

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. GALLERIE

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI-BARI

RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA

I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA

ELABORATI GENERALI

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

SCALA:

Blank box for scale

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

IF0G 01 D 07 RG GN0000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	Emissione Esecutiva	R. Pizzol <i>R. Pizzol</i>	Luglio 2017	<i>R. Pizzol</i> P. Pizzol	Luglio 2017	D. Aprea <i>D. Aprea</i>	Luglio 2017	ALFERR S.p.A. Settore U.O. GALLERIE Dott. Ing. Alessandro Ordine degli Ingegneri di Roma n° 19848 <i>Alessandro</i>

## 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 .....	8
4.3	DOCUMENTI SUPERATI .....	8
5	ALLEGATI .....	8
6	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO .....	8
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	9
7.1	IL TRACCIATO E LE GALLERIE DI LINEA .....	9
7.1.1	<i>Galleria Grottaminarda</i> .....	11
7.1.2	<i>Galleria Melito</i> .....	11
7.1.3	<i>Galleria Rocchetta</i> .....	12
7.2	USCITE DI EMERGENZA .....	12
7.3	NICCHIE .....	15
8	METODOLOGIA DI LAVORO .....	16
9	FASE CONOSCITIVA .....	17
9.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	17
9.1.1	<i>Unità tettonica di Frigento</i> .....	17

9.1.2	Unità tettonica del Fortore.....	17
9.1.3	Unità sin-orogeniche del Miocene medio-superiore .....	17
9.1.4	Supersintema di Ariano Irpino .....	17
9.1.5	Depositi continentali quaternari .....	18
9.2	INDAGINI GEOTECNICHE.....	18
9.3	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	19
9.4	ASPETTI GEOMORFOLOGICI SPECIFICI.....	23
10	FASE DI DIAGNOSI.....	24
10.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO.....	24
10.2	DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO.....	25
10.3	DEFINIZIONE DELLE TRATTE A COMPORTAMENTO TENSIO-DEFORMATIVO OMOGENEO.....	25
11	FASE DI TERAPIA .....	27
11.1	METODOLOGIA DI SCAVO.....	27
11.1.1	<i>11.1.1 Criteri di scelta del sistema di scavo.....</i>	27
11.1.2	<i>11.1.2 Metodo di scavo meccanizzato .....</i>	28
11.1.3	<i>11.1.3 Scavo tradizionale. Gallerie di linea.....</i>	33
11.1.3.1	<i>11.1.3.1 Sezione tipo A2 .....</i>	33
11.1.3.2	<i>11.1.3.2 Sezione tipo B1 .....</i>	34
11.1.3.3	<i>11.1.3.3 Sezione tipo B2 .....</i>	35
11.1.3.4	<i>11.1.3.4 Sezione tipo C1 .....</i>	35
11.1.3.5	<i>11.1.3.5 Sezione tipo C2 .....</i>	36
11.1.3.6	<i>11.1.3.6 Sezione tipo C2p.....</i>	37
11.1.4	<i>11.1.4 Scavo tradizionale. Uscite di emergenza.....</i>	38
11.1.4.1	<i>11.1.4.1 Sezione tipo A2 .....</i>	38
11.1.4.2	<i>11.1.4.2 Sezione tipo B1 .....</i>	39
11.1.4.3	<i>11.1.4.3 Sezione tipo B2 .....</i>	40
11.1.4.4	<i>11.1.4.4 Sezione tipo C1 .....</i>	41
11.1.4.5	<i>11.1.4.5 Sezione tipo C2 .....</i>	42

11.1.4.6	Sezione tipo C2p .....	44
11.2	RISCHI POTENZIALI CHE INCIDONO SULLA REALIZZAZIONE DELLE GALLERIE .....	45
11.2.1	Presenza di trovanti/blocchi .....	45
11.2.2	Presenza di gas .....	45
11.2.3	Presenza di corpi di frana .....	47
11.2.4	Venute d'acqua .....	50
11.2.5	Interferenza sorgenti .....	50
11.2.6	Instabilità del fronte e del cavo .....	51
11.2.7	Comportamento rigonfiante .....	51
11.2.8	Fenomeni di subsidenza/interferenza con opere preesistenti .....	51
12	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO .....	54
12.1	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA .....	54
13	CONCLUSIONI .....	56

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA. I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF0G	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 5 di 56

## 1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto definitivo per il raddoppio della linea ferroviaria Apice – Hirpinia; tale progetto si inserisce nel più ampio ambito di riqualificazione e potenziamento dell’itinerario ferroviario Roma - Napoli – Bari.

La tratta Apice-Hirpinia costituisce il 1° Lotto Funzionale del progetto di raddoppio e potenziamento della tratta Apice – Orsara, compreso tra la Stazione di Apice e la nuova fermata di Hirpinia per una estensione complessiva di circa 18,7 Km di linea.

Il tracciato della nuova tratta Apice-Hirpinia risulta in variante rispetto alla linea storica e prevede la realizzazione delle seguenti opere:

- a) nuova linea ferroviaria a doppio binario tra Apice e Hirpinia;
- b) nuova fermata di Apice;
- c) nuova stazione di “Hirpinia”, nel territorio comunale di Ariano Irpino.

La presente relazione sintetizza gli aspetti principali della progettazione definitiva delle opere civili in sotterraneo.

## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Scopo del documento è la descrizione delle principali soluzioni tecnico-progettuali individuate per la realizzazione delle tratte in sotterraneo e 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;

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA. I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF0G	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 6 di 56

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;

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°27 (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] ITALFERR, Dossier dati e requisiti di base per avvio PD - IF0G01D05ROMD0000001A – Gennaio 2016

Rif. [15] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, Elaborati Specialistici;

Rif. [16] U.O. Infrastrutture Centro, Elaborati Specialistici;

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</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>IF0G</td> <td>01 D 07</td> <td>RG</td> <td>GN 00 00 001</td> <td>A</td> <td>7 di 56</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF0G	01 D 07	RG	GN 00 00 001	A	7 di 56
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF0G	01 D 07	RG	GN 00 00 001	A	7 di 56								

- Rif. [17] U.O. Gallerie, doc IF0G01D07F6GN0000001A “Profilo geotecnico – Galleria Grottaminarda” datato Luglio 2017;
- Rif. [18] U.O. Gallerie, doc IF0G01D07F6GN0000002A “Profilo geotecnico – Galleria Melito - Tav. 1 di 2” datato Luglio 17
- Rif. [19] U.O. Gallerie, doc IF0G01D07F6GN0000003A “Profilo geotecnico – Galleria Melito - Tav. 2 di 2” datato Luglio 17
- Rif. [20] U.O. Gallerie, doc IF0G01D07F6GN0000004A “Profilo geotecnico – Galleria Rocchetta - Tav. 1 di 3” datato Luglio 17
- Rif. [21] U.O. Gallerie, doc IF0G01D07F6GN0000005A “Profilo geotecnico – Galleria Rocchetta - Tav. 2 di 3” datato Luglio 17
- Rif. [22] U.O. Gallerie, doc IF0G01D07F6GN0000006A “Profilo geotecnico – Galleria Rocchetta - Tav. 3 di 3” datato Luglio 17
- Rif. [23] U.O. Gallerie, doc IF0G01D07F6GN0000007A “Profilo geotecnico – Galleria Grottaminarda – Uscita di emergenza pedonale F1 alla pk 3+700” datato Luglio 17
- Rif. [24] U.O. Gallerie, doc IF0G01D07F6GN0000008A “Profilo geotecnico – Galleria Melito – Uscita di emergenza pedonale F2 alla pk 6+075” datato Luglio 17
- Rif. [25] U.O. Gallerie, doc IF0G01D07F6GN0000009A “Profilo geotecnico – Galleria Melito – Finestra Costruttiva - Uscita di emergenza carrabile F3 alla pk 7+825” datato Luglio 17
- Rif. [26] U.O. Gallerie, doc IF0G01D07F6GN0000010A “Profilo geotecnico – Galleria Melito – Uscita di emergenza pedonale F4 alla pk 8+800” datato Luglio 17
- Rif. [27] U.O. Gallerie, doc IF0G01D07F6GN0000011A “Profilo geotecnico – Galleria Rocchetta – Uscita di emergenza pedonale F5 alla pk 11+075” datato Luglio 17
- Rif. [28] U.O. Gallerie, doc IF0G01D07F6GN0000012A “Profilo geotecnico – Galleria Rocchetta – Finestra Costruttiva - Uscita di emergenza carrabile F6 alla pk 13+850” datato Luglio 17
- Rif. [29] U.O. Gallerie, doc IF0G01D07F6GN0000013A “Profilo geotecnico – Galleria Rocchetta – Finestra Costruttiva - Uscita di emergenza pedonale F7 alla pk 15+700” datato Luglio 17
- Rif. [30] U.O. Gallerie, doc IF0G01D07LZGN0100001A “Galleria Grottaminarda – consolidamento con drenaggio” datato Luglio 17

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>8 di 56</b>

## 4.2 Documenti Correlati

- Rif. [31] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.).
- Rif. [32] Lunardi P. (2015). Il controllo dell'estrusione del nucleo di terreno al fronte d'avanzamento di una galleria come strumento di stabilizzazione per la cavità - Muir Wood Lecture at the ITA/AITES World Tunnel Congress on "Promoting tunnelling in SEE Region". Dubrovnik.
- Rif. [33] Lunardi P. (1998). Conception et exécution des tunnels: rôle et résultats de la recherche expérimentale - Revue Francaise de Geotechnique no.84.
- Rif. [34] Paratie Plus2 017, Teoria – “Metodo Paratie Plus per la valutazione dei cedimenti verticali” – cap.6 Paratie Plus 2017 – teoria, Milano, Ceas, 2016.
- Rif. [35] 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. [36] 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. [37] Burland J.B. (1997). Assessment of risk of damage to buildings due to tunnelling and excavation. Earthquake Geotechnical Engineering, Ishihara (ed.). Balkema, Rotterdam.
- Rif. [38] Boscarding M.D., Cording E.G. (1989). Building response to excavation-induced settlement. Jnl. Geo. Engrg. ASCE, 115.
- Rif. [39] 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

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF0G	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

## 7 DESCRIZIONE DELL'OPERA

### 7.1 Il tracciato e le gallerie di linea

Il tracciato della tratta Apice - Hirpinia si sviluppa prevalentemente in sotterraneo con tre gallerie di linea (galleria Grottaminarda, galleria Melito e galleria Rocchetta) di lunghezza complessiva pari a circa 12,8 Km, rispetto alla lunghezza complessiva del tracciato di circa 18,7 Km.

Nella tabella seguente sono riportate le progressive (valutate rispetto al binario dispari) della tratta in naturale e delle tratte in artificiale delle suddette gallerie.

**Tabella 1 – Progressive delle gallerie di linea della tratta Apice - Hirpinia**

Tratta APICE - HIRPINIA - GALLERIE DI LINEA					
GALLERIA	Opera	P <sub>kinizio</sub>	P <sub>kfinale</sub>	L <sub>parziali</sub>	L <sub>TOT</sub>
[-]		[m]	[m]	[m]	[m]
GROTTAMINARDA	GA	2705	2715	10	1990
	GN01	2715	4680	1965	
	GA	4680	4695	15	
MELITO	GA	5063.5	5096.5	33	4509.5
	GN02	5095.5	9510	4413.5	
	GA	9510	9573	63	
ROCCHETTA	GA	10074	10110	36	6549
	GN03	10110	16565	6455	
	GA	16565	16623	58	

Le gallerie di linea sono progettate nella configurazione a singola canna e doppio binario, con sezione adeguata al transito del Gabarit C (PMO n°5) e velocità di progetto  $160 < v \leq 200$  km/h.

Le sezioni di intradosso delle gallerie di linea a doppio binario in scavo tradizionale (galleria Grottaminarda e galleria Melito) sono in accordo con le sezioni tipo del Manuale di Progettazione delle opere civili – RFI (Rif. [9]). La sezione adottata (Figura 1) è una sezione policentrica con raggio di calotta e piedritti pari a 5,40 metri (con semi-apertura angolare pari a  $120,50^\circ$ ). Tale sezione sviluppa un'area libera di poco superiore ai  $66 \text{ m}^2$  e un perimetro pari a quasi 32 metri. È previsto l'alloggiamento dell'armamento tradizionale con traverse tipo "RFI-240" poggiate su ballast ed elettrificazione a c.c. a 3 kV.

Per la galleria Rocchetta, realizzata in scavo meccanizzato, non essendo definite nel Manuale di Progettazione RFI sezioni tipo a doppio binario in scavo meccanizzato per velocità  $160 < V \leq 200$  km/h, sono state prese a riferimento le sezioni tipo per  $200 < V \leq 250$  km/h (cfr. Tavole 52 e 53 del Manuale di Progettazione RFI, Rif. [9]), opportunamente modificate adottando traverse da 240cm e elettrificazione a 3kV, secondo quanto condiviso nel documento "Dossier dati e requisiti di base per avvio del PD" (Rif. [14]) (Figura 2).

Le sezioni di intradosso delle gallerie presentano un marciapiede d'esodo con andamento del ciglio variabile in funzione della quota del binario attiguo. Nello specifico l'altezza del ciglio risulta pari a + 55 cm, misurata

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 07	RG	GN 00 00 001	A	10 di 56

perpendicolarmente al piano di rotolamento del binario attiguo, mentre la distanza del ciglio dal bordo interno della più vicina rotaia è pari a 113 cm, misurata parallelamente al piano di rotolamento.

Tale camminamento, presente su entrambi i lati delle gallerie, ha una larghezza non inferiore a 120 cm ed è corredato da mancorrente posto sul paramento interno della galleria ad una quota di circa 1m dal piano di calpestio del marciapiede.

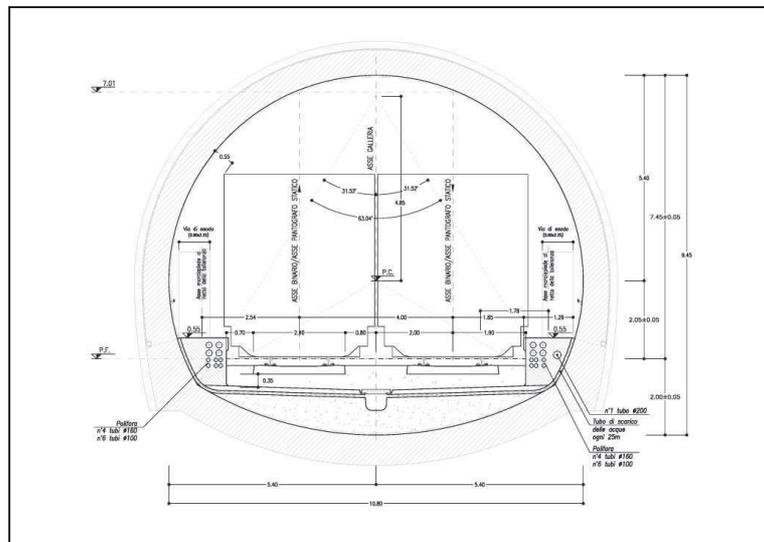


Figura 1 - Sezione di intradosso gallerie di linea per scavo in tradizionale (sezione corrente).

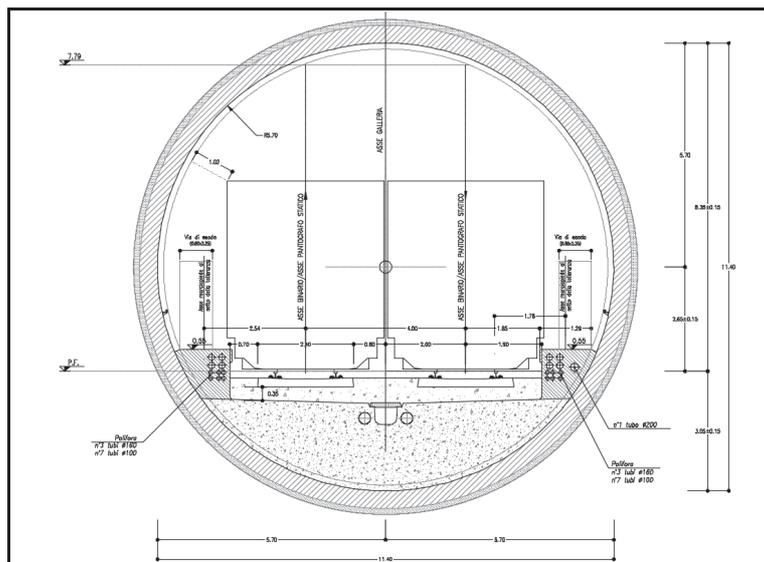


Figura 2 - Sezione di intradosso galleria di linea per scavo meccanizzato (sezione corrente).

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

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

### 7.1.1 Galleria Grottaminarda

La Galleria Grottaminarda, ubicata fra le progressive 2+705.00 (inizio imbocco lato Bari) e 4+695.00 (imbocco lato Napoli), presenta una lunghezza totale di 1990.0 m (corrispondente anche alla lunghezza coperta). Il tratto in naturale compreso fra le progressive 2+715.00 e 4+680.00 è caratterizzato da una lunghezza di 1965.0 m scavati con metodo tradizionale.

La galleria presenta quota di imbocco lato Bari a circa 324 m s.l.m., mentre quella lato Napoli è pari a circa 300 m s.l.m.. Dall'imbocco lato Bari in direzione Napoli, il tracciato procede con pendenza del 11.87% in discesa e le coperture sulla calotta della galleria risultano comprese tra 8 e 67 metri.

Per la realizzazione dell'imbocco lato Bari si prevedono scavi sostenuti da paratie tirantate di diaframmi eseguiti con idrofresa, di dimensioni in pianta pari a 2,4 ÷ 2,5 x 1,2 m.

L'imbocco lato Napoli è realizzato mediante pali secanti di diametro pari a 1,0m ed interasse 0,80m; in prossimità dell'opera di imbocco è presente una strada di collegamento tra la città di Grottaminarda ed alcune frazioni limitrofe. Si prevede l'interruzione della strada durante la realizzazione delle opere di imbocco e della galleria di linea, provvedendo alla deviazione dei mezzi su un percorso alternativo. A lavori ultimati la viabilità sarà ripristinata nella sua configurazione ante-operam al di sopra della galleria artificiale policentrica prevista all'imbocco.

A completamento degli imbocchi, è prevista la realizzazione di due tratte in galleria artificiale policentrica, di lunghezza pari a 10 m e 15 m, rispettivamente per l'imbocco lato Bari e lato Napoli.

### 7.1.2 Galleria Melito

La Galleria Melito, ubicata fra le progressive 5+063.50 (inizio imbocco lato Bari) e 9+573.00 (imbocco lato Napoli) presenta una lunghezza totale di 4509.5 m di cui 4479.5 m di lunghezza coperta. Il tratto in naturale è compreso fra le progressive 5+096.50 e 9+510.00 ed è caratterizzato da una lunghezza di 4413.50 m scavati con metodo tradizionale.

Dall'imbocco lato Bari in direzione Napoli, il tracciato procede con pendenza pari al 11,88% sempre in discesa e le coperture sulla calotta della galleria raggiungono valori massimi di circa 135m.

Per entrambi gli imbocchi, le opere di stabilizzazione e sostegno degli scavi sono costituite da paratie tirantate di diaframmi in c.a. di dimensioni in pianta pari a 2,4 ÷ 2,5 x 1,2 m; i diaframmi saranno realizzati mediante idrofresa.

In particolare, per l'imbocco lato Napoli è prevista la realizzazione di puntoni e tiranti per il contrasto delle spinte agenti sui diaframmi di paratie, anche in considerazione della necessità di limitare la variazione dello stato tensionale dei terreni a seguito degli scavi di ribasso, previsti per il raggiungimento della quota di fondo scavo.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

### 7.1.3 Galleria Rocchetta

La Galleria Rocchetta, ubicata fra le progressive 10+074.00 (inizio imbocco lato Bari) e 16+623 (imbocco lato Napoli) presenta una lunghezza totale di 6549 m di cui 6518 m di lunghezza coperta. Il tratto in naturale è compreso fra le progressive 10+110.00 e 16+565.00 ed è caratterizzato da una lunghezza di 6455.0 m realizzati mediante scavo meccanizzato (cfr. 11.1.2).

Lungo la Galleria Rocchetta il tracciato presenta una pendenza costante del 9,84‰ in discesa dall'imbocco lato Bari fino alla progressiva 16+410 circa, e una pendenza costante pari al 10,86‰ in discesa fino all'imbocco lato Napoli. La copertura massima sulla calotta della galleria è di circa 400 m.

Per gli scavi necessari alla realizzazione dell'imbocco lato Bari si prevede di realizzare paratie tirantate di diaframmi, eseguiti con idrofresa, di dimensioni in pianta pari a 2,4 ÷ 2,5 x 1,2 m.

Per l'imbocco lato Napoli si prevede di sostenere gli scavi mediante paratie tirantate di pali di diametro pari a 1,00 m ad interasse 1,20 m.

Per l'imbocco lato Bari è prevista la realizzazione di un tratto di galleria artificiale e becco di flauto (lunghezza totale 34.40 m); anche per l'imbocco lato Napoli sarà realizzato un tratto in galleria artificiale policentrica sottodima e becco di flauto (lunghezza totale 57,00 m).

## 7.2 Uscite di emergenza

In accordo con quanto richiesto dalle STI-SRT "Sicurezza nelle gallerie ferroviarie" (Rif. [4]), le gallerie di linea in progetto sono dotate di uscite/accessi di emergenza ad interasse inferiore a 1000m.

Secondo quanto già previsto in sede di Progetto Preliminare, al fine di ridurre il numero di uscite verso l'esterno alcune delle uscite/accessi di emergenza laterali presentano una configurazione a "semi-stampella" o a "stampella", ossia con cunicoli paralleli alle gallerie di linea con innesto dedicato che confluiscono all'interno dell'uscita/accesso principale.

All'innesto con le gallerie di linea le uscite/accessi di emergenza sono dotati 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.

Per le uscite/accessi di emergenza, la scelta della tipologia, pedonale o carrabile, e le relative sezioni tipo di intradosso sono in accordo con le indicazioni del Manuale di Progettazione RFI (Rif. [9]). A riguardo si segnala in particolare il rispetto del criterio secondo cui, per gallerie di lunghezza superiore a 4 km, è necessario prevedere una uscita/accesso di tipo carrabile con un passo pari a circa 4 km.

Nello specifico per la Galleria Grottaminarda è prevista un'unica uscita F1 alla progressiva km. 3+700 di tipo pedonale.

Per la Galleria Melito sono previste 4 uscite di emergenza realizzate tramite 3 uscite/accessi laterali ed un cunicolo di emergenza, parallelo alla galleria di linea.

Le uscite/accessi laterali sono previste alle seguenti progressive:

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

- Uscita/accesso pedonale F2 con innesto alla pk di linea 6+075,
- Uscita/accesso carrabile F3 con innesto alla pk di linea 7+825,
- Uscita/accesso pedonale F4 con innesto alla pk di linea 8+800.

Il cunicolo di emergenza, parallelo alla galleria di linea presenta una sezione tipo pedonale, si innesta alla galleria di linea in corrispondenza della progressiva km 7+050 e confluisce nella finestra di emergenza F3 alla progressiva 7+825.

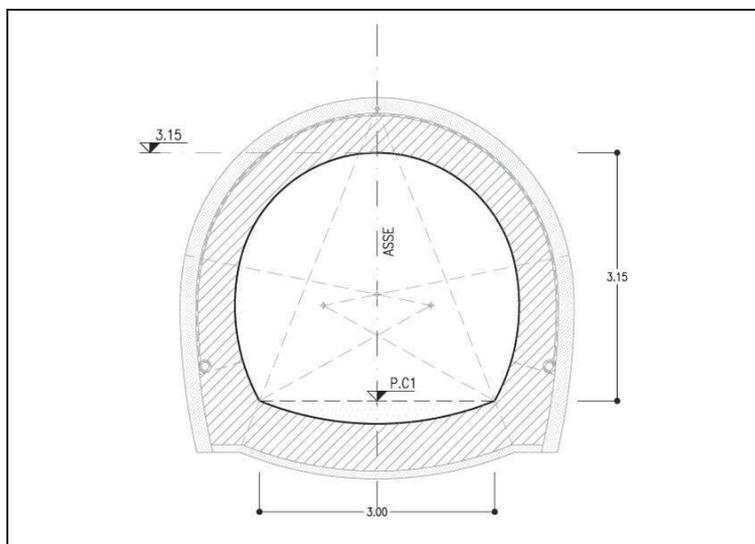
La Galleria Rocchetta presenta 6 uscite di emergenza realizzate tramite 3 uscite/accessi laterali e 3 cunicoli di emergenza paralleli alla galleria di linea con sezione tipo pedonale.

Le uscite/accessi laterali della Galleria Rocchetta sono previste alle seguenti progressive

- Uscita/accesso pedonale F5 con innesto alla pk di linea 11+125,
- Uscita/accesso carrabile F6 con innesto alla pk di linea 13+850,
- Uscita/accesso pedonale F7 con innesto alla pk di linea 15+700.

Uno dei cunicoli di emergenza paralleli si innesta sulla galleria di linea alla p.k. 12+000 e confluisce nell'uscita di emergenza F5 alla p.k. 11+075.

Gli altri due cunicoli di emergenza si innestano sulla galleria di linea alle p.k. 12+975 e 14+725 e confluiscono nell'uscita di emergenza F6 alla p.k. 13+850.



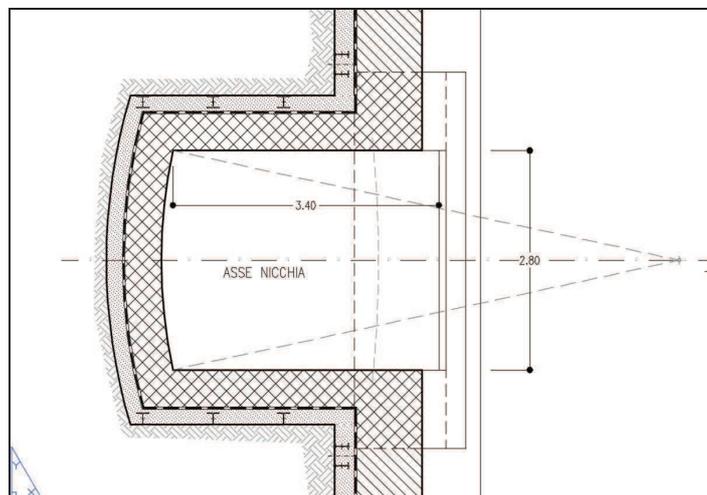
**Figura 3 - Sezione tipo di intradosso uscita di emergenza pedonale**



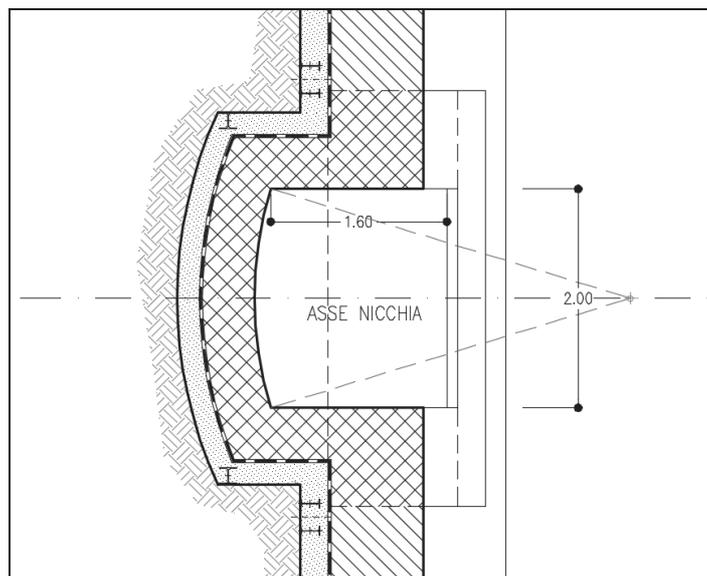
### 7.3 Nicchie

Con riferimento al doc RFI DTC SI MA IFS 001 A “Manuale di Progettazione delle opere civili” datato Dic 2016 (Rif. [9]), le gallerie non sono dotate di nicchie di ricovero personale ma esclusivamente di nicchie LFM. In funzione della destinazione d’uso sono previste 2 tipologie di nicchie:

- nicchie tecnologiche di dimensioni utili in pianta pari a 3,4mx2,8m ed altezza di 2,3m (Figura 5)
- nicchie LFM e nicchie per connessioni induttive entrambi di dimensioni utili in pianta pari a 1.6mx2,0m ed altezza di 2,3m (Figura 6);



**Figura 5 – Pianta nicchia tecnologiche**



**Figura 6 – Pianta nicchia LFM e connessioni induttive**

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA. I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF0G	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 16 di 56

## 8 METODOLOGIA DI LAVORO

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [31]), 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.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA. I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</p>					
<p>Relazione tecnica delle opere in sotterraneo</p>	<p>COMMESSA IF0G</p>	<p>LOTTO 01 D 07</p>	<p>CODIFICA RG</p>	<p>DOCUMENTO GN 00 00 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 17 di 56</p>

## 9 FASE CONOSCITIVA

Nella fase conoscitiva si acquisiscono gli elementi necessari alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito e alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo interessato dalle opere in sotterraneo.

Per eventuali approfondimenti sullo studio geologico si rimanda agli specifici elaborati progettuali (Rif. [15]).

### 9.1 Inquadramento geologico

Di seguito vengono descritti i caratteri principali delle unità individuate lungo lo sviluppo del tracciato delle opere in sotterraneo.

#### 9.1.1 Unità tettonica di Frigento

Nell'area in esame, l'unità tettonica di Frigento è rappresentata dal Flysch Rosso e dai suoi membri.

**Flysch Rosso - FYR** (Cretacico Superiore – Burdigaliano Superiore): argille marnose policrome. Comprende una litofacies calcarea clastica (FYRa).

**Flysch Rosso - membro calcareo - FYR2** (Cretacico Superiore – Eocene Superiore): calcari con subordinate intercalazioni di marne, marne argillose ed argilliti rossastre e verdastre.

#### 9.1.2 Unità tettonica del Fortore

Nell'area in esame, l'unità tettonica del Fortore è rappresentata dal Flysch Numidico.

**Flysch Numidico - FYN** (Burdigaliano Superiore? - Langhiano): quarzareniti in strati medi e spessi talora gradati.

#### 9.1.3 Unità sin-orogeniche del Miocene medio-superiore

Nell'area in esame, le unità sin-orogeniche sono rappresentate unicamente dalla Formazione di Vallone Ponticello.

**Formazione di Vallone Ponticello - PCL** (Serravalliano Medio – Tortonianiano Medio-Sup.): alternanze di arenarie, marne e marne calcaree.

**Molasse di Anzano - Membro di Flumeri - ANZ2** (Messiniano Superiore): arenarie alternate ad argille marnose. Nella parte alta (**ANZ2a**) argille marnose.

#### 9.1.4 Supersintema di Ariano Irpino

Nell'area di studio, il Supersintema di Ariano Irpino è rappresentato unicamente dalla Formazione della Baronia appartenente alla successione del ciclo sedimentario del Pliocene inferiore. In questa sede le successioni del ciclo sedimentario del Pliocene inferiore sono indicate come Unità della Baronia, mentre quelle del ciclo del Pliocene medio sono denominate Unità di Sferracavallo (assenti nell'area di studio).

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IFOG</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

**Membro dei conglomerati e delle sabbie di S. Sossio Baronia - BNA1** (Pliocene Inferiore): la formazione è costituita da due litofacies principali, considerate eteropiche: la prima litofacies è formata da conglomerati cui si intercalano lenti di arenarie e sabbie (BNA1a). La seconda litofacies, sabbiosa, è formata da sabbie con intercalazioni siltoso-argillose (BNA1b).

**Membro pelitico - arenaceo del F. Miscano - BNA2** (Pliocene Inferiore): marne ed argille marnose di colore grigiastro.

**Membro sabbioso di Apollosa - BNA3** (Pliocene Inferiore): Sabbie alternate ad areniti giallastre a grana media e fine, poco cementate.

#### 9.1.5 Depositi continentali quaternari

In cartografia sono riportate unità quaternarie continentali legate a fenomeni di versante e a fenomeni fluviali in atto. In particolare sono riportati depositi franosi costituiti da accumuli gravitativi caotici, la cui litologia è affine al substrato. A loro volta sono stati suddivisi in funzione dello stato di attività:

- ✓ quiescente (Fq);
- ✓ attivo, riattivato o sospeso (Fa);
- ✓ stabilizzato (Fs);
- ✓ indeterminato (Fi).

## 9.2 Indagini geotecniche

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

- *Campagna indagini 1984-1985 (Concessione delle prestazioni integrate occorrenti per la progettazione definitiva del raddoppio e potenziamento della linea Caserta - Foggia e per la progettazione esecutiva e la realizzazione delle opere occorrenti per una prima fase di raddoppio e potenziamento della suddetta linea);*
- *Campagna indagini Italferr 2005 – Linea Apice Orsara*
- *Campagna indagini Italferr 2006 – Linea Caserta Foggia*
- *Campagna indagini Italferr 2008 - Progettazione preliminare per il "Raddoppio tratta Orsara – Apice - Soluzione Sud");*
- *Campagna indagini 2015 – Itinerario Napoli – Bari - Raddoppio Apice Orsara – Progetti DSI: PD Apice Orsara – Tratta Apice – Stazione Irpinia*

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

- *Campagna indagini 2017. - Itinerario Napoli – Bari - Raddoppio Apice Orsara – I° Lotto Funzionale Apice - Hirpinia*

### 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 'Profili geotecnici' (Rif. [17] ÷ Rif. [29]).

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

Di seguito si riporta una breve sintesi dei risultati della caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dallo scavo delle gallerie.

- **Formazione di Anzano (ANZ2), (ANZ2a):**

Le due formazioni sono presenti nella Galleria Grottaminarda; la formazione ANZ2 è costituita prevalentemente da sabbie e arenarie, intercalate con sottili livelli di argille. Nella formazione ANZ2a prevale la presenza di argille marnose molto consistenti, a tratti sub litoidi, con struttura laminata.

La caratterizzazione geotecnica delle due formazioni è stata condotta attraverso l'analisi delle prove geotecniche eseguite in sito ed in laboratorio, in particolare per la formazione sabbioso arenacea ANZ2 sono stati utilizzati i dati ricavati dalle prove SPT eseguite in foro di sondaggio e le prove di taglio diretto.

Per la formazione ANZ2a, sono state valutate le analisi di laboratorio che hanno consentito di determinarne le caratteristiche fisiche e meccaniche, in particolare sono state eseguite prove a rottura in cella triassiale triassiale, in condizioni drenate e non drenate.

- **Formazione del Flysch Rosso (FYR), (FYRa), (FYR2):**

La formazione è presente nelle gallerie Grottaminarda e Melito. La facies puramente pelitica del Flysch Rosso (FYR) è geotecnicamente assimilabile ad un'argilla caratterizzata da modesti valori dei parametri di resistenza e deformabilità. Inoltre, essa può manifestare comportamento rigonfiante, come evidenziato dalle prove di rigonfiamento eseguite in laboratorio. In tale facies la componente pelitica è nettamente prevalente rispetto alla componente litoide ( $L/P \ll 1$ ).

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

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

Il membro calcareo del Flysch Rosso (FYR2) è costituito da calcari in strati e banchi massivi. La formazione, osservata in sito, mostra una discreta energia di rilievo con scarpate fluviali che possono raggiungere alcune decine di metri di altezza, a conferma di una discreta cementazione dell'ammasso roccioso. In tale facies la componente litoide predomina rispetto alla componente pelitica ( $L/P \gg 1$ ). 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.

La caratterizzazione delle discontinuità è stata riferita principalmente ai rilievi geostrutturali sugli affioramenti (Rif. [15]).

- Formazione del Flysch Numidico (**FYN**):

La formazione è presente nel tratto della galleria Grottaminarda prossimo all'imbocco lato Napoli, per una estensione di circa 200 metri. E' costituita da ghiaie con sabbia e da sabbie fini. La caratterizzazione geotecnica della formazione è stata condotta attraverso l'analisi delle prove geotecniche eseguite in sito ed in laboratorio, in particolare sono stati utilizzati i dati ricavati dalle prove SPT eseguite in foro di sondaggio e le prove di taglio diretto.

- Formazione del Vallone Ponticello (**PCL**):

La formazione del Vallone Ponticello è presente per un tratto di circa 250 metri nella Galleria Melito; l'ammasso è costituito da un'alternanza di strati arenacei e marnosi, con prevalenza del termine pelitico su quello arenaceo ( $L < P$ ), come evidenziato nel sondaggio S12 (2008). Per la sua caratterizzazione, sono stati utilizzati i valori di resistenza a compressione monoassiale ricavati da prove di laboratorio; per il modulo elastico della roccia intatta si è fatto riferimento alle prove dilatometriche eseguite nei fori di sondaggio, alla misura delle deformazioni ricavate dalle prove di compressione monoassiale ed alle prove di velocità sonica su provino.

La formazione è in contatto stratigrafico tettonico per sovrascorrimento con la formazione FYR; in prossimità di tale contatto, intercettato due volte dalla Galleria Melito, è ragionevole prevedere un incremento significativo del grado di fratturazione dell'ammasso.

- Formazione della Baronia – Membro dei conglomerati e delle sabbie di S. Sossio Baronia (**BNA1b**):

La Formazione BNA1b interessa le opere in sotterraneo per tratti molto brevi, esclusivamente nelle zone prossime all'imbocco della Galleria Melito lato Napoli, della Galleria Rocchetta lato Bari e delle uscite di emergenza F2, F3, F4 e F5; in questi ambiti sembrano prevalere le intercalazioni siltoso – argillose. Solo nel tratto iniziale della galleria Rocchetta, tra le pk 10+090 e 10+130, la formazione presentano carattere più marcatamente sabbioso e arenaceo. Anche in questo caso, la caratterizzazione geotecnica è stata condotta attraverso l'analisi delle prove geotecniche eseguite in sito ed in laboratorio, in particolare sono stati utilizzati i dati ricavati dalle prove SPT eseguite in foro di sondaggio e le prove di taglio diretto.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>21 di 56</b>

- Formazione della Baronia – Membro pelitico del fiume Miscano (BNA2):

La formazione BNA2 è attraversata dalle gallerie Melito e Rocchetta. L'analisi delle stratigrafie di sondaggio e delle prove eseguite sul materiale in sito ed in laboratorio hanno consentito di caratterizzare la formazione come marna argillosa, con caratteristiche fisiche e meccaniche tipiche di una roccia tenera. All'interno dell'ammasso, prevalentemente marnoso, sono presenti livelli e strati assimilabili ad argilla consistente, in particolare nelle aree a bassa copertura delle Gallerie Melito e Rocchetta e delle finestre F3 ed F4.

Per la caratterizzazione geotecnica del BNA2 sono stati considerati i valori di resistenza a compressione monoassiale e triassiale ricavati da prove di laboratorio; per il modulo elastico della roccia intatta si è fatto riferimento alle prove dilatometriche eseguite nei fori di sondaggio, alla misura delle deformazioni ricavate dalle prove di compressione monoassiale ed alle prove di velocità sonica su provino,

- Formazione della Baronia - Membro sabbioso di Apollosa (BNA3):

La formazione BNA3 è costituita prevalentemente da sabbie e arenarie, con grado di addensamento/cementazione variabile. Per la caratterizzazione geotecnica dei termini sabbiosi, che risultano prevalenti nelle aree di imbocco, si è fatto riferimento ai risultati delle prove in foro (prove SPT, Pressiometriche) ed alle prove di taglio diretto eseguite in laboratorio. Per la caratterizzazione geotecnica della componente arenacea sono stati considerati i valori di resistenza a compressione monoassiale ricavati da prove di laboratorio; per il modulo elastico della roccia intatta si è fatto riferimento alle prove dilatometriche eseguite nei fori di sondaggio, alla misura delle deformazioni ricavate dalle prove di compressione monoassiale ed alle prove di velocità sonica su provino.

Nella tabella seguente sono sintetizzati gli intervalli di valori dei principali parametri geotecnici definiti per le formazioni interessate dallo scavo delle gallerie, dove:

$\gamma$  (kN/m<sup>3</sup>) = Peso di volume

$\varphi$  (°) = angolo di attrito

c (kPa) = coesione drenata

E (MPa) = modulo di Young

$\sigma_{ci}$  (MPa) = resistenza a compressione monoassiale della matrice rocciosa

GSI = Geological Strenght Index

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

Unità	Copertura (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)	E (MPa)	$\sigma_{ci}$ (MPa)	GSI
<b>ANZ2</b>	10 ÷ 20	20 ÷ 21	26 ÷ 28	5 ÷ 10	150 ÷ 200	-	-
<b>ANZ2a</b>	20 ÷ 50	19 ÷ 20	19 ÷ 20	5 ÷ 10	300 ÷ 400	-	-
<b>FYR</b>	10 ÷ 50	19 ÷ 20	16 ÷ 20	10 ÷ 20	50-200	-	-
	50 ÷ 70	20 ÷ 21	20 ÷ 24	15 ÷ 20	200-300	-	-
<b>FYR (a)</b>	50 ÷ 70	20 ÷ 21	22 ÷ 24	100 ÷ 200	2000 ÷ 3000	40 ÷ 60	30 ÷ 50
<b>FYR 2</b>	75 ÷ 110	25 ÷ 26	40 ÷ 43	100 ÷ 200	5000 ÷ 10000	50 ÷ 80	30 ÷ 50
<b>FYN</b>	5 ÷ 40	20 ÷ 21	28 ÷ 30	5 ÷ 10	50 ÷ 150	-	-
<b>PCL</b>	70 ÷ 80	25 ÷ 26	26 ÷ 30	100 ÷ 150	5000 ÷ 10000	5 ÷ 20	20 ÷ 30
<b>BNA1b</b>	5 ÷ 20	19 ÷ 20	26 ÷ 28	0 ÷ 5	30 ÷ 60		
<b>BNA2</b>	5 ÷ 50	20 ÷ 21	20 ÷ 30	22 ÷ 24	100 ÷ 300	5 ÷ 7	
	50 ÷ 100	22 ÷ 24	40 ÷ 80	22 ÷ 24	500 ÷ 1000	5 ÷ 7	
	100 ÷ 200	22 ÷ 24	120 ÷ 200	22 ÷ 24	500 ÷ 1200	5 ÷ 10	
	200 ÷ 300	22 ÷ 24	150 ÷ 250	18 ÷ 22	800 ÷ 2000	7 ÷ 12	
	300 ÷ 400	22 ÷ 24	250 ÷ 300	16 ÷ 18	1800 ÷ 3000	7 ÷ 14	
<b>BNA3</b>	5 ÷ 20	19 ÷ 21	0 ÷ 20	28 ÷ 30	50 ÷ 100		
	20 ÷ 50	19 ÷ 21	0 ÷ 20	28 ÷ 30	100 ÷ 200		
	50 ÷ 100	19 ÷ 21	0 ÷ 20	32 ÷ 35	200 ÷ 500		
	100 ÷ 200	19 ÷ 21	0 ÷ 20	32 ÷ 35	500 ÷ 1000		

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA. I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF0G	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 23 di 56

#### 9.4 Aspetti geomorfologici specifici

Nei settori interessati dalla realizzazione delle opere in sotterraneo, sotto il profilo geomorfologico, sono stati individuati e cartografati locali fenomeni franosi (Rif. [15]).

Il tracciato in progetto ricade nel territorio di competenza dell’Autorità di Bacino dei fiumi Liri, Garigliano e Volturno; i litotipi affioranti, fatta eccezione per il flysch calcareo (FYRa e FYR2), sono generalmente caratterizzati da un’elevata erodibilità ed a una spiccata propensione al dissesto, come è possibile osservare anche dal numero di depositi franosi cartografati.

Tali fenomeni franosi sono stati analizzati nel dettaglio sulla base dell’analisi geomorfologica in sito, eseguita in scala 1:5.000 per tutto il tratto del tracciato ferroviario in progetto, con approfondimenti di dettaglio alla scala 1:2.000 per i sei imbocchi delle tre gallerie naturali in progetto. Sono state analizzate le foto aeree multitemporali, il DTM, le ortofoto ottenute dal rilievo Lidar eseguito nel 2017 e gli spostamenti superficiali da dati radar satellitari per il periodo 2012-2016 (Rif. [15]).

I risultati dello studio sono illustrati negli elaborati geologici di progetto (Rif. [15]).

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

## 10 FASE DI DIAGNOSI

Nella fase di diagnosi, sulla base del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuati nella fase conoscitiva, si procede alla previsione della risposta tensio-deformativa dell'ammasso allo scavo, in assenza di interventi di stabilizzazione.

La valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo è condotta con riferimento alle tre categorie di comportamento fondamentali individuate nel metodo ADECO-RS (Rif. [31]), 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. [31]) 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-

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

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

### Categoria C: nucleo-fronte instabile

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

## **10.2 Determinazione delle categorie di comportamento**

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

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

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

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

La galleria Grottaminarda attraversa le formazioni ANZ2 e FYN, caratterizzate dalla presenza di termini granulari sciolti (sabbie ed arenarie scarsamente cementate), a basse coperture, sotto falda.

Nelle stesse condizioni di bassa copertura e presenza di falda, la galleria Rocchetta interessa la Formazione del Membro sabbioso di Apollosa BNA3. Per lo scavo in queste formazioni con caratteristiche granulometriche tipiche dei materiali granulari, ed in presenza di falda, è prevista una categoria di comportamento del cavo di tipo C.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>26 di 56</b>

La galleria Grottaminarda e la Galleria Melito interessano la formazione del Flysch Rosso (FYR), (FYRa) e (FYR2). Quando il fronte di scavo interessa prevalentemente la litofacies a dominante argillosa (FYR), e quindi quando la percentuale di litologia pelitica risulta preponderante rispetto alle litologie calcaree ( $L/P \ll 1$ ) è prevista una categoria di comportamento C. Nel caso in cui (FYRa), alla scala del fronte, la percentuale di componente pelitica diventi comparabile alla percentuale di componente litoide ( $L/P = 1$ ) 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 calcarea del Flysch Rosso (FYR2) e quindi quando la percentuale di componente litoide è maggiore rispetto alla componente pelitica ( $L/P \gg 1$ ), il comportamento allo scavo risulta in prevalenza stabile (A). In tale formazione, nelle zone più fratturate e dove la percentuale di componente litoide diventa comparabile alla percentuale di componente pelitica, è prevista una categoria di comportamento B (stabile a breve termine).

La galleria Rocchetta e la Galleria Melito attraversano la formazione BNA2, ascrivibile prevalentemente ad una marna, caratterizzata da un comportamento meccanico tipico delle rocce tenere. In presenza di tale litologia il comportamento atteso per il fronte è di categoria B (stabile a breve termine). Nei tratti in cui la formazione BNA2 è assimilabile per comportamento meccanico ad una argilla, si prevede un comportamento del cavo di tipo instabile (C). Per il cavo è atteso un comportamento instabile.

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

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato delle gallerie sono illustrate in forma sintetica nei Profili Geotecnici (Rif. [17] ÷ Rif. [29]).

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

## 11 FASE DI TERAPIA

Nel presente capitolo sono definiti gli interventi necessari per garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine, in accordo con le indicazioni provenienti dalla fase conoscitiva e dall'analisi del comportamento 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

Il metodo di scavo da adottare per la realizzazione delle opere in sotterraneo previste in progetto è derivato dall'analisi contestuale dell'ambito geologico, idrogeologico e geotecnico attraversato, della configurazione geometrica del tracciato plano-altimetrico e della estensione longitudinale delle gallerie.

Le gallerie naturali di linea e le uscite di emergenza della Galleria Grottaminarda e della Galleria Melito saranno realizzate mediante scavo tradizionale a piena sezione, che, rispetto alla variabilità e complessità delle formazioni attraversate, garantisce maggiore flessibilità e adattabilità di soluzioni

Per la galleria Rocchetta, si prevede l'adozione di dello scavo meccanizzato, diversamente da quanto indicato nel progetto preliminare, che prevedeva scavo tradizionale a piena sezione. La scelta del metodo di scavo meccanizzato deriva dalle considerazioni di seguito esposte.

Nel progetto preliminare, che si sviluppava da Apice fino ad Orsara, il metodo di scavo delle gallerie era stato individuato anche in relazione ai lunghi tempi di realizzazione previsti per la costruzione della galleria di valico, denominata Galleria Irpinia, di lunghezza pari a circa 24 km. In tale ambito lo scavo in tradizionale della Galleria Rocchetta, di lunghezza pari a circa 6,5 km non avrebbe comportato elementi critici nel bilancio complessivo dei tempi previsti per il completamento della intera linea. Con la suddivisione del tracciato nei due lotti Apice - Hirpinia e Hirpinia - Orsara, la Galleria Rocchetta è l'opera in sotterraneo di maggiore estensione nel I lotto funzionale; di conseguenza i tempi di costruzione di tale galleria assumono rilevanza fondamentale per l'opera ferroviaria. Il metodo di scavo meccanizzato consente di realizzare maggiori produzioni, rispetto a quanto conseguibile con lo scavo tradizionale, consentendo il completamento della galleria di linea in tempi confrontabili con quelli previsti per le due gallerie Melito e Grottaminarda, realizzate in tradizionale.

Inoltre, l'adozione della tecnologia dello scavo meccanizzato con fresa Tunnel Boring Machine (TBM) con la possibilità di applicare una pressione al fronte, consente il superamento di condizioni critiche complesse dal punto di vista geologico e geomorfologico, presenti nelle tratte iniziali a partire dai due imbocchi, limitando sensibilmente i risentimenti indotti al contorno dalla realizzazione dell'opera in sotterraneo.

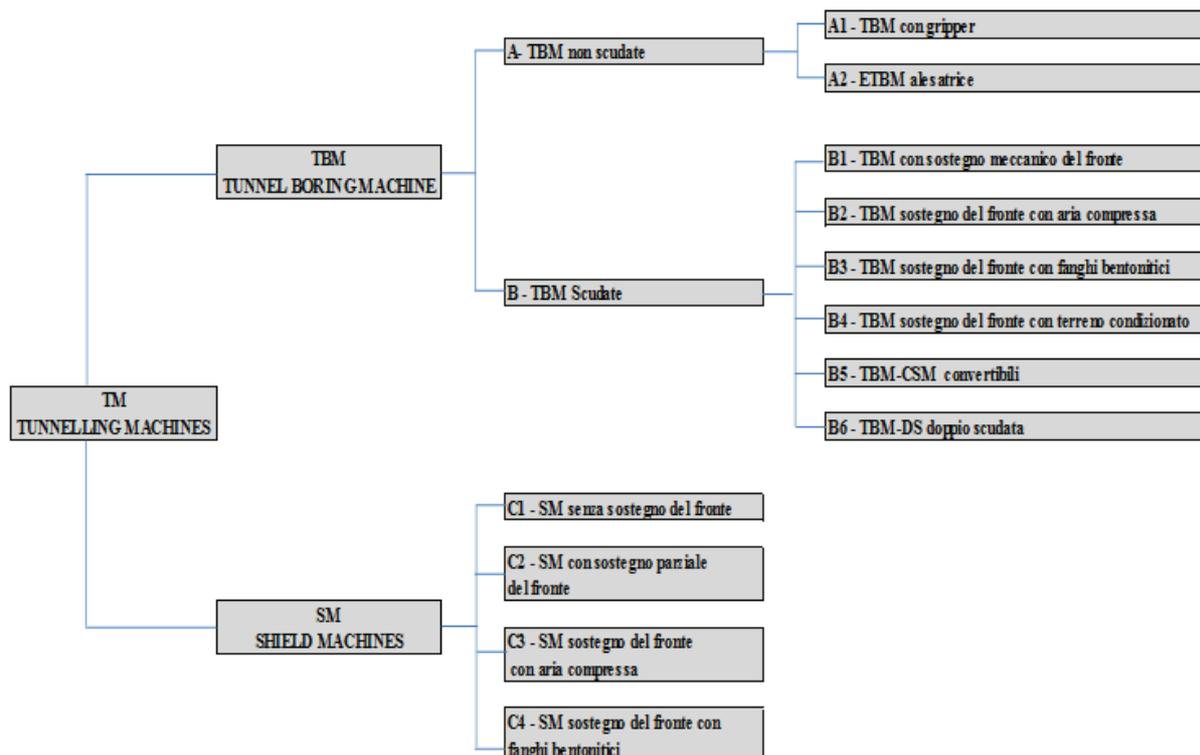
Procedendo dall'imbocco lato Napoli la galleria attraversa, sotto falda, sabbie ed arenarie appartenenti alla formazione BNA3: lo scavo con una TBM con fronte in pressione permette di bilanciare la pressione dell'acqua sul fronte di scavo, impedendo l'insorgere di moti di filtrazione verso la galleria durante l'avanzamento. Inoltre l'installazione immediata all'interno dello scudo del rivestimento definitivo costituito da anelli in conci prefabbricati dotati di guarnizioni idrauliche a tenuta garantisce nel lungo termine una ridotta interferenza con la falda acquifera.

Nel tratto in prossimità dell'imbocco lato Bari, sono presenti aree interessate da movimenti gravitativi di superficie, definiti quiescenti (Rif. [15]), non interferiti dalla galleria di linea, che nel tratto in oggetto presenta coperture dell'ordine di 50 ÷ 70 m. Lo scavo della Galleria Rocchetta interessa la Formazione del Membro Pelitico – Arenaceo del F. Miscano - BNA2.

In questo contesto l'avanzamento con scavo meccanizzato con fronte in pressione consente di limitare l'evoluzione dei fenomeni deformativi al contorno dell'area di scavo, nelle zone di sottoattraversamento delle aree suddette, sia pure ad alte e medie coperture.

### 11.1.2 Metodo di scavo meccanizzato

Nel seguente schema si riportano, sinteticamente, le varie tipologie delle Tunnelling Machines (TM) suddivise per famiglie tipologiche in relazione al campo d'impiego previsto (condizioni geologiche e caratteristiche geotecniche-geomeccaniche, condizioni progettuali).



Per la verifica del campo di utilizzo delle TBM è stato fatto riferimento alla correlazione tra le tipologie delle "Tunnelling Machines" con le classi di comportamento deformativo del fronte di scavo secondo il metodo ADECO-RS sintetizzato nella seguente tabella.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF0G	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

**Tabella 3 – Correlazione tra tipologie di TM e categorie tipo di comportamento del front**

Tipologie di TM	Categorie tipo di comportamento del fronte		
	A (stabile)	B (stabile a breve termine)	C (instabile)
A1	X		
A2	X		
B1	X	X	
B2			X
B3			X
B4			X
B5		X	X
B6	X	X	
C1	X		
C2		X	
C3			X
C4			X

Per la galleria Rocchetta sono state valutate alcune tipologie di TBM, individuando quella ritenuta più valida in base alle fasi conoscitiva e di diagnosi, che hanno evidenziato una categoria di comportamento B/C per l'attraversamento delle formazioni della Baronia (BNA3, BNA2).

La scelta si è orientata sull'impiego di TBM-EPB (Earth Balance Pressure) tipologia B4 (v. schema classificativo delle TM), monoscudata, che esercita una pressione attiva sul fronte, con contrasto sul rivestimento definitivo costituito da anelli in conci prefabbricati con guarnizioni perimetrali di tenuta idraulica.

Tale tipologia di macchina consente il superamento di condizioni critiche complesse dal punto di vista geologico e geomorfologico, presenti nelle tratte iniziali a partire dai due imbocchi, limitando sensibilmente i risentimenti indotti al contorno dalla realizzazione dell'opera in sotterraneo.

Nei tratti in cui la galleria Rocchetta interessa le medie ed alte coperture, la formazione BNA2 presenta prevalentemente caratteristiche meccaniche tipiche di una roccia tenera; considerata la permeabilità molto bassa della formazione, per cui non si rende necessario contrastare a breve termine la pressione idraulica al fronte, ed il comportamento del cavo stabile a breve termine, si prevede che lo scavo potrà avvenire limitando la contropressione applicata al fronte di scavo.

L'evoluzione tecnologica di questi ultimi anni consente comunque di realizzare TBM-EPB in grado di poter garantire una contropressione massima nella camera di scavo pari 6 bar, valore che consente di realizzare l'avanzamento all'interno della formazione pelitica BNA2 senza necessità di prevedere drenaggi in avanzamento

Per valori di battente idraulico superiori, presenti per un breve tratto in corrispondenza della transizione litologica tra la formazione BNA3 (membro sabbioso arenaceo della Baronia) e la formazione BNA2, potrebbe essere necessario eseguire delle iniezioni di consolidamento e impermeabilizzazione, con preventer, al contorno del cavo

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>30 di 56</b>

in avanzamento rispetto al fronte di scavo, attraverso opportune aperture predisposte sul contorno del mantello dello scudo.

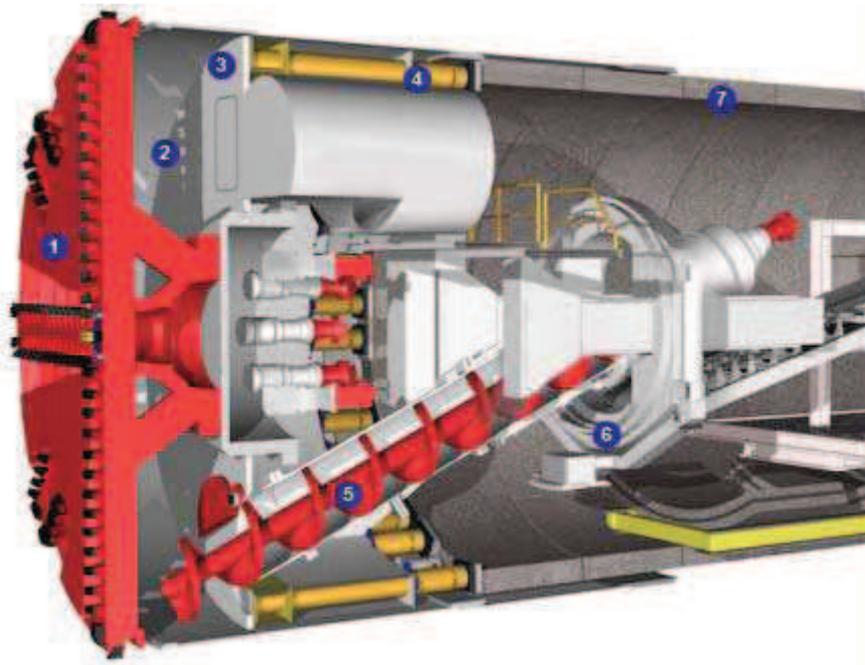
Anche per i rivestimenti definitivi in conci prefabbricati, l'evoluzione tecnologica consente la realizzazione di rivestimenti dimensionati e realizzati per resistere ad elevati battenti idraulici e garantire la totale impermeabilità del rivestimento. A tal proposito si menzionano la galleria ferroviaria Katzenbergtunnel della linea Karlsruhe-Basilea in Germania che è stata progettata con un rivestimento costituito da un unico anello in conci prefabbricati, dotato di guarnizioni in EPDM a tenuta idraulica in grado di sostenere una pressione fino a 8 bar. Come pure la galleria ferroviaria Hallandsås in Svezia, realizzata con TBM – Hydroshield, progettata con un rivestimento in grado di sostenere carichi idraulici di 8 bar che si sono effettivamente raggiunti.

Per valori di pressione maggiori, bisognerà adottare un rivestimento con un sistema di drenaggio controllato mediante la predisposizione nei conci di drenaggi radiali, collocati all'altezza marciapiede e collegati con appositi dreni longitudinali posti sotto il binario.

Il ciclo del lavoro della macchina comprende:

- scavo e avanzamento per una lunghezza pari alla corsa effettiva dei martinetti di spinta; contemporaneamente si effettua il riempimento dell'intercapedine a tergo del rivestimento e l'allontanamento del materiale abbattuto;
- posa del nuovo anello di rivestimento;
- ripresa dell'avanzamento.

Nella seguente Figura 7 è rappresentato lo schema di una macchina TBM-EPB.



**Figura 7 - Schema di una macchina TBM, tipo EPB (1. Testa Fresante; 2. Camera di scavo; 3. Parete dicontenimento dotata di sistema d'accesso (camera iperbarica) alla camera di scavo; 4. Pistoni di avanzamento; 5. Coclea; 6. Eretratore dei conchi; 7. Anelli di sostegno già posti inOpera)**

La macchina in ogni caso dovrà essere attrezzata per eseguire sia eventuali fori di prospezione in avanzamento, sia per effettuare eventuali drenaggi ed iniezioni di consolidamento dei terreni, per il superamento di eventuali zone con caratteristiche meccaniche scadenti, mediante fori predisposti sia sulla testa fresante, sia sul contorno superiore del mantello.

Inoltre la macchina dovrà essere adeguatamente equipaggiata per poter scavare in terreni grisutosi.

La sezione tipo di avanzamento in scavo meccanizzato fa riferimento ad una configurazione standard per comportamenti d'ammasso tipo B/C.

La sezione tipo ha le seguenti caratteristiche:

- raggio interno: 5,70 m
- diametro scavo: 12,80 m
- tipologia anello: universale

- numero conci: 8+1
- spessore conci: 0,5 m
- lunghezza conci: 1,50 m
- Rck: 45 MPa
- Guarnizioni in EPDM integrate su ciascun concio per garantire la tenuta idraulica tra i giunti (sia longitudinali che radiali) e precaricate dal serraggio dei bulloni e dai connettori.



Figura 8– Conci prefabbricati con guarnizioni in neoprene a tenuta idraulica



Figura 9– Galleria realizzata con TBM

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>33 di 56</b>

### 11.1.3 Scavo tradizionale. Gallerie di linea.

In funzione delle caratteristiche geotecniche delle formazioni attraversate e del loro comportamento allo scavo, saranno applicate 6 diverse sezioni tipo, intese come complesso inscindibile di modalità operative, fasi di lavoro, interventi di stabilizzazione, confinamento, contenimento, drenaggio e delle relative tecnologie esecutive.

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

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

Per la distribuzione delle tratte di applicazione delle diverse sezioni tipo si rimanda invece ai profili geotecnici delle gallerie di linea (Rif. [17] ÷ Rif. [22]).

#### 11.1.3.1 Sezione tipo A2

La sezione tipo 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 all'interno della Galleria Melito, nella Formazione del Flysch Rosso – Membro Calcareo (FYR 2) dove, alla scala del fronte, la percentuale della componente litoide è prevalente rispetto alla componente pelitica ( $L/P \gg 1$ ) e il grado di fratturazione dei calcari è medio, o comunque tale da rendere necessario l'utilizzo di sostegni puntuali.

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

- scavo a piena sezione per singoli sfondi di dimensioni massime 2,40 m;
- chiodatura radiale mediante 14/15 chiodi ad ancoraggio continuo Ø24 disposti in raggiere alternate, lunghezza 6,00 m, interasse longitudinale 1,20 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo 1,20 m  $\pm$  20%;
- arco rovescio (spessore 0,80 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore 0,70 cm) gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

### 11.1.3.2 Sezione tipo B1

La sezione tipo 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.

E' prevista l'applicazione nell'ambito delle seguenti formazioni:

- Formazione del Flysch Rosso – Membro Calcereo (FYR2). (Galleria Melito)
- Formazione della Baronìa – Membro Pelitico – Arenaceo del Fiume Miscano – (BNA2). (Galleria Melito).
- Formazione di Vallone Ponticello (PCL). (Galleria Melito).

Nel Flysch Rosso FYR2 la sezione B1 è prevista nel caso in cui il grado di fratturazione della formazione litoide si presenti elevato.

Nella formazione BNA2 e nella formazione di Vallone Ponticello PCL, la sezione B1 è applicata quando, alla scala del fronte, la presenza della componente litoide (marne o arenarie) è prevalente e il comportamento del nucleo-fronte è stabile a breve termine (categoria B).

E' prevista l'applicazione della sezione B1 anche nell'ambito della Formazione del Flysch Numidico (FYN) presente nella Galleria Grottaminarda, in corrispondenza del contatto tettonico (sovrascorrimento) con il membro calcereo del Flysch Rosso (FYR2).

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante  $30\pm 20\%$  elementi strutturali in VTR,  $L=14,5$  m (sovrapposizione minima 6,0 m) cementati in foro con miscele cementizie;
- presostegno al contorno (entro un angolo di  $120^\circ$  in calotta) realizzato mediante 33 tubi in acciaio valvolati,  $L=12,0$  m (sovrapposizione minima 3,5 m, interasse  $0,4 \pm 20\%$  m);
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 8,5 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo  $1,0 \text{ m} \pm 20\%$ ;
- arco rovescio (spessore 0,90 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1,5 diametri;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore variabile da 0,50 m a 1,15 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 4 diametri.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

### 11.1.3.3 Sezione tipo B2

La sezione tipo 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 previsto l'utilizzo nelle seguenti formazioni:

- Formazione del Flysch Rosso – (FYR). (Galleria Melito e Grottaminarda).
- Formazione della Baronìa – Membro Pelitico – Arenaceo del Fiume Miscano – (BNA2). (Galleria Melito).

Nel Flysch Rosso FYR la sezione B2 è prevista nel caso in cui il fronte sia stabile a breve termine per la presenza di componente marnosa con elevata resistenza a rottura nel breve termine.

Nella formazione BNA2 la sezione B2 è applicata quando, alla scala del fronte, la presenza della componente argillosa è prevalente rispetto a quella marnosa e il comportamento del nucleo-fronte è stabile a breve termine (categoria B).

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

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

### 11.1.3.4 Sezione tipo C1

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

In particolare, la sezione C1 è prevista nelle seguenti formazioni:

- Molasse di Anzano (ANZ2), nella facies prevalentemente costituita da arenarie scarsamente cementate, presenti nella Galleria Grottaminarda, nel tratto a basse coperture dopo l'imbocco lato Bari.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

- Formazione del Flysch Numidico (FYN), presente nella Galleria Grottaminarda nel tratto a basse coperture dopo l'imbocco lato Napoli, appartenente alla facies arenitica costituita da sabbia poco addensata.

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 30±20% microtrattamenti in jet-grouting Ø300 armati con elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 8,0 m);
- precontenimento al contorno realizzato mediante 61±20% colonne in jet-grouting Ø600, L=16,5 m (sovrapposizione minima 4,5 m) e ulteriori 8+8 colonne al piede centina;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 12,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN200 con passo 1,0 m ± 20%;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore variabile da 0,60 m a 1,35 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

#### 11.1.3.5 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 con comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C).

E' prevista l'applicazione della sezione C2 nelle seguenti formazioni:

- Formazione del Flysch Rosso – (FYR). – Galleria Grottaminarda e Galleria Melito – In presenza della facies prevalentemente pelitica ( $L \ll P$  e  $L < P$ ) della formazione.
- Formazione della Baronina – Membro Pelitico – Arenaceo del Fiume Miscano – (BNA2), presente nella Galleria Melito, in presenza della componente prevalentemente argillosa della formazione.
- Molasse di Anzano (ANZ2a) presenti nella Galleria Grottaminarda, nella facies prevalentemente costituita da argille marnose, laminate.

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 40±20% elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 10,0 m) cementati in foro con miscele cementizie;

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>37 di 56</b>

- precontenimento al contorno realizzato mediante  $51\pm 20\%$  elementi strutturali in VTR,  $L=16,0$  m (sovrapposizione minima 6,0 m) cementati in foro con miscele espansive e ulteriori 8+8 elementi strutturali in VTR al piede centina;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 10,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN200 con passo  $1,0\text{ m} \pm 20\%$ ;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore 0,90 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

#### 11.1.3.6 Sezione tipo C2p

La sezione tipo 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 quando si renda necessario contrastare le deformazioni al contorno del cavo, in particolare in presenza della facies pelitica del Flysch Rosso; l'analisi dei dati ricavati dalle prove geotecniche eseguite in sito ed in laboratorio per tale formazione hanno indicato che la variazione dello stato tensionale, indotto dallo scavo delle gallerie, può indurre fenomeni di 'swelling\squeezing' al contorno del cavo.

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

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

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>38 di 56</b>

- 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.

#### 11.1.4 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.

Le tipologie di intervento previste nelle singole sezioni e i criteri di applicazione sono del tutto analoghi a quelli definiti per le gallerie di linea, descritte al precedente §11.1.3.

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. [23] ÷ Rif. [29])

##### 11.1.4.1 Sezione tipo A2

Ne è prevista l'applicazione nei tratti all'interno della Formazione del Flysch Rosso – Membro Calcereo (FYR 2) dove, alla scala del fronte, la percentuale della 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.

In particolare la sezione tipo è applicata nello scavo del cunicolo pedonale parallelo alla galleria Melito

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

##### Uscita di emergenza pedonale

- scavo a piena sezione per singoli sfondi di dimensioni massime 2,40 m;
- chiodatura radiale mediante  $6/7 \pm 20\%$  chiodi ad ancoraggio continuo Ø24 disposti in raggiere alternate, lunghezza 3,00 m, interasse longitudinale 1,20 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,15 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN140 con passo  $1,20 \text{ m} \pm 20\%$ ;
- arco rovescio (spessore 0,60 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri;

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA. I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</p>					
<p>Relazione tecnica delle opere in sotterraneo</p>	<p>COMMESSA IF0G</p>	<p>LOTTO 01 D 07</p>	<p>CODIFICA RG</p>	<p>DOCUMENTO GN 00 00 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 39 di 56</p>

- calotta armata (spessore 0,50 cm) gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

#### Uscita di emergenza carrabile:

- scavo a piena sezione per singoli sfondi di dimensioni massime 2,40 m;
- chiodatura radiale mediante  $9/10 \pm 20\%$  chiodi ad ancoraggio continuo  $\varnothing 24$  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  $1,20 \text{ m} \pm 20\%$ ;
- arco rovescio (spessore 0,70 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri;
- calotta armata (spessore 0,60 cm) gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

#### **11.1.4.2 Sezione tipo B1**

La Sezione tipo B1 è prevista per lo scavo delle uscite di emergenza nelle seguenti Formazioni:

- Formazione del Flysch Rosso Membro Calcarea (FYR2).
- Formazione della Baronìa – Membro Pelitico – Arenaceo del Fiume Miscano – (BNA2).
- Formazione della Baronìa – Membro di Appollosa – (BNA3).
- Per i criteri di applicazione, analoghi a quelli previsti per le gallerie di linea, si rimanda al paragrafo §11.1.3.3.

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

#### Uscita di emergenza pedonale

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

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>40 di 56</b>

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

#### Uscita di emergenza carrabile

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

#### **11.1.4.3 Sezione tipo B2**

La Sezione tipo B2 è prevista per lo scavo delle uscite di emergenza nelle seguenti Formazioni:

- Formazione del Flysch Rosso (FYR).
- Formazione della Baronia – Membro Pelitico – Arenaceo del Fiume Miscano – (BNA2).
- Formazione della Baronia – Membro di Appollosa – (BNA3).

Per i criteri di applicazione, analoghi a quelli previsti per le gallerie di linea, si rimanda al paragrafo §11.1.3.3.

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

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

#### Uscita di emergenza pedonale

- precontenimento del fronte realizzato mediante  $15\pm 20\%$  elementi strutturali in VTR,  $L=15,0$  m (sovrapposizione minima  $7,0$  m) cementati in foro con miscele cementizie;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di  $1,0$  m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a  $8,0$  m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da  $0,20$  m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN160 con passo  $1,0$  m  $\pm 20\%$ ;
- arco rovescio (spessore  $0,60$  m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a  $1,5$  diametri;
- calotta armata (spessore  $0,50$  m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a  $4$  diametri.

#### Uscita di emergenza carrabile

- precontenimento del fronte realizzato mediante  $30\pm 20\%$  elementi strutturali in VTR,  $L=17,0$  m (sovrapposizione minima  $7,0$  m) cementati in foro con miscele cementizie;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di  $1,0$  m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a  $10,0$  m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da  $0,20$  m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN160 con passo  $1,0$  m  $\pm 20\%$ ;
- arco rovescio (spessore  $0,80$  m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a  $1,5$  diametri;
- calotta armata (spessore  $0,70$  m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a  $4$  diametri.

#### **11.1.4.4 Sezione tipo C1**

La sezione tipo C1 è prevista nello scavo delle uscite di emergenza nella formazione della Baronia – Membro dei conglomerati e delle sabbie di S.Sossio Baronia - BNA1b 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:

#### Uscita di emergenza pedonale

- precontenimento del fronte realizzato mediante  $11\pm 20\%$  microtrattamenti in jet-grouting  $\varnothing 300$  armati con elementi strutturali in VTR,  $L=15,0$  m (sovrapposizione minima  $7,0$  m);

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>42 di 56</b>

- precontenimento al contorno realizzato mediante 27±20% colonne in jet-grouting Ø600, L=12,5 m (sovrapposizione minima 4,5 m);
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 8,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo 1,0 m ± 20%;
- arco rovescio (spessore 0,60 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore variabile da 0,40 m a 1,05 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

#### Uscita di emergenza carrabile

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

#### **11.1.4.5 Sezione tipo C2**

La sezione tipo C2 è prevista per lo scavo delle uscite di emergenza nelle seguenti Formazioni:

- Formazione del Flysch Rosso (FYR).
- Formazione della Baronia – Membro Pelitico – Arenaceo del Fiume Miscano – (BNA2).

Per i criteri di applicazione, analoghi a quelli previsti per le gallerie di linea, si rimanda al paragrafo §11.1.3.5.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>43 di 56</b>

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

#### Uscita di emergenza pedonale

- precontenimento del fronte realizzato mediante  $15\pm 20\%$  elementi strutturali in VTR,  $L=13,0$  m (sovrapposizione minima  $7,0$  m) cementati in foro con miscele cementizie;
- precontenimento al contorno realizzato mediante  $25\pm 20\%$  elementi strutturali in VTR,  $L=11,0$  m (sovrapposizione minima  $5,0$  m) cementati in foro con miscele espansive;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di  $1,0$  m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a  $6,0$  m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da  $0,20$  m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine HEA180 con passo  $1,0$  m  $\pm 20\%$ ;
- arco rovescio (spessore  $0,60$  m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a  $1$  diametro;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore  $0,50$  m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a  $3$  diametri.

#### Uscita di emergenza carrabile

- precontenimento del fronte realizzato mediante  $25\pm 20\%$  elementi strutturali in VTR,  $L=18,0$  m (sovrapposizione minima  $8,0$  m) cementati in foro con miscele cementizie;
- precontenimento al contorno realizzato mediante  $39\pm 20\%$  elementi strutturali in VTR,  $L=15,0$  m (sovrapposizione minima  $5,0$  m) cementati in foro con miscele espansive e  $5+5$  elementi aggiuntivi al piede centina  $L=13,5$  m (sovrapposizione minima  $5,0$  m);
- 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 HEA180 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  $0,80$  m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a  $3$  diametri.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

#### 11.1.4.6 Sezione tipo C2p

La sezione tipo C2p è una sezione cilindrica che prevede interventi di precontenimento del fronte e del 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 uscite di emergenza attraversano la facies prevalentemente pelitica della formazione del Flysch Rosso, per contrastare l'eventuale comportamento spingente della componente pelitica e ridurre al minimo le deformazioni al contorno del cavo.

Per i criteri di applicazione, analoghi a quelli previsti per le gallerie di linea, si rimanda al paragrafo §11.1.3.5.

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante  $15\pm 20\%$  elementi strutturali in VTR, L=16,0 m (sovrapposizione minima 8,0 m) cementati in foro con miscele cementizie;
- precontenimento al contorno realizzato mediante  $25\pm 20\%$  elementi strutturali in VTR, L=16,0 m (sovrapposizione minima 8,0 m) cementati in foro con miscele espansive;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 8,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine HEA180 con passo  $1,0\text{ m} \pm 20\%$ ; chiusura dell'arco rovescio provvisorio con centina puntone HEB180 con passo  $1,00\text{ m} \pm 20\%$  e 0,20 m di spritz-beton
- arco rovescio (spessore 0,60 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 0.5 diametri;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore 0,50 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 2 diametri.

#### Uscita di emergenza carrabile

- precontenimento del fronte realizzato mediante  $30\pm 20\%$  elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 10,0 m) cementati in foro con miscele cementizie;
- precontenimento al contorno realizzato mediante  $41\pm 20\%$  elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 10,0 m) cementati in foro con miscele espansive e 5+5 elementi aggiuntivi al piede centina L=13,5 m (sovrapposizione minima 5,0 m);
- 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 HEA180 con passo  $1,0\text{ m} \pm 20\%$ ;

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

- arco rovescio (spessore 1,0 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 m) 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. [17] ÷ Rif. [29]).

### 11.2.1 Presenza di trovanti/blocchi

La formazione del Flysch Rosso nelle facies FYR e FYR (a) potrebbe presentare strati e blocchi lapidei di dimensioni variabili. Nel FYR, presente prevalentemente nella Galleria Grottaminarda, tali livelli sono sporadici e di potenza generalmente inferiore a 100 cm, mentre nella Galleria Melito sono state individuate nei sondaggi strati di calcari da compatti a fratturati di potenza anche superiori al metro, alternati a strati di argille varicolori a struttura scagliosa. La presenza di tali alternanze è stata confermata dalle numerose indagini in sito.

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

### 11.2.2 Presenza di gas

Le analisi per la determinazione del rischio gas sono state condotte per fasi di approfondimento successivo.

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.

Hanno fornito elementi di giudizio orientativi per la valutazione:

- relazione geologica geotecnica e idrogeologica;
- carte geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche;
- planimetria generale con ubicazione dei sondaggi geognostici;
- sezioni geologiche con ubicazione dei sondaggi;
- campagna di monitoraggio effettuata durante l'esecuzione di alcuni sondaggi.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

Successivamente sono state condotte indagini di approfondimento (Rif. [15]); 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 grisutosi 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.

**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)**

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

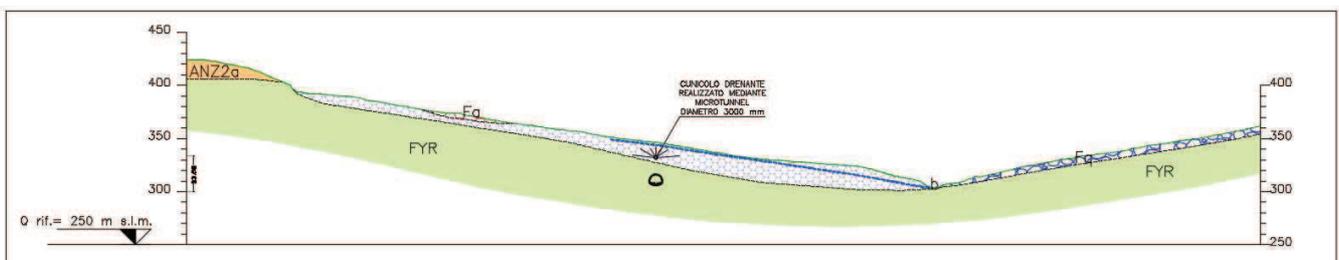
	frequenti e quindi tali da far ritenere l'emissione eccezionale. Situazioni del genere sono tipiche di serbatoi di idrocarburi isolati e di dimensioni limitate in collegamento idraulico con l'opera. Tali serbatoi hanno forma e dimensioni molto varie e distribuzione spaziale casuale ed imprevedibile e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

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 la classe di rischio gas 1B come definita in Tabella 4.

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 corpi di frana.

Tra le progressive 3+900 e 4+250 circa la galleria Grottaminarda sottoattraversa una coltre di frana quiescente, il cui spessore, individuato nello studio geologico di dettaglio (Rif. [15]), è variabile tra 6 e 19 metri circa lungo lo sviluppo longitudinale della galleria. La distanza tra la calotta della galleria e la superficie di base del corpo di frana è variabile tra 8 m e 30 m circa lungo lo sviluppo longitudinale della galleria (Figura 10). La formazione interessata dalla coltre in frana è costituita dalle argille del FLYSCH ROSSO.



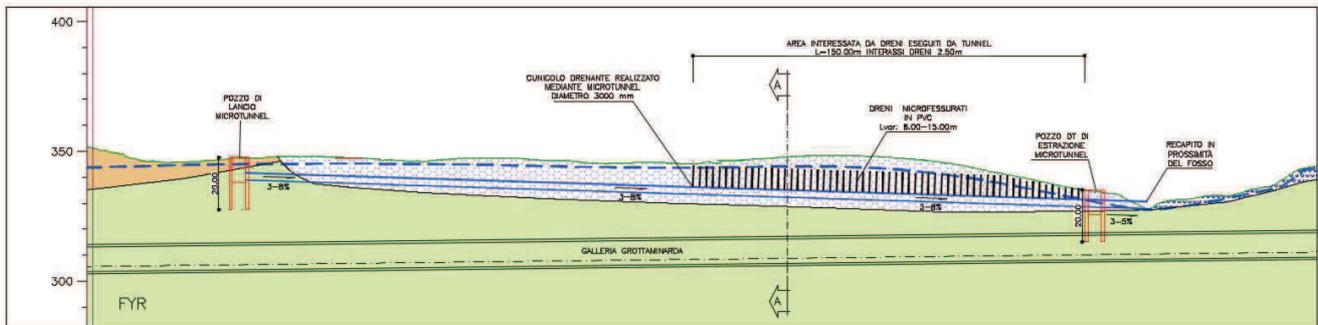


Figura 10 – Galleria Grottaminarda - Sezione trasversale e profilo longitudinale tra le progr. 3+900 e 4+250 circa.

Come riportato nella relazione geologica di progetto, codificata IF0G00D69RGGE0001001A, “ad oggi non sono visibili indizi morfologici di uno stato di attività della porzione mediana e basale della frana e la geometria stessa del deposito farebbe ipotizzare una condizione di sostanziale quiescenza, mentre nella porzione apicale sono stati riscontrati indizi di recenti e localizzate riattivazioni.”

Le misurazioni piezometriche eseguite nei sondaggi limitrofi attrezzati hanno rilevato presenza di falda in prossimità del piano campagna.

Lo scavo della galleria di linea non interferisce con il corpo di frana quiescente, tuttavia al fine di migliorare le condizioni al contorno della galleria e limitare gli effetti prodotti dalla variazione dello stato tensionale nel terreno, conseguente allo scavo della galleria di linea, si prevede di realizzare un intervento di consolidamento, mediante cunicolo drenante, all’interno del corpo di frana.

Tale intervento è propedeutico alla realizzazione della galleria di linea, e deve essere considerato come provvisorio, ed attivo fino al completamento delle opere ferroviarie.

Il drenaggio da cunicolo ha lo scopo di ridurre le pressioni interstiziali nella porzione del corpo di frana che ricade nel volume significativo potenzialmente interessato dallo scavo della galleria. Il conseguente aumento delle tensioni efficaci produce un effetto benefico nei confronti della resistenza a taglio del terreno.

La posizione del cunicolo drenante è riportata nella planimetria e nelle sezioni indicate nella Figura 10 e nella Figura 11 si prevede di realizzare, mediante la tecnica del microtunneling, un cunicolo drenante di diametro esterno pari a 2500 mm, ed interno pari a 2000mm, con rivestimento in conci prefabbricati in calcestruzzo armato di spessore pari a 25 cm.

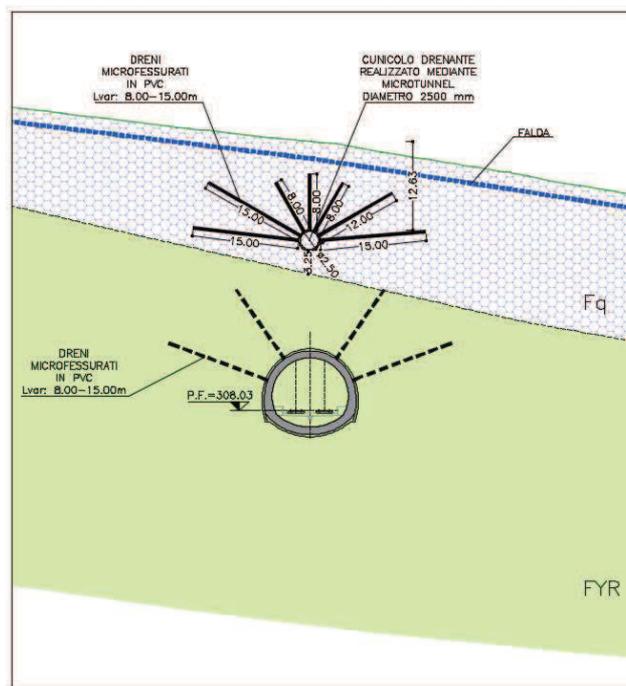
Per la realizzazione del cunicolo drenante mediante micro TBM, si rende necessaria la costruzione di due pozzi verticali, rispettivamente di partenza e di estrazione della fresa; si prevedono pozzi circolari di diametro pari a 10 metri, eseguiti mediante diaframmi rettangolari eseguiti con idrofresa.

Raggiunta la quota di fondo scavo all’interno dei due pozzi, verranno realizzati tutti gli approntamenti necessari per l’impianto della micro TBM (controfodere, camera di spinta) e si procederà alla realizzazione del cunicolo drenante.

Successivamente si prevede di mettere in opera, dall'interno dello stesso cunicolo, una serie di drenaggi radiali mediante tubi microfessurati in PVC (vedi Figura 11) di lunghezza variabile tra 8 e 15 m.

Nel tratto di sottoattraversamento della frana, per una estensione di circa 350 m lungo l'asse del tracciato, si prevede di realizzare un intervento di drenaggio definitivo al contorno della galleria di linea, mediante la posa in opera di una membrana drenante tra il contorno di scavo e l'estradosso del rivestimento definitivo, e di drenaggi radiali eseguiti mediante tubi microfessurati in PVC di lunghezza variabile tra 8 e 15 m.

Lo scopo dell'intervento di drenaggio eseguito dalla galleria di linea è quello di mantenere attivi nel tempo gli effetti benefici della riduzione delle pressioni interstiziali nel volume significativo della galleria.



**Figura 11 – Galleria Grottaminarda – Configurazione del cunicolo drenante e della galleria di linea.**

La galleria Melito sottoattraversa due corpi di frana, non interferenti con lo scavo della galleria, che nei tratti in oggetto presenta coperture superiori a 75 metri. Tra le progressive Km 7+250 e Km 7+600 è presente un corpo di frana quiescente per colamento lento e tra le progressive Km 7+920 e Km 8+470 si rileva un corpo di frana attivo per scivolamento. Il primo è caratterizzato da uno spessore valutabile nel sondaggio G4 nell'ordine di 5 metri, mentre il secondo presenta spessori valutabili in circa 39,5 metri nel sondaggio 59. Di conseguenza, la distanza tra calotta della galleria e superficie di base del corpo di frana è tale da garantire assenza di interferenza.

La Galleria Rocchetta attraversa prevalentemente la formazione delle Baronia pelitica BNA2. Nella zona prossima all'imbocco della galleria lato Bari, lo studio geologico ha rilevato aree con presenza di depositi franosi ed aree ad instabilità diffusa, in particolare tra le pk 10+220 e 10+300, tra le pk 10+660 e 11+030 e tra le pk 11+100 e 11+450. Tali depositi interessano la coltre superficiale per spessori compresi tra 5 e 10 metri. Nei tratti di sottoattraversamento della zone sopra indicate le coperture della galleria risultano variabili tra 30 e 90 metri, pertanto lo scavo della galleria non interferisce con le coltri in frana superficiali.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

L'imbocco della galleria Melito lato Napoli è ubicato in un'area stabile, compresa tra due corpi di frana attivi. Nella definizione degli interventi di protezione degli scavi necessari per la realizzazione dell'imbocco, pur non interferendo con le superfici di scorrimento delle due frane, sono state previste paratie di diaframmi di dimensioni in pianta pari a  $2,4 \div 2,5 \times 1,2$  m, da realizzarsi con idrofresa, con diversi ordini di puntoni e tiranti, allo scopo di limitare gli effetti deformativi eventualmente indotti, nei corpi di frana adiacenti, dalla variazione tensionale conseguente allo scarico tensionale nel volume significativo dell'area interessata dagli scavi.

#### 11.2.4 Venute d'acqua

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.

In particolare, le formazioni a permeabilità maggiore, ma comunque medio - bassa ( $10^{-6} \text{ m/s} \leq K \leq 10^{-7} \text{ m/s}$ ) presenti nella tratta, in studio, sono rappresentate dalle seguenti formazioni:

- Formazione della Baronìa – Membro di Appollosa – (BNA3), presente per circa 700 metri nella Galleria Rocchetta e nelle finestre F5, F6 ed F7.
- Formazione della Baronìa – Membro dei conglomerati e delle sabbie di S.Sossio Baronìa - BNA1b, presente nei tratti prossimi all'imbocco delle finestre F2, F3 e F4.
- Molasse di Anzano (ANZ2), nella facies prevalentemente costituita da arenarie scarsamente cementate, presenti nella Galleria Grottaminarda, nel tratto a basse coperture dopo l'imbocco lato Bari.
- Formazione del Flysch Numidico (FYN), presente nella Galleria Grottaminarda nel tratto a basse coperture dopo l'imbocco lato Napoli.

Le restanti formazioni sono caratterizzate da permeabilità basse o molto basse ( $10^{-7} \text{ m/s} < K < 10^{-9} \text{ m/s}$ ). In considerazione delle caratteristiche di permeabilità suddette, il rischio di venute d'acqua è basso o nullo. Ad ogni modo, le sezioni tipo di scavo e consolidamento prevedono l'esecuzione di drenaggi al fronte (3+3 per le gallerie di linea e 2+2 per le uscite di emergenza) e l'impermeabilizzazione a tergo del rivestimento definitivo di calotta.

Nella Galleria Rocchetta, in scavo meccanizzato, si prevede di realizzare l'impermeabilizzazione completa dell'anello di rivestimento definitivo, nel tratto di attraversamento della formazione BNA3.

#### 11.2.5 Interferenza sorgenti

Lo studio dell'interferenza dello scavo delle gallerie di linea con le sorgenti ubicate nell'intorno del cavo è riportato nello Studio Idrogeologico (Rif. [15]), al quale si rimanda per i dettagli relativi ai metodi di calcolo ed ai risultati delle analisi.

L'analisi è stata eseguita mediante il metodo Drowdawn Hazard Index (Dematteis et al., 2001, Torri et al. 2007) considerando diversi fattori geometrici e geologici, come ad esempio la distanza fra sorgente e galleria, la quota della sorgente, la presenza di faglie o fratture che possano mettere in connessione diretta la sorgente con la galleria, la tipologia del sistema di circolazione idrica che alimenta la sorgente. Il metodo fornisce un fattore DHI correlato ad una scala di rischio crescente da 1 a 4:

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

Sono stati censiti 181 tra pozzi e sorgenti ubicati in prossimità del tracciato. L'analisi eseguita ha indicato che tra queste ne ricadono 22 nella classe 3 di rischio mentre 7 pozzi/sorgenti sono riferibili alla classe di rischio 4; le sorgenti a maggior rischio di interferenza sono ubicate in corrispondenza del tratto iniziale della galleria Rocchetta lato Napoli, in corrispondenza dell'attraversamento della formazione BNA3. In questo tratto si prevede di realizzare l'impermeabilizzazione completa dell'anello di rivestimento definitivo

#### 11.2.6 Instabilità del fronte e del cavo

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

In condizioni di bassa copertura, l'avanzamento avverrà con l'esecuzione di interventi di preconsolidamento al fronte e al contorno in grado di controllare lo sviluppo dei fenomeni deformativi indotti dallo scavo e prevenire lo sviluppo di eventuali meccanismi di collasso.

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.

Per la Galleria Rocchetta, realizzata con scavo meccanizzato mediante TBM – EPB, i fenomeni di instabilità del fronte e del cavo sono limitati dal contrasto esercitato dalla pressione attiva in camera di scavo, e dalla immediata messa in opera dell'anello di rivestimento definitivo in conci prefabbricati.

#### 11.2.7 Comportamento rigonfiante

La porzione pelitica del Flysch Rosso (FYR), attraversata dalle gallerie Grottaminarda e Melito possono presentare comportamento rigonfiante in particolari condizioni di umidità e di variazione dello stato tensionale lungo percorsi tensionali in scarico; tale comportamento è stato evidenziato in alcune prove eseguite in cella edometrica (prove di rigonfiamento impedito, prove Huder - Amberg) eseguite nella campagna di indagine del 2017.

In tale formazione, l'adozione della sezione di scavo e consolidamento del tipo C2p, che prevede interventi di precontenimento del fronte e al contorno, assieme all'impiego della centina puntone come rivestimento provvisorio in arco rovescio che consente l'immediata chiusura dell'intero contorno del cavo, risulta particolarmente efficace nel contrastare i possibili fenomeni deformativi al fronte ed al contorno del cavo, in particolare eventuali comportamenti rigonfianti in arco rovescio. Nel lungo termine, considerato che l'arco rovescio contrasta le pressioni di rigonfiamento che possono mobilitarsi, si prevede di realizzare l'arco rovescio armato.

La galleria Rocchetta attraversa il Membro Pelitico – Arenaceo del Fiume Miscano (BNA2); in presenza della componente prevalentemente argillosa della formazione della Baronia e delle alte coperture, sono possibili fenomeni di rigonfiamento, di limitato effetto considerato che la tecnologia adottata per lo scavo meccanizzato consente di contrastare tali fenomeni di rigonfiamento mediante la pressione applicata al fronte di scavo e l'immediata posa in opera dei conci prefabbricati di rivestimento definitivo.

#### 11.2.8 Fenomeni di subsidenza/interferenza con opere preesistenti

Lungo il tracciato delle gallerie di linea e delle uscite di emergenza sono presenti a piano campagna alcuni edifici di civile abitazione o edifici destinati a piccole attività commerciali ed industriali.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

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 sono stati censiti 20 edifici, di cui 12 relativi alla galleria Grottaminarda, 3 riferiti alla Galleria Melito e 5 alla Galleria Rocchetta.

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. [34], per le gallerie naturali Rif. [35] e Rif. [36]);
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. [37] e Rif. [38]); tale metodo di calcolo, coerentemente con le ipotesi di campo libero con cui sono definiti i cedimenti, non considera la rigidità degli edifici e l'interazione terreno-struttura, e per questo, tipicamente, sovrastima la previsione di danno;
3. eventuale studio del danneggiamento degli edifici con interazione terreno-struttura: valutazione dei danni potenzialmente indotti sulle opere in superficie utilizzando un procedimento semi-empirico (Rif. [39]) in grado di tener conto, seppur in via approssimata, dell'interazione terreno-struttura.

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

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 APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

<b>Categoria di danno</b>	<b>Descrizione</b>
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**

Le analisi condotte hanno evidenziato che la maggior parte degli edifici analizzati ricade in categoria di danno 0/1 a cui corrispondono effetti trascurabili sugli edifici interferenti. Quattro edifici ricadono in categoria di danno 2 (danni lievi).

Si sottolinea, in ogni caso, come il metodo di analisi utilizzato sia caratterizzato da ipotesi cautelative. Pertanto l'approccio progettuale proposto è conservativo ed i risultati ottenuti si riferiscono alla peggiore configurazione di danno possibile. Per tale ragione non risulta necessario effettuare ulteriori approfondimenti relativamente al comportamento degli edifici e non si ritiene necessario prevedere interventi di mitigazione o opere di presidio per nessuna delle interferenze censite. In ogni caso, come precedentemente menzionato, verrà predisposta in loco un'adeguata campagna di monitoraggio per gli elementi a rischio.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>54 di 56</b>

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

### 12.1 Monitoraggio in corso d'opera

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

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

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

Con riferimento alle 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.

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA. I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF0G	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 55 di 56

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

Le grandezze individuate come rappresentative dovranno essere rilevate e controllate con un sistema di misura che abbia un grado di precisione compatibile con i valori attesi per le grandezze sopra dette, in modo da poter essere confrontati con le previsioni progettuali (i valori attesi) al fine di consentire la verifica e la messa a punto del progetto, e la gestione delle variabilità previste.

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

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA.</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA.</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF0G</b>	LOTTO <b>01 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>56 di 56</b>

### 13 CONCLUSIONI

Nell'ambito della Progettazione Definitiva del primo lotto funzionale Apice – Hirpinia per il raddoppio della linea Apice – Orsara, sull'itinerario Napoli-Bari, è prevista la realizzazione di 3 gallerie di linea a doppio binario denominate Grottaminarda, Melito e Rocchetta.

Le gallerie Melito e Grottaminarda sono previste in scavo tradizionale, mentre la galleria Rocchetta sarà realizzata in scavo meccanizzato con TBM EPB, in variante rispetto a quanto previsto in sede di progetto preliminare.

In accordo a quanto richiesto dal “Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1303/2014 - Specifiche Tecniche di Interoperabilità concernenti la sicurezza nelle gallerie ferroviarie nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità” (Rif. [4]), che prevedono uscite di emergenza laterali e/o verticali ogni 1000 m, sono previste 7 uscite di emergenza.

La progettazione delle opere in sotterraneo in progetto, condotto secondo il Metodo ADECO-RS (cfr. Rif. [31]), si articola nelle seguenti fasi:

- fase conoscitiva: è stata finalizzata allo studio e all’analisi del contesto geologico e geotecnico in cui saranno realizzate le gallerie Grottaminarda, Melito e Rocchetta e relative opere per la sicurezza;
- fase di diagnosi: è stata eseguita la valutazione della risposta deformativa dell’ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione per la determinazione delle categorie di comportamento; sono inoltre state individuate i rischi potenziali che possono presentarsi nella fase di realizzazione delle gallerie.
- fase di terapia: sulla base dei risultati delle precedenti fasi progettuali, sono state individuate le modalità di scavo e gli interventi di stabilizzazione idonei (sezioni tipo) per realizzare le gallerie in condizioni di sicurezza. Sono inoltre state individuate le soluzioni per la gestione dei potenziali rischi.
- fase di verifica e messa a punto: il progetto è completato dal piano di monitoraggio da predisporre ed attuare nella fase realizzativa.