

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. GALLERIE

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI-BARI.

RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.

II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.

2° LOTTO FUNZIONALE TELESE - SAN LORENZO.

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

SCALA:

-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I F 0 H	2 2	D	0 7	R G	G N 0 0 0 0	0 0 1	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	A. Amato <i>[Signature]</i>	Giugno 2017	A. Amato <i>[Signature]</i>	Giugno 2017	F. Cerrone <i>[Signature]</i>	Giugno 2017	A. Sciotti Giugno 2017

File: IF0F22D07RGGN000001A.doc

n. Elab.: 22 *[Signature]* 177

TALFERR S.p.A.  
U.O. GALLERIE  
Dot. Ing. Alessandra Sciotti  
Ordine degli Ingegneri di Roma  
n° 19848

## INDICE

1	PREMESSA .....	5
2	SCOPO DEL DOCUMENTO .....	5
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
3.1	LEGGI E NORMATIVE COGENTI .....	5
3.2	NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI.....	6
3.3	PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF) .....	6
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	6
4.1	DOCUMENTI REFERENZIATI .....	6
4.2	DOCUMENTI CORRELATI.....	7
4.3	DOCUMENTI SUPERATI .....	7
5	ALLEGATI .....	8
6	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO .....	8
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	9
7.1	IL TRACCIATO E LE GALLERIE DI LINEA.....	9
7.2	USCITE DI EMERGENZA .....	18
8	METODOLOGIA DI LAVORO .....	20
9	FASE CONOSCITIVA .....	21
9.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	21
9.2	INDAGINI GEOTECNICHE.....	24
9.3	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	24
9.4	ASPETTI GEOMORFOLOGICI SPECIFICI.....	26
10	FASE DI DIAGNOSI.....	28
10.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO.....	28

10.2	DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO.....	29
10.3	DEFINIZIONE DELLE TRATTE A COMPORTAMENTO TENSIO-DEFORMATIVO OMOGENEO.....	29
11	FASE DI TERAPIA .....	30
11.1	METODOLOGIA DI SCAVO.....	30
11.1.1	<i>Criteri di scelta del sistema di scavo.....</i>	30
11.1.2	<i>Scavo tradizionale. Gallerie di linea.....</i>	30
11.1.2.1	<i>Sezione tipo A1 .....</i>	31
11.1.2.2	<i>Sezione tipo A2 .....</i>	32
11.1.2.3	<i>Sezione tipo B1 .....</i>	32
11.1.2.4	<i>Sezione tipo B2 .....</i>	33
11.1.2.5	<i>Sezione tipo C1 .....</i>	33
11.1.2.6	<i>Sezione tipo C1m .....</i>	34
11.1.2.7	<i>Sezione tipo C2 .....</i>	35
11.1.2.8	<i>Sezione tipo C2v .....</i>	36
11.1.2.9	<i>Sezione tipo C2p.....</i>	36
11.1.3	<i>Scavo tradizionale. Uscite di emergenza.....</i>	37
11.1.3.1	<i>Sezione tipo A2 .....</i>	38
11.1.3.2	<i>Sezione tipo B1 .....</i>	38
11.1.3.3	<i>Sezione tipo B2 .....</i>	39
11.1.3.4	<i>Sezione tipo C1 .....</i>	40
11.1.3.5	<i>Sezione tipo C2 .....</i>	40
11.2	RISCHI POTENZIALI CHE INCIDONO SULLA REALIZZAZIONE DELLE GALLERIE .....	41
11.2.1	<i>Presenza di trovanti/blocchi.....</i>	41
11.2.2	<i>Presenza di gas.....</i>	41
11.2.3	<i>Presenza di cavità carsiche, masse rocciose carsificate .....</i>	43
11.2.4	<i>Venute d'acqua/Carico idraulico elevato.....</i>	44
11.2.5	<i>Interferenza sorgenti .....</i>	44
11.2.6	<i>Acque aggressive.....</i>	45
11.2.7	<i>Instabilità del fronte e del cavo.....</i>	47

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	22 D 07	RG	GN 00 00 001	A	4 di 52

11.2.8	<i>Comportamento rigonfiante argilla.....</i>	48
11.2.9	<i>Fenomeni di subsidenza/interferenza con opere preesistenti.....</i>	48
12	<b>FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO.....</b>	<b>50</b>
12.1	<b>MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA.....</b>	<b>50</b>
13	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>52</b>

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>2° LOTTO FUNZIONALE TELESE - SAN LORENZO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IF0H	22 D 07	RG	GN 00 00 001	A	5 di 52

## 1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto definitivo per il raddoppio della linea Cancello-Benevento sull'itinerario Napoli-Bari ed in particolare si riferisce al secondo lotto funzionale compreso tra la Stazione di Frasso Telesino/Dugenta (km 16+500 km) e l'impianto di Vitulano (km 46+950.00) per una estensione complessiva di circa 30,4 Km di linea.

Dall'analisi di tracciato e in funzione delle fasi di esercizio, è prevista una suddivisione dell'intervento in 3 lotti funzionali in relazione ai tratti in cui l'infrastruttura dialoga con gli impianti esistenti di Telese e San Lorenzo:

- Lotto 1 (circa 11,2 km): dal km 16+500 fino all'impianto di Telese al km 27+700;
- Lotto 2 (circa 11,3 km): da Telese fino all'impianto del PC di San Lorenzo (km 39+050);
- Lotto 3 (circa 7,9 km) dall'impianto del PC di San Lorenzo fino a fine intervento (km 46+950 km).

La presente relazione sintetizza gli aspetti principali della progettazione definitiva delle opere civili in sotterraneo riguardanti il Lotto 2 (da pk 27+700 km a pk 39+050 km).

## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Scopo del documento è la descrizione delle principali soluzioni tecnico-progettuali individuate per la realizzazione delle tratte in naturale delle gallerie e le relative opere accessorie..

## 3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

### 3.1 Leggi e normative cogenti

- Rif. [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 14/01/2008, "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni";
- Rif. [2] C.S.LL.PP., Circolare n°617 del 02/02/2009, "Istruzioni per l'applicazione delle "nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14/01/2008";
- Rif. [3] Decreto Ministeriale 28/10/2005. "Sicurezza nelle gallerie ferroviarie";
- Rif. [4] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell'Unione Europea – 1303/2014 - relativa alla Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente "la sicurezza nelle gallerie ferroviarie" nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- Rif. [5] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell'Unione Europea – 1300/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente le "persone a mobilità ridotta" nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>2° LOTTO FUNZIONALE TELESE - SAN LORENZO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF0H	LOTTO 22 D 07	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

Rif. [6] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell'Unione Europea – 1299/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità.

### 3.2 Normative non cogenti e raccomandazioni

Rif. [7] SIG, “Linee guida per la progettazione, l'appalto e la costruzione di opere in sotterraneo”, 1997;

Rif. [8] ITA, “Guidelines for the design of tunnels”, 1988;

### 3.3 Prescrizioni e specifiche tecniche (RFI, ITF)

Rif. [9] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 A “Manuale di Progettazione delle opere civili ” datato Dic 2016;

Rif. [10] ITALFERR, Specifica Tecnica PPA.0002403 “Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali” datato Dicembre 2015.

## 4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 4.1 Documenti Referenziati

Come input per il presente documento sono stati utilizzati gli elaborati di progetto relativi alle precedenti fasi progettuali:

Rif. [11] ITALFERR, Progetto Preliminare (2007);

Rif. [12] ITALFERR, Aggiornamento del Progetto Preliminare ai requisiti della Legge Obiettivo (2009);

Rif. [13] Ordinanza n°25 (e relativi Allegati) di approvazione del Progetto Preliminare da parte del Commissario Straordinario, contenente prescrizioni e raccomandazioni per la Progettazione Definitiva (2016).

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

Rif. [14] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, Elaborati Specialistici;

Rif. [15] U.O. Infrastrutture Centro, Elaborati Specialistici;

Rif. [16] U.O. Gallerie, doc IF0H22D07F5GN0000001A “Profilo geotecnico – Galleria Tuoro S. Antuono e Galleria Cantone” datato Giugno 2017;

Rif. [17] U.O. Gallerie, doc IF0H22D07F5GN0000002A “Profilo geotecnico – Galleria Limata e Galleria S. Lorenzo” datato Giugno 2017

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IF0H	22 D 07	RG	GN 00 00 001	A	7 di 52

- Rif. [18] U.O. Gallerie, doc IF0H22D07F6GN0000001A “Profilo geotecnico – Galleria Tuoro S. Antuono e Galleria S. Lorenzo –Uscite di emergenza pk 29+428.37 km e pk 35+846.78 km” datato Giugno 2017;
- Rif. [19] U.O. Gallerie, doc IF0H22D07PZGN0100001A “Interferenza SS372 Telesina – Consolidamento dall’alto – Planimetria e fasi” datato Giugno 2017;
- Rif. [20] U.O. Gallerie, doc IF0H22D07PZGN0400001A “Interferenza Torrente Ianare. Intervento di consolidamento d’alto. Fasi esecutive 1/2” datato Giugno 2017;
- Rif. [21] U.O. Gallerie, doc IF0H22D07PZGN0400002A “Interferenza Torrente Ianare. Intervento di consolidamento d’alto. Fasi esecutive 2/2” datato Giugno 2017
- Rif. [22] U.O. Gallerie, doc da IF0H02D07P7GN0000001A a da IF0H02D07P7GN0000007A “Planimetria opere interferenti con livello di danno” datato Giugno 2017.

#### 4.2 Documenti Correlati

- Rif. [23] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.).
- Rif. [24] Lunardi P. (2015). Il controllo dell'estrusione del nucleo di terreno al fronte d'avanzamento di una galleria come strumento di stabilizzazione per la cavità - Muir Wood Lecture at the ITA/AITES World Tunnel Congress on "Promoting tunnelling in SEE Region". Dubrovnik.
- Rif. [25] Lunardi P. (1998). Conception et exécution des tunnels: rôle et résultats de la recherche expérimentale - Revue Francaise de Geotechnique no.84.
- Rif. [26] Paratie Plus2 017, Teoria – “Metodo Paratie Plus per la valutazione dei cedimenti verticali” – cap.6 Paratie Plus 2017 – teoria, Milano, Ceas, 2016.
- Rif. [27] Peck R.B. (1969). Deep excavations and tunnelling in soft ground. SOA Report 7th Int. Conf. SMFE Mexico City, State of the Art Volume.
- Rif. [28] O’Reilly, M.P. e New, B.M. (1982). Settlements above tunnels in the united kingdom - their magnitude and prediction. Tunnelling 82. The Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Rif. [29] Burland J.B. (1997). Assessment of risk of damage to buildings due to tunnelling and excavation. Earthquake Geotechnical Engineering, Ishihara (ed.). Balkema, Rotterdam.
- Rif. [30] Boscarding M.D., Cording E.G. (1989). Building response to excavation-induced settlement. Jnl. Geo. Engrg. ASCE, 115.
- Rif. [31] Potts, D.M. e Addenbrooke, T.I. (1997). A structure’s influence on tunnelling-induced ground movements. Proc. Instn. Civ. Engrs. Geotech. Engineering.

#### 4.3 Documenti Superati

Non sono presenti documenti superati.



ITINERARIO NAPOLI-BARI.  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.  
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.  
2° LOTTO FUNZIONALE TELESE - SAN LORENZO.

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	22 D 07	RG	GN 00 00 001	A	8 di 52

## 5 ALLEGATI

Non sono presenti documenti allegati.

## 6 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

I contenuti della presente relazione sono utilmente completati e arricchiti dagli elaborati grafici specialistici allegati al progetto.



## 7 DESCRIZIONE DELL'OPERA

### 7.1 Il tracciato e le gallerie di linea

La lunghezza totale del tracciato del Lotto 2, dall'impianto di Telese (km 27+700) all'impianto del PC di San Lorenzo (km 39+050), è di circa 11,3 km e si sviluppa in sotterraneo per una lunghezza complessiva di circa 4,6 km, mediante quattro gallerie naturali a doppio binario denominate Tuoro S. Antuono, Cantone, Limata e S. Lorenzo.

La velocità di tracciato del Lotto 2 è di 180 km/h fatta eccezione per il tratto da pk 30+500 km a pk 37+500 km nel quale è pari a 200 km/h, la pendenza massima longitudinale in linea è del 11,15 %, la massima sopraelevazione in curva è pari a 145 mm e il raggio di curvatura minimo è di 1550 m.

In tabella sono riportate le progressive (valutate rispetto al binario dispari) delle opere in sotterraneo di linea previste nel Lotto 2 e delle opere di imbocco ad esse connesse.

PD FRASSO - VITULANO - LOTTO 2						
GALLERIA	P <sub>kinizio</sub>	P <sub>kfinale</sub>	L	Opera	L <sub>parziali</sub>	L <sub>TOT</sub>
[-]	[m]	[m]	[m]		[m]	[m]
Tuoro S. Antuono	28820,00	29023,60	203,6	GA scatolare + policentrica lato Canello	203,6	1610
	29023,60	30385,40	1361,8	GN01	1361,8	
	30385,40	30430,00	44,6	GA policentrica + Becco di Flauto lato Benevento	44,6	
Cantone	32928,26	33033,50	105,24	GA scatolare + policentrica lato Canello	105,24	985,74
	33033,50	33430,50	397	GN02	397	
	33430,50	33539,50	109	GA policentrica + scatolare	109	
	33539,50	33894,50	355	GN02	355	
	33894,50	33914,00	19,5	GA policentrica + scatolare lato Benevento	19,5	
Limata	34464,20	34493,80	29,6	GA policentrica + Becco di flauto lato Canello	29,6	300,9
	34493,80	34731,50	237,7	GN03	237,7	

	34731,50	34765,10	33,6	GA policentrica + scatolare	33,6	
	34927,85	34971,35	43,5	GA scatolare + policentrica lato Canello	43,5	
S. Lorenzo	34971,35	36621,40	1650,05	GN04	1650,05	1719,65
	36621,40	36647,50	26,1	GA policentrica + Becco di flauto lato Benevento	26,1	

**Tabella 1 – Progressive delle gallerie di linea del Lotto 2**

Le sezioni di intradosso utilizzate per gallerie di linea a doppio binario in scavo tradizionale sono in accordo con le sezioni tipo del Manuale di Progettazione RFI (Rif. [9]), idonee al transito del gabarit C (P.M.O. n°5) e velocità di progetto sino a 200 km/h. Al suo interno è previsto l'alloggiamento dell'armamento tradizionale con traverse tipo "RFI-240" poggiate su ballast ed elettrificazione a c.c. a 3 kV.

Fatta eccezione per i tratti agli imbocchi a sezione scatolare, le gallerie hanno sezione policentrica con raggio di calotta e piedritti pari a 5,40 metri (con semi-apertura angolare pari a 120,50°). Tale sezione sviluppa un'area libera di poco superiore ai 66 m<sup>2</sup> e un perimetro pari a quasi 32 metri come previsto dal Manuale di Progettazione RFI (Rif. [9]). Le tratte a sezione scatolare hanno, invece, nella loro configurazione standard corrente, una larghezza pari a 10,20 m e una altezza libera su piano del ferro pari a 6,80 m.

Gli stradelli di servizio, posti su entrambi i lati, sono a geometria variabile, secondo quanto prescritto dal Manuale di Progettazione RFI (Rif. [9]), e, adattandosi alla configurazione trasversale del binario, sono caratterizzati dal ciglio posto ad altezza fissa, misurata perpendicolarmente al piano di rotolamento del piano attiguo, pari a +55 cm e a distanza dal bordo interno della più vicina rotaia, misurata parallelamente al piano di rotolamento, pari a 113 cm. Pertanto la larghezza dei camminamenti in rettilineo è pari a 129 centimetri al netto della tolleranza costruttiva.

Considerando che la massima sopraelevazione raggiunta nelle gallerie in naturale del Lotto 2 è di 150 millimetri (galleria Tuoro S. Antuono), i camminamenti avranno le seguenti dimensioni limite (rispettivamente per la posizione all'esterno e all'interno curva):

- larghezze da 137 e a 120 cm;
- altezze misurate sul p.f. di 80,5 e 43,8 cm;
- distanze dall'asse del binario di 177,5 e 190,0 cm.

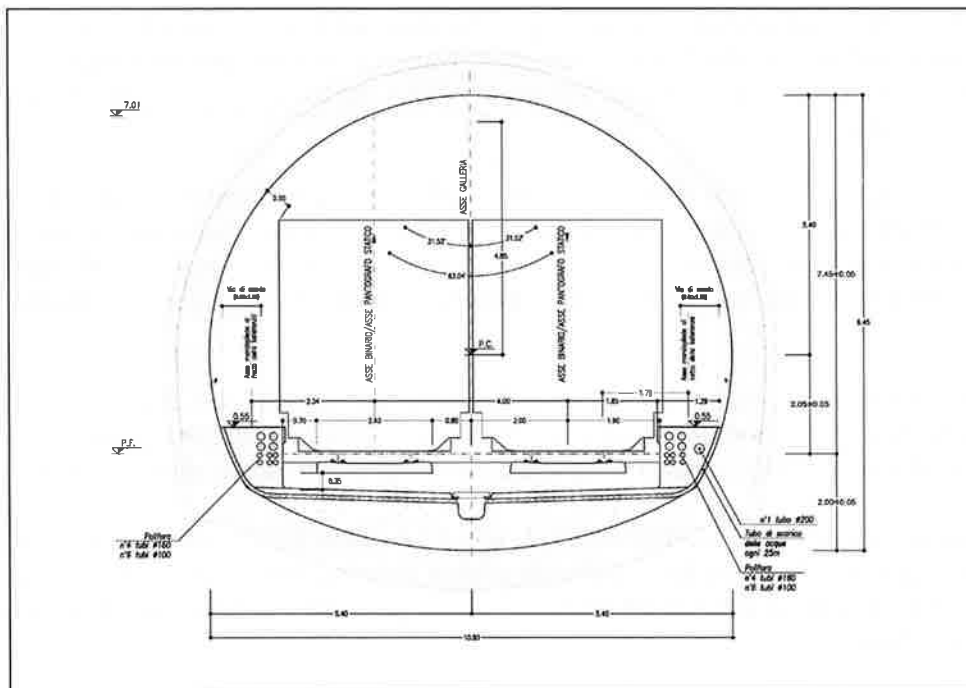


Figura 1 - Sezione di intradosso gallerie di linea e gallerie artificiali policentriche (sezione corrente)

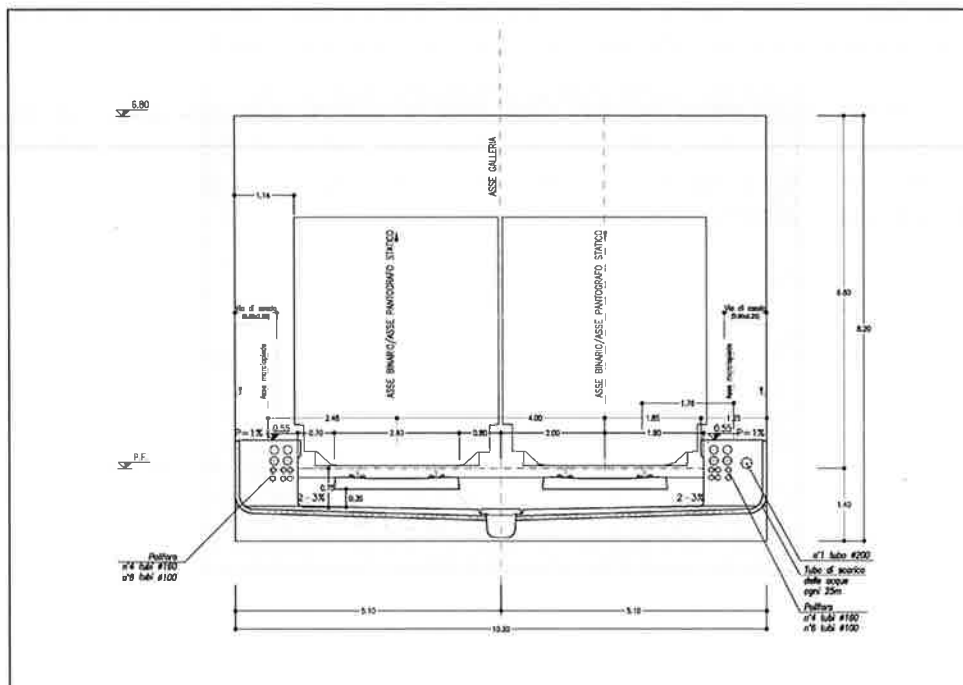


Figura 2 - Sezione di intradosso gallerie artificiali scatolari (sezione corrente)

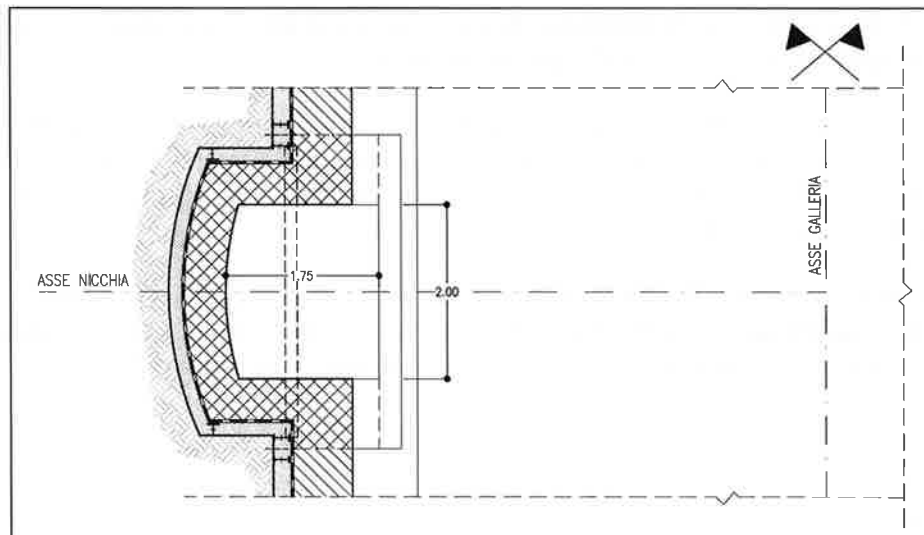
E' stata verificata la visibilità dei segnali presenti lungo il tracciato del Lotto 2 e da tale analisi sono risultati critici il segnale di protezione S05 sul binario dispari al km 28+750 circa, posto all'aperto nel tratto antistante l'imbocco lato Canello della galleria Tuoro S. Antuono, e il segnale PBA sul binario pari posto all'interno della galleria Cantone al km 33+420 circa.

Per garantire la visibilità del segnale S05 da 200 m di distanza, considerando la percorrenza del treno da Benevento verso Canello con marcia illegale, è stato necessario prevedere nel tratto in artificiale all'imbocco della galleria Tuoro S. Antuono (da km 28+820 a km 28+906) una sezione scatolare allargata di 1,90 m lato binario dispari rispetto alla sezione scatolare corrente, passando quindi da una larghezza complessiva di 10,20 m a 12,10 m.

Per garantire, invece, la visibilità, da Benevento verso Canello, del segnale PBA posto nella galleria Cantone, è stato necessario prevedere l'adozione nel tratto in artificiale tra il km 33+430,50 e il km 33+539,50 (al di sotto dell'interferenza idraulica con il Rio Lavello) delle seguenti sezioni di intradosso allargate lato binario pari:

- sezione policentrica da km 33+430,50 a km 33+454,40 e da km 33+520,60 a km 33+539,50 con raggio in chiave calotta pari a 9,80 m tale da garantire un allargo rispetto alla sezione policentrica corrente di 0,50 m lato binario pari in corrispondenza del piano dei centri, passando quindi da una larghezza complessiva di 10,80 m a 11,30 m.
- sezione scatolare da km 33+454,40 a km 33+520,60 allargata di 1,20 m lato binario pari rispetto alla sezione scatolare corrente, passando quindi da una larghezza complessiva di 10,20 m a 11,40 m. Si fa notare che dal km 33+480 al km 33+510 la sezione è prevista ribassata (altezza libera su piano del ferro pari a 6,35 m) per la risoluzione dell'interferenza idraulica del Rio Lavello.

Con riferimento al Manuale di Progettazione RFI (Rif. [9]), le gallerie non sono dotate di nicchie di ricovero personale ma esclusivamente di nicchie LFM previste circa ogni 250 m, di dimensioni utili interne pari a circa 1,75x2,00m. Le nicchie per il segnalamento, previste a pk 33+400 km e a pk 36+636,85 km, sono caratterizzate dalla medesima geometria delle nicchie LFM.



**Figura 3 – Dimensioni nicchia LFM e segnalamento**

Di seguito si riporta una breve descrizione delle opere in sotterraneo di linea previste nel Lotto 2 e delle opere di imbocco ad esse connesse. Per maggiori dettagli descrittivi si rimanda agli elaborati grafici specialistici allegati al progetto.

### **Galleria Tuoro S. Antuono**

La quota di imbocco lato Canello è pari a circa 57 m s.l.m. mentre quella lato Benevento è pari a circa 62 m s.l.m. con pendenza del 7,7‰ in ascesa dall'imbocco lato Canello fino al vertice altimetrico a pk 29+620 km e pendenza del 2,05‰ in discesa da tale vertice altimetrico fino all'imbocco lato Benevento. Procedendo dall'imbocco lato Canello, le coperture si mantengono entro valori compresi tra 8 e 54 m. Dalla copertura massima a pk 29+800 km, le coperture degradano fino all'imbocco lato Benevento.

Le trincee di appoggio alle pareti di attacco dello scavo in naturale sono realizzate mediante scavi sostenuti da paratie di pali di grandi diametro  $\Phi = 800$  mm tirantate e contrastate con travi di ripartizione sia lato Canello che lato Benevento.

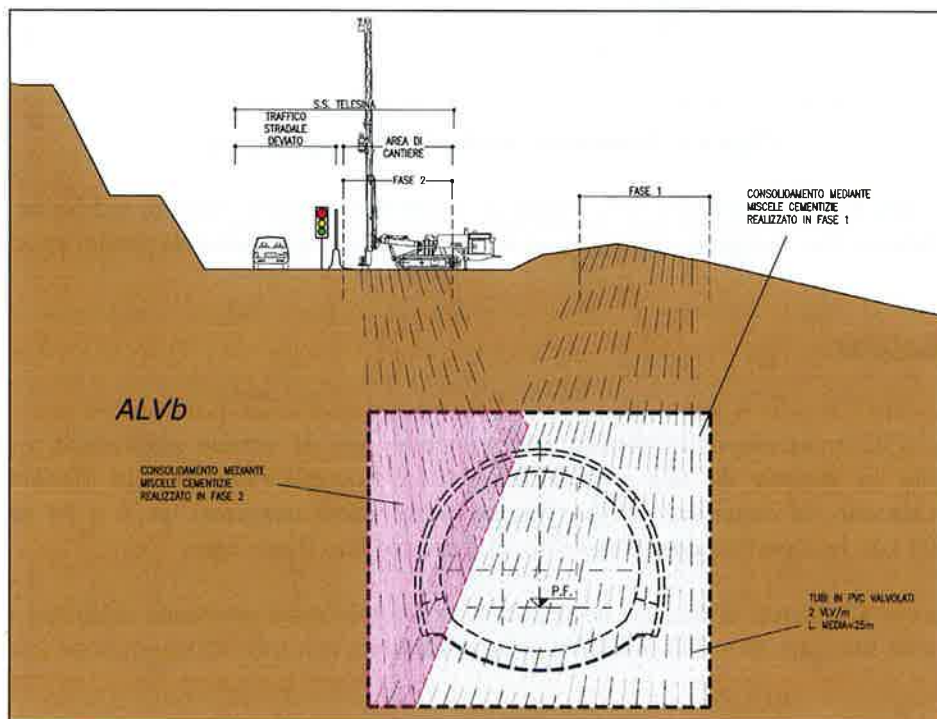
A completamento degli imbocchi, è prevista la realizzazione di due tratte in galleria artificiale di lunghezza, rispettivamente per l'imbocco lato Canello e lato Benevento, pari a 203,60 m e 44,60 m. Per l'imbocco lato Canello sarà realizzato un tratto in galleria artificiale policentrica e un tratto in galleria scatolare: la scelta di prevedere la galleria artificiale scatolare è dettata dalla necessità di risolvere l'interferenza con la SP106/via Olivella che sormonterà l'opera nella sua sistemazione definitiva. Il tratto in artificiale dell'imbocco lato Benevento è caratterizzato, invece, da galleria artificiale policentrica e becco di flauto con muri d'ala a chiusura che contengono il ritombamento atto a ristabilire la configurazione geometrica del profilo originario del piano campagna.

La galleria naturale sottoattraversa alla pk 29+100 km la S.S. 372 – Telesina con coperture rispetto all'estradosso della calotta dell'ordine di 8 m. Considerate le basse coperture che caratterizzano la galleria naturale in questo tratto, ed al fine di migliorare le caratteristiche meccaniche dell'ammasso in corrispondenza dell'attraversamento

della S.S. 372, si prevede di realizzare un intervento di consolidamento del terreno dall'alto, mediante iniezione di miscele cementizie, propedeutico allo scavo della galleria di linea.

Le fasi di cantierizzazione previste in progetto consentono di mantenere aperta al traffico la S.S. 372 - Telesina durante le lavorazioni, mediante la riduzione della carreggiata ad una sola corsia di marcia a traffico alternato, con regolazione semaforica, in corrispondenza dell'area di intervento. Per i dettagli delle fasi esecutive si rimanda all'elaborato specialistico allegato al progetto (Rif. [19]).

L'intervento di iniezione consiste nella realizzazione di perforazioni verticali ed inclinate, eseguite dal piano campagna o dalla sede stradale, per l'inserimento di tubi valvolati in PVC; le miscele cementizie vengono quindi iniettate nel terreno attraverso le valvole, mediante iniettori muniti di doppio packer, a volumi e pressioni di iniezione controllate.



**Figura 4 – Galleria Tuoro S. Antuono. Interferenza SS372 Telesina - Consolidamento da p.c.**

La galleria, inoltre, sottoattraversa edifici agricoli e civili abitazioni. L'esame delle interferenze è sviluppato nel paragrafo §11.2.9.

### Galleria Cantone

La galleria Cantone si estende per circa 985 m e la tratta in naturale è interrotta da una tratta in galleria artificiale di 109 m (da pk 33+430 km a pk 33+539,50 km) necessaria a risolvere l'interferenza idraulica con il Rio Lavello (circa pk 33+500 km).

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IF0H	22 D 07	RG	GN 00 00 001	A	15 di 52

La quota di imbocco lato Cancello è pari a circa 62 m s.l.m. mentre quella lato Benevento è pari a circa 67 m s.l.m. con pendenza sempre in ascesa dall'imbocco lato Cancello all'imbocco lato Benevento, pari al 2,1‰ nel tratto antecedente il vertice altimetrico a pk 33+580 km e pari al 10‰ nel tratto successivo al vertice altimetrico. Le coperture sono crescenti dall'imbocco lato Cancello fino al valore massimo di circa 15 m e degradano verso l'incisione del Rio Lavello dove la galleria passa da naturale in artificiale. Procedendo dal Rio Lavello, la galleria riprende in naturale, le coperture crescono fino alla copertura massima pari a circa 37 m e poi degradano fino all'imbocco lato Benevento.

Le opere di stabilizzazione e sostegno degli scavi degli imbocchi e del tratto in artificiale in corrispondenza del Rio Lavello sono costituite da paratie di pali in c.a. Ø1000 mm.

Per l'imbocco lato Cancello è prevista la realizzazione di un tratto in galleria artificiale policentrica e un tratto in galleria scatolare. Per il primo tratto la palificata sarà provvisoria, tirantata, contrastata con travi di ripartizione e dotata di dreni costituiti da tubi microfessurati in PVC per il controllo delle acque durante le fasi di scavo, mentre nel secondo tratto i pali saranno definitivi in quanto lo scavo è previsto dal basso, in modo da poter procedere con la sistemazione definitiva della viabilità locale interferente non appena completati i pre-scavi, le paratie di pali e la soletta di copertura.

Per il tratto in corrispondenza del Rio Lavello è prevista la realizzazione della paratia per fasi e lo scavo dall'alto per ribassi successivi.

Si prevede la deviazione provvisoria del Rio e successivamente la realizzazione del primo gruppo di pali dalla pk 33+480 km alla pk 33+539,50 km. In corrispondenza di tale tratto si prevede la realizzazione di:

- gallerie artificiali scatolari al di sotto dell'interferenza con il Rio dove la palificata avrà carattere definitivo e sarà contrastata durante le fasi di scavo da puntoni e tiranti. Per rendere compatibili le quote idrauliche di attraversamento del fosso e le opere di linea in progetto, nel tratto da pk 33+480 km a pk 33+510 km la galleria scatolare sarà ribassata (altezza libera su piano del ferro pari a 6,35 m) mentre nel tratto da pk 33+510 km a pk 33+520,60 km avrà configurazione standard (altezza libera su piano del ferro pari a 6,80 m).
- galleria policentrica da pk 33+520,60 km a pk 33+539,50 km dove la palificata avrà carattere provvisoria e sarà tirantata e contrastata con travi di ripartizione.

Successivamente alla sistemazione definitiva del tratto in esame e del Rio Lavello, si procederà con la realizzazione della seconda palificata dalla pk 33+430,50 km a pk 33+480 km. In tale tratto è prevista, in maniera analoga a quanto eseguito nel tratto precedentemente descritto, galleria artificiale con palificata provvisoria da pk 33+430,50 km a pk 33+454,40 km e galleria scatolare standard con palificata definitiva da pk 33+454,40 km a pk 33+480 km.

Anche l'imbocco lato Benevento sarà realizzato per fasi per risolvere l'interferenza con la SP106. Saranno realizzati rilevati di appoggio in corrispondenza dei quali è prevista una palificata che avrà carattere definitivo nel tratto prossimo alla paratia frontale di imbocco in naturale e carattere provvisoria nel tratto contiguo alle opere all'aperto successive della linea. Nel tratto provvisoria, nella configurazione definitiva sono previsti muri ad U, mentre nel tratto definitivo è prevista la realizzazione di uno scatolare con scavo dal basso, in modo da poter procedere con la deviazione provvisoria della SP106 interferente non appena completata la soletta di copertura.



ITINERARIO NAPOLI-BARI.  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.  
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.  
2° LOTTO FUNZIONALE TELESE - SAN LORENZO.

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	22 D 07	RG	GN 00 00 001	A	16 di 52

Per garantire l'attacco in naturale, oltre a prevedere lo scatolare con larghezza 14,60 m e altezza libera su piano del ferro pari a 10,30 m, sarà realizzato un ulteriore rilevato atto a garantire coperture idonee per lo scavo dei primi campi di avanzamento. Successivamente tale rilevato sarà rimosso e ripristinata la SP106 nella sua configurazione ante-operam.

La galleria, infine, sottoattraversa edifici agricoli e civili abitazioni. L'esame delle interferenze è sviluppato nel paragrafo §11.2.9.

### Galleria Limata

La quota di imbocco lato Canello è pari a circa 72 m s.l.m. mentre quella lato Benevento è pari a circa 72,8 m s.l.m. con pendenza costante del 3,4‰ in ascesa da Canello verso Benevento. La copertura massima è di circa 37 m alla pk 34+600 km.

Entrambi gli imbocchi della galleria Limata sono caratterizzati da paratia provvisoria di pali di grandi diametro  $\Phi = 800$  mm tirantati e contrastati con travi di ripartizione.

Per l'imbocco lato Canello è prevista la realizzazione di una tratta di galleria in artificiale di 29,60 m caratterizzata da sezione policentrica e becco di flauto, mentre per l'imbocco lato Benevento sarà realizzato un tratto in galleria artificiale policentrica sottodima e un tratto in galleria scatolare (lunghezza totale 33,60 m) per la risoluzione di una interferenza con una viabilità locale; quest'ultima sarà ripristinata nella sua configurazione ante-operam al di sopra dello scatolare. La galleria scatolare dell'imbocco lato Benevento sarà collegato con le opere contigue all'aperto attraverso un tratto tra muri ad U.

### Galleria San Lorenzo

L'imbocco lato Canello è caratterizzato da quota del p.f. pari a 73,5 m s.l.m. mentre l'imbocco lato Benevento da quota del p.f. pari a circa 82 m s.l.m. La pendenza della livelletta è sempre in ascesa dall'imbocco lato Canello fino all'imbocco lato Benevento ed è pari al 2,06‰ nel tratto antecedente il vertice altimetrico a pk 35+970 km e pari al 9,9‰ nel tratto successivo al vertice altimetrico. La galleria attraversa numerose valli incise da fossi e torrenti, infatti la copertura rispetto all'estradosso di calotta della galleria varia da un minimo di 8 m ad un massimo di 70 m.

L'approccio alle pareti di attacco dello scavo in naturale è realizzato mediante scavi sostenuti da paratie di pali di grandi diametro  $\Phi = 800$  mm tirantate e contrastate con travi di ripartizione sia lato Canello che lato Benevento.

A completamento degli imbocchi, è prevista la realizzazione di due tratte in galleria artificiale di lunghezza, rispettivamente per l'imbocco lato Canello e lato Benevento, pari a 43,50 m e 26,10 m. Per l'imbocco lato Canello sarà realizzato un tratto in galleria artificiale policentrica e un tratto in galleria scatolare, quest'ultima per risolvere l'interferenza con una viabilità locale a destinazione particolare che sormonterà l'opera nella sua sistemazione definitiva. Il tratto in artificiale dell'imbocco lato Benevento è caratterizzato, invece, da sezione policentrica e becco di flauto.

Come indicato precedentemente, la galleria attraversa numerose valli e incisioni, in particolare la galleria sottoattraversa il torrente Ianare circa alla pk 36+000 km con coperture di circa 8 m.



Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	22 D 07	RG	GN 00 00 001	A	17 di 52

Considerate le basse coperture che caratterizzano la galleria naturale in questo tratto, e la presenza del torrente Ianare, al fine di ridurre la permeabilità del terreno e migliorarne le caratteristiche meccaniche in corrispondenza dell'attraversamento del torrente, si prevede di realizzare un intervento di consolidamento dall'alto, in parte mediante jet grouting ed in parte mediante iniezioni di miscele cementizie da tubi in PVC valvolati.

L' intervento mediante jet grouting è previsto nel tratto tra la progressiva km 36+011 e km 36+113: il trattamento consiste in una maglia di colonne in jet grouting di tipo bifluido.

Il consolidamento mediante iniezioni di miscele cementizie è previsto nel tratto tra la progressiva km 35+950 e km 36+011, al di sotto dell'alveo del torrente Ianare; l'intervento di iniezione consiste nella realizzazione di perforazioni verticali ed inclinate, eseguite dal piano campagna in adiacenza al torrente, per l'inserimento di tubi valvolati in PVC; le miscele cementizie vengono, quindi, iniettate nel terreno attraverso le valvole, mediante iniettori muniti di doppio packer, a volumi e pressioni controllati.

Il consolidamento del terreno è propedeutico allo scavo della galleria di linea.

Si prevede inoltre la predisposizione di un'opera idraulica che consenta, nella fase di scavo della galleria al di sotto dell'alveo originario, di poter deviare provvisoriamente il corso del torrente Ianare al di sopra del tratto di galleria già realizzata e rivestita (per le fasi esecutive si rimanda agli elaborati di progetto Rif. [20] e Rif. [21]).

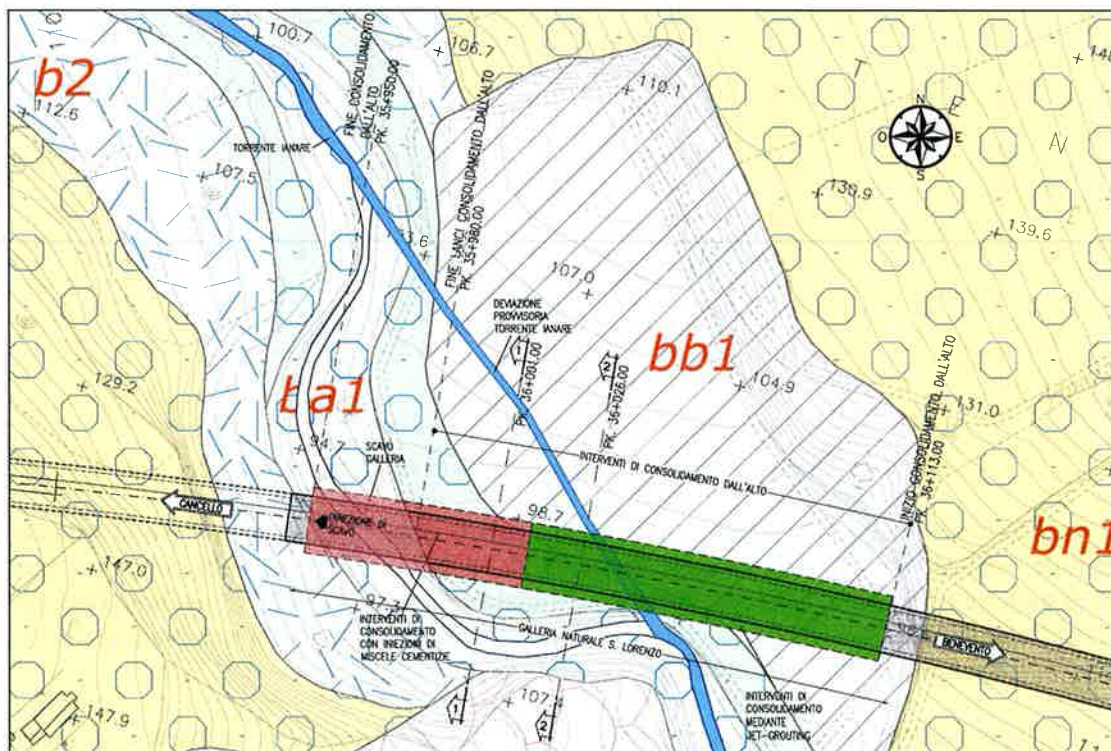


Figura 5 – Galleria S. Lorenzo. Interferenza Torrente Ianare. Intervento di consolidamento da p.c.

La galleria, infine, presenta alcune interferenze a piano campagna; si tratta per lo più di edifici agricoli e di civili abitazioni. L'esame delle interferenze è sviluppato nel paragrafo §11.2.9.

## 7.2 Uscite di emergenza

In accordo a quanto richiesto dalle Specifiche Tecniche di Interoperabilità concernenti la sicurezza nelle gallerie ferroviarie nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità, che prevedono uscite di emergenza laterali e/o verticali ogni 1000 m, considerato lo sviluppo delle gallerie di linea del Lotto 2, sono state progettate 2 uscite di emergenza intermedie nella galleria Tuoro S. Antuono e nella galleria S. Lorenzo. All'innesto con le gallerie di linea le uscite di emergenza sono dotate di un sottopasso, di larghezza pari a 3 m, che consente l'esodo in sicurezza dei passeggeri anche dal marciapiede del binario opposto al percorso di esodo verso l'esterno.

### Galleria Tuoro S. Antuono - Uscita di emergenza innesto pk 29+428,37 km

L'uscita di emergenza, di sviluppo circa pari a 98 m, è di tipo pedonale con sezione di intradosso caratterizzata da larghezza del piano di calpestio (P.C1) pari a 3 m.

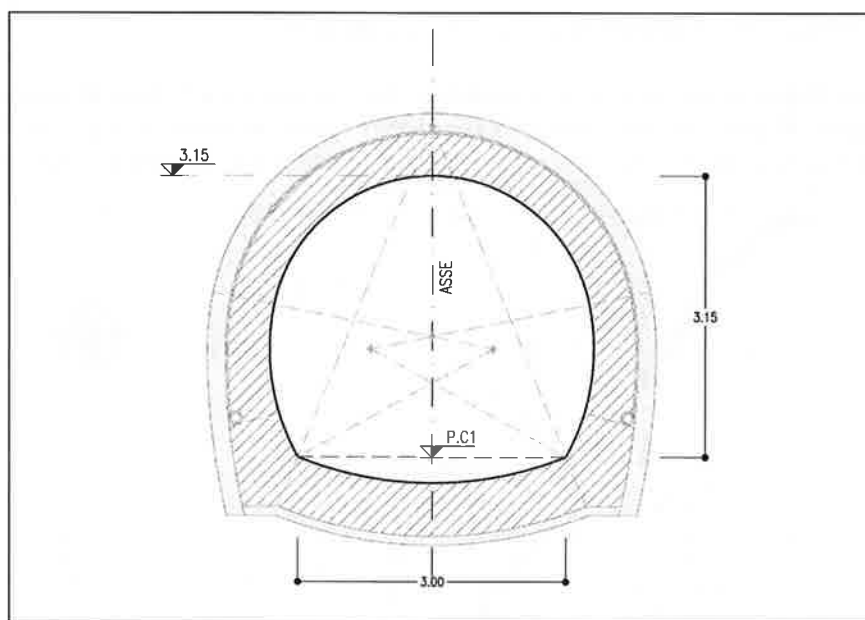
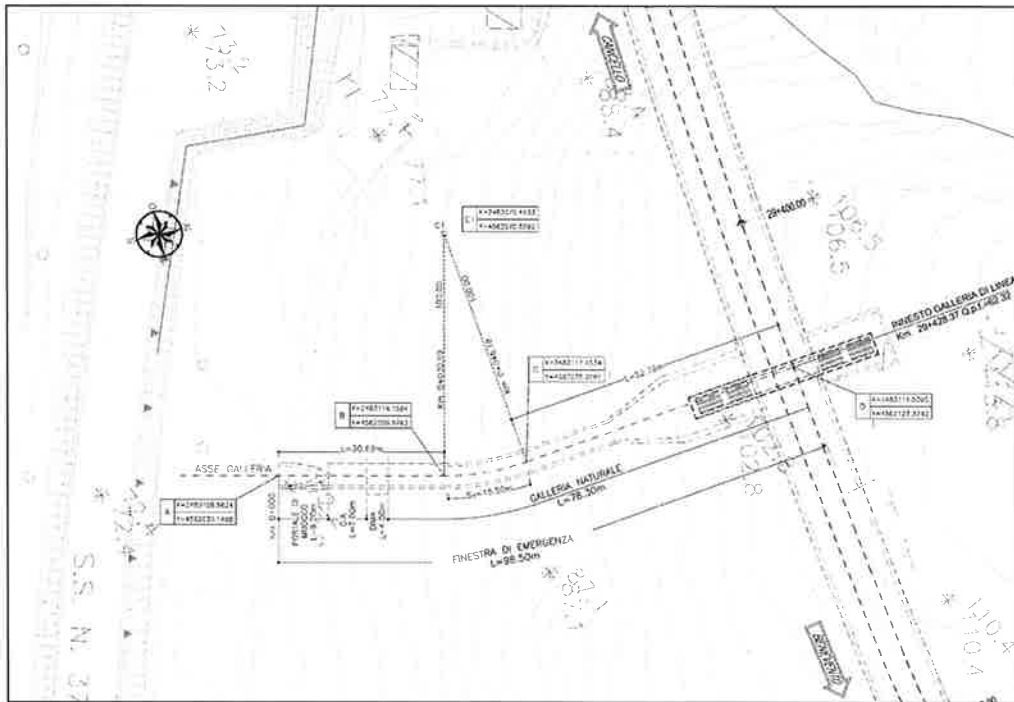


Figura 6 - Sezione tipo di intradosso uscita di emergenza pedonale

L'imbocco è caratterizzato da quota del piano di calpestio pari a circa 72 m s.l.m. mentre la galleria di linea in corrispondenza dell'innesto è caratterizzata da p.f. a quota 98,50 m s.l.m. La pendenza del piano di calpestio è in discesa verso la galleria ed è pari al 12% nel tratto in artificiale e al 16% nel tratto in naturale fino alla sezione di innesto con la galleria di linea. Le coperture crescono a partire dall'imbocco fino a raggiungere il valore massimo di circa 37 m in corrispondenza della sezione di innesto.

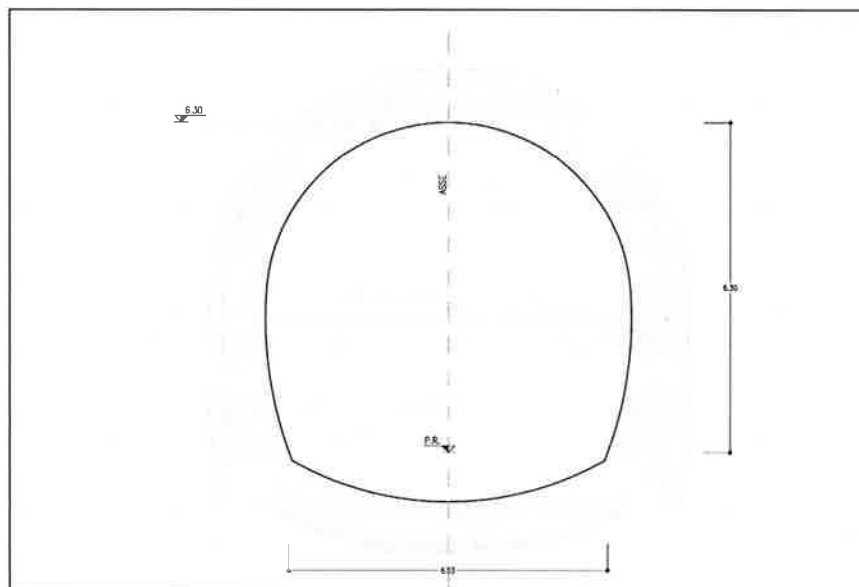
Per l'imbocco, le opere di stabilizzazione e sostegno degli scavi sono costituite da paratie di micropali multi-tirantati Ø250 mm armati con profilati in acciaio Ø193,7 mm e spessore 10 mm, collegati in testa da una trave di coronamento in c.a, mentre l'opera definitiva è costituita da galleria artificiale policentrica e becco di flauto.



**Figura 7 – Uscita di emergenza pedonale con innesto con la galleria Tuoro S. Antuono alla pk 29+428,37 km**

**Galleria S. Lorenzo - Uscita di emergenza innesto pk 35+846,78 km**

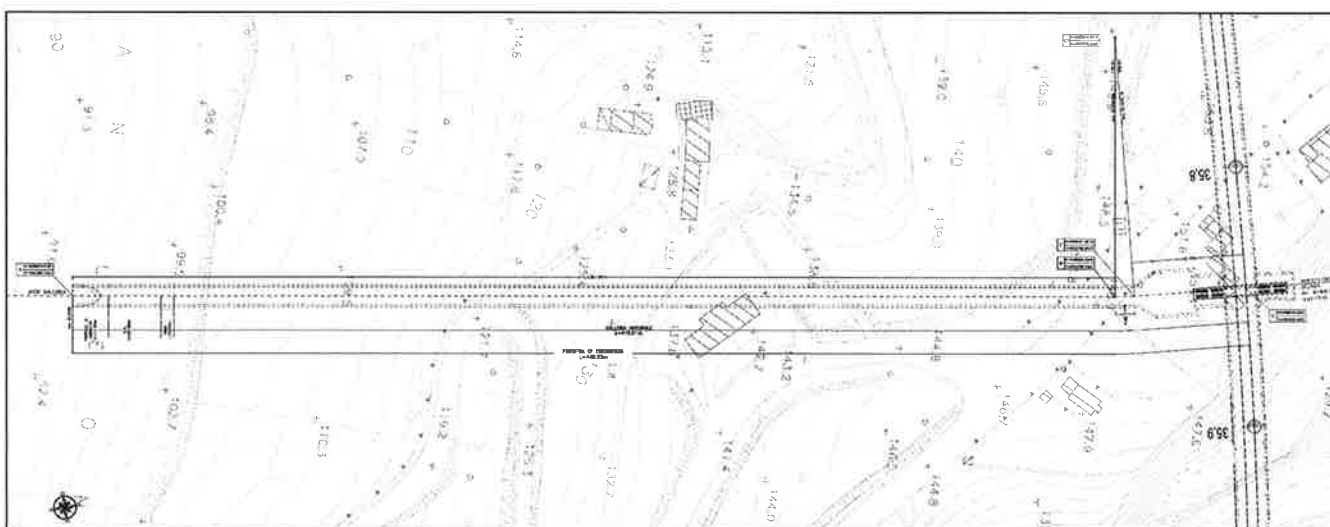
L'uscita di emergenza, di lunghezza pari a circa 448 m, è di tipo carrabile con sezione di intradosso caratterizzata da larghezza del piano di rotolamento (P.R.) pari a circa 6 m.



**Figura 8 - Sezione tipo di intradosso uscita di emergenza carrabile**

Il piano di rotolamento all'imbocco è a quota 87,6 m s.l.m. mentre in corrispondenza dell'innesto con la galleria di linea è a quota 76 m s.l.m., quindi è in discesa verso l'innesto con pendenza pari al 2,38% fino a pk 0+145 km circa e al 3,17% nel tratto fino al camerone di manovra per i mezzi di soccorso (con dimensioni 15x15 m) e alla successiva sezione di innesto con la galleria di linea, dove si raggiunge la copertura massima pari a 72 m.

L'imbocco dell'uscita di emergenza è realizzato mediante opera provvisoria di micropali multi-tirantati Ø250 mm armati con profilati in acciaio Ø193,7 mm e spessore 10 mm; l'opera definitiva è costituita da galleria artificiale policentrica e becco di flauto.



**Figura 9 - Uscita di emergenza carrabile con innesto con la galleria S. Lorenzo alla pk 35+846,78 km**

## 8 METODOLOGIA DI LAVORO

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [23]), 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.

## 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.

Per eventuali approfondimenti sullo studio geologico si rimanda agli specifici elaborati progettuali (Rif. [14]).

### 9.1 Inquadramento geologico

Le formazioni interessate dalle opere in progetto sono:

#### *Unità del Fortore*

Questa unità stratigrafico-strutturale è presente a SE del centro abitato di Telese, e nella porzione più orientale dell'area di studio, lungo i versanti che bordano il Fiume Calore. Appartengono a tale unità le Argille Varicolori Superiori.

#### Argille Varicolori Superiori

Si tratta di depositi marini di bacino profondo costituiti da tre differenti litofacies a dominante argilloso-marnosa, calcareo-marnosa e calcareo-dolomitica. Poggiano in contatto stratigrafico concordante su unità non affioranti nell'area e risultano in contatto tettonico con le Arenarie di Caiazzo e la Formazione di San Giorgio.

La litofacies a dominante pelitica è costituita da argille, argille limose e argille marnose di colore grigio, azzurro, rosso-violaceo e grigio-verdastro (**ALVa**), caotiche o a struttura scagliosa, con sottili intercalazioni sabbioso-limose grigiastre, diffusi passaggi marnosi grigio-verdastri e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvengono livelli di calcari micritici chiari, calcari-dolomitici grigio-violacei, calcari marnosi siliciferi e arenarie arcossico-litiche grigie, in strati da sottili a medi.

La litofacies prevalentemente calcareo-marnosa, invece, è formata da argille, argille limose e argille marnose di colore grigio, azzurro, rosso-violaceo e grigio-verdastro (**ALVb**), caotiche o a struttura scagliosa, in alternanza con calcari micritici chiari, calcari-dolomitici grigio-violacei e calcari marnosi siliciferi, in strati da sottili a spessi; a luoghi si rinvengono intercalazioni sabbioso-limose marroni e grigiastre, passaggi marnosi grigio-verdastri e livelli di arenarie arcossico-litiche grigie, in strati da sottili a medi; localmente sono presenti fasce cataclastiche o milonitiche, costituite da breccie calcaree eterometriche in abbondante matrice sabbioso-limosa e argilloso-sabbiosa grigia e rossastra.

Infine, la litofacies calcareo-dolomitica è costituita da calcari cristallini biancastri, da massivi a ben stratificati, con frequenti intercalazioni di calcareniti bioclastiche, calcari dolomitici grigio-violacei (**ALVc**), brecciole calcaree a macroforaminiferi e conglomerati poligenici a matrice marnosa e limoso-argillosa di colore verdastro; a luoghi si rinvengono passaggi di marne e marne calcaree di colore grigio, verde e rossastro, in strati da molto sottili a sottili,

e locali livelli di arenarie e siltiti grigie; localmente sono presenti fasce cataclastiche o milonitiche, costituite da breccie calcaree eterometriche in abbondante matrice sabbiosa e sabbioso-limosa grigia e biancastra.

### *Depositi vulcanoclastici*

I litotipi in questione sono costituiti da due unità continentali quaternarie, una di genesi prevalentemente vulcanoclastica e una di genesi fluvio-lacustre ma con frequenti orizzonti vulcanoclastici.

#### Unità di Maddaloni

Si tratta di depositi lacustri con frequenti intercalazioni fluviali e vulcanoclastiche, costituiti da quattro differenti litofacies a dominante ghiaioso-sabbiosa (**MDL1**), sabbioso-limosa (**MDL2**), limoso-argillosa (**MDL3**) e travertinoso-sabbiosa (**MDL4**).

Le opere in sotterraneo interessano la litofacies pelitica (**MDL3**), che è costituita da argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio, nocciola e grigio-azzurro a struttura indistinta o debolmente laminata, con diffusi inclusi piroclastici e locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, nocciola e giallastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con diffusi inclusi piroclastici e locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate.

### *Depositi continentali*

Questi terreni sono rappresentati da sei unità continentali quaternarie, ampiamente affioranti in tutto il settore di studio alla base dei rilievi montuosi o in corrispondenza dei principali corsi d'acqua dell'area. In generale, tali depositi sono formati da sedimenti di genesi prevalentemente alluvionale, gravitativa e detritico-colluviale.

#### Coltri eluvio-colluviali

Si tratta di depositi continentali di versante e di alterazione del substrato, costituiti da una singola litofacies a dominante limoso-argillosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e risultano parzialmente eteropiche ai Depositi di origine mista.

Dal punto di vista litologico, sono formati da argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore marrone, grigio e bruno-rossastro (**b2**), a struttura indistinta, con abbondanti resti vegetali, sporadici inclusi piroclastici e rare ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore marrone, grigio e giallastro, a struttura indistinta, con abbondanti resti vegetali, sporadici inclusi piroclastici e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate.

#### Depositi alluvionali recenti

Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine, conoide alluvionale e piana inondabile, costituiti da tre differenti litofacies a dominante ghiaioso-sabbiosa, sabbioso-limosa e limoso-argillosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche.

La litofacies a dominante ghiaioso-sabbiosa è costituita da ghiaie poligeniche ed eterometriche (**bb1**), da sub-angolose ad arrotondate, con locali ciottoli da sub-arrotondati ad arrotondati, in matrice sabbiosa, sabbioso-limosa

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	22 D 07	RG	GN 00 00 001	A	23 di 52

e argilloso-sabbiosa di colore grigio, marrone e giallastro, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro, a struttura indistinta, con sporadici inclusi piroclastici e frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate.

La litofacies sabbioso-limosa, invece, è formata da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore marrone, verde e giallastro (**bb2**), a struttura indistinta o debolmente laminata, con sporadici inclusi piroclastici e frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore bruno-rossastro, a struttura indistinta, con sporadici inclusi piroclastici e rare ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate.

La litofacies a dominante pelitica è costituita da argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore marrone e bruno-rossastro (**bb3**), a struttura indistinta o debolmente laminata, con sporadici inclusi piroclastici e rare ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro, a struttura indistinta, con sporadici inclusi piroclastici e frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate.

#### Depositi alluvionali terrazzati

Tale unità si rinviene diffusamente nel settore centrale dell'area di studio. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine e conoide alluvionale, costituiti da tre differenti litofacies a dominante ghiaioso-sabbiosa, sabbioso-limosa e limoso-argillosa.

La litofacies più grossolana è costituita da ghiaie poligeniche ed eterometriche (**bn1**), da sub-angolose ad arrotondate, con locali ciottoli da sub-arrotondati ad arrotondati, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, nocciola e giallastro, da scarsa ad abbondante, sciolta o moderatamente cementata; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio-azzurro, marrone e giallastro, a struttura indistinta, con sporadici inclusi piroclastici e frequenti ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate; localmente sono presenti lenti e/o livelli di conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro.

La litofacies prevalentemente sabbioso-limosa, invece, è formata da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro (**bn2**), a struttura indistinta o debolmente laminata, con sporadici inclusi piroclastici e frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio e marrone, a struttura indistinta, con sporadici inclusi piroclastici e rare ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.

Infine, la litofacies prevalentemente pelitica è costituita da argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio-azzurro, marrone e verdastro (**bn3**), a struttura indistinta o debolmente laminata, con sporadici inclusi piroclastici e rare ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e bruno-rossastro, a struttura indistinta, con sporadici inclusi piroclastici e frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.

Per la descrizione del modello geologico si rimanda agli elaborati di progetto specialistici (Rif. [14]).

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>2° LOTTO FUNZIONALE TELESE - SAN LORENZO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF0H	LOTTO 22 D 07	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

## 9.2 Indagini geotecniche

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

- Campagna indagini 1984-1985 (*Concessione delle prestazioni integrate occorrenti per la progettazione definitiva del raddoppio e potenziamento della linea Caserta - Foggia e per la progettazione esecutiva e la realizzazione delle opere occorrenti per una prima fase di raddoppio e potenziamento della suddetta linea*);
- Campagna indagini 2007-2009 (*Progettazione preliminare per il "Raddoppio tratta Canello - Benevento; II° lotto funzionale Frasso Telesino - Vitulano"*);
- Campagna indagini 2015 (*Indagini propedeutiche alla progettazione definitiva per il " Raddoppio tratta Canello - Benevento; II° lotto funzionale Frasso Telesino - Vitulano"*).
- Campagna indagini 2017 (*Progettazione definitiva per il " Raddoppio tratta Canello - Benevento; II° lotto funzionale Frasso Telesino - Vitulano"*).

Relativamente al 2° lotto funzionale Telesè – San Lorenzo sono state realizzate le seguenti indagini:

- n. 47 sondaggi a carotaggio continuo di cui n. 15 non attrezzati, n. 27 attrezzati con piezometro, n. 2 strumentati con inclinometro n. 3 attrezzato per sismica in foro;
- n. 1 sondaggio a distruzione attrezzato con inclinometro;
- n. 4 prospezioni sismiche MASW;
- n. 2 indagini tomografiche elettriche;
- n. 5 stendimenti sismici a rifrazione in onde P e S;
- prove di laboratorio.

## 9.3 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

I risultati delle indagini geotecniche, in situ e di laboratorio, hanno permesso di definire il modello geotecnico rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni/rocce interessati dall'opera in sotterraneo lungo il suo tracciato. Il modello geotecnico è rappresentato negli elaborati dei profili geotecnici (Rif. [16], Rif. [17] e Rif. [18]).

Per la definizione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità dei terreni si è fatto riferimento ai risultati delle indagini di laboratorio ed alle elaborazioni delle prove in situ (prove pressiometriche, dilatometriche, prove penetrometriche dinamiche, geofisiche in foro ed in superficie, sismiche a rifrazione).

Di seguito si riportano alcune considerazioni relative alla caratterizzazione geotecnica dei terreni:

- Unità di Maddaloni litofacies limoso-argillosa (**MDL3**)



Tale formazione si ritrova generalmente al di sotto dei depositi alluvionali e la sua struttura indistinta o debolmente laminata, con inclusi piroclastici e locali ghiaie poligeniche, ne conferisce una rigidità generalmente non elevata, come evinto, a titolo di esempio, dalle risultanze di indagini geofisiche in foro.

- Coltri eluvio-colluviali

Tali terreni si rinvengono in corrispondenza delle depressioni impluviali o alla base dei rilievi più acclivi ed estesi. Si tratta di depositi continentali di versante e di alterazione del substrato, di spessore limitati e costituiti da una singola litofacies a dominante limoso-argillosa (**b2**) caratterizzata da ridotti parametri di resistenza e rigidità, tipici delle coltri di detrito.

- Depositi alluvionali recenti

Tali depositi, costituiti dalle tre litofacies a dominante pelitica (**bb3**), a dominante sabbioso-limosa (**bb2**), ed a dominante ghiaioso-sabbiosa (**bb1**), sostanzialmente lambiscono solo in casi sporadici e parzialmente le gallerie in progetto e le opere ad esse connesse. Per tale ragione sono stati inglobati nei depositi alluvionali terrazzati di seguito descritti, a cui si assimilano in termini di caratteristiche geotecniche

- Depositi alluvionali terrazzati

Si tratta dei depositi continentali costituiti da tre litofacies a dominante ghiaioso-sabbiosa (**bn1**), sabbioso-limosa (**bn2**) e limoso-argillosa (**bn3**). Dai sopralluoghi in campo e dai dati ricavati dalle perforazioni di sondaggio, l'unità evidenzia un grado di cementazione variabile anche all'interno dello stesso banco, presentandosi in alcuni casi debolmente/mediamente cementato ed in altri casi sostanzialmente sciolto, oltre ad essere attraversato da frequenti intercalazioni/passaggi tra le differenti litofacies. In questa sede, in virtù delle indagini condotte, sono state accorpate le tre litofacies in un'unica formazione geotecnica, caratterizzata da una rigidità crescente con la profondità, come emerso dalle differenti indagini in sito condotte.

Particolare attenzione è stata rivolta alla caratterizzazione geotecnica delle Argille Varicolori Superiori.

La facies puramente pelitica (**ALVa**) è, a tutti gli effetti, assimilabile ad un'argilla caratterizzata da modesti valori dei parametri di resistenza e deformabilità. Inoltre, può manifestare comportamento rigonfiante. In tale facies la componente pelitica è nettamente prevalente rispetto alla componente litoide ( $L/P \ll 1$ ).

La facies argilloso marnosa-calcareo (**ALVb**) risulta estremamente tettonizzata con alternanze di roccia ed argilla scagliosa in struttura caoticizzata. Le componenti litoide e pelitica sono distribuite percentualmente a favore di quest'ultima ( $L/P < 1$ ). Per la sua caratterizzazione, si è fatto riferimento all'approccio di Hoek e Marinos (2000) che estende l'applicazione della classificazione delle formazioni rocciose basata sul valore di GSI agli ammassi eterogenei rocciosi come i flysch. In tal modo, è stato possibile definire il criterio di rottura di Hoek e Brown per tali ammassi a comportamento geotecnico complesso, adottando parametri di resistenza ridotti rispetto ai valori degli strati litoidi in esso compresi, in modo da tener conto dell'eterogeneità dell'ammasso roccioso e della sua corrispondente resistenza complessiva.

La facies calcareo-dolomitica (**ALVc**) si presenta in affioramento come ammasso roccioso, alterato e fratturato, in un contesto non privo di elementi tettonici generalmente di notevole importanza. In tale facies la componente litoide predomina rispetto alla componente pelitica ( $L/P > 1$ ). In sede di sondaggio, il materiale carotato si presenta caratterizzato da elevato grado di fratturazione. Per la sua caratterizzazione, i valori di resistenza a compressione

monoassiale sono stati ricavati da prove di laboratorio; per il modulo elastico della roccia intatta si è fatto riferimento alla misura delle deformazioni ricavate dalle prove di compressione monoassiale ed alle prove di velocità sonica su provino. Per poter adottare il criterio di rottura empirico di Hoek e Brown (1980), la caratterizzazione delle discontinuità è stata riferita principalmente ai rilievi geostrutturali sugli affioramenti, tenendo in considerazione l'elevato grado di fratturazione ed alterazione degli stessi.

In Tabella 2 sono sintetizzati i range dei principali parametri geotecnici definiti per le formazioni sopra descritte.

Unità	Copertura (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)	$c_u$ (kPa)	E (MPa)	$\sigma_{ci}$ (MPa)	GSI
bn	0-15	20	35-37	10	-	50-140	-	-
	15-40	20	35-37	10-30	-	140-470	-	-
	40-70	20	35-37	10-30	-	470-650	-	-
b2	-	18	30	0-5	-	20	-	-
MDL	-	20	23-25	18-20	240	60-80	-	-
ALVa	-	20	18-25	10-20	150	40-90	-	-
ALVb	-	23	18-40	10-25	150	300-700	40-60	15-20
ALVc	0-20	26	44-48	80-100	-	900-1800	80-120	20-40
	20-50	26	37-40	140-170	-	900-1800	80-120	20-40
	50-100	26	32-34	210-250	-	900-1800	80-120	20-40

**Tabella 2 – Parametri geotecnici caratteristici delle formazioni interessate dalle opere in sotterraneo**

#### 9.4 Aspetti geomorfologici specifici

Nei settori interessati dalla realizzazione delle opere in sotterraneo, sotto il profilo geomorfologico, sono stati individuati e cartografati locali fenomeni deformativi (Rif. [14]).

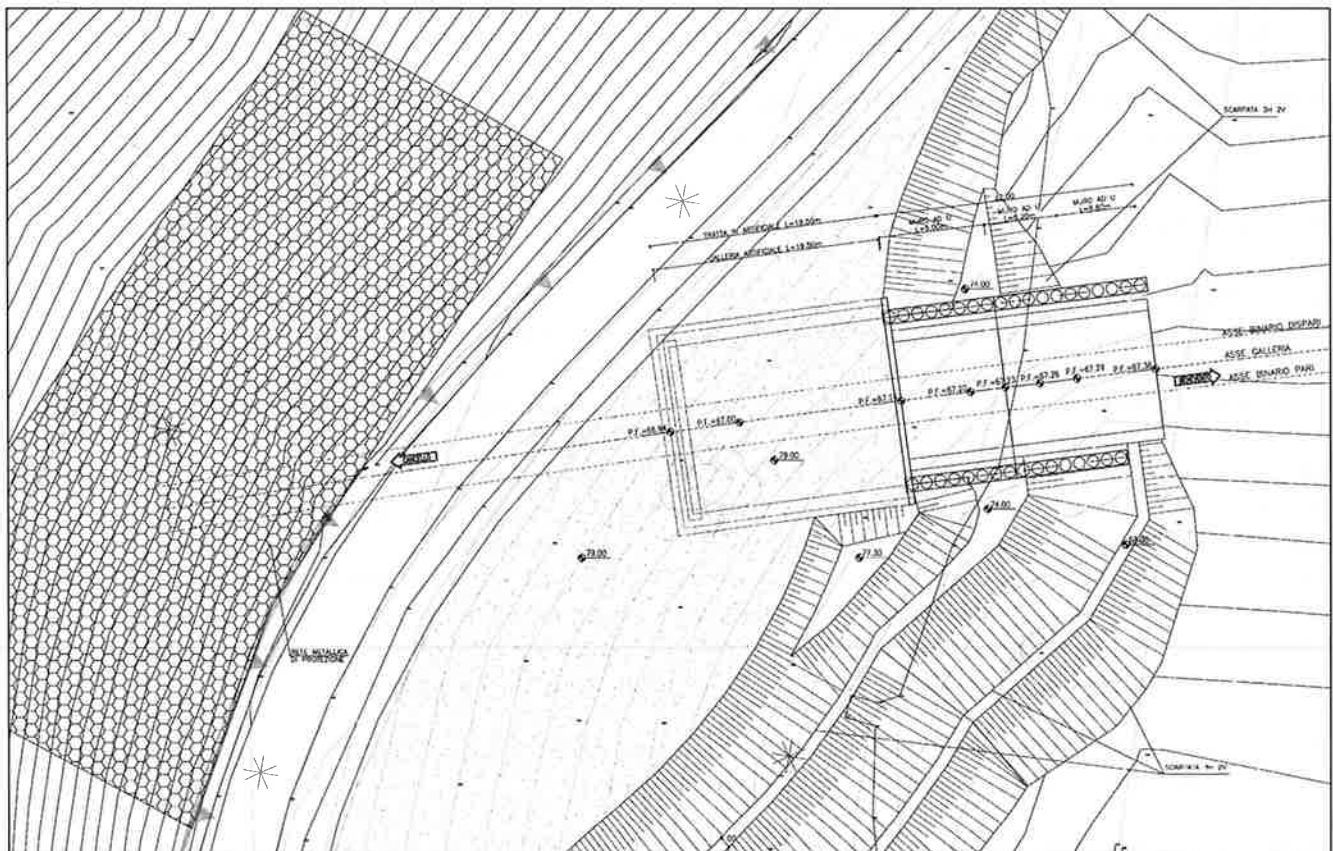
Il settore di versante su cui si sviluppa l'imbocco della Galleria Cantone lato Benevento, al km 33+900, è caratterizzato dalla presenza di un colamento lento quiescente dagli spessori contenuti (2-5 m di coltri di copertura dei depositi alluvionali terrazzati), il cui stato di maturità è testimoniato sia da indicazioni di misure degli spostamenti orizzontali relativi agli inclinometri PNIF52G13 (campagna 2009) e IF15G50 (campagna 2017), che da alcuni dati relativi alle analisi di spostamenti superficiali mediante la tecnica di monitoraggio satellitare

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	22 D 07	RG	GN 00 00 001	A	27 di 52

SqueeSAR™ (radar COSMO-SkyMed, periodo 2012-2016), eseguite nell'ambito dell'approfondimento di indagine propeedeutica all'attuale fase progettuale.

Dall'analisi di tali dati di monitoraggio, difatti, non emergono indicazioni di movimenti del versante, sia nel recente passato che allo stato attuale. Ad ogni modo, è previsto un intervento di protezione mediante rete zincata a doppia torsione opportunamente ancorata, per contenere l'eventuale distacco di detriti nel corso delle lavorazioni, limitatamente al tratto di versante interessato dalle opere.



**Figura 10 – Galleria Cantone. Imbocco lato Benevento. Planimetria sistemazione definitiva**

Nel settore di imbocco della Galleria Limata, lato Benevento, al km 34+750, è presente un fenomeno franoso complesso quiescente di lunga data, privo di segni di recente riattivazione (Rif. [14]). Nella medesima area è stata realizzata un'opera di trattamento delle acque con sistema di fitodepurazione (oggetto di successiva demolizione, in quanto interferente con il tracciato). L'opera di imbocco in progetto lambisce lateralmente il lembo destro (per uno spessore di circa 1-2 m) della zona di accumulo di tale corpo di frana. Anche in questo caso, i dati satellitari (radar COSMO-SkyMed, periodo 2012-2016) provenienti dallo studio di dettaglio condotto, non indicano movimenti spazialmente correlati nell'area in esame, confermando la maturità morfologica del fenomeno ed il relativo stato di quiescenza. Pertanto, tale fenomeno non costituisce criticità di tipo ostativo per le opere in progetto.

## 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. [23]), di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

I risultati dell'analisi del comportamento deformativo consentono di individuare gli interventi di precontenimento e/o di contenimento più idonei a garantire condizioni di stabilità della galleria in fase di scavo e a lungo termine.

### 10.1 Classi di comportamento del fronte di scavo

Secondo l'approccio ADECO-RS (Rif. [23]) 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-

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	22 D 07	RG	GN 00 00 001	A	29 di 52

deformativa può essere opportunamente controllata con adeguati interventi di preconsolidamento del fronte e/o di consolidamento al contorno del cavo. In tal modo si fornisce l'opportuno contenimento all'ammasso perché mantenga un comportamento stabile. Nel caso non si prevedano interventi, lo stato tensio-deformativo può evolvere verso situazioni di instabilità del cavo in fase di realizzazione. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

### Categoria C: nucleo-fronte instabile

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

## 10.2 Determinazione delle categorie di comportamento

Per la determinazione delle categorie di comportamento sono stati utilizzati principalmente due metodi di analisi:

- per le tratte ad alta copertura è stato utilizzato il metodo delle linee caratteristiche (o convergenza-confinamento); tale metodo consente l'analisi 3D semplificata dello scavo di gallerie in relazione alle proprietà meccaniche dell'ammasso attraversato, alle caratteristiche geometriche dell'opera, agli interventi previsti di precontenimento e contenimento, e all'installazione dei rivestimenti provvisori e definitivi. Nella fase di diagnosi, poiché la finalità è la valutazione del comportamento deformativo dell'ammasso in assenza di interventi di stabilizzazione, le analisi consistono nella valutazione della sola curva caratteristica del fronte (e del cavo) senza considerare l'interazione con i sostegni.
- Per le tratte a bassa copertura sono stati utilizzati i metodi di analisi della stabilità del fronte all'equilibrio limite.

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

Per le opere in sotterraneo in progetto sono state considerate diverse sezioni di analisi per le diverse condizioni di ammasso e di copertura. Sulla base di queste analisi, il tracciato è stato suddiviso in tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo.

La galleria Tuoro S. Antuono attraversa la formazione delle Argille Varicolori (ALV) nelle sue tre litofacies. Quando il fronte di scavo interessa prevalentemente le litofacies a dominante argillosa e quindi quando la percentuale di litologie pelitiche risulta preponderante rispetto alle litologie marnose (ALVa) e calcaree (ALVb), è prevista una categoria di comportamento C. In tali tratti, in relazione alla risposta non drenata dell'argilla a breve termine o nel caso in cui, alla scala del fronte, la percentuale di componente pelitica diventa comparabile alla percentuale di componente litoide, è possibile che il fronte esibisca un comportamento di categoria B. In ogni caso per il cavo è atteso un comportamento instabile. Quando il fronte, invece, interessa la litofacies calcareo-dolomitica delle Argille Varicolori (ALVc) e quindi quando la percentuale di componente litoide è maggiore

rispetto alla componente pelitica, il comportamento allo scavo risulta in prevalenza stabile (A). In tale formazione, nelle zone più fratturate e dove la percentuale di componente litoide diventa comparabile alla percentuale di componente pelitica, è prevista una categoria di comportamento B (stabile a breve termine).

La galleria Cantone attraversa i depositi alluvionali terrazzati (bn) con comportamento del nucleo-fronte di scavo prevalentemente in categoria C. Nelle zone in cui i depositi presentano un elevato grado di cementazione è possibile che il comportamento del fronte sia stabile a breve termine (categoria B). Il comportamento atteso al cavo è previsto prevalentemente instabile.

Anche le gallerie Limata e San Lorenzo attraversano i depositi alluvionali terrazzati (bn) quindi risulta valido quanto già definito per la galleria Cantone. In alcuni tratti, però, i fronti di scavo potranno essere caratterizzati dalla presenza contemporanea di terreni incoerenti (bn) e dei terreni argillosi dell'Unità di Maddaloni (MDL3). In tali tratti si prevede un comportamento del nucleo-fronte di tipo instabile (C).

Per le uscite di emergenza i criteri di definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo sono del tutto analoghi a quelli descritti per le gallerie di linea.

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato delle gallerie sono illustrate in forma sintetica nel Profilo Geotecnico (Rif. [16], Rif. [17] e Rif. [18]).

## 11 FASE DI TERAPIA

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

### 11.1 Metodologia di scavo

#### 11.1.1 Criteri di scelta del sistema di scavo

Dall'analisi del tracciato plano-altimetrico e in funzione delle lunghezze delle opere in sotterraneo di progetto e del contesto geologico-idrogeologico e geotecnico attraversato, è stato scelto il metodo di scavo tradizionale a piena sezione per la realizzazione delle gallerie naturali di linea e delle uscite di emergenza.

#### 11.1.2 Scavo tradizionale. Gallerie di linea.

In funzione delle caratteristiche geotecniche delle formazioni attraversate e del loro comportamento allo scavo, saranno applicate 9 diverse sezioni tipo, intese come complesso inscindibile di modalità operative, fasi di lavoro, interventi di stabilizzazione, confinamento, contenimento, drenaggio e delle relative tecnologie esecutive, denominate A1, A2, B1, B2, C1, C1m, C2, C2v e C2p.

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	22 D 07	RG	GN 00 00 001	A	31 di 52

In particolare per la galleria Turo S. Antuono che attraversa la formazione delle Argille Varicolori (ALV) nelle sue tre litofacies (argilloso-marnosa ALVa, argilloso marnosa-calcareo ALVb e calcareo-dolomitica ALVc), è prevista l'applicazione delle sezioni A1, A2, B1, B2, C2, C2v e C2p, mentre per la galleria Cantone, Limata e San Lorenzo, il cui scavo interessa i depositi alluvionali terrazzati (bn), si farà riferimento alle sezioni C1 e B1. Nei tratti della galleria Limata e San Lorenzo, in cui i fronti di scavo saranno caratterizzati dalla presenza contemporanea di terreni incoerenti (bn) e dei terreni argillosi dell'Unità di Maddaloni (MDL3), si prevede l'applicazione della sezione C1m.

Per ciascuna sezione tipo sono previsti eventuali opportuni interventi di presostegno e precontenimento al fronte ed al contorno, l'installazione a ridosso del fronte di scavo di un rivestimento provvisorio costituito da spritz-beton fibrorinforzato e centine metalliche ed infine il getto dei rivestimenti definitivi di arco rovescio e calotta. La gestione delle acque in sotterraneo è garantita dall'installazione eventuale di 3+3 drenaggi in avanzamento, dall'impermeabilizzazione a tergo dei rivestimenti definitivi di calotta e da un tubo microfessurato, al piede dell'impermeabilizzazione, di presidio per eventuale drenaggio delle acque presenti nelle formazioni attraversate.

Nei paragrafi a seguire si riporta una sintetica descrizione delle sezioni tipo definite, che trovano completa rappresentazione negli elaborati grafici di progetto.

Per la distribuzione delle tratte di applicazione delle diverse sezioni tipo si rimanda invece ai profili geotecnici delle gallerie di linea (Rif. [16] e Rif. [17]).

#### **11.1.2.1 Sezione tipo A1**

La A1 è una sezione cilindrica che prevede solo interventi di contenimento al contorno tramite centine e spritz-beton e può essere impiegata solo nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte stabile (categoria A); ne è prevista l'applicazione nei tratti all'interno delle Argille Varicolori ALVc dove, alla scala del fronte, la percentuale di componente litoide è maggiore rispetto alla componente pelitica ( $L/P > 1$ ) e il grado di fratturazione dei calcari è basso.

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione A1, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- scavo a piena sezione per singoli sfondi di dimensioni massime 2,80 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) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 5 diametri;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore 0,60 m) gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

### 11.1.2.2 Sezione tipo A2

La A2 è una sezione cilindrica che prevede solo interventi di contenimento del cavo tramite centine e spritz-beton e bullonatura radiale; può essere impiegata solo nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte stabile (categoria A). Ne è prevista l'applicazione nei tratti all'interno delle Argille Varicolori ALVc dove, alla scala del fronte, la percentuale di componente litoide è maggiore rispetto alla componente pelitica ( $L/P > 1$ ) e il grado di fratturazione dei calcari è medio, o comunque tale da rendere necessario l'utilizzo di sostegni puntuali.

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione A2, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- scavo a piena sezione per singoli sfondi di dimensioni massime 2,40 m;
- chiodatura radiale mediante 14/15 chiodi ad ancoraggio continuo  $\varnothing 24$  disposti in raggiere alternate, lunghezza 6,00 m, interasse longitudinale 1,20 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo 1,20 m  $\pm$  20%;
- arco rovescio (spessore 0,80 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore 0,70 m) gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

### 11.1.2.3 Sezione tipo B1

La B1 è una sezione tronco-conica che prevede interventi di precontenimento del fronte e presostegno al contorno, con campi di avanzamento da 8,5 m; ne è prevista l'applicazione nelle tratte dove lo scavo interessa le Argille Varicolori in tutte e tre le sue litofacies. In particolare, la sezione B1 è applicata quando, alla scala del fronte, la presenza della componente pelitica è prevalente ( $L/P \ll 1$  e  $L/P < 1$ ) e il comportamento del nucleo-fronte è stabile a breve termine (categoria B). Se la componente litoide al fronte diventa preponderante rispetto a quella pelitico/argillosa ( $L/P > 1$ ), la sezione B1 è prevista nel caso in cui il grado di fratturazione dei calcari sia elevato.

La B1 è prevista anche nelle gallerie che attraversano i depositi alluvionali terrazzati (bn), quando questi presentano un elevato grado di cementazione.

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione B1, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante  $30 \pm 20\%$  elementi strutturali in VTR,  $L=14,5$  m (sovrapposizione minima 6,0 m) cementati in foro con miscele cementizie;
- presostegno al contorno (entro un angolo di  $120^\circ$  in calotta) realizzato mediante 33 tubi in acciaio valvolati,  $L=12,0$  m (sovrapposizione minima 3,5 m, interasse  $0,4 \pm 20\%$  m);



Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IF0H	22 D 07	RG	GN 00 00 001	A	33 di 52

- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 8,5 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo 1,0 m  $\pm$  20%;
- arco rovescio (spessore 0,90 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1,5 diametri;
- calotta armata (spessore variabile da 0,50 m a 1,15 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 4 diametri.
- calotta armata (spessore 0,60 m) gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

#### 11.1.2.4 Sezione tipo B2

La B2 è una sezione cilindrica che prevede interventi di precontenimento del fronte, con campi di avanzamento da 12,0 m; può essere impiegata nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte stabile a breve termine (categoria B). Ne è prevista l'applicazione nelle tratte in cui lo scavo interessa le Argille Varicolori in tutte e tre le sue litofacies, quando, alla scala del fronte, la percentuale di componente pelitica diventa comparabile alla percentuale di componente litoide (L/P =1).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione B2, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 50 $\pm$ 20% elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 8,0 m) cementati in foro con miscele cementizie;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 12,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo 1,0 m  $\pm$  20%;
- arco rovescio (spessore 0,90 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1,5 diametri;
- calotta armata (spessore 0,80 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 4 diametri.

#### 11.1.2.5 Sezione tipo C1

La C1 è una sezione tronco-conica che prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno, con campi di avanzamento da 12,0 m; ne è prevista l'applicazione nelle gallerie che attraversano i depositi alluvionali terrazzati (bn) con comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C).

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>2° LOTTO FUNZIONALE TELESE - SAN LORENZO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF0H	LOTTO 22 D 07	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C1, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante  $30\pm 20\%$  microtrattamenti in jet-grouting  $\varnothing 300$  armati con elementi strutturali in VTR,  $L=20,0$  m (sovrapposizione minima 8,0 m);
- precontenimento al contorno realizzato mediante  $61\pm 20\%$  colonne in jet-grouting  $\varnothing 600$ ,  $L=16,5$  m (sovrapposizione minima 4,5 m) e ulteriori 8+8 colonne al piede centina;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 12,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN200 con passo  $1,0$  m  $\pm 20\%$ ;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore variabile da 0,60 m a 1,35 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

#### **11.1.2.6 Sezione tipo C1m**

La C1m è una sezione tronco-conica che prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno, con campi di avanzamento da 10,0 m; ne è prevista l'applicazione nei tratti in cui il fronte di scavo è caratterizzato dalla presenza contemporanea di terreni incoerenti (bn) e dei terreni argillosi dell'Unità di Maddaloni (MDL3). Le tipologie degli interventi previsti variano a seconda che si consideri la porzione del fronte nei depositi bn (Area 1) o nelle argille dell'Unità di Maddaloni (Area 2). Il numero degli elementi caratteristici degli interventi varia in funzione della effettiva estensione delle due aree e quindi sarà determinato successivamente al rilievo del fronte.

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C1m. Per il precontenimento al fronte e contorno, la descrizione degli interventi è distinta in aree a seconda dei terreni coinvolti dalla scavo (Area 1 – depositi bn, Area 2 – argille MDL3), nell'ipotesi di contatto stratigrafico in corrispondenza del piano dei centri:

##### Area 1

- precontenimento del fronte realizzato mediante  $20\pm 20\%$  microtrattamenti in jet-grouting  $\varnothing 300$  armati con elementi strutturali in VTR,  $L=20,0$  m (sovrapposizione minima 10,0 m);
- precontenimento al contorno realizzato mediante  $47\pm 20\%$  colonne in jet-grouting  $\varnothing 600$ ,  $L=16,5$  m (sovrapposizione minima 4,5 m) e ulteriori 8+8 colonne al piede centina;

##### Area 2

- precontenimento del fronte realizzato mediante  $17\pm 20\%$  elementi strutturali in VTR,  $L=20,0$  m (sovrapposizione minima 10,0 m) cementati in foro con miscele cementizie;

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	22 D 07	RG	GN 00 00 001	A	35 di 52

- precontenimento al contorno realizzato mediante 7+7 elementi strutturali in VTR, L=16,0 m (sovrapposizione minima 6,0 m) passo 0.50 m  $\pm 20\%$  cementati in foro con miscele espansive e ulteriori 8+8 elementi strutturali in VTR al piede centina;

Successivamente alla realizzazione del precontenimento del fronte e al contorno, è previsto:

- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 10,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN200 con passo 1,0 m  $\pm 20\%$ ;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore variabile da 0,60 m a 1,35 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

#### 11.1.2.7 Sezione tipo C2

La C2 è una sezione cilindrica che prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno, con campi di avanzamento da 10,0 m; ne è prevista l'applicazione nelle gallerie che attraversano le Argille Varicolori nella litofacies argilloso marnosa-calcareo ALVb (L/P<1) con comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C). La sezione C2 è applicata, come sezione eventuale, anche quando il fronte di scavo interessa le Argille Varicolori argilloso-marnose ALVa (L/P<<1) oppure quando, nelle tratte in cui si ha presenza dei depositi bn e dei terreni argillosi dell'Unità di Maddaloni, la formazione argillosa MDL3 risulta essere preponderante alla scala del fronte.

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C2, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 40 $\pm 20\%$  elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 10,0 m) cementati in foro con miscele cementizie;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 51 $\pm 20\%$  elementi strutturali in VTR, L=16,0 m (sovrapposizione minima 6,0 m) cementati in foro con miscele espansive e ulteriori 8+8 elementi strutturali in VTR al piede centina;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 10,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN200 con passo 1,0 m  $\pm 20\%$ ;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;

- calotta in calcestruzzo armato (spessore 0,90 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

#### 11.1.2.8 Sezione tipo C2v

La C2v è una sezione tronco-conica che prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno e interventi di presostegno al contorno, con campi di avanzamento da 8,5 m; ne è prevista l'applicazione nelle zone di maggior disturbo all'interno della formazione delle Argille Varicolori (ALV), nelle zone a bassa copertura e nelle zone con preesistenze a piano campagna con comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C2v, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante  $50 \pm 20\%$  elementi strutturali in VTR,  $L=20,0$  m (sovrapposizione minima 11,5 m) cementati in foro con miscele cementizie;
- precontenimento al contorno realizzato mediante  $51 \pm 20\%$  elementi strutturali in VTR,  $L=17,00$  m (sovrapposizione minima 8,5 m) cementati in foro con miscele espansive e ulteriori 8+8 elementi strutturali in VTR al piede centina;
- presostegno al contorno (entro un angolo di  $120^\circ$  in calotta) realizzato mediante 34 tubi in acciaio valvolati,  $L=14,00$  m (sovrapposizione minima 5,5 m, interasse  $0,40 \pm 20\%$  m);
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 8,5 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN200 con passo  $1,0 \text{ m} \pm 20\%$ ;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore variabile da 0,60 cm a 1,35 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

#### 11.1.2.9 Sezione tipo C2p

La C2p è una sezione cilindrica che prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno, con campi di avanzamento da 12,0 m; la lunghezza dei consolidamenti è tale da garantirne la doppia sovrapposizione sia al fronte sia al contorno; è previsto inoltre l'impiego della centina puntone come rivestimento provvisorio in arco rovescio. Ne è prevista l'applicazione nelle tratte in cui le gallerie attraversano le Argille Varicolori nella loro litofacies argilloso-marnosa ALVa ( $L/P \ll 1$ ) e, come sezione eventuale, nelle Argille Varicolori litofacies argilloso marnosa-calcareo ALVb ( $L/P < 1$ ), per contrastare l'eventuale comportamento spingente della componente pelitica e ridurre al minimo le deformazioni al contorno del cavo.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b> <b>2° LOTTO FUNZIONALE TELESE - SAN LORENZO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IF0H	22 D 07	RG	GN 00 00 001	A	37 di 52

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C2p, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante  $50\pm 20\%$  elementi strutturali in VTR,  $L=24,0$  m (sovrapposizione minima 12,0 m) cementati in foro con miscele cementizie;
- precontenimento al contorno realizzato mediante  $51\pm 20\%$  elementi strutturali in VTR,  $L=24,0$  m (sovrapposizione minima 12,0 m) cementati in foro con miscele espansive e ulteriori 8+8 elementi strutturali in VTR al piede centina;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 12,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e centina singola HEB240 con passo  $1,0$  m  $\pm 20\%$ . Chiusura dell'arco rovescio provvisorio con centina puntone HEB240 con passo  $1,00$  m  $\pm 20\%$  e 0,30 m di spritz-beton;
- arco rovescio (spessore 1,10 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 0.5 diametri;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore 1,00 cm) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 2 diametri.

### **11.1.3 Scavo tradizionale. Uscite di emergenza.**

Per la realizzazione delle tratte in naturale delle uscite di emergenza, si utilizzerà la tecnica dello scavo in tradizionale mediante avanzamenti a piena sezione per singoli sfondi di lunghezza variabile in funzione del contesto geotecnico.

Per l'uscita di emergenza pedonale della galleria Tuoro S. Antuono sono state definite 4 diverse sezioni tipo, denominate A2, B1, B2 e C2, mentre per l'uscita d'emergenza carrabile della galleria S. Lorenzo si fa riferimento a 2 sezioni, C1 e B1.

Le tipologie di intervento previste nelle singole sezioni e i criteri di applicazione sono del tutto analoghi a quelli definiti per le gallerie di linea, descritte al precedente §11.1.2.

Nei paragrafi a seguire si riporta, comunque, una sintetica descrizione delle sezioni tipo definite, con lo scopo di evidenziare le differenze di natura quantitativa degli interventi rispetto a quanto previsto nelle sezioni delle gallerie di linea.

Per la distribuzione delle tratte di applicazione delle diverse sezioni tipo per le due uscite di emergenza si rimanda ai profili geotecnici Rif. [18].

### 11.1.3.1 Sezione tipo A2

La A2 è prevista esclusivamente nell'uscita di emergenza pedonale della galleria Tuoro S. Antuono ed è del tutto analoga alla medesima sezione prevista per le gallerie naturali, fatta eccezione per la bullonatura radiale che per l'uscita di emergenza pedonale è eventuale. A differenza delle gallerie di linea per le quali è applicata la sezione A1 nei tratti all'interno delle Argille Varicolori ALVc dove il grado di fratturazione dei calcari è basso e la sezione A2 nelle Argille Varicolori ALVc con grado di fratturazione dei calcari medio, nell'uscita di emergenza pedonale è prevista come prevalente la sola sezione A2 nelle Argille Varicolori ALVc con installazione della bullonatura radiale solo nel caso di componente calcarea mediamente fratturata.

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione A2, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- scavo a piena sezione per singoli sfondi di dimensioni massime 2,40 m;
- chiodatura radiale mediante 6/7 chiodi ad ancoraggio continuo Ø24 disposti in raggiere alternate, lunghezza 3,00 m, interasse longitudinale 1,20 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%;
- arco rovescio (spessore 0,60 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri;
- calotta armata (spessore 0,50 cm) gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

### 11.1.3.2 Sezione tipo B1

La B1 è prevista sia nell'uscita di emergenza pedonale della galleria Tuoro S. Antuono che in quella carrabile della galleria S. Lorenzo. Le tipologie di intervento previste nelle singole sezioni e i criteri di applicazione sono del tutto analoghi a quelli definiti per le gallerie di linea, descritte al paragrafo §11.1.2.3 a cui si rimanda.

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione B1, ordinati secondo le fasi esecutive previste.

#### Uscita di emergenza pedonale

- precontenimento del fronte realizzato mediante 11 $\pm$ 20% elementi strutturali in VTR, L=14,5 m (sovrapposizione minima 6,0 m) cementati in foro con miscele cementizie;
- presostegno al contorno (entro un angolo di 120° in calotta) realizzato mediante 13 tubi in acciaio valvolati, L=12,0 m (sovrapposizione minima 3,5 m, interasse 0,4  $\pm$  20% m);
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 8,5 m;

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	22 D 07	RG	GN 00 00 001	A	39 di 52

- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN160 con passo 1,0 m  $\pm$  20%;
- arco rovescio (spessore 0,60 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1,5 diametri;
- calotta armata (spessore variabile da 0,40 m a 1,05 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 4 diametri.
- calotta armata (spessore 0,60 m) gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

#### Uscita di emergenza carrabile

- precontenimento del fronte realizzato mediante 20 $\pm$ 20% elementi strutturali in VTR, L=13,5 m (sovrapposizione minima 5,0 m) cementati in foro con miscele cementizie;
- presostegno al contorno (entro un angolo di 120° in calotta) realizzato mediante 23 tubi in acciaio valvolati, L=12,0 m (sovrapposizione minima 3,5 m, interasse 0,4  $\pm$  20% m);
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 8,5 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN160 con passo 1,0 m  $\pm$  20%;
- arco rovescio (spessore 0,80 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1,5 diametri;
- calotta armata (spessore variabile da 0,50 m a 1,15 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 4 diametri.

#### **11.1.3.3 Sezione tipo B2**

La B2 è prevista esclusivamente nell'uscita di emergenza pedonale della galleria Tuoro S. Antuono. Per i criteri di applicazione, analoghi a quelli previsti per le gallerie di linea, si rimanda al paragrafo §11.1.2.4.

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione B2, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 15 $\pm$ 20% elementi strutturali in VTR, L=15,0 m (sovrapposizione minima 7,0 m) cementati in foro con miscele cementizie;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 8,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN160 con passo 1,0 m  $\pm$  20%;

- arco rovescio (spessore 0,60 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1,5 diametri;
- calotta armata (spessore 0,50 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 4 diametri.

#### 11.1.3.4 Sezione tipo C1

La C1 è prevista esclusivamente nell'uscita di emergenza carrabile della galleria S. Lorenzo come sezione prevalente nei depositi alluvionali terrazzati (bn) con comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C1, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 20±20% microtrattamenti in jet-grouting Ø300 armati con elementi strutturali in VTR, L=17,0 m (sovrapposizione minima 7,0 m);
- precontenimento al contorno realizzato mediante 49±20% colonne in jet-grouting Ø600, L=14,5 m (sovrapposizione minima 4,5 m) e ulteriori 5+5 colonne al piede centina;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 10,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo 1,0 m ± 20%;
- arco rovescio (spessore 0,90 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore variabile da 0,55 m a 1,30 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

#### 11.1.3.5 Sezione tipo C2

La C2 è prevista esclusivamente nell'uscita di emergenza pedonale della galleria Tuoro S. Antuono. Per i criteri di applicazione, analoghi a quelli previsti per le gallerie di linea, si rimanda al paragrafo §11.1.2.7.

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C2, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 15±20% elementi strutturali in VTR, L=13,0 m (sovrapposizione minima 7,0 m) cementati in foro con miscele cementizie;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 25±20% elementi strutturali in VTR, L=11,0 m (sovrapposizione minima 5,0 m) cementati in foro con miscele espansive;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 6,0 m;



Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	22 D 07	RG	GN 00 00 001	A	41 di 52

- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine HEA180 con passo 1,0 m  $\pm$  20%;
- arco rovescio (spessore 0,60 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore 0,50 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

## 11.2 Rischi potenziali che incidono sulla realizzazione delle gallerie

Di seguito si descrivono le principali criticità, legate al contesto geologico, idrogeologico e geotecnico, che potrebbero avere ripercussioni sulla fase realizzativa delle gallerie, e si illustrano le relative possibili azioni di mitigazione o riduzione del rischio.

La mappatura dei diversi rischi individuati nella fase conoscitiva e la relativa gestione definita nella fase di terapia, sono illustrate in forma sintetica negli elaborati dei profili geotecnici (Rif. [16], Rif. [17] e Rif. [18]).

### 11.2.1 Presenza di trovanti/blocchi

La galleria Tuoro S.Antuono e la relativa uscita di emergenza attraversano la formazione delle Argille Varicolori Superiori. La litofacies argilloso-marnosa **ALVa** e la litofacies argilloso marnosa-calcareo **ALVb** presentano livelli e blocchi lapidei, nell' **ALVa** tali livelli sono sporadici e di potenza generalmente inferiore a 50 cm (Rif. [14]) mentre nell' **ALVb** l'eterogeneità dei materiali è piuttosto spinta infatti si alternano argille caotiche o a struttura scagliosa a calcari di potenza anche del metro (Rif. [14]). La presenza di tali alternanze è stata confermata dalle numerose indagini in sito.

Nello scavo in tradizionale la presenza blocchi non comporta particolare criticità in relazione alla flessibilità della tecnica di avanzamento che può essere rapidamente adattata alle puntuali variazioni delle condizioni del fronte.

### 11.2.2 Presenza di gas

Il tracciato ferroviario del Lotto 2 Telese-San Lorenzo dista circa 2 km dall'abitato di Telese in cui sono presenti numerosi sinkhole, la cui genesi è da imputare soprattutto alla presenza di un reticolo carsico sotterraneo molto sviluppato, strettamente connesso ad oscillazioni del livello di base della falda e a fenomeni speleogenetici ipercarsici per miscelazione di acque ricche di CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S e tracce di metano (Corniello & De Riso, 1986).

Alla luce di questo e delle formazioni attraversate dalle gallerie previste in progetto, si richiede una particolare attenzione volta alla problematica inerente la possibilità di intercettare gas naturali nel corso delle fasi di scavo delle opere in sotterraneo.

Preliminarmente, è stata condotta un'analisi bibliografica e storica volta a verificare, in relazione alle differenti unità geologiche individuate e direttamente interessate dal progetto, l'eventuale presenza di termini geologici favorevoli alla presenza di gas.

Successivamente sono state condotte indagini di approfondimento (Rif. [14]). In particolare, sono stati eseguiti:

- rilievi di gas a bocca foro durante la perforazione dei sondaggi;
- monitoraggio dell'aria realizzata mediante analizzatore di gas a bocca foro in corrispondenza delle verticali di sondaggio;
- analisi gascromatografica su campioni di acqua prelevati da piezometro.

Un valido strumento che può essere utilizzato per l'approccio al problema legato alla presenza di gas in galleria è rappresentato dal documento redatto dalle regioni Emilia-Romagna e Toscana "Lavori in sotterraneo. Scavo in terreni grisutosi. *Grisù 3a ed.*", che seppur riferito al solo problema metano, può essere un valido riferimento tecnico in merito al problema dello scavo di gallerie in presenza di gas. Questo documento, sviluppato nel corso e con i riscontri diretti degli scavi effettuati nell'appennino Tosco Emiliano, durante la realizzazione delle gallerie dell'alta velocità ferroviaria Bologna Firenze, e la variante di valico autostradale, sempre tra Bologna e Firenze, può ragionevolmente essere considerato come "Linea guida per buone pratiche di lavoro nelle costruzioni in sotterraneo".

Nella citata Nota Interregionale, dedicata al problema dello scavo in terreni grisutuosì o sospetti tali, l'eventualità di rinvenire metano in galleria è differenziata in diverse classi (Tabella 3), in base al numero ed al peso attribuito ai parametri che concorrono a caratterizzare la formazione interessata dallo scavo della galleria.

<b>classe 0</b>	Gallerie/tratti per le quali tutti gli elementi oggettivi e documentati di valutazione portano ad escludere che la realizzazione dell'opera possa indurre flussi di grisù dagli ammassi attraversati dall'opera oppure da quelli lontani ma connessi idraulicamente alla galleria.
<b>classe 1a</b>	Gallerie/tratti per le quali tutti gli elementi portano a prevedere come remota la possibilità di flussi di grisù, in base all'assenza di indizi derivanti dalle indagini preliminari (studi e ricerche, analisi della storicità, sondaggi), alle informazioni ottenute nello scavo della porzione d'opera già realizzata, alle considerazioni geologiche e strutturali
<b>classe 1b</b>	Gallerie/tratti per le quali l'analisi geologica strutturale porta a prevedere flussi di grisù, ma non ci sono elementi di riscontro desunti dalle indagini preliminari (studi e ricerche, analisi della storicità, sondaggi) effettuate in fase di progetto e dalla porzione d'opera già realizzata. In definitiva le manifestazioni gassose sono possibili ma con portate prevedibilmente modeste o con modalità che si ritiene non portino a condizioni di rischio
<b>classe 1c</b>	Gallerie/tratti per le quali le indagini bibliografiche, storiche (storicità delle manifestazioni spontanee e degli interventi industriali per la produzione di idrocarburi, dei fenomeni registrati nell'esecuzione di altre opere, ecc.) e le indagini sperimentali di superficie e profonde (sondaggi, pozzi, cunicoli, indagini geofisiche, ecc.) fanno presumere che i lavori di scavo possano indurre flussi di grisù discontinui e poco frequenti e quindi tali da far ritenere l'emissione eccezionale. Situazioni del genere sono tipiche di serbatoi di idrocarburi isolati e di dimensioni limitate in collegamento

	idraulico con l'opera. Tali serbatoi hanno forma e dimensioni molto varie e distribuzione spaziale casuale ed imprevedibile e possono far affluire gas in galleria con portate molto varie non escluse quelle a carattere massivo.
<b>classe 2</b>	Gallerie/tratti per le quali le indagini bibliografiche, storiche (storicità delle manifestazioni spontanee e degli interventi industriali per la produzione di idrocarburi, dei fenomeni registrati nell'esecuzione di altre opere) e le indagini sperimentali di superficie e profonde (sondaggi, pozzi, cunicoli, indagini geofisiche, ecc.), fanno ritenere che, a causa della realizzazione degli scavi, siano probabili afflussi significativi di grisù in galleria in corrispondenza di strutture geologiche, tecnicamente note come potenziali trappole di idrocarburi (anticlinali, fasce di intensa fratturazione in corrispondenza delle zone di accavallamento tettonico, ecc.). Attraversando le trappole, o comunque a causa del collegamento idraulico con esse realizzato a seguito dello scavo, sono da attendersi flussi di grisù continui oppure discontinui ma con frequenza tale da non farli ritenere un evento eccezionale.

**Tabella 3 - Classificazione delle gallerie sul rischio metano secondo la Nota Interregionale n. 28 "Lavori in sotterraneo. Scavo in terreni grisutosi. Grisù 3<sup>a</sup> edizione" (NIR 28)**

In funzione dei risultati derivanti dall'analisi bibliografica e storica e dalle indagini di approfondimento, è stato possibile associare, quindi, ad ogni galleria di linea e uscita di emergenza della tratta una classe di rischio gas come definita in Tabella 3.

La galleria Tuoro S. Antuono e la relativa uscita di emergenza attraversano le Argille Varicolori (la galleria di linea con coperture massime dell'ordine dei 54 m) sono definibili in classe 1A. Anche le gallerie Cantone, Limata San Lorenzo con annessa uscita di emergenza, il cui scavo interessa principalmente i depositi alluvionali terrazzati (bn) poggianti sui depositi lacustri dell'unità di Maddaloni (MDL3), rientrano in classe di rischio 1A.

Per le misure di sicurezza da adottare in fase di scavo e per gli interventi atti a mitigare il rischio di presenza di gas nella fase di realizzazione delle gallerie, si rimanda al *Piano di Sicurezza e Coordinamento* (PSC).

### 11.2.3 Presenza di cavità carsiche, masse rocciose carsificate

Per quanto concerne la litofacies litoide della formazione delle Argille Varicolori (ALVc), i rilievi geomeccanici condotti sui fronti di scavo nei pressi della galleria Tuoro S. Antuono hanno evidenziato un ammasso roccioso piuttosto alterato e fratturato, a luoghi soggetto ad un carsismo di bassa intensità, con superfici dei giunti alterate (Rif. [15]).

In relazione al rischio di intercettare eventuali cavità carsiche, in considerazione dell'impossibilità di definire posizione e dimensioni di eventuali cavità in modo affidabile dalle indagini di superficie (dai sondaggi S134 ed S24 del 1985 e D12 del 2015 è emersa la presenza di cavità di limitate dimensioni), si ritiene di poter procedere come di seguito descritto.

Le perforazioni propedeutiche agli interventi di consolidamento del fronte e del contorno delle diverse sezioni tipo di avanzamento, dovranno essere utilizzate come strumento di indagine e prospezione al fine di individuare la presenza di eventuali cavità in avanzamento. Perforazioni propedeutiche a tale scopo si dovranno prevedere anche

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>2° LOTTO FUNZIONALE TELESE - SAN LORENZO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF0H	LOTTO 22 D 07	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

per le sezioni tipo A1 (paragrafo 11.1.2.1) e A2 (paragrafo 11.1.2.2 e 11.1.3.1) che non prevedono consolidamenti al fronte.

Eventuali cavità intercettate in fase di perforazione dovranno essere opportunamente riempite con miscele cementizie prima di poter procedere con il consolidamento. Eventuali cavità di piccole dimensioni che possano non essere individuate con tali perforazioni, non costituiscono elemento di criticità per la riuscita dei consolidamenti e la sicurezza delle operazioni di avanzamento.

Ad ogni modo, nelle successive fasi progettuali e prima di dare avvio ai lavori, l'Appaltatore potrà valutare l'opportunità di prevedere eventuali ulteriori mezzi di indagine e terapia rispetto a tale rischio.

#### **11.2.4 Venute d'acqua/Carico idraulico elevato**

Il potenziale rischio di venute d'acqua in galleria in fase di scavo è stato definito in funzione dei principali caratteri idrogeologici delle formazioni di interesse. Tale rischio dipende dalla conducibilità idraulica dei materiali attraversati, dal carico idraulico e dall'eventuale presenza di zone di faglia e di discontinuità.

Per quanto concerne tali aspetti inerenti la circolazione delle acque nel sottosuolo, si evidenzia la presenza di falde idriche sotterranee all'interno di buona parte dei termini lito-stratigrafici interessati dalla realizzazione delle gallerie in progetto (Rif. [14]). Tali falde potrebbero rappresentare dei potenziali elementi di criticità per le opere, sia per le possibili venute d'acqua al fronte durante le operazioni di avanzamento dello scavo, sia per l'influenza esercitata sul comportamento meccanico dei terreni e delle rocce attraversate.

Nel settore della Galleria Tuoro S. Antuono sono stati individuati livelli piezometrici prevalentemente a quota cavo (Rif. [14]), ad eccezione della tratta centrale dove sono presenti orizzonti litoidi più fratturati e alterati (ALVc).

In corrispondenza dei terrazzi morfologici interessati dalla realizzazione delle Gallerie Cantone, Limata e San Lorenzo, i dati piezometrici a disposizione hanno evidenziato la presenza di una falda freatica posta all'interno dei terreni ghiaio-sabbiosi e sabbio-limosi dei depositi alluvionali terrazzati (bn), la cui quota del pelo libero segue l'andamento plano-altimetrico del contatto stratigrafico con i sottostanti depositi fluvio-lacustri in facies pelitica dell'Unità di Maddaloni (MDL3) (Rif. [14]). Difatti, mentre per la Galleria Cantone la successione fluvio-lacustre e la superficie di falda si trovano al di sotto dell'arco rovescio, per la Galleria Limata e San Lorenzo la superficie piezometrica è a quota cavo o, nei tratti dove il cavo intercetta i depositi pelitici, al di sopra della calotta.

Per consentire l'avanzamento in sicurezza nei tratti sopra descritti e per minimizzare il rischio di venute d'acqua, le sezioni tipo di scavo e consolidamento prevedono l'esecuzione di drenaggi al fronte (3+3 per le gallerie di linea e 2+2 per le uscite di emergenza) e l'impermeabilizzazione a tergo del rivestimento definitivo di calotta.

#### **11.2.5 Interferenza sorgenti**

Nel settore della galleria Tuoro S. Antuono, a monte del tracciato di progetto, è stata censita una sorgente "S05" (portata 1l/s da dati bibliografici). La sorgente, in relazione alle ricostruzioni effettuate (Rif. [14]), risulta essere connessa con una falda superficiale riconducibile ai depositi alluvionali terrazzati, che non presenta nessuna interferenza diretta con la galleria naturale; inoltre la posizione della sorgente stessa, posta a oltre 100 m a monte della linea di tracciato, consente di definire molto basso o nullo l'impatto atteso dalla realizzazione della galleria (Rif. [14]).

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b> <b>2° LOTTO FUNZIONALE TELESE - SAN LORENZO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IF0H	22 D 07	RG	GN 00 00 001	A	45 di 52

A valle di tali osservazioni, per minimizzare comunque l'impatto sulle condizioni idrauliche sotterranee e superficiali, è prevista l'impermeabilizzazione a tergo del rivestimento definitivo di calotta.

### 11.2.6 Acque aggressive

Come descritto nel precedente paragrafo 11.2.5, a circa 100 m di distanza dal tracciato della galleria Tuoro S. Antuono, è stata censita una sorgente "S05" di acque sulfuree-bicarbonato-calciche (in prossimità dell'area di sondaggio IF15G15 della campagna 2017). Nonostante non si preveda nessuna interferenza diretta con la galleria naturale tanto da definire molto basso o nullo l'impatto atteso dalla realizzazione della galleria (Rif. [14]), vista la natura delle acque di sorgente, sono stati eseguiti degli approfondimenti che hanno consentito di verificare l'eventuale natura chimicamente aggressiva di tali acque.

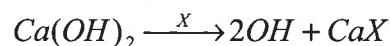
Il rischio di acque chimicamente aggressive riguarda i rivestimenti definitivi in calcestruzzo armato. Vi sono infatti delle condizioni per cui l'acqua a contatto col calcestruzzo può reagire con alcuni dei suoi componenti, inducendo la perdita di resistenza meccanica e l'aumento della porosità, e causando fessurazioni che possono innescare l'ossidazione delle armature; in sintesi, si riduce la durabilità del manufatto.

I principali composti contenuti nelle acque chimicamente aggressive, che comportano potenziali rischi per i calcestruzzi strutturali, quali la decalcificazione, l'espansione differenziale e la fessurazione, sono:

- ione solfato  $SO_4^-$ ;
- ambiente acidi ( $pH \leq 6.5$ );
- $CO_2$  aggressiva;
- ione ammonio  $NH_4^+$ ;
- ione magnesio  $Mg^{++}$ .

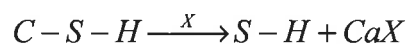
La decalcificazione del calcestruzzo comporta un aumento di porosità e la perdita di resistenza meccanica, ed è dovuta alle reazioni sintetizzate nel seguito.

- Trasformazione del  $Ca(OH)_2$ , prodotto per idratazione del cemento, nel prodotto  $CaX$



Il processo di trasformazione avviene per reazione con:

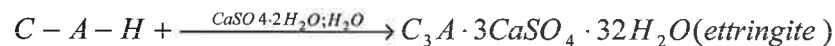
- gli ioni solfato  $SO_4^-$  con formazione di gesso;
- gli ioni ammonio  $NH_4^+$  con formazione di gas  $NH_3$  che evapora e di un sale di calcio idrosolubile asportato dall'acqua;
- gli ioni magnesio  $Mg^{++}$  con formazione di brucite, poco solubile, ma meno legante della calce.
- Rimozione del calcio dal prodotto C-S-H, cui sostanzialmente si deve l'effetto legante dei cementi, e trasformazione in prodotti progressivamente meno leganti fino a diventare, nel caso limite di totale perdita di calcio, un prodotto S-H formato da silice amorfa priva di qualsiasi potere legante



Il processo di trasformazione avviene per reazione con:

- gli ioni solfato  $SO_4^{2-}$  con formazione di thaumasite;
- gli ioni magnesio  $Mg^{++}$  con formazione del prodotto M-S-H privo di proprietà leganti

L'espansione differenziale e la fessurazione è data principalmente dallo ione solfato  $SO_4^{2-}$ , che provoca un processo espansivo dello strato corticale (penetrato dal solfato) del manufatto in calcestruzzo, che può comportare distacchi e delaminazioni rispetto al nucleo centrale integro. L'effetto espansivo responsabile del degrado è provocato dalla formazione di ettringite secondo la reazione



La norma UNI 11104-2016, in applicazione della UNI-EN 206-2016 prospetto 2, definisce gli intervalli di concentrazione dei composti aggressivi contenuti nelle acque (Figura 11), cui associare la classe di esposizione del calcestruzzo e, conseguentemente le misure preventive da adottare in termini di massimo rapporto acqua/cemento (a/c), minima classe di resistenza e minimo contenuto in cemento ( $kg/m^3$ ) (Figura 12).

Table 2 — Limiting values for exposure classes for chemical attack from natural soil and ground water

Chemical characteristic	Reference test method	XA1	XA2	XA3
<b>Ground water</b>				
$SO_4^{2-}$ mg/l	EN 196-2	$\geq 200$ and $\leq 600$	$> 600$ and $\leq 3\,000$	$> 3\,000$ and $\leq 6\,000$
pH	ISO 4316	$\leq 6,5$ and $\geq 5,5$	$< 5,5$ and $\geq 4,5$	$< 4,5$ and $\geq 4,0$
$CO_2$ mg/l aggressive	EN 13577	$\geq 15$ and $\leq 40$	$> 40$ and $\leq 100$	$> 100$ up to saturation
$NH_4^+$ mg/l	ISO 7150-1	$\geq 15$ and $\leq 30$	$> 30$ and $\leq 60$	$> 60$ and $\leq 100$
$Mg^{2+}$ mg/l	EN ISO 7980	$\geq 300$ and $\leq 1\,000$	$> 1\,000$ and $\leq 3\,000$	$> 3\,000$ up to saturation
<b>Soil</b>				
$SO_4^{2-}$ mg/kg <sup>a</sup> total	EN 196-2 <sup>b</sup>	$\geq 2\,000$ and $\leq 3\,000^c$	$> 3\,000^c$ and $\leq 12\,000$	$> 12\,000$ and $\leq 24\,000$
Acidity according to Baumann Gully ml/kg	prEN 16502	$\geq 200$	Not encountered in practice	
<sup>a</sup> Clay soils with a permeability below $10^{-5}$ m/s may be moved into a lower class. <sup>b</sup> The test method prescribes the extraction of $SO_4^{2-}$ by hydrochloric acid; alternatively, water extraction may be used, if experience is available in the place of use of the concrete. <sup>c</sup> The 3 000 mg/kg limit shall be reduced to 2 000 mg/kg, where there is a risk of accumulation of sulfate ions in the concrete due to drying and wetting cycles or capillary suction.				

Figura 11 – Prospetto 2 della UNI-EN 206 del 2016



**ITINERARIO NAPOLI-BARI.  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.  
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.  
2° LOTTO FUNZIONALE TELESE - SAN LORENZO.**

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
IF0H 22 D 07 RG GN 00 00 001 A 47 di 52

prospetto 5 Valori limite per la composizione e le proprietà del calcestruzzo

UNI 11104:2016	Classi di esposizione																		
	Nessun rischio di corrosione dell'armatura	Corrosione delle armature indotte dalla carbonatazione				Corrosione delle armature indotte da cloruri						Attacchi da cicli di gelo/sgelo				Ambiente aggressivo per attacco chimico			
						Acqua di mare			Cloruri provenienti da altre fonti										
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	
Massimo rapporto a/c	-	0,60	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Minima classe di resistenza	C12/15	C25/30	C30/37	C32/40	C32/40	C35/45	C30/37	C32/40	C35/45	C32/40	C25/30	C30/37	C30/37	C32/40	C35/45	C30/37	C32/40	C35/45	
Minimo contenuto in cemento (kg/m <sup>3</sup> )	-	300	320	340	340	360	320	340	360	320	340	360	320	340	360	320	340	360	
Contenuto minimo in aria (%)												b)	4,0 a)						
Altri requisiti						E' richiesto l'utilizzo di cementi resistenti all'acqua di mare a secondo UNI 9156						E' richiesto l'utilizzo di aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/sgelo				In caso di esposizione a terreno o acqua del terreno contenente solfati nei limiti del prospetto 2 della NF EN 206:2014, è richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati c)			

**Figura 12 – Classe di esposizione secondo la UNI 11104-2016**

Da prime analisi chimiche effettuate sulle acque prelevate direttamente dalla sorgente, si evince che la concentrazione di CO<sub>2</sub> aggressiva, valutata secondo la UNI13577, è tale da rendere necessario l'utilizzo di calcestruzzo con classe di esposizione XA3 (Tabella 4), per le opere in calcestruzzo armato della galleria Tuoro S. Antuono e relativa uscita di emergenza a diretto contatto con i terreni contenenti potenzialmente tali acque e non protetti da impermeabilizzazione.

Normativa	Classe di esposizione	Massimo rapporto a/c	Minima Classe di Resistenza	Contenuto minimo di cemento (kg/m <sup>3</sup> )
UNI 11104-2016	XA3	0,45	C35/45	360

**Tabella 4 – Caratteristiche dei calcestruzzi con classe di esposizione XA3 secondo la norma UNI 11104-2016**

### 11.2.7 Instabilità del fronte e del cavo

Potenziati rischi di instabilità del fronte e del cavo possono interessare le tratte di galleria a basse coperture, che riguardano le zone di imbocco e di fondovalle, e quelle di attraversamento di zone tettonizzate e di transizione litologica.

In condizioni di bassa copertura, l'avanzamento avverrà con l'esecuzione di interventi di preconsolidamento al fronte e al contorno in grado di controllare lo sviluppo dei fenomeni deformativi indotti dallo scavo e prevenire lo sviluppo di eventuali meccanismi di collasso. Nel caso in cui siano presenti delle interferenze in superficie, dovrà essere implementato un opportuno piano di monitoraggio per il controllo dei cedimenti indotti a piano campagna e degli effetti deformativi sulle interferenze stesse, sulla base dei risultati delle analisi di interferenza (11.2.9).

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>2° LOTTO FUNZIONALE TELESE - SAN LORENZO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF0H	LOTTO 22 D 07	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

Per l'attraversamento di zone tettonizzate, è prevista l'adozione di avanzamenti con sfondi di lunghezza limitata, preceduti da interventi di consolidamento al fronte e/o al contorno, in relazione al grado di fratturazione e all'entità dei fenomeni deformativi attesi.

### **11.2.8 Comportamento rigonfiante argilla**

La porzione pelitica delle Argille Varicolori Superiori presente nella litofacies argilloso-marnosa ALVa ( $L/P \ll 1$ ) e argilloso marnosa-calcareo ALVb ( $L/P < 1$ ), si presenta a struttura scagliosa o fortemente caotica. E', inoltre, noto nella letteratura scientifica/tecnica il comportamento rigonfiante di questi materiali, come sperimentato nella fase realizzativa della galleria San Vitale (1986-1994) della Linea Ferroviaria Napoli-Foggia (Rif. [24] e Rif. [25]).

In tali formazioni, l'adozione della sezione di scavo e consolidamento del tipo C2p, che prevede interventi di precontenimento del fronte e al contorno, assieme all'impiego della centina puntone come rivestimento provvisorio in arco rovescio che consente la chiusura dell'intero contorno del cavo, risulta particolarmente efficace nel contrastare i possibili fenomeni deformativi al fronte ed al contorno del cavo ed, in particolare, eventuali comportamenti rigonfianti in arco rovescio.

### **11.2.9 Fenomeni di subsidenza/interferenza con opere preesistenti**

Oltre alle interferenze rappresentate da viabilità esistenti (SS372-Telesina per la galleria Tuoro S. Antuono) e torrenti (Ianare per la galleria S. Lorenzo) descritte al paragrafo 7.1, lungo il tracciato sono presenti a piano campagna alcuni edifici di civile abitazione o edifici destinati a piccole attività commerciali ed industriali.

Per tali interferenze è stato condotto uno studio sui potenziali effetti indotti dalla subsidenza prodotta dallo scavo delle opere d'imbocco e delle gallerie. Tale studio si è basato sui dati provenienti dai rilievi cartografici aggiornati alla presente fase progettuale, integrati con gli esiti di sopralluoghi effettuati sul campo, unitamente alla caratterizzazione geotecnica dei materiali, alle tipologie di opere di sostegno degli imbocchi e sezioni tipo di intervento definite per le gallerie nella tratta in oggetto.

Lungo il tracciato delle gallerie di linea e delle uscite di emergenza sono stati censiti n.13 edifici (con numerazione da n.1 a n.13) (Rif. [22]). Si è distinto tra edifici situati in adiacenza al tratto in naturale delle gallerie (edifici n. 4-5-6-7-7bis-8-9-10-11-12-13-13bis) ed edifici in adiacenza al tratto in artificiale (edifici n. 1-2-2bis-3).

La metodologia di lavoro si è articolata nelle seguenti fasi:

1. studio della subsidenza: definizione dei cedimenti potenzialmente indotti sulle interferenze a piano campagna dalla realizzazione dell'opera mediante metodi semi-empirici di determinazione delle curve di subsidenza in condizioni di campo libero (per le opere di imbocco Rif. [26], per le gallerie naturali Rif. [27] e Rif. [28]);
2. eventuale studio del danneggiamento degli edifici senza interazione terreno-struttura nel caso di cedimenti superiori al centimetro: valutazione dei potenziali danni indotti sugli edifici in superficie dalle curve di subsidenza definite al punto 1, mediante il metodo semplificato della "trave equivalente" (Rif. [29] e Rif. [30]); tale metodo di calcolo, coerentemente con le ipotesi di campo libero con cui sono definiti i cedimenti, non considera la rigidità degli edifici e l'interazione terreno-struttura, e per questo, tipicamente, sovrastima la previsione di danno;



3. eventuale studio del danneggiamento degli edifici con interazione terreno-struttura: valutazione dei danni potenzialmente indotti sulle opere in superficie utilizzando un procedimento semi-empirico (Rif. [31]) in grado di tener conto, seppur in via approssimata, dell'interazione terreno-struttura.

Con riferimento alla classificazione delle categorie di danno sintetizzate nelle Tabella 5 e Tabella 6, e ai metodi di calcolo semplificati sopra descritti, i risultati delle previsioni di danno sulle potenziali interferenze censite a piano campagna sono rappresentati sinteticamente sull'elaborato grafico dedicato (Rif. [22]).

Categoria di danno	Intensità del danno	Deformazione limite di allungamento $\epsilon_{lim}$ (%)
0	Trascurabile	0.00 ÷ 0.05
1	Molto lieve	0.05 ÷ 0.075
2	Lieve	0.075 ÷ 0.15
3	Moderata	0.15 ÷ 0.30
4 a 5	Da severa a molto severa	> 0.30

**Tabella 5 - Categorie di danno e deformazioni limite corrispondenti (Boscardin e Cording, 1989)**

Categoria di danno	Descrizione
0	Fessure capillari con apertura $\leq 0.1$ mm
1	Fessure sottili cui si rimedia facilmente con lavori di tinteggiatura. Il danno in genere è limitato agli intonaci delle pareti interne. Fessure alle pareti esterne rilevabili con attento esame. Tipica apertura delle lesioni $\leq 1$ mm
2	Fessure facilmente stuccabili, tinteggiatura necessaria. Le fessure ricorrenti possono essere mascherate con opportuni rivestimenti. Fessure visibili anche all'esterno: può essere necessaria qualche ripresa della stillatura per garantire l'impermeabilità. Possibili difficoltà nell'apertura di porte e finestre. Tipica apertura delle lesioni $\leq 5$ mm
3	Le fessure richiedono cucì e scuci della muratura. Anche all'esterno sono necessari interventi sulla muratura. Possibile blocco di porte e finestre. Rottura di tubazioni. Spesso l'impermeabilità non è garantita. Tipica apertura delle lesioni $5 \div 15$ mm oppure numero elevato di lesioni con apertura $\leq 3$ mm
4	Necessarie importanti riparazioni, compresa demolizione e ricostruzione di parti di muri, specie al di sopra di porte e di finestre. I telai di porte e di finestre si distorcono: percepibile pendenza dei pavimenti. Muri inclinati o spanciati; qualche perdita d'appoggio di travi. Tubazioni distrutte. Tipica apertura delle lesioni $15 \div 25$ mm, dipendente anche dal numero delle lesioni
5	Richiesti importanti lavori con parziale o totale demolizione e ricostruzione. Le travi perdono l'appoggio, i muri si inclinano fortemente e richiedono puntellatura. Pericolo di instabilità. Tipica apertura delle lesioni $\leq 25$ mm, dipendente anche dal numero delle lesioni

**Tabella 6 - Categoria di danno ed effetti associati**

I risultati delle analisi hanno evidenziato che la stima del danno per gli edifici analizzati ricade in categoria 0 (trascurabile/molto lieve) ad eccezione di un solo edificio che ricade in categoria di danno 2.

L'edificio n.1 (Rif. [22]) risulta essere interferente con la nuova sistemazione definitiva della SP106/via Olivella che sormonterà la galleria artificiale scatolare dell'imbocco della galleria Tuoro S. Antuono lato Canello e pertanto sarà oggetto di esproprio. Anche gli edifici n.4, n.5 e n.6 (Rif. [22]) sono destinati ad esproprio, in questo caso a causa delle coperture molto limitate rispetto allo scavo della galleria Tuoro S. Antuono e del difficile contesto geologico e geotecnico attraversato.

La Tabella 7 mostra il riepilogo delle analisi eseguite e del danno atteso, con indicazione degli edifici da espropriare.

N°Edificio	Tipo di scavo	Categoria di Danno	Livello di approfondimento
1	Artificiale	Destinato ad esproprio	
2	Artificiale	0	1-green field
2bis	Artificiale	0	1-green field
3	Artificiale	0	1-green field
4	Naturale	Destinato ad esproprio	
5	Naturale	Destinato ad esproprio	
6	Naturale	Destinato ad esproprio	
7	Naturale	0	2-trave equivalente
7bis	Naturale	0	2-trave equivalente
8	Naturale	0	2-trave equivalente
9	Naturale	0	2-trave equivalente
10	Naturale	0	2-trave equivalente
11	Naturale	2	3-interazione terreno/struttura
12	Naturale	0	2-trave equivalente
13	Naturale	0	2-trave equivalente
13bis	Naturale	0	2-trave equivalente

**Tabella 7 - Riepilogo analisi e categorie di danno per edifici interferiti**

Ad ogni modo, le operazioni di scavo dovranno comunque essere condotte nel pieno rispetto di tutte le procedure di controllo, e con la verifica continua dei dati di monitoraggio rispetto alle previsioni progettuali e alle soglie di intervento. A presidio delle interferenze è difatti previsto un opportuno sistema di monitoraggio con cui poter controllare in corso d'opera gli effetti indotti dalle lavorazioni sull'ambiente circostante.

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

### 12.1 Monitoraggio in corso d'opera

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

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

- monitoraggio piezometrico per la misura della variazione della quota di falda nelle aree prospicienti i fabbricati;

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	22 D 07	RG	GN 00 00 001	A	51 di 52

- monitoraggio inclinometrico per la misura degli spostamenti orizzontali delle paratie e del terreno limitrofo;
- monitoraggio degli spostamenti delle paratie mediante mire ottiche disposte sull'opera di sostegno;
- monitoraggio delle sollecitazioni indotte dallo scavo sui tiranti mediante celle di carico;
- monitoraggio degli spostamenti mediante mire ottiche sulle facciate dei fabbricati interferenti;
- monitoraggio degli spostamenti mediante capisaldi di livellazione in corrispondenza dei fabbricati interferenti;
- monitoraggio dell'eventuale quadro fessurativo esistente sugli edifici mediante fessurimetri meccanici tridirezionali;

Sarà inoltre opportuno, durante il corso delle lavorazioni, provvedere ad un sistema di monitoraggio vibrometrico per la valutazione degli eventuali effetti sugli edifici a seguito di esposizione alle vibrazioni indotte dalle lavorazioni.

Con riferimento alle gallerie di linea, in sintesi il programma di monitoraggio dovrà prevedere:

- il rilievo analitico e speditivo del fronte di scavo;
- il controllo della convergenza del cavo, mediante installazione di stazioni di convergenza con mire ottiche;
- il controllo dell'estrusione del fronte, mediante installazione di estrusometri in avanzamento, dove previsto;
- il controllo delle deformazioni al contorno del cavo attraverso gli estensimetri multibase;
- 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 controllo dei cedimenti al piano campagna mediante installazione di capisaldi su sezioni di livellazione topografica;
- il controllo topografico degli spostamenti sugli edifici interferenti;
- il monitoraggio degli spostamenti verticali assoluti e relativi dei terreni di copertura delle gallerie mediante assestimetri elettromagnetici.

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.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>2° LOTTO FUNZIONALE TELESE - SAN LORENZO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF0H	LOTTO 22 D 07	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 52 di 52

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, in modo da poter essere confrontati con le previsioni progettuali (i valori attesi) al fine di consentire la verifica e la messa a punto del progetto, e la gestione delle variabilità previste.

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.

### 13 CONCLUSIONI

Nell'ambito della Progettazione Definitiva del secondo lotto funzionale compreso tra la Stazione di Frasso Telesino/Dugenta (km 16+500 km) e l'impianto di Vitulano (km 46+950.00), per il raddoppio della linea Canello-Benevento sull'itinerario Napoli-Bari, in particolare nel Lotto 2 tra Telese (km 27+700) fino all'impianto del PC di San Lorenzo (km 39+050), è prevista la realizzazione di 4 gallerie di linea a doppio binario: Tuoro S. Antuono, Cantone, Limata e S. Lorenzo.

Completano il progetto delle opere in sotterraneo gli imbocchi delle gallerie, e le 2 uscite/accessi di emergenza intermedie (per la galleria Tuoro S. Antuono e la galleria S. Lorenzo), previste in accordo a quanto richiesto dalle Specifiche Tecniche di Interoperabilità concernenti la sicurezza nelle gallerie ferroviarie nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità.

La progettazione delle opere in sotterraneo in progetto è stata condotta secondo il Metodo ADECO-RS (cfr. Rif. [23]) che si articola nelle seguenti fasi:

- fase conoscitiva: è finalizzata allo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico in cui deve essere realizzata l'opera;
- 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;
- 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.
- 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 in progetto.