

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. GALLERIE

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI - BARI

RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA

II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA

ELABORATI GENERALI

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

SCALA:

-

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

I F 1 V 0 2 D 0 7 R G G N 0 0 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	Emissione Esecutiva	L. Perazzoni G. Quarzicci	Sett.2018	P. Pitolli	Sett.2018	D. Aprea	Sett.2018	A. Sciotti Sett.2018

ITALFERR S.p.A.  
U.O. GALLERIE  
Dott. Ing. Alessandra Sciotti  
Ordine degli Ingegneri di Roma  
n° 136/18

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

## 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.....	5
3.3	PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF) .....	6
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	6
4.1	DOCUMENTI REFERENZIATI .....	6
4.2	DOCUMENTI CORRELATI.....	7
4.3	DOCUMENTI SUPERATI .....	8
5	ALLEGATI .....	8
6	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO .....	8
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	9
7.1	LA GALLERIA HIRPINIA .....	9
7.1.1	<i>Camerone di diramazione e pozzo di lancio TBM.....</i>	<i>12</i>
7.1.2	<i>Opere di imbocco .....</i>	<i>15</i>
7.1.3	<i>Sintesi galleria Hirpinia.....</i>	<i>15</i>
7.2	OPERE PER LA SICUREZZA IN GALLERIA .....	15
7.2.1	<i>Punto antincendio in galleria.....</i>	<i>16</i>
7.2.2	<i>By-pass di esodo.....</i>	<i>18</i>
7.3	FINESTRE COSTRUTTIVE.....	19
7.4	OPERE TECNOLOGICHE .....	21
7.4.1	<i>By-pass tecnologici.....</i>	<i>21</i>

7.4.2	Nicchie.....	22
8	METODOLOGIA DI LAVORO .....	23
9	FASE CONOSCITIVA .....	24
9.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	24
9.1.1	Assetto geologico lungo il tracciato .....	24
9.1.2	Assetto geomorfologico lungo il tracciato.....	29
9.2	INDAGINI GEOTECNICHE.....	31
9.3	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	33
10	FASE DI DIAGNOSI.....	38
10.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO.....	38
10.2	DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO.....	39
10.3	DEFINIZIONE DELLE TRATTE A COMPORTAMENTO TENSIO-DEFORMATIVO OMOGENEO.....	39
11	FASE DI TERAPIA .....	40
11.1	METODOLOGIA DI SCAVO.....	40
11.1.1	Scavo meccanizzato .....	42
11.1.2	Scavo tradizionale .....	43
11.2	RISCHI POTENZIALI CHE INCIDONO SULLA REALIZZAZIONE DELLE GALLERIE .....	49
11.2.1	Instabilità del fronte e del cavo .....	49
11.2.2	Comportamento rigonfiante .....	49
11.2.3	Fenomeni di subsidenza/interferenza con opere preesistenti .....	49
11.2.4	Venute d'acqua.....	56
11.2.5	Interferenza sorgenti .....	56
11.2.6	Presenza di gas.....	56
11.2.7	Esposizione ambientale e attacco chimico .....	58
11.2.8	Sismicità .....	60

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1V	02 D 07	RG	GN 00 00 001	A	4 di 63

12	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO.....	61
12.1	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA.....	61
13	CONCLUSIONI.....	63

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

## 1 PREMESSA

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

La tratta Hirpinia – Orsara costituisce il 2° Lotto Funzionale del progetto di raddoppio e potenziamento della tratta Apice – Orsara, compreso tra la Stazione di Orsara e la nuova fermata di Hirpinia per una estensione complessiva di circa 28 Km di linea.

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 17/01/2018, “Aggiornamento delle Nuove norme tecniche per le costruzioni”;
- Rif. [2] Decreto Ministeriale 28/10/2005. “Sicurezza nelle gallerie ferroviarie”;
- Rif. [3] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1303/2014 - relativa alla Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente “la sicurezza nelle gallerie ferroviarie” nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- Rif. [4] 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. [5] 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. [6] SIG, “Linee guida per la progettazione, l’appalto e la costruzione di opere in sotterraneo”, 1997;
- Rif. [7] ITA, “Guidelines for the design of tunnels”, 1988;

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

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

Rif. [8] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 A “Manuale di Progettazione delle opere civili” (22/12/2017);

Rif. [9] ITALFERR, Specifica Tecnica PPA.0002403 “Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali” (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. [10] ITALFERR, Approfondimenti progettuali sul Progetto Preliminare (2017);

Rif. [11] ITALFERR, Dossier dati e requisiti di base per avvio PD – IF1V02D05ROMD0000001B – Luglio 2018

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

Rif. [12] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, Elaborati Specialistici;

Rif. [13] U.O. Infrastrutture Centro, Elaborati Specialistici;

Rif. [14] U.O. Gallerie, doc IF1V02D07F5GN0000001A “Profilo geotecnico – Galleria Hirpinia - Tav. 1/7”

Rif. [15] U.O. Gallerie, doc IF1V02D07F5GN0000002A “Profilo geotecnico – Galleria Hirpinia - Tav. 2/7”;

Rif. [16] U.O. Gallerie, doc IF1V02D07F5GN0000003A “Profilo geotecnico – Galleria Hirpinia - Tav. 3/7”;

Rif. [17] U.O. Gallerie, doc IF1V02D07F5GN0000004A “Profilo geotecnico – Galleria Hirpinia - Tav. 4/7”;

Rif. [18] U.O. Gallerie, doc IF1V02D07F5GN0000005A “Profilo geotecnico – Galleria Hirpinia - Tav. 5/7”;

Rif. [19] U.O. Gallerie, doc IF1V02D07F5GN0000006A “Profilo geotecnico – Galleria Hirpinia - Tav. 6/7”;

Rif. [20] U.O. Gallerie, doc IF1V02D07F5GN0000007A “Profilo geotecnico – Galleria Hirpinia - Tav. 7/7”;

Rif. [21] U.O. Gallerie, doc IF1V02D07F5GN0000007A “Profilo geotecnico – Galleria Hirpinia - Tav. 7/7”;

Rif. [22] U.O. Gallerie, doc IF1V02D07F6GN0000001A “Profilo geotecnico - Finestra costruttiva/Uscita di emergenza carrabile F1”;

Rif. [23] U.O. Gallerie, doc IF1V02D07F6GN0000002A “Profilo geotecnico - Finestra costruttiva F2”;

Rif. [24] U.O. Gallerie, doc IF1V02D07F6GN0000003A “Profilo geotecnico - Finestra costruttiva F3”;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

Rif. [25] U.O. Gallerie, doc IF1V02D07F6GN0000004A “Profilo geotecnico - Finestra costruttiva F4”;

Rif. [26] U.O. Gallerie, doc IF1V02D07F6GN0000005A “Profilo geotecnico - Finestra costruttiva F5”

#### 4.2 Documenti Correlati

Rif. [27] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);

Rif. [28] 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. [29] Patacca E. & Scandone P. (2007) – Geology of the Southern Apennines. Bollettino della Società Geologica Italiana, vol.spec. 7, 75-199;

Rif. [30] Scrocca D., Sciamanna S., Di Luzio E., Tozzi M., Nicolai C. & Gambini R. (2007) - Structural setting along the CROP-04 deep seismic profile (Southern Apennines - Italy). Bollettino della Società Geologica Italiana, vol. spec. 7, 283-296;

Rif. [31] AGI, 1977 – Associazione Geotecnica Italiana. (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. A.G.I;

Rif. [32] Atkinson, J. H. (2000). Non-linear soil stiffness in routine design. The 40th Rankine Lecture. Geotechnique 50, No. 5, 487–508;

Rif. [33] Esu F. (1977) – Behaviour of Slopes in Structurally Complex Formations. General report, Session IV. Proc. Int. Symp. “The Geotechnics of Structurally Complex Formations”, Capri, 2, pp. 292-304;

Rif. [34] Marinos, P., Hoek, E., (2001). Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch. Bulletin of Engineering Geology and Environment;

Rif. [35] Bilotta E. & Umiltà G. (1981) – Indagini Sperimentali sulla Resistenza a Rottura di Argille a Scaglie. Rivista Italiana di Geotecnica, n. 1, pp. 15-26;

Rif. [36] Hsieh, P.-G., Ou, C.-Y., (1998). Shape of ground surface settlement profiles caused by excavation. Canadian Geotechnical Journal;

Rif. [37] Ou, C.-Y., Teng, F.-C., Hsieh, P.-G., Chien, S.-C. (2013). Mechanism of Settlement Influence Zone due to Deep Excavation in Soft Clay. Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering;

Rif. [38] Burland, J., B., Wroth, C.P., (1974). Settlement of buildings and associated damage. Proceedings Conference on the Settlement of Structures, Cambridge, pp. 611-654.

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>8 di 63</b>

### 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>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

## 7 DESCRIZIONE DELL'OPERA

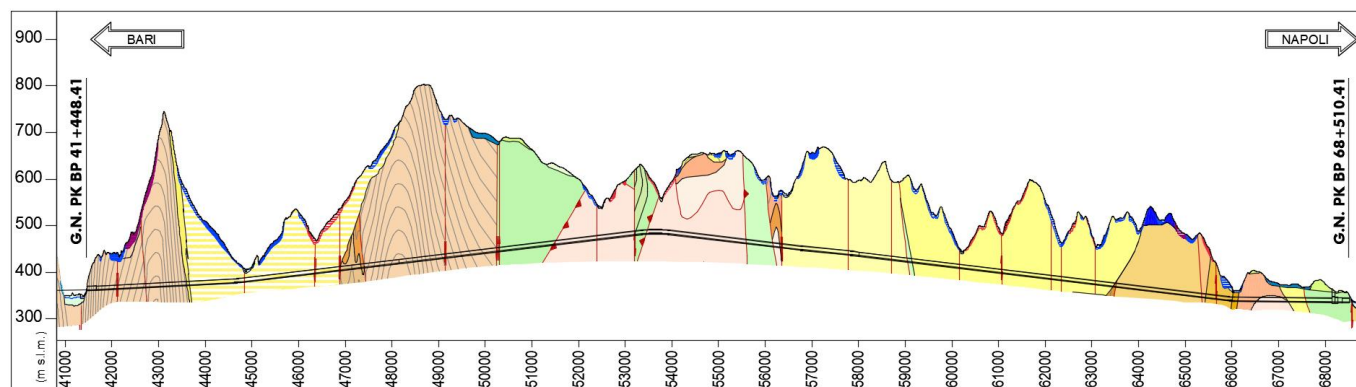
La galleria Hirpinia è un'opera in sotterraneo di grande complessità, non solo per la lunghezza di 27 km, ma soprattutto per il contesto geologico e geotecnico nel quale deve essere realizzata. L'opera attraversa infatti rilievi dell'Appennino Meridionale costituiti da formazioni strutturalmente complesse, con elevato grado di tettonizzazione e con comportamenti meccanici particolarmente critici per i percorsi tensionali associati allo scavo di gallerie. Opere in sotterraneo paragonabili per lunghezza e complessità sono la galleria di Valico del Terzo Valico dei Giovi e la tratta Bologna-Firenze della linea AV/AC Torino-Salerno, tuttavia, per la galleria Hirpinia le condizioni del territorio rappresentano un elemento di unicità che non ha uguali.

### 7.1 La galleria Hirpinia

Il tracciato della tratta Hirpinia-Orsara, di lunghezza complessiva pari a circa 28 km, si sviluppa prevalentemente in sotterraneo con la galleria "Hirpinia" di lunghezza pari a circa 27 Km.

Ubicata fra le progressive di tracciato (B.P.) km 41+435,91 (imbocco lato Bari) e km 68+537,41 (imbocco lato Napoli), la Galleria Hirpinia ha una lunghezza della tratta in naturale di 27.065,5 m e una lunghezza delle tratte in artificiale pari a 36 m.

Partendo dall'imbocco lato Bari posto ad una quota di 360 m s.l.m., il tracciato procede con pendenza crescente con un valore massimo pari al 12‰ fino al punto di culmine alla pk 53+617. In questo tratto sono presenti le massime coperture della galleria pari a 370 m in corrispondenza delle pk 43+115 e 48+680 circa. Dal punto di culmine il tracciato prosegue in discesa con una pendenza del 12‰ fino alla pk 65+959.9 (ad esclusione del tratto compreso tra le pk 56+732.5 e 57+785.5 dove la pendenza si riduce al 10‰) in corrispondenza del sottoattraversamento del torrente Fiumarella dove la copertura raggiunge il valore minimo pari a 10 m. A partire dalla pk 65+959.9 la pendenza del tracciato diminuisce gradualmente fino all'imbocco lato Napoli posto ad una quota di 336 m s.l.m..



**Figura 1 Profilo galleria Hirpinia**

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

La configurazione della galleria è a doppia canna singolo binario per la quasi totalità del suo sviluppo; per esigenze di tracciato, la configurazione è a singola canna doppio binario per un tratto di 143 m che precede l'uscita lato Napoli. Il passaggio dalla configurazione a doppia canna a quella a singola canna è realizzato tramite un camerone di diramazione di lunghezza pari a 226 m.

Si prevede l'impiego sia del metodo di scavo meccanizzato, sia con metodo di scavo tradizionale.

La galleria è progettata per consentire il transito del Gabarit C (P.M.O. n°5) con velocità di tracciato pari a 250 km/h.

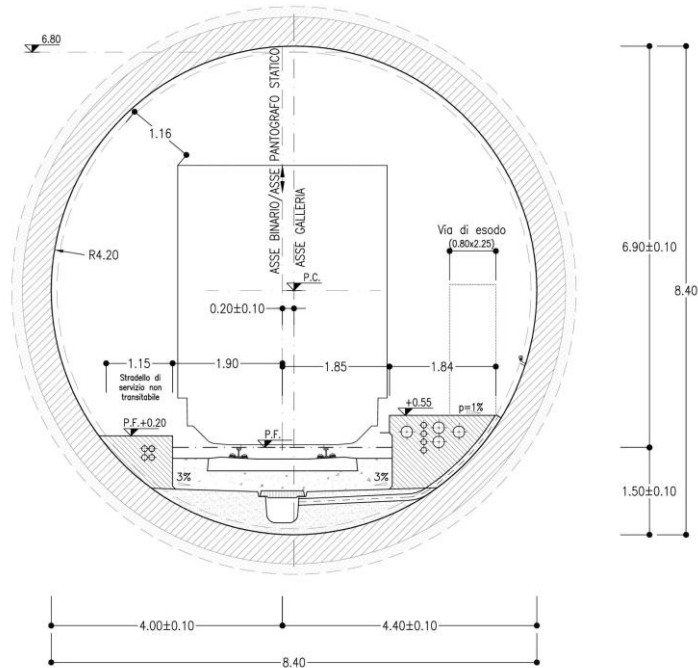
Le sezioni geometrico funzionali previste sono in accordo con le sezioni tipo del Manuale di Progettazione RFI (Rif. [8]); nel tratto a doppio canna singolo binario sono state adottate le sezioni tipo per velocità di progetto  $200 < v \leq 250$  km/h (cfr. Tavole 39, 40, 41, 49, 50 e 51 del Manuale di Progettazione RFI, Rif. [8]). Nel tratto a singola canna doppio binario, essendo la velocità di tracciato pari a 200 km/h, è stata adottata la sezione con velocità di progetto  $160 < v \leq 200$  km/h (cfr. Tavole 26 e 27 del Manuale di Progettazione RFI, Rif. [8]).

In particolare, nel tratto a doppia canna singolo binario la sezione adottata per lo scavo in meccanizzato (Figura 2) ha raggio pari a 4,20 metri ed area libera di poco superiore ai 55 m<sup>2</sup>, mentre per lo scavo tradizionale (Figura 3) è prevista una sezione policentrica con raggio di calotta e piedritti pari a 3,50 metri ed area libera di poco superiore a 52 m<sup>2</sup>. Nel tratto a singola canna doppio binario è prevista una sezione policentrica (Figura 4) con raggio di calotta e piedritti pari a 4,50 metri ed area libera di poco superiore a 82 m<sup>2</sup>.

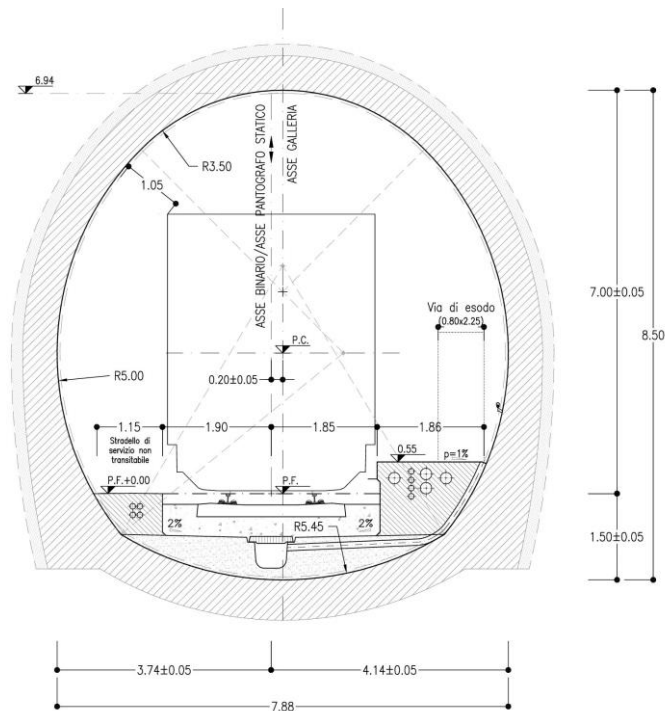
È previsto l'alloggiamento dell'armamento tradizionale con traverse tipo "RFI-240" poggiate su ballast ed elettrificazione a c.c. a 3 kV (Rif. [11]).

Le sezioni di intradosso delle gallerie hanno un marciapiede d'esodo con andamento del ciglio variabile in funzione della quota del binario attiguo. Nello specifico, l'altezza del ciglio risulta pari a + 55 cm, misurata perpendicolarmente al piano di rotolamento del binario attiguo, mentre la distanza del ciglio dal bordo interno della più vicina rotaia, misurata parallelamente al piano di rotolamento, è pari a 113 cm (Rif. [11]).

Tale camminamento 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. Nella tratta compresa tra le pk 57+195 e 57+605 (BP), dove è prevista la realizzazione del Punto Antincendio in sotterraneo (cfr. § 7.2.1) la larghezza del marciapiede è pari a 2 m.



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



**Figura 3 - Sezione di intradosso galleria di linea a singolo binario per scavo tradizionale (sezione corrente).**

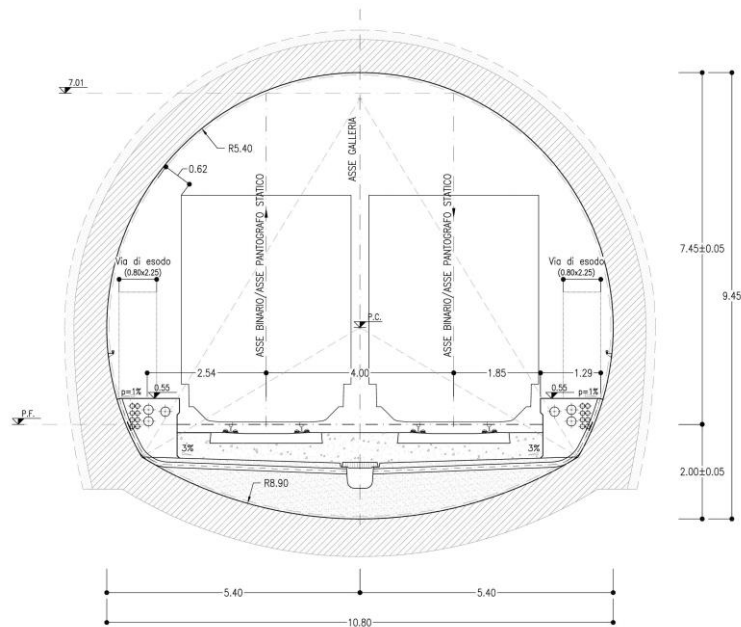
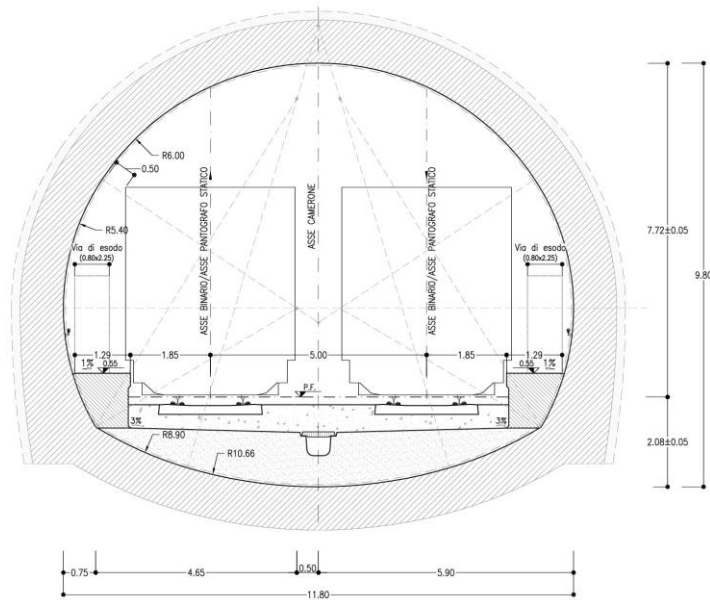


Figura 4 - Sezione di intradosso galleria di linea a doppio binario per scavo in tradizionale (sezione corrente).

### 7.1.1 Camerone di diramazione e pozzo di lancio TBM

Nel passaggio dalla configurazione a doppia canna alla configurazione a singola canna è previsto un camerone di diramazione a sezione variabile che, partendo da un interasse dei binari di 15 m circa si riduce all'interasse di 4 m nella sezione a doppio binario.

La sezione di intradosso del camerone nella tratta di 96 m in cui l'interasse binari è 4-5 m è policentrica con raggio di calotta pari a 6 m, raggio ai piedritti pari a 5,40 m ed area libera di poco superiore a 84 m<sup>2</sup> (Figura 5). Si prevede di realizzarla a foro cieco.



**Figura 5 - Sezione di intradosso camerone di diramazione - tratto interasse 4 - 5 m**

La restante parte di camerone, in considerazione delle caratteristiche dei terreni attraversati, delle grandi dimensioni delle sezioni e delle ridotte coperture, sarà scavata dall'alto per un tratto di 130 m, con l'impiego di diaframmi multi-puntonati per il sostegno delle pareti di scavo. L'atezza media di scavo è pari a 25 m.

I pannelli impiegati per i diaframmi, di carattere definitivo, con sezione a T e spessore pari 1,00 m, saranno realizzati mediante idrofresa. Presentano un'altezza massima di 57,20 m (considerando anche la trave di testa). Le contropareti interne hanno spessore variabile che si riduce procedendo dal basso verso l'alto: partendo da 0,80 m nella zona inferiore, si riducono fino a 0,30 m nella zona superiore. Durante le fasi di ribasso i diaframmi saranno vincolati con 3 tre orizzontamenti in calcestruzzo armato aventi funzione definitiva e con 2 livelli in puntoni metallici che saranno rimossi a seguito della realizzazione del solettone di fondo.

Una porzione del camerone da pk 68+140,69 a pk 68+213,05 (BP), di lunghezza pari a 72,36 m, sarà utilizzato per consentire la partenza delle frese (pozzo lancio TBM) (Figura 6).

Nella configurazione finale, il pozzo di lancio delle TBM sarà dotato in sommità di un'apertura di area pari a 240 m<sup>2</sup> al fine di realizzare un cammino naturale che consenta di smaltire i fumi di un eventuale incendio; l'apertura ha dimensioni superiori a quelle della massima sezione di galleria in tale tratto (165 m<sup>2</sup>). Inoltre, per maggiore protezione verso la possibile circolazione di fumi da una canna all'altra, è previsto lo sfalsamento delle due canne (Figura 7).

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1V	02 D 07	RG	GN 00 00 001	A	14 di 63

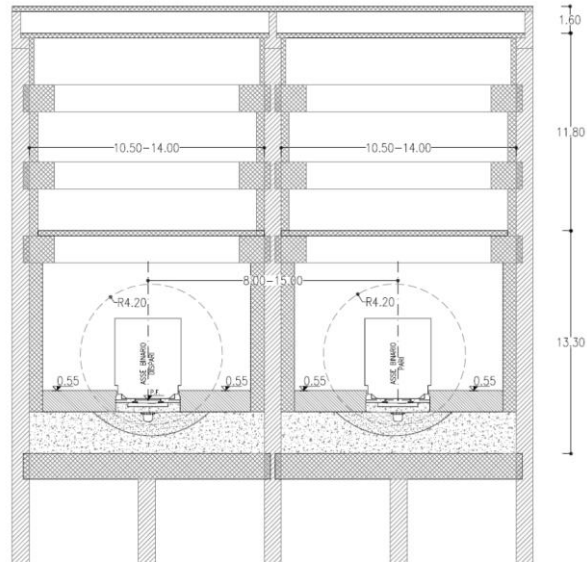


Figura 6 - Pozzo di lancio TBM

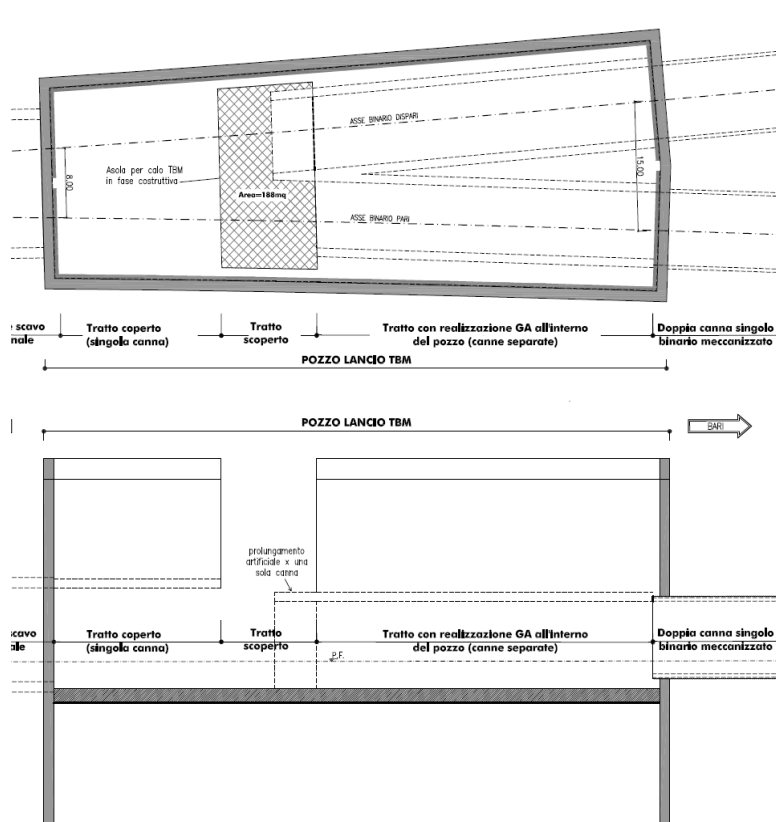


Figura 7 - Sistema disconnessione fumi

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

### 7.1.2 Opere di imbocco

Per la realizzazione dell'imbocco lato Bari sono previsti scavi sostenuti da una paratia di micropali multi-tirantata, mentre per l'imbocco lato Napoli gli scavi sono sostenuti da una paratia di pali, anch'essa vincolata da più livelli di tiranti.

A completamento degli imbocchi, è prevista la realizzazione di due tratte in galleria artificiale policentrica di lunghezza pari a 9 m e 27 m, rispettivamente per l'imbocco lato Bari e lato Napoli. Per l'imbocco lato Bari la configurazione della galleria artificiale policentrica sarà a doppia canna singolo binario, mentre per l'imbocco lato Napoli sarà a singola canna doppio binario.

### 7.1.3 Sintesi galleria Hirpinia

Nella Tabella 1 sono riportate le progressive (riferite al binario pari) a partire dall'imbocco lato Bari della galleria Hirpinia, distinguendo le diverse tratte sulla base della configurazione e delle opere.

**Tabella 1 – Configurazione e opere galleria Hirpinia**

<b>Configurazione/Opere</b>	<b>pk<sub>inizio</sub></b>	<b>pk<sub>fine</sub></b>	<b>Lunghezza</b>
<b>[-]</b>	<b>[km]</b>	<b>[km]</b>	<b>[m]</b>
Galleria artificiale	41+435,91	41+448,41	12,5
Doppia canna singolo binario	41+448,41	68+140,69	26.692,38
Pozzo di lancio TBM	68+140,69	68+213,05	72,36
Camerone di diramazione – Interasse 5 – 8 m	68+213,05	68+271,34	58,29
Camerone di diramazione – Interasse 4 – 5 m	68+271,34	68+367,03	95,69
Singola canna doppio binario	68+367,03	68+510,41	143,38
Galleria artificiale	68+510,41	68+537,41	27

### 7.2 Opere per la sicurezza in galleria

I requisiti di sicurezza previsti per la galleria Hirpinia sono conformi alle disposizioni legislative emanate in campo europeo attraverso la Specifica Tecnica di Interoperabilità STI-SRT 2014 “Safety in Railway Tunnels”, in vigore dal 01/01/2015 (Rif. [3]), e alle indicazioni del Manuale di Progettazione delle opere civili di RFI (RFI DTC SI MA IFS 001 B) del 22/12/2017 (Rif. [8]).

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

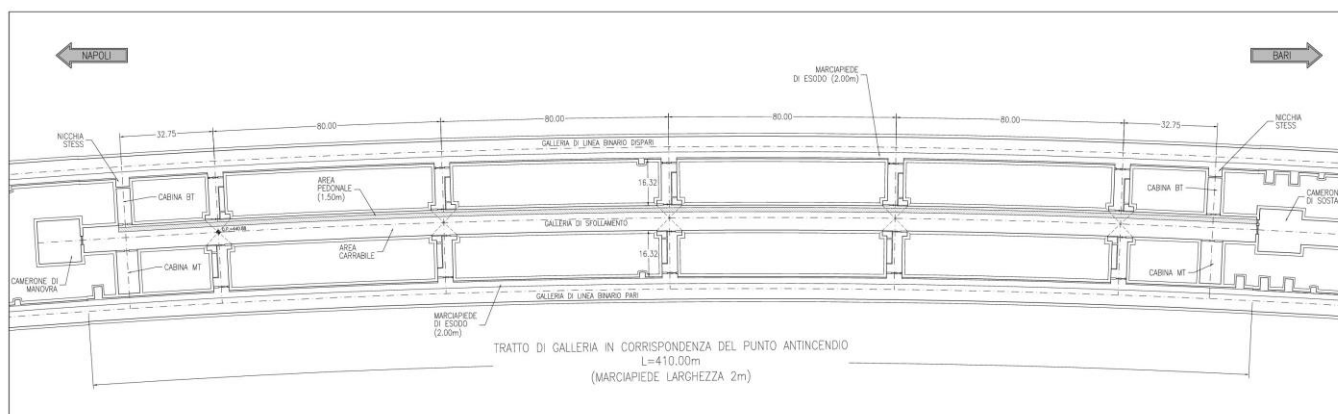
### 7.2.1 Punto antincendio in galleria

Essendo la galleria Hirpinia di lunghezza superiore ai 20 km, è prevista la realizzazione di un'Area di Sicurezza Sotterranea, con funzione di Punto Antincendio di lunghezza pari a 410 m, ubicato tra le pk 57+195 e 57+605 BP.

Il Punto Antincendio consiste in:

- una galleria di sfollamento realizzata tra le due gallerie di linea, collegata ad esse mediante by-pass trasversali; la galleria ha una lunghezza di 410 m ed è collegata all'esterno tramite un'uscita di sicurezza (finestra F1) per consentire l'accesso dei mezzi di sicurezza e l'eventuale esodo dei passeggeri. Nella tratta in esame il marciapiede delle gallerie di linea ha una larghezza di 2 m;
- 5 + 5 by-pass, ad interasse di 80 m, che consentono di trasferire in condizioni di sicurezza i passeggeri di un treno in avaria sulla banchina opposta per imbarcarli su un altro treno, oppure avviarli verso l'esterno;
- un camerone di sosta e un camerone di manovra di dimensioni 15·15 m, rispettivamente all'inizio e alla fine del punto antincendio, a servizio dei mezzi di sicurezza. Il camerone di sosta è separato dal punto antincendio da un portone per l'ingresso dei mezzi di sicurezza, avente dimensioni 4,15·3 m, e da una porta di dimensioni 0,9·2 m a servizio dei passeggeri nell'eventualità in cui questi debbano abbandonare il punto antincendio avviandosi verso l'esterno;
- 2 by-pass aggiuntivi in prossimità del punto di arresto del treno merci, posto ad una distanza di 750 dall'inizio del punto antincendio, per consentire l'esodo del personale presente sui treni merci.

Si riporta di seguito lo schema planimetrico del punto antincendio in galleria (Figura 8):



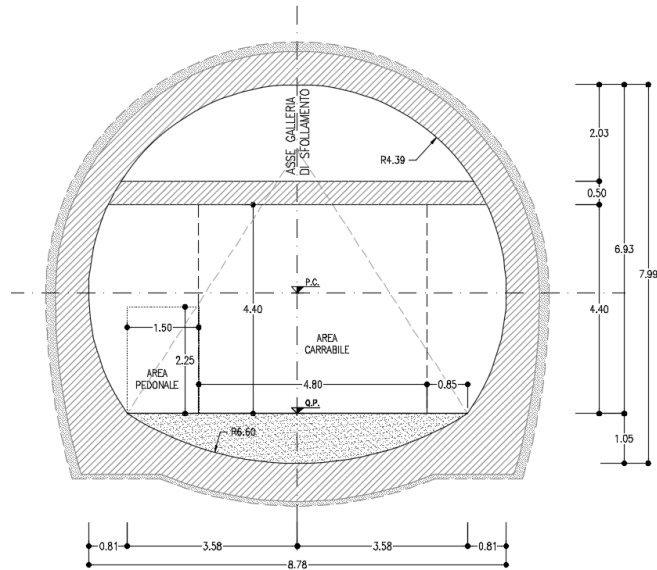
**Figura 8 - Schema planimetrico Punto Antincendio in galleria**

La sezione di intradosso della galleria di sfollamento (Figura 9) ha dimensioni tali da accogliere l'area pedonale avente dimensioni pari a 1,5·2,25 e l'area carrabile di dimensioni pari a 4,8·4,4 m.

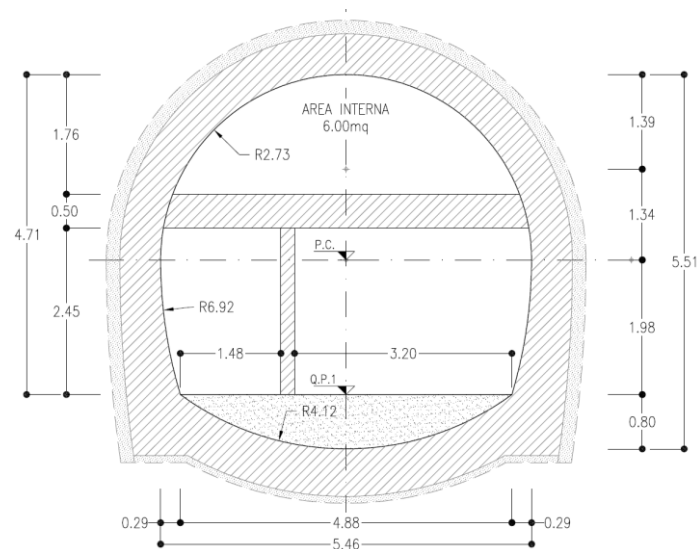
La galleria di sfollamento e i by-pass di esodo (Figura 10) hanno un condotto collocato nella parte sommitale della calotta realizzato tramite una soletta in cls armato con caratteristiche REI120 che consente di convogliare verso l'esterno i fumi derivanti da un treno in condizioni di incendio. I fumi aspirati dalla canna incendiata sono



convogliati all'interno dapprima dei by-pass e dopo della galleria di sfollamento/finestra per essere trasportati al piazzale esterno dove è prevista la centrale di ventilazione.



**Figura 9 - Sezione di intradosso galleria di sfollamento/finestra F1.**



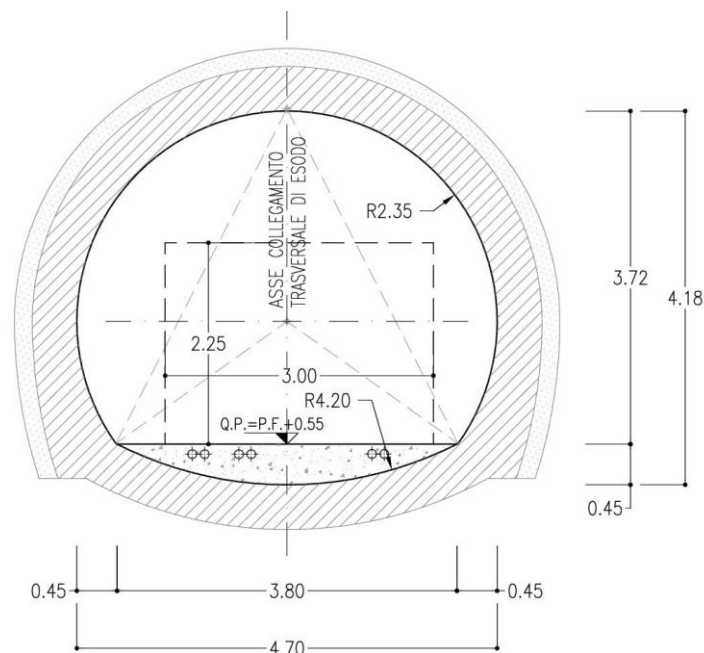
**Figura 10 - Sezione di intradosso by pass esodo Punto Antincendio in galleria.**

### 7.2.2 By-pass di esodo

In considerazione del fatto che le opere in sotterraneo presentano una configurazione a doppia canna, la gestione della sicurezza in galleria è affidata alla realizzazione di collegamenti trasversali (by-pass) tra le due gallerie indipendenti, che permettono di utilizzare una canna come area di sicurezza nel caso di presenza di un treno incidentato nell'altra. Tali collegamenti sono predisposti ad interasse pari a 500 metri.

I collegamenti trasversali sono dotati di zone filtro per impedire l'ingresso di fumi nel caso di treno incendiato nella canna opposta.

Si riporta di seguito la sezione di intradosso (Figura 11) la quale garantisce una larghezza di piattaforma e un'altezza in chiave calotta di 3 m come richiesto "Manuale di Progettazione delle opere civili" datato 22/12/2017 (Rif. [8]).



**Figura 11 - Sezione tipo di intradosso by pass di esodo**

Non sono previsti impianti e tecnologie all'interno del by-pass di esodo, ad esclusione di quanto necessario per la realizzazione della zona filtro: le tecnologie necessarie per il funzionamento dell'impianto di ventilazione per il controllo fumi sono ospitate in una nicchia realizzata in adiacenza al by-pass (Figura 12).

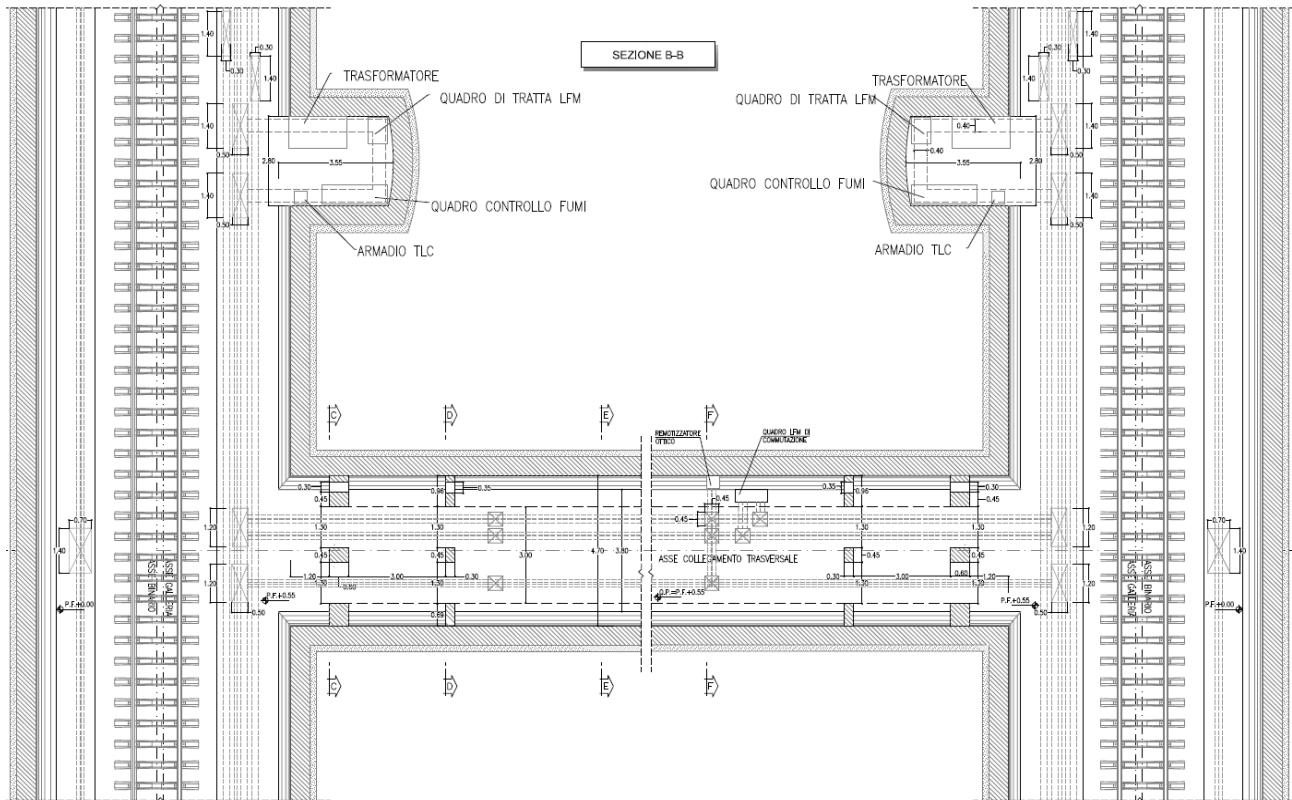


Figura 12 Planimetria by-pass di esodo

### 7.3 Finestre costruttive

Per incrementare il numero di fronti di scavo nel tratto centrale realizzato in tradizionale, sono previste 4 finestre costruttive (F2, F3, F4, F5) la cui sezione di intradosso (Figura 13) è tale da garantire la gestione contemporanea di 4 fronti di scavo.

La finestra F2 sarà realizzata a partire dalla finestra F1 con la quale ne condivide il primo tratto; in particolare, in prossimità della pk 0+824 della finestra F1 è presente un camerone dal quale si dirama la finestra F2.

È inoltre prevista una finestra costruttiva in prossimità dell'imbocco lato Bari (finestra F5) necessaria per consentire la partenza delle due frese; la sezione di intradosso della finestra (Figura 14) è stata studiata per consentire la traslazione delle frese assemblate all'esterno; non è infatti possibile la partenza delle macchine dall'imbocco della galleria Hirpinia lato Bari per le caratteristiche morfologiche dell'imbocco stesso..

Data la funzione esclusivamente costruttiva delle finestre suddette, al termine della fase realizzativa, se ne prevede la dismissione. All'imbocco sarà realizzato un muro di tamponamento in calcestruzzo armato in corrispondenza della dima e sarà ripristinata la configurazione originaria del versante. Allo stesso modo l'accesso alla finestra costruttiva dal lato della linea sarà interdetto mediante la realizzazione di un apposito setto di chiusura.

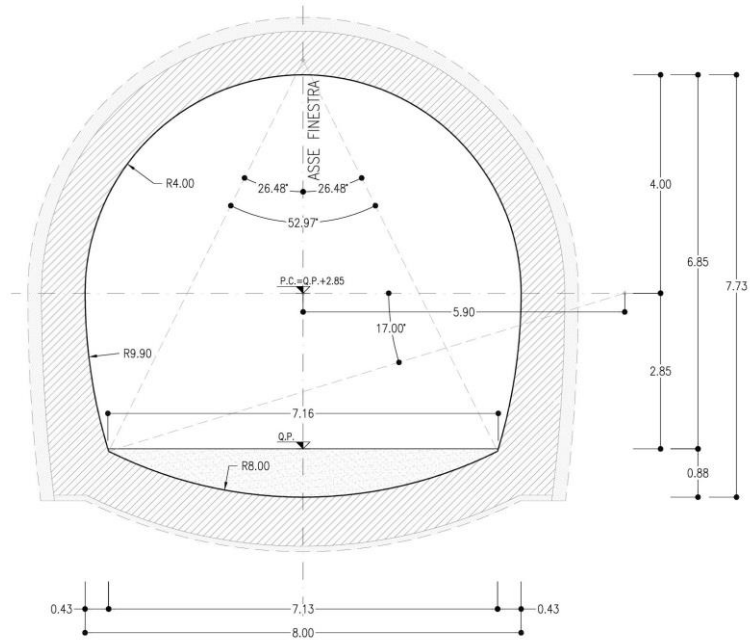


Figura 13 - Sezione di intradosso finestre costruttive F2, F3 e F4.

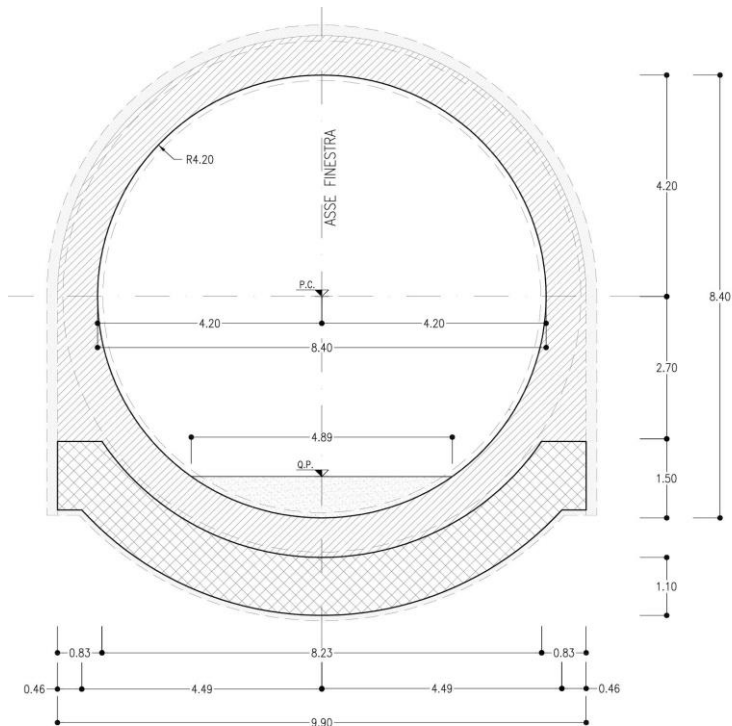


Figura 14 - Sezione di intradosso finestra costruttiva F5.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

La Tabella 2 riporta le lunghezze delle finestre costruttive e le progressive di innesto rispetto ai due binari di linea:

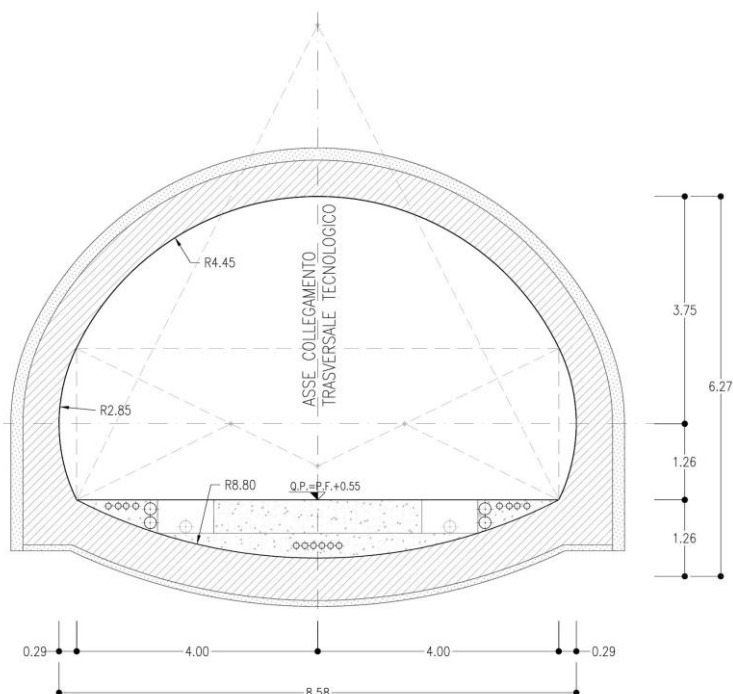
**Tabella 2 - Caratteristiche finestre costruttive**

Finestra	p.k. Innesto B.P.	p.k. Innesto B.D.	Lunghezza tratto in naturale[m]	Area interna [m <sup>2</sup> ]
F2	56+801,42	56+849,94	370	47,15
F3	54+150,00	54+180,11	951	47,15
F4	51+440,00	51+470,11	912	47,15
F5	41+551,41	41+575,84	174	52,80

## 7.4 Opere tecnologiche

### 7.4.1 By-pass tecnologici

È prevista la realizzazione di 11 by pass tecnologici (Tabella 3). La sezione di intradosso è policentrica con raggio di calotta pari a 4,45 m, raggio ai piedritti pari a 2,85 m ed area libera pari a 40 m<sup>2</sup> circa (Figura 15).



**Figura 15 - Sezione tipo di intradosso by-pass tecnologico.**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

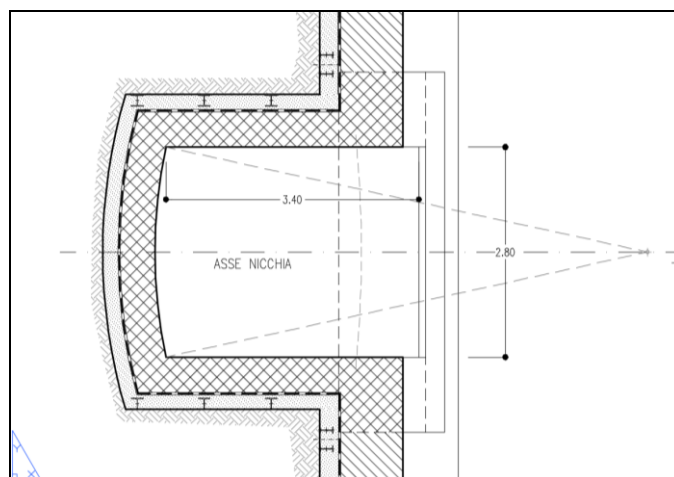
**Tabella 3 - Ubicazione by pass tecnologici**

BY-PASS TECNOLOGICI	pk innesto B.P.
By - Pass TEC (N°1)	43+300,00
By - Pass TEC (N°2)	45+500,00
By - Pass TEC (N°3)	48+926,41
By - Pass TEC (N°4)	51+301,41
By - Pass TEC (N°5)	54+286,41
By - Pass TEC (N°6)	56+801,42
By - Pass TEC (N°7)	57+211,51
By - Pass TEC (N°8)	57+591,58
By - Pass TEC (N°9)	59+600,00
By - Pass TEC (N°10)	62+000,00
By - Pass TEC (N°11)	65+300,00

#### 7.4.2 Nicchie

Con riferimento al doc RFI/DTC/SI/MA/IFS/001/A “Manuale di Progettazione delle opere civili” datato 22/12/2017 (Rif. [8]), le gallerie non sono dotate di nicchie di ricovero personale ma esclusivamente di nicchie tecnologiche e per impianti. In funzione della destinazione d’uso sono previste 2 tipologie di nicchie:

- nicchie tecnologiche di dimensioni utili in pianta pari a 3,4m·2,8m ed altezza di 2,3m (Figura 16)
- nicchie LFM e nicchie per connessioni induttive entrambi di dimensioni utili in pianta pari a 1,6m·2,0m ed altezza di 2,3m (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**);



**Figura 16 – Pianta nicchia tecnologica**

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>23 di 63</b>

## 8 METODOLOGIA DI LAVORO

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [27], Rif. [28]), si è articolata nelle seguenti fasi:

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

## 9 FASE CONOSCITIVA

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

### 9.1 Inquadramento geologico e geomorfologico

#### 9.1.1 Assetto geologico lungo il tracciato

Il tracciato dell'opera in oggetto si colloca nei settori centrali dell'Appennino meridionale, nella zona di transizione tra i domini di catena e quelli di avanfossa (Figura 17). Dal punto di vista stratigrafico, i settori di catena sono caratterizzati da spesse successioni marine meso-cenozoiche, variamente giustapposte tra loro a causa dell'importante tettonica compressiva. I settori di avanfossa sono contraddistinti da importanti successioni marine e transizionali plio-pleistoceniche solo parzialmente interessate dai fronti di sovrascorrimento più recenti ed esterni.

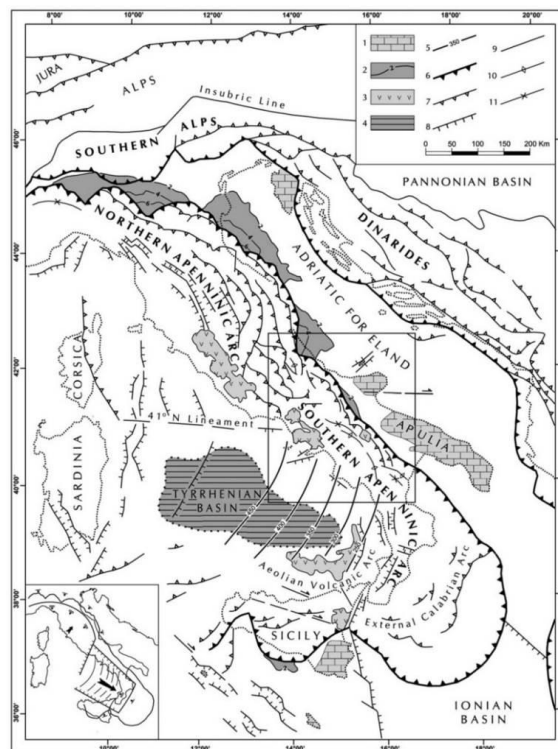


Figura 17 - Schema strutturale della penisola italiana ed aree adiacenti (da Patacca & Scandone 2007)

Le successioni sedimentarie del dominio di catena sono riferibili a tre distinte unità strutturali, di differente provenienza paleogeografica, denominate rispettivamente Unità della Daunia, Unità del Fortore e Unità di



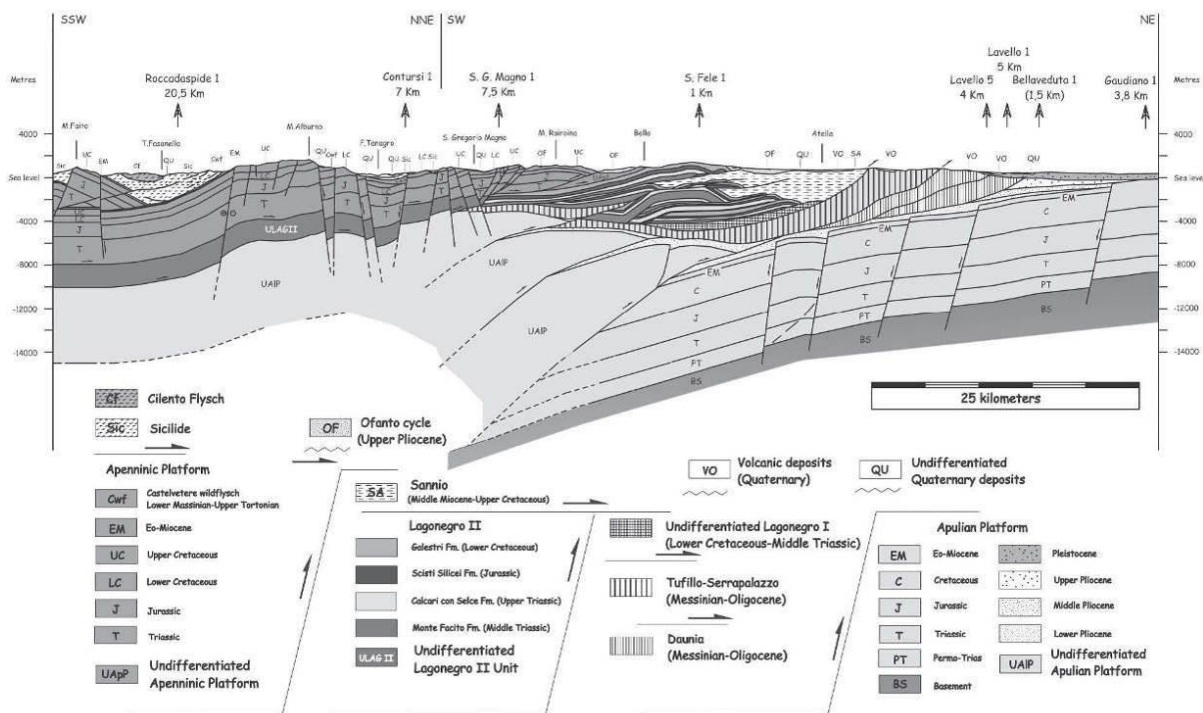
Frignano. Tali unità sono costituite essenzialmente da depositi marini in facies di bacino e di scarpata, con un'età compresa tra il Cretaceo inferiore e il Miocene superiore. La parte bassa delle successioni è sempre costituita da sedimenti pelitici e calcareo-marnosi di mare profondo, con locali passaggi di litotipi essenzialmente carbonatici o diasprigni (Figura 18).

Verso l'alto si rinvengono, in discordanza stratigrafica, spessi depositi flyschoidi arenaceo-marnosi e calcareo-marnosi connessi allo sviluppo della Catena Appenninica. La sequenza sedimentaria di catena è chiusa, quindi, da depositi pliocenici prevalentemente argilloso-sabbiosi e sabbioso-conglomeratici, chiaramente connessi alle ultime fasi di strutturazione dell'edificio appenninico.

Nel settore di avanfossa, si assiste alla deposizione di spesse successioni silicoclastiche che si venivano a creare lungo il margine orientale dell'Unità a limiti inconformi del Pliocene. In corrispondenza dei depocentri del bacino, si accumulano torbiditi terrigeni sabbioso-limose dell'Unità Sin-Orogene del messiniano superiore, costituenti la porzione inferiore della successione dell'avanfossa pliocenico-quadernaria.

Nei settori più interni, le interazioni fra variazioni cicliche del clima e sollevamento regionale portano inoltre all'accumulo di estesi depositi alluvionali terrazzati, localmente caratterizzati da una porzione basale con caratteri di facies di spiaggia.

Per approfondimenti sullo studio geologico si rimanda agli specifici elaborati progettuali (Rif. [12]).



**Figura 18 - Sezione geologica della Catena Appenninica meridionale, mostrandone i rapporti tra le principali unità stratigrafico-strutturali a seguito della strutturazione dell'edificio a falde (da Scrocca et al. 2007).**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

Di seguito è riportato il dettaglio delle formazioni attraversate durante lo scavo della galleria Hirpinia.

In particolare, all'interno della successione sedimentaria del dominio di catena troviamo:

- Argilliti policrome del Calaggio – APC (Tortoniano medio – Messiniano superiore) Argille, argille marnose e marne di colore grigio-azzurro, verde e rossastro, in strati da molto sottili a sottili, con locali intercalazioni di torbiditi calcaree grigio chiaro; a luoghi si rinvengono passaggi di calcilutiti e calcari marnosi di colore grigio, in strati da sottili a medi, in alternanza con marne calcaree silicizzate e selci rosa e violacee.

- Argilliti con gessi di Mezzana di Forte – MZF (Messiniano superiore) Argille, argille limose e argille marnose di colore grigio-verdastro, a luoghi varicolori, in strati da sottili a medi, con diffusi cristalli centimetrici di gesso, locali lenti di gessareniti e frequenti passaggi di sabbie e sabbie limose grigie e giallastre; a luoghi si rinvengono porzioni ad assetto caotico, costituite da blocchi eterometrici di calcari marnosi, calcareniti, marne silicizzate e gesso in abbondante matrice argilloso-limosa.

- Flysch di Faeto - FAE (Burdigaliano superiore? - Messiniano inferiore.) Calcareniti, calcilutiti e calcari marnosi di colore grigio e biancastro, in strati da sottili a medi, con frequenti intercalazioni di argille limose e argille marnose grigie e grigio-verdastre; a luoghi si rinvengono passaggi di arenarie, microconglomerati e calciruditi bioclastiche di colore grigio, in strati da medi a spessi; localmente sono presenti orizzonti di brecciole calcaree e porzioni a struttura caotica. La litofacies marnoso-calcareo (FAEb) è costituita da marne e calcari marnosi di colore grigio chiaro e biancastro, in strati da sottili a medi, con locali intercalazioni di calcareniti bioclastiche grigie e argille limose verdastre; a luoghi si rinvengono passaggi di marne argillose e calcilutiti di colore grigio e biancastro, in strati da molto sottili a sottili.

- Marne argillose del Toppo Capuana - TPC (Tortoniano superiore – Messiniano inferiore) Argille limose, argille marnose e marne di colore grigio e grigio-azzurro, in strati da medi a molto spessi, generalmente a laminazione piano-parallela, con locali passaggi di sabbie e sabbie limose grigie e giallastre; a luoghi si rinvengono intercalazioni di arenarie, siltiti e calcilutiti di colore grigio e giallastro, in strati da sottili a medi.

- Tripoli – TPL (Tortoniano superiore – Messiniano inferiore) Marne e marne argillose di colore biancastro, laminate e fissili, con frequenti intercalazioni di diatomiti bianche, passaggi di marne bituminose e abbondanti resti fossili.

- Formazioni delle Argille Varicolori – AVR (Cretacico superiore – Burdigaliano superiore?) Argille, argille limose e argille marnose di colore grigio e varicolori, caotiche o a struttura scagliosa, con rare ghiaie poligeniche di dimensioni centimetriche; a luoghi si rinvengono intercalazioni lenticolari di marne calcaree, calcari marnosi e calcilutiti di colore grigio e biancastro, in strati da medi a spessi, e passaggi di biocalciruditi e biocalcareniti biancastre con abbondanti microfaune rimaneggiate.

- Flysch Rosso – FYR (Cretacico superiore – Burdigaliano superiore) È possibile distinguere nella porzione inferiore un membro prevalentemente calcareo (FYR2), il quale evidenzia rapporti eteropici con la formazione indifferenziata (FYR). La formazione FYR è costituita da argille, argille marnose e marne di colore rossastro, grigio-azzurro e verdastro, scagliose o sottilmente laminate, con subordinate intercalazioni di calcari marnosi, calcilutiti e calcareniti rosa e biancastre. La litofacies calcareo-clastica (FYRa) è costituita da calcareniti torbiditiche di colore biancastro, in strati da medi a spessi, gradate e laminate, con frequenti passaggi di calcari

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

marnosi bianco-giallastri, calcilutiti grigie e calciruditi; a luoghi si rinvencono livelli di argille e argille marnose di colore grigio e rossastro, in strati da sottili a medi, e locali passaggi di marne calcaree silicizzate.

Mentre nel settore di avanfossa troviamo:

- **Formazione del Torrente Fiumarella – TFR (Messiniano superiore)** Argille limose e argille sabbiose di colore nerastro, grigio-verdastro e marrone, laminate o in strati molto sottili, con diffusi passaggi di sabbie grigie e giallastre, marne sabbiose verdastre e limi detritici scuri con frustoli carboniosi e clasti di gesso; a luoghi si rinvencono livelli di arenarie di colore giallastro, massive o mal-stratificate, e lenti di conglomerati disorganizzati in scarsa matrice sabbiosa; a più altezze stratigrafiche sono presenti passaggi di argille e argille marnose varicolori e nerastre, scagliettate e fortemente caoticizzate. Al suo interno comprende una litofacies a composizione conglomeratico-arenacea, che risulta intercalata alla precedente e in parziale eteropia con la stessa (TFRa). Si tratta conglomerati a clasti eterometrici prevalentemente calcareo-marnosi, mal-stratificati o in strati molto spessi, in matrice sabbiosa di colore grigio e marrone, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvencono lenti di arenarie grigio-brune e passaggi di argille sabbiose grigio-verdastre.

- **Membro di Flumeri - ANZ2 (Messiniano superiore)** Argille limose, argille marnose e marne di colore grigio, in strati da molto sottili a sottili, ricche di sostanza organica e resti vegetali, con frequenti intercalazioni di sabbie e sabbie limose grigie; a luoghi si rinvencono passaggi di arenarie di colore giallo-brunastro, in strati da sottili a medi. È presente la litofacies calcareo-marnosa del Membro di Flumeri (ANZ2a): si tratta di calcari micritici di colore grigio e biancastro, laminati o in strati molto sottili, in alternanza con arenarie e calcareniti massive; a luoghi si rinvencono passaggi di argille limose e argille marnose di colore grigio, in strati da molto sottili a sottili, con locali clasti di gesso.

- **Membro pelitico-arenaceo del Fiume Miscano - BNA2 (Pliocene inferiore)** Argille limose e argille limoso-marnose di colore grigio, in strati da molto sottili a sottili, con locali intercalazioni di sabbie limose grigie; a luoghi si rinvencono passaggi di arenarie e sabbie di colore grigio e giallastro, massive o mal-stratificate, talora a laminazione piano-parallela.

- **Peliti di Difesa Grande - STF2 (Pliocene medio)** Argille limose e argille marnose di colore grigio, in strati da molto sottili a sottili, con frequenti intercalazioni di sabbie limose grigie e giallastre e abbondanti resti di molluschi; alla base della successione si rinvencono alternanze di conglomerati, sabbie e limi arrossati di genesi continentale.

- **Arenarie e conglomerati di Castello Schiavo - BVNa (Pliocene medio)** Arenarie quarzoso-feldpastiche di colore grigio e giallastro, in strati da medi a molto spessi, in alternanza con conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, in strati molto spessi e di forma irregolare, in matrice sabbiosa e calcareo-sabbiosa di colore grigio e giallastro, generalmente scarsa; nella parte bassa della successione si rinvencono conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, in strati generalmente molto spessi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, da scarsa ad abbondante.

- **Argille e sabbie del Vallone Meridiano - BVNb (Pliocene medio)** Argille, argille limose e argille marnose di colore grigio e grigio scuro, in strati da medi a molto spessi, talora a laminazione piano-parallela, con frequenti intercalazioni di sabbie limose, siltiti e arenarie grigie e giallastre; a luoghi si rinvencono lenti ciottolose a elementi ben arrotondati e strati di marne sabbiose a laminazione piano-parallela; talora sono presenti spessi

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

orizzonti di arenarie e siltiti di colore grigio, in strati da sottili a medi, con diffuse intercalazioni di sabbie e abbondanti resti di molluschi.

Come copertura di tutte le unità geologiche più antiche, soprattutto in corrispondenza delle depressioni impluviali o alla base dei rilievi più acclivi ed estesi sono presenti:

- Coltri eluvio-colluviali (b2) Depositi continentali di versante e alterazione del substrato, costituiti da argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore marrone, grigio e bruno-rossastro, a struttura indistinta, con abbondanti resti vegetali e rare ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore marrone, grigio e giallastro, a struttura indistinta, con abbondanti resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate.

Nel dettaglio, dall'imbocco lato Bari ubicato alla pk 41+400 circa la galleria interessa i depositi del Flysch di Faeto (FAE) dislocati da una faglia diretta sub-verticale alla pk 42+100 circa. All'altezza del km 42+700 circa, la galleria intercetta un thrust a medio-alto angolo. Alla pk 43+600 circa il Flysch di Faeto (FAE) passa in contatto inconforme ai terreni delle Argille e sabbie del Vallone Meridiano (BVNb), ad eccezione dell'intervallo iniziale della tratta dove sono presenti le Arenarie e conglomerati di Castello Schiavo (BVNa).

Le Argille e sabbie del Vallone Meridiano (BVNb) risultano dislocate da due faglie, una alla pk 44+800 circa in corrispondenza delle coperture minime (15 m circa) e una alla pk 46+350 circa.

Alla pk 46+850 circa è presente una faglia ad andamento sub-verticale dopo la quale la galleria intercetta i terreni appartenenti all'Unità tettonica della Daunia. In particolare, nel tratto iniziale (tra le pk 46+850 e 47+400 circa) la galleria interessa i terreni marnosi delle Marne argillose del Toppo Capuana (TPC) e delle marne e diatomiti del Tripoli (TPL); sovrascorse dal Flysch di Faeto (FAE), attraverso un thrust ad andamento NW-SE che intercetta la galleria in corrispondenza della pk 47+400 circa. Fino alla pk 50+250 circa la galleria interessa il Flysch di Faeto dislocato da una faglia sub-verticale alla pk 49+150 circa. In questo tratto la galleria raggiunge la massima copertura pari a 370 m.

All'altezza della pk 50+250 circa, dopo due faglie ad andamento sub-verticale, la galleria intercetta i terreni classificabili come "Argille Scagliose" rappresentati dal Flysch Rosso (FYR), le Argilliti policrome del Calaggio (APC) dislocate da una faglia alla pk 52+400 circa e le Argille Varicolori (AVR). In corrispondenza della pk 56+350 circa, dopo un breve passaggio all'interno dei termini marnoso-calcarei del Flysch di Faeto (FAEb) e della formazione Tripoli (TPL), una faglia diretta sub-verticale, porta la galleria ad intercettare in maniera pressoché continua le Peliti di Difesa Grande della Formazione di Sferracavallo (STF2) dislocato da due faglie subverticali.

Un thrust a medio-basso angolo, intercettato all'altezza del km 59+050 circa che porta il Membro pelitico-arenaceo del Fiume Miscano (BNA2) sui termini argilloso-sabbiosi delle Peliti di Difesa Grande (STF2). Il Membro pelitico-arenaceo del Fiume Miscano (BNA2) risulta dislocato da cinque faglie ad andamento sub-verticale.

A partire dalla pk 63+500 circa la galleria attraversa i termini del membro di Flumeri delle Molasse di Anzano (ANZ2) fino alla pk 65+430 circa a partire dalla quale la galleria intercetta la Formazione del torrente Fiumarella (TFR) dislocata da una faglia ad andamento sub-verticale alla pk 65+550. Tra le pk 66+130 e 66+550 circa sono presenti le Argilliti con gessi di Mezzana di Forte (MZF) dove la galleria sottoattraversa il torrente Fiumarella con coperture ridotte pari a circa 15-20 metri rispetto al piano del ferro. Nel tratto finale la galleria attraversa

nuovamente la formazione delle “Argille Scagliose” con coperture ridotte fino all’imbocco lato Napoli ubicato alla pk 68+500 circa.

### 9.1.2 Assetto geomorfologico lungo il tracciato

Il prevalente sviluppo in sotterraneo del lotto Hirpinia-Orsara riduce sensibilmente i problemi di interferenza dell’infrastruttura con un territorio significativamente contraddistinto fenomeni di dissesto e di instabilità dei versanti, attivi o quiescenti, riconducibili a colamenti, scivolamenti e frane complesse in terra (Rif. [12]), essenzialmente connessi all’assetto geologico-strutturale dell’area e all’evoluzione geomorfologica recente di questo settore appenninico (Figura 19)

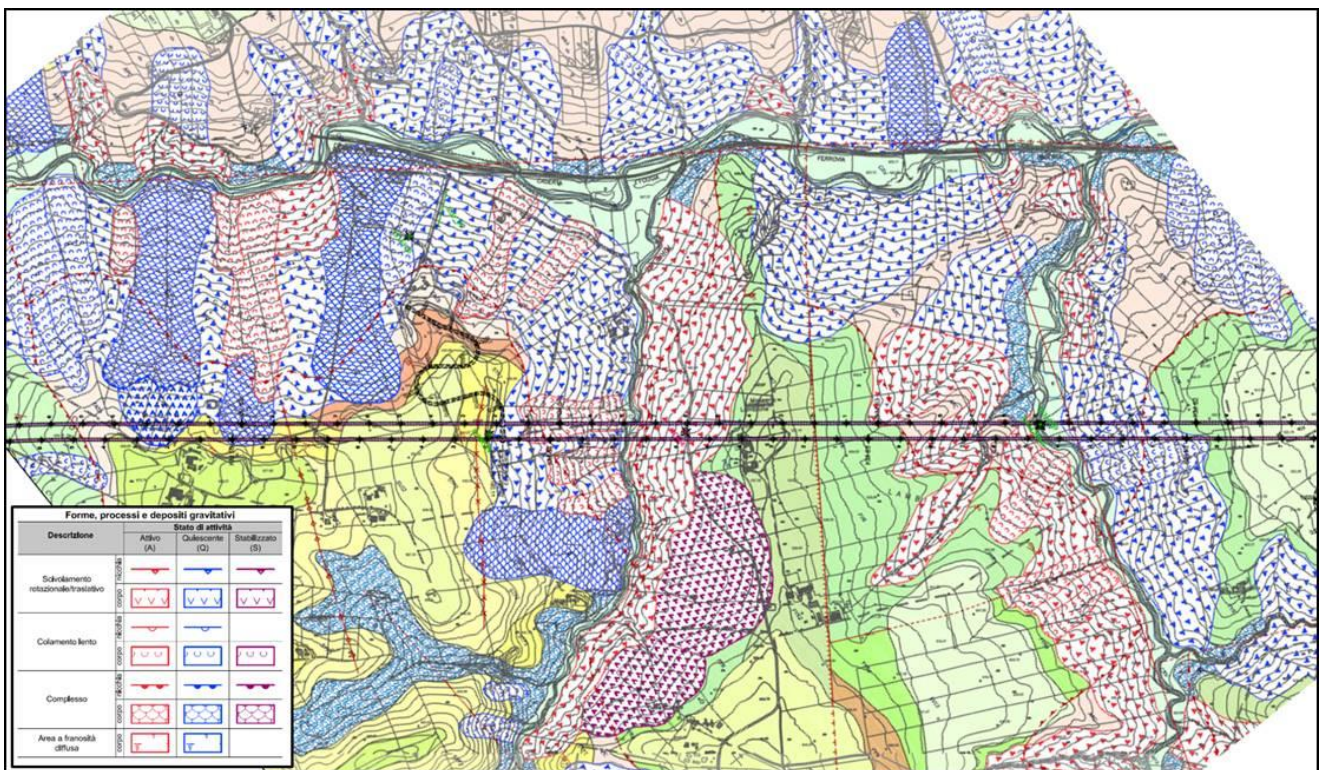


Figura 19 - Stralcio carta geologica, geomorfologica

Le coperture delle opere in sotterraneo garantiscono il sottoattraversamento di zone con accertati fenomeni di instabilità o con un elevato grado di suscettibilità rispetto allo sviluppo di frane e dissesti, lasciando soltanto agli imbocchi la possibilità di eventuale interferenza.

Il progetto delle opere in sotterraneo è stato quindi sviluppato ponendo particolare attenzione all’ubicazione degli imbocchi, in particolare per le finestre costruttive che si collocano in un’area in cui i versanti, caratterizzati da estesi affioramenti di Argille Scagliose, sono interessati da fenomeni franosi estesi e diffusi. Le complessità

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>30 di 63</b>

geomorfologiche del territorio e l'inaccessibilità di molte aree, hanno fortemente condizionato la progettazione delle gallerie costruttive, in termini di individuazione delle zone di imbocco e di pendenza e lunghezza delle opere stesse.

Sono di seguito illustrate le condizioni di ciascun imbocco.

Il versante in corrispondenza dell'imbocco nord-orientale della galleria "Hirpinia" (lato Bari), caratterizzato dalla presenza dei litotipi calcareo-marnosi del Flysch di Faeto (FAE), è privo di evidenti fenomeni di dissesto direttamente interferenti con le opere in progetto (Rif. [12]).

L'imbocco lato Napoli della galleria Hirpinia interessa esclusivamente i terreni argilloso-marnosi del Flysch Rosso (FYR): dal punto di vista geomorfologico, non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per la galleria in progetto (Rif. [12]).

Il versante in corrispondenza dell'imbocco dell'Uscita/Accesso di emergenza F1 è caratterizzato dalla presenza delle Peliti di Difesa Grande della Formazione di Sferracavallo: dal punto di vista geomorfologico non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per la galleria in progetto, né per l'imbocco della galleria stessa, visto che i corpi di frana presenti si trovano a quote superiori di oltre 90 m rispetto al piano ferro della galleria (Rif. [12]).

Il versante in corrispondenza dell'imbocco della Finestra costruttiva F3 è caratterizzato dalla presenza della litofacies marnoso-calcareo del Flysch di Faeto (FAEb): dal punto di vista geomorfologico, non si rileva la presenza di depositi franosi significativi direttamente interferenti con le opere in progetto e l'imbocco si trova in area stabile (Rif. [12]).

Il versante in corrispondenza dell'imbocco della Finestra costruttiva F4 è caratterizzato dalla presenza dei litotipi argilloso-marnosi del Flysch Rosso (FYR): dal punto di vista geomorfologico non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per la galleria in progetto (Rif. [12]).

Il versante in corrispondenza dell'imbocco della Finestra costruttiva F5 è caratterizzato dalla presenza del Flysch di Faeto (FAE): dal punto di vista geomorfologico non sono pertanto da rilevare elementi di potenziale criticità per la galleria in progetto (Rif. [12]).

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

## 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 Italferr 2008-09 - Raddoppio tratta Orsara-Apice (soluzione sud);*
- *Campagna indagini Italferr 2017 - Raddoppio tratta Hirpinia – Orsara – Bovino;*
- *Campagna indagini Italferr 2018 - Raddoppio tratta Orsara – Bovino e tratta Hirpinia – Orsara;*

Durante la campagna di indagini Italferr realizzata tra il 2008 e il 2009 a supporto del progetto preliminare per le opere in sotterraneo sono stati eseguiti:

- n.2 sondaggi a carotaggio continuo (profondità variabili tra 195 m e 280 m dal piano campagna), attrezzati con piezometri;
- n.4 prove dilatometriche nei fori di sondaggio;
- n.4 prove di permeabilità di tipo Lugeon;

Durante la campagna indagini Italferr realizzata nel 2017 a supporto del progetto preliminare per le opere in sotterraneo, complessivamente sono stati eseguiti:

- n.12 sondaggi a carotaggio continuo (profondità variabili tra 40 m e 120 m dal piano campagna), attrezzati con piezometri, inclinometri e strumentazione per le prove sismiche in foro;
- n.18 prove dilatometriche nei fori di sondaggio;
- n. 20 prove di permeabilità di tipo Lefranc e Lugeon;
- n. 6 prospezioni sismiche MASW.

Il numero totale dei campioni analizzati nella tratta di interesse e sottoposti a prove di laboratorio è di 76, di cui 56 indisturbati e 20 rimaneggiati. Sui campioni indisturbati sono state eseguite le seguenti prove meccaniche:

- n. 47 prove di taglio (TD);
- n.1 prova triassiale consolidata non drenata (CIU);
- n. 6 prove di resistenza a compressione monoassiale;
- n. 4 prove di carico puntuale (Point Load);

Durante la campagna indagini Italferr del 2018 a supporto del progetto definitivo per le opere in sotterraneo per la tratta Hirpinia – Orsara, sono stati eseguiti:

- n. 29 sondaggi (profondità variabile tra 40 m e 310 m dal piano di campagna, attrezzati con piezometri, inclinometri e strumentazione per l'esecuzione di prove sismiche in foro), di cui n.26 a carotaggio continuo e n.1 in parte a distruzione ed in parte a carotaggio (a profondità della quota del cavo);
- n. 5 prove pressiometriche e n.43 prove dilatometriche nei fori di sondaggio;

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>32 di 63</b>

- n. 50 prove di permeabilità di tipo Lefranc e Lugeon;
- n. 2 prove sismiche tipo MASW;
- n.3 prove sismiche in foro tipo down-hole;

Il numero totale dei campioni analizzati nella tratta di interesse e sottoposti a prove di laboratorio è di 118, di cui 99 indisturbati e 19 rimaneggiati. Sui campioni indisturbati sono state eseguite le seguenti prove meccaniche:

- n. 43 prove di taglio (TD);
- n. 37 prove triassiali (CIU, CID, UU);
- n. 6 prove di resistenza a compressione monoassiale;
- n. 5 prove di carico puntuale (Point Load);
- n. 13 misure della velocità sonica  $V_p$  e  $V_s$ ;
- n. 9 prove di compressione triassiale su provini di roccia;
- n. 13 prove di espansione laterale libera (ELL);
- n. 3 prove di colonna risonante;
- n. 13 prove di rigonfiamento impedito;
- n. 11 prove di rigonfiamento secondo il Metodo Huder-Amberg.



	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

### 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.

L'ubicazione dei sondaggi ed il modello geotecnico sono rappresentati negli elaborati 'Profili geotecnici' (Rif. [14]-Rif. [26]).

Per la descrizione del modello geotecnico di sottosuolo è possibile accorpate le formazioni attraversate dalle opere in sotterraneo come di seguito illustrato:

#### a) Depositi marini Pliocenici

Si tratta di depositi costituiti prevalentemente da argille, argille marnose ed argille limose con intercalazioni di sabbie limose e con presenza a luoghi di arenarie. Fanno parte di tale gruppo le argille e sabbie del Vallone Meridiano (BVNb), Peliti di Difesa del Grande (STF2), membro pelitico-arenaceo del Fiume Miscano (BNA2) ed infine le marne argillose del Toppo Capuana (TPC).

Le analisi granulometriche mostrano mediamente una prevalenza di limo (58%) e, in maniera secondaria, di argilla (38%), con una percentuale molto modesta di sabbia (4%). l'unità risulta classificabile come "Limo con Argilla" (Rif. [31]).

Il contenuto d'acqua naturale  $w_0$  è generalmente compreso tra il 10% ed il 20% mentre l'indice di consistenza  $I_c$ , sempre maggiore dell'unità, assume un valore medio pari a circa 1,3.

I parametri meccanici sono stati ricavati da un'analisi complessiva delle prove disponibili in sito e di laboratorio. In particolare, per le prove di laboratorio sono state eseguite prove di taglio diretto e prove triassiali (CIU e CID) dalle quali si ricava un valore di coesione efficace e di angolo di resistenza al taglio rispettivamente pari a  $c' = 50-60$  kPa e  $\varphi' = 26-27^\circ$ .

La rigidità dei terreni in oggetto, ricavata dall'elaborazione delle prove dilatometriche e delle prove ultrasoniche di laboratorio (assumendo un rapporto  $E/E_0$  pari a 0.1 rappresentativo della rigidità operativa in considerazione delle deformazioni di taglio attese per l'opera in progetto (Rif. [32])), è pari a circa 1000 MPa.

La permeabilità, ricavata dalle prove Lefranc/Lugeon, risulta bassa, compresa tra  $1 \cdot 10^{-9}$  e  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s.

#### b) Formazioni a struttura complessa:

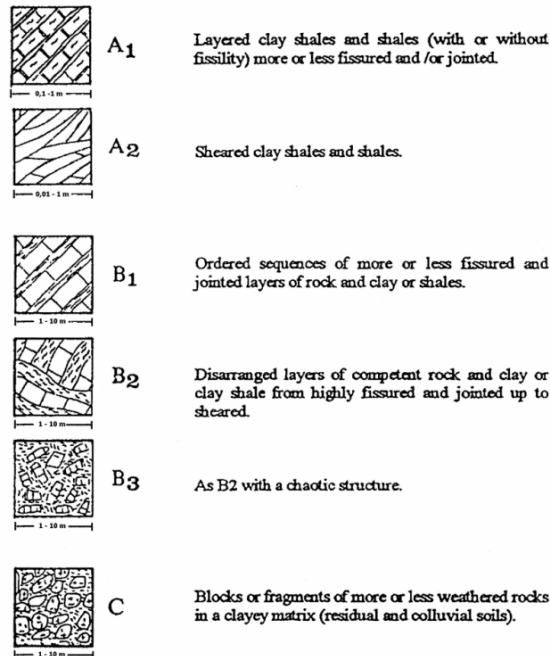
- Flysch di Faeto (FAE, FAEb)

La formazione calcareo-marnosa del Flysch di Faeto (FAE) interessa la galleria sia nel tratto di imbocco lato Bari sia nel tratto delle massime coperture.

Attraverso l'analisi dei rilievi effettuati e dei sondaggi eseguiti, la formazione risulta classificabile come formazione strutturalmente complessa di classe B1 (Figura 20, Rif. [33]), con una componente litoide (calcareo-marnosa) decisamente prevalente rispetto a quella pelitica (argilla) ( $L/P > 1$ ).

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1V	02 D 07	RG	GN 00 00 001	A	34 di 63



**Figura 20** Classificazione delle “formazioni strutturalmente complesse” (Esu, 1977 (Rif. [33]))

La caratterizzazione geotecnica è stata condotta attraverso l’analisi delle prove di sito (16 prove dilatometriche in foro e 11 prove di permeabilità di tipo Lefranc/Lugeon) e di laboratorio (eseguite su 5 sondaggi).

Dalle prove di compressione monoassiale, si ricavano valori di resistenza a compressione monoassiale compresi tra 40 e 70 MPa; il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato dalle 5 prove di velocità sonica su provino disponibili, con valori pari a circa 20 GPa fino a 40 GPa nella zona delle massime coperture.

Dagli stop geostrutturali a disposizione è stato ricavato il valore del Geological Strength Index (GSI, 40 – 60) così da poter individuare la riduzione della resistenza dell’ammasso a partire da quella della matrice rocciosa. In merito ai *ranges* di variazione di GSI scelti, si è ritenuto opportuno differenziare le tratte in presenza di zone di faglia attribuendo ad esse il range minimo (15 – 25) riscontrato nei rilievi geostrutturali. Gli intervalli di GSI presi in considerazioni risultano coerenti con la classificazione proposta da Hoek e Marinos (Figura 21):

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1V	02 D 07	RG	GN 00 00 001	A	35 di 63

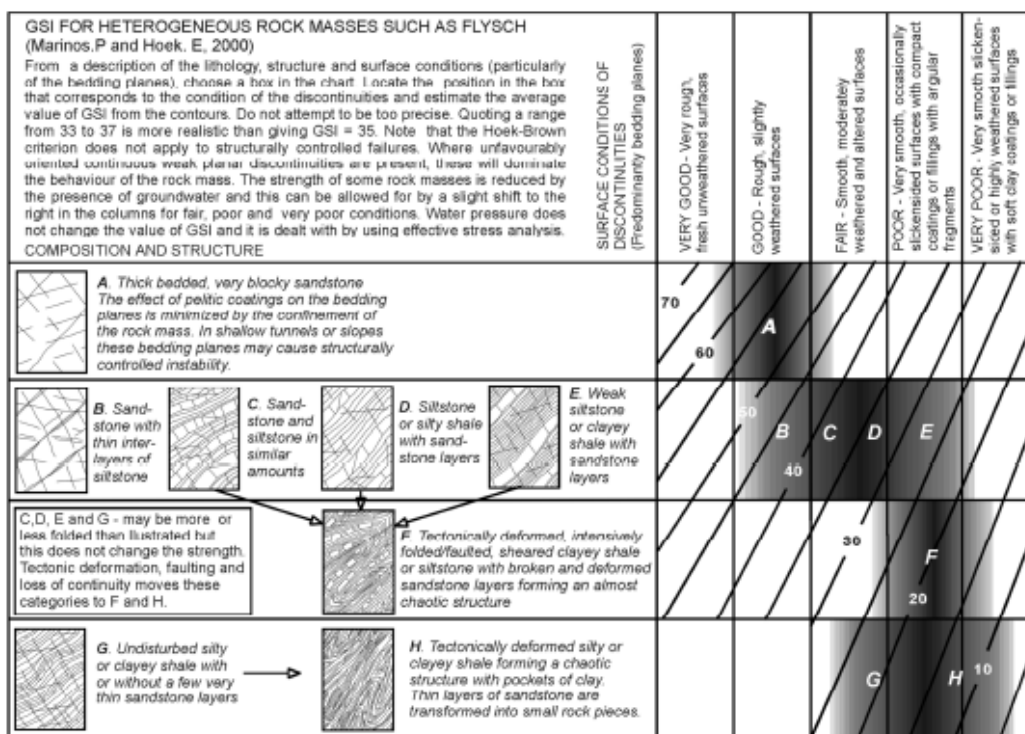


Figura 21 Classificazione GSI (Marinos & Hoek 2001 (Rif. [34]))

L'opera in progetto attraversa per un tratto di circa 140 m la litofacies marnoso-calcareo (FAEb) del Flysch di Faeto per la quale, ai fini della caratterizzazione geotecnica, si ritiene necessario fare riferimento ai valori inferiori di resistenza a compressione monossiale ricavati per il FAE.

- Argille scagliose

Con il termine Argille Scagliose sono raggruppate le Argilliti policrome del Calaggio (APC), le Argilliti con gessi di Mezzana di Forte (MZF), la formazione delle Argille Varicolori (AVR), ed il Flysch Rosso del Frigento (FYR). Sono formazioni composte da argille, argille limose, argille marnose, caotiche o a struttura scagliosa.

Le Argilliti policrome del Calaggio (APC), le Argilliti con gessi di Mezzana di Forte (MZF), la formazione delle Argille Varicolori (AVR) sono classificabili come formazioni strutturalmente complesse di classe A2 (Rif. [33]) ed il Flysch Rosso del Frigento (FYR), classificabile come formazione strutturalmente complessa di classe B3 (Rif. [33]).

Le analisi granulometriche mostrano mediamente una prevalenza di argilla (45%) e limo (39%) con percentuali inferiori di sabbia (15%). L'unità risulta classificabile come "Argilla con Limo debolmente Sabbiosa" (Rif. [31]).

I limiti di Atterberg, sono:

- limite di plasticità: 20% ÷ 40%;
- limite di liquidità: 50% ÷ 90%;

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

– indice di plasticità: 20% ÷ 60%.

Il contenuto d'acqua naturale  $w_0$  è compreso tra il 14% ed il 20% mentre l'indice di consistenza  $I_c$  presenta un valore medio di circa 1,3.

In riferimento alle prove di laboratorio, per la stima delle caratteristiche di resistenza, sono state eseguite prove di taglio diretto e prove triassiali, le cui elaborazioni conducono a dei valori della coesione efficace e angolo di resistenza al taglio rispettivamente compresi tra  $c' = 10 - 40$  kPa e  $\varphi' = 16 - 26^\circ$ . Si sottolinea come il range inferiore dell'angolo di resistenza al taglio deriva dalle prove triassiali condotte sulle Argilliti policrome del Calaggio (APC). È infatti nota in letteratura la difficoltà di interpretazione dei risultati delle prove di laboratorio sulle argille scagliose, il cui assetto strutturale (scaglie) incide fortemente sui risultati delle misure di resistenza. I dati desunti dalle prove di taglio diretto, come atteso anche da un confronto con la letteratura scientifica (Rif. [35]) forniscono dei valori leggermente superiori; tuttavia sulle proprietà meccaniche delle Argille Scagliose si ritiene opportuno, per la definizione dei parametri di resistenza, fare affidamento agli inviluppi ricavati dalle prove triassiali.

La rigidità ricavata da prove dilatometriche e prove down-hole (assumendo un rapporto  $E/E_0$  pari a 0,1 rappresentativo della rigidità operativa in considerazione delle deformazioni di taglio attese per l'opera in progetto (Rif. [32])) evidenzia un range di valori compreso tra 100 e 300 MPa.

La permeabilità, ricavata dalle 17 prove Lefranc/Lugeon, risulta molto bassa, con un range di valore di coefficiente di permeabilità compreso tra  $1 \cdot 10^{-9}$  e  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s.

#### c) Formazione del Torrente Fiumarella (TFR)

L'unità del Torrente Fiumarella (TFR) è costituita da argille limose e argille sabbiose, con passaggi di sabbie e marne sabbiose, con intercalazioni a luoghi di arenarie. I due sondaggi eseguiti in questa formazione hanno evidenziato una presenza prevalente della frazione limosa (46%) con una frazione ridotta di argilla (36%) ed una percentuale inferiore di sabbia (16%). Tale materiale, dal punto di vista granulometrico, è classificabile come "Limo con Argilla debolmente Sabbioso" (Rif. [31]). Il contenuto d'acqua naturale  $w_0$  è compreso tra il 10% ed il 30%, mentre l'indice di consistenza  $I_c$ , assume un valore medio di circa 1,1.

I parametri meccanici sono stati ricavati da un esame complessivo di tutte le prove di laboratorio ed in sito disponibili.

In riferimento alle prime, sono state compiute prove di taglio diretto e prove triassiali (CIU) fornendo valori di coesione efficace e angolo di resistenza al taglio compresi tra  $c' = 20 - 25$  kPa e  $\varphi' = 20 - 24^\circ$ . Per le caratteristiche di rigidità della formazione sono state condotte delle prove dilatometriche in foro che forniscono valori pari a 400 – 450 MPa.

Le prove di permeabilità di tipo Lefranc eseguite presentano assorbimento nullo e pertanto è stato assunto un valore di coefficiente di permeabilità compreso tra  $1 \cdot 10^{-9}$  e  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b></p>					
<p>Relazione tecnica delle opere in sotterraneo</p>	<p>COMMESSA IF1V</p>	<p>LOTTO 02 D 07</p>	<p>CODIFICA RG</p>	<p>DOCUMENTO GN 00 00 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 37 di 63</p>

d) Formazione di Anzano (ANZ2, ANZ2a)

La formazione ANZ2 è costituita prevalentemente da argille limose, argille marnose, con frequenti intercalazioni di livelli di sabbie e sabbie limose. La litofacies calcareo-marnosa (ANZ2a) è invece prevalente di calcari in alternanza con arenarie e calcareniti con livelli di argille limose e argille marnose. Per la caratterizzazione geotecnica di queste due formazioni si fa riferimento ai sondaggi eseguiti relativi alla formazione ANZ2.

I due sondaggi eseguiti in questa formazione hanno evidenziato una presenza prevalente della frazione limosa (62%) con una frazione ridotta di argilla (33%). Tale materiale, dal punto di vista granulometrico, è classificabile come “Limo con Argilla” (Rif. [31]).

Il contenuto d’acqua naturale  $w_0$  è compreso tra il 14% ed il 20%, mentre l’indice di consistenza  $I_c$ , maggiore dell’unità, aumenta con la profondità, assumendo un valore medio pari a circa 1,2. In riferimento alle prove di laboratorio sono state eseguite prove di taglio diretto, mentre per le caratteristiche di rigidezza della formazione sono state condotte delle prove dilatometriche in foro.

I parametri di resistenza variano tra  $c' = 40 - 50$  kPa e  $\phi' = 20 - 24^\circ$  mentre la rigidezza viene assunta variabile tra 350 – 400 MPa. La permeabilità, desunta dalle 2 prove Lefranc eseguite in foro, assume un valore compreso tra  $1 \cdot 10^{-8}$  e  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s.

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 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. [27], Rif. [28]), 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. [27], Rif. [28]) 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 rigidezza 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 tensioni sono di tipo elasto-plastico, di maggiore entità rispetto al caso precedente. Nell'ammasso può prodursi una eventuale

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

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

### Categoria C: nucleo-fronte instabile

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. In considerazione delle caratteristiche geotecniche degli ammassi attraversati e delle coperture, è prevalente la categoria di comportamento C (nucleo-fronte instabile).

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato delle gallerie sono illustrate nei Profili Geotecnici (Rif. [14]÷Rif. [26]).

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 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 sono illustrati nei pertinenti elaborati progettuali.

### 11.1 Metodologia 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 e dall'estensione longitudinale delle gallerie.

Per la galleria Hirpinia si prevede sia il metodo di scavo meccanizzato, sia il metodo di scavo tradizionale, come di seguito descritto.

Lo scavo meccanizzato è adottato nelle seguenti tratte:

- dall'imbocco lato Bari la partenza delle macchine di scavo (due TBM) è prevista da una finestra costruttiva (F5) che si innesta alla pk 41+576 (BD), non essendo possibile per la morfologia del versante prevedere la partenza delle due frese direttamente dall'imbocco. Le due TBM realizzeranno lo scavo dalla pk 41+675 (BD), 100 m dopo l'innesto della finestra, fino alla pk 50+146 (BD). La lunghezza del tratto scavato è pari a 8471 m (BD).
- dall'imbocco lato Napoli la partenza delle macchine di scavo (due TBM) è prevista da un camerone realizzato mediante scavo dall'alto (pozzo lancio TBM). Le due TBM realizzeranno lo scavo dalla pk 68+143 fino alla pk 58+020 (BD), poco prima dell'area di sicurezza. La lunghezza del tratto scavato è pari a 10123 m (BD);

Lo scavo sarà invece eseguito in tradizionale nelle seguenti tratte:

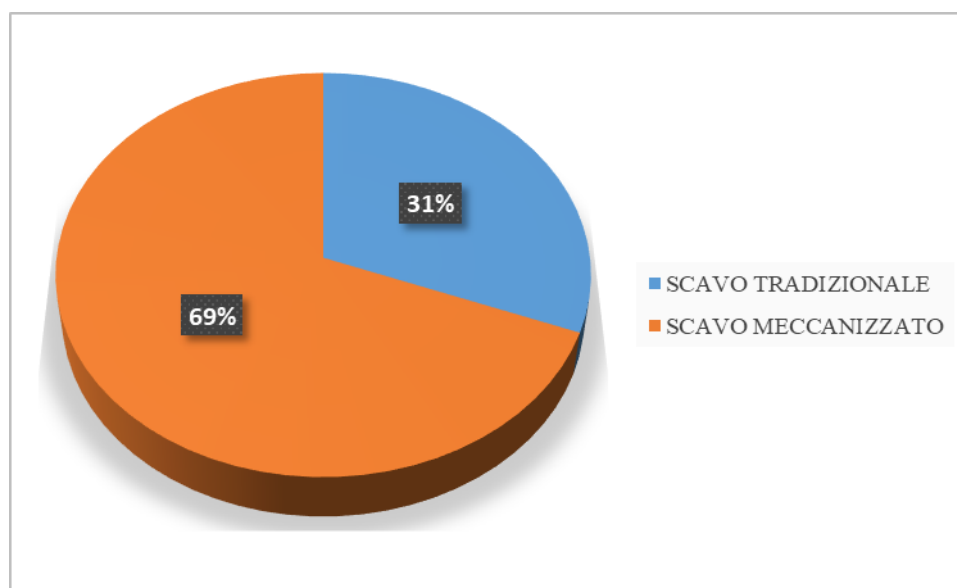
- dall'imbocco lato Bari (pk 41+473 BD) alla pk 41+675 (BD) situata 100 m dopo l'innesto della finestra costruttiva F5 che consente la traslazione delle TBM;
- nell'attraversamento, dalla pk 50+248 (BD) alla pk 56+175 (BD), per una lunghezza di 5927 m, dei terreni che presentano le maggiori complessità geotecniche: formazione delle Argille Scagliose, Argilliti Policrome del Calaggio, Argilliti con gessi di Mazzana di Forte, argille scagliose del Flysch Rosso del Frigento, complessivamente definite "Argille Scagliose" per brevità. Al fine di ridurre i tempi di costruzione dell'opera, è prevista la realizzazione di 3 finestre costruttive, che consentono di attaccare lo scavo su più fronti in contemporanea (cfr. § 7.3):
- dalla pk 56+175 (BD) alla pk 58+020 (BD) dove verrà realizzato il Punto Antincendio (cfr. § 7.2.1);
- dalla pk 68+274 (BD) alla pk 68+513 (BD) nella sezione a doppio binario e nel tratto di camerone con interasse binari 4-5 m.



	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

Sarà realizzato tramite scavo dall'alto il tratto da pk 68+143 (BD) a pk 68+274 (BD) che comprende le sezioni del camerone di transizione di maggiore luce (interasse binari 5-8 m e pozzo lancio TBM), date le caratteristiche dei terreni attraversati e le ridotte coperture.

In sintesi, la galleria Hirpinia sarà realizzata con metodo di scavo meccanizzato per una lunghezza pari a 18.595 m (BD) e con metodo tradizionale per una lunghezza pari a 8.315 m (BD) (Figura 22).



**Figura 22 Percentuali tratte in scavo tradizione e in scavo meccanizzato**

Rispetto alle soluzioni progettuali previste nella fase di Adeguamento del Progetto Preliminare (Rif. [10]), si evidenzia che la lunghezza di scavo con avanzamento in tradizionale è stata ridotta di circa 2.300 m a favore di un pari incremento della lunghezza in scavo meccanizzato a seguito delle indagini e degli approfondimenti dello studio geologico della presente fase progettuale.

Lo studio geologico ha infatti evidenziato la presenza, in luogo della formazione del Flysch Rosso della Daunia, della formazione del Flysch del Faeto con caratteristiche litostratigrafiche e meccaniche migliori, tali da consentire il prolungamento dello scavo con fresa da Bari verso Napoli. Inoltre, sulla base dei nuovi studi è stato possibile modificare l'ubicazione della finestra di lancio delle TBM (Finestra 5) avvicinandone l'innesto all'imbocco lato Bari, così da incrementare ulteriormente la lunghezza dello scavo meccanizzato.

Le indagini e gli studi della presente fase progettuale hanno confermato l'estensione della tratta nei terreni classificabili come "Argille Scagliose" (circa 6 km) e la caratterizzazione geotecnica di tali terreni hanno avvalorato le conoscenze circa il loro peculiare comportamento meccanico. Infatti, nella fase di scavo, per percorsi tensionali di riduzione dello stato tensionale si possono manifestare comportamenti deformativi significativi, con fenomeni di swelling e di squeezing, che producono elevate convergenze, chiusure del cavo, e sollecitazioni gravose sui rivestimenti nel lungo termine. Tale comportamento è accentuato per tensioni litostatiche elevate, quindi sotto alte coperture è sconsigliabile l'avanzamento con scavo meccanizzato e risulta più efficace lo

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

scavo in tradizionale per la sua maggiore flessibilità e per la possibilità di realizzare in avanzamento interventi di consolidamento. Nella tratta a bassa copertura, a partire dall'imbocco lato Napoli (pozzo lancio frese alla pk 68+140) fino alla pk 57+955 circa, è invece previsto l'avanzamento con scavo meccanizzato poiché gli stati tensionali associati alle basse coperture non fanno temere fenomeni deformativi difficili da controllare.

**Tabella 4 Configurazione/opere e metodo di scavo galleria Hirpinia**

Configurazione/Opere	Metodo di scavo	pk <sub>inizio</sub>	pk <sub>fine</sub>	Lunghezza
[-]	[-]	[m]	[m]	[m]
Galleria artificiale	-	41+435,91	41+448,41	12,5
Doppia canna	Tradizionale	41+448,41	41+651,41	203
Doppia canna singolo binario	Meccanizzato	41+674,90	50+146,04	8.471,14
Doppia canna singolo binario	Tradizionale	50+120,00	57+955,00	7.835
Doppia canna	Meccanizzato	57+955,00	68+140,69	10.185,69
Pozzo di lancio TBM	Scavo dall'alto	68+140,69	68+213,05	72,36
Camerone- Interasse 5 – 8 m	Scavo dall'alto	68+213,05	68+271,34	58,29
Camerone- Interasse 4 – 5 m	Tradizionale	68+271,34	68+367,03	95,69
Singola canna doppio binario	Tradizionale	68+367,03	68+510,41	143,38
Galleria artificiale	-	68+510,41	68+537,41	27

La galleria di sfollamento (F1) e le finestre costruttive (F2, F3, F4, F5) sono scavate in tradizionale, così come i collegamenti trasversali per la sicurezza (by-pass di esodo) e per le tecnologie.

### 11.1.1 Scavo meccanizzato

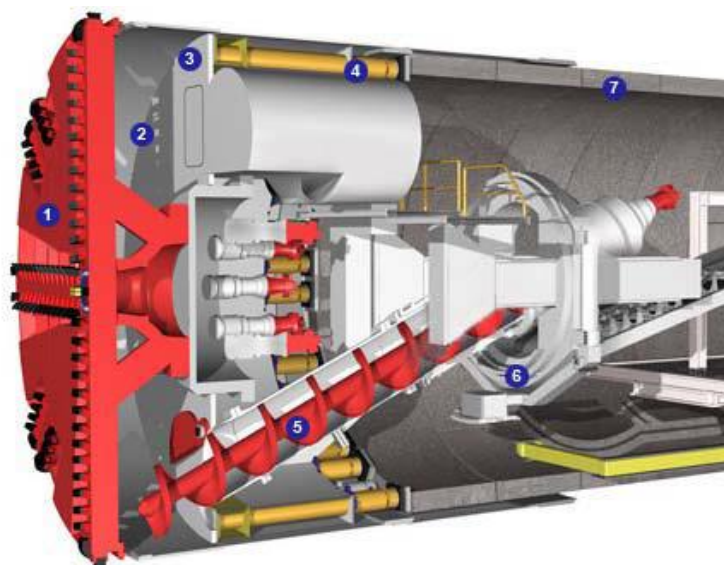
Il contesto geotecnico e le coperture rendono idonea una TBM di tipo EPB in grado di sostenere il fronte con la pressione del terreno in camera di scavo.

La sezione di avanzamento ha le seguenti caratteristiche:

- raggio interno: 4,20 m
- tipologia anello: universale
- numero conci: 6+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.

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

Per l'attraversamento di terreni con potenziale comportamento spingente, la TBM deve avere una geometria troncoconica e una lunghezza più ridotta possibile per ridurre l'attrito con il terreno (le suddette dimensioni saranno definite nelle successive fasi di progettazione). Il mantello, inoltre, deve essere dotato di un numero adeguato di fori per iniettare liquidi lubrificanti (per es. bentonite) per diminuire l'attrito tra mantello e terreno. La testa fresante deve garantire un sovrascavo superiore a quello standard, ottenuto con opportuni cutters riprofilatori. Il sovrascavo massimo sarà definito nelle successive fasi di progettazione.



**Figura 23 - Schema di una macchina TBM, tipo EPB (1. Testa Fresante; 2. Camera di scavo; 3. Parete di contenimento dotata di sistema d'accesso (camera iperbarica) alla camera di scavo; 4. Pistoni di avanzamento; 5. Coclea; 6. Erettore dei conci; 7. Anelli di sostegno già posti in Opera)**

### 11.1.2 Scavo tradizionale

In funzione delle caratteristiche geotecniche delle formazioni attraversate e del loro comportamento allo scavo, saranno applicate 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 è prevista l'installazione a ridosso del fronte di scavo di un rivestimento provvisorio costituito da spritz-beton fibrorinforzato e centine metalliche ed 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.

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

Nei paragrafi a seguire si riporta una sintetica descrizione delle sezioni tipo definite sia per il tratto a doppio binario che per il tratto a singolo binario della galleria linea, che trovano completa rappresentazione negli elaborati grafici di progetto.

Per le finestre costruttive, l'uscita/accesso di emergenza F1 e i by-pass le sezioni tipo sono state definite in coerenza quanto fatto per le sezioni della galleria di linea, adeguando gli interventi alle rispettive aree di scavo.

Per la distribuzione delle tratte di applicazione delle diverse sezioni tipo si rimanda invece ai profili geotecnici delle gallerie (Rif. [14]-Rif. [26]).

#### 11.1.2.1 Sezione A1

La sezione A1 prevede interventi di contenimento al contorno tramite centine e spritz-beton e può essere impiegata nelle tratte a comportamento del nucleo-fronte stabile (categoria A); ne è prevista l'applicazione nel Flysch di Faeto (FAE), nella zona che precede l'imbocco lato Bari, quando alla scala del fronte, la presenza della componente litoide è prevalente rispetto alla componente pelitica ( $L/P > 1$ ) e il grado di fratturazione della componente litoide è basso.

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

- scavo a piena sezione per sfondi di dimensioni massime 2,80 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN160 con passo 1,40 m  $\pm$  20%;
- arco rovescio (spessore 0,60 m) e murette in calcestruzzo non armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 5 diametri;
- calotta in calcestruzzo non armato (spessore 0,60 m) gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

#### 11.1.2.2 Sezione A2

La sezione A2 prevede interventi di contenimento al contorno tramite centine, spritz-beton e bullonatura radiale e può essere impiegata nelle tratte a comportamento del nucleo-fronte stabile (categoria A); ne è prevista l'applicazione nel Flysch di Faeto (FAE), nella zona che precede l'imbocco lato Bari, quando alla scala del fronte, la presenza della componente litoide è prevalente rispetto alla componente pelitica ( $L/P > 1$ ) e il grado di fratturazione della componente litoide è medio.

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

- scavo a piena sezione per sfondi di dimensioni massime 2,40 m;
- chiodatura radiale mediante 10/11 chiodi ad ancoraggio continuo  $\varnothing 24$  disposti in raggiera alternate, lunghezza 6,00 m, interasse longitudinale e trasversale 1,20 m. Per l'incidenza della chiodatura (numero) è prevista una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN160 con passo 1,20 m  $\pm$  20%;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

- arco rovescio (spessore 0,70 m) e murette in calcestruzzo non armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 5 diametri;
- calotta in calcestruzzo non armato (spessore 0,60 cm) gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

### 11.1.2.3 Sezione B1

La B1 è una sezione tronco-conica che prevede interventi di precontenimento del fronte e presostegno al contorno; ne è prevista l'applicazione nell'ambito della Formazione del Flysch di Faeto (FAE) con coperture inferiori a 30 m, quando, alla scala del fronte, la presenza della componente litoide è prevalente rispetto alla componente pelitica ( $L/P > 1$ ).

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 20 elementi strutturali in VTR,  $L=13,5$  m (sovrapposizione minima 5,0 m) cementati in foro con miscele cementizie. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- presostegno al contorno (entro un angolo di  $120^\circ$  in calotta) realizzato mediante 25 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 IPN160 con passo  $1,0 \text{ m} \pm 20\%$ ;
- arco rovescio (spessore 0,80 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1,5 diametri;
- calotta non armata (spessore variabile da 0,50 m a 1,15 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 4 diametri.

### 11.1.2.4 Sezione B2

La sezione B2 prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno e può essere impiegata nelle tratte a comportamento del nucleo-fronte stabile a breve termine (categoria B); ne è prevista l'applicazione nel Flysch di Faeto (FAE) e nella sua litofacies marnosa (FAEb) nelle tratte caratterizzate da coperture comprese tra 230 e 240 m in adiacenza alle formazioni delle Argille Varicolori e all'interno della formazione dei Peliti di Difesa Grande (STF2).

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 30 elementi strutturali in VTR,  $L=17,0$  m (sovrapposizione minima 7,0 m) cementati in foro con miscele cementizie. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 10,0 m;

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo 1,0 m  $\pm$  20%;
- arco rovescio (spessore 0,80 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1,5 diametri;
- calotta (spessore 0,80 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 4 diametri.

#### 11.1.2.5 Sezione C2

La sezione C2 prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno e può essere impiegata nelle tratte a comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C); ne è prevista l'applicazione nel Flysch di Faeto (FAE) e nella sua litofacies marnosa (FAEb) nelle tratte caratterizzate da coperture comprese tra 230 e 240 m in adiacenza alle formazioni delle Argille Varicolori e all'interno della formazione dei Peliti di Difesa Grande (STF2). È inoltre prevista l'applicazione nel tratto compreso tra le pk 50+250 e 56+175 all'interno della formazione delle Argille Varicolori caratterizzato da coperture massime di 230 m.

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 25 elementi strutturali in VTR, L=18,0 m (sovrapposizione minima 8,0 m) cementati in foro con miscele cementizie. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del  $\pm$ 20%;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 43 elementi strutturali in VTR, L=15,0 m (sovrapposizione minima 5,0 m) passo 0,50 m, cementati in foro con miscele espansive. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del  $\pm$ 20%;
- precontenimento al piede centina realizzato mediante 5+5 elementi strutturali in VTR, L=13,5 m cementati in foro con miscele espansive. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del  $\pm$ 20%;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 10,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo 1,0 m  $\pm$  20%;
- arco rovescio (spessore 0,90 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta (spessore 0,80 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

#### 11.1.2.6 Sezione C2p

La sezione C2p prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno (Figura 24) e può essere impiegata nelle tratte a comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C); ne è prevista l'applicazione nella formazione dei Peliti di Difesa Grande (STF2) e nel tratto compreso tra le pk 50+250 e 56+175 all'interno della formazione delle Argille Varicolori caratterizzato da coperture massime di 230 m.

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

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1V	02 D 07	RG	GN 00 00 001	A	47 di 63

- precontenimento del fronte realizzato mediante 30 elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 10,0 m) cementati in foro con miscele cementizie. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 45 elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 10,0 m) passo 0,50m, cementati in foro con miscele espansive. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- precontenimento al piede centina realizzato mediante 5+5 elementi strutturali in VTR, L=13,5 m cementati in foro con miscele espansive. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 10,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e centina singola HEB180 con passo 1,0 m  $\pm 20\%$ . Chiusura dell'arco rovescio provvisorio con centina puntone HEB180 con passo 1.00 m  $\pm 20\%$  e 0,25 m di spritz-beton;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore 0,90 cm) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

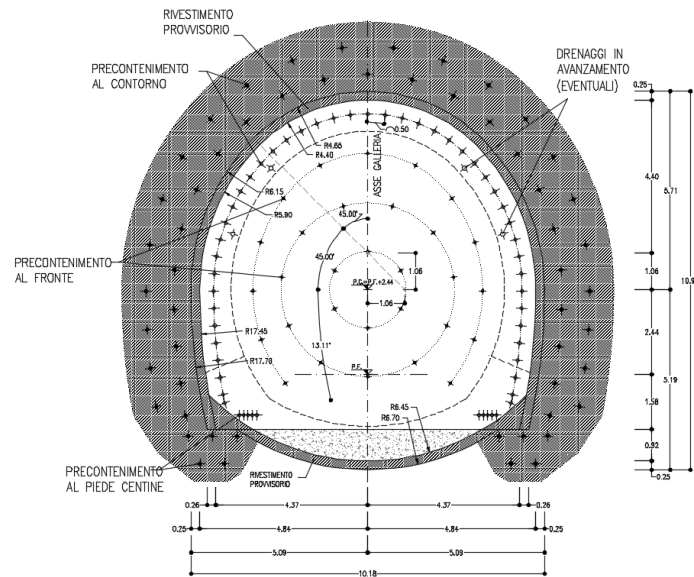


Figura 24 Sezione C2p

### 11.1.2.7 Sezione C2d

La sezione C2d prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno, è un rivestimento provvisorio in arco rovescio con centine scorrevoli; può essere impiegata nelle tratte a comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C); ne è prevista l'applicazione nel tratto compreso tra le pk 50+250 e 56+175 all'interno della formazione delle Argille Varicolori caratterizzato da coperture massime di 230 m.

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C2d, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 25 elementi strutturali in VTR, L=18,0 m (sovrapposizione minima 12,0 m) cementati in foro con miscele cementizie. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 60 elementi strutturali in VTR, L=15,0 m (sovrapposizione minima 9,0 m) passo 0,50m, cementati in foro con miscele espansive. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del  $\pm 20\%$
- 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 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e centina scorrevole TH29 con passo 1,0 m  $\pm 20\%$  anche in arco rovescio;
- arco rovescio (spessore 0.80 m) in calcestruzzo armato gettato ad una distanza massima dal fronte pari a 2 diametri;
- calotta (spessore 0,80 cm) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 5 diametri.

#### 11.1.2.8 Sezione C2 Doppio Binario

La sezione C2 doppio binario prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno e può essere impiegata nelle tratte a comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C); ne è prevista l'applicazione nel tratto a bassa copertura delle Argille Varicolori nella litofacies argilloso marnosa FYR a componente pelitica prevalente ( $L/P \ll 1$ ).

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 40 elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 10,0 m) cementati in foro con miscele cementizie. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 51 elementi strutturali in VTR, L=16,0 m (sovrapposizione minima 6,0 m) passo 0,50 m, cementati in foro con miscele espansive. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- precontenimento al piede centina realizzato mediante 8+8 elementi strutturali in VTR, L=12,0 m cementati in foro con miscele espansive. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 10,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e centine HEB240 con passo 1,0 m  $\pm 20\%$ ;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore 0,90 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.



	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

## 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. [14]÷Rif. [26]).

### 11.2.1 Instabilità del fronte e del cavo

Per il tratto realizzato con metodo tradizionale potenziali rischi di instabilità del fronte e del cavo possono interessare le tratte di galleria a basse coperture, che riguardano le zone di imbocco 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 all'interno della formazione delle "Argille Scagliose" è prevista l'adozione di avanzamenti con sfondi di lunghezza limitata, preceduti da interventi di consolidamento al fronte e al al contorno e la posa della centina per la chiusura del cavo in arco rovescio.

Per le tratte realizzate 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.

### 11.2.2 Comportamento rigonfiante

Come emerso dalle risultanze delle prove di rigonfiamento impedito e dalle prove di rigonfiamento secondo il metodo Huder-Amberg alcune delle formazioni attraversate presentano un comportamento rigonfiante (sviluppo di deformazioni indotte dalla variazione di stato tensionale causata dallo scavo). I risultati ottenuti dalle prove a disposizione evidenziano dei valori del tutto in linea con le attese e con i dati di letteratura a disposizione in merito a prove di rigonfiamento su terreni di caratteristiche geotecniche simili.

Il dimensionamento del rivestimento definitivo adottato per le sezioni in tali formazioni ha pertanto tenuto conto degli effetti di tale fenomeno in termini di pressioni agenti al contorno del cavo.

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

L'analisi dei rilievi topografici della cartografia di progetto ha consentito di individuare gli edifici più significativi ai fini dell'interferenza con le opere in progetto. Nello specifico sono stati considerati quattro edifici fra le progressive km 0+100 e km 0+300 (Edifici 1 – 4) interessati potenzialmente dallo scavo della Finestra F1 ed un singolo edificio (Edificio 5), alla progressiva km 68 + 135, potenzialmente interessato dalla realizzazione del pozzo di lancio TBM.

La metodologia di lavoro si è articolata nelle seguenti fasi:

1. analisi della subsidenza: definizione dei cedimenti potenzialmente indotti sugli edifici dallo scavo della Finestra F1 e dalla realizzazione del pozzo di lancio TBM mediante metodi semi-empirici in condizioni di campo libero.
2. studio del danneggiamento degli edifici senza interazione terreno-struttura: valutazione dei potenziali danni indotti sugli edifici in superficie dalle curve di subsidenza e profili di abbassamento definite al punto 1, mediante il metodo semplificato della “trave equivalente”; 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.

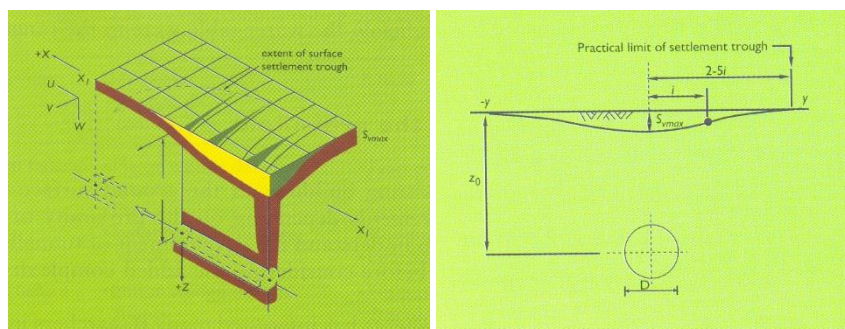
### 11.2.3.1 Cedimenti in condizioni di campo libero – Finestra F1

La curva dei cedimenti indotti a piano campagna in senso trasversale all’asse della galleria è schematizzabile, con buona approssimazione, con una curva di probabilità normale, secondo la seguente equazione:

$$S_v = \frac{0.313 \cdot V_p \cdot \phi^2}{(k \cdot z_0)} \cdot e^{\left(\frac{-y^2}{2 \cdot i^2}\right)}$$

dove:

- $S_v$  : cedimento nel punto posto alla distanza  $y$  dall’asse della galleria;
- $V_p$  : volume della conca di subsidenza in superficie per unità di lunghezza;
- $\phi$  : diametro della galleria;
- $k$  : coefficiente adimensionale dipendente dalla natura dei terreni interessati;
- $z_0$  : profondità dell’asse della galleria dal piano campagna;
- $i = k \cdot z_0$  : distanza del punto di flesso della curva di subsidenza dall’asse della galleria.

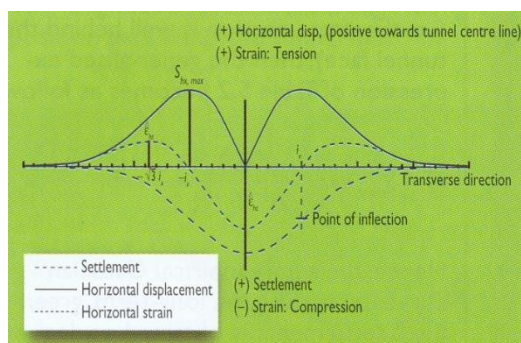


**Figura 25 Conca di subsidenza e curva trasversale dei cedimenti**

In senso longitudinale all’asse della galleria la subsidenza è schematizzabile, con buona approssimazione, con la curva integrale della funzione definita per l’andamento trasversale dei cedimenti.

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>				
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>

Gli spostamenti (e le deformazioni) orizzontali associati ai cedimenti possono calcolarsi, a partire da questi ultimi, ipotizzando che il vettore spostamento complessivo sia sempre diretto verso l'asse della galleria.



**Figura 26 Spostamenti e deformazioni orizzontali**

Le analisi sono state condotte con valori di  $V_p$  pari a 1%, 1,5%, 2% e 2,5%, in modo da analizzare sia scenari deformativi in linea con le attese, sia scenari di rischio legati a eventuali imprevisti in fase di scavo.

Per il coefficiente  $k$  è stato assunto un valore pari a 0,50, rappresentativo di terreni a comportamento prevalentemente coesivo, come previsto dalla stratigrafia di progetto per tale finestra (STF2).

### 11.2.3.2 Profilo di cedimenti verticali attesi a tergo dell'opera di sostegno – Pozzo di lancio TBM

Per quanto riguarda il pozzo di lancio TBM, noto lo spostamento orizzontale massimo dell'opera di sostegno dal modello di calcolo, è possibile stimare il valore del cedimento verticale massimo ed il profilo di cedimenti verticali a tergo della stessa a partire da diagrammi adimensionalizzati funzione del tipo di cinematismo (superficiale o profondo, a seconda se l'opera sia a sbalzo oppure vincolata) e della distanza di influenza dello scavo ("P.I.Z" – Primary Influence Zone", funzione della geometria dello scavo e della stratigrafia di progetto (Rif. [36]; Rif. [37])).

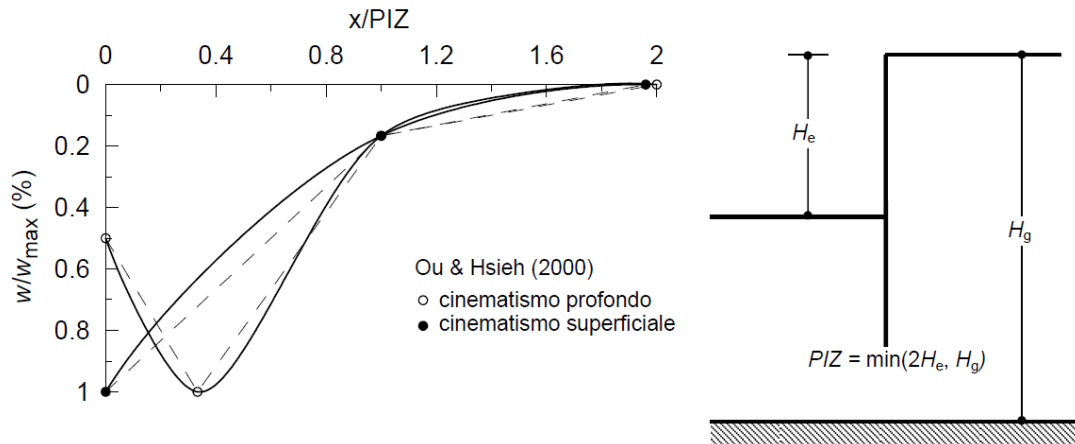


Figura 27 Profilo dei cedimenti verticali a tergo dell'opera di sostegno

Procedendo dunque con la metodologia proposta (Rif. [36]; Rif. [37]), il profilo di abbassamento a tergo dell'opera di sostegno risulta essere quello illustrato in (Figura 28)

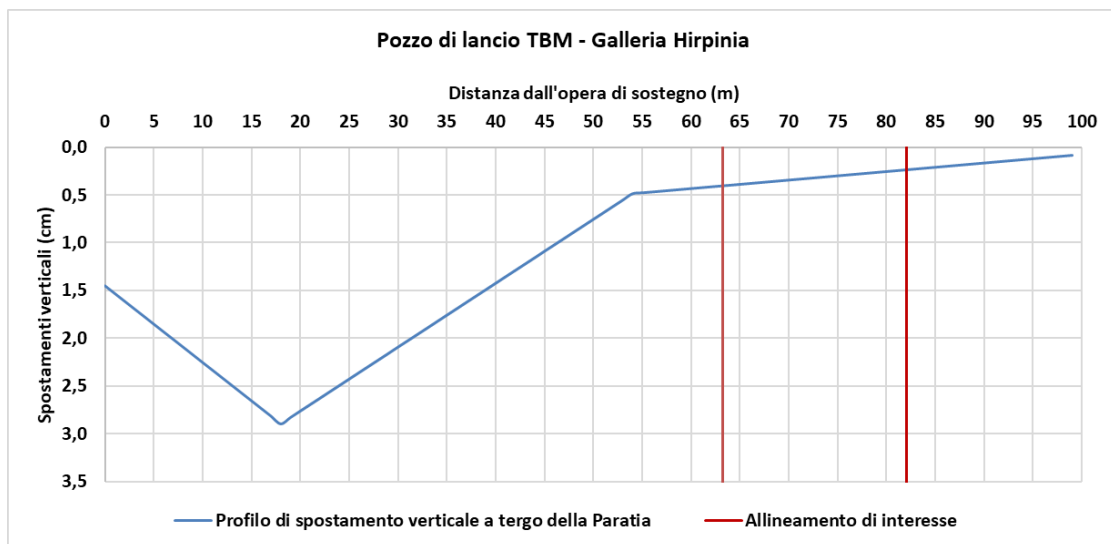


Figura 28 Valutazione dei cedimenti attesi a tergo della paratia

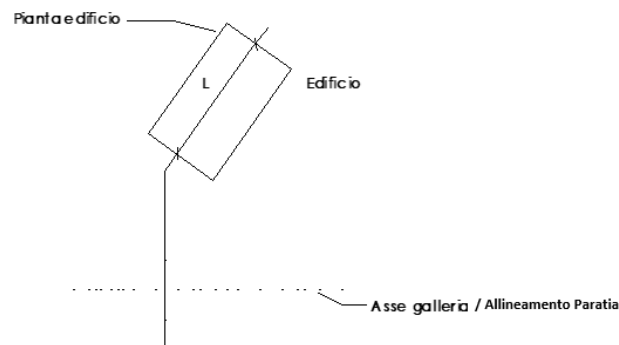
### 11.2.3.3 Valutazione del danneggiamento degli edifici e definizione delle categorie di danno

Per le caratteristiche geometriche degli edifici sono stati considerati i rilievi topografici della cartografia di progetto. La tipologia strutturale degli edifici, a favore di sicurezza, è stata assunta di muratura portante.

Ciascun edificio presenta due piani fuori terra dell'altezza di 3 m ciascuno ed inoltre è stata ipotizzata la presenza del piano di posa delle fondazioni profondo 1 m da piano campagna.

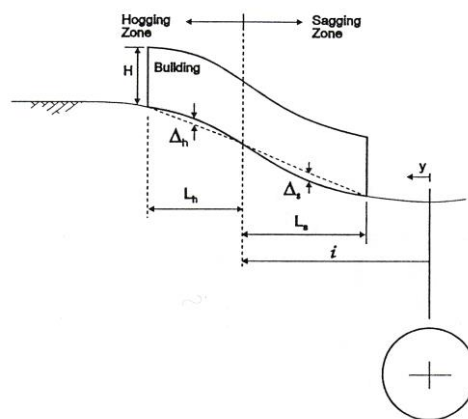
Gli edifici sono stati analizzati nel piano trasversale all'asse della galleria e dell'opera di sostegno, considerando gli effetti combinati dei cedimenti e degli spostamenti orizzontali.

Secondo il metodo della trave equivalente le interferenze sono schematizzate come travi elastiche prive di peso, di altezza  $H$  e lunghezza  $L$ ; per edifici che in generale non si sviluppano ortogonalmente all'asse delle opere in questione, la lunghezza  $L$  è definita secondo lo schema riportato nella figura seguente:



**Figura 29 Definizione della lunghezza della trave equivalente**

Alla trave equivalente così definita viene imposto il profilo dei cedimenti calcolato in condizioni di campo libero.



**Figura 30 Metodo della trave equivalente**

Devono distinguersi le tratte cosiddette di "sagging", in cui il profilo dei cedimenti presenta concavità rivolta verso l'alto e le deformazioni orizzontali sull'interferenza sono di compressione, e le tratte cosiddette di "hogging", in cui il profilo dei cedimenti presenta concavità rivolta verso il basso e le deformazioni orizzontali sono di estensione.

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

Per ciascuna di queste tratte, di lunghezza  $L_i$ , dal calcolo dei rapporti di inflessione  $\Delta/L_i$ , e per combinazione delle singole componenti di deformazione (flessionali  $\epsilon_f$ , di taglio  $\epsilon_t$  ed orizzontali  $\epsilon_y$ ), si determina la massima deformazione di estensione  $\epsilon_{totale}$ .

Alla massima deformazione di estensione calcolata, viene fatta corrispondere una stima del livello di danno (composto da sei classi, da 0 a 5) atteso sull'interferenza, al quale vengono fatti corrispondere dei valori limite di deformazione a trazione, come nella Tabella seguente:

**Tabella - 5 Tabella riepilogativa parametri indica per la definizione delle categorie di danno**

<b>Categoria di danno e corrispondenti deformazioni limite</b> <b>(M.D. Boscardin &amp; E.G. Cording, 1989)</b>		
<b>Categoria di danno</b>	<b>Intensità del danno*</b>	<b>Deformazione limite di allungamento <math>\epsilon_{lim}</math> (%)</b>
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

Per valori delle deformazioni di estensione entro i limiti della categoria di danno 2, sono attesi solo danni estetici. In categoria 3 si sviluppano danni che compromettono parzialmente la funzionalità della struttura. Alle categorie 4 e 5 corrispondono danni di tipo strutturale.

Quale limite ammissibile da considerare a garanzia delle interferenze, si assume il valore della deformazione di estensione di 0.15%, che segna il confine tra la 2a e la 3a categoria di danno (Tabella - 5).

La procedura sopra esposta consente di analizzare tutti gli edifici ed avere un primo responso in merito alla categoria di danno con un approccio comunque conservativo poiché si trascura l'interazione terreno-struttura, ammettendo cioè che l'edificio segue il profilo di abbassamenti calcolato in condizioni di campo libero.

Per gli edifici caratterizzati da una categoria di danno  $\leq 2$ , a cui corrispondono danni estetici lievi, si ritiene che tale approccio di calcolo conservativo determini la peggiore configurazione di danno possibile sull'edificio e pertanto si ritiene di non dover approfondire ulteriormente il grado di dettaglio delle analisi.

Per gli edifici che ricadono in categoria di danno  $\geq 3$ , per la quale corrispondono invece danni moderati, si devono invece approfondire le analisi precedentemente eseguite utilizzando un metodo di calcolo che consente di tenere in conto nelle analisi della rigidezza dell'edificio.

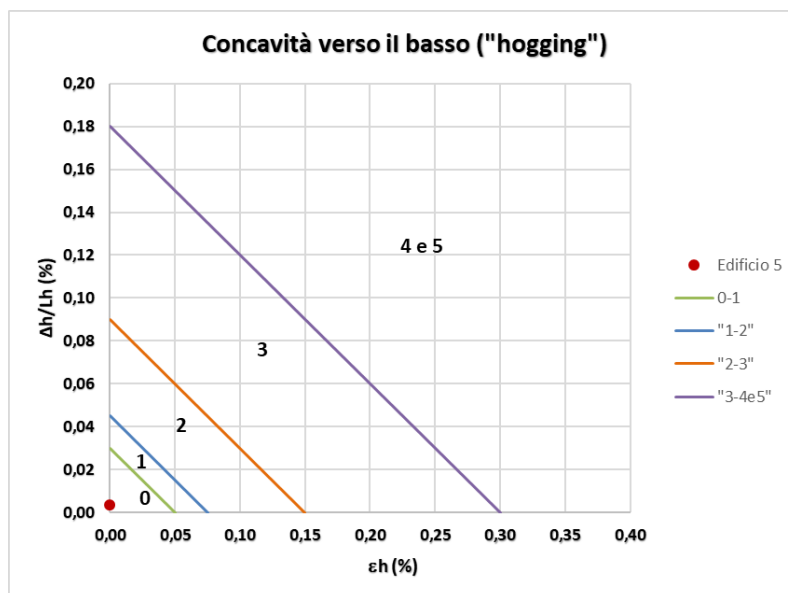
### 11.2.3.4 Analisi dei Risultati

Nella Tabella seguente sono riassunti i risultati delle analisi condotte per ogni interferenza in termini di categoria di danno attesa per la Finestra F1, dove l'ultima colonna riporta la massima categoria di danno calcolata nelle diverse condizioni considerate:

Edificio	Progressiva (km)	$z_0$ (m)	$X_d$ (m)	$X_s$ (m)	$k = 0,5$				Categoria di Danno
					$V_p = 1$ (%)	$V_p = 1,5$ (%)	$V_p = 2$ (%)	$V_p = 2,5$ (%)	
1	0 + 100	25,3	28	10	1	2	2	2	2
2	0 + 150	34,9	-27	-37	0	0	1	1	1
3	0 + 222	49,7	-26	-42	0	0	0	0	0
4	0 + 290	65,7	26	0	0	0	0	0	0

**Figura 31** Categorie di danno potenziale per gli edifici indagati – Finestra F1

Per quanto riguarda il pozzo di lancio TBM, si segue il metodo proposto da Burland & Wroth (Rif. [38]) calcolando i rapporti di inflessione nel caso di "sagging" e "hogging" (nel caso in esame l'edificio è sottoposto esclusivamente ad un profilo di cedimenti che presenta concavità verso il basso) e ricostruendo l'abaco che permette di identificare la categoria di danno nella quale si ricade:



**Figura 32** Categorie di danno potenziale per l'edificio indagato – Pozzo lancio TBM

Dai risultati esposti si evince che quattro edifici analizzati ricadono in categoria di danno 0/1 a cui corrispondono effetti trascurabili sugli edifici interferenti. Solamente l'edificio 1 ricade in categoria di danno 2 (danni lievi).

Poiché il metodo di analisi utilizzato è caratterizzato da ipotesi cautelative i risultati ottenuti si riferiscono alla peggiore configurazione di danno possibile.

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

Non si ritiene dunque necessario effettuare ulteriori approfondimenti relativamente al comportamento degli edifici.

#### 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 e dal carico idraulico.

In particolare, le formazioni a permeabilità maggiore, ma comunque medio-bassa ( $10^{-6} \text{ m/s} \leq K \leq 10^{-8} \text{ m/s}$ ) presenti nella tratta, in studio, sono rappresentate dalle seguenti formazioni:

- Flysch di Faeto – (FAE), attraversato per circa 5000 metri;
- Marne argillose del Toppo Capuana (TPC) attraversato per circa 500 metri;
- Peliti di Difesa Grande (STF2), presente per circa 2700 metri lungo la galleria di linea, lungo la finestra costruttiva F2 e l'uscita/accesso di emergenza F1;
- Membro pelitico-arenaceo del fiume Misciano (BNA2) attraversato per circa 4300 m;
- Membro di Flumeri (ANZ2) attraversato per circa 2000 m.

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 nel tratto realizzato con metodo di scavo tradizionale, le sezioni tipo di scavo e consolidamento prevedono l'esecuzione di drenaggi al fronte e l'impermeabilizzazione a tergo del rivestimento definitivo di calotta.

#### 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. [12]), 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 (Rif. [12]).

In un tale contesto, ed in ragione della presenza di elevate coperture per buona parte delle gallerie in progetto, è possibile affermare come l'impatto dello scavo delle gallerie sui punti d'acqua (pozzi e sorgenti) sarà, nel complesso, modesto. In questa situazione, il parametro DHI, che esprime un fattore di rischio relativo tra tutti i punti analizzati, assume valenza non tanto come strumento di previsione dell'impatto, quanto come indirizzo per l'individuazione dei punti d'acqua da monitorare. Alla luce di quanto esposto, si consiglia pertanto il monitoraggio dei 25 punti d'acqua caratterizzati da indice DHI medio e alto

#### 11.2.6 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



	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

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.

Successivamente sono state condotte indagini di approfondimento; 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;

I risultati derivanti dall'analisi bibliografica/storica e dalle indagini di approfondimento hanno confermato la presenza di gas nelle formazioni interessate dagli scavi.

Relativamente al tratto realizzato con metodo tradizionale 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, in base al numero ed al peso attribuito ai parametri che concorrono a caratterizzare la formazione interessata dallo scavo della galleria.

Nel caso specifico, sulla base dello studio e delle indagini sopra dette, è stato possibile associare alla galleria di linea nel tratto realizzato con scavo tradizionale, alle finestre costruttive e all'uscita di emergenza F1 la classe di rischio gas 2 come definita in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

**Tabella 6 – Estratto Nota Interregionale n. 28 (NIR 28)**

<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,
-----------------	--

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IF1V	02 D 07	RG	GN 00 00 001	A	58 di 63

	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.
--	---

La Nota Interregionale, definendo tipologie di impianti, macchinari, attrezzature e procedure, può costituire un utile riferimento anche per la gestione del rischio gas in fase realizzativa.

Anche relativamente al tratto realizzato con metodo meccanizzato, la TBM dovrà essere opportunamente equipaggiata per gestire il potenziale rischio di presenza di gas.

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 può fare riferimento anche al *Piano di Sicurezza e Coordinamento* (PSC).

### 11.2.7 Esposizione ambientale e attacco chimico

Al fine di valutare l'eventuale attacco chimico al quale potrebbe essere sottoposto il calcestruzzo impiegato per i rivestimenti definitivi delle opere in sotterraneo, sono state avviate prove per la determinazione della concentrazione degli eventuali agenti aggressivi presenti nel sottosuolo: ione solfato  $SO_4^-$  nei terreni e nelle acque, ione ammonio  $NH_4^+$  e ione magnesio  $Mg^{++}$  nelle acque, presenza di  $CO_2$  aggressiva nelle acque e ambiente acido ( $ph \leq 6.5$ ).

Si fa riferimento alla UNI-EN 206-2016 che definisce gli intervalli di concentrazione dei composti aggressivi contenuti nelle acque (Figura 33) che individuano la classe di esposizione ambientale del calcestruzzo. La UNI 11104-2016, in applicazione della EN 206, stabilisce le misure preventive da adottare in termini di massimo rapporto acqua/cemento (a/c), minima classe di resistenza e minimo contenuto in cemento ( $kg/m^3$ ) (Figura 34). Inoltre, in presenza di attacco solfatico la UNI 9156 definisce anche la necessità di impiego di cemento a moderata, alta o altissima resistenza ai solfati.

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

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

Figura 33 – Prospetto 2 della UNI-EN 206 del 2016

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

a) Quando il calcestruzzo non contiene aria inglobata, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI CENrS 12390-0, UNI CENrR 15177 o UNI 7087 per la relativa classe di esposizione. 11 valore minima di aria inglobata del 4% può ritenersi adeguato per calcestruzzi specificati con b) Dupper >20mm, per Dupper inferiori limite minima andrà opportunamente aumentato (ad esempio 5% per Dupper tra 12 mm e 16 mm).

Quattro si ritenga opportuno impiegare calcestruzzo aerato anche in classe di esposizione XF1 si adottano le specifiche di composizione prescritte per le classi XF2 e XF3.

c) Cementi resistenti ai solfati sono definiti dalla UNI EN 1271-1 e su base nazionale dalla UNI 9156. La UNI9156 classifica i cementi resistenti ai solfati in tre classi: moderata, alta e altissima resistenza solfatica. La classe di resistenza solfatica del cemento deve essere prescritta in relazione alla classe di esposizione del calcestruzzo secondo il criterio di corrispondenza della UNI 11147-1.

d) Quando si applica il concetto di valore k il rapporto massimo a/c e il contenuto minima di cemento sono calcolati in conformità al punto 5.2.2.

Figura 34 – Classe di esposizione secondo la UNI 11104-2016

I dati ad oggi disponibili forniscono concentrazioni di ione solfato SO<sub>4</sub><sup>-</sup> nei terreni attraversati dalla galleria Hirpinia, tali da definire una prevalente classe di esposizione ambientale XA3 per il calcestruzzo dei rivestimenti definitivi.

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>60 di 63</b>

### 11.2.8 Sismicità

Come evidenziato negli elaborati specialistici (Rif. [12]), il tracciato dell'opera in sotterraneo attraversa un territorio a forte rischio sismico. Gli eventi sismici più forti sono avvenuti in corrispondenza dei settori di catena e lungo le faglie. In particolare, l'Appennino Dauno ricade in uno dei settori di catena con la più alta manifestazione di attività sismica dovuta ai numerosi sistemi di faglie presenti lungo la Catena Appenninica.

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF1V	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 61 di 63

## 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 tratte realizzate con metodo di scavo tradizionale 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.

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

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>62 di 63</b>

- il controllo dei principali parametri macchina desunti direttamente in fase di scavo dalla fresa tra cui: pressione di supporto del fronte di scavo, densità del materiale nella camera di scavo, pressione e volume del materiale di intasamento iniettato a tergo dei conci, peso e volume del materiale scavato, condizionamento del terreno;
- il monitoraggio dello stato tensionale nel rivestimento definitivo mediante barrette estensimetriche saldate sui ferri di armatura dei conci e celle di carico tra i giunti longitudinali degli stessi;
- 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 nelle tratte a bassa copertura mediante assestimetri;
- il monitoraggio piezometrico per la misura della variazione della quota di falda nelle tratte a bassa copertura;
- il monitoraggio inclinometrico per la misura degli spostamenti orizzontali nelle tratte a bassa copertura.

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

Le grandezze individuate come rappresentative dovranno essere rilevate e controllate con un sistema di misura che abbia un grado di precisione compatibile con i valori attesi 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>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1V</b>	LOTTO <b>02 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>63 di 63</b>

### 13 CONCLUSIONI

Nell'ambito della Progettazione Definitiva del secondo lotto funzionale Hirpinia - Orsara per il raddoppio della tratta Apice – Orsara, sull'itinerario Napoli-Bari, è prevista la realizzazione di una galleria (galleria Hirpinia) di linea a doppia canna singolo binario di lunghezza pari a 27 km.

La progettazione della galleria Hirpinia, condotto secondo il Metodo ADECO-RS (cfr. Rif. [27]), si è articolata nelle seguenti fasi:

- **fase conoscitiva:** è stata finalizzata allo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico in cui sarà realizzata la galleria Hirpinia, le opere per la sicurezza e le finestre costruttive;
- **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 e sono inoltre state individuati i rischi potenziali che possono presentarsi nella fase di realizzazione della galleria;
- **fase di terapia:** sulla base dei risultati delle precedenti fasi, sono state individuate le modalità di scavo e gli interventi di stabilizzazione idonei (sezioni tipo) per realizzare le opere in sotterraneo in condizioni di sicurezza e sono 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.