

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. GALLERIE

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI-BARI.

RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.

II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.

3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

SCALA:

-

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

I F 0 H    3 2    D    0 7    R G    G N 0 0 0 0    0 0 1    B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	A. Amato	Giugno 2017	A. Amato	Giugno 2017	F. Cerrone	Giugno 2017	A. Scigiti Settembre 2017
B	EMISSIONE ESECUTIVA	A. Amato A. Corbo	Settembre 2018	A. Amato	Settembre 2018	F. Cerrone	Settembre 2018	A. Scigiti Settembre 2018

ITALFERR S.P.A.  
U.O. GALLERIE  
Dott. Ing. Alessandro Scigiti  
Cognome negli Ingegneri n° 19846

## 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 .....	7
6	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO .....	7
7	DESCRIZIONE DELL’OPERA.....	8
7.1	IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO .....	8
7.2	USCITE DI EMERGENZA .....	14
8	METODOLOGIA DI LAVORO .....	18
9	FASE CONOSCITIVA .....	18
9.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	18
9.2	INDAGINI GEOTECNICHE.....	21
9.3	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	22
9.4	ASPETTI GEOMORFOLOGICI SPECIFICI.....	25
10	FASE DI DIAGNOSI.....	31
10.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO.....	32

10.2	DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO.....	33
10.3	DEFINIZIONE DELLE TRATTE A COMPORTAMENTO TENSIO-DEFORMATIVO OMOGENEO.....	33
11	FASE DI TERAPIA .....	34
11.1	METODOLOGIA DI SCAVO.....	34
11.1.1	<i>11.1.1 Criteri di scelta del sistema di scavo.....</i>	34
11.1.2	<i>11.1.2 Scavo tradizionale. Gallerie di linea.....</i>	34
11.1.2.1	Sezione tipo A1.....	35
11.1.2.2	Sezione tipo A2.....	35
11.1.2.3	Sezione tipo B1.....	36
11.1.2.4	Sezione tipo B2.....	37
11.1.2.5	Sezione tipo C1.....	37
11.1.2.6	Sezione tipo C2.....	38
11.1.2.7	Sezione tipo C2v.....	39
11.1.2.8	Sezione tipo C2p.....	40
11.1.2.9	Sezione tipo C3.....	40
11.1.3	<i>11.1.3 Scavo tradizionale. Uscite di emergenza.....</i>	41
11.1.3.1	Sezione tipo A1.....	41
11.1.3.2	Sezione tipo A2.....	42
11.1.3.3	Sezione tipo B1.....	42
11.1.3.4	Sezione tipo B2.....	43
11.1.3.5	Sezione tipo C1.....	43
11.1.3.6	Sezione tipo C2.....	44
11.1.3.7	Sezione tipo C2v.....	45
11.1.3.8	Sezione tipo C2p.....	45
11.2	RISCHI POTENZIALI CHE INCIDONO SULLA REALIZZAZIONE DELLE GALLERIE .....	46
11.2.1	<i>11.2.1 Presenza di trovanti/blocchi.....</i>	46
11.2.2	<i>11.2.2 Presenza di gas.....</i>	47
11.2.3	<i>11.2.3 Presenza di cavità carsiche, masse rocciose carsificate .....</i>	49
11.2.4	<i>11.2.4 Venute d'acqua/Carico idraulico elevato.....</i>	49
11.2.5	<i>11.2.5 Instabilità del fronte e del cavo .....</i>	50

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	32 D 07	RG	GN 00 00 001	B	4 di 55

11.2.6	Comportamento rigonfiante argilla.....	50
11.2.7	Fenomeni di subsidenza/interferenza con opere preesistenti.....	50
12	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO.....	53
12.1	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA.....	53
13	CONCLUSIONI.....	54

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>												
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF0H</td> <td>32 D 07</td> <td>RG</td> <td>GN 00 00 001</td> <td>B</td> <td>5 di 55</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF0H	32 D 07	RG	GN 00 00 001	B	5 di 55
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF0H	32 D 07	RG	GN 00 00 001	B	5 di 55								

## 1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto definitivo per il raddoppio della linea Canello-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 3 (da pk 39+050 km a pk 46+950 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;

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b></p>					
<p>Relazione tecnica delle opere in sotterraneo</p>	<p>COMMESSA IF0H</p>	<p>LOTTO 32 D 07</p>	<p>CODIFICA RG</p>	<p>DOCUMENTO GN 00 00 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 6 di 55</p>

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 IF0H32D07F5GN0000001B “Profilo geotecnico – Galleria Ponte, Galleria Reventa e Galleria Le Forche” datato Settembre 2018;

Rif. [17] U.O. Gallerie, doc IF0H32D07F6GN0000001B “Profilo geotecnico – Galleria Le Forche – Finestra costruttiva/Uscita di emergenza pk 44+294.87 km e Uscita di emergenza 45+105.57 km” datato Settembre 2018;

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b></p>												
<p>Relazione tecnica delle opere in sotterraneo</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF0H</td> <td>32 D 07</td> <td>RG</td> <td>GN 00 00 001</td> <td>B</td> <td>7 di 55</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF0H	32 D 07	RG	GN 00 00 001	B	7 di 55
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF0H	32 D 07	RG	GN 00 00 001	B	7 di 55								

- Rif. [18] U.O. Gallerie, doc IF0H32D07P9GN0500001A “Rimodellazione versante e intervento in jet-grouting dall'alto. Sistemazione provvisoria FASE 1” datato Giugno 2017;
- Rif. [19] U.O. Gallerie, doc IF0H32D07P9GN0500002A “Rimodellazione versante e intervento in jet-grouting dall'alto. Sistemazione provvisoria FASE 2” datato Giugno 2017;
- Rif. [20] U.O. Gallerie, doc IF0H32D07P9GN0500003A “Rimodellazione versante e intervento in jet-grouting dall'alto. Sistemazione definitiva” datato Giugno 2017;
- Rif. [21] U.O. Gallerie, doc IF0H32D07BZGN0500001A “Rimodellazione versante e intervento in jet-grouting dall'alto. Sviluppata paratia e particolari costruttivi” 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] Paratie Plus2 017, Teoria – “Metodo Paratie Plus per la valutazione dei cedimenti verticali” – cap.6 Paratie Plus 2017 – teoria, Milano, Ceas, 2016.
- Rif. [25] 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. [26] 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. [27] Burland J.B. (1997). Assessment of risk of damage to buildings due to tunnelling and excavation. Earthquake Geotechnical Engineering, Ishihara (ed.). Balkema, Rotterdam.
- Rif. [28] Boscarding M.D., Cording E.G. (1989). Building response to excavation-induced settlement. Jnl. Geo. Engrg. ASCE, 115.
- Rif. [29] 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.

#### 5 ALLEGATI

Non sono presenti documenti allegati.

#### 6 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

 <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>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

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 opere in sotterraneo

La lunghezza totale del tracciato del Lotto 3, dall'impianto del PC di San Lorenzo (km 39+050) all'impianto di Vitulano (km 46+950,00), è di circa 7,9 km e si sviluppa in sotterraneo per una lunghezza complessiva di circa 2,9 km, mediante tre gallerie naturali a doppio binario denominate Ponte, Reventa e Le Forche.

La velocità di tracciato del Lotto 3 è di 180 km/h fatta eccezione per il tratto da pk 45+800 km al D.I. Vitulano nel quale è pari a 160 km/h, la pendenza massima longitudinale in linea è del 11,88 %, la massima sopraelevazione in curva è pari a 155 mm e il raggio di curvatura minimo è di 1300 m.

In tabella sono riportate le progressive (valutate rispetto al binario dispari) delle opere in sotterraneo di linea previste nel Lotto 3 e delle opere di imbocco ad esse connesse.

PD FRASSO - VITULANO - LOTTO 3						
GALLERIA	p <sub>kinizio</sub>	p <sub>kfinale</sub>	L	Opera	L <sub>parziali</sub>	L <sub>TOT</sub>
[-]	[m]	[m]	[m]		[m]	[m]
Ponte	41757,85	41849,50	91,65	GA scatolare + policentrica lato Cannello	91,65	466,15
	41849,50	42185,40	335,9	GN05	335,9	
	42185,40	42224,00	38,6	GA policentrica + Becco di flauto lato Benevento	38,6	
Reventa	43134,35	43191,35	57	GA scatolare + policentrica lato Cannello	57	228,2
	43191,35	43338,25	146,9	GN06	146,9	
	43338,25	43362,55	24,3	GA policentrica + scatolare lato Benevento	24,3	
Le Forche	43479,50	43514,00	34,5	GA policentrica + Becco di flauto lato Cannello	34,5	2246,5
	43514,00	45677,40	2163,4	GN07	2163,4	
	45677,40	45726,00	48,6	GA policentrica + Becco di Flauto lato Benevento	48,6	

Tabella 1 - Progressive delle gallerie di linea del Lotto 3

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>9 di 55</b>

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 3 è di 150 millimetri (galleria Le Forche), 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.

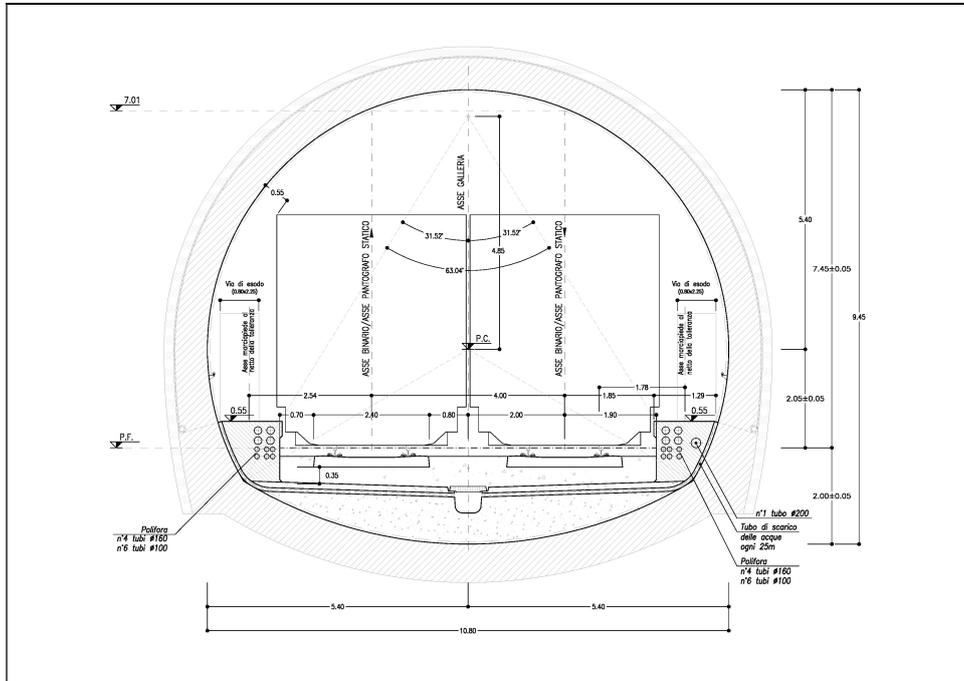


Figura 1 - Sezione di intradosso gallerie di linea e gallerie artificiali policentriche (sezione corrente)

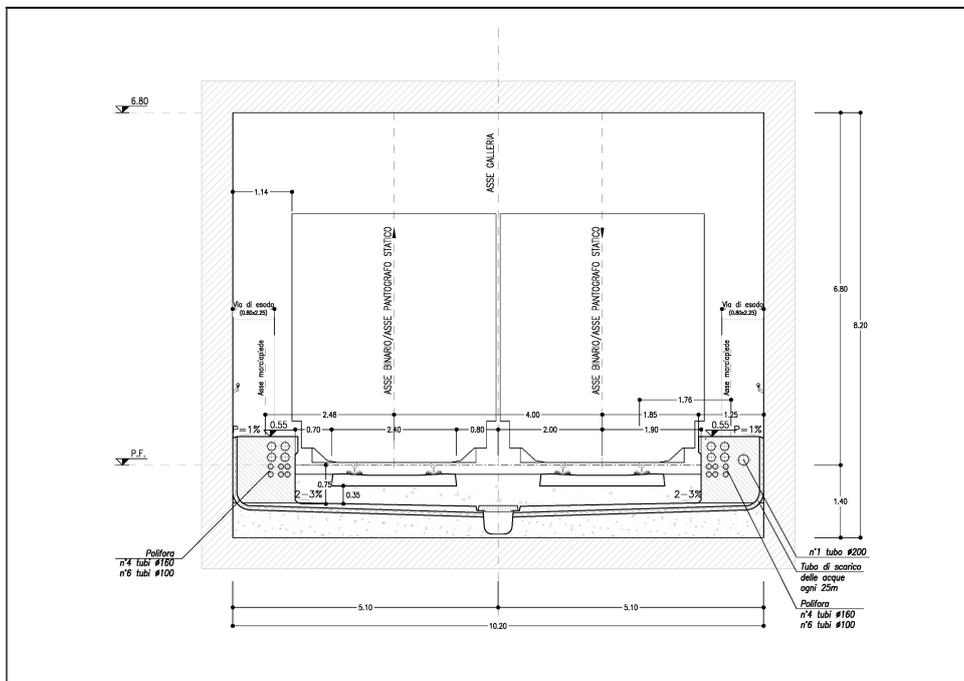
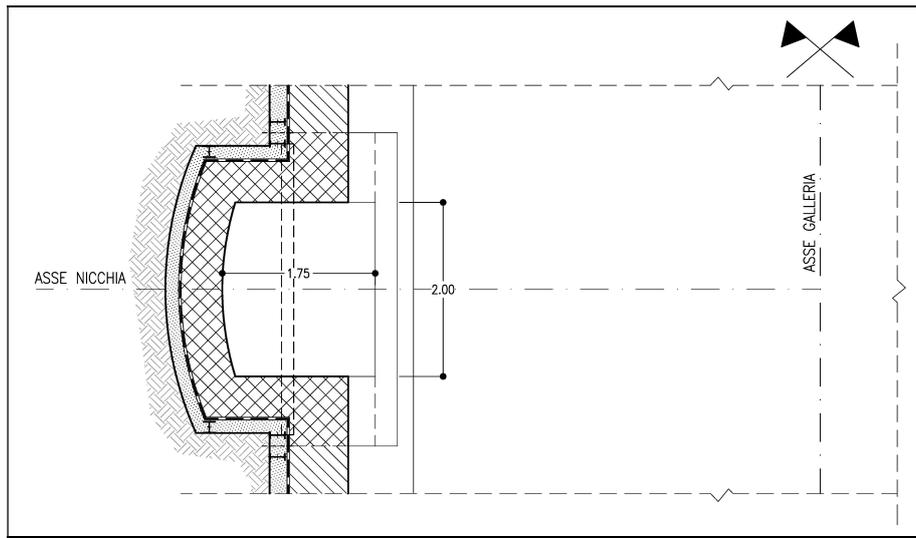
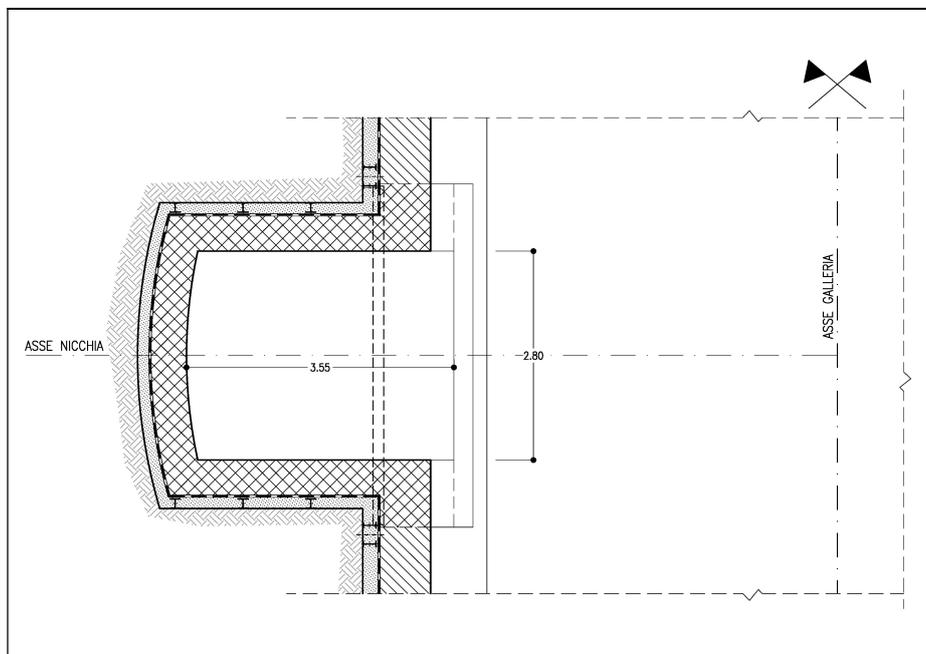


Figura 2 - Sezione di intradosso gallerie artificiali scatolari (sezione corrente)

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 e di nicchioni tecnologici ogni 2000 m di dimensioni utili interne rispettivamente pari a circa 1,75x2,00 m e 3,55x2,80 m.



**Figura 3 – Dimensioni nicchia LFM**



**Figura 4 – Dimensioni nicchione tecnologico**

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>12 di 55</b>

Di seguito si riporta una breve descrizione delle opere in sotterraneo di linea previste nel Lotto 3 e delle opere di imbocco ad esse connesse. Per maggiori dettagli descrittivi si rimanda agli elaborati grafici specialistici allegati al progetto.

### **Galleria Ponte**

La quota di imbocco lato Cancello è pari a circa 88,5 m s.l.m. mentre quella lato Benevento è pari a circa 92 m s.l.m., con pendenza, in ascesa da Cancello verso Benevento, pari al 2,25% nel tratto antecedente il vertice altimetrico a pk 41+960 km e pari al 11,8% nel tratto successivo al vertice altimetrico. La copertura massima è pari a circa 25 m alla pk 42+000 km.

L'imbocco lato Cancello, caratterizzato da un tratto in galleria artificiale policentrica e da un tratto in scatolare, è interferente con la SP Vitulanese e con edifici di civile abitazione del comune di Ponte. Per risolvere tali interferenze, l'imbocco sarà realizzato per fasi, prevedendo dapprima la deviazione provvisoria della SP Vitulanese e successivamente la realizzazione, in corrispondenza della sede stradale interdotta, di una paratia di pali  $\Phi = 1000$  mm definitivi e della soletta superiore di una struttura scatolare. A questo punto sarà possibile riportare la SP Vitulanese nella sua configurazione ante-operam e proseguire con la realizzazione della paratia che avrà pali definitivi e soletta superiore fino a pk 41+825 km, in maniera tale da superare il tratto con edifici in adiacenza, e pali provvisori fino a pk 41+849,50 m. Nel tratto con pali definitivi lo scavo è previsto dal basso fino alla quota di fondo scavo dove è gettato il solettone di fondo dello scatolare, mentre nel tratto con pali provvisori tirantati lo scavo sarà effettuato dall'alto per ribassi e al raggiungimento della quota di fondo scavo sarà realizzata la galleria artificiale policentrica. Per la sistemazione definitiva dell'imbocco è previsto un ritombamento con completo ricoprimento degli scavi d'approccio e delle strutture di sostegno, finalizzato a ristabilire la configurazione geometrica del profilo originario del piano campagna.

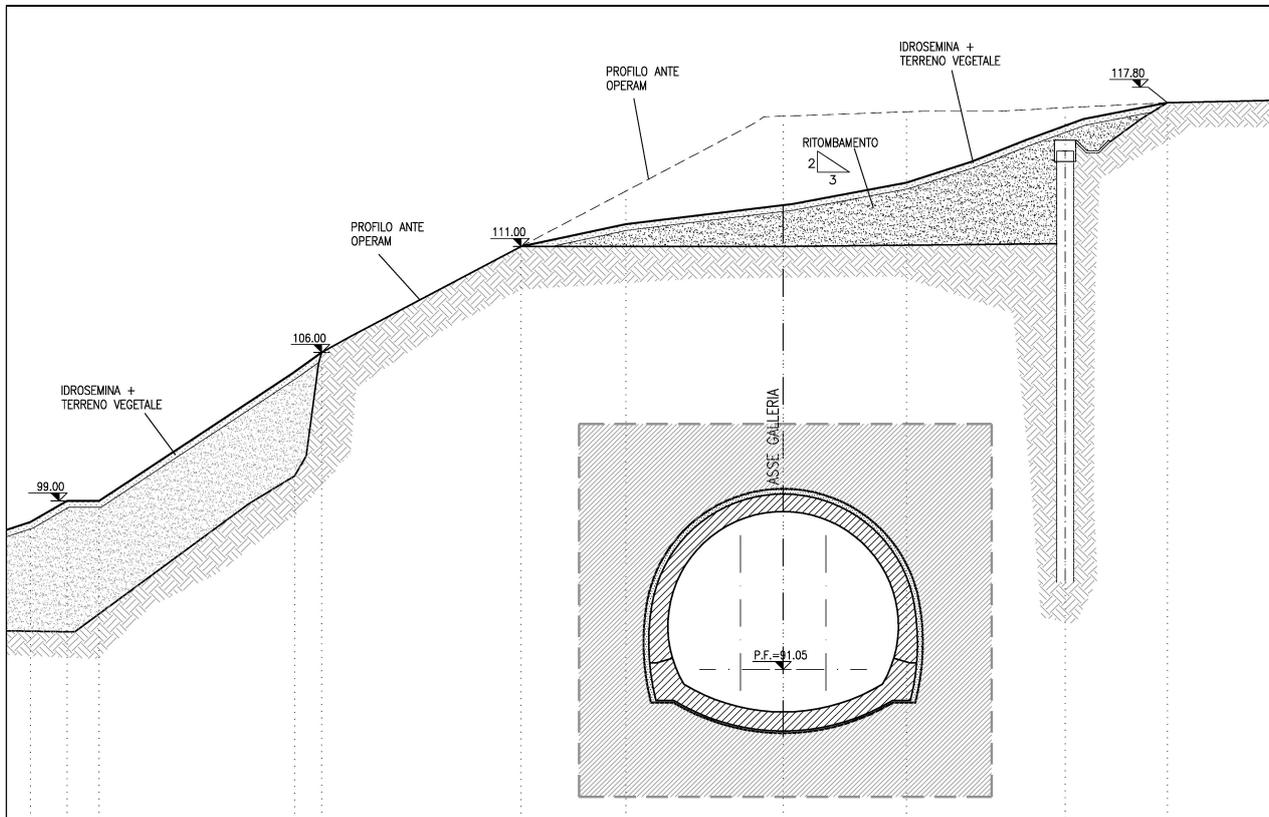
L'imbocco lato Benevento è caratterizzato da paratia provvisoria di pali di grandi diametro  $\Phi = 800$  mm tirantati e contrastati con travi di ripartizione e nella sua configurazione definitiva da galleria artificiale policentrica, becco di flauto e ritombamento tale da ripristinare quanto possibile la configurazione originaria del versante.

A ridosso dell'imbocco lato Benevento a pk circa pari a 42+100 km è presente una incisione che riduce sensibilmente la copertura della galleria naturale, la quale nel medesimo tratto attraverserà un versante che è stato soggetto nel tempo a cavatura per estrazione e reperimento di inerti per costruzione.

Per la realizzazione della galleria di linea in questo tratto si prevede di eseguire un intervento di consolidamento del terreno dall'alto, mediante una maglia di colonne in jet grouting, e di mettere in opera un riempimento dell'incisione e della cava, con terreno proveniente dagli scavi e di idonee caratteristiche geotecniche, per ripristinare la morfologia originaria del versante (Rif. [18], Rif. [19] e Rif. [20]).

Per eseguire gli scavi necessari al raggiungimento della quota di lancio delle perforazioni per il jet grouting, è necessario realizzare una paratia di pali di diametro 800 mm ad interasse 1.00 metro, con tre ordini di tiranti a 3 trefoli (Rif. [21]); parte del terreno di scavo potrà essere riutilizzato per i rinterri sopra descritti.

Gli interventi di consolidamento del terreno ed i rinterri sono propedeutici allo scavo della galleria di linea.



**Figura 5 – Galleria Ponte. Rimodellazione versante e intervento in jet-grouting dall'alto.**

La galleria, infine, sottoattraversa alcuni edifici di civili abitazioni del comune di Ponte. Per l'esame di tali interferenze si rimanda al paragrafo §11.2.7.

### **Galleria Reventa**

L'imbocco lato Canello è caratterizzato da quota del p.f. pari a 95 m s.l.m. mentre l'imbocco lato Benevento da quota del p.f. pari a circa 96 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 6%. La copertura massima sarà pari a circa 15 m alla pk 43+300 km.

Le trincee di approccio alla parete di attacco dello scavo in naturale nell'imbocco lato Canello sono realizzate mediante scavi sostenuti 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. L'area di imbocco è realizzata in affiancamento alla SP106/via G. Ocone, quindi, per garantire la funzionalità della strada durante le fasi di scavo, è prevista una ulteriore berlinese di micropali parallela allo sviluppo della strada stessa. La configurazione definitiva è costituita da una galleria artificiale, per un tratto con sezione policentrica e per un tratto con sezione scatolare; al di sopra di quest'ultima è prevista la sistemazione definitiva della strada, a seguito della quale potrà essere demolita la berlinese di micropali di protezione della antecedente sede stradale, procedendo con la realizzazione delle opere all'aperto.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

Anche per l'imbocco lato Benevento le opere di stabilizzazione degli scavi sono costituite da paratie di micropali con le stesse caratteristiche dell'imbocco lato Canello. L'esecuzione della paratia è preceduta da un pre-scavo che consiste in una riprofilatura del versante lato binario dispari, protetta da rete chiodata, finalizzata a ridurre la lunghezza dei micropali e le altezze libere di scavo. A completamento dell'imbocco, è prevista la realizzazione di un tratto in galleria artificiale policentrica e un tratto in galleria scatolare.

La galleria sottoattraversa un edificio di civile abitazioni con annesso garage nei pressi dell'imbocco lato Benevento. Per l'esame di tale interferenza si rimanda al paragrafo §11.2.7.

### **Galleria Le Forche**

La galleria Le Forche ha il p.f. a quota 96,4 m s.l.m. all'imbocco lato Canello e a quota circa pari a 106,5 m s.l.m. all'imbocco lato Benevento. La pendenza della livelletta è sempre in ascesa da Canello verso Benevento fatta eccezione per un tratto ridotto a ridosso dell'imbocco lato Benevento (vertice altimetrico a pk 45+610 km). Dall'imbocco lato Canello alla pk 44+920 la pendenza è pari al 2,04%, da pk 44+920 km a pk 45+610 km è pari all'11,88 % e infine da pk 45+610 km all'imbocco lato Benevento è pari a -9,12%. La galleria, fatta eccezione per le zone in prossimità degli imbocchi, sarà caratterizzata da coperture rispetto all'estradosso di calotta della galleria che variano da un minimo di 25 m ad un massimo di 77 m.

Le opere di stabilizzazione e sostegno degli scavi sono costituite, per l'imbocco lato Canello, da paratie di micropali multi-tirantati Ø250 mm armati con profilati in acciaio Ø177,8 mm e spessore 8 mm, per l'imbocco lato Benevento, da paratie di pali  $\Phi = 800$  mm tirantate e contrastate con travi di ripartizione.

A completamento di entrambi gli imbocchi, è prevista la realizzazione di una galleria artificiale policentrica e di un becco di flauto. Per l'imbocco lato Canello, per garantire il contenimento del ritombamento è necessario prevedere muri d'ala a chiusura.

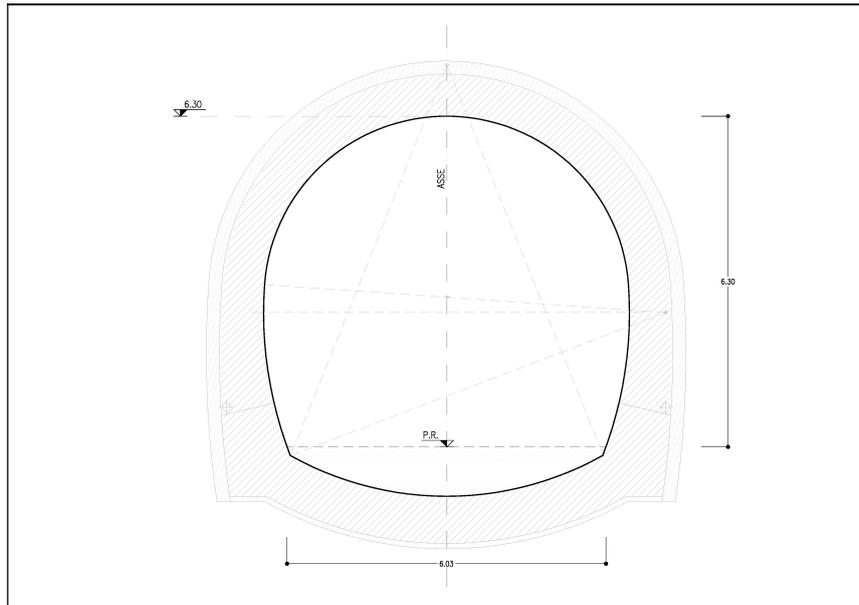
La galleria, infine, sottoattraversa alcuni edifici di civili abitazioni del comune di Ponte e alla pk 45+400 la SS372-Telesina. Sia in termini di rapporti geometrici, sia in funzione della natura geotecnica delle formazioni attraversate, della metodologia di scavo prevista e delle sezioni di scavo e consolidamenti adottate, non esiste interazione deformativa tra lo scavo della galleria Le Forche e la SS372. Ad ogni modo a presidio della zona, è previsto un sistema di monitoraggio costituito da capisaldi su sezioni di livellazione topografica per controllo dei cedimenti al piano campagna durante lo scavo della galleria naturale, da un assestometro e un piezometro. Per l'esame delle interferenze con edifici si rimanda al paragrafo §11.2.7.

### **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 3, sono state progettate 2 uscite di emergenza intermedie nella galleria Le Forche. All'innesto con la galleria 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 Le Forche - Uscita di emergenza/finestra costruttiva innesto pk 44+294,87 km e uscita di emergenza innesto pk 45+105,57 km**

Le uscite di emergenza della galleria Le Forche, di sviluppo di circa 467 m (uscita con innesto alla pk 44+294,87 km) e di circa 333 m (uscita con innesto alla pk 45+105,57 km), sono di tipo carrabile con sezione di intradosso caratterizzata da larghezza del piano di rotolamento (P.R.) pari a circa 6 m.



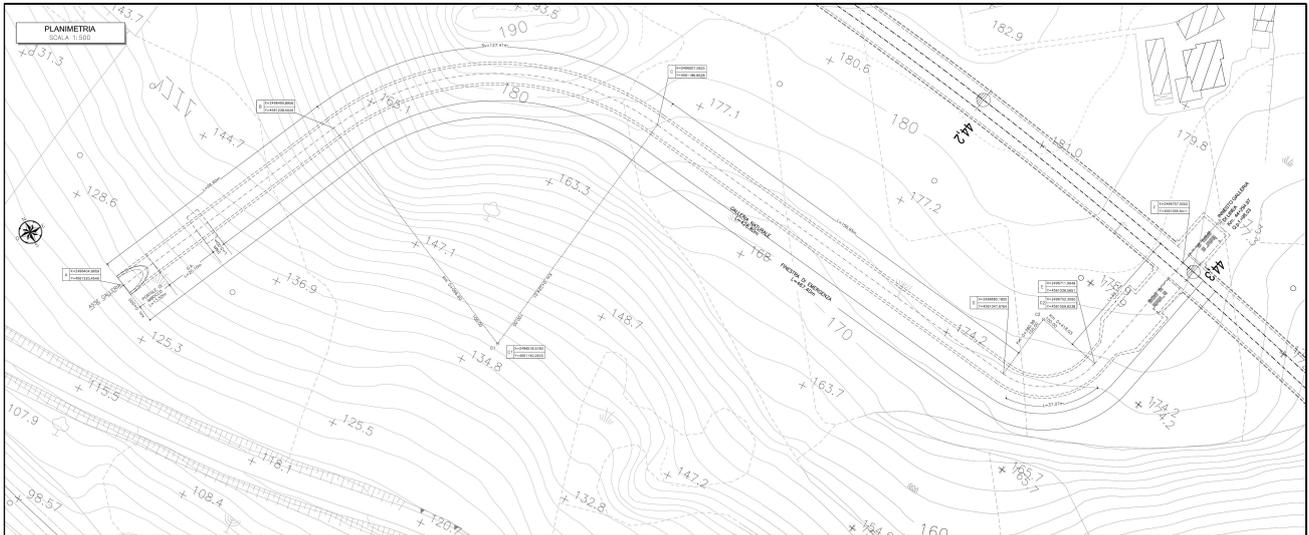
**Figura 6 - Sezione tipo di intradosso uscita di emergenza carrabile**

L'uscita con innesto con la galleria di linea a pk 44+294,87 km, oltre a svolgere la funzione di uscita di emergenza in esercizio, svolge anche la funzione di finestra costruttiva, consentendo di avere in fase di realizzazione attacco intermedio per lo scavo della galleria.

L'imbocco della prima uscita di emergenza è caratterizzato da quota del piano di rotolamento pari a circa 125,4 m s.l.m. mentre la galleria di linea in corrispondenza dell'innesto è caratterizzata da p.f. a quota 98 m s.l.m. La pendenza del piano di rotolamento è in discesa verso la galleria ed è pari al 6,5% nel tratto fino al camerone di manovra per i mezzi di soccorso di 15x15 m e alla successiva sezione di innesto con la galleria di linea. Le coperture crescono a partire dall'imbocco fino a raggiungere il valore massimo di circa 71 m in corrispondenza della sezione di innesto.

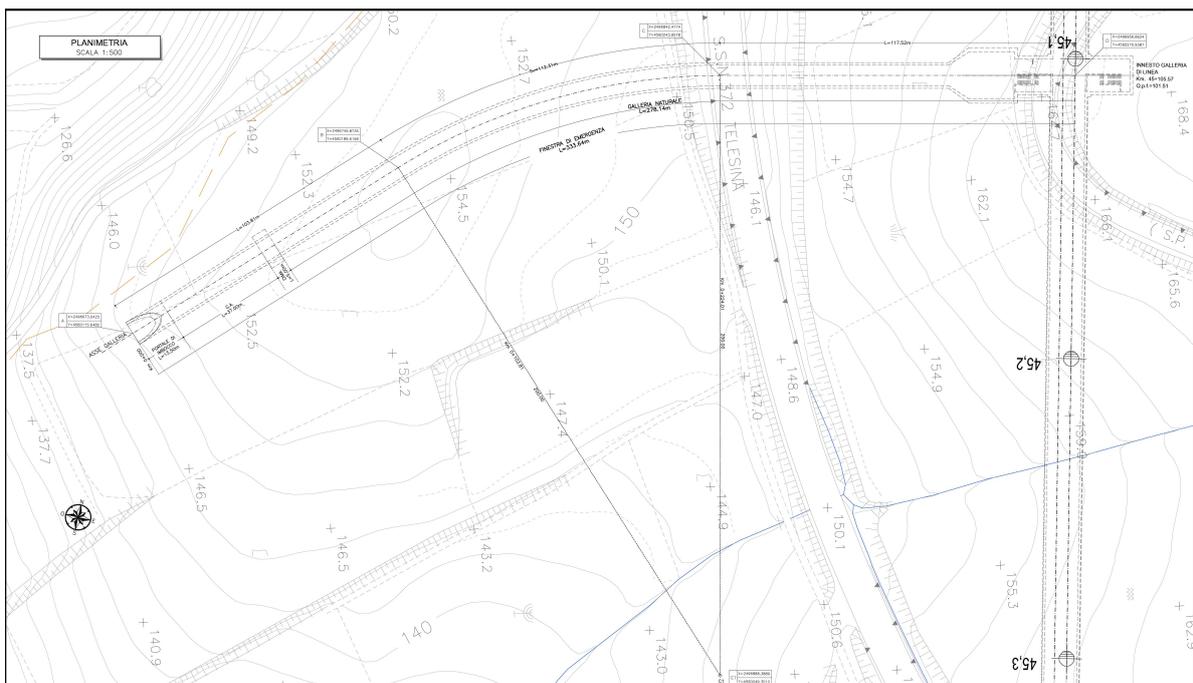
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	32 D 07	RG	GN 00 00 001	B	16 di 55



**Figura 7 - Uscita di emergenza carrabile/finestra costruttiva con innesto con la galleria Le Forche a pk 44+294,87 km**

Il piano di rotolamento dell'imbocco dell'uscita di emergenza con innesto con la galleria di linea a pk 45+105,57 km è, invece, a quota circa 147 m s.l.m. mentre in corrispondenza dell'innesto con la galleria di linea è a quota 104,5 m s.l.m., quindi è in discesa verso l'innesto con pendenza pari al 14,55% fino a pk 0+065 km circa e al 15,34% nel tratto fino al camerone di manovra per i mezzi di soccorso e alla successiva sezione di innesto con la galleria di linea, dove si raggiungerà la copertura massima pari a 56 m.



**Figura 8 - Uscita di emergenza carrabile con innesto con la galleria Le Forche alla pk 45+105,57 km**

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	32 D 07	RG	GN 00 00 001	B	17 di 55

Per entrambi gli imbocchi, le opere di stabilizzazione e sostegno degli scavi sono costituite da paratie di pali  $\Phi = 800$  mm tirantate e contrastate con travi di ripartizione, mentre l'opera definitiva è costituita da galleria artificiale policentrica e becco di flauto.

L'uscita di emergenza con innesto con la galleria di linea a pk 45+105,57 km sottoattraversa la SS372-Telesina. Sia in termini di rapporti geometrici, sia in funzione della natura geotecnica delle formazioni attraversate, della metodologia di scavo prevista e delle sezioni di scavo e consolidamenti adottate, non esiste interazione deformativa tra lo scavo della finestra Le Forche e la SS372. Ad ogni modo a presidio della zona, è previsto un sistema di monitoraggio costituito da capisaldi su sezioni di livellazione topografica per controllo dei cedimenti al piano campagna durante lo scavo della galleria naturale, da due assestimetri e un piezometro.

Come previsto dal Manuale di Progettazione RFI per gallerie a doppio binario, l'innesto delle uscite/accessi di emergenza con le gallerie di linea prevede la realizzazione di un sottopassaggio pedonale per consentire l'esodo dal marciapiede sul lato opposto all'uscita stessa. L'uscita di emergenza carrabile è accessibile dalla galleria di linea mediante 3 porte di larghezza utile pari a 90cm e altezza utile pari a 200cm. E' inoltre prevista nella parte terminale lato galleria un camerone di manovra (camera di transizione) delle dimensioni minime pari a 15 m x 15 m atta a consentire l'inversione di marcia dei veicoli di soccorso.

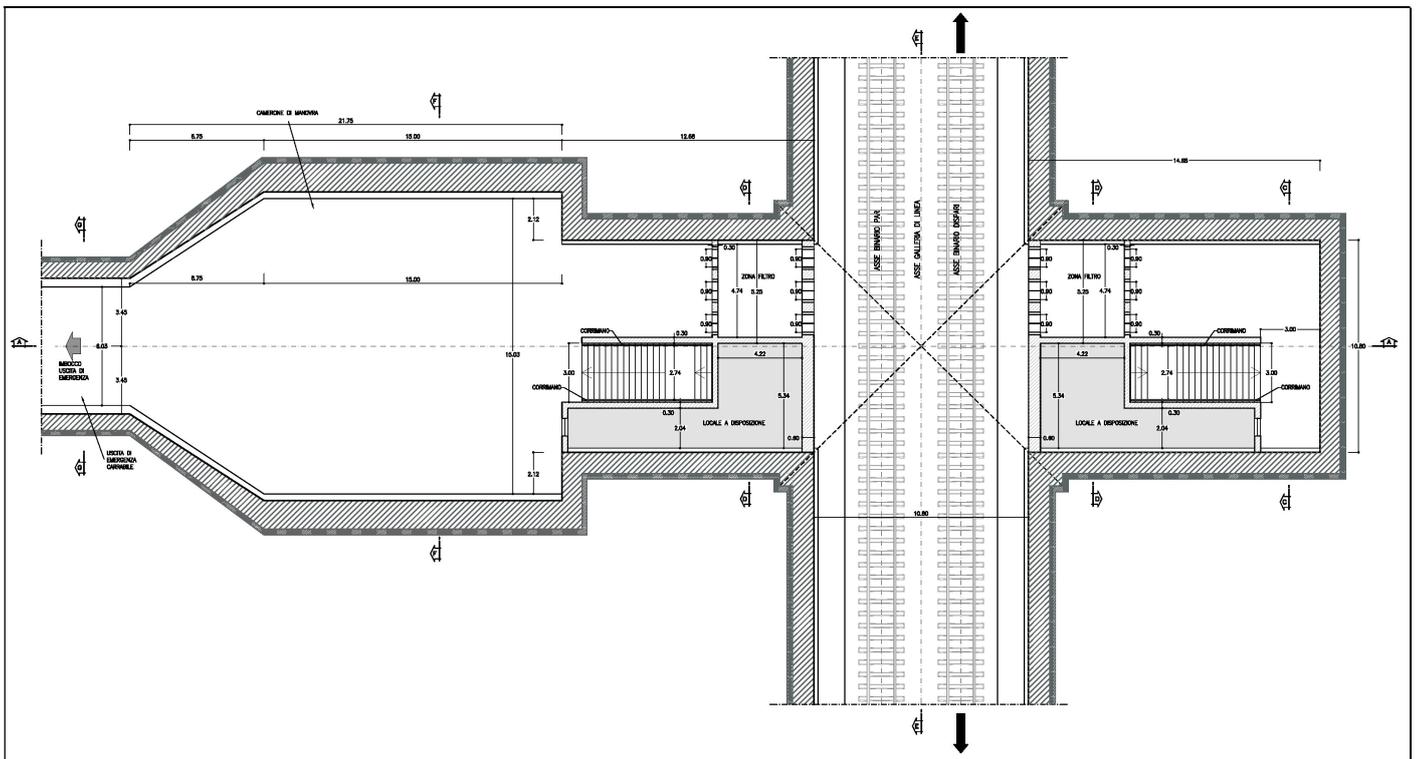


Figura 9 - Innesto galleria di linea – cunicolo carrabile

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>18 di 55</b>

## 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 dall'opera in sotterraneo.

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

### 9.1 Inquadramento geologico

L'area di studio si colloca nella porzione nord-occidentale della regione Campania, più precisamente il territorio dei comuni di Castelvenere, Guardia Sanframondi, Ponte, San Lorenzo Maggiore e Solopaca, in provincia di Benevento (BN).

Le formazioni interessate dalle opere in progetto sono:

#### *Unità del Fortore*

È presente a SE del centro abitato di Telesse, 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.

 <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>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

### 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 (**ALVa**) è costituita da argille, argille limose e argille marnose di colore grigio, azzurro, rosso-violaceo e grigio-verdastro, caotiche o a struttura scagliosa, con sottili intercalazioni sabbioso-limose grigiastre, diffusi passaggi marnosi grigio-verdastri e frequenti ghiaie poligeniche; a luoghi si rinvencono livelli di calcari e arenarie, in strati da sottili a medi.

La litofacies prevalentemente calcareo-marnosa (**ALVb**), invece, è formata da argille, argille limose e argille marnose di colore grigio, azzurro, rosso-violaceo e grigio-verdastro, caotiche o a struttura scagliosa, in alternanza con calcari micritici, calcari-dolomitici e calcari marnosi, in strati da sottili a spessi; a luoghi si rinvencono intercalazioni sabbioso-limose marroni e grigiastre, passaggi marnosi grigio-verdastri e livelli di arenarie arcocoliche 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 (**ALVc**) è costituita da calcari cristallini biancastri, da massivi a ben stratificati, con frequenti intercalazioni di calcareniti bioclastiche, calcari dolomitici, e conglomerati poligenici a matrice marnosa e limoso-argillosa di colore verdastro; a luoghi si rinvencono 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.

### Formazione di San Giorgio

Si tratta depositi marini di bacino costituiti da due differenti litofacies a dominante argilloso-marnosa e arenaceo-marnosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante su unità non affioranti nell'area e risultano in contatto tettonico con le Argille Varicolori Superiori.

La litofacies a dominante argilloso-marnosa, invece, è formata da argille, argille limose e argille marnose di colore grigio, nocciola e verdastro (**SGIa**), in strati da sottili a medi, con frequenti intercalazioni di sabbie e sabbie limose di colore giallastro, in strati da molto sottili a sottili; a luoghi si rinvencono livelli di arenarie quarzoso-feldspatiche di colore grigio e giallastro, in strati da medi a spessi, talora laminati, e rari livelli di calcari e calcari marnosi di colore grigio, in strati da molto sottili a sottili.

La litofacies prevalentemente arenaceo-marnosa è costituita da arenarie quarzoso-feldspatiche di colore grigio e giallastro (**SGIb**), in strati da spessi a molto spessi, talora laminati, in alternanza con argille limose e argille marnose di colore grigio, nocciola e verdastro, in strati da sottili a medi; si rinvencono frequenti intercalazioni di sabbie e sabbie limose di colore giallastro, in strati da molto sottili a medi, e rari livelli di calcari e calcari marnosi di colore grigio, in strati da molto sottili a sottili; a luoghi sono presenti passaggi di arenarie quarzoso-litiche di colore grigio, in strati da medi a spessi, e lenti di conglomerati poligenici a matrice sabbioso-limosa di colore marrone.

### ***Depositi vulcanoclastici***

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>20 di 55</b>

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 a struttura indistinta o debolmente laminata, con diffusi inclusi piroclastici e locali ghiaie poligeniche; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi a struttura indistinta o debolmente laminata, con diffusi inclusi piroclastici e locali ghiaie poligeniche.

#### ***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 e argilloso-sabbiosa di colore grigio, marrone e giallastro, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvengono 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

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

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 (**bn1**) è costituita da ghiaie poligeniche ed eterometriche, con locali ciottoli, 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 (**bn2**), è formata da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro, 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.

La litofacies prevalentemente pelitica (**bn3**) è costituita da argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio-azzurro, marrone e verdastro, 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]).

## **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*

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>22 di 55</b>

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 Cancello - Benevento; II° lotto funzionale Frasso Telesino - Vitulano"*);
- Campagna indagini 2015 (*Indagini propedeutiche alla progettazione definitiva per il " Raddoppio tratta Cancello - Benevento; II° lotto funzionale Frasso Telesino - Vitulano"*).
- Campagna indagini 2017 (*Progettazione definitiva per il " Raddoppio tratta Cancello - Benevento; II° lotto funzionale Frasso Telesino - Vitulano"*).

Relativamente al 3° lotto funzionale San Lorenzo – Vitulano sono state realizzate le seguenti indagini:

- n. 41 sondaggi a carotaggio continuo di cui n. 16 non attrezzati, n. 20 attrezzati con piezometro, n. 3 strumentati con inclinometro n. 2 attrezzato per sismica in foro;
- n. 2 sondaggi a distruzione attrezzati con piezometro;
- n. 3 prospezioni sismiche MASW;
- n. 4 indagini tomografiche elettriche;
- n. 18 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] e Rif. [17]).

Per la definizione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità dei terreni si è fatto riferimento ai risultati delle indagini di laboratorio ed all'elaborazione delle prove in sito (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:

- Coltri eluvio-colluviali  
Tali terreni si rinvencono 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

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>23 di 55</b>

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 rigidezza crescente con la profondità, come emerso dalle differenti indagini in sito condotte.

Particolare attenzione è stata rivolta alla caratterizzazione geotecnica delle Argille Varicolori Superiori e della Formazione di San Giorgio.

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 ( $L/P < 0.4$ ).

Anche la formazione di San Giorgio è stata caratterizzata considerando un comportamento tipico di un terreno argilloso. Seppure la formazione presenta due litofacies, arenaceo-marnosa (**SGIb** con  $L/P < 1$ ) e argilloso-limosa (**SGIa** con  $L/P \ll 1$ ), si è ritenuto opportuno accorparle dal punto di vista della parametrizzazione geotecnica.

La facies argilloso marnosa-calcareo (**ALVb**) risulta estremamente tettonizzata con alternanze di roccia ed argilla scagliosa in struttura caoticizzata. Se il rapporto  $L/P$  è compreso tra 0.4 e 0.7 si tratta di un materiale composto da una matrice argillosa a struttura indistinta inglobante scaglie più resistenti e clasti calcarei di dimensioni modeste, **ALVb-pelitico**. Al contrario, se il rapporto  $L/P$  risulta compreso tra 0.7 e 1.0, le **ALVb** sono riconosciute come un flysch con componente prevalente marnoso-calcareo, **ALVb-litoide**. Per la caratterizzazione dell'**ALVb-pelitico**, sono stati considerati i parametri della facies **ALVa**. Per la caratterizzazione dell'**ALVb-litoide**, 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 in 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.

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	32 D 07	RG	GN 00 00 001	B	24 di 55

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

Formazione	Copertura	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\varphi'$ (°)	c (Kpa)	E (Mpa)
Depositi eluvio-colluviali	-	18	30	0-5	20

Formazione	Copertura	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\varphi'$ (°)	c (Kpa)	E (Mpa)
Depositi Alluvionali Terrazzati	0-15	20	33-40	10	50-140
	15-40	20	33-40	10-37	140-390
	>40	20	33-40	10-37	390

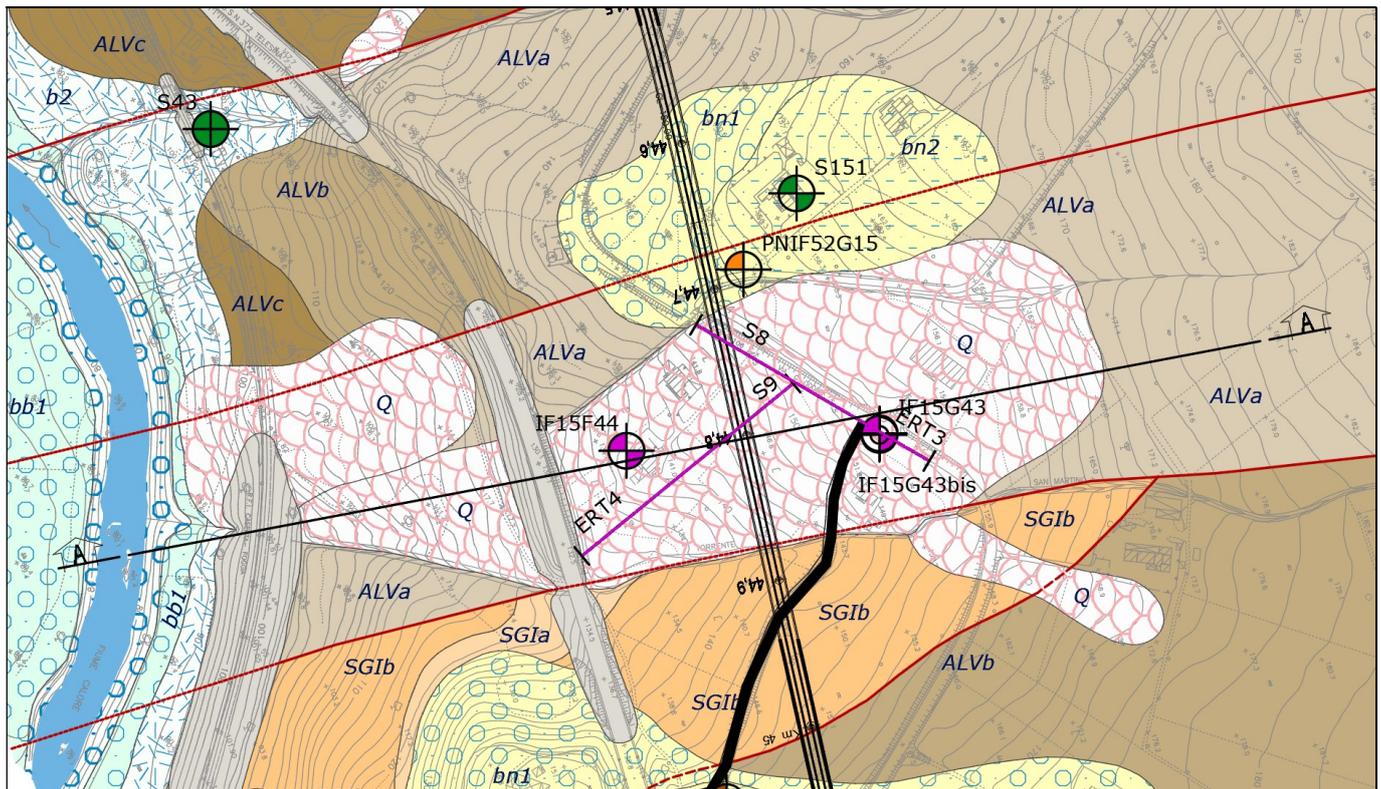
Formazione	Unità	L/P	Copertura	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\sigma_{ci}$ (MPa)	GSI	$\varphi'$ (°)	c' (Kpa)	$c_u$ (Kpa)	E (Mpa)
Argille Varicolori Superiori	ALVa	<0.4	-	20	-	-	18-26	10-30	100-200	70-400
	ALVb	0.4-0.7	-	23	-	-	20-26	10-30	100-200	70-400
		0.7-1.0	-	23	24-48	20	23-40	20-70	-	250-500
	ALVc	>1	0-20	26	60-120	35	45-48	80-130	-	900
		>1	20-50	26	60-120	35	40-45	130-200	-	900-1800
		>1	50-100	26	60-120	35	33-40	200-280	-	900-1800

Formazione	Unità	L/P	Copertura	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\sigma_{ci}$ (MPa)	GSI	$\varphi'$ (°)	c' (Kpa)	$c_u$ (Kpa)	E (Mpa)
Formazione di S. Giorgio	SGI	-	-	20	-	-	27-29	9-11	200	250-380

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

#### 9.4 Aspetti geomorfologici specifici

La galleria Le Forche, tra i km 44+400 e 45+000, sottopassa con coperture di circa 40 m dall'estradosso di calotta, un'area interessata da una frana complessa quiescente (Figura 10) di estese dimensioni (Rif. [14]).



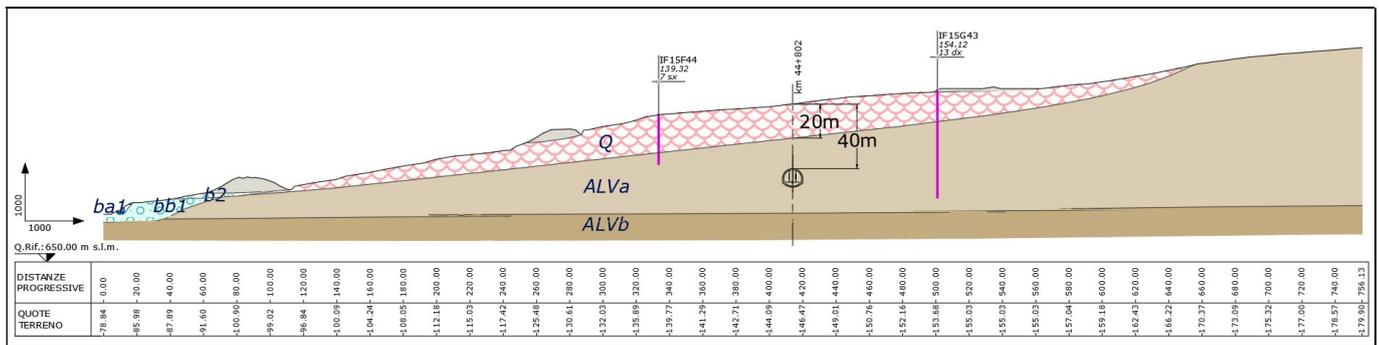
**Figura 10 – Galleria Le Forche, stralcio della carta geologica di progetto con indicazione dell'area in frana tra le pk 44+400 e le pk 45+000**

Gli studi geologici e geomorfologici condotti per il presente progetto (Rif. [14]), basati sia sul rilevamento di campo che su analisi fotointerpretative di dettaglio, oltre che sulle informazioni provenienti dalla campagna di indagini in sito, hanno permesso di ricostruire la geometria del corpo di frana in una sezione rappresentativa (sezione AA in Figura 11, la cui ubicazione in pianta è riportata in Figura 10). Il corpo di frana si estende dall'alveo del fiume Calore verso monte per una lunghezza di oltre 600 m, con uno spessore di 20 m circa in asse galleria all'interno della formazione delle Argille Varicolori a dominante pelitica (ALVa) soprastante la *facies* mista calcareo-pelitica della medesima formazione (ALVb).

Ad oggi, le misure inclinometriche in corso relative allo strumento IF15G43 (campagna 2017 – monitoraggio dal maggio 2017 al gennaio 2018) non indicano movimenti in atto. I dati relativi alle analisi di spostamenti superficiali mediante la tecnica di monitoraggio satellitare SqueeSAR™ (radar SENTINEL-1, periodo 2014-2017 e COSMO-SkyMed, periodo 2012-2016), eseguite nell'ambito dell'approfondimento di indagine propedeutico all'attuale fase progettuale, testimoniano in un intervallo temporale più ampio, un fenomeno deformativo molto lento con un trend dell'ordine dei 3 mm annui, con riferimento al periodo di osservazione sopra detto.

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	32 D 07	RG	GN 00 00 001	B	26 di 55



**Figura 11 - Sezione geologica di riferimento per l'analisi del pendio**

Gli studi condotti in tale fase progettuale hanno dimostrato che lo scavo della galleria Le Forche non presenta interferenze con il corpo di frana in virtù delle coperture in gioco (circa 40 m dal p.c. nel tratto di interesse), ed in considerazione della soluzione di scavo e consolidamento prevista in progetto. La sezione di scavo in tradizionale adottata, denominata “C2p”, prevede infatti interventi di precontenimento del fronte ed al contorno e l’impiego della centina puntone come rivestimento provvisorio in arco rovescio, con l’obiettivo di contenere e limitare in maniera efficace gli effetti deformativi ed i fenomeni di plasticizzazione eventualmente connessi alla realizzazione della galleria.

L’interazione tra lo scavo della galleria Le Forche ed il pendio in esame è stata analizzata con modellazioni numeriche con il metodo degli elementi finiti (Plaxis 2D 2016). Le analisi sono state riferite alla sezione di calcolo centrale rispetto al corpo di frana ed ortogonale all’asse del tracciato, caratterizzata da un’altezza di ricoprimento pari a circa 40 m, come da Figura 11.

In asse alla galleria, la successione stratigrafica nel modello è stata così definita:

*Strato A – Corpo di frana (da 0 a 20 m dal p.c. - spessore 20 m)*

*Strato B – ALVa (da 20 a 72 m dal p.c. - spessore 52 m)*

*Strato C – ALVb (da 72 m dal p.c.)*

Ai terreni sono stati assegnati parametri geotecnici ricavati dalle indagini in sito ed in laboratorio. In particolare, le colonne stratigrafiche dei sondaggi IF15F44 e IF15G43 descrivono un corpo di frana costituito prevalentemente da limi argillosi con livelli sabbiosi e clasti calcarei, la cui caratterizzazione della resistenza attrittiva è stata compiuta tramite l’interpretazione del numero di colpi delle prove SPT in possesso, attribuendo in maniera cautelativa un contributo di coesione nulla.

I terreni sono stati modellati attraverso il modello elastico-perfettamente plastico con superficie di rottura di Mohr-Coulomb. I parametri meccanici ed i valori di permeabilità assegnati ai terreni sono riportati in **Errore. L’origine riferimento non è stata trovata.**

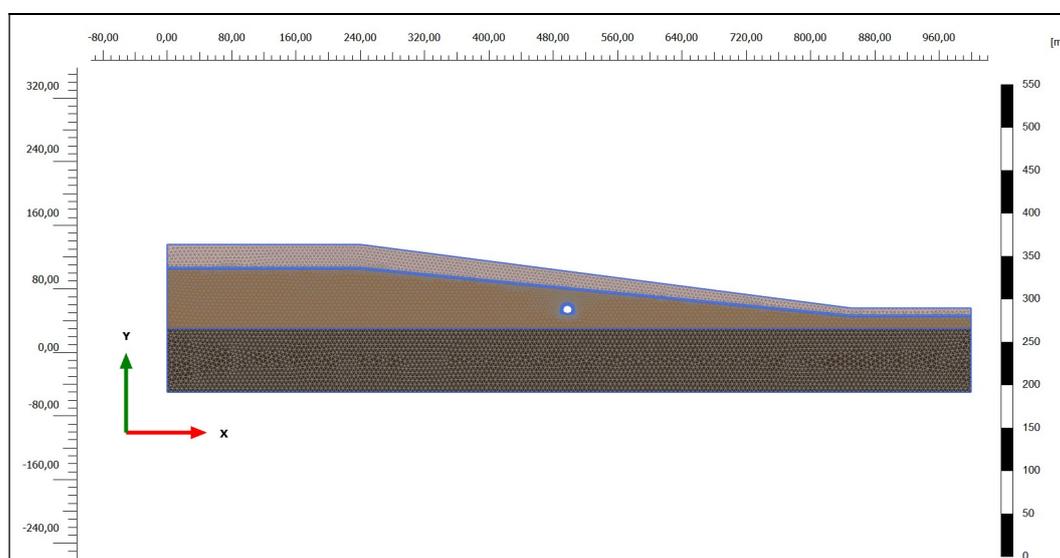
		Corpo di frana	ALVa	ALVb
$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	18	20	23
E	[MPa]	35	90	250
c	[kN/m <sup>2</sup> ]	0	15	30
$\varphi$	[°]	30	22	26
v	[-]	0,3	0,3	0,3
Perm. k	[m/s]	1E-07	1E-08	1E-08

**Tabella 3 - Parametri meccanici e di permeabilità adottati**

La realizzazione della galleria è stata quindi simulata, in ipotesi di condizione piane di deformazione, adottando la fasistica di calcolo riferita alla sezione cilindrica C2p, che prevede interventi di precontenimento del fronte al contorno e l'impiego della centina puntone come rivestimento provvisorio in arco rovescio. Dalle analisi sono stati valutati:

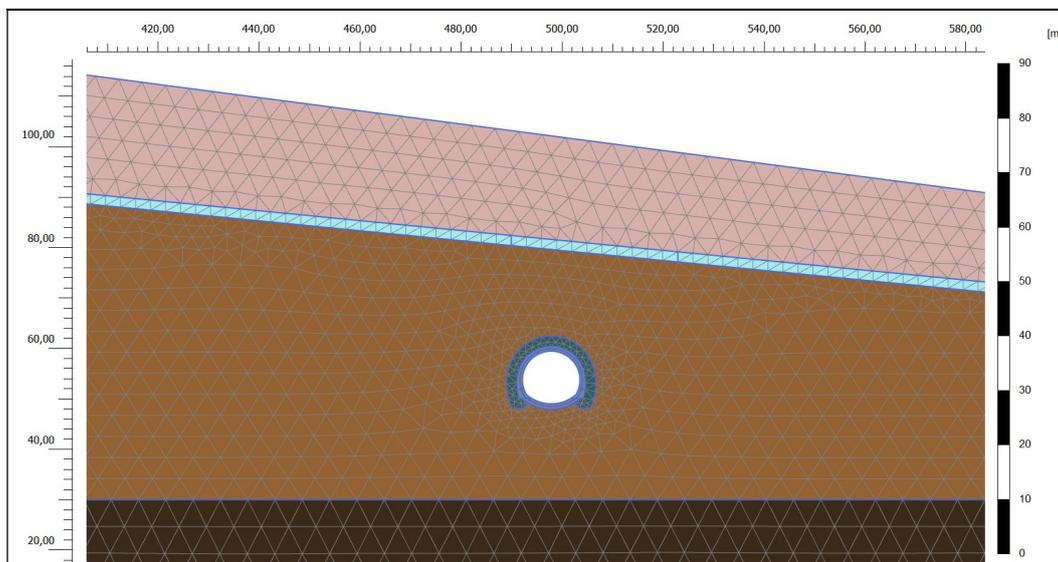
- l'entità dei cedimenti indotti al piano campagna dalla realizzazione della galleria;
- i fenomeni di plasticizzazione al contorno del cavo indotti dallo scavo;
- l'interazione dell'opera con il regime idraulico;
- il confronto tra le condizioni di stabilità del pendio *ante operam* e *post operam*.

Si è assunto un dominio 2D avente dimensioni di 1000 m di larghezza e 190 m di profondità massima, con reticolo di calcolo (infittito all'intorno della galleria) costituito da 14239 elementi, ciascuno di 15 nodi e larghezza media dei lati di 4,817 m (Figura 12 - Figura 13). Le condizioni al contorno imposte sono: spostamenti liberi lungo la sommità, spostamenti impediti sul fondo del dominio e spostamenti orizzontali impediti e verticali liberi per i nodi ai lati.



	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

**Figura 12 - Dominio di calcolo discretizzato**



**Figura 13 - Dettaglio del dominio del modello**

Gli elementi strutturali relativi al rivestimento provvisorio, sono stati modellati come elementi *plate* a comportamento elastico con valori di rigidezza flessionale  $EI$  e rigidezza estensionale  $EA$  desunti dalle caratteristiche geometriche e dalle proprietà riferite al solo *spritz-beton* (Rif. [7]). Il rivestimento definitivo è stato modellato invece come elemento *cluster* a comportamento elastico lineare caratterizzato da rigidezza funzione della classe di resistenza del calcestruzzo adottato (Rif. [7]).

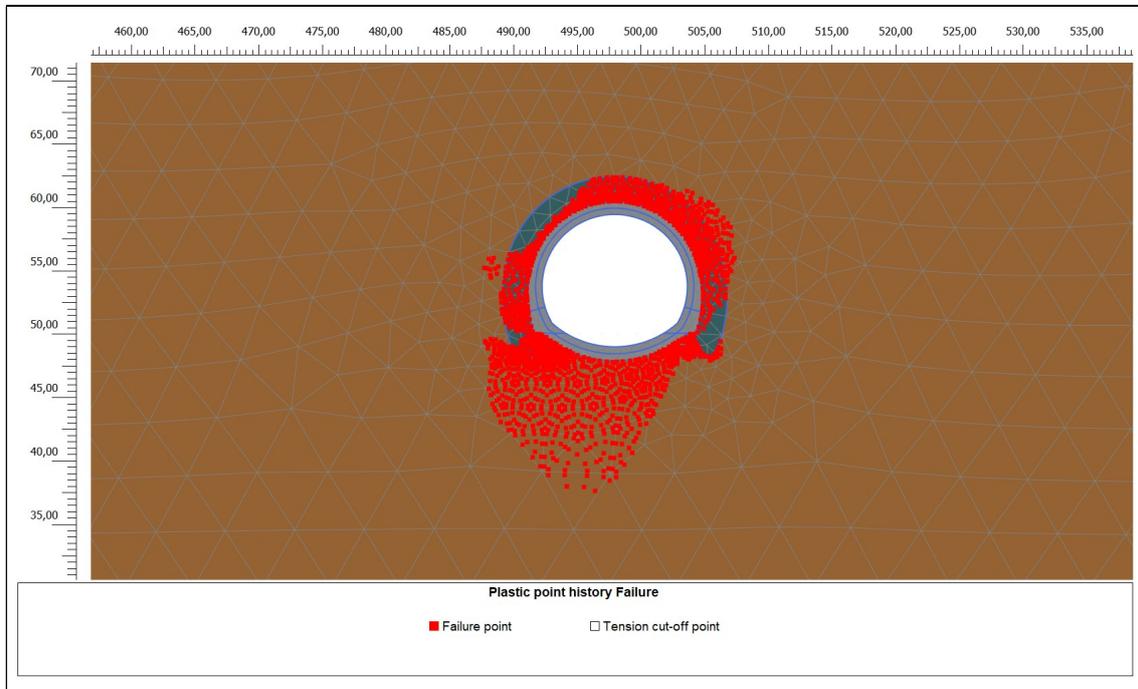
Il volume di terreno oggetto dell'intervento mediante elementi strutturali in VTR iniettati, di precontenimento al contorno del cavo, è stato modellato mediante semplice attivazione (*wished in place*), assegnando nuove caratteristiche meccaniche ai materiali interessati dagli interventi, considerando un incremento della rigidezza e della componente coesiva della resistenza.

La superficie piezometrica (pressioni neutre nulle) è stata definita ad 1 m dal piano campagna, con pressioni neutre iniziali idrostatiche.

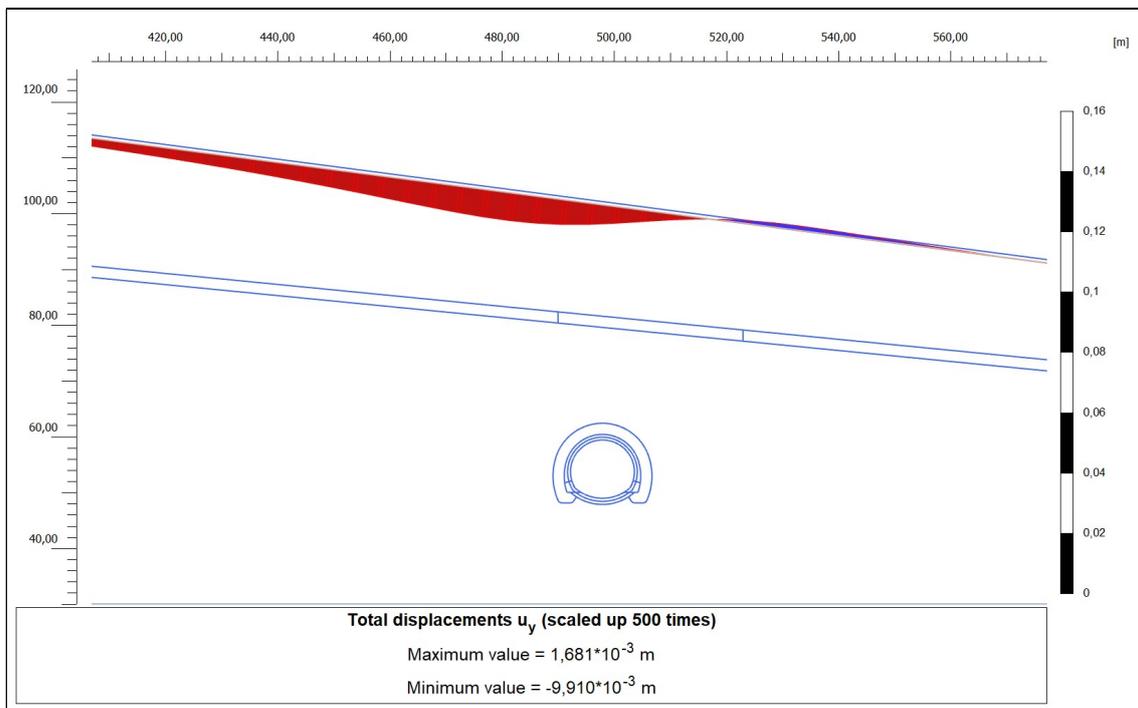
Di seguito, vengono descritte le fasi simulate nell'analisi:

1. generazione dello stato tensionale iniziale;
2. simulazione, mediante semplice attivazione, degli interventi di precontenimento al contorno;
3. rilascio a cavo libero in corrispondenza del fronte (scarico tensionale del cavo pari al 40%);
4. esecuzione dello sfondo elementare di 1m (scarico tensionale del cavo pari al 60%);
5. installazione del rivestimento di prima fase (scarico tensionale del cavo pari al 85%);
6. realizzazione del rivestimento definitivo in arco rovescio (scarico tensionale del cavo pari a 95%);
7. completamento del rivestimento definitivo in calotta (scarico tensionale del cavo pari al 100%).

Gli approfondimenti hanno confermato che le soluzioni progettuali adottate per lo scavo della galleria minimizzano gli effetti di interazione tra la galleria ed il pendio naturale sia in termini di plasticizzazioni che di spostamenti indotti, come descritto graficamente dalle Figura 14 e Figura 15 che seguono.



**Figura 14 - Plasticizzazioni al contorno del cavo, efficacemente contenute dagli interventi di consolidamento al contorno**



**Figura 15 - Spostamenti verticali al piano campagna, inferiori al centimetro**

 <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>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

Inoltre, sono state compiute analisi di stabilità globale con il metodo denominato *Phi-c reduction*, nel quale i parametri di resistenza  $\tan\phi$  e  $c$  del terreno vengono ridotti fin quando non si genera un meccanismo di collasso. Il moltiplicatore totale  $\Sigma Msf$  viene utilizzato per definire il valore dei parametri di resistenza del terreno in un dato stadio dell'analisi:

$$\Sigma Msf = \frac{\tan \phi_{input}}{\tan \phi_{reduced}} = \frac{C_{input}}{C_{reduced}}$$

dove i parametri di resistenza con il pedice *input* si riferiscono alle proprietà del materiale in sito ed i parametri con il pedice *reduced* si riferiscono ai valori ridotti nel corso della procedura d'analisi. All'inizio del calcolo, a  $\Sigma Msf$  è assegnato il valore di 1,0 per impostare tutte le resistenze dei materiali ai loro valori originali. Al termine del calcolo si svilupperà in maniera completa il meccanismo di rottura, a cui corrisponderà il fattore di sicurezza dato dal rapporto:

$$FS = \frac{\text{resistenza disponibile}}{\text{resistenza a rottura}} = \text{valore di } \Sigma Msf \text{ a rottura}$$

Con l'approccio *Phi-c reduction* è stato possibile verificare la stabilità del versante sia in assenza di galleria, sia a seguito della realizzazione della galleria, avvenuta simulando ogni singola fase costruttiva.

In particolare, si è osservato che il fattore di sicurezza riferito alla stabilità globale (inteso come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile, presa con il suo valore caratteristico, e lo sforzo di taglio mobilitato lungo la potenziale superficie di scorrimento) a seguito della realizzazione della galleria si riduce di un valore pari al rapporto percentuale:

$$\frac{\Delta FS}{FS_0} = - 2\%$$

in cui  $\Delta FS$  è la variazione del fattore di sicurezza dalla condizione *ante operam* alla condizione *post operam*, con galleria realizzata, ed  $FS_0$  è il coefficiente di sicurezza alla stabilità globale del pendio *ante operam*.

Tali risultati evidenziano come le opere in progetto incidano in maniera trascurabile sulla stabilità del pendio secondo il meccanismo di collasso analizzato nella modellazione numerica, che coinvolge l'intero corpo di frana, come descritto in Figura 16 mediante rappresentazione in rosso dei vettori spostamento.

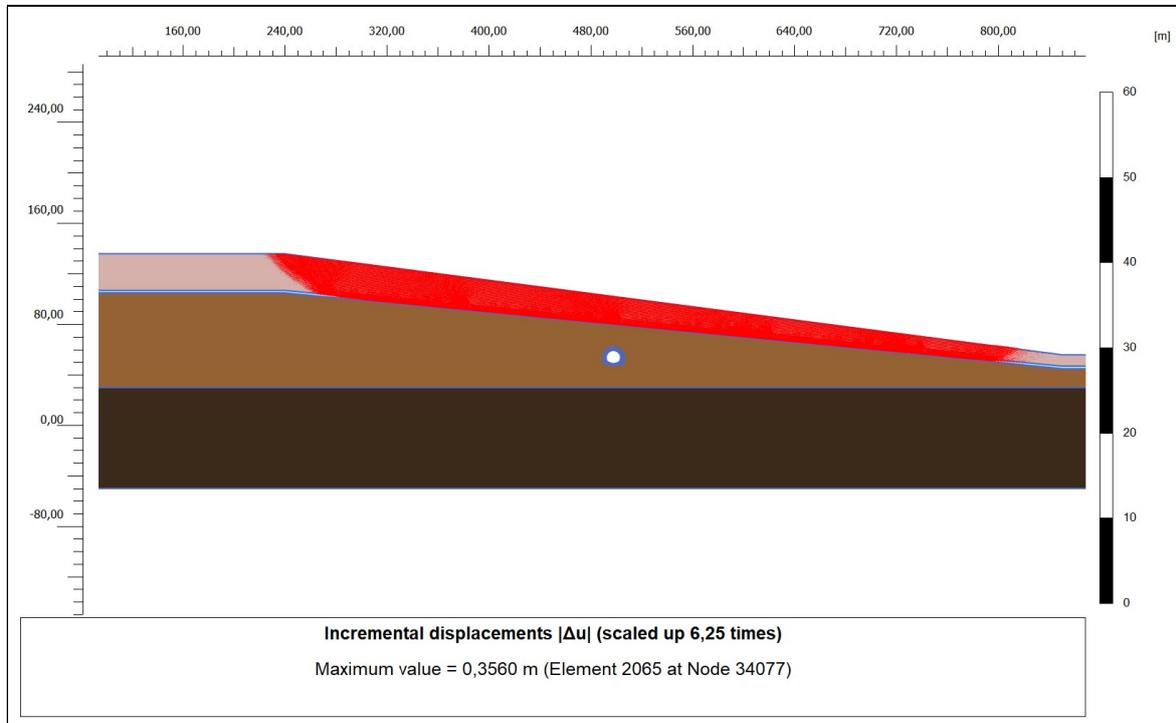


Figura 16 - Dettaglio del possibile meccanismo di rottura calcolato (visualizzazione per frecce)

Tale frana è inoltre oggetto della prescrizione n.12 riportata nell'Ordinanza n°25 di approvazione del Progetto Preliminare da parte del Commissario Straordinario (Rif. [13]), che fa riferimento alla necessità di “[...] prevedere un adeguato drenaggio delle acque, al fine di mitigare il rischio di riattivazione della frana anche a lavori ultimati [...]”.

Il sistema previsto in progetto, costituito da specifica membrana bugnata in PoliEtilene ad Alta Densità messa in opera full-round ed affiancata alla classica membrana di impermeabilizzazione in PVC, consente il drenaggio delle acque al contorno del cavo e contribuisce nel tempo ad incrementare il fattore di sicurezza alla stabilità globale del pendio in condizioni di lungo termine. Ulteriori analisi numeriche condotte hanno difatti evidenziato il ruolo benefico dell'effetto drenante della membrana bugnata disposta al contorno del rivestimento, nei confronti della stabilità globale del versante. In ipotesi di galleria realizzata con tale sistema drenante, si avrà l'effetto di una riduzione di pressioni neutre e quindi di un corrispondente incremento di tensioni efficaci, con conseguente aumento della resistenza al taglio dei terreni coinvolti dall'abbassamento di falda. Tale condizione determina, in condizioni di lungo termine (moto stazionario del regime di falda circostante), un incremento del fattore di sicurezza riferito alla stabilità globale.

## 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.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>32 di 55</b>

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-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

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>33 di 55</b>

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 Ponte 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.

Le gallerie Reventa e Le Forche attraversano la formazione delle Argille Varicolori (ALV): la galleria Reventa nella litofacies argilloso marnosa – calcarea (ALVb), mentre la galleria Le Forche 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

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>34 di 55</b>

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 Le Forche, da pk circa pari a 44+900 km, attraversa anche la formazione di San Giorgio (SGI), nelle sue due litofacies. Tali litofacies sono caratterizzate da percentuali di litologie pelitiche preponderanti rispetto alle litologie marnose (SGIa) e arenacee (SGIb), quindi si prevede un comportamento del nucleo-fronte di scavo prevalentemente in categoria C. Come per le Argille Varicolori ALVa e ALVb, anche per la formazione di San Giorgio è possibile che il fronte esibisca un comportamento di categoria B, in funzione della risposta non drenata dell'argilla a breve termine o dell'eventuale presenza al fronte di componente litoide paragonabile quantitativamente alla componente pelitica.

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

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

## 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 di modalità operative, fasi di lavoro, interventi di stabilizzazione, drenaggi e relative tecnologie esecutive, denominate A1, A2, B1, B2, C1, C2, C2v, C2p e C3.

In particolare per la galleria Ponte, il cui scavo interessa i depositi alluvionali terrazzati (bn), si farà riferimento alle sezioni B1, C1 e C3; per la galleria Reventa, che attraversa le Argille Varicolori nella loro litofacies argilloso-calcareo ALVb con basse coperture, si adotteranno le sezioni C2, C2v e C2p; infine, per la galleria Le Forche, che coinvolge le Argille Varicolori nelle tre litofacies (argilloso-marnosa ALVa, argilloso marnosa-calcareo ALVb e

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>35 di 55</b>

calcareo-dolomitica ALVc) e la formazione di San Giorgio nelle sue due litofacies (argilloso-marnosa SG1a e arenaceo-marnosa SG1b), è prevista l'applicazione delle sezioni A1, A2, B1, B2, C2, C2v e C2p.

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 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]).

#### **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 non armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 5 diametri;
- calotta in calcestruzzo non 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:

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b></p>					
<p>Relazione tecnica delle opere in sotterraneo</p>	<p>COMMESSA IF0H</p>	<p>LOTTO 32 D 07</p>	<p>CODIFICA RG</p>	<p>DOCUMENTO GN 00 00 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 36 di 55</p>

- scavo a piena sezione per singoli sfondi di dimensioni massime 2,40 m;
- chiodatura radiale mediante 14/15 chiodi ad ancoraggio continuo Ø24 disposti in raggiera 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 non armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri;
- calotta in calcestruzzo non armato (spessore 0,70 cm) 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 nelle litofacies caratterizzate dalla presenza di calcare (ALVb e ALVc) e eventualmente nella litofacies SG1b della formazione di San Giorgio. In particolare, la sezione B1 è applicata quando, alla scala del fronte, la percentuale di componente pelitica diventa comparabile alla percentuale di componente litoide (ALVb con L/P =1). Se la componente litoide al fronte diventa preponderante rispetto a quella pelitico/argillosa (ALVc - 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 nell'attraversamento dei depositi alluvionali (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 elementi strutturali tubolari in VTR, L=14,5 m (sovrapposizione minima 6,0 m) cementati in foro con miscele cementizie. L'incidenza del preconsolidamento (numero o lunghezza degli elementi) potrà avere una variabilità del  $\pm$ 20%;
- presostegno al contorno (entro un angolo di 120° in calotta) realizzato mediante 33 tubi in acciaio 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 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN200 con passo 1,0 m;
- arco rovescio (spessore 0,90 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1,5 diametri;

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

- calotta non armata (spessore variabile da 0,50 m a 1,15 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 4 diametri.

#### 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 nelle litofacies caratterizzate dalla presenza di calcare (ALVb e ALVc) e eventualmente nella litofacies SG Ib della formazione di San Giorgio. In particolare, la sezione B2 è applicata quando, alla scala del fronte, la percentuale di componente litoide è preponderante rispetto alla percentuale di componente pelitica (ALVb con  $0,7 < L/P < 1$ ). Nelle ALVc ( $L/P > 1$ ) la sezione B2 è prevista, invece, nel caso in cui il grado di fratturazione dei calcari sia elevato.

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 50 elementi strutturali tubolari in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 8,0 m) cementati in foro con miscele cementizie. L'incidenza del preconsolidamento (numero o lunghezza degli elementi) potrà avere una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- 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 IPN220 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 nell'attraversamento dei depositi alluvionali (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 30 microtrattamenti in jet-grouting  $\varnothing 300$  armati con elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 8,0 m). L'incidenza del preconsolidamento (numero o lunghezza degli elementi) potrà avere una variabilità del  $\pm 20\%$ ;

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>38 di 55</b>

- precontenimento al contorno realizzato mediante 61 colonne in jet-grouting Ø600, L=16,5 m (sovrapposizione minima 4,5 m) e ulteriori 8+8 colonne al piede centina. L'incidenza del preconsolidamento potrà avere una variabilità del ±20%;
- 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 IPN220 con passo 1,0 m;
- 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.

Il jet-grouting dovrà essere eseguito adottando parametri e procedure tali da garantire il diametro delle colonne previste in progetto e i parametri di resistenza e deformabilità del terreno trattato e tali da tenere sotto controllo, durante la fase di perforazione e la fase di iniezione, le eventuali venute d'acqua di materiale fine nel caso di superficie piezometrica a quota cavo e superiore (ad esempio attraverso l'utilizzo del preventer).

#### 11.1.2.6 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 a maggiore componente pelitica ( $0,4 < L/P < 1$ ) con comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C). La sezione C2 è applicata anche quando il fronte di scavo interessa le Argille Varicolori argilloso-marnose ALVa ( $L/P < 0,4$ ) oppure nel caso in cui il fronte di scavo interessi la sola Unità di Maddaloni (MDL3).

La C2 è prevista come prevalente anche nell'attraversamento delle due litofacies della formazione di San Giorgio.

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 50 elementi strutturali a 3 piatti in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 10,0 m) cementati in foro con miscele cementizie. L'incidenza del preconsolidamento (numero o lunghezza degli elementi) potrà avere una variabilità del ±20%;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 51 elementi strutturali a 3 piatti 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. L'incidenza del preconsolidamento potrà avere una variabilità del ±20%;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 10,0 m;

 <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>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>												
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF0H</td> <td>32 D 07</td> <td>RG</td> <td>GN 00 00 001</td> <td>B</td> <td>39 di 55</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF0H	32 D 07	RG	GN 00 00 001	B	39 di 55
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF0H	32 D 07	RG	GN 00 00 001	B	39 di 55								

- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e centine HEB240 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.

### 11.1.2.7 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, all'interno della formazione delle Argille Varicolori (ALV), nelle zone a bassa copertura e nelle zone con preesistenze a piano campagna nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C).

La C2v è prevista come eventuale anche nell'attraversamento della litofacies pelitica SG1a della formazione di San Giorgio.

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 50 elementi strutturali a 3 piatti in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 11,5 m) cementati in foro con miscele cementizie. L'incidenza del preconsolidamento (numero o lunghezza degli elementi) potrà avere una variabilità del  $\pm$ 20%;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 51 elementi strutturali a 3 piatti 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. L'incidenza del preconsolidamento potrà avere una variabilità del  $\pm$ 20%;
- presostegno al contorno (entro un angolo di 120° in calotta) realizzato mediante 34 tubi in acciaio 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 centine HEB240 con passo 1,0 m;
- 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.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>40 di 55</b>

### 11.1.2.8 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 ( $L/P < 0,4$ ), per contrastare l'eventuale comportamento spingente della componente pelitica e ridurre al minimo le deformazioni al contorno del cavo.

La C2p è prevista come eventuale anche nell'attraversamento della litofacies pelitica SG1a della formazione di San Giorgio.

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 50 elementi strutturali a 3 piatti in VTR,  $L=24,0$  m (sovrapposizione minima 12,0 m) cementati in foro con miscele cementizie. L'incidenza del preconsolidamento (numero o lunghezza degli elementi) potrà avere una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 51 elementi strutturali a 3 piatti 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. L'incidenza del preconsolidamento potrà avere una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- 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.

### 11.1.2.9 Sezione tipo C3

La C3 è una sezione cilindrica che viene adottata quando è realizzato un preventivo intervento di consolidamento da p.c. mediante colonne in jet-grouting  $\Phi 1200$  di tipo bifluido realizzati da piano campagna. Durante lo scavo in avanzamento è previsto il contenimento del cavo tramite centine e spritz-beton, con campi di avanzamento da 10,0 m. Tale sezione è applicata in corrispondenza del tratto della galleria Ponte dove è eseguito il riempimento dell'incisione e rimodellamento della cava di inerti per costruzione. Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C3, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>41 di 55</b>

- 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 IPN220 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 1,00 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 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 le uscite di emergenza carrabili della galleria Le Forche sono state definite 8 diverse sezioni tipo, denominate A1, A2, B1, B2, C1, C2, C2v e C2p, i cui interventi 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. [17].

#### **11.1.3.1 Sezione tipo A1**

La sezione A1 è prevista esclusivamente nell'uscita di emergenza carrabile con innesto alla galleria Le Forche alla pk 44+297,87. Per i criteri di applicazione, analoghi a quelli previsti per le gallerie di linea, si rimanda al paragrafo §11.1.2.1.

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 2,80 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,15 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN140 con passo 1,40 m  $\pm$  20%;
- arco rovescio (spessore 0,60 m) e murette in calcestruzzo non armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 5 diametri;

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

- calotta in calcestruzzo non armato (spessore 0,60 m) gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

### 11.1.3.2 Sezione tipo A2

La sezione A2 è prevista esclusivamente nell'uscita di emergenza carrabile con innesto alla galleria Le Forche alla pk 44+297,87. Per i criteri di applicazione, analoghi a quelli previsti per le gallerie di linea, si rimanda al paragrafo §11.1.2.2.

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 9/10 chiodi ad ancoraggio continuo Ø24 disposti in raggiera alternate, lunghezza 4,50 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 0,70 m) e murette in calcestruzzo non armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri;
- calotta in calcestruzzo non armato (spessore 0,60 cm) gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

### 11.1.3.3 Sezione tipo B1

La B1 è prevista sia nell'uscita di emergenza carrabile/finestra costruttiva della galleria Le Forche con innesto alla pk 44+297,87 che in quella carrabile con innesto alla pk 45+105,57. Le tipologie di intervento previste nella sezione 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:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 20 elementi strutturali in VTR, L=13,5 m (sovrapposizione minima 5,0 m) cementati in foro con miscele cementizie. L'incidenza del preconsolidamento (numero o lunghezza degli elementi) potrà avere una variabilità del  $\pm$ 20%;
- 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 IPN180 con passo 1,0 m  $\pm$  20%;

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>43 di 55</b>

- arco rovescio (spessore 0,80 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1,5 diametri;
- calotta in calcestruzzo non armato (spessore variabile da 0,50 m a 1,15 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 4 diametri.

#### 11.1.3.4 Sezione tipo B2

La B2 è prevista sia nell'uscita di emergenza carrabile/finestra costruttiva della galleria Le Forche con innesto alla pk 44+297,87 che in quella carrabile con innesto alla pk 45+105,57. Le tipologie di intervento previste nella sezione e i criteri di applicazione sono del tutto analoghi a quelli definiti per le gallerie di linea, descritte al paragrafo §11.1.2.4 a cui si rimanda.

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 30 elementi strutturali in VTR, L=17,0 m (sovrapposizione minima 7,0 m) cementati in foro con miscele cementizie. L'incidenza del preconsolidamento (numero o lunghezza degli elementi) potrà avere una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- 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 0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 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 in calcestruzzo armato (spessore 0,70 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 4 diametri.

#### 11.1.3.5 Sezione tipo C1

La C1 è prevista esclusivamente nell'uscita di emergenza carrabile della galleria Le Forche con innesto alla pk 45+105,57 come sezione prevalente nei depositi alluvionali (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 microtrattamenti in jet-grouting  $\varnothing 300$  armati con elementi strutturali in VTR, L=17,0 m (sovrapposizione minima 7,0 m). L'incidenza del preconsolidamento (numero o lunghezza degli elementi) potrà avere una variabilità del  $\pm 20\%$ ;

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b></p>					
<p>Relazione tecnica delle opere in sotterraneo</p>	<p>COMMESSA IF0H</p>	<p>LOTTO 32 D 07</p>	<p>CODIFICA RG</p>	<p>DOCUMENTO GN 00 00 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 44 di 55</p>

- precontenimento al contorno realizzato mediante 49 colonne in jet-grouting Ø600, L=14,5 m (sovrapposizione minima 4,5 m) e ulteriori 5+5 colonne al piede centina. L'incidenza del preconsolidamento potrà avere una variabilità del ±20%;
- 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 IPN200 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.

Il jet-grouting dovrà essere eseguito adottando parametri e procedure tali da garantire il diametro delle colonne previste in progetto e i parametri di resistenza e deformabilità del terreno trattato e tali da tenere sotto controllo durante la fase di perforazione e la fase di iniezione le eventuali venute d'acqua di materiale fine nel caso di superficie piezometrica a quota cavo e superiore (ad esempio attraverso l'utilizzo del preventer).

### 11.1.3.6 Sezione tipo C2

La C2 è prevista sia nell'uscita di emergenza carrabile/finestra costruttiva della galleria Le Forche con innesto alla pk 44+297,87 che in quella carrabile con innesto alla pk 45+105,57. Le tipologie di intervento previste nella sezione e i criteri di applicazione sono del tutto analoghi a quelli definiti per le gallerie di linea, descritte al paragrafo §11.1.2.6 a cui si rimanda.

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 25 elementi strutturali in VTR, L=18,0 m (sovrapposizione minima 8,0 m) cementati in foro con miscele cementizie. L'incidenza del preconsolidamento (numero o lunghezza degli elementi) potrà avere una variabilità del ±20%;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 39 elementi strutturali in VTR, L=15,0 m (sovrapposizione minima 5,0 m) cementati in foro con miscele espansive e ulteriori 5+5 elementi strutturali in VTR al piede centina L'incidenza del preconsolidamento (numero o lunghezza degli elementi) potrà avere una variabilità del ±20%;
- 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 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN200 con passo 1,0 m ± 20%;

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>45 di 55</b>

- 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 0,80 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

### 11.1.3.7 Sezione tipo C2v

La C2v è prevista sia nell'uscita di emergenza carrabile/finestra costruttiva della galleria Le Forche con innesto alla pk 44+297,87 che in quella carrabile con innesto alla pk 45+105,57. Le tipologie di intervento previste nella sezione e i criteri di applicazione sono del tutto analoghi a quelli definiti per le gallerie di linea, descritte al paragrafo §11.1.2.7 a cui si rimanda.

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 30 elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 11,5 m) cementati in foro con miscele cementizie. L'incidenza del preconsolidamento (numero o lunghezza degli elementi) potrà avere una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 39 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. L'incidenza del preconsolidamento (numero o lunghezza degli elementi) potrà avere una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- presostegno al contorno (entro un angolo di  $120^\circ$  in calotta) realizzato mediante 23 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 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN200 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 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.

### 11.1.3.8 Sezione tipo C2p

La C2p è prevista sia nell'uscita di emergenza carrabile/finestra costruttiva della galleria Le Forche con innesto alla pk 44+297,87 che in quella carrabile con innesto alla pk 45+105,57. Le tipologie di intervento previste nella sezione e i criteri di applicazione sono del tutto analoghi a quelli definiti per le gallerie di linea, descritte al paragrafo §11.1.2.8 a cui si rimanda.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 30 elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 10,0 m) cementati in foro con miscele cementizie. L'incidenza del preconsolidamento (numero o lunghezza degli elementi) potrà avere una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 41 elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 10,0 m) cementati in foro con miscele espansive e ulteriori 5+5 elementi strutturali in VTR al piede centina. L'incidenza del preconsolidamento (numero o lunghezza degli elementi) potrà avere una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- 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 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e centina singola HEB180 con passo 1,0 m  $\pm 20\%$ . Chiusura dell'arco rovescio provvisorio con centina puntone HEB180 con passo 1.00 m  $\pm 20\%$  e 0,25 m di spritz-beton;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 0.5 diametri;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore 0,90 cm) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 2 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] e Rif. [17]).

### 11.2.1 Presenza di trovanti/blocchi

Le gallerie Reventa e Le Forche con le relative uscite di emergenza attraversano la formazione delle Argille Varicolori Superiori e la formazione di San Giorgio. Nelle Argille Varicolori, 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 metrica (Rif. [14]). Nella formazione di San Giorgio nella litofacies argilloso-marnosa (**SGIa**) sono presenti rari livelli calcarei molto sottili (Rif. [14]), mentre nella litofacies arenaceo-marnosa (**SGIb**) a luoghi sono presenti passaggi di arenarie da medi a spessi (Rif. [14]). La natura eterogenea di tali formazioni è stata confermata dalle numerose indagini in sito.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IF0H	32 D 07	RG	GN 00 00 001	B	47 di 55

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 3 San Lorenzo-Vitulano dista circa 13 km dall'abitato di Telesse 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 4), 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.
-----------------	--

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IF0H	32 D 07	RG	GN 00 00 001	B	48 di 55

<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 4 - Classificazione delle gallerie sul rischio metano secondo la Nota Interregionale n. 28 "Lavori in sotterraneo. Scavo in terreni grisutosi. Grisù 3ª 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 4.

La galleria Ponte (copertura massima dell'ordine dei 25 m) e la galleria Reventa (copertura massima dell'ordine dei 15 m), i cui scavi interessano rispettivamente i depositi alluvionali terrazzati (bn) e le Argille Varicolori (ALV), sono definibili in classe 1A. La galleria Le Forche e le annesse uscite di emergenza, invece, attraversano, come la galleria Reventa, le Argille Varicolori, ma con coperture superiori, dell'ordine degli 80 m, e in un contesto geotecnico di maggior disturbo tettonico. Tali gallerie rientrano in classe di rischio 1B.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>49 di 55</b>

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 su fronti di scavo nei pressi della futura galleria Le Forche hanno evidenziato un ammasso roccioso interessato da importanti elementi tettonici, sia distensivi che compressivi, a cui si aggiungono evidenti fenomeni di alterazione e carsismo di bassa intensità (Rif. [14]).

In relazione al rischio di intercettare eventuali cavità carsiche, in considerazione dell'impossibilità di definire posizione e dimensioni di eventuali cavità in modo affidabile tramite indagini di superficie, si ritiene di poter procedere come di seguito descritto.

Le perforazioni propedeutiche agli interventi di consolidamento del fronte e del contorno 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 per le sezioni tipo A1 (paragrafo 11.1.2.1 e 11.1.3.1) e A2 (paragrafo 11.1.2.2 e 11.1.3.2) 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.

### **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 terreni/ammassi interessati dalla realizzazione delle gallerie in progetto. Tali falde potrebbero rappresentare 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.

Nella piana alluvionale del Fiume Calore è presente un'estesa falda alimentata dal corso d'acqua, caratterizzata da una superficie piezometrica che nel rilievo interessato dalla realizzazione della galleria Ponte (Rif. [14]) risulta piuttosto profonda nei depositi alluvionali più grossolani e ben al di sotto del piano ferro di progetto.

In corrispondenza dei rilievi collinari interessati dalla realizzazione della galleria Reventa e della galleria Le Forche, invece, i dati a disposizione hanno evidenziato livelli piezometrici generalmente al di sopra della calotta, (dell'ordine di 50 m rispetto al piano ferro), con andamento piuttosto irregolare, a causa dell'eterogeneità della formazione della Argille Varicolori nelle sue tre litofacies, e per la presenza di diffuse strutture tettoniche.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF0H	LOTTO 32 D 07	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B

Data la bassa permeabilità delle Argille Varicolori nella facies pelitica e argilloso-calcareo (ALVa e ALVb) non sussistono rischi di venute d'acqua in fase di scavo; solo nelle tratte con prevalenza della componente calcarea (ALVc), il rischio è medio.

In questo contesto, la modalità di scavo consente di gestire efficacemente le venute d'acqua. Lo scavo avviene per sfondi circa pari a 1 m e a distanza limitata dal fronte è applicato il rivestimento di prima fase costituito da centine e calcestruzzo proiettato poco permeabile che limita le eventuali venute d'acqua dal contorno del cavo nella fase provvisoria. A breve distanza è installata l'impermeabilizzazione e il rivestimento definitivo che consente una chiusura completa del cavo della galleria. Le venute d'acqua al fronte sono gestite attraverso drenaggi in avanzamento (3+3 per le gallerie di linea e 2+2 per le uscite di emergenza), previsti in progetto eventuali in caso di rischio venute d'acqua nullo/basso, necessari per rischio di venute d'acqua medio (nelle Argille Varicolori, vista la natura eterogenea del materiale e la condizione di fronti con numerosi passaggi litologici, la presenza dei drenaggi è sempre prevista anche nel caso di rischio venute d'acqua basso).

#### **11.2.5 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 fondo valle, 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 (cfr.11.2.7).

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.

#### **11.2.6 Comportamento rigonfiante argilla**

La porzione pelitica delle Argille Varicolori Superiori presente nella litofacies argilloso-marnosa ALVa (L/P<0,4), si presenta a struttura scagliosa o fortemente caotica. Tale formazione potrebbe essere soggetta, in particolari condizioni, a fenomeni di rigonfiamento del materiale (swelling).

In tali formazioni, l'adozione della sezione di scavo e consolidamento del tipo C2p, che prevede interventi di precontenimento del fronte e al contorno, l'impiego della centina puntone come rivestimento provvisorio in arco rovescio che consente la chiusura dell'intero contorno del cavo e di una incidenza di armatura significativa per il rivestimento definitivo di a.r., 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.

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

Oltre alle interferenze rappresentate da viabilità esistenti (SS372-Telesina per l'uscita di emergenza con innesto con la galleria Le Forche alla pk 45+105,57 km e per la galleria di linea Le Forche circa alla pk 45+400), lungo il

 <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>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IF0H	32 D 07	RG	GN 00 00 001	B	51 di 55

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.12 edifici (con numerazione da n.14 a n.25) (Rif. [22]). Si è distinto tra edifici situati in adiacenza al tratto in naturale delle gallerie (edifici n. 18-19-20-21-22-23-24-25) ed edifici in adiacenza al tratto in artificiale (edifici n. 14-15-16 e 17).

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. [24], per le gallerie naturali Rif. [25] e Rif. [26]);
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. [27] e Rif. [28]); 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 generalmente 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. [29]) in grado di tener conto, seppur in via approssimata, dell'interazione terreno-struttura.

Con riferimento alla classificazione delle categorie di danno sintetizzate nella 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)**

 <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>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IF0H	32 D 07	RG	GN 00 00 001	B	52 di 55

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 (solo danni estetici e non funzionali).

La Tabella 7 mostra il riepilogo delle analisi eseguite e del danno atteso.

N°Edificio	Tipo di scavo	Categoria di Danno	Livello di approfondimento
14	Artificiale	0	1-green field
15	Artificiale	0	1-green field
16	Artificiale	0	1-green field
17	Artificiale	0	1-green field
18	Naturale	0	2-trave equivalente
19	Naturale	0	2-trave equivalente
20	Naturale	0	2-trave equivalente
21	Naturale	0	2-trave equivalente
22	Naturale	2	2-trave equivalente
23	Naturale	0	2-trave equivalente
24	Naturale	0	2-trave equivalente
25	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

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>53 di 55</b>

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 che consenta di:

- confermare le sezioni tipo previste per le tratte omogenee, come da profilo geotecnico, secondo i criteri di applicazione definiti in progetto;
- definire le variazioni degli interventi da effettuarsi nell'ambito delle variabilità previste in progetto sulla base di quanto riscontrato in fase di scavo;
- definire il passaggio tra una sezione tipo ed un'altra presente nel progetto all'interno delle tratte omogenee.

Se necessario, il piano di monitoraggio dovrà prevedere anche il controllo degli effetti prodotti dallo scavo in superficie.

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;
- 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.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b> <b>3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0H</b>	LOTTO <b>32 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>54 di 55</b>

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.

I dati di monitoraggio dovranno essere inseriti in una piattaforma Web-GIS, in modo tale da garantire l'esame tempestivo e continuativo dei dati rilevati e la trasmissione sistematica dei dati e delle elaborazioni, avendo precedentemente definito ed assegnato le responsabilità per la lettura, l'elaborazione e l'interpretazione dei dati di monitoraggio, nonché per la loro distribuzione.

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

### 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 3 tra l'impianto del PC di San Lorenzo (km 39+050) e l'impianto di Vitulano, è prevista la realizzazione di 3 gallerie di linea a doppio binario: Ponte, Reventa e Le Forche.

Completano il progetto delle opere in sotterraneo gli imbocchi delle gallerie, e le 2 uscite/accessi di emergenza intermedie (per la galleria Le Forche), 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.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO. 3° LOTTO FUNZIONALE SAN LORENZO - VITULANO.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF0H	LOTTO 32 D 07	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B	FOGLIO 55 di 55

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.