

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. GALLERIE

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI - BARI

RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA

ELABORATI GENERALI

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

SCALA:

-

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

IF1W 00 D 07 RG GN0000 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	Emissione Esecutiva	L. Perazzoni	Sett.2018	P.Pitoli	Sett.2018	D.Aprea	Sett.2018	A.Scotti Dicembre 2018 ITALFERR S.p.A. U.O. GALLERIE Cott. Ing. Alessandro Scotti Ordine degli Ingegneri di Roma n° 1994
B	Emissione Esecutiva	L. Perazzoni	Dic.2018	P.Pitoli	Dic.2018	D.Aprea	Dic.2018	
		G. Quarzicci						

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ITINERARIO NAPOLI - BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</p>					
<p>Relazione tecnica delle opere in sotterraneo</p>	<p>COMMESSA IF1W</p>	<p>LOTTO 00 D 07</p>	<p>CODIFICA RG</p>	<p>DOCUMENTO GN 00 00 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 2 di 52</p>

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	SCOPO DEL DOCUMENTO .....	4
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
3.1	LEGGI E NORMATIVE COGENTI .....	4
3.2	NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI.....	4
3.3	PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF) .....	4
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
4.1	DOCUMENTI REFERENZIATI .....	5
4.2	DOCUMENTI CORRELATI.....	6
4.3	DOCUMENTI SUPERATI .....	6
5	ALLEGATI .....	6
6	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO .....	6
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	7
7.1	LA GALLERIA ORSARA .....	7
7.1.1	<i>Camerone di diramazione</i> .....	10
7.1.2	<i>Opere di imbocco</i> .....	11
7.1.3	<i>Interventi di consolidamento</i> .....	15
7.1.4	<i>Sintesi galleria Orsara</i> .....	18
7.2	LA SICUREZZA IN GALLERIA .....	18
7.2.1	<i>By-pass di esodo</i> .....	18
7.2.2	<i>Cunicolo disconnessione fumi</i> .....	20
7.3	OPERE TECNOLOGICHE .....	21
7.3.1	<i>By pass tecnologici</i> .....	21

7.3.2	Nicchie.....	22
8	METODOLOGIA DI LAVORO .....	23
9	FASE CONOSCITIVA .....	24
9.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO LUNGO IL TRACCIATO .....	24
9.2	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	26
9.3	RISCHI POTENZIALI.....	32
10	FASE DI DIAGNOSI.....	36
10.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO.....	36
10.2	DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO.....	37
10.3	DEFINIZIONE DELLE TRATTE A COMPORTAMENTO TENSIO-DEFORMATIVO OMOGENEO.....	37
11	FASE DI TERAPIA .....	39
11.1	METODOLOGIA DI SCAVO.....	39
11.1.1	Scavo meccanizzato.....	39
11.1.2	Scavo tradizionale.....	41
11.1.2.1	Sezione A1 .....	42
11.1.2.2	Sezione A2 .....	43
11.1.2.3	Sezione B1 .....	44
11.1.2.4	Camerone di diramazione.....	45
11.2	AZIONI DI MITIGAZIONE DEI POTENZIALI RISCHI.....	48
12	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO.....	50
12.1	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA.....	50
13	CONCLUSIONI .....	52

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

## 1 PREMESSA

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

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. Per l’analisi degli aspetti geotecnici e strutturali si rimanda alla Relazione geotecnica e di calcolo (Rif. [14]).

## 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;

### 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).

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>5 di 52</b>

## 4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 4.1 Documenti Referenziati

Come input per il presente documento sono stati utilizzati i seguenti documenti:

Rif. [10] ITALFERR, Progetto di fattibilità tecnico economica (2017);

Rif. [11] ITALFERR, Dossier dati e requisiti di base per avvio PD - IF1W00D12ROMD0000001B – luglio 2018.

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

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 IF1W00D07F5GN0000001A “Galleria Orsara - Relazione geotecnica e di calcolo della galleria naturale”;

Rif. [15] U.O. Gallerie, doc IF1W00D07F5GN0000001B “Profilo geotecnico – Galleria Orsara - Tav. 1 di 3”;

Rif. [16] U.O. Gallerie, doc IF1W00D07F5GN0000002B “Profilo geotecnico – Galleria Orsara - Tav. 2 di 3”;

Rif. [17] U.O. Gallerie, doc IF1W00D07F5GN0000003B “Profilo geotecnico – Galleria Orsara - Tav. 3 di 3”;

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

## 4.2 Documenti Correlati

- Rif. [18] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.).
- Rif. [19] 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. [20] Patacca E. & Scandone P. (2007) – Geology of the Southern Apennines. Bollettino della Società Geologica Italiana, vol.spec. 7, 75-199;
- Rif. [21] 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. [22] AGI, 1977 – Associazione Geotecnica Italiana. (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. A.G.I;
- Rif. [23] CNR- Bollettino Ufficiale (Norme Tecniche) - A. VII - n°36. Stabilizzazione delle terre con calce;
- Rif. [24] 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. [25] Atkinson, J. H. (2000). Non-linear soil stiffness in routine design. The 40th Rankine Lecture. Geotechnique 50, No. 5, 487–508;
- Rif. [26] Marinos, P., Hoek, E., (2001). Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch. Bulletin of Engineering Geology and Environment.

## 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.

## 7 DESCRIZIONE DELL'OPERA

### 7.1 La galleria Orsara

Il tracciato della tratta Bovino-Orsara, di lunghezza complessiva pari a circa 12 km, si sviluppa prevalentemente in sotterraneo con la galleria Orsara. Ubicata fra le progressive di tracciato (b.d.) km 31+038 (imbocco lato Bari) e km 40+939 (imbocco lato Napoli), la galleria Orsara presenta una lunghezza complessiva in sotterraneo di circa 10 km, di cui 9845 m in naturale e 56 m in artificiale in corrispondenza dei due imbocchi. Partendo dall'imbocco lato Bari, posto ad una quota di 249 m s.l.m., il tracciato procede in salita con pendenza del 12.00‰ fino alla pk 40+565 dove la pendenza si riduce gradualmente fino all'imbocco lato Napoli posto ad una quota pari a circa 361 m s.l.m (Figura 1). La copertura massima è di circa 400 metri.

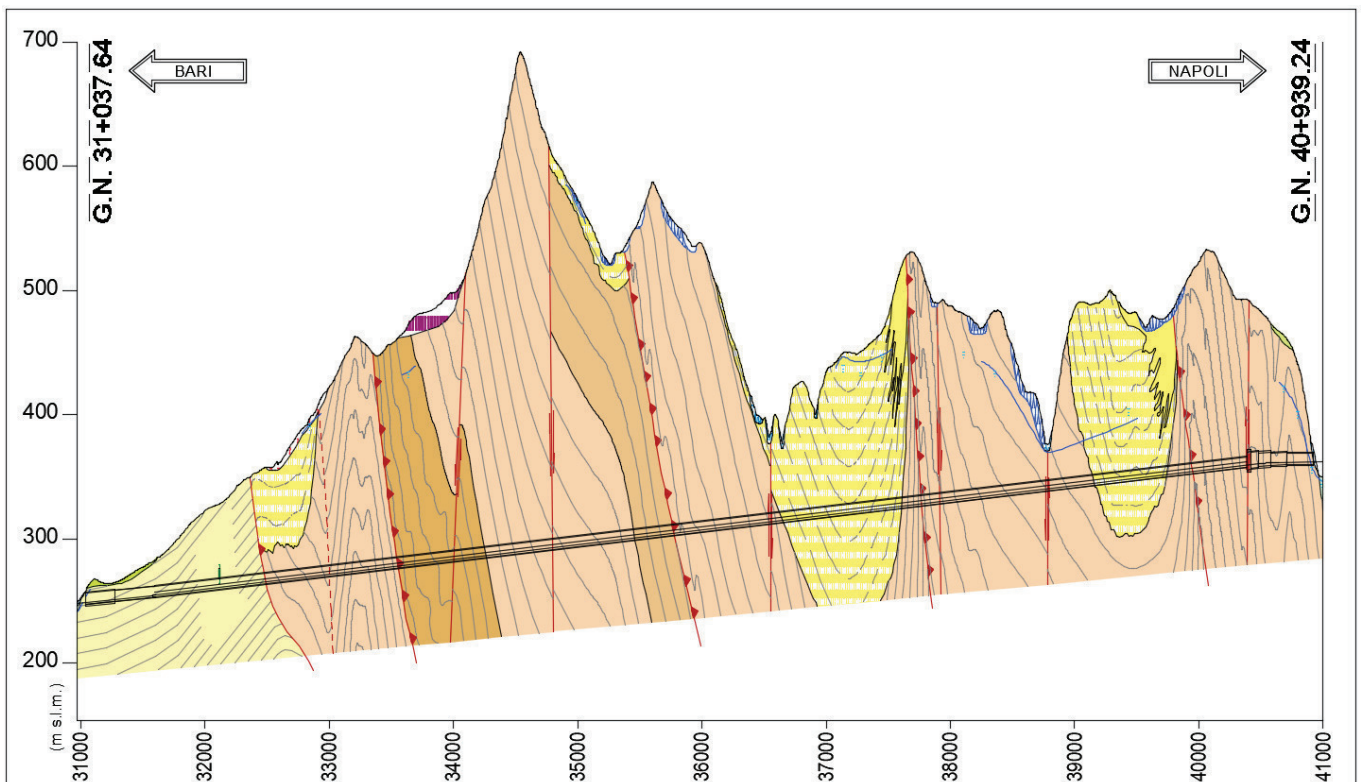


Figura 1 Profilo della galleria Orsara

La galleria presenta una configurazione a doppia canna singolo binario per una lunghezza di 9348 m a partire dall'imbocco lato Bari, con collegamenti trasversali tra le canne ad interasse non superiore a 500m. Per esigenze di tracciato, la galleria presenta invece una configurazione a singola canna doppio binario nel tratto di circa 530 m che precede l'uscita lato Napoli; la transizione tra le due configurazioni è garantita dalla presenza di un camerone di diramazione di lunghezza pari a circa 320 m. Nel tratto a doppia canna singolo binario l'interasse tra le gallerie presenta un valore minimo di circa 15 m in corrispondenza della paratia di imbocco lato Bari e all'ingresso del

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>8 di 52</b>

camerone di diramazione. Tra questi due punti estremi l'interasse aumenta progressivamente fino al valore di 40 m che rimane costante per tutto lo sviluppo a meno del tratto di attraversamento della formazione del Monte Sidone dove la distanza fra le due canne è stata incrementata a 50 m per ridurre l'interferenza in fase di scavo.

La tratta con configurazione a singolo binario è prevista in scavo meccanizzato, mentre quella a doppio binario ed il camerone sono previsti in scavo tradizionale.

Le gallerie sono progettate 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 di progetto sono in accordo con le sezioni tipo del Manuale di Progettazione RFI (Rif. [8]). Nel tratto a doppia canna singolo binario sono adottate le sezioni tipo per velocità  $200 < v \leq 250$  km/h (cfr. Tavole 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 per velocità  $160 < v \leq 200$  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 di intradosso adottata per lo scavo in meccanizzato (Figura 2) ha raggio interno pari a 4,20 metri ed area libera di poco superiore ai 55 m<sup>2</sup>, mentre nel tratto a singola canna doppio binario è prevista una sezione policentrica (Figura 3) con raggio di calotta e piedritti pari a 5,40 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 presentano un marciapiede d'esodo con andamento del ciglio variabile in funzione della quota del binario attiguo. Nello specifico l'altezza del ciglio risulta pari a + 55 cm, misurata perpendicolarmente al piano di rotolamento del binario attiguo, mentre la distanza del ciglio dal bordo interno della più vicina rotaia è pari a 113 cm, misurata parallelamente al piano di rotolamento (Rif. [8]).

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.



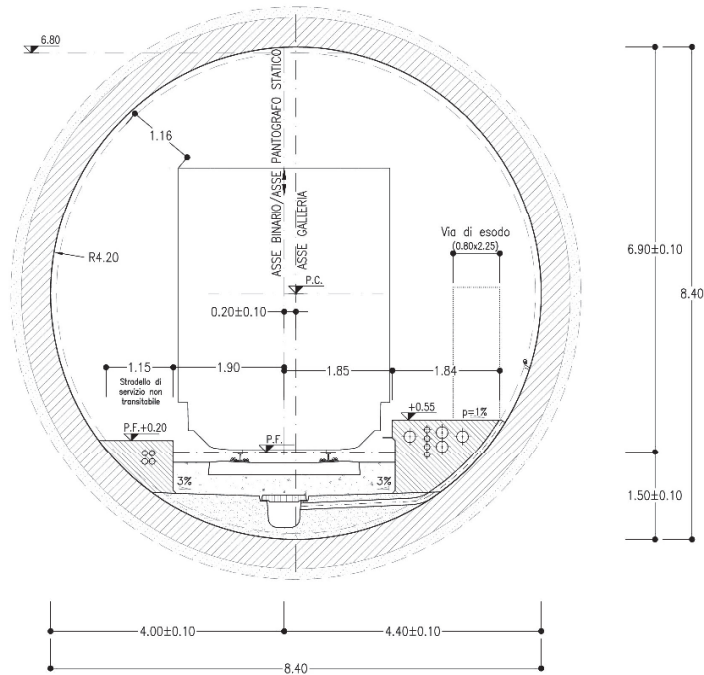


Figura 2 Sezione di intradosso gallerie di linea a singolo binario per scavo meccanizzato (sezione corrente).

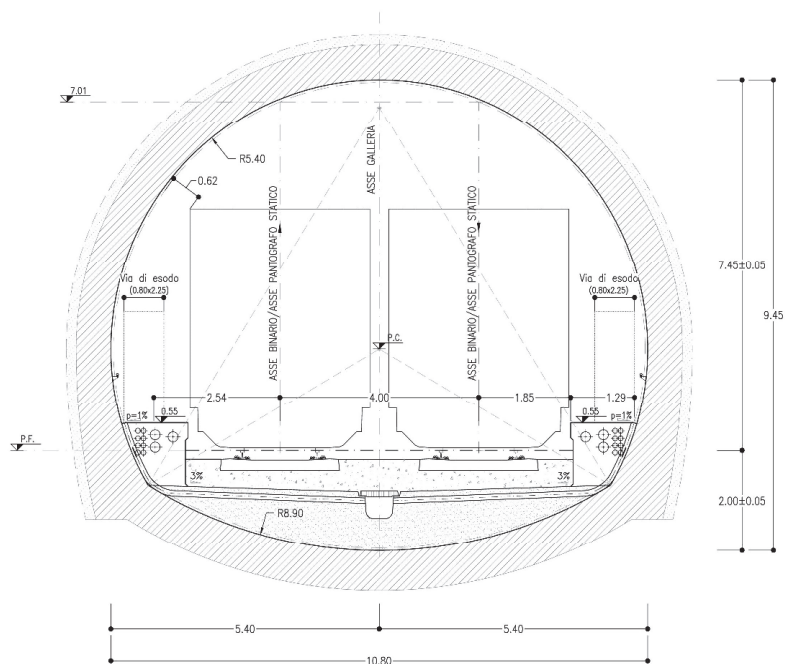


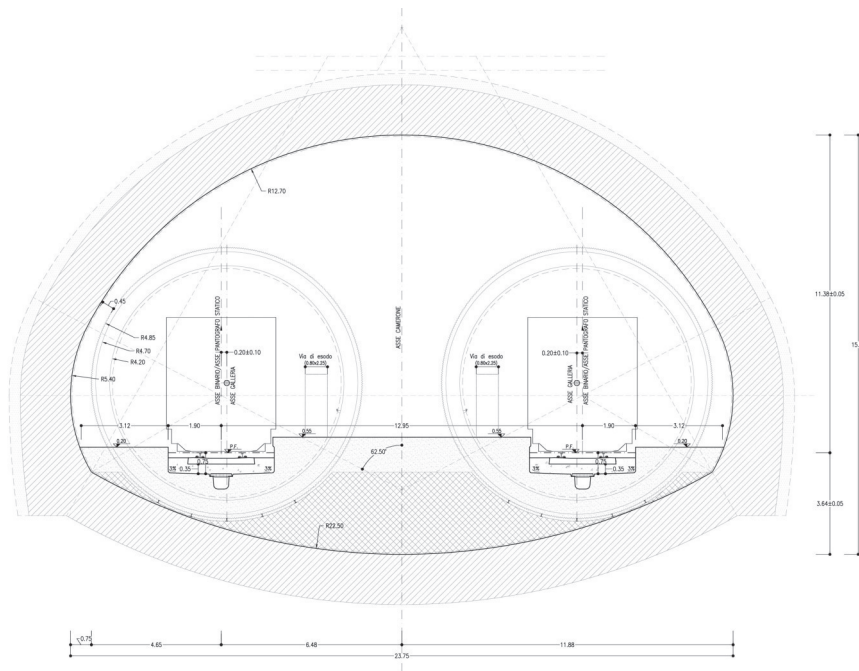
Figura 3 Sezione di intradosso galleria di linea a doppio binario per scavo in tradizionale (sezione corrente).

### 7.1.1 Camerone di diramazione

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 12,95 m circa (sezione di maggiore dimensione rappresentata in Figura 4), passa a 4 m di interasse nella sezione a doppio binario. In particolare, sono previste 4 diverse sezioni di intradosso:

**Tabella 1 - Sezioni del camerone di diramazione**

	Lunghezza [m]	Area libera [m2]
CAMERONE INTERASSE 4-5	127	93
CAMERONE INTERASSE 5-8	97	128
CAMERONE INTERASSE 8-11	62	168
CAMERONE INTERASSE 11-12,95	35	276

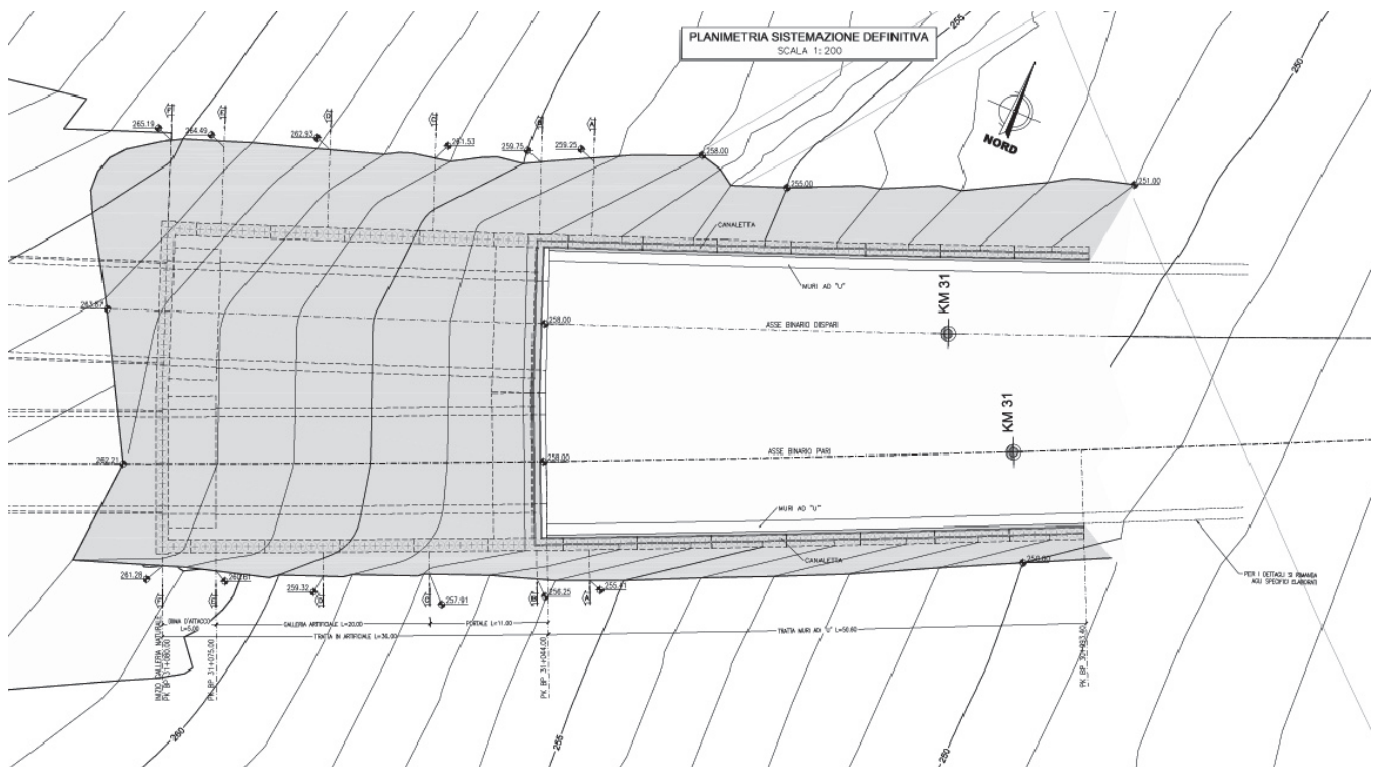


**Figura 4 Sezione di intradosso camerone di diramazione - tratto interasse 11-12,95 m.**

## 7.1.2 Opere di imbocco

### Imbocco lato Bari

Le opere di imbocco della galleria Orsara lato Bari ricadono tra le progressive (b.d.) km 31+038 e km 31+073. La configurazione della galleria a partire da tale imbocco è a doppia canna singolo binario. In corrispondenza della paratia frontale l'interasse tra le due canne è di circa 15m (Figura 5).



**Figura 5** Planimetria delle opere di imbocco della galleria Orsara lato Bari.

L'opera di sostegno è costituita da pali in calcestruzzo armato  $\phi 1000$  posti ad interasse di 1 m con lunghezza compresa tra 10 m e 31 m. Il sistema di vincolo è costituito da tiranti: la paratia presenta al massimo 5 ordini di tiranti attivi, in trefoli, spazati tra loro di 2 m. La struttura di sostegno si estende per una lunghezza complessiva pari a 203 m. La massima altezza di scavo è di circa 15 m ed è in corrispondenza della paratia frontale.

Le principali fasi realizzative dell'opera di sostegno sono le seguenti:

- creazione del piano di lavoro per l'esecuzione della paratia di pali;
- esecuzione paratia di pali e della trave di testata in c.a.;
- scavo di sbancamento del terreno fino a 50 cm sotto la quota di realizzazione del primo ordine di tiranti;
- immediata messa in opera di spritz beton fibrorinforzato si spessore medio pari a 10 cm;
- perforazione, inserimento trefoli di armatura e cementazione del bulbo di ancoraggio dei tiranti.

- posa in opera delle travi di ripartizione;
- ripetizione delle fasi di cui al punto 3 fino al raggiungimento della quota di fondo scavo;
- esecuzione dei drenaggi.

Preventivamente all'attacco del tratto in naturale è prevista l'esecuzione di una sella in calcestruzzo armato funzionale alla traslazione delle TBM fino alla paratia di imbocco e di una dima in calcestruzzo, di lunghezza pari a 5 m, armata all'intradosso con centine in profilati d'acciaio e all'estradosso con una doppia rete elettrosaldata successivamente gettata con calcestruzzo. Sarà inoltre montata la struttura di spinta necessaria per la partenza delle macchine.

Il tratto in artificiale della galleria di linea ha una lunghezza complessiva di 36 m di cui 5 m sotto dima, 20 m di galleria artificiale e 11 m di concio portale. La galleria artificiale ha geometria policentrica di larghezza 10 m al piano dei centri e altezza 10 m da intradosso calotta ad intradosso arco rovescio. Il ritombamento della galleria, nel piano trasversale, è massimo in corrispondenza della sezione di imbocco e pari a circa 5,5 m.

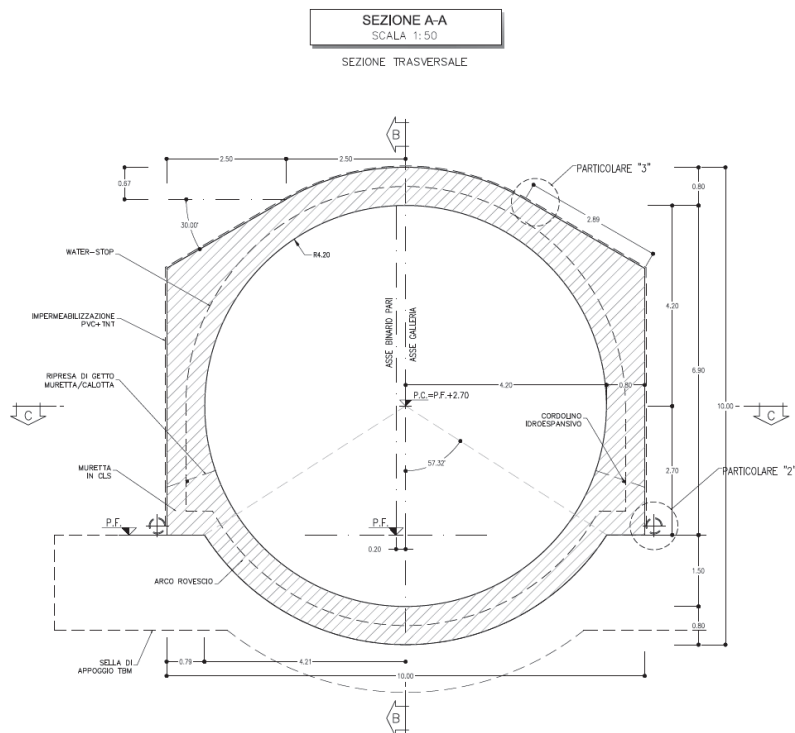
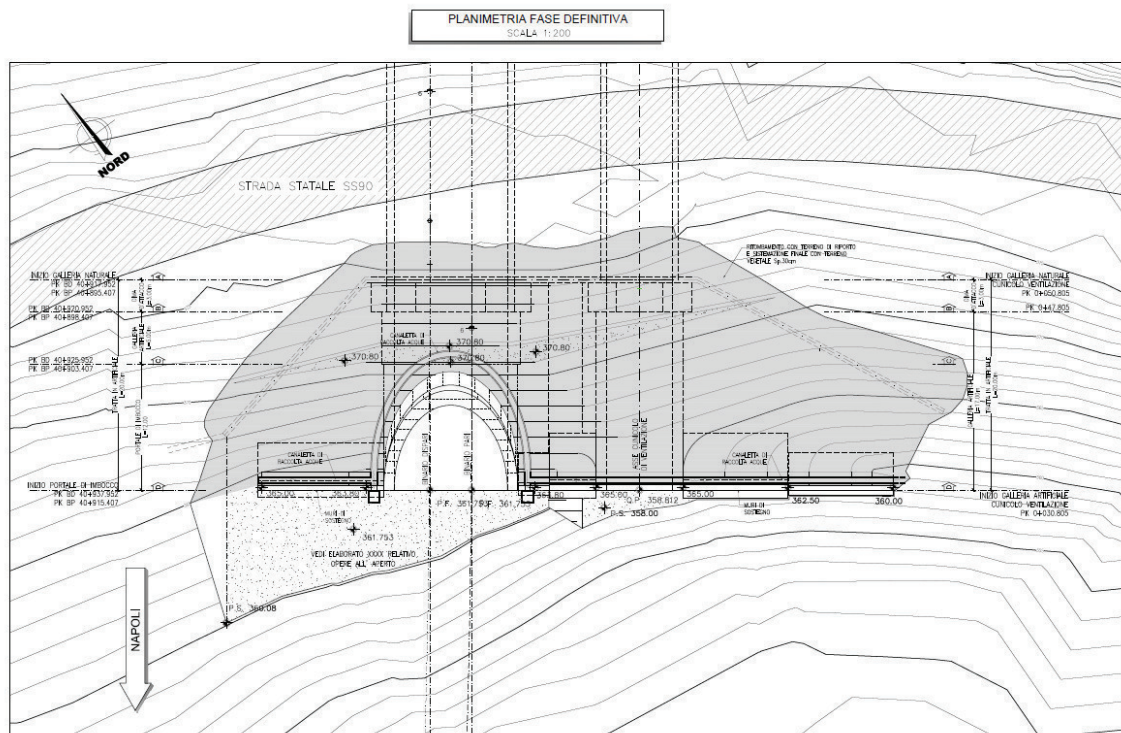


Figura 6 Carpenteria galleria artificiale di linea con sella.

A completamento dello scavo meccanizzato viene realizzato il rivestimento definitivo del tratto in artificiale e la chiusura con un muro portale da cui il tracciato prosegue all'aperto tra muri ad U; quindi l'opera può essere ultimata con il ritombamento e la sistemazione definitiva.

### Imbocco lato Napoli

L'imbocco della galleria Orsara lato Napoli ricade a valle della strada statale SS90 di Puglia. In corrispondenza della sezione di imbocco della Galleria di linea la distanza della paratia di imbocco dall'asse stradale è pari a circa 13 m. L'imbocco comprende anche quello del cunicolo di disconnessione fumi (cfr. § 7.2.2) il cui asse, in corrispondenza della paratia di attacco, è posto ad una distanza pari a 18 m dalla galleria di linea.



**Figura 7 Planimetria delle opere di imbocco della galleria Orsara lato Napoli.**

La struttura di sostegno è costituita da una berlinese di micropali ( $\phi 168,3$  mm), posti ad un interasse di 0,4 m con lunghezza compresa tra 6 e 19 m. Il sistema di vincolo è costituito da tiranti: la berlinese presenta al massimo 4 ordini di tiranti spaziate tra loro di 2,4 m. La struttura di sostegno si estende per una lunghezza complessiva pari a 78,2 m. La massima altezza di scavo è di circa 15 m ed è in corrispondenza del cunicolo di ventilazione.

Come descritto nel dettaglio nel successivo paragrafo, a partire dalla paratia di imbocco è prevista la realizzazione di un intervento di consolidamento mediante iniezione di miscele cementizie al contorno della futura galleria naturale nella zona della calotta. Tale intervento verrà realizzato durante le fasi di scavo di ribasso tra paratie secondo le geometrie di progetto.

Le principali fasi realizzative dell'opera di sostegno sono le seguenti:

- sistemazione del versante e creazione del piano di lavoro per l'esecuzione della berlinese d'imbocco;

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>14 di 52</b>

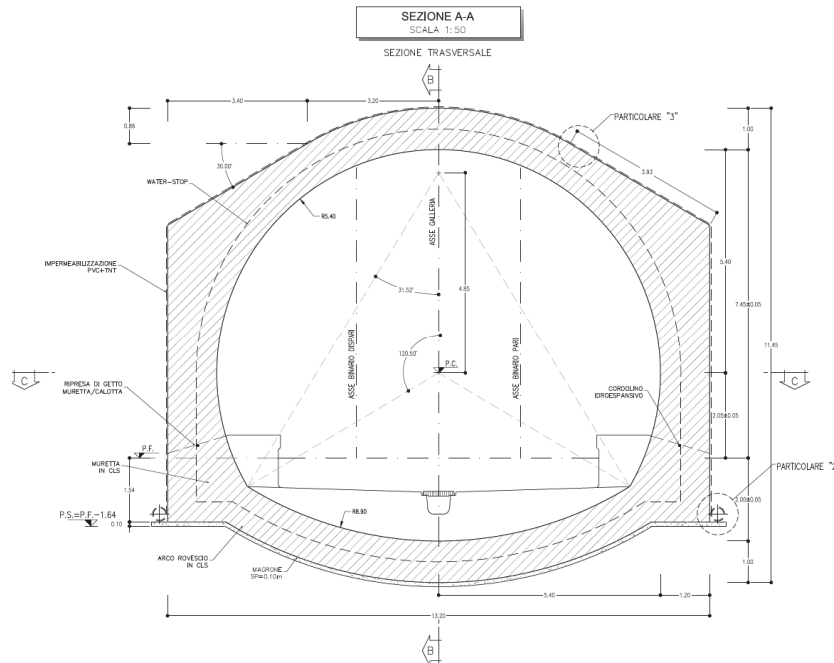
- esecuzione paratia di micropali e della trave di testata in c.a. e posa in opera della canaletta di raccolta e smaltimento acque a tergo;
- scavo di sbancamento del terreno fino a 50 cm sotto la quota di realizzazione del primo ordine di tiranti;
- immediata messa in opera di spritz beton fibrorinforzato di spessore medio pari a 15 cm;
- esecuzione intervento di consolidamento al contorno della galleria secondo le geometrie di progetto;
- perforazione, inserimento trefoli di armatura e cementazione del bulbo di ancoraggio dei tiranti. Posa in opera delle travi di ripartizione.
- ripetizione delle fasi di cui al punto 3 fino al raggiungimento della quota di fondo scavo;
- esecuzione dei drenaggi corti.

Al termine dello scavo fra paratie verranno effettuati gli interventi relativi all'attacco della galleria naturale:

- esecuzione del presostegno mediante ombrello di infilaggi metallici;
- esecuzione del preconsolidamento del fronte di scavo del concio d'attacco.

Preventivamente all'attacco del tratto in naturale, a contrasto della paratia frontale, è prevista l'esecuzione di una dima in calcestruzzo, di lunghezza pari a 3 m, armata all'intradosso con centine in profilati d'acciaio e all'estradosso con una doppia rete elettrosaldata successivamente gettata con calcestruzzo. Il collegamento della dima con il terreno a tergo della paratia viene garantito da un ombrello di infilaggi metallici, realizzati partendo dal fronte esterno della paratia.

Il tratto in artificiale della galleria di linea ha una lunghezza complessiva di 20 m di cui 3 m sotto dima, 5 m di galleria artificiale e 12 m di portale di imbocco. La galleria artificiale ha geometria policentrica di larghezza 10,80 m al piano dei centri e altezza 9,45 m da intradosso calotta ad intradosso arco rovescio. Il ritombamento della galleria, nel piano trasversale, è massimo in corrispondenza della sezione di imbocco e pari a circa 3.0 m.



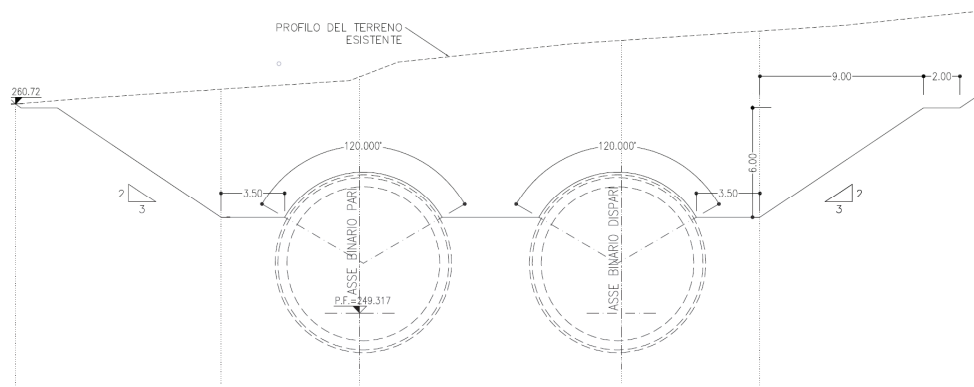
**Figura 8 Carpenteria galleria artificiale di linea**

A completamento dell'imbocco viene realizzato il rivestimento definitivo del tratto in artificiale e la chiusura con un portale con taglio a becco di flauto secondo le geometrie di progetto; quindi l'opera può essere ultimata con il ritombamento e la sistemazione definitiva.

### 7.1.3 Interventi di consolidamento

A partire dall'imbocco lato Bari la prima tratta di galleria, di lunghezza pari a 260 m, interessa un settore sub-pianeggiante con coperture molto basse, inferiori ai 5-10 m sulla calotta, in un contesto caratterizzato da terreni aventi caratteristiche geotecniche modeste, tali da non garantire la formazione dell'effetto arco necessario per la stabilità della galleria. Al fine di evitare la progettazione di una lunga gallerie artificiali tra paratie multi-ancorate, con importanti sbancamenti e strutture interne in c.a., è stata studiata una soluzione alternativa che consente di ottimizzare tempi e costi, procedendo già in questa tratta a basse coperture con lo scavo mediante TBM.

Tale soluzione prevede di realizzare artificialmente le coperture minime sufficienti al successivo scavo in naturale, tramite la preventiva esecuzione di un rilevato in terreno stabilizzato a calce, costituendo così una "protesi" strutturale che consenta l'instaurarsi dell'effetto arco anche a fronte delle ridotte coperture. Le indagini eseguite hanno mostrato che la formazione delle Argille Subappennine (ASP) interessata dagli scavi propedeutici alla realizzazione della protesi presenta caratteristiche in linea con quanto richiesto dal Capitolato RFI-Parte II-Sezione 18 e dal B.U. CNR n. 36 (Rif. [23]) ai fini dell'accettabilità del materiale per il trattamento con calce.



**Figura 9 Schema scavi per realizzazione protesi**

Le fasi esecutive delle protesi prevedono:

*FASE 1: Scavo di sbancamento fino al piano di fondazione della protesi*

Si esegue su tutta l'area interessata uno scavo di sbancamento con pendenza 3/2 fino alla quota d'imposta della protesi (Figura 9). Laddove l'altezza di scavo supera i 6m, si realizzerà una berma intermedia di larghezza pari a 2m. Al fine di limitare l'estensione degli sbancamenti, in un tratto di circa 70 m a tergo dell'opera di imbocco è prevista la realizzazione di una paratia in micropali multitirantata a monte delle gallerie di linea. Lo scavo e la successiva realizzazione della protesi dovranno essere eseguiti per campioni, aventi un'estensione non superiore a 50 m. Nel caso di fermi prolungati delle attività, le pareti dello scavo dovranno essere protette dall'azione delle acque di ruscellamento e di infiltrazione in maniera adeguata. È prevista inoltre la realizzazione, a monte del ciglio superiore dello sbancamento, di un fosso di guardia rivestito in cls. Al fine di verificare eventuali spostamenti durante le fasi di scavo, dovranno essere installati capisaldi topografici e dovrà essere eseguito un monitoraggio con frequenza adeguata alle fasi di scavo.

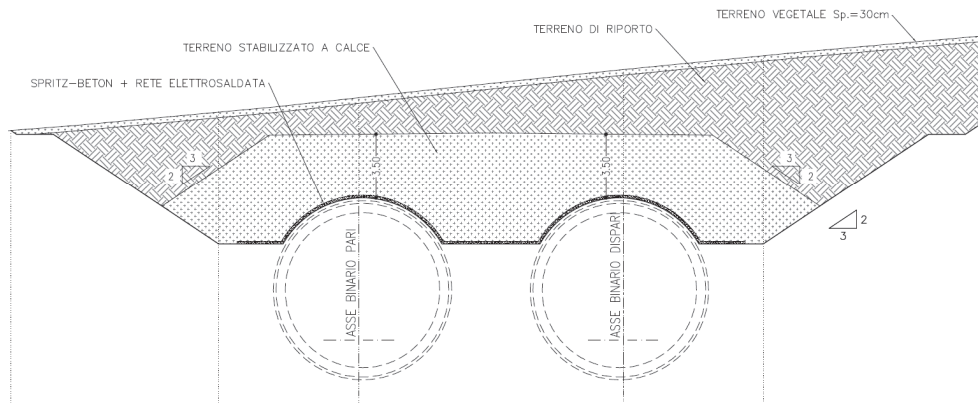
*FASE 2: Realizzazione della protesi*

Si realizza uno spessore di terreno trattato a calce di 3,50 m al di sopra della calotta, fino ad ottenere le geometrie previste in progetto, previa realizzazione di uno strato protettivo di spritz-beton, di spessore medio pari a 15 cm, armato con rete elettrosaldada  $\Phi 6$  15x15 cm al di sopra della riprofilatura del terreno eseguita nella fase precedente. L'esecuzione di questo intervento ha lo scopo di facilitare lo scavo della sottostante galleria, separando la sezione di scavo dal terreno costituente la protesi.

*FASE 3: Reinterro finale.*

Ultimato lo spessore previsto per la protesi si provvede a ripristinare il piano campagna mediante reinterro con terreno (Figura 10).





**Figura 10 Schema finale protesi**

Per poter al meglio calibrare i parametri operativi della miscela di terreno per il trattamento a calce, nella fase realizzativa dovrà essere preventivamente eseguita una campagna indagini specifica, mediante prove di laboratorio e di campo come richiesto dal Capitolato RFI-Parte II-Sezione 18.

Inoltre, al fine di verificare su scala reale quanto desunto dallo studio della miscela scelta dovrà essere predisposto un campo prova secondo le indicazioni riportate nel Capitolato RFI-Parte II-Sezione 18.

In prossimità dell'imbocco lato Napoli la galleria sottoattraversa la strada S.S. 90 delle Puglie con coperture rispetto all'estradosso della calotta di circa 6 m. Al fine di migliorare le caratteristiche meccaniche dello strato di terreno più superficiale, si prevede di realizzare un intervento di consolidamento, mediante iniezione di miscele cementizie a pressione e volume controllate, realizzato direttamente dalla paratia di imbocco, propedeutico allo scavo della galleria di linea. Relativamente alle caratteristiche della miscela utilizzata nonché alle fasi esecutive dell'intervento si rimanda agli specifici elaborati progettuali. Al fine di controllare gli eventuali cedimenti del piano stradale durante le fasi di scavo dell'imbocco e della galleria naturale, dovranno essere installati dei capisaldi topografici e dovrà essere eseguito un monitoraggio con frequenza adeguata alle fasi di scavo.

A tergo dell'opera di imbocco è prevista l'esecuzione di uno sbancamento propedeutico alla realizzazione delle opere di sostegno. Alla luce dei limitati spazi dovuti alla presenza della strada S.S. 90 lo sbancamento avrà una pendenza 1 a 1 che rende necessaria l'esecuzione di un intervento di stabilizzazione.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

#### 7.1.4 Sintesi galleria Orsara

Nella Tabella 2 sono riportate le progressive (valutate rispetto al binario dispari), a partire dall'imbocco lato Bari, della galleria Orsara, distinguendo le diverse tratte sulla base della configurazione e delle opere

**Tabella 2 – Progressive della galleria di linea della tratta Bovino – Orsara**

<b>Configurazione</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	31+037,64	31+073,64	36
Doppia canna singolo	31+073,64	40+386,05	9.282,40
Camerone di diramazione	40+386,05	40+706,62	320,42
Singola canna doppio binario	40+706,62	40+919,24	212,62
Galleria artificiale	40+919,24	40+939,24	20

## 7.2 La sicurezza in galleria

I requisiti di sicurezza previsti per la galleria Orsara 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 le indicazioni del manuale di progettazione delle opere civili di RFI (RFI DTC SI MA IFS 001 A) del 22/12/2017 (Rif. [8]).

### 7.2.1 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 non superiore a 500 metri. Complessivamente è prevista la realizzazione di 18 by-pass di esodo con innesto sul binario pari di linea alle progressive riportate nella seguente Tabella 3.

**Tabella 3 Ubicazione by-pass di esodo**

<b>BY-PASS DI ESODO</b>	<b>p.k. innesto su b.p.</b>
by-pass n°1	31+521.41
by-pass n°2	32+018.41
by-pass n°3	32+515.41

by-pass n°4	33+012.41
by-pass n°5	33+510.41
by-pass n°6	34+008.41
by-pass n°7	34+499.41
by-pass n°8	34+992.41
by-pass n°9	35+484.41
by-pass n°10	35+976.41
by-pass n°11	36+468.41
by-pass n°12	36+963.41
by-pass n°13	37+458.41
by-pass n°14	37+953.41
by-pass n°15	38+448.41
by-pass n°16	38+938.41
by-pass n°17	39+428.41
by-pass n°18	39+918.41

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]).

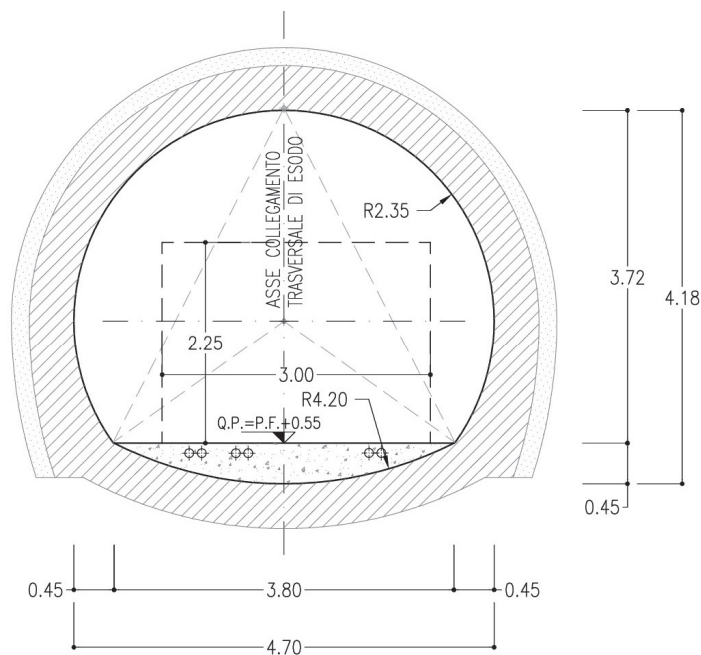


Figura 11 Sezione di intradosso by pass di esodo

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

Non sono previsti impianti e tecnologie all'interno del by-pass di esodo, ad esclusione di quanto necessario per la realizzazione della cosiddetta "zona-filtro" (Figura 12); 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)

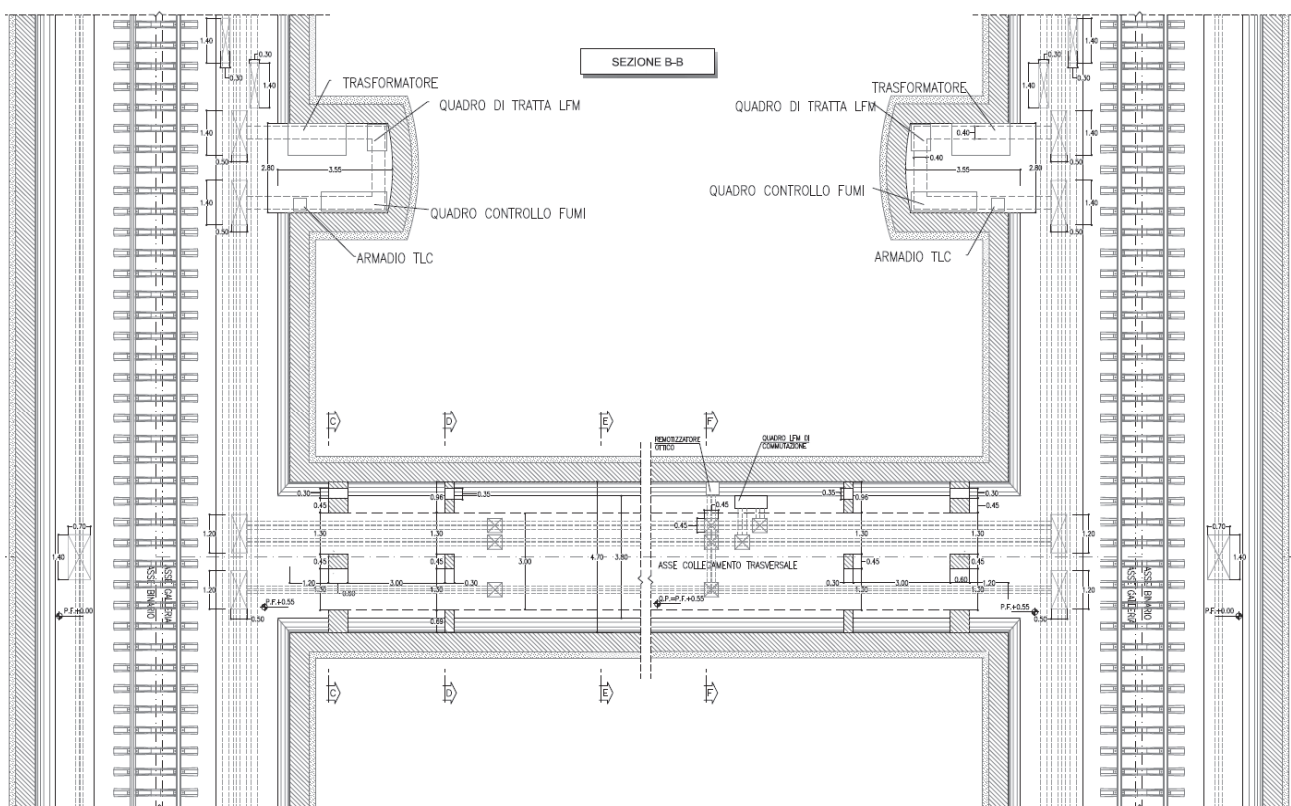


Figura 12 Planimetria by-pass di esodo

## 7.2.2 Cunicolo disconnessione fumi

Nello scenario di incendio di un treno, è previsto un sistema di estrazione in grado di intercettare i fumi in prossimità del cambio di configurazione da singola canna-doppio binario a doppia canna-singolo binario ed evitare il passaggio nelle tratte adiacenti. Sarà pertanto realizzato un cunicolo di "disconnessione fumi" di lunghezza pari a 600 m circa. Partendo dall'imbocco della galleria lato Napoli il cunicolo si innesta alle gallerie di linea in prossimità del camerone di diramazione. All'esterno si connette con la centrale di ventilazione realizzata nel piazzale antistante l'imbocco. Si riporta di seguito la sezione di intradosso del cunicolo di ventilazione la quale sviluppa un'area libera di 26 m<sup>2</sup> circa (Figura 13), definita sulla base delle esigenze di natura impiantistica.

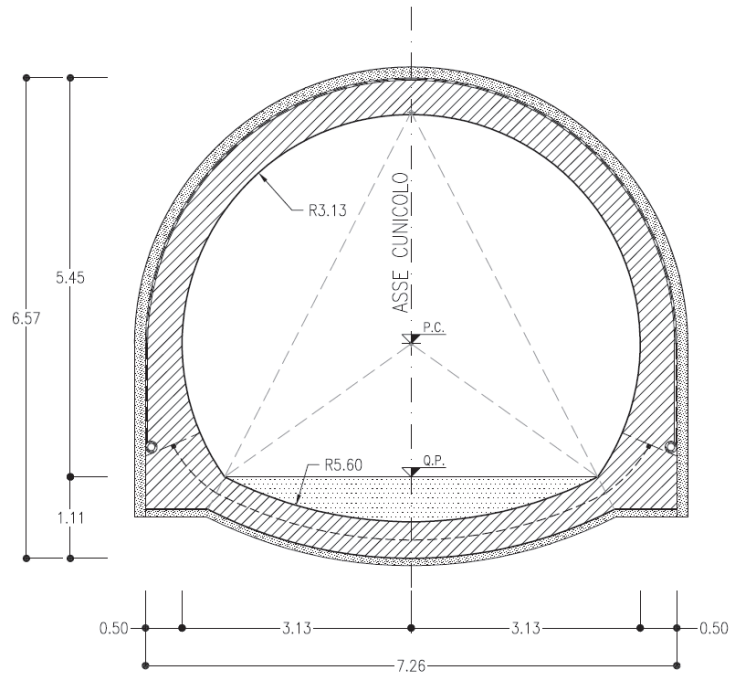


Figura 13 Sezione intradosso cunicolo di ventilazione

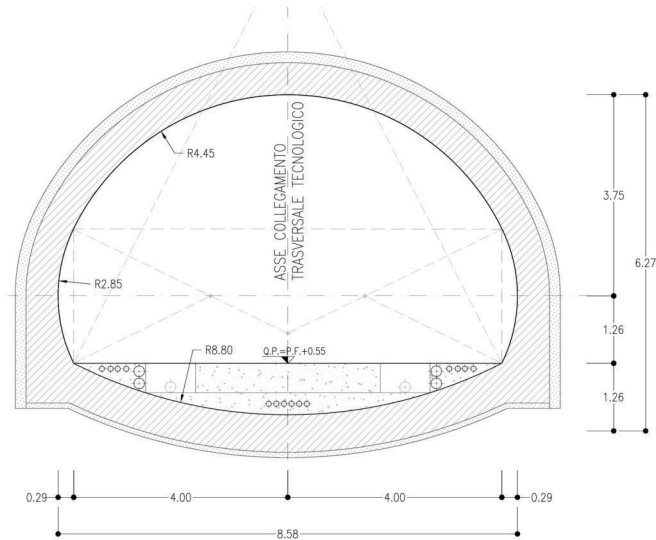
### 7.3 Opere tecnologiche

#### 7.3.1 By pass tecnologici

È prevista la realizzazione di 2 by pass tecnologici (Tabella 4). 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 14).

Tabella 4 - Ubicazione by pass tecnologici

BY-PASS TECNOLOGICI	pk innesto B.P.
By - Pass TEC (N°1)	34+350,41
By - Pass TEC (N°2)	37+650,41

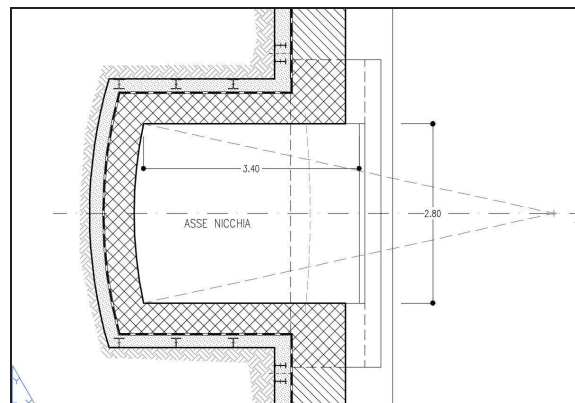


**Figura 14 Sezione di intradosso by pass tecnologico**

### 7.3.2 Nicchie

Le gallerie non sono dotate di nicchie di ricovero personale (Rif. [8]) 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 15)
- nicchie LFM e nicchie per connessioni induttive entrambi di dimensioni utili in pianta pari a 1,6m·2,0m ed altezza di 2,3m (Figura 15).



**Figura 15 Pianta nicchia tecnologiche**

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>23 di 52</b>

## 8 METODOLOGIA DI LAVORO

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [18]), si è articolata nelle seguenti fasi:

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

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

## 9 FASE CONOSCITIVA

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

### 9.1 Inquadramento geologico e geomorfologico lungo il tracciato

Dall'imbocco lato Bari ubicato alla pk 31+070 circa la galleria interessa le Argille Subappennine (ASP) fino alla pk 32+500 circa dove un importante *thrust* a medio-basso angolo ad andamento NW-SE porta la formazione del Flysch di Faeto (FAE) sopra le Argille Subappennine (ASP).

Alla pk 33+000 circa è presente il passaggio con i depositi argilloso marnosi della Formazione di Monte Sidone (SID) dislocata da una faglia diretta ad alto angolo a direzione NNE-SSW, intercettata al pk 34+000 circa. Alla pk 34+250 circa la galleria interessa nuovamente le formazioni calcareo-marnosi del Flysch di Faeto (FAE) dislocati da un'importante faglia sub-verticale a direzione prevalentemente N-S all'altezza della pk 34+800. In questa zona il tracciato è caratterizzato dalle massime coperture che raggiungono i 400m. Tra le pk 35+450 e 35+750 circa la galleria attraversa una zona di sovrascorrimento, che determina un raddoppio della successione con il Flysch di Faeto che sovrascorre sulle marne argillose del Toppo Capuana (TPC).

Alla pk 35+650 la galleria incontra le Argille e sabbie del Vallone Meridiano (BVNb) fino alla pk 37+600 circa per interessare nuovamente il Flysch di Faeto. In tale tratto, la successione stratigrafica descrive un'ampia sinclinale con piano assiale sub-verticale e asse ad andamento NW-SE; tale sinclinale risulta dislocata alla pk 36+550 circa da una faglia diretta subverticale e delimitata sul fianco occidentale da un importante sovrascorrimento a medio-alto angolo, intercettato in galleria alla pk 37+750 circa.

In corrispondenza del sovrascorrimento la successione stratigrafica si presenta fortemente disturbata e tettonizzata con pieghe ravvicinate sia alla mesoscala che alla piccola scala. Lo scavo della galleria attraversa inoltre due faglie dirette subverticali, ad andamento N-S, in corrispondenza delle pk 37+925 e 38+775.

Alla pk 39+750 la galleria interessa nuovamente i terreni delle Argille e sabbie del Vallone Meridiano (BVNb) con una successione stratigrafica che descrive una sinclinale con piano assiale sub-verticale e asse ad andamento NW-SE alla pk 39+350 circa; tale sinclinale risulta delimitata sul fianco occidentale da un *thrust* a medio-basso angolo e ad andamento NNE-SSW alla pk 39+950 circa, che porta i depositi marini di bacino e base scarpata del Flysch di Faeto sulle Argille e sabbie del Vallone Meridiano (BVNb). I terreni del Flysch di Faeto (FAE), dislocati da una faglia diretta subverticale ad andamento N-S all'altezza della pk 40+400 circa interessano la galleria fino alla zona dell'imbocco ubicato alla pk 40+920 circa.

Il versante in corrispondenza dell'imbocco nord-orientale della galleria "Orsara" (lato Bari) è privo di evidenti fenomeni di dissesto, in quanto caratterizzato da un assetto sub-pianeggiante e dalla presenza di estese coperture alluvionali in appoggio sui termini pelitici delle Argille Subappennine (Rif. [12]).

Il versante in corrispondenza dell'imbocco sud-occidentale della galleria "Orsara" (lato Napoli) realizzato all'interno della formazione del Flysch di Faeto è privo di evidenti fenomeni di dissesto (Rif. [12]).



	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

Lungo lo sviluppo del tracciato sono presenti zone interessate da dissesti attivi, scivolamenti roto-traslativi in terra e detrito, colamenti, scivolamenti e frane complesse in terra (Rif. [12]). Si escludono interferenze dirette tra i suddetti fenomeni e lo scavo della galleria in relazione alla notevole profondità e alle elevate coperture della galleria stessa.

Di seguito vengono descritti i caratteri principali delle formazioni attraversate durante lo scavo della galleria Orsara. Per approfondimenti sullo studio geologico si rimanda agli specifici elaborati progettuali (Rif. [12]).

- **Calcareniti, argille e marne di Monte Sidone - SID (Cretacico superiore - Burdigaliano superiore)** Fitta alternanza di sottili strati di argilliti policrome, scagliose o sottilmente laminate, a cui si intercalano calcilutiti, calcareniti e calciruditi giallastre con liste di selce di colore scuro in strati con spessore variabile da pochi centimetri ad alcuni decimetri. Tale formazione nella precedente fase progettuale era stata descritta come *Flysch Rosso della Daunia (FRR)*. Tuttavia, in relazione alle risultanze delle nuove indagini stratigrafiche che attribuiscono ai termini affioranti nel settore in oggetto un'età più recente di quella riportata in letteratura per il classico *Flysch Rosso*, la formazione viene ora definita come "Calcareniti, argille e marne di Monte Sidone".

- **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 rinvencono 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.

- **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 rinvencono intercalazioni di arenarie, siltiti e calcilutiti di colore grigio e giallastro, in strati da sottili a medi.

- **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 e sabbie limose grigie e giallastre; a luoghi si rinvencono lenti ciottolose e elementi ben arrotondati e livelli di arenarie di colore grigio e giallastro, in strati da medi a spessi

- **Argille Subappennine - ASP (Pliocene Superiore – Pleistocene Inferiore)** Argille limose e limi argillosi di colore grigio e grigio-azzurro, in strati da sottili a molto spessi, generalmente poco evidenti e a laminazione piano-parallela, con sottili intercalazioni di argille marnose, sabbie e sabbie limose grigie; nella parte alta della successione si rinviene una porzione costituita da sabbie limose e limi sabbiosi di colore giallastro e grigio-verdastro, in strati da sottili a spessi, progressivamente passanti a conglomerati poligenici grossolanamente stratificati e ben selezionati.

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

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

rinvengono 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.

## 9.2 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

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 2017 - Raddoppio tratta Hirpinia – Orsara – Bovino;*
- *Campagna indagini Italferr 2018 - Raddoppio tratta Orsara – Bovino e tratta Hirpinia – Orsara;*

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

- n.8 sondaggi a carotaggio continuo (profondità variabili tra 40 m e 295 m dal piano campagna), attrezzati con piezometri ed inclinometri;
- n.21 prove dilatometriche nei fori di sondaggio;
- n. 16 prove di permeabilità di tipo Lefranc e Lugeon;
- n. 5 prospezioni sismiche MASW.

Il numero totale dei campioni analizzati nella tratta di interesse e sottoposti a prove di laboratorio è di 82, di cui 63 indisturbati e 19 rimaneggiati. Sui campioni indisturbati sono state eseguite le seguenti prove meccaniche:

- n. 23 prove di taglio diretto (TD);
- n.5 prove di compressione triassiale consolidata non drenata (CIU);
- n. 13 prove di compressione monoassiale;
- n. 19 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. 11 sondaggi a carotaggio continuo (spinti a profondità massima di 220 m dal piano campagna), attrezzati con strumentazione geotecnica in foro;
- n. 25 prove dilatometriche nei fori di sondaggio;
- n. 26 prove di permeabilità di tipo Lefranc e Lugeon;
- n. 3 prove sismiche in foro tipo down-hole;
- n. 1 stendimento sismico a rifrazione.

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

Il numero totale dei campioni analizzati nella tratta di interesse e sottoposti a prove di laboratorio è di 122, di cui 109 indisturbati e 13 rimaneggiati. Sui campioni indisturbati sono state eseguite le seguenti prove meccaniche:

- n. 30 prove di taglio diretto (TD);
- n. 65 prove di compressione triassiale (CIU, CID, UU);
- n. 8 prove di compressione monoassiale;
- n. 16 prove di carico puntuale (Point Load);
- n. 18 misure della velocità sonica  $V_p$  e  $V_s$ ;
- n. 7 prove di compressione triassiale su provini di roccia;
- n. 13 prove di rigonfiamento impedito;
- n. 5 prove di rigonfiamento secondo il metodo Huder-Amberg.

Per ulteriori dettagli relativi alle campagne di indagini si rimanda agli specifici elaborati di progetto specialistici (Rif. [12]).

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. Di seguito si riporta una breve sintesi dei risultati della caratterizzazione geotecnica:

#### a) Flysch di Faeto (FAE)

La formazione del Flysch di Faeto è un deposito appartenente all'Unità tettonica della Daunia costituito da calcareniti, calciutiti e calcari marnosi con frequenti intercalazioni di argille limose, argille marnose e marne con a luoghi strati di arenarie. Attraverso l'analisi dei rilievi effettuati e dei sondaggi eseguiti, la formazione risulta classificabile come formazione strutturalmente complessa di classe B1 (Esu, 1977 (Rif. [24]) con una componente litoide (calcareo-marnosa) prevalente rispetto a quella pelitica (argilla) ( $L/P > 1$ ).

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

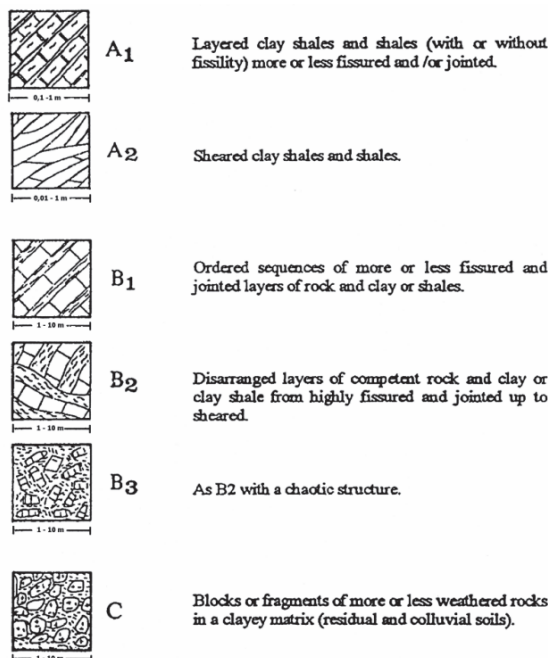


Figura 16 Classificazione delle “formazioni strutturalmente complesse” (Esu, 1977 (Rif. [24]))

Per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa del Flysch di Faeto si è fatto riferimento ai risultati delle prove di laboratorio.

Dalle prove di compressione monoassiale, si ricavano valori di resistenza a compressione monoassiale compresi tra 3 e 60 MPa. L’elaborazione delle prove di compressione triassiale determina un valore di resistenza a compressione della roccia intatta pari a 30 MPa. Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato dall’interpretazione di: 12 prove di velocità sonica su provino, 7 prove a compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni e 12 prove di compressione triassiale (moduli tangenti iniziali) con valori variabili tra 3 e 50 GPa.

Dai rilievi geostrutturali è stato ricavato il valore del Geological Strength Index (GSI): l’intervallo di valori del GSI per la caratterizzazione meccanica dell’ammasso roccioso è pari a 40÷60. Per le tratte in zone di faglia si assume un intervallo di valori pari a 25 ÷35. Gli intervalli di GSI presi in considerazioni risultano coerenti con la classificazione proposta da Hoek e Marinos per formazioni strutturalmente complesse come i Flysch:

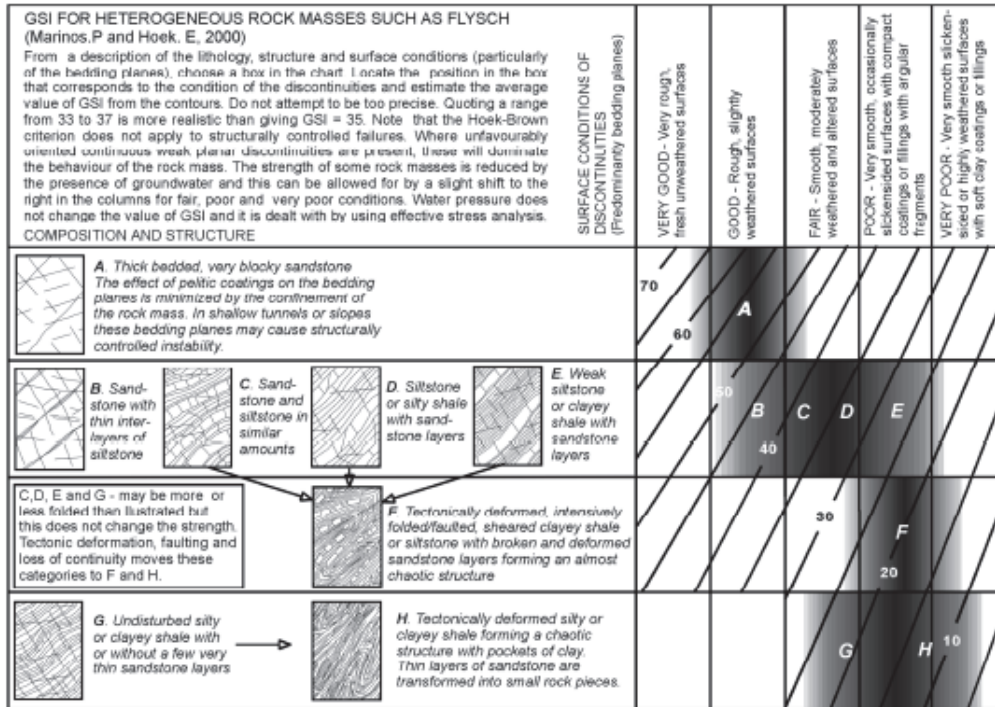


Figura 17 Classificazione GSI (Marinos & Hoek 2001 (Rif. [26]))

b) Argille e sabbie del Vallone Meridiano (BVNb)

L'Unità delle Argille e sabbie del Vallone Meridiano (BVNb) è formata da argille, argille limose e argille marnose con frequenti intercalazioni di sabbie, sabbie limose e calcareniti.

Le analisi granulometriche mostrano una prevalenza di limo (46%) con percentuali inferiori di sabbia (29%) e argilla (23%). L'unità risulta classificabile come "Limo con Sabbia Argilloso" (AGI, 1977 (Rif. [22])).

Il contenuto d'acqua naturale  $w_0$  è generalmente compreso tra il 10% ed il 25% 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). Gli intervalli definiti per i parametri di resistenza, derivanti dagli involuipi delle prove di laboratorio, forniscono intervalli di valori di coesione efficace e di angolo di resistenza al taglio rispettivamente pari a  $c' = 20 - 50$  kPa e  $\varphi' = 25 - 28^\circ$ .

La rigidità della formazione in oggetto, ricavata dall'elaborazione delle prove dilatometriche, è compresa tra 300 e 1250 MPa.

La permeabilità, ricavata dalle prove Lefranc/Lugeon, mostra un coefficiente di permeabilità  $k$  mediamente pari a  $10^{-7}$  m/s.

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

c) Marne argillose del Toppo Capuana (TPC)

L'Unità delle Marne argillose del Toppo Capuana (TPC) è formata da argille limose, argille marnose e marne con passaggi di sabbie e sabbie limose.

Per le caratteristiche fisiche e meccaniche si fa riferimento a quanto adottato per la formazione delle Argille e Sabbie del Vallone Meridiano (BVNb) che, per età, genesi geologica e caratteristiche litologiche, può essere assimilata alla formazione delle Marne argillose del Toppo Capuana (TPC).

d) Formazione di Monte Sidone (SID)

Tale formazione è formata da una alternanza di argilliti policrome, scagliose o sottilmente laminate, con intercalazioni di calcareniti. La formazione risulta classificabile come formazione strutturalmente complessa di classe A2 (Esu, 1977 (Rif. [24]).

Le analisi granulometriche mostrano una prevalenza della componente argillosa (69%) e di limo (29%). L'Unità risulta classificabile come "Argilla con Limo" (AGI, 1977 (Rif. [22])).

Il contenuto d'acqua naturale  $w_0$  è compreso tra il 20% ed il 30% mentre l'indice di consistenza  $I_c$ , pressoché costante con la profondità, è pari a circa 1,1.

I parametri meccanici sono stati ricavati da un'analisi complessiva delle prove disponibili in sito e di laboratorio. Per le caratteristiche di resistenza si è fatto riferimento agli involucri forniti dalle prove triassiali consolidate non drenate (CIU) e dalle prove di taglio diretto. Da questi si ricavano intervalli di valori di coesione efficace e di angolo di resistenza al taglio pari a  $c' = 30 - 40$  kPa e  $\varphi' = 21 - 26^\circ$ .

La rigidità della formazione, ricavata dalle prove geofisiche (1 prova down-hole ed una prova di sismica a rifrazione) e dalle prove dilatometriche è variabile tra 250 e 400 MPa.

La permeabilità, ricavata dalle prove Lefranc/Lugeon, risulta bassa, con valori del coefficiente di permeabilità  $k$  compreso tra  $1 \cdot 10^{-9}$  e  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s.

e) Argille Subappennine (ASP)

La formazione delle Argille Subappennine è formata da argille limose e limi argillosi, con intercalazioni di argille marnose, sabbie e sabbie limose.

I sondaggi eseguiti in questa formazione hanno evidenziato una presenza prevalente della frazione limosa (55%) e di quella argillosa (43%). Tale materiale, dal punto di vista granulometrico, è classificabile come "Limo con Argilla" (AGI, 1977 (Rif. [22])).

Il contenuto d'acqua naturale  $w_0$  è compreso tra il 15% ed il 25%, mentre l'indice di consistenza  $I_c$ , mostra valori compresi tra 1 e 1,25.

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 di compressione triassiale. Per la determinazione delle caratteristiche di resistenza si fa riferimento agli involucri forniti da queste prove, con intervalli di valori di coesione efficace e angolo di resistenza al taglio compresi tra  $c' = 20 - 40$  kPa e  $\varphi' = 24 - 26^\circ$ . Per le caratteristiche di rigidità della formazione sono state condotte delle prove dilatometriche in foro,

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>31 di 52</b>

prove sismiche in foro down-hole e prospezioni sismiche MASW. I valori di modulo di deformabilità dedotti dall'interpretazione delle indagini geofisiche sono stati ricavati a partire dal modulo iniziale ( $E_0$ ) assumendo un rapporto  $E/E_0$  pari a 0.1 in funzione del livello di deformazione atteso a seguito dello scavo della galleria (Rif. [25]). Il complesso delle prove dilatometriche e delle prove geofisiche evidenzia valori crescenti con la profondità da 200 MPa a 600 MPa (in corrispondenza della massima copertura pari a 85 m).

Le prove di permeabilità di tipo Lefranc/Lugeon eseguite mostrano un valore di coefficiente di permeabilità compreso tra  $1 \cdot 10^{-9}$  e  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s.

Per il dettaglio della caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dagli scavi si rimanda alla Relazione geotecnica e di calcolo della galleria naturale (Rif. [14]). L'ubicazione dei sondaggi ed il modello geotecnico sono rappresentati negli elaborati 'Profili geotecnici' (Rif. [15]- Rif. [17]).

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

### 9.3 Rischi potenziali

Nel presente paragrafo si descrivono le principali criticità, legate al contesto geologico, idrogeologico, geotecnico e ambientale, che potrebbero avere ripercussioni sulla fase realizzativa delle gallerie. La mappatura dei diversi rischi individuati nella fase conoscitiva è illustrata nell'elaborato "Profilo geotecnico" (Rif. [15]- Rif. [17]).

#### *Instabilità del fronte*

Potenziali rischi di instabilità del fronte possono interessare soprattutto le tratte di galleria a basse coperture, in prossimità delle zone di imbocco, e nell'attraversamento di zone di faglia.

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

Nella zona di imbocco lato Napoli la galleria sottoattraversa sottoattraversata con coperture dell'ordine di 6 m la strada S.S.90 di Puglia.

#### *Fenomeni deformativi*

Come emerso dai risultati delle prove di rigonfiamento impedito e delle prove di rigonfiamento secondo il metodo Huder-Amberg (cfr. fase conoscitiva), alcune formazioni argillose attraversate presentano un comportamento rigonfiante; i risultati sperimentali evidenziano valori del coefficiente di rigonfiamento comparabili con dati della letteratura tecnica su terreni con caratteristiche geotecniche simili. Inoltre, la formazione argillosa di Monte Sidone presenta caratteristiche meccaniche tali da rendere possibili, in condizioni di alte coperture, lo sviluppo di elevate convergenze durante la fase di scavo.

#### *Venute d'acqua in galleria e carichi idraulici elevati*

Il potenziale rischio di venute d'acqua concentrate e con portate significative in galleria in fase di scavo dipende dalla conducibilità idraulica dei materiali attraversati e dal carico idraulico. Tale rischio è stato stimato basso per gran parte dello sviluppo della galleria ad eccezione degli attraversamenti delle faglie o strutture tettoniche, dove è stato considerato medio, nell'ipotesi che l'ammasso presenti in tali zone permeabilità maggiori rispetto alla formazione intatta. Nell'attraversamento delle formazioni argillose con permeabilità molto bassa ( $k \leq 10^{-8}$  m/s), quali le Argille Subappennine e la formazione del Monte Sidone, tale rischio non appare significativo.

La condizione di carico idraulico elevato può rappresentare un rischio per i rivestimenti definitivi delle opere in sotterraneo: tale situazione può verificarsi nelle tratte di attraversamento sotto alte coperture del Flysch di Faeto e della formazione di Monte Sidone e delle Argille e Sabbie del Vallone Meridiano.

#### *Interferenza con sorgenti e pozzi*

Lo studio dell'interferenza dello scavo della galleria 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 Drawdown Hazard Index 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 relativo crescente da 1 a 4 (Rif. [12]). In un tale contesto, ed in ragione della presenza di elevate coperture



	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

per buona parte della galleria in progetto, è possibile affermare che 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. È previsto pertanto il monitoraggio dei punti d’acqua caratterizzati da indice DHI medio e alto (Rif. [12]).

### **Scavo in presenza di gas**

Le analisi per la determinazione del rischio gas sono state condotte per fasi di approfondimento successivo. Preliminarmente, è stata condotta un’analisi bibliografica e storica volta a verificare, in relazione alle differenti unità geologiche individuate e direttamente interessate dal progetto, l’eventuale presenza di termini geologici favorevoli alla presenza di gas. Inoltre, sono state esaminate le risultanze dello studio geologico, geomorfologico ed idrogeologico per la tratta in esame e sono state eseguite indagini di approfondimento con:

- rilievi di gas a bocca foro durante la perforazione dei sondaggi;
- monitoraggio dell’aria mediante analizzatore di gas a bocca foro in corrispondenza delle verticali di sondaggio;

I risultati derivanti dallo studio suddetto hanno confermato la presenza di gas nelle formazioni interessate dallo scavo della galleria Orsara.

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 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 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 la classe di rischio gas 2 come definita in Tabella 5.

**Tabella 5 – 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, 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.
---------------------	--

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

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 rimanda al *Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC)*.

### ***Esposizione ambientale e attacco chimico***

Per la valutazione della classe di esposizione del calcestruzzo impiegato per i rivestimenti definitivi delle opere in sotterraneo, sono state eseguite prove per la determinazione della concentrazione degli eventuali agenti aggressivi presenti nel sottosuolo, facendo riferimento alla UNI-EN 206-2016, che definisce gli intervalli di concentrazione dei composti aggressivi (ad es. ione solfato  $\text{SO}_4^-$  nei terreni e nelle acque, ione ammonio  $\text{NH}_4^+$  e ione magnesio  $\text{Mg}^{++}$  nelle acque, presenza di  $\text{CO}_2$  aggressiva nelle acque e ambiente acido ( $\text{pH} \leq 6.5$ )) ai quali riferirsi per la determinazione della classe di esposizione (Figura 18).

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>				
$\text{SO}_4^{2-}$ mg/l	EN 196-2	$\geq 200$ and $\leq 600$	$> 600$ and $\leq 3\,000$	$> 3\,000$ and $\leq 6\,000$
pH	ISO 4316	$\leq 6,5$ and $\geq 5,5$	$< 5,5$ and $\geq 4,5$	$< 4,5$ and $\geq 4,0$
$\text{CO}_2$ mg/l aggressive	EN 13577	$\geq 15$ and $\leq 40$	$> 40$ and $\leq 100$	$> 100$ up to saturation
$\text{NH}_4^+$ mg/l	ISO 7150-1	$\geq 15$ and $\leq 30$	$> 30$ and $\leq 60$	$> 60$ and $\leq 100$
$\text{Mg}^{2+}$ mg/l	EN ISO 7980	$\geq 300$ and $\leq 1\,000$	$> 1\,000$ and $\leq 3\,000$	$> 3\,000$ up to saturation
<b>Soil</b>				
$\text{SO}_4^{2-}$ mg/kg <sup>a</sup> total	EN 196-2 <sup>b</sup>	$\geq 2\,000$ and $\leq 3\,000^c$	$> 3\,000^c$ and $\leq 12\,000$	$> 12\,000$ and $\leq 24\,000$
Acidity according to Baumann Gully ml/kg	prEN 16502	$> 200$	Not encountered in practice	
<sup>a</sup> Clay soils with a permeability below $10^{-5}$ m/s may be moved into a lower class. <sup>b</sup> The test method prescribes the extraction of $\text{SO}_4^{2-}$ by hydrochloric acid; alternatively, water extraction may be used, if experience is available in the place of use of the concrete. <sup>c</sup> The 3 000 mg/kg limit shall be reduced to 2 000 mg/kg, where there is a risk of accumulation of sulfate ions in the concrete due to drying and wetting cycles or capillary suction.				

**Figura 18 – Prospetto 2 della UNI-EN 206 del 2016**

I risultati delle analisi di laboratorio (Tabella 6 e Tabella 7) forniscono concentrazioni dei composti aggressivi corrispondenti a classi di esposizione ambientale da debolmente aggressive (XA1) a moderatamente aggressive (XA2).

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

**Tabella 6 Risultati delle analisi chimiche per la verifica dell'aggressività sul calcestruzzo (analisi dei terreni)**

Sondaggio	Profondità (m)		SO4 (*)	CLASSE DI ESPOSIZIONE
	da	a	[mg/Kg]	
BOPDS4-A	140	160	3017	'XA2'
BOPDS4-B	140	160	3570	'XA2'
BOPDS5-A	10	30	5921	'XA2'
BOPDS5-A	10	25	2517	'XA1'
BOPDS5-B	10	30	2839	'XA1'
BOPDS5-B	10	25	1919	'XA1'
BOPDS8-A	65	85	1773	'XA1'
BOPDS8-B	65	85	1529	'XA1'
BOPDS9-A	10	30	1661	'XA1'
BOPDS9-B	10	30	1725	'XA1'
BOS6-A	110	120	993	'XA1'
BOS6-B	110	120	183	'XA1'

(\*) Equivalente in SO4 ottenuto dal rapporto dei pesi molecolari (96/80)

**Tabella 7 Risultati delle analisi chimiche per la verifica dell'aggressività sul calcestruzzo (analisi delle acque)**

Parametro	Metodo analitico	unità di misura	BO PD S7		BO S11		BO PD S4		BO PD S1		BO PD S2		BO PD S5		BO S6	
			2485	CLASSE	2486	CLASSE	2487	CLASSE	2491	CLASSE	2498	CLASSE	2499	CLASSE	2500	CLASSE
			12/09/2018	ESPOSIZIONE	12/09/2018	ESPOSIZIONE	12/09/2018	ESPOSIZIONE	12/09/2018	ESPOSIZIONE	13/09/2018	ESPOSIZIONE	13/09/2018	ESPOSIZIONE	14/09/2018	ESPOSIZIONE
pH	ISO 4316	unità di pH	7.2	XA1	8.9	XA1	7.8	XA1	8.6	XA1	6.9	XA1	7	XA1	7.6	XA1
Solfati	EN 196-2	mg/L	15.7	XA1	482.0	XA1	111	XA1	29.0	XA1	128.0	XA1	104	XA1	55.2	XA1
Magnesio	ISO 7150-1	mg/L	9.61	XA1	1.71	XA1	12.2	XA1	1.92	XA1	7.85	XA1	50.5	XA1	70.9	XA1
Azoto ammoniacale	EN ISO 7980	mg/L	<1,0	XA1	<1,0	XA1	<1,0	XA1	<1,0	XA1	<1,0	XA1	<1,0	XA1	<1,0	XA1
CO2 aggressiva	EN 13577	mg(CO2)/L	24.2	XA1	19.8	XA1	26.4	XA1	30.8	XA1	35.2	XA1	17.6	XA1	28.6	XA1

Pertanto, per la galleria Orsara si prevedono condizioni di esposizione prevalentemente di classe XA1, tranne che per le seguenti tratte: pk 36+650 – pk 37+600 e pk 39+150 – pk 40+919, dove si prevede una classe di esposizione XA2.

Per il dettaglio delle classi di esposizione previste lungo il tracciato si rimanda ai Profili Geotecnici della galleria Orsara (Rif. [15]- Rif. [17]).

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</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. [18], Rif. [19]), 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. [18], Rif. [19]) la previsione dell'evoluzione dello stato tensionale a seguito dell'apertura di una galleria è possibile attraverso l'analisi dei fenomeni deformativi, che forniscono indicazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine. Dati sperimentali e analisi teoriche hanno dimostrato che il comportamento della cavità è significativamente condizionato, oltre che dalle caratteristiche geometriche della galleria stessa e dai carichi litostatici, anche dalle caratteristiche di resistenza e di rigidità del nucleo d'avanzamento, inteso come il volume di terreno a monte del fronte di scavo. Se il nucleo non è costituito da materiale sufficientemente rigido e resistente da mantenere in campo elastico il proprio comportamento tensio-deformativo, si sviluppano fenomeni deformativi e plasticizzazioni rilevanti in avanzamento, a cui consegue l'evoluzione verso condizioni di instabilità del fronte e del cavo. Se, invece, il comportamento del nucleo d'avanzamento si mantiene in campo elastico, il nucleo stesso svolge un'azione di precontenimento del cavo, che si mantiene a sua volta in condizioni elastiche, conservando le caratteristiche di massima resistenza del materiale attraversato e quindi configurazioni di stabilità.

Sulla base di tali considerazioni, il comportamento del nucleo-fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente ricondotto alle seguenti tre categorie:

#### Categoria A: nucleo-fronte stabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità non supera le caratteristiche di resistenza dell'ammasso; in tal caso le deformazioni sono prevalentemente elastiche, di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente con la distanza dal fronte. Il fronte di scavo e il cavo sono stabili e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di stabilizzazione, se non localizzati e in misura ridotta. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

#### Categoria B: nucleo-fronte stabile a breve termine

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità, a seguito delle operazioni di scavo, raggiunge la resistenza dell'ammasso. I fenomeni deformativi tensionali sono di

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

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

#### Categoria C: nucleo-fronte instabile

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 dei risultati di tali analisi, esaminati in modo critico tenendo conto dell'affidabilità dei dati di ingresso in termini di parametri di ammasso (rigidezza e resistenza), delle condizioni idrauliche al contorno, di eventuali variabilità attese lungo il tracciato della galleria e di possibili conseguenze per comportamenti imprevisti, è possibile concludere che:

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 07	RG	GN 00 00 001	B	38 di 52

- nel tratto interessato dalla formazione argillosa ASP è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria B (stabile a breve termine), fino alla copertura di 50m. Per coperture superiori è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C (instabile);
- all'interno della formazione argillosa del SID è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C (instabile);
- nel tratto interessato dalla formazione argillosa del BVNb è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria B (stabile a breve termine) nei tratti alle minori coperture, mentre per i tratti alle massime coperture è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C (instabile);
- all'interno della formazione FAE è atteso invece un comportamento del nucleo-fronte allo scavo di categoria B (stabile a breve termine) per le tratte a ridotta copertura in prossimità dell'imbocco lato Napoli, nella tratta centrale alle massime coperture e in corrispondenza della massima sezione del camerone di diramazione ove è prevista la presenza di una faglia. Nelle altre zone è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria A (stabile).

Per il dettaglio delle analisi condotte per la fase di diagnosi si rimanda alla relazione geotecnica e di calcolo della galleria naturale (Rif. [14]). Le previsioni di comportamento lungo il tracciato delle gallerie sono illustrate in forma sintetica nei Profili Geotecnici (Rif. [14] - Rif. [17]).

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

## 11 FASE DI TERAPIA

Nel presente capitolo sono definiti le modalità di scavo e 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).

### 11.1 Metodologia di scavo

Il metodo di scavo previsto per la realizzazione delle opere in sotterraneo in progetto è derivato dall'analisi contestuale dell'ambito geologico, idrogeologico e geotecnico attraversato, della configurazione geometrica del tracciato plano-altimetrico e della estensione longitudinale della galleria. In particolare, considerata la configurazione e la lunghezza della galleria, i tempi di costruzione di tale opera assumono rilevanza fondamentale per la realizzazione della tratta Bovino-Orsara; ciò ha condotto alla scelta del metodo di scavo meccanizzato che consente di realizzare maggiori produzioni, rispetto a quanto conseguibile con lo scavo tradizionale.

L'adozione dello scavo tradizionale è invece prevista nella tratta a singola canna doppio binario e per il camerone di diramazione (complessivamente 600 m circa), nonché per la realizzazione delle opere accessorie (cunicolo di disconnessione fumi, by-pass di esodo e tecnologici, nicchie tecnologiche).

#### 11.1.1 Scavo meccanizzato

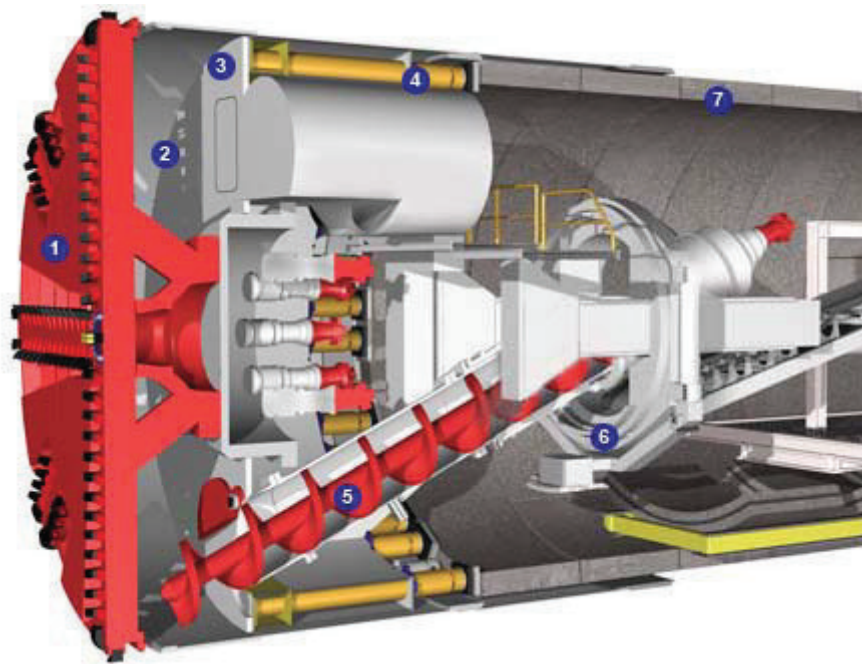
Per la galleria Orsara sono state valutate diverse tipologie di Tunnel Boring Machine (TBM), individuando quella ritenuta più valida in base alle risultanze delle fasi conoscitiva e di diagnosi. La scelta si è orientata sull'impiego di una TBM-EPB (Earth Balance Pressure) che, esercitando una pressione attiva sul fronte, è utilizzabile anche in caso di comportamento del fronte di scavo instabile (Figura 19). In particolare, in funzione del contesto geologico, delle coperture e dei carichi idraulici lungo il tracciato, l'avanzamento in modalità aperta è previsto all'interno della formazione del Flysch di Faeto. L'avanzamento in modalità chiusa con contropressione al fronte è previsto invece in tutte le altre formazioni interessate dallo scavo (SID, ASP, BVNb/TPC) oltre che in corrispondenza delle zone di faglia o di disturbo tettonico, in cui il rischio di venute d'acqua potrebbe risultare più elevato.

Per la galleria Orsara le condizioni più critiche di avanzamento con scavo meccanizzato sono rappresentate dall'attraversamento della formazione di Monte Sidone (lunghezza della tratta = circa 700m), in cui, a causa delle caratteristiche meccaniche dell'ammasso, possono manifestarsi in fase di scavo significativi fenomeni deformativi (cfr. fase di diagnosi). Il rischio principale in tali condizioni è quello del blocco della macchina a causa dell'eccessiva pressione esercitata dall'ammasso sullo scudo. Si riporta di seguito un elenco non esaustivo dei principali apprestamenti e delle principali contromisure con cui la TBM deve essere progettata e configurata per consentire l'avanzamento in tali condizioni:

- realizzazione di uno scudo e testa fresante di robusta costruzione, per sopportare i carichi radiali dell'ammasso;
- possibilità di realizzare uno scudo con geometria tronco-conica o scalettata e lunghezza più ridotta possibile (compatibilmente con le dimensioni degli organi interni della macchina), per ridurre l'attrito con il terreno;

- possibilità di incrementare il diametro di scavo con un sovrascavo superiore a quello standard, per ottenere un vuoto anulare intorno allo scudo in modo da permettere all'ammasso roccioso una certa deformazione di convergenza ed evitare il rischio dell'intrappolamento;
- possibilità di lubrificare la superficie esterna dello scudo per ridurre l'attrito tra mantello e terreno, mediante l'iniezione di liquidi lubrificanti (bentonite o polimeri) attraverso un numero adeguato di fori predisposti nel mantello.

Inoltre, dal momento che lo scavo interessa formazioni che presentano manifestazioni gassose, la macchina dovrà essere adeguatamente attrezzata ed equipaggiata anche in tal senso; per dettagli in merito agli apprestamenti previsti a riguardo si rimanda al Piano di Sicurezza e Coordinamento di progetto



**Figura 19 - 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 conchi; 7. Anelli di sostegno già posti in opera)**

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

La sezione tipo ha le seguenti caratteristiche:

- raggio interno: 4,20 m
- diametro scavo: 9,76 m
- tipologia anello: universale



	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

- numero conci: 6+1
- spessore conci: 0,5 m
- lunghezza conci: 1,50 m
- guarnizioni in EPDM integrate su ciascun concio per garantire la tenuta idraulica tra i giunti (sia longitudinali che radiali) e precaricate dal serraggio dei connettori.

In merito alla resistenza del calcestruzzo dei conci prefabbricati sono previste due diverse classi di resistenza sulla base delle quali sono state definite le seguenti tipologie di conci:

- Conci “Standard” con classe di resistenza C35/45
- Conci “Speciali” con classe di resistenza C50/60.

Per entrambe le tipologie di conci l’armatura prevista ha un’incidenza di circa 120kg/m<sup>3</sup> di rivestimento.

Il ricorso a conci “Speciali” è previsto nelle tratte di attraversamento della formazione di Monte Sidone, della formazione di Toppa Capuana e delle Argille e Sabbie del Vallone Meridiano (nel tratto con coperture maggiori per quest’ultima formazione) in cui un rivestimento definitivo con classe di resistenza maggiore risulta necessario a causa delle caratteristiche meccaniche dell’ammasso e degli importanti carichi idraulici previsti. Nella restante parte di tracciato è previsto invece l’utilizzo di conci “Standard”.

Nelle tratte in cui sono previsti carichi idraulici superiori ai 100/120m è prevista l’esecuzione di un intervento di drenaggio di lungo termine volto alla riduzione dei carichi idraulici stessi. Tale intervento consiste nella realizzazione di dreni radiali posti simmetricamente nella parte inferiore della sezione, di lunghezza pari a 3m, costituiti da tubi in pvc/pead ricoperti da una calza di tessuto drenante

### 11.1.2 Scavo tradizionale

L’adozione dello scavo in tradizionale è prevista nella tratta a singola canna doppio binario, per il camerone di diramazione e per la realizzazione delle opere accessorie (cunicolo di disconnessione fumi, by-pass di esodo e tecnologici, nicchie tecnologiche).

Per il tratto a singola canna doppio binario, sono state definite 3 diverse sezioni tipo, intese come complesso di modalità operative, fasi di lavoro, interventi di stabilizzazione, drenaggi e 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 infine il getto dei rivestimenti definitivi di arco rovescio e calotta. La gestione delle acque in sotterraneo è garantita dall’installazione di 3+3 drenaggi in avanzamento, dall’impermeabilizzazione a tergo dei rivestimenti definitivi di calotta e da un tubo microfessurato, al piede dell’impermeabilizzazione.

Nei paragrafi a seguire si riporta una sintetica descrizione delle sezioni di avanzamento definite per il tratto a doppio binario. Per una completa rappresentazione di tali sezioni e di quelle relative al cunicolo disconnessione

fumi, al camerone di diramazione e alle altre opere accessorie previste in scavo tradizionale si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

### 11.1.2.1 Sezione A1

La sezione A1 (Figura 20) prevede interventi di contenimento del cavo tramite centine e spritz-beton e può essere impiegata nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte stabile (categoria A); ne è prevista l'applicazione nel Flysch di Facto (FAE) quando, alla scala del fronte, la percentuale della componente litoide è prevalente rispetto alla componente pelitica ( $L/P > 1$ ) e il grado di fratturazione è basso, corrispondente a valori di GSI compresi tra 50-70.

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

- scavo a piena sezione per singoli sfondi di dimensioni massime 2,80 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo 1,40 m  $\pm$  20%;
- arco rovescio (spessore 0,70 m) e murette in calcestruzzo gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 5 diametri;
- calotta in calcestruzzo (spessore 0,60 cm) gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

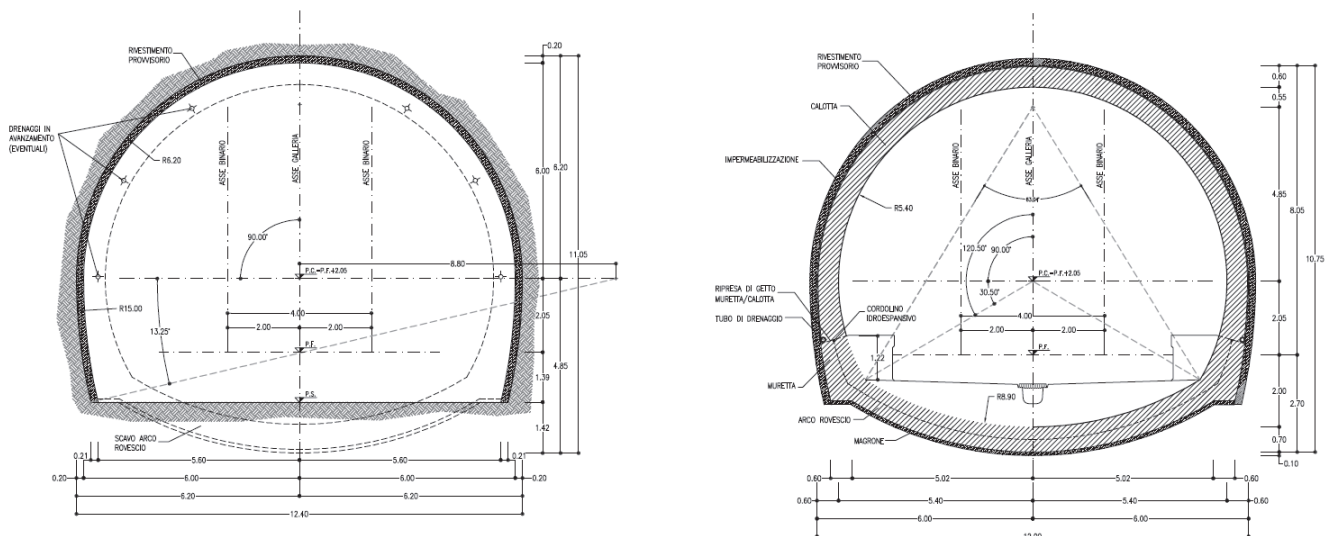


Figura 20 – Sezione tipo A1: Scavi e consolidamenti (sx) Carpenteria (dx)

### 11.1.2.2 Sezione A2

La sezione A2 (Figura 21) prevede interventi di contenimento del cavo tramite centine, spritz-beton e bullonatura radiale; può essere impiegata solo nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte stabile (categoria A).

Ne è prevista l'applicazione nella Formazione del Flysch di Faeto (FAE) dove, alla scala del fronte, la percentuale della componente litoide è prevalente rispetto alla componente pelitica ( $L/P > 1$ ) e il grado di fratturazione è medio. L'applicazione della sezione A2 è disciplinata quindi in fase realizzativa dal valore del GSI ricavato dai rilievi del fronte, pari a 40-50.

La sezione A2 è caratterizzata dai seguenti elementi, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

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

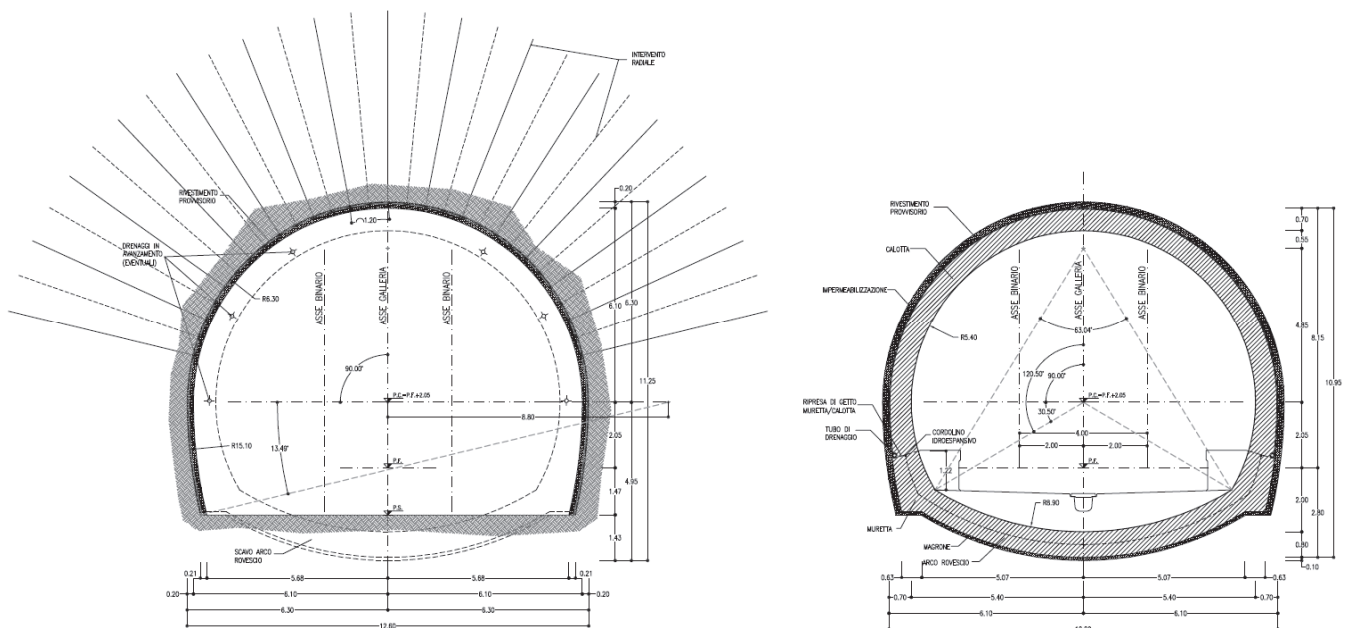


Figura 21 – Sezione tipo A2: Scavi e consolidamenti (sx) Carpenteria (dx)

### 11.1.2.3 Sezione B1

La sezione B1 (Figura 22) prevede interventi di precontenimento del fronte e presostegno al contorno; ne è prevista l'applicazione nell'ambito della Formazione del Flysch di Faeto (FAE) per basse coperture inferiori a 30 m e quando, alla scala del fronte, la presenza della componente argilloso-marnosa è prevalente rispetto alla componente litoide ( $L/P < 1$ ); può inoltre essere applicata per l'attraversamento di zone con elevato grado di fratturazione ( $GSI < 40$ ).

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

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

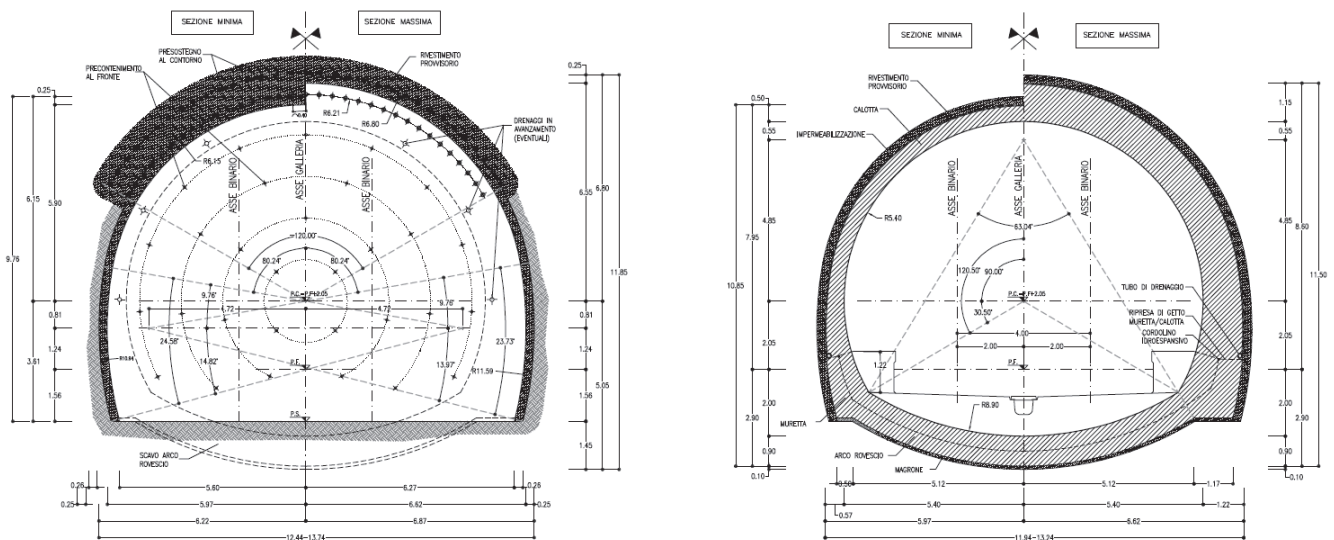


Figura 22 – Sezione tipo B1: Scavi e consolidamenti (sx) Carpenteria (dx)

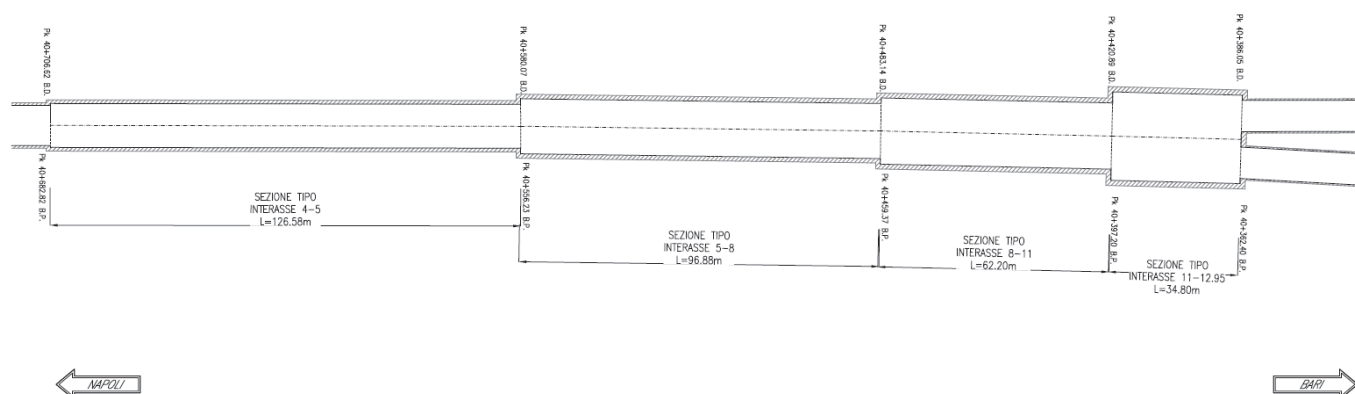
	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

Per la distribuzione delle tratte di applicazione delle sezioni tipo si rimanda invece ai profili geotecnici delle gallerie di linea (Rif. [15] - Rif. [17]).

Per il cunicolo disconnessione fumi e i by-pass sono state definite le sezioni tipo seguendo gli stessi criteri adottati per le sezioni della galleria di linea, adeguando gli interventi alle rispettive aree di scavo.

#### 11.1.2.4 Camerone di diramazione

La transizione dalla configurazione a doppia canna alla configurazione a singola canna è realizzata mediante un camerone di diramazione a sezione variabile che consente il passaggio dai 4 m di interasse della sezione a doppio binario ai circa 13m oltre i quali è previsto lo scavo delle due canne in meccanizzato (Figura 23).



**Figura 23 Pianta del camerone con indicazione delle tratte a sezione variabile**

Ad eccezione della sezione tipo di camerone con passaggio dell'interasse dei binari da 4,0 m a 5,0 m per la quale è previsto uno scavo a piena sezione, per le restanti sezioni, considerata la notevole dimensione del fronte di scavo, si prevede, per fini costruttivi, l'avanzamento con scavo parzializzato.

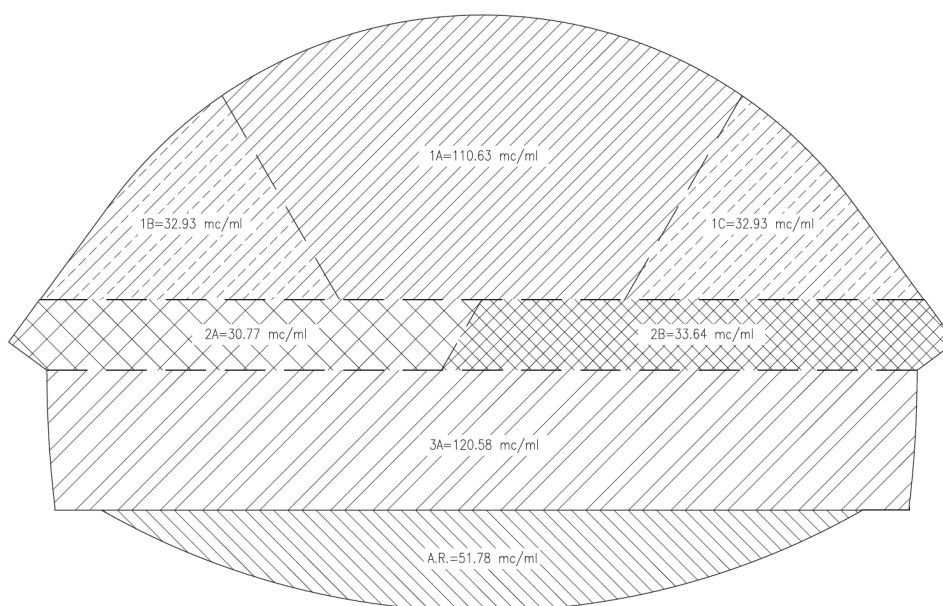
Di seguito si riportano la descrizione e le principali fasi realizzative della sezione tipo di camerone di dimensione maggiore. Per dettagli in merito alle altre sezioni tipo di camerone si rimanda agli specifici elaborati di progetto.

I principali elementi caratterizzanti la sezione tipo di camerone per interasse binari da 11,0 m a 12,95 m sono:

- scavo per settori con singoli sfondi di dimensioni massime di 1,50 m;
- chiodatura radiale mediante 29/30 chiodi ad ancoraggio continuo  $\varnothing 24$  disposti in raggiera alternate, lunghezza 8,00 m, interasse longitudinale e trasversale 1,50 m. Per l'incidenza della chiodatura (numero) è prevista una variabilità del  $\pm 20\%$ ;

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

- rivestimento provvisorio composto da 0,10+0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato e centine HEB220 con passo 1,50 m  $\pm$  20%;
- arco rovescio (spessore 1,80 m) e murette in calcestruzzo armato gettati al termine dell'intero scavo del camerone;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore 1,50 cm) gettata al termine dell'intero scavo del camerone.



**Figura 24 Settori di scavo sezione tipo camerone interasse 11m-12.95m con relativa area**

In Figura 24 sono riportati i settori di scavo previsti e la relativa area. Di seguito sono descritte le principali fasi realizzative:

Fase 1: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali);

Fase 2: esecuzione dello scavo del settore centrale di calotta (sagoma 1A) per sfondi di 1,50 m massimo, con abbattimento meccanico. Posa in opera del rivestimento di prima fase costituito da uno strato di spritz-beton di 0,10 m e bullonatura radiale a 3 m da fronte;

Fase 3,4: esecuzione delle stesse lavorazioni descritte in fase 2 anche per i settori laterali di calotta (sagoma 1B e sagoma 1C);

Fase 4: ripetizione delle fasi precedenti sui settori di scavo 1A, 1B e 1C fino ad una distanza dal fronte di 9 m.

Fase 5: esecuzione dello scavo del settore laterale di calotta (sagoma 2A) per sfondi di 1,50 m massimo, con abbattimento meccanico. Realizzazione dell'allargamento localizzato per appoggio centina di calotta. Posa in opera del rivestimento di prima fase costituito da uno strato di spritz-beton di 10 cm e bullonatura radiale a 3 m da fronte

Fase 6: esecuzione delle stesse lavorazioni descritte in fase 5 anche per il settore laterali di calotta (sagoma)

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>47 di 52</b>

Fase 7: ripetizione delle fasi precedenti sui settori di scavo 2A e 2B fino ad una distanza dal fronte di 9 m. Installazione delle centine e di un secondo strato di spritz beton di spessore 30 cm sulla mezza sezione di calotta ad una distanza massima dal fronte di 9 m.

Fase 8: esecuzione dello scavo di ribasso (sagoma 3A) per sfondi di 1.50 m massimo, con abbattimento meccanico. Posa in opera del rivestimento di prima fase costituito da uno strato di spritz-beton di 10 cm e bullonatura radiale a 3 m da fronte

Fase 9: ripetizione delle fasi precedenti sul settore di scavo 3A fino ad una distanza dal fronte di 9 m. Installazione delle centine e di un secondo strato di spritz beton di spessore 30 cm sulla mezza sezione di ribasso ad una distanza massima dal fronte di 9 m.

Fase 10: avanzamento dello scavo e del pre-rivestimento per campi da 9 m fino alla completa installazione del pre-rivestimento costituito da spritz e centine su tutta la lunghezza del camerone.

Fase 12: completamento dello scavo nella zona dell'arco rovescio. Armatura e getto di arco rovescio e murette con la formazione della tasca per l'alloggiamento della tubazione di drenaggio.

Fase 13: posa in opera dell'impermeabilizzazione composta da uno strato protettivo di tessuto non tessuto e da un telo impermeabilizzante in pvc. Posizionamento del cassero e getto del rivestimento definitivo.

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

## 11.2 Azioni di mitigazione dei potenziali rischi

Nel presente paragrafo si riportano le azioni di mitigazione per i principali rischi individuati nella fase conoscitiva. Per la descrizione di dettaglio di tutte le azioni di mitigazione o riduzione del rischio si rimanda alla relazione geotecnica e di calcolo della galleria naturale (Rif. [14]).

### *Instabilità del fronte*

I potenziali rischi di instabilità del fronte nelle tratte di galleria a basse coperture sono mitigati, per il tratto realizzato con metodo tradizionale, con l'esecuzione di interventi di consolidamento al fronte propedeutici allo scavo, in grado di controllare lo sviluppo dei fenomeni deformativi e prevenire, quindi, lo sviluppo di eventuali meccanismi di collasso. Per le tratte realizzate con scavo meccanizzato mediante TBM-EPB, nelle zone a bassa copertura e nell'attraversamento delle zone di faglia, si prevede l'avanzamento in modalità chiusa, con applicazione della pressione al fronte.

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

Il sottoattraversamento della SS90 di Puglia con la galleria naturale in scavo tradizionale è affrontato con preventivi interventi di consolidamento mediante iniezioni di miscele cementizie a pressione e volume controllato, che hanno lo scopo di migliorare le caratteristiche meccaniche dello strato più superficiale di terreno rappresentato dalla coltre eluvio-colluviale al di sotto della sede stradale. Il consolidamento si estende per alcuni metri anche nella formazione del Flysch di Faeto, in considerazione dell'incertezza del contatto tra coltre e ammasso roccioso e della probabile presenza di materiale alterato o allentato al tetto della formazione rocciosa.

### *Fenomeni deformativi*

Le formazioni che possono presentare comportamenti deformativi significativi all'atto dello scavo sono presenti nella tratta realizzata con scavo meccanizzato; tuttavia, mentre la modalità di avanzamento prevista, la forma circolare della sezione, le caratteristiche del rivestimento definitivo sono tali da mitigare gli effetti del rigonfiamento, le alte convergenze che possono manifestarsi nella formazione argillosa del Sidone potrebbero costituire un rischio di blocco della macchina a causa dell'eccessiva pressione esercitata dall'ammasso sullo scudo. Per mitigare gli effetti delle elevate deformazioni e scongiurare il rischio di blocco, sono previsti particolari accorgimenti tecnici della macchina di scavo, descritti nel paragrafo 11.1.1. Nella relazione geotecnica e di calcolo (Rif. [14]) è riportato il calcolo della spinta complessiva necessaria per garantire l'avanzamento della TBM, evitando il bloccaggio dello scudo, nelle condizioni più critiche previste in progetto.

### *Venute d'acqua in galleria e carichi idraulici elevati*

Il rischio di significative venute d'acqua in fase di scavo è basso o nullo. Ad ogni modo nel tratto realizzato con metodo di scavo tradizionale, le sezioni di avanzamento prevedono l'esecuzione di drenaggi al fronte e l'impermeabilizzazione a tergo del rivestimento definitivo di calotta. Nel tratto in scavo meccanizzato, in corrispondenza delle zone di faglia o di disturbo tettonico, in cui il rischio di venute d'acqua potrebbe risultare più elevato, è previsto l'avanzamento con fronte in pressione e l'eventuale realizzazione di drenaggi in avanzamento laddove siano riscontrate condizioni di carico idraulico elevato e permeabilità elevata. Nei tratti in cui i carichi idraulici siano superiori ai 100 m al di sopra della calotta della galleria, è prevista l'esecuzione di un intervento di



	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

drenaggio di lungo termine volto alla riduzione dei carichi stessi entro i valori compatibili con l'applicazione dei concetti "standard".

### Esposizione ambientale e attacco chimico

Il rischio di attacco chimico è gestito con l'adozione dei provvedimenti previsti dalle norme UNI-EN 206, UNI 11104, UNI 11417-1 e UNI 9156. In particolare, si riportano di seguito (Figura 25) le indicazioni della UNI 11104, che definisce 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<sup>3</sup>). Per le classi di esposizione XA1 e XA2 è inoltre da prevedere l'impiego di cementi resistenti ai solfati secondo le indicazioni della UNI 11417. Per i dettagli si rimanda all'elaborato "Caratteristiche dei materiali".

prospetto 5 Valori limite per la composizione e le proprietà del calcestruzzo																			
UNI 11104:2016	Classi di esposizione																		
	Nessun rischio di corrosione dell'armatura	Corrosione delle armature indotte dalla carbonatazione				Corrosione delle armature indotte da cloruri						Attacchi da cicli di gelo/disgelo				Ambiente aggressivo per attacco chimico			
		Acqua di mare				Cloruri provenienti da altre fonti													
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	
Massimo rapporto a/c	-	0,60		0,55	0,50	0,50	0,45		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)		4,0 a)					
Altri requisiti						E' richiesto l'utilizzo di cementi resistenti all'acqua di mare a secondo UNI 9156						E' richiesto l'utilizzo di aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/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 CEN/TS 12390-3, UNI CEN/TR 15177 o UNI 7087 per la relativa classe di esposizione. Il valore minimo di aria inglobata del 4% può ritenersi adeguato per calcestruzzi specificati con b) Duplex >20mm; per Duplex inferiori il limite minimo andrà opportunamente aumentato (ad esempio 5% per Duplex tra 12 mm e 16 mm).  
 Qualora 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 197-1 e su base nazionale dalla UNI 9156. La UNI 9156 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 11417-1.  
 d) Quando si applica il concetto di valore k il rapporto massimo a/c e il contenuto minimo di cemento sono calcolati in conformità al punto 5.2.2.

Figura 25 – Classe di esposizione secondo la UNI 11104-2016

	<b>ITINERARIO NAPOLI - BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>

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

### 12.1 Monitoraggio in corso d'opera

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

Con riferimento alla realizzazione degli imbocchi 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, con particolare riferimento alle caratteristiche delle discontinuità e al grado di fratturazione dell'ammasso;
- il controllo della convergenza del cavo, mediante installazione di stazioni di convergenza con mire ottiche;
- il 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;

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

- 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;

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 07	RG	GN 00 00 001	B	51 di 52

- 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.

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 BOVINO - ORSARA</b>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF1W</b>	LOTTO <b>00 D 07</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>GN 00 00 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>52 di 52</b>

### 13 CONCLUSIONI

Nell'ambito della Progettazione Definitiva del raddoppio della tratta Bovino – Orsara, sull'itinerario Napoli-Bari, è prevista la realizzazione di una galleria (galleria Orsara) di linea a doppia canna singolo binario di lunghezza 10 km circa.

La progettazione della galleria Orsara, condotto secondo il Metodo ADECO-RS (cfr. Rif. [18]), 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 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.