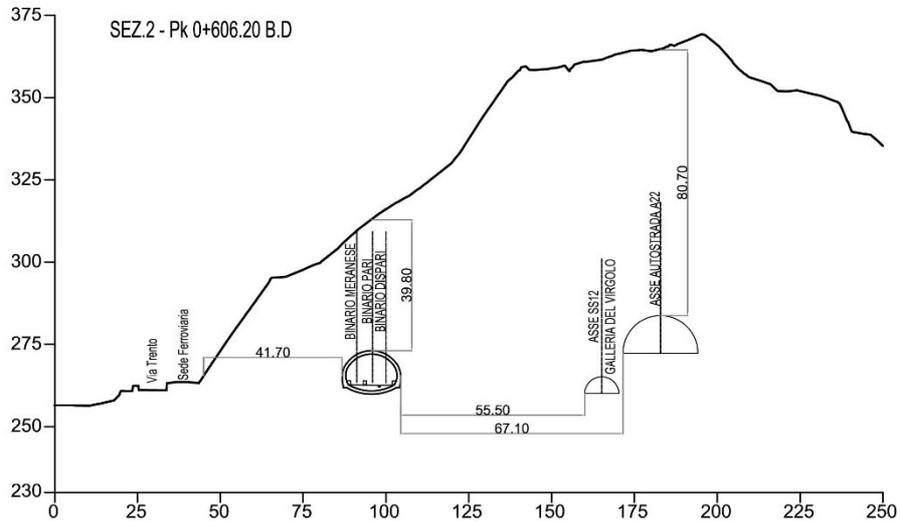
**Figura 16. Planimetria dell'opera in sottoterraneo con sezioni**



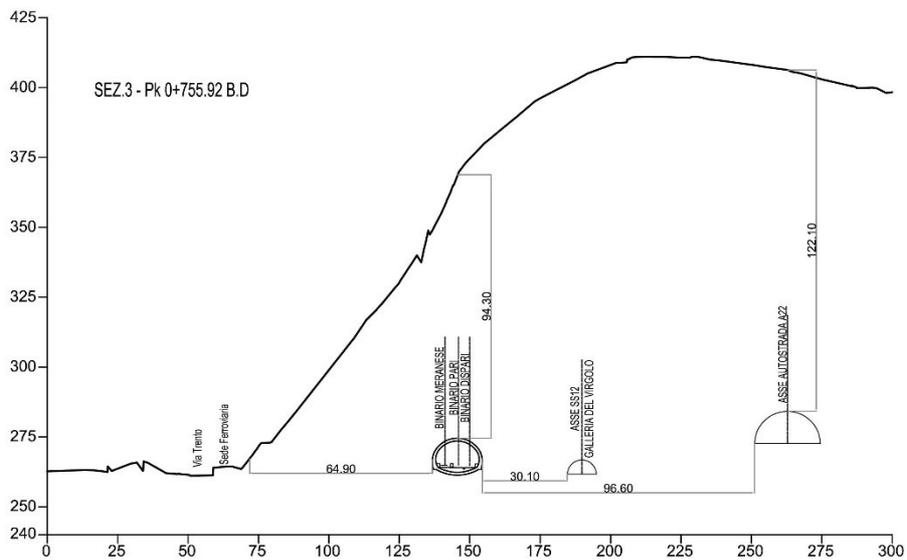
**Figura 17. Sezione 0**



**Figura 18. Sezione 1**



**Figura 19. Sezione 2**



**Figura 20. Sezione 3**

In prossimità dell'imbocco lato Bolzano è presente inoltre una funivia storica che partendo da via del Calvario raggiungeva le chiese di San Vigilio al Virgolo e la chiesa del Santo Sepolcro (Figura 21).

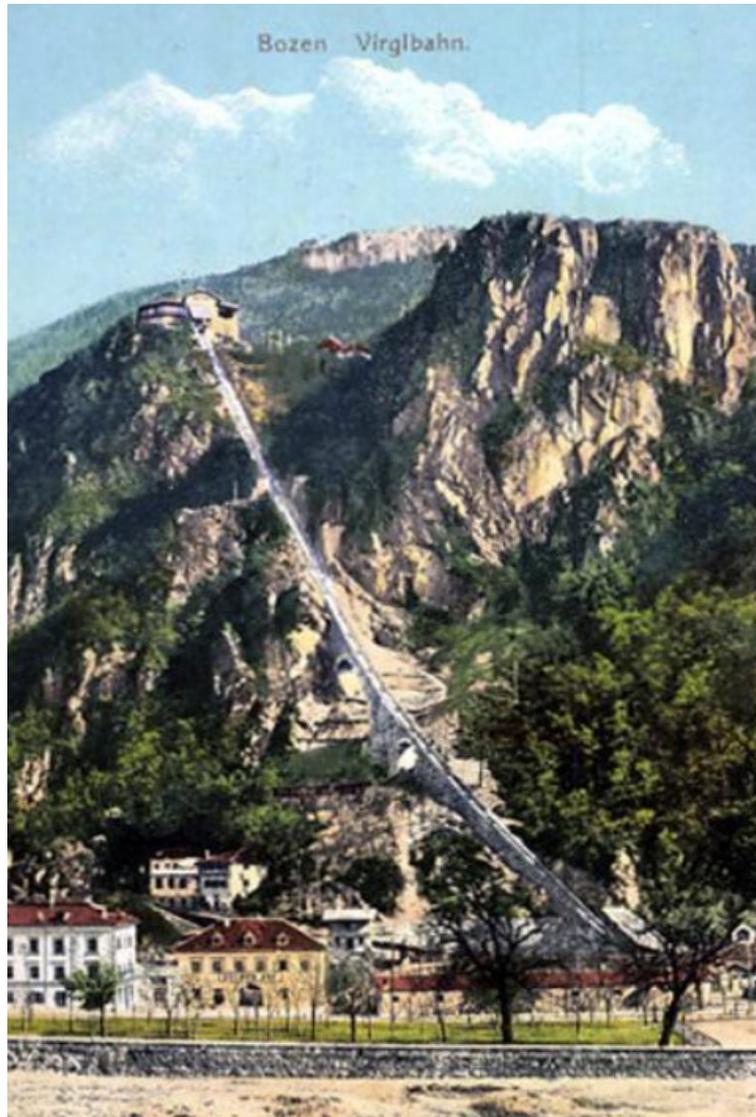


Figura 21. Funicolare colle del Virgolo (fonte Google)

La funicolare dismessa nel 1945 è stata interessata da numerosi crolli. A causa della vegetazione presente in prossimità dell'imbocco, non è stato possibile valutare l'eventuale presenza di strutture ancora integre le quali, qualora presenti, dovranno essere rimosse così come previsto per "l'archetto" in corrispondenza di via del Calvario anch'esso parte della funicolare (Figura 22).



Figura 22. Arco via del Calvario da rimuovere (fonte Google)

## 7.6 Opere tecnologiche

In accordo al Manuale di Progettazione RFI (Rif. [8]), le gallerie non sono dotate di nicchie di ricovero personale. Non sono inoltre necessarie nicchie per ospitare tecnologie ed impianti.

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA <b>NB1D</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

## 8 METODOLOGIA DI LAVORO

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [20]), 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.

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA <b>NB1D</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

## 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]). Si riporta di seguito una breve sintesi dei principali caratteri litologici e strutturali delle formazioni interessate dallo scavo della galleria.

Nel rilievo attraversato in sotterraneo dal nuovo tracciato ferroviario sono state riconosciute due successioni vulcaniche che fanno parte del “Gruppo Vulcanico Atesino” (AVG), di età permiana. Le unità litologiche del Gruppo Vulcanico Atesino, genericamente indicate con il termine “porfido quarzifero”, sono costituite da lave andesitiche, dacitiche e riolitiche e da ignimbriti riolitiche, ovvero colate piroclastiche.

In particolare, le formazioni in questione sono:

- **Formazione di Gries (IGR):** costituita da lapilli-tuff riolitici saldati di colore da rosso fegato a violaceo, ad aspetto massivo o blandamente orientato parallelamente alla giacitura. Localmente sono presenti inclusi litici di tipo vulcanico e metamorfico.
- **Formazione di Ora (ORA):** rappresenta il deposito vulcanico più recente del Gruppo Vulcanico Atesino. La formazione è costituita da *lapilli-tuff* riolitici saldati, molto coerenti ed omogenei, di colore dal grigio-rosato all’arancione rossastro. È caratterizzata da una evidente e regolare fessurazione subverticale secondo due sistemi principali di frattura all’incirca ortogonali.

Dall’imbocco lato Verona ubicato alla pk 0+455 circa la galleria interessa per l’intero suo sviluppo la formazione di Formazione di Gries (IGR) fino all’imbocco lato Bolzano ubicato alla pk 0+980 circa. La presenza del cunicolo esplorativo ha consentito di rilevare le caratteristiche dell’ammasso in profondità; per il dettaglio delle stesse si rimanda al paragrafo 9.3.1.

Le rocce del Gruppo Vulcanico Atesino sono caratterizzate da una bassa permeabilità, legata alle condizioni di fratturazione dell’ammasso. La circolazione idrica nelle formazioni di Gries e di Ora, pertanto, è discontinua, e connessa alla presenza di fratture beanti o di fasce cataclasate.

Si evidenzia che le gallerie stradali (la galleria della SS12 e le gallerie dell’autostrada A22) per la loro posizione a monte del cunicolo esplorativo, e quindi della futura galleria ferroviaria, intercettano e drenano gran parte delle acque circolanti nel rilievo del Virgolo.

A causa della morfologia acclive dei versanti rocciosi che caratterizza l’area del Virgolo, sono presenti fenomeni di instabilità dell’ammasso roccioso dovuti a crolli e ribaltamenti di porzioni dell’ammasso suddiviso in blocchi dai diversi sistemi di discontinuità.

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA <b>NB1D</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

Numerosi sono gli interventi sia attivi che passivi eseguiti nel tempo per impedire la caduta di massi sia sugli edifici che sulle infrastrutture. Sono inoltre stati realizzati interventi di protezione degli imbocchi delle gallerie (Autostrada A22, Strada Statale n°12) e delle due strade comunali che delimitano il colle (strada Calvario e Piè di Virgolo).

Per una dettagliata descrizione del modello geologico del sito si rimanda al documento “Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica” (Rif. [14]).

## 9.2 Indagini geotecniche

Ai fini della modellazione e della caratterizzazione geotecnica delle unità che interessano le opere in sottterraneo in progetto, sono stati utilizzati i dati relativi alle campagne geotecniche di seguito elencate:

- *campagna indagini Italferr 2019 a supporto PFTE 2019;*
- *campagna indagini Italferr 2019 a supporto PD 2020.*

In particolare, sono stati eseguiti n.2 sondaggi a carotaggio continuo (profondità variabili tra 70 m e 188,4 m dal piano campagna, rispettivamente BHG3 e BHG7) attrezzati con piezometri a tubo aperto tipo Norton; all’interno dei quali sono state eseguite prove dilatometriche, prove di fratturazione idraulica e prove di permeabilità di tipo Lugeon.

Sui campioni indisturbati sono state eseguite le prove meccaniche quali: prove di compressione monoassiale, prove di misure della velocità sonica  $V_p$  e  $V_s$ , prove di compressione triassiale su provini di roccia e prove di trazione indiretta Brasiliana.

Per ulteriori dettagli relativi alle campagne di indagini si rimanda al documento “Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica” (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 degli ammassi rocciosi interessati dall’opera in sottterraneo lungo il suo tracciato.

L’ubicazione dei sondaggi ed il modello geotecnico sono rappresentati nell’elaborato “Profilo geotecnico” (Rif. [29]). Nei paragrafi che seguono si riporta una sintesi dei risultati della caratterizzazione e modellazione geotecnica eseguita e si rimanda alla Relazione geotecnica e di calcolo della galleria naturale (Rif. [27]) per i dettagli.

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA NB1D	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

### 9.3 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

#### 9.3.1 Formazione di Gries (IGR)

La formazione di Gries è un'unità vulcanica costituita da lapilli-tuff riolitici saldati con locali inclusi litici di tipo vulcanico e metamorfico (Figura 23, Figura 24). Lo scavo della galleria del Virgoles interessa unicamente la formazione di Gries con coperture variabili tra 5 e 120 m rispetto al piano del ferro; nella tratta centrale, in corrispondenza delle massime coperture, la formazione di Gries ha uno spessore di 70 m rispetto al piano del ferro e risulta sovrastata dalla formazione di Ora.



Figura 23. Formazione di Gries nel foro di sondaggio BHG7, tra i 105 ed i 110 m da p.c.



Figura 24. Formazione di Gries nel foro di sondaggio BHG3, tra i 55 ed i 60 m da p.c.

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA NB1D	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

La formazione di Gries affiora diffusamente nell'area di interesse: sia nel tratto settentrionale in corrispondenza dell'imbocco della galleria lato Bolzano, sia in quello meridionale in corrispondenza dell'imbocco lato Verona.

#### Caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica, condotta sulla base delle indagini, delle prove e dei rilievi eseguiti, ha condotto alla definizione dei seguenti intervalli delle caratteristiche fisico e meccaniche della matrice rocciosa e dell'ammasso roccioso della Formazione di Griess (IGR).

**Tabella 3. Parametri matrice rocciosa**

Formazione	$\sigma_c$	$\sigma_t$	$E_i$
[-]	[MPa]	[MPa]	[Gpa]
IGR	80 - 140	5 - 10	20 - 50

**Tabella 4. Parametri ammasso roccioso**

Formazione	$\gamma$	E	$K_0$	k
[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[Gpa]	[-]	[m/s]
IGR	25 - 26	10 - 20	0,4	$10^{-7} - 10^{-6}$

#### Caratterizzazione strutturale dell'ammasso roccioso

Al fine di valutare le caratteristiche strutturali dell'ammasso roccioso sono stati eseguiti 52 stop geologici e 8 stazioni geomeccaniche di superficie 4 delle quali in prossimità dell'imbocco della galleria lato Bolzano.

Da ogni stop geostrutturale sono stati ricavati:

- descrizione geometrica, geologica e geomorfologica della zona analizzata, litologia, grado di alterazione, tenacità e tipo di rottura della formazione e, in alcuni casi dati strutturali delle discontinuità rilevate (giaciture, riempimenti delle fratture, indice GSI).

Dalle stazioni geomeccaniche sono invece stati ricavati i seguenti dati:

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

Inoltre, sono state eseguite 18 calate in corda, per la progettazione dell'intervento di stabilizzazione del versante del Nord-Ovest del Colle del Virgolo (Rif. [18]), in corrispondenza delle quali è stato eseguito il rilevamento dell'assetto strutturale delle famiglie di discontinuità principali, del grado di fratturazione, delle condizioni delle superfici dei giunti e della spaziatura.

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA <b>NB1D</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

Per la definizione delle caratteristiche delle discontinuità presenti lungo il tracciato della galleria si è fatto inoltre riferimento alle indicazioni ottenute dal cunicolo esplorativo, che, essendo privo di rivestimento, ha permesso osservazioni e rilievi diretti di tipo geologico – geomeccanico in condizioni tridimensionali in profondità. In particolare, è stata eseguita un’analisi geomeccanica attraverso un rilievo fotografico completo in grado di ricostruire, con tecniche fotogrammetriche, un modello 3D a nuvola di punti densa su cui poter condurre delle valutazioni di tipo geologico – geomeccanico (Rif. [20]).

Sulla base delle caratteristiche delle discontinuità sono state definiti gli indici di qualità dell’ammasso roccioso:

**Tabella 5. Indice di qualità ammasso roccioso**

<b>Formazione</b>	<b>GSI</b>	<b>RMR</b>	<b>Q</b>
<b>[-]</b>	<b>[-]</b>	<b>[-]</b>	<b>[-]</b>
IGR	40 - 65	70 - 75	5 - 10

#### **9.4 Il regime idraulico**

I piezometri a tubo aperto tipo Norton installati all’interno dei sondaggi BHG3 e BHG7 evidenziano un livello di falda che si colloca al di sotto dell’arco rovescio della nuova Galleria del Virgolo.

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA <b>NB1D</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</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. [20]), 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. [20]) 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 tensionali 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

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA <b>NB1D</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

verso situazioni di instabilità del cavo in fase di realizzazione. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

### 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 e 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 Determinazione delle categorie di comportamento**

La valutazione del comportamento deformativo del fronte è stata condotta utilizzando:

- il metodo delle linee caratteristiche (per le tratte ad alta copertura);
- i metodi di analisi della stabilità del fronte (per le tratte a bassa copertura).

Tali valutazioni sono state condotte con riferimento ai valori caratteristici dei parametri geotecnici e delle azioni. In considerazione della natura dell'ammasso roccioso è stata valutata la possibilità di meccanismi di distacco dei cunei dovuti a giaciture sfavorevoli delle discontinuità rilevate rispetto al fronte e al contorno di scavo.

La definizione delle sezioni analizzate è stata eseguita sulla base dei risultati della caratterizzazione geotecnica (vedi § 9.3.1) e della distribuzione delle diverse classi di copertura lungo il tracciato.

## **10.3 Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo**

Sulla base dei risultati delle analisi sopra descritte, esaminati in modo critico tenendo conto dell'affidabilità dei dati di ingresso in termini di parametri di ammasso (rigidezza e resistenza), delle condizioni idrauliche al contorno, di eventuali variabilità attese lungo il tracciato della galleria e di possibili conseguenze per comportamenti imprevisti, si conclude che per tutto lo sviluppo della galleria è atteso un comportamento prevalente del nucleo-fronte di categoria A (stabile).

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato della galleria sono illustrate in forma sintetica nel "Profilo geotecnico – Galleria del Virgolo" (Rif. [29]).

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA <b>NB1D</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</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 allo scavo in assenza di interventi (fase di diagnosi).

### 11.1 Scelta del metodo di scavo

Per lo scavo della galleria del Virgolo si prevede l'adozione del metodo tradizionale, ponendo la massima attenzione verso gli effetti secondari legati alle attività di scavo in termini di vibrazioni indotte, sia con riferimento alle strutture esistenti nelle vicinanze (gallerie stradali), sia con riferimento al versante e alle porzioni instabili dell'ammasso roccioso che possono generare il fenomeno della caduta massi.

Il progetto dell'abbattimento della roccia deve essere sviluppato nell'ottica di ridurre al massimo l'intensità delle vibrazioni indotte al contorno, garantendo al contempo efficacia nello scavo, in termini di velocità di avanzamento e buona profilatura. A tale scopo si prevede l'avanzamento con esplosivi con l'impiego di micro-ritardi al fine di ridurre la carica detonante simultanea. La presenza del cunicolo esplorativo costituisce inoltre una preesistente superficie libera parallela alla direzione dei fori che consente di evitare l'impiego delle mine di rinora e di ridurre quindi l'intensità delle vibrazioni indotte. Sulla base dei dati sperimentali ottenuti in fase realizzativa, si potrà valutare la possibilità di realizzare un diaframma di fori vuoti paralleli e ravvicinati al contorno della sagoma di scavo (*line-drilling*), al fine di realizzare una sorta di piano di discontinuità, all'interno della roccia, per attenuare la propagazione delle vibrazioni al contorno.

Per lo scavo delle sezioni più grandi del camerone (sezioni con interasse binari 5-8 m e 8-11,45 m), al fine di ridurre il quantitativo di carica, è prevista la parzializzazione dell'area di scavo, prevedendo prima lo scavo della zona di calotta, successivamente lo scavo della porzione inferiore della sezione di strozzo e infine lo scavo dell'arco rovescio (Figura 25).

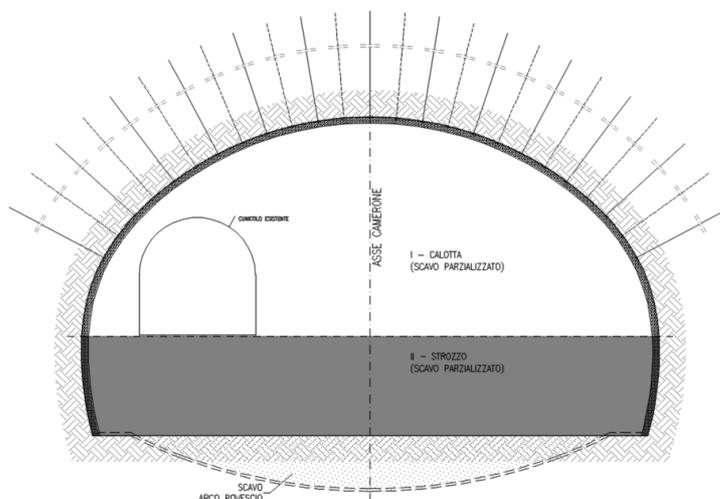


Figura 25. Settori di scavo sezione tipo camerone interasse 8m-11.45m

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA <b>NB1D</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

Nelle zone degli imbocchi e nelle tratte in cui la galleria è particolarmente parietale dovrà essere posta particolare attenzione al controllo delle vibrazioni prodotte dallo scavo della galleria attraverso tecniche di scavo atte a minimizzare il disturbo, eccessivi sovrascavi ed effetti vibrazionali.

L'ampiezza delle vibrazioni indotte dal brillamento di cariche diminuisce all'aumentare della distanza dal punto di brillamento, cresce con la carica esplosiva unitaria, ed è influenzata dalle caratteristiche dell'ammasso e dalle modalità di impiego dell'esplosivo. È possibile pertanto definire la "legge di sito" che lega le variabili in gioco:

$$v = k \frac{Q^a}{R^b}$$

dove:

v = velocità di vibrazione

Q = carica esplosiva unitaria (per ritardo)

R = distanza dal punto di esplosione

k, a, b = coefficienti che dipendono dal mezzo di propagazione e dal tipo di volata.

Dato che ogni sito risponde alle sollecitazioni in maniera diversa e non esattamente prevedibile sulla base delle sole considerazioni tecniche è stato messo appunto un approccio per prevedere il valore della velocità delle particelle attraverso l'applicazione della "legge empirica della distanza scalata":

$$v = k \frac{R}{W^{0.5}}$$

definendo la cosiddetta distanza scalata  $R/(W)^{0.5}$ . La variazione della velocità con la distanza scalata definisce la legge di decadimento della vibrazione indotta.

Nella fase realizzativa uno specifico campo prova, durante il quale saranno misurate le grandezze fondamentali (velocità e frequenze) delle vibrazioni indotte, in funzione della distanza dalla sorgente (punto di scoppio) e del contenuto di carica impiegata, consentirà di definire la legge di smorzamento della velocità di vibrazione e quindi, la quantità massima di carica unitaria (per ritardo) da poter utilizzare al variare della distanza.

Il campo prova permetterà anche di definire un opportuno sistema di monitoraggio vibrazionale in corso d'opera da eseguirsi sia sulle gallerie esistenti che su punti di interessi posizionati sul versante.

La grandezza di riferimento per il controllo delle vibrazioni indotte è la *peak particle velocity* (p.p.v.), definita come il valore di picco nel tempo del modulo del vettore velocità, sperimentalmente ben correlata con i livelli di danno indotti dalle volate.

Con riferimento alle strutture esistenti nelle vicinanze (gallerie stradali), nella presente fase progettuale, si definiscono i valori limite della *peak particle velocity*.

La normativa italiana UNI 9916 (Rif. [11]Rif. [11]) non fornisce indicazioni specifiche circa i valori massimi di velocità accettabili per non indurre danni alle strutture, e rimanda alla normativa tedesca DIN 4150 (Rif.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA <b>NB1D</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

[12]), la quale definisce valori di riferimento per tre classi di costruzioni. In sintesi, il valore della velocità di vibrazione ammissibile varia, in funzione della frequenza associata e del tipo di costruzione, da 3÷5 mm/s fino a 50 mm/s (Figura 26).

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v in mm/s			
		Fondazioni			Piano alto
		Da 1 Hz fino a 10 Hz	Da 10 Hz fino a 50 Hz	Da 50 Hz fino a 100 Hz <sup>*)</sup>	Per tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 ( $f=10$ Hz) fino a 40 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 40 ( $f=50$ Hz) fino a 50 ( $f=100$ Hz)	40
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 ( $f=10$ Hz) fino a 15 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 15 ( $f=50$ Hz) fino a 20 ( $f=100$ Hz)	15
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	3	Varia linearmente da 3 ( $f=10$ Hz) fino a 8 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 8 ( $f=50$ Hz) fino a 10 ( $f=100$ Hz)	8

\*) Per frequenze oltre 100 Hz possono essere usati i valori di riferimento per 100 Hz.

**Figura 26. Velocità di vibrazione: valori di riferimento secondo la DIN4150**

La normativa svizzera SN 640312a (Rif. [13]) definisce valori soglia di riferimento della *peak particle velocity* al di sotto dei quali modesti danni sono poco probabili. La norma prevede quattro classi di manufatti, di crescente sensibilità alle vibrazioni transitorie (Figura 27), a cui corrispondono differenti valori soglia della velocità in funzione del campo di frequenza delle vibrazioni (Figura 28).

CLASS	SENSITIVITY	EXAMPLES
<b>1</b>	Very low sensitivity	Bridges, tunnels in hard rock, crane and machinery foundations, etc.
<b>2</b>	Low sensitivity	Industrial and commercial buildings, tunnels in soft ground, gas and water pipes, etc.
<b>3</b>	Average sensitivity	Residential buildings, offices, schools, hospitals, sensitive cables, etc.
<b>4</b>	Increased sensitivity	Timber-framed buildings, historical buildings, listed buildings, newly built buildings of class 3, etc.

**Figura 27. Classi delle costruzioni e rispettivi esempi secondo la SN640312a**

CLASS	EXPOSITION	REFERENCE VALUES FOR THE VELOCITY OF THE VIBRATION MM/S		
		FREQUENCY		
		< 30 Hz	30 Hz - 60 Hz	> 60 Hz
1	occasionally	up to 3 times the values of class 3		
	frequently			
	permanently			
2	occasionally	up to 2 times the values of class 3		
	frequently			
	permanently			
3	occasionally	15	20	30
	frequently	6	8	12
	permanently	3	4	6
4	occasionally	0.5 to 1 times the values of class 3		
	frequently			
	permanently			

Figura 28. Valori di riferimento della velocità delle vibrazioni secondo la SN640312a

Per entrambe le Normative, il valore limite della *peak particle velocity* è funzione della frequenza di vibrazione prodotta dalla detonazione la quale è funzione delle caratteristiche della roccia e della distanza del punto di interesse.

Sulla base di esperienze pregresse di scavo di gallerie in roccia, realizzate per mezzo di esplosivi, i valori di frequenza risultano superiori a 50 Hz. Per quanto riguarda invece la frequenza di detonazione “Exposition”, nel caso di scavo di gallerie, può essere considerata la classe “Frequente”.

Prendendo quindi a riferimento la normativa svizzera SN640312a, la quale fornisce valori più cautelativi rispetto alla normativa tedesca DIN 4150, per classi di costruzioni aventi una sensibilità molto bassa, il valore limite della velocità di vibrazione sulle gallerie esistenti è pari a 24 mm/s.

Con riferimento al versante e alle porzioni instabili dell’ammasso roccioso che possono generare il fenomeno della caduta massi, la valutazione delle condizioni operative atte a garantire condizioni di sicurezza per le pareti è invece più complessa, perché riferita a condizioni con preesistenti ignoti margini di sicurezza, i quali, inoltre, possono evolvere nel tempo in risposta alla variazione di fattori esogeni (agenti atmosferici) ed intrinseci, che si possono sovrapporre in maniera del tutto indipendente alle attività di scavo della galleria. Data la varietà delle condizioni geometriche e geotecniche che governano i fenomeni di instabilità, le normative non definiscono valori di riferimento della velocità di vibrazione. Pertanto, prima dello scavo della galleria, è necessario che sia realizzato l’intervento di stabilizzazione delle pareti rocciose del versante (Rif. [18]) al fine di mitigare il rischio di caduta massi.

Tale intervento è costituito da:

- rafforzamenti corticali (rete a doppia torsione, funi e chiodi) riguardanti le pareti rocciose adiacenti la ferrovia nella parte bassa del versante;
- barriere paramassi;
- interventi locali di consolidamento sulle pareti sommitali costituiti da pannelli in fune e chiodature.

## 11.2 Fasi di avanzamento

Lo scavo della galleria sarà eseguito da entrambi gli imbocchi. Dall’imbocco lato Bolzano lo scavo proseguirà verso Sud con lo scavo del tratto di galleria a tre binari. Dall’imbocco lato Verona, le attività prenderanno l’avvio dalla galleria a doppio binario, proseguendo con lo scavo della sezione n.3 del camerone di transizione (da Figura 29 a Figura 31). Lo scavo del tratto a singolo binario avverrà una volta ultimato lo scavo del tratto a doppio binario. Sulla base delle velocità di avanzamento previste, l’incontro tra i due fronti di scavo avverrà nel tratto di galleria a tre binari.

Per ogni dettaglio relativo alle fasi di scavo della galleria si veda l’elaborato di riferimento (Rif. [42]).

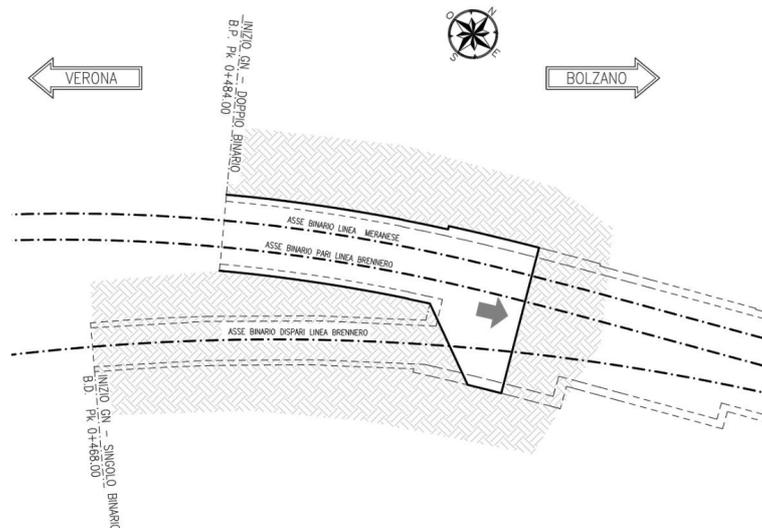
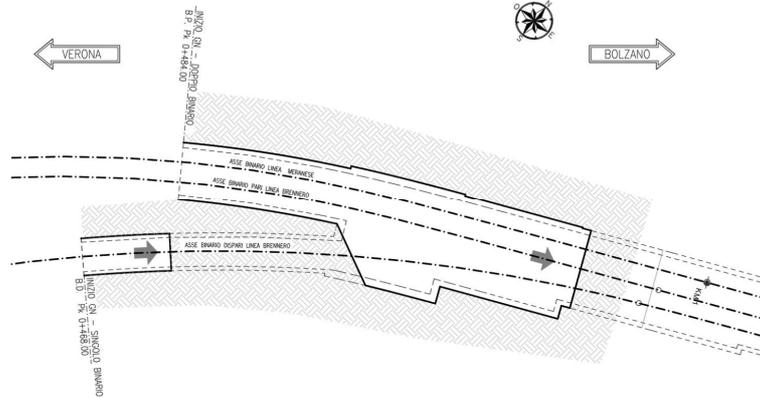
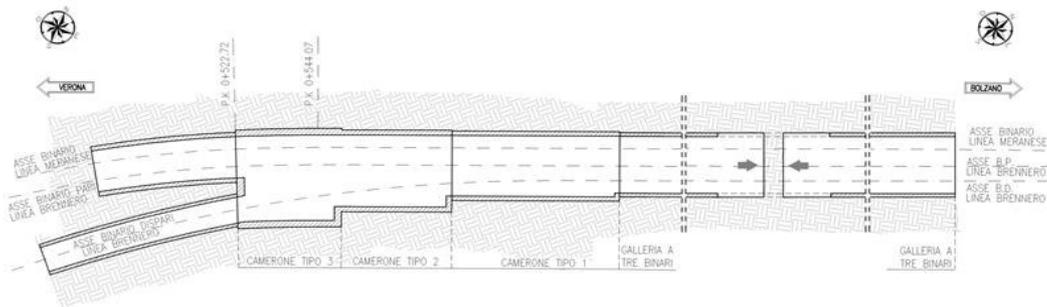


Figura 29. Macrofase 1 da imbocco lato Verona



**Figura 30. Macrofase 2 da imbocco lato Verona**



**Figura 31. Macrofase 3 da imbocco lato Verona**

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA <b>NB1D</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

### 11.3 Sezioni di avanzamento

Si riporta di seguito una sintetica descrizione delle sezioni di avanzamento, che trovano completa rappresentazione negli elaborati grafici di progetto. Per la distribuzione delle tratte di applicazione delle diverse sezioni tipo si rimanda invece al “Profilo geotecnico – Galleria del Virgolo” (Rif. [29]).

In generale, non si rendono necessari interventi preventivi di consolidamento; in prevalenza, lo scavo avviene per sfondi successivi, con applicazione, dopo ogni sfondo, di un priverivestimento costituito da spritz-beton fibrorinforzato e bullonatura radiale eseguita in calotta con barre ad ancoraggio puntuale (sezione A0). Tuttavia, in considerazione della tipologia di ammasso e della variabilità delle condizioni di fratturazione che lo caratterizzano, è stato previsto anche l’impiego di sezioni che prevedono un priverivestimento costituito da centine e spritz beton. (Sezione A1).

Nei tratti di galleria a singolo e doppio binario, a causa della ridotta distanza tra le due gallerie e alla significativa condizione di parietalità si prevede l’impiego sistematico di sezione con priverivestimento costituito da centine e spritz beton (sezione A1) e, laddove l’ammasso si presenta con grado di fratturazione maggiore, si farà ricorso anche all’adozione di chiodi ad ancoraggio continuo (sezione A2).

È prevista la realizzazione di un’impermeabilizzazione al contorno della galleria, con telo in PVC protetto da uno strato di tessuto non tessuto. Le acque intercettate dall’impermeabilizzazione saranno smaltite da tubazioni drenanti, ubicate al piede del manto in PVC, collegate alla canaletta centrale.

Si riportano di seguito le caratteristiche delle sezioni di avanzamento:

- Quattro sezioni (Sezione singolo binario, doppio binario, a tre binari e sezione camerone interasse 4-5) in cui viene eseguito uno scavo a sezione piena.
- Due sezioni (Sezione camerone interasse 5-8 e interasse 8-11,45) aventi area di scavo maggiore, che saranno realizzate parzializzando lo scavo con lo scavo, prevedendo prima lo scavo della zona di calotta, successivamente lo scavo della porzione inferiore della sezione di strozzo e infine lo scavo dell’arco rovescio.
- Una sezione di raccordo (sezione di transizione tra sezione della galleria doppio binario e sezione camerone interasse 8-11,45), applicata per una lunghezza di 12m.

#### Sezione singolo binario

##### Sezione A1

Prevede interventi di contenimento del cavo tramite centine e spritz-beton, ne è prevista l’applicazione quando, alla scala del fronte, le condizioni dell’ammasso corrispondono a valori di GSI superiori a 50.

La sezione è caratterizzata da:

- scavo a piena sezione con sfondi di dimensioni massime 2,80 m;
- 2+2 drenaggi in avanzamento (eventuali), L = 30 m, sovrapposizione minima = 10 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,15 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN140 con passo 1,40 m ± 20%;

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA NB1D	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

- arco rovescio (spessore 0,60 m) in calcestruzzo armato gettato ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri;
- calotta (spessore 0,60 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

### Sezione A2

Prevede interventi di contenimento del cavo tramite centine, spritz-beton e bulloni ad ancoraggio continuo, ne è prevista l'applicazione quando, alla scala del fronte, le condizioni dell'ammasso corrispondono a valori di GSI inferiori a 50.

La sezione è caratterizzata da:

- scavo a piena sezione con sfondi di dimensioni massime 2,40 m;
- 2+2 drenaggi in avanzamento (eventuali), L = 30 m, sovrapposizione minima = 10 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,15 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN140 con passo 1,20 m  $\pm$  20%;
- chiodatura radiale mediante 10/11 chiodi ad ancoraggio continuo  $\varnothing$ 24 disposti in raggiere alternate, lunghezza 4,50 m, interasse longitudinale e trasversale 1,20 m. Per l'incidenza della chiodatura (numero) è prevista una variabilità del  $\pm$ 20%;
- arco rovescio (spessore 0,60 m) in calcestruzzo armato gettato ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri;
- calotta (spessore 0,60 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

### **Sezione doppio binario**

#### Sezione A1

Prevede interventi di contenimento del cavo tramite centine e spritz-beton, ne è prevista l'applicazione quando, alla scala del fronte, le condizioni dell'ammasso corrispondono a valori di GSI superiori a 50.

La sezione è caratterizzata da:

- scavo a piena sezione con sfondi di dimensioni massime 2,80 m;
- 2+2 drenaggi in avanzamento (eventuali), L = 30 m, sovrapposizione minima = 10 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo 1,40 m  $\pm$  20%;
- arco rovescio (spessore 0,70 m) in calcestruzzo armato gettato ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri;
- calotta (spessore 0,60 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

#### Sezione A2

Prevede interventi di contenimento del cavo tramite centine, spritz-beton e bulloni ad ancoraggio continuo, ne è prevista l'applicazione quando, alla scala del fronte, le condizioni dell'ammasso corrispondono a valori di GSI inferiori a 50.

La sezione è caratterizzata da:

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA <b>NB1D</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

- scavo a piena sezione con sfondi di dimensioni massime 2,40 m;
- 3+2 drenaggi in avanzamento (eventuali), L = 30 m, sovrapposizione minima = 10 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,20 m di spritz-beton e doppie centine IPN180 con passo 1,20 m  $\pm$  20%;
- chiodatura radiale mediante 14/15 chiodi ad ancoraggio continuo  $\varnothing$ 24 disposti in raggiera alternate, lunghezza 6,00 m, interasse longitudinale e trasversale 1,20 m. Per l'incidenza della chiodatura (numero) è prevista una variabilità del  $\pm$ 20%;
- arco rovescio (spessore 0,80 m) in calcestruzzo armato gettato ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri;
- calotta (spessore 0,70 m) in calcestruzzo armato gettati ad una distanza non vincolata dal fronte.

### Sezione a tre binari

#### Sezione A0

Prevede interventi di contenimento del cavo spritz-beton e chiodatura radiale per mezzo di chiodi ad ancoraggio puntuale, ne è prevista l'applicazione quando, alla scala del fronte, le condizioni dell'ammasso corrispondono a valori di GSI superiori a 50.

La sezione è caratterizzata da:

- scavo a piena sezione con sfondi di dimensioni massime pari a 2,80 m;
- 3+3 drenaggi in avanzamento (eventuali), L = 30 m, sovrapposizione minima = 10 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato;
- chiodatura radiale mediante 11/10 chiodi ad ancoraggio continuo  $\varnothing$ 24 disposti in raggiera alternate, lunghezza 8,00 m, interasse longitudinale e trasversale 2,00 m. Per l'incidenza della chiodatura (numero) è prevista una variabilità del  $\pm$ 20%;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) in calcestruzzo armato gettato ad una distanza massima dal fronte pari a 5 diametri;
- calotta (spessore 1,00 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

#### Sezione A1

Prevede interventi di contenimento del cavo tramite centine e spritz-beton, ne è prevista l'applicazione quando, alla scala del fronte, le condizioni dell'ammasso corrispondono a valori di GSI inferiori a 50.

La sezione è caratterizzata da:

- Scavo a piena sezione con sfondi di dimensioni massime pari a 2,80 m;
- 3+3 drenaggi in avanzamento (eventuali), L = 30 m, sovrapposizione minima = 10 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN220 con passo 1,40 m  $\pm$  20%;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) in calcestruzzo armato gettato ad una distanza massima dal fronte pari a 4 diametri;
- calotta (spessore 1,00 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

### Sezioni camerone di diramazione

Per lo scavo del camerone è prevista l'applicazione delle sezioni tipo A0 e A1. In considerazione delle aree di scavo, per le sezioni con interasse binari 5-8 m e 8-11,45 m si prevede uno scavo a sezione parzializzata che vede dapprima lo scavo della porzione di calotta e in un secondo momento il ribasso dello strozzo e quindi dell'arco rovescio. I rivestimenti definitivi sono previsti armati.

Di seguito si riportano la descrizione e le principali fasi realizzative della sezione di camerone di dimensione maggiore. Per dettagli in merito alle altre sezioni tipo di camerone si rimanda agli specifici elaborati di progetto. I principali elementi caratterizzanti la sezione tipo di camerone per interasse binari da 8,0 m a 11,45 m sono:

- scavo della porzione di calotta con singoli sfondi di dimensioni massime di 2,40 m;
- chiodatura radiale mediante 14/15 chiodi ad ancoraggio continuo  $\varnothing 24$  disposti in raggiera alternate, lunghezza 8,00 m, interasse longitudinale e trasversale 2,00 m. Per l'incidenza della chiodatura (numero) è prevista una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- rivestimento provvisorio composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati al termine dell'intero scavo del camerone;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore 0,90 cm) gettata al termine dell'intero scavo del camerone.

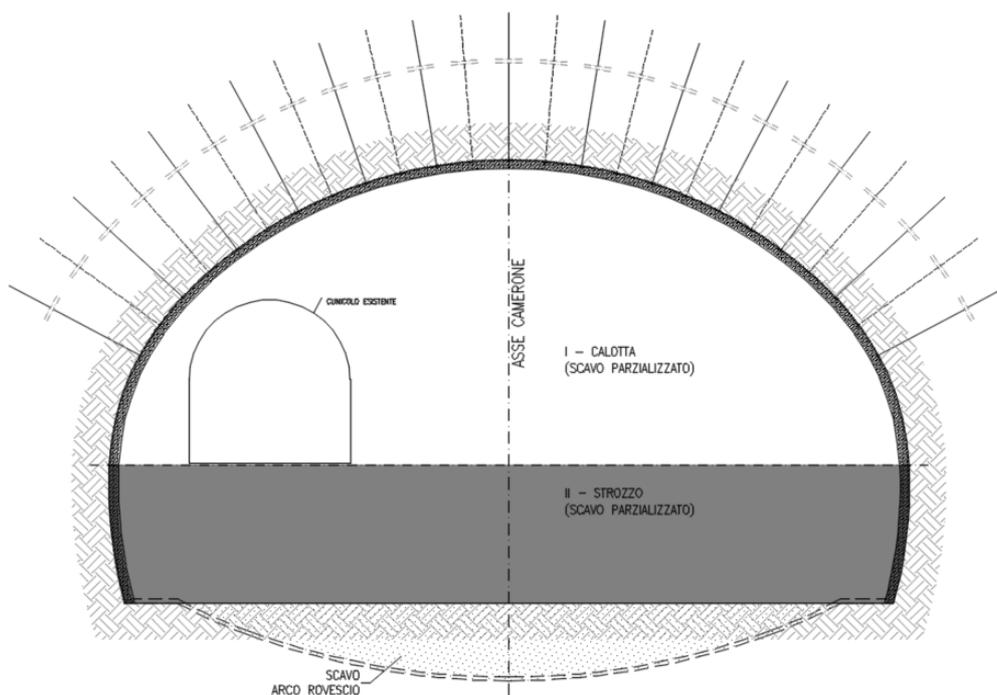


Figura 32. Settori di scavo sezione tipo camerone interasse 8m-11.45m

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA NB1D	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

Di seguito sono descritte le principali fasi realizzative:

- Fase 1: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali);
- Fase 2: esecuzione dello scavo del settore di calotta per sfondi di 2,40 m massimo. Posa in opera del rivestimento di prima fase costituito da uno strato di spritz-beton di 0,30 m e bullonatura radiale a 3 m da fronte;
- Fase 3: esecuzione dello scavo di ribasso “strozzo” per sfondi di 2,40 m massimo ad una distanza dal fronte non inferiore a 9 m. Posa in opera del rivestimento di prima fase costituito da uno strato di spritz-beton di 30 cm;
- Fase 4: ripetizione delle fasi precedenti sul settore di scavo di calotta e ribasso “strozzo” avendo cura di mantenere la distanza minima tra i due fronti di scavo di 9 m.
- Fase 5: completamento dello scavo nella zona dell'arco rovescio. Armatura e getto di arco rovescio e murette.
- Fase 6: posa in opera dell'impermeabilizzazione composta da uno strato protettivo di tessuto non tessuto e da un telo impermeabilizzante in pvc. Posizionamento del cassero e getto del rivestimento definitivo al termine dello scavo della galleria.

#### Criteria di applicazione delle sezioni

La scelta della sezione da applicare è funzione delle condizioni di fratturazione descritte alla scala dal fronte attraverso l'indice di qualità GSI (Geological Stress Index).

In particolare, la sezione prevalente si applica quando, alla scala del fronte, le condizioni dell'ammasso corrispondono a valori di GSI superiori a 50. Se i valori del GSI risultano invece inferiori a 50 si applica la sezione eventuale.

- **Tabella 6. Percentuale di applicazione sezione tipo di scavo e consolidamento**

SEZIONI	% APPLICAZIONE
<b>Tratto singolo binario – da 0+467 a 0+526.18 pk L= 59.18 m</b>	
A1	70%
A2	30%
<b>Tratto doppio binario – da pk 0+485 a 0+522.74 B.P. - L=37.74 m</b>	
A1	70%
A2	30%
<b>Camerone di diramazione – da pk 0+622.6 a pk 0+522.74 B.P.– L=99.86</b>	
<b>Camerone di diramazione - Sezione tipo 1 – Interasse 4-5 m - da pk 0+622.6 a pk 0+578.91 B.P.– L=43.69</b>	
A0	60%
A1	40%
<b>Camerone di diramazione - Sezione tipo 2 – Interasse 5-8 -</b>	

<b>da pk 0+578.91 a pk 0+550.21 - B.P.- L=28.70m</b>	
A0	60%
A1	40%
<b>Camerone di diramazione - Sezione tipo 3 – Interasse 8-11.45 - da pk 0+550.21 – 0+522.74 - B.P.- L=27.47m</b>	
A0	60%
A1	40%
<b>Tratto a 3 binari – da pk 0+943.51 a pk 0+622.6 B.P. L=320.91</b>	
A0	60%
A1	40%

Per la distribuzione delle tratte di applicazione delle sezioni tipo si rimanda all’elaborato “Profilo geotecnico” (Rif. [29]).

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA NB1D	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

## 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 Profilo geotecnico – Galleria del Virgolo” (Rif. [29])

### Instabilità locali del cavo.

Presentando l’ammasso roccioso diverse famiglie di giunti subverticali e fratture suborizzontali con direzione variabile, è possibile il manifestarsi di instabilità locali del cavo. Tale rischio è da considerarsi maggiore nella zona “Zona 2” in cui il cunicolo esplorativo ha manifestato rilasci dalla calotta (circa da progressiva km 0+845,00 a progressiva km 0+ 920). L’applicazione di sezioni provviste di interventi di stabilizzazione al contorno del cavo (bulloni, spritz beton e centine) da eseguirsi dopo ogni sfondo permette di gestire tale rischio.

### Instabilità versante.

La morfologia del versante si presenta molto articolata, con pareti rocciose sub-verticali o strapiombanti che sovrastano la piana sottostante ove si sviluppano la linea ferroviaria Verona-Brennero e Via del Calvario. I fenomeni di instabilità più ricorrenti sono rappresentati da:

- caduta di massi che si origina da fenomeni di scivolamento e ribaltamento di porzioni dell’ammasso roccioso affiorante, individuate dalle discontinuità;
- scivolamenti e colate di detrito.

Lo scavo della galleria del Virgolo avviene per un lungo tratto in condizioni di parietalità: la distanza estradosso dalla galleria dal profilo esterno del versante varia da un minimo di pochi metri in prossimità degli imbocchi, ad un massimo di circa 70 m. In fase di scavo si possono produrre dei distacchi di blocchi in condizioni di equilibrio precario.

Come riportato nel §11.1, è previsto, come intervento propedeutico allo scavo della galleria, la realizzazione dell’intervento di stabilizzazione del versante Nord-Ovest del colle del Virgolo (Rif. [18]) al fine di mitigare il rischio di caduta massi. Tale intervento è costituito da:

- rafforzamenti corticali (rete a doppia torsione, funi e chiodi) riguardanti le pareti rocciose adiacenti la ferrovia nella parte bassa del versante;
- barriere paramassi;
- interventi locali di consolidamento sulle pareti sommitali costituiti da pannelli in fune e chiodature.

Allo stesso modo, come riportato nella “Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco” Rif. [28], anche per le zone di imbocco è previsto un intervento di stabilizzazione costituito da rafforzamenti corticali (rete a doppia torsione, funi e chiodi). A maggior cautela, le metodologie di scavo devono comunque essere definite con l’obiettivo di limitare al massimo le vibrazioni prodotte al contorno della galleria attraverso accorgimenti quali ad

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA <b>NB1D</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

esempio: sfondi di lunghezza limitata, parzializzazione dello scavo per le sezioni di dimensioni maggiori, impiego di micro-ritardi.

### Fenomeni di interferenza con opere preesistenti

Nel rilievo del Virgolo sono presenti altre due importanti infrastrutture sotterranee: la Strada Statale 12 e l'autostrada del Brennero A22 (cfr. paragrafo 7.5). È necessario controllare gli eventuali risentimenti prodotti dalla fase di scavo della nuova galleria sulle gallerie esistenti.

La modellazione numerica dimostra che lo scavo della galleria produce limitati effetti al contorno date le caratteristiche dell'ammasso e l'adozione di interventi di contenimento al contorno.

Le vibrazioni associate alle operazioni di scavo devono essere contenute nella fase realizzativa adottando idonee metodologie di scavo. Dovranno prevedersi sistematici micro-ritardi al fine di ridurre la carica detonante simultanea. Inoltre, sulla base dei dati sperimentali ottenuti in fase realizzativa, si potrà valutare la possibilità di realizzare un diaframma di fori vuoti paralleli e ravvicinati al contorno della sagoma di scavo (*line-drilling*), al fine di realizzare una sorta di piano di discontinuità, all'interno della roccia, per attenuare la propagazione delle vibrazioni al contorno. Per lo scavo delle sezioni più grandi del camerone (sezioni con interasse binari 5-8 m e 8-11,45 m), al fine di ridurre il quantitativo di carica, è prevista la parzializzazione della superficie di scavo, prevedendo prima lo scavo della zona di calotta, successivamente lo scavo della porzione inferiore della sezione di strozzo e infine lo scavo dell'arco rovescio.

Nelle zone degli imbocchi e nelle tratte in cui la galleria è maggiormente parietale, nonostante i preventivi interventi di stabilizzazione del versante, dovrà essere posta maggiore attenzione al controllo delle vibrazioni prodotte dallo scavo della galleria. Per ulteriori dettagli in merito alle modalità di avanzamento si rimanda al par. 11.1.

Inoltre, la presenza del cunicolo esplorativo costituisce una preesistente superficie libera parallela alla direzione dei fori che consente di evitare l'impiego delle mine di rinora, e di ridurre quindi l'intensità delle vibrazioni indotte. Tuttavia, laddove il tracciato del cunicolo esplorativo si colloca in prossimità della zona di piedritto della sagoma della galleria, si prevede un intervento di consolidamento, realizzato dall'interno del cunicolo, con iniezioni di miscela cementizia a bassa pressione per mezzo di tubi in PVC valvolati (Figura 33).

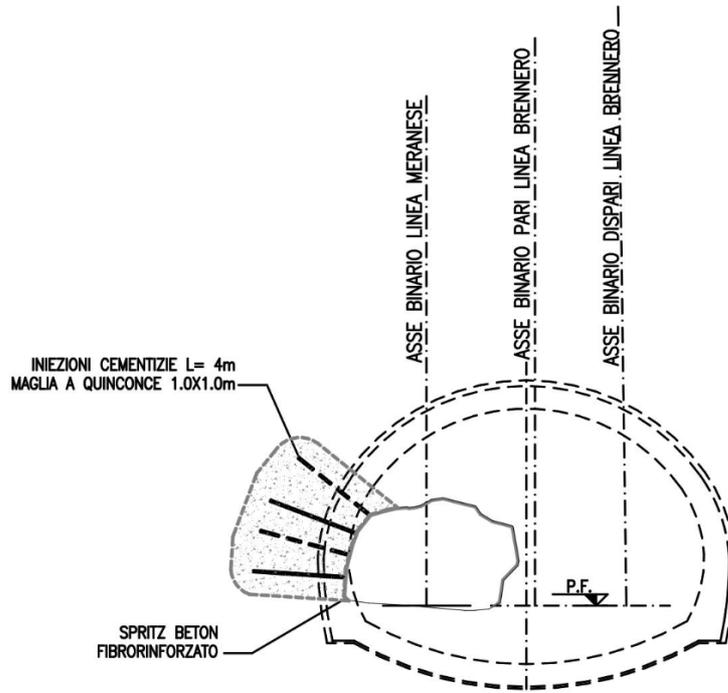


Figura 33. Intervento di consolidamento cunicolo esplorativo

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA NB1D	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

## 12 FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO

### 12.1 Scavo tradizionale

Sono di seguito illustrati i criteri che dovranno essere adottati in corso d'opera per l'applicazione delle sezioni tipo e la gestione delle variabilità, nell'ambito delle previsioni del progetto, che sono sintetizzate nei valori attesi delle grandezze caratteristiche.

In corso d'opera sono previsti rilievi del fronte da eseguirsi dopo ogni sfondo della galleria, che dovranno in modo particolare verificare le caratteristiche delle discontinuità, definendone:

- tipologia e natura
- giacitura (dip e dip direction).
- spaziatura e apertura,
- scabrezza delle superfici di discontinuità (JRC),
- resistenza a compressione monoassiale (JCS) stimata con apparecchiatura "Point Load".

Le evidenze di cui sopra permetteranno di definire l'indice di qualità dell'ammasso GSI che determina la scelta in termini di sezioni da applicare. Se il valore del GSI risulta inferiore a 50 si procede con l'applicazione di prerivestimento con centine metalliche e spritz beton nel tratto a tre binari e nel camerone di diramazione (sezione tipo A1). Nei tratti a singolo e doppio binario, in considerazione della contestuale presenza di basse coperture e vicinanza tra le due gallerie, nel caso in cui il GSI risulti inferiore a 50 si procederà con l'applicazione di una sezione che, oltre al prerivestimento costituito da centine metalliche e spritz beton, prevede bulloni ad ancoraggio puntuale (sezione tipo A2).

La verifica e la messa a punto del progetto avverranno con i criteri di seguito descritti:

1. Le condizioni geologiche e geotecniche rilevabili al fronte corrispondono con lo scenario prevalente (GSI > 50) previsto in progetto e la risposta deformativa rientra nel campo dei valori attesi: si procede con la sezione prevalente prevista per la tratta.
2. Le condizioni geologiche e geotecniche rilevabili al fronte corrispondono con lo scenario eventuale (GSI < 50) previsto in progetto e la risposta deformativa rientra nel campo dei valori attesi: si procede con la sezione eventuale prevista per la tratta.
3. La variabilità delle sezioni prevalenti ed eventuali consiste in: diminuzione/aumento dell'interasse delle centine ( $\pm 20\%$  del passo medio), diminuzione/aumento del numero di bulloni ( $\pm 20\%$  del numero medio); tale variabilità sarà regolata in funzione del valore del GSI all'interno dei campi: GSI > 50 e GSI < 50.

Tali criteri saranno affinati nella fase di progettazione esecutiva che definirà anche i valori soglia (di attenzione e di allarme) a cui associare le corrispondenti azioni. I criteri di applicazione e gestione delle sezioni tipo dovranno essere espressi nello specifico documento progettuale "Linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo e relative variabilità".

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA <b>NB1D</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

## 12.2 Monitoraggio in corso d'opera

Nella fase realizzativa dovrà essere posto in opera un adeguato programma di monitoraggio, volto a verificare le previsioni progettuali ed affinare le soluzioni tecniche nell'ambito della variabilità indicate in protetto.

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

- monitoraggio degli spostamenti di punti di controllo.

Con riferimento alla realizzazione della galleria naturale il programma di monitoraggio dovrà prevedere:

- il rilievo analitico e speditivo del fronte di scavo, con particolare riferimento alle caratteristiche delle discontinuità e al grado di fratturazione dell'ammasso;
- il controllo della convergenza del cavo, mediante installazione di stazioni di convergenza con mire ottiche;
- il monitoraggio dello stato tensionale nel rivestimento di prima fase mediante celle di carico, celle di pressione e *strain-gauges*;
- il monitoraggio dello stato tensionale nel rivestimento definitivo mediante barrette estensimetriche;
- il monitoraggio delle vibrazioni indotte al contorno con lo scopo di misurare le vibrazioni lungo il versante e nelle gallerie esistenti con lo scopo di valutare la sicurezza dell'esercizio stradale.

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 per le grandezze sopra dette.

Per ulteriori dettagli riguardo le frequenze delle letture e gli altri aspetti legati al monitoraggio delle opere minori si rimanda agli elaborati specialistici allegati al progetto.

	<b>LINEA BOLZANO – MERANO</b> <b>REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI</b>					
	Relazione tecnica	COMMESSA NB1D	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

### 13 CONCLUSIONI

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

La progettazione dell'opera in sotterraneo è stata condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [20]), 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 tradizionale. Entrambe le soluzioni progettuali sono state analizzate 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.