

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. GALLERIE

PROGETTO DEFINITIVO

Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

SCALA:

-

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

I A 5 F 0 1 D 0 7 R H G N 0 0 0 0 0 0 1 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	Andrea Duzi Nulli	Luglio 2019	Massimo Ricci	Luglio 2019	F. Gernone	Luglio 2019	A. Sciotti Novembre 2020
B	A SEGUITO DEL CSLLPP	Andrea Duzi Nulli	Nov. 2020	Massimo Ricci	Nov. 2020	F. Gernone	Nov. 2020	ITALFERR S.P.A. U.O. GALLERIE Dott. Ing. Alessandra Sciotti Ordine degli Ingegneri di Roma n° 19848

File: IA5F01D07RHGN0000001B

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	4
2	SCOPO E CONTENUTI 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	5
4.3	DOCUMENTI SUPERATI	5
5	ALLEGATI	5
6	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO	6
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA	8
7.1	CENNI STORICI	8
7.2	IL PROGETTO ESECUTIVO DEL 2006	8
7.3	IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO	9
7.3.1	<i>Sezioni di intradosso</i>	10
7.3.2	<i>Uscita di emergenza: Finestra Miglionico</i>	12
7.3.3	<i>Nicchie</i>	14
8	FASE CONOSCITIVA	15
8.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	15
8.2	INDAGINI GEOTECNICHE	15
8.3	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	17
8.3.1	<i>Caratteristiche fisiche</i>	18
8.3.2	<i>Caratteristiche meccaniche</i>	21
8.4	IL REGIME IDRAULICO	25
8.5	INDAGINI ESEGUITE SUL RIVESTIMENTO DELLA GALLERIA ESISTENTE	25

8.6	CONFRONTO RILIEVI LASER SCANNER 2005 - 2018.....	25
9	FASE DI DIAGNOSI.....	29
9.1	GALLERIA MIGLIONICO.....	29
9.1.1	<i>Censimento delle interferenze</i>	29
9.2	FINESTRA MIGLIONICO.....	34
9.2.1	<i>Classi di comportamento del fronte di scavo</i>	34
9.2.2	<i>Determinazione delle categorie di comportamento</i>	35
9.2.3	<i>Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo</i>	36
10	FASE DI TERAPIA	37
10.1	METODOLOGIA DI INTERVENTO DELLA GALLERIA MIGLIONICO.....	37
10.1.1	<i>Definizione degli interventi tipo</i>	38
10.2	METODOLOGIA DI SCAVO DELLA FINESTRA MIGLIONICO.....	42
10.2.1	<i>Criteri di scelta del sistema di scavo</i>	42
10.2.2	<i>Metodo di scavo tradizionale</i>	42
10.3	DEFINIZIONE DELLE SEZIONI TIPO.....	42
10.4	RISCHI POTENZIALI.....	46
11	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO.....	50
11.1	MONITORAGGIO IN CORSO D’OPERA: GALLERIA MIGLIONICO.....	50
11.2	MONITORAGGIO IN CORSO D’OPERA: FINESTRA MIGLIONICO.....	50
12	CONCLUSIONI.....	52

1 PREMESSA

Nel presente documento vengono analizzate le tematiche progettuali e gli aspetti tecnici relativi al progetto definitivo delle opere in sotterraneo della nuova linea Ferrandina – Matera La Martella, per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale. In particolare, si fa riferimento agli interventi di risanamento e messa in sicurezza della esistente Galleria Miglionico, lunga oltre 6 km, nonché della realizzazione di un'uscita/accesso intermedio, costituito da una finestra carrabile, denominata finestra Miglionico, lunga circa 600 m e destinata all'esodo dei passeggeri e all'accesso dei mezzi di soccorso.

La Galleria Miglionico è stata già oggetto da parte di Italferr di una progettazione esecutiva degli interventi di ripristino, conclusasi nel 2006. Gran parte delle informazioni desunte all'epoca, così come buona parte delle scelte progettuali effettuate, sono state considerate un utile riferimento per la presente fase di progettazione.

2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Scopo del documento è la descrizione delle principali soluzioni tecnico-progettuali individuate sia per la realizzazione delle gallerie naturali e delle relative opere accessorie, sia per gli interventi di risanamento e messa in sicurezza delle strutture esistenti. Per l'analisi degli aspetti geotecnici e strutturali si rimanda alle relazioni geotecniche e di calcolo delle opere.

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] C.S.LL.PP., Circolare n°7 del 19/01/2019, “Istruzioni per l'applicazione dell'“Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al DM 17/01/2018”;
- Rif. [3] Decreto Ministeriale 28/10/2005. “Sicurezza nelle gallerie ferroviarie”;

3.2 Normative non cogenti e raccomandazioni

- Rif. [4] SIG, “Linee guida per la progettazione, l'appalto e la costruzione di opere in sotterraneo”, 1997;
- Rif. [5] ITA, “Guidelines for the design of tunnels”, 1988;
- Rif. [6] AGI, “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”, 1977;
- Rif. [7] Cotecchia V., Fidelibus M.D., Guerricchio A., Tulipano L. “Valutazione del rischio di venute d'acqua nella realizzazione della galleria ferroviaria attraversante il rilievo argilloso di Miglionico”, Geol. Appl. Idrogeol., Vol. XXXI, Bari, 1996;
- Rif. [8] Cotecchia V. e Tafuni N. “Galleria “Miglionico in argille azzurre: metodologie costruttive e di monitoraggio strutturale e geotecnico”, Gallerie e Grandi Opere Sotterranee, Marzo 1997.

3.3 Prescrizioni e specifiche tecniche (RFI, ITF)

- Rif. [9] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 C “Manuale di Progettazione delle opere civili” (21/12/2018);
- Rif. [10] RFI, doc RFI DTC SI SP IFS 001 C “Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili” (21/12/2018);

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IA5F	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

Rif. [11] RFI, doc RFI TCAR SF AR 03 009 B “Traverse speciali in calcestruzzo tipo “Galleria” - Specifica Tecnica di fornitura”, datato Giugno 2016;

Rif. [12] ITALFERR, Specifica Tecnica PPA.0002403 “Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali” (Dicembre 2015).

4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

4.1 Documenti Referenziati

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

Rif. [13] ITALFERR, Progetto Esecutivo (2006);

Rif. [14] ITALFERR, Progetto Preliminare (2018).

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

Rif. [15] Italferr, documento IA5F00F13ROMD0000001A “Dossier dati e requisiti di base” datato Agosto 2017;

Rif. [16] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, Elaborati Specialistici;

Rif. [17] U.O. Infrastrutture Sud, Elaborati Specialistici.

Rif. [18] MATEFER, Progetto Esecutivo (1985).

4.2 Documenti Correlati

Rif. [19] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);

Rif. [20] Bernaud D., Benamar I., Rousset G. (1994). La “nouvelle méthode implicite” pour le calcul des tunnel dans les milieux élastoplastiques et viscoplastiques – Revue Francaise de Géotechnique, N° 68.

Rif. [21] Bernaud D., Rousset G. (1992). La « nouvelle méthode implicite » pour l’étude du dimensionnement des tunnels – Revue Francaise de Géotechnique, N° 60.

Rif. [22] Peck R.B. (1969). Deep excavations and tunnelling in soft ground. SOA Report 7th Int. Conf. SMFE Mexico City, State of the Art Volume.

Rif. [23] Wittke W.; Ribler P. (1976) “Dimensioning of the Lining of Underground Openings in Swelling Rock Applying the Finite Element Method”; Publications of the Institute for Foundation Engineering, Soil Mechanics, Rock Mechanics and Water Ways Construction. RWTH (University) Aachen. Vol 2, pp 7-46.

Rif. [24] Huder J. Amberg G. (1970). Quellung in Mergel, Opalinuston und anydrit”. Schweizerische Bauzeitung. Vol. 88, No. 43, pp. 975-980.

4.3 Documenti Superati

Non sono presenti documenti superati.

5 ALLEGATI

Non sono presenti documenti superati allegati:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IA5F	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

6 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

I contenuti della presente relazione sono completati dai seguenti elaborati di progetto:

- Rif. [25] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07SPGN0000001A "Caratteristiche dei materiali - Note generali ", datato Luglio 2019;
- Rif. [26] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07WBG0100001A "Tratte a singolo binario - Sezioni tipo di intradosso", datato Luglio 2019;
- Rif. [27] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07WBG0100002A "Tratta a doppio binario - Sezioni tipo di intradosso", datato Luglio 2019;
- Rif. [28] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07WBG0100003A "Tratte artificiali di nuova realizzazione - Sezioni tipo di intradosso", datato Luglio 2019;
- Rif. [29] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07WBG0200001A "Sezione corrente - Sezioni tipo di intradosso", datato Luglio 2019;
- Rif. [30] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07WAG0200001A "Innesto con galleria di linea - Sezioni tipo di intradosso", datato Luglio 2019;
- Rif. [31] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07RHG0100001A "Galleria Miglionico - Relazione geotecnica e di calcolo della galleria naturale", datato Luglio 2019;
- Rif. [32] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07RHG0100002A "Galleria Miglionico - Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco", datato Luglio 2019;
- Rif. [33] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07F5GN0100001A "Galleria Miglionico - Profilo geotecnico", datato Luglio 2019;
- Rif. [34] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07RHG0200001A "Finestra Miglionico - Relazione geotecnica e di calcolo della galleria naturale", datato Luglio 2019;
- Rif. [35] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07RHGA0300001A "Finestra Miglionico - Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco", datato Luglio 2019;
- Rif. [36] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07F6GN0200001A "Finestra Miglionico - Profilo geotecnico", datato Luglio 2019;
- Rif. [37] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07RHG0000002A "Relazione delle indagini strutturali - Campagna 2005", datato Luglio 2019;
- Rif. [38] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07RHG0000003A "Relazione dell'indagine georadar - Campagna 2005", datato Luglio 2019;
- Rif. [39] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07RHG0000004A "Relazione sul rilievo visivo - Campagna 2005", datato Luglio 2019;
- Rif. [40] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07RHG0000005A "Relazione delle indagini - Campagna 2018", datato Luglio 2019;
- Rif. [41] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07WAG0100001A "Confronto rilievi laser scanner 2005-2018 - Sezioni trasversali - Tav 1", datato Luglio 2019;
- Rif. [42] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07WAG0100002A "Confronto rilievi laser scanner 2005-2018 - Sezioni trasversali - Tav 2", datato Luglio 2019;
- Rif. [43] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07WAG0100003A "Confronto rilievi laser scanner 2005-2018 - Sezioni trasversali - Tav 3", datato Luglio 2019;
- Rif. [44] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07WAG0100004A "Censimento interferenze con galleria esistente - Sezioni trasversali - Tav 1", datato Luglio 2019;

- Rif. [45] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07WAGN0100005A "Censimento interferenze con galleria esistente - Sezioni trasversali - Tav 2", datato Luglio 2019;
- Rif. [46] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07WAGN0100006A "Censimento interferenze con galleria esistente - Sezioni trasversali - Tav 3", datato Luglio 2019;
- Rif. [47] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07WAGN0100007A "Censimento interferenze con galleria esistente - Sezioni trasversali - Tav 4", datato Luglio 2019;
- Rif. [48] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07WAGN0100008A "Censimento interferenze con galleria esistente - Sezioni trasversali - Tav 5", datato Luglio 2019;
- Rif. [49] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07WAGN0100009A "Censimento interferenze con galleria esistente - Sezioni trasversali - Tav 6", datato Luglio 2019;
- Rif. [50] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07BBGN0100001A "Sezione tipo 1 - Scavo, consolidamenti e carpenteria", datato Luglio 2019;
- Rif. [51] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07BBGN0100002A "Sezione tipo 2, 2bis - Scavo, consolidamenti e carpenteria", datato Luglio 2019;
- Rif. [52] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07BBGN0100003A "Sezione tipo 3, 3bis - Scavo, consolidamenti e carpenteria", datato Luglio 2019;
- Rif. [53] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07BBGN0100004A "Sezione tipo 4 - Scavo, consolidamenti e carpenteria", datato Luglio 2019;
- Rif. [54] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07BBGN0100005A "Sezione tipo 5 - Scavo, consolidamenti e carpenteria", datato Luglio 2019;
- Rif. [55] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07BBGN0100006A "Sezione tipo 6 - Scavo, consolidamenti e carpenteria", datato Luglio 2019;
- Rif. [56] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07BBGN0200001A "Sezione tipo B2 - Carpenteria, scavo e consolidamenti", datato Luglio 2019;
- Rif. [57] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07BBGN0200002A "Sezione tipo C2 - Carpenteria, scavo e consolidamenti", datato Luglio 2019;
- Rif. [58] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07BBGN0200003A "Sezione tipo C2p - Carpenteria, scavo e consolidamenti", datato Luglio 2019;
- Rif. [59] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07BBGN0200004A "Sezione tipo C2p* - Carpenteria, scavo e consolidamenti", datato Luglio 2019;
- Rif. [60] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07P7GN0100001A "Schema planimetrico di ubicazione di nicchie - Ante Operam", datato Luglio 2019;
- Rif. [61] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07P7GN0100002A "Schema planimetrico di ubicazione di nicchie - Post Operam", datato Luglio 2019;
- Rif. [62] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07WAGN0000001A "Sezioni tipo di monitoraggio - Galleria Miglionico", datato Luglio 2019;
- Rif. [63] U.O. Gallerie, documento IA5F01D07WAGN0000002A "Sezioni tipo di monitoraggio - Finestra Miglionico", datato Luglio 2019;

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IA5F	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

7 DESCRIZIONE DELL'OPERA

7.1 Cenni storici

Appare utile riportare in questa sede alcuni cenni storici sulla galleria Miglionico, che permettono di inquadrare lo sviluppo della sua costruzione.

La realizzazione della nuova linea ferroviaria tra Ferrandina e Matera si inseriva nel quadro di completamento della rete ferroviaria complementare italiana e fu intrapresa nella prima metà degli anni ottanta del secolo scorso. Tale nuovo collegamento, della lunghezza di quasi venti chilometri, avrebbe dovuto collegare Matera alla rete ferroviaria nazionale, con allacciamento presso la stazione di Ferrandina, permettendo una connessione verso il Centro-Nord, lungo l'asse tirrenico, e verso il Sud, lungo la linea ionica, entrambe tramite la linea Battipaglia – Potenza – Metaponto. La linea ferroviaria fu progettata per accogliere in sede un doppio binario, traguardando la previsione di sviluppo del traffico che si sarebbe avuta con il completamento, verso Bari, di un ulteriore collegamento tra la dorsale adriatica ed il Mezzogiorno.

Anche per la galleria Miglionico, presente sulla nuova linea, era stata prevista una sezione di intradosso a doppio binario, con raggio in calotta di 5,20 m. Lo scavo della galleria, eseguito in tradizionale con la metodologia della mezza sezione, procedette a partire dai due imbocchi in maniera via via più difficoltosa, al punto che, in virtù delle grosse convergenze misurate, nonché dei diversi gravi dissesti occorsi e dei frequenti danneggiamenti nei rivestimenti provvisori e definitivi, si decise di passare ad una sezione di scavo circolare più piccola, per accogliere una sezione di intradosso a singolo binario, con raggio di 3,65 m.

Il tratto a singolo binario, che copre oltre il 60% del totale della galleria esistente, fu realizzato con scavo tradizionale a piena sezione, con preventivi interventi di pre-sostegno e consolidamento dell'ammasso. Dopo ciascuno sfondo, veniva installato il rivestimento di prima fase (in alcuni casi anche in arco rovescio) e a seguire venivano eseguiti i getti di rivestimento definitivo, prima in arco rovescio e poi in calotta.

Le problematiche riscontrate durante lo scavo della galleria Miglionico sono riconducibili al complesso assetto litostratigrafico dell'ammasso attraversato, caratterizzato da frequenti intercalazioni di sabbie all'interno di un terreno argilloso (Rif. [7]).

Fenomeni di instabilità si verificarono sia in corrispondenza del fronte di scavo, sia sui rivestimenti provvisori e definitivi, a causa del comportamento spingente dell'ammasso argilloso, con formazione di cerniere plastiche in chiave di calotta ed evoluzione in vere e proprie discontinuità strutturali e crollo all'interno del cavo di notevoli volumi di ammasso (Rif. [8]).

È da sottolineare infine che il progetto esecutivo del 1985 prospettava il rischio di intercettare venute di gas metano durante lo scavo della galleria; tale evenienza è stata poi confermata in fase di realizzazione.

7.2 Il progetto esecutivo del 2006

Nel 2005 fu conferito ad Italfer l'incarico per la progettazione esecutiva del "Completamento delle opere civili e delle tecnologie della galleria Miglionico" (Rif. [13]).

Propedeuticamente allo sviluppo di tale progettazione, fu intrapresa una diffusa campagna d'indagine in galleria allo scopo di definire in dettaglio lo stato di consistenza delle strutture esistenti. Furono eseguiti rilievi visivi sui rivestimenti; rilievi topografici delle sezioni di intradosso, in gran parte con tecnologia laser-scanner; numerosi carotaggi nel rivestimento definitivo con prelievo di campioni di calcestruzzo e dell'ammasso a tergo da sottoporre a prove di laboratorio; prospezione geofisiche con georadar per la definizione degli spessori del rivestimento esistente e l'individuazione della presenza di armatura; prove con martinetto piatto per la definizione dello stato di sollecitazione nei rivestimenti. Infine, furono installati piezometri e fessurimetri; questi ultimi furono oggetto di un prolungato monitoraggio.

La filosofia di intervento che venne definita in progetto era basata sulla realizzazione di un controanello continuo di rivestimento definitivo in calcestruzzo armato, indipendente dalle strutture di rivestimento esistente.

Era stata prevista la realizzazione di un pozzo di ventilazione a servizio di un impianto di ventilazione forzata, che, in caso di necessità (evidenziata da un sistema di monitoraggio), avrebbe garantito il corretto presidio rispetto al rischio gas in fase di esercizio.

In effetti la galleria Miglionico rappresenta un caso limite rispetto al rischio gas metano, trovandosi in corrispondenza di un vero e proprio giacimento, oggetto di attività estrattive. Gli episodi documentati riguardo rilievi positivi di gas metano, anche macroscopici, sia in fase di scavo della galleria, sia a lavori finiti, sono più che numerosi. In un simile contesto, la gestione del rischio gas in galleria non è stata trattata solo con riferimento alla fase realizzativa, ma anche rispetto alla fase di esercizio, in relazione a possibili difettosità realizzative o anche al potenziale degrado delle caratteristiche di impermeabilità della galleria a lungo termine.

Il progetto esecutivo non venne realizzato, ma il bagaglio di informazioni e conoscenze sulla galleria ricostruite in quella sede costituiscono senza dubbio un prezioso riferimento per la presente fase progettuale, sebbene la galleria da allora abbia subito un naturale degrado delle sue condizioni, non essendo stata oggetto di interventi. Le scelte progettuali fatte allora sono da considerare ancora attuali e valide, almeno in parte.

7.3 Il tracciato e le opere in sotterraneo

L'attuale fase di progettazione prevede una lunghezza totale del tracciato della linea Ferrandina - Matera La Martella, dalla stazione di Ferrandina (pk 0+000) alla stazione di Matera La Martella inclusa (pk 19+543.99), di circa 20 km, che si sviluppa in sotterraneo per una lunghezza complessiva di circa 6.3 km, mediante la galleria esistente Miglionico. Di nuova realizzazione è invece la Finestra Miglionico che, innestandosi alla pk 6+245.30, presenta una lunghezza complessiva di 609 m, suddivisi in opere di imbocco (portale e galleria artificiale) di lunghezza complessiva pari a 35.5 m e in galleria naturale di lunghezza complessiva pari a 573.5 m.

La massima velocità di tracciato è di 120 km/h; in galleria si ha una pendenza longitudinale massima pari a 12,7 %, la massima copertura è pari a 330 m circa e si verifica nell'intorno della progressiva 4+200.

La galleria Miglionico presenta le tratte di imbocco in artificiale scatolare con configurazione a doppio binario, le tratte di galleria naturale a doppio binario con sezione di intradosso policentrica, la tratta centrale di galleria naturale a singolo binario con sezione circolare. In Tabella 1 si sintetizza quanto appena detto.

Tabella 1 Configurazione galleria esistente

Sezione di intradosso		pk
DB	Artificiale Scatolare	2+390.45 2+438.45
	Naturale Policentrica	2+438.45 3+455.11
SB	Naturale Circolare	3+455.11 7+181.29
DB	Naturale Policentrica	7+181.29 8+708.89
	Artificiale Scatolare	8+708.89 8+853.89

In Tabella 2 si riporta invece la configurazione di progetto che, secondo gli interventi previsti, prevede il prolungamento delle gallerie artificiali, circa 50 m per entrambi gli imbocchi, e la realizzazione di un controanello in calcestruzzo armato (impermeabilizzato full-round), che seguirà la forma circolare o policentrica degli intradossi esistenti delle tratte a singolo o doppio binario esistenti rispettivamente.

Tabella 2 Progressive della galleria Miglionico

		pk	L (m)
Tratto in artificiale	inizio portale	2+345.60	15.80

lato Ferrandina (GA01)	inizio GA nuova	2+361.40	29.05
	inizio GA esistente	2+390.45	48.00
Tratto in naturale (GN01)	inizio GN DB	2+438.45	914.85
	inizio GN SB	3+353.30	3981.17
	fine GN SB	7+334.47	
	fine GN DB	8+709.39	1374.92
Tratto in artificiale lato Matera (GA02)	fine GA esistente	8+853.89	144.50
	fine GA nuova	8+888.59	34.70
	fine portale	8+904.39	15.80

Per ulteriori dettagli sulla descrizione del tracciato della galleria di linea e si rimanda alle relazioni geotecniche e di calcolo della galleria naturale e degli imbocchi (Rif. [31] e Rif. [32]) e al profilo geotecnico (Rif. [33]).

7.3.1 Sezioni di intradosso

In considerazione della necessità di adattarsi alle peculiarità dell'intervento e allo stato di consistenza della galleria esistente, le sezioni di intradosso previste in progetto per la galleria di linea sono state definite sulla base dei seguenti dati di base:

- adozione del Gabarit tipo A, a cui corrisponde il P.M.O. 1A (Rif. [9]),
- velocità di transito in galleria pari a 120 Km/h,
- impiego dell'armamento tipo "Galleria" (Rif. [11]),
- alimentazione elettrica a 3 KV in c.c. con altezza della linea di contatto pari a 4,70 m dal piano ferro.

In Figura 1 è rappresentata la sezione di intradosso prevista per la tratta centrale della galleria a sezione circolare con configurazione a singolo binario. Rispetto al raggio di intradosso della sezione esistente, pari a 3.65 m, la nuova sezione è anch'essa circolare, ma con raggio di intradosso pari a 3.35 m. Tale sezione di intradosso è prevista applicata anche nelle tratte esistenti di galleria artificiale doppio binario a sezione scatolare.

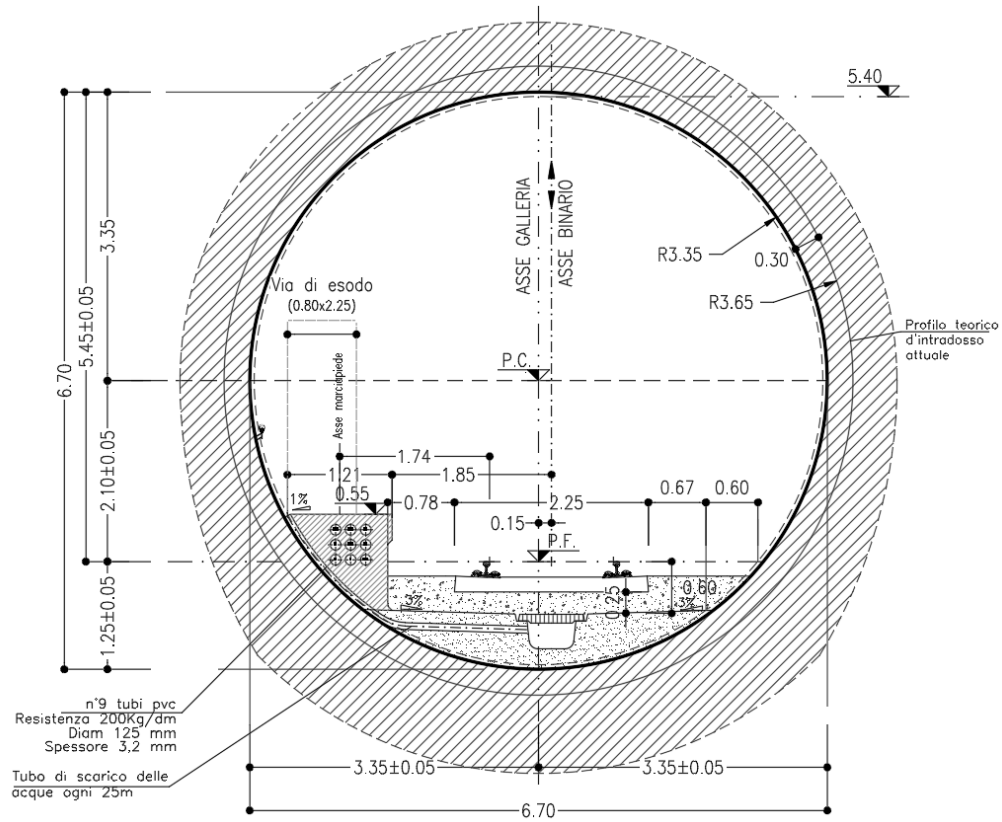


Figura 1 Sezione di intradosso circolare (R = 3.35 m) per singolo binario esistente e artificiali scatolari esistenti

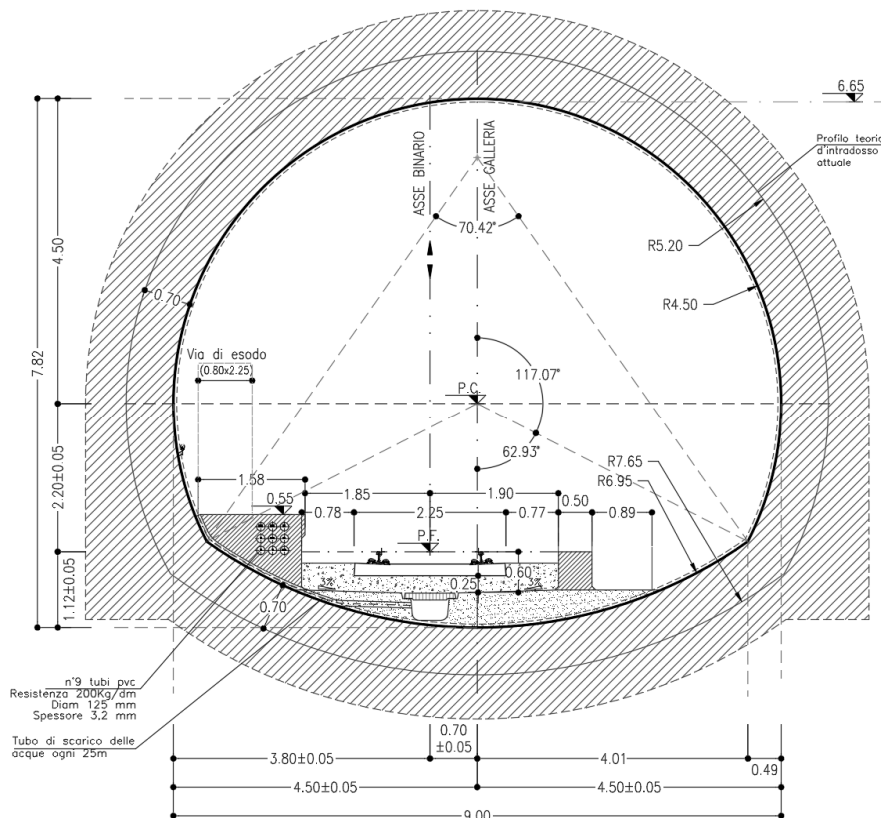


Figura 2 Sezione di intradosso policentrica (R = 4.50 m in calotta) per doppio binario naturale esistente

In Figura 2 è rappresentata la sezione di intradosso prevista per le tratte di galleria naturale a sezione policentrica con configurazione a doppio binario. Anche la sezione di progetto è policentrica ma, rispetto al raggio di intradosso della sezione esistente, pari a 5.20 m in calotta, ha raggio di intradosso di calotta pari a 4.50 m.

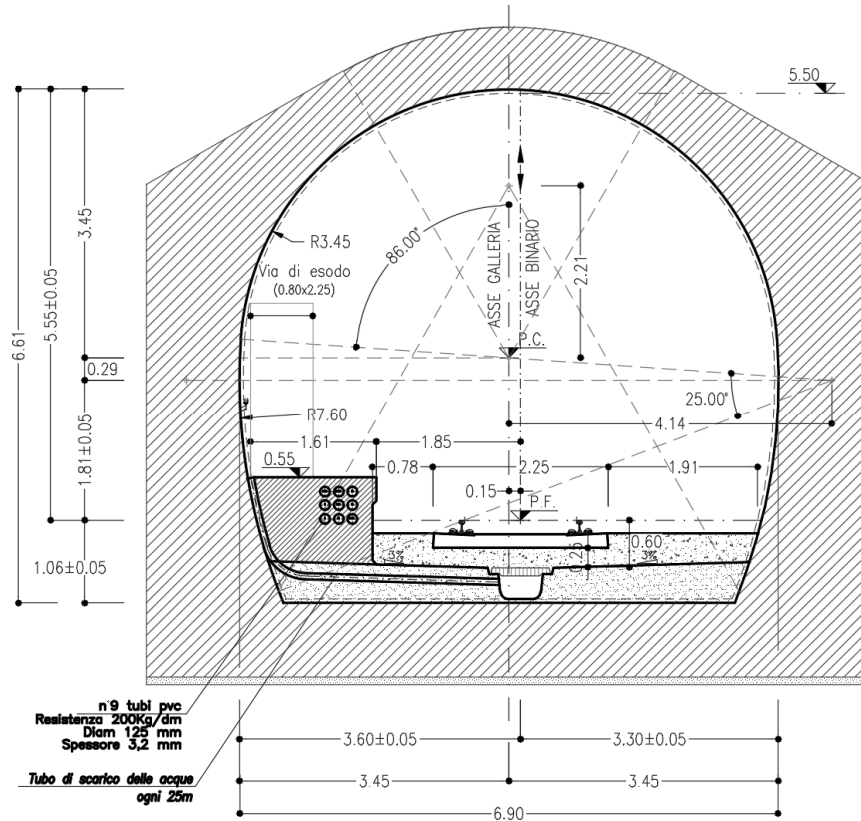


Figura 3 Sezione di intradosso policentrica (R = 3.45 m in calotta) per artificiali di nuova realizzazione

In Figura 3 è infine rappresentata la sezione di intradosso prevista per le due tratte di galleria artificiale di nuova realizzazione agli imbocchi. Tale sezione, caratterizzata da un raggio di intradosso di calotta di 3.45 m, non presenta un arco rovescio ma una soletta di fondazione, questa forma linearizzata ottimizza gli interventi di risanamento necessari anche nel tratto all'aperto.

Le sezioni di intradosso della galleria 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, misurata parallelamente al piano di rotolamento, è pari a 113 cm. Tale camminamento, presente sul lato sinistro rispetto alle progressive crescenti, ha una larghezza non inferiore a 120 cm ed è corredato da corrimano posto sul paramento interno della galleria ad una quota di 1 m dal piano di calpestio del marciapiede.

7.3.2 Uscita di emergenza: Finestra Miglionico

È prevista la realizzazione di un'uscita/accesso intermedio di emergenza, costituita da una finestra carrabile denominata Finestra Miglionico destinata all'esodo dei passeggeri e all'accesso dei mezzi di soccorso. In Figura 4 si riporta la sezione di intradosso della finestra, la quale subirà un progressivo allargamento fino a raggiungere le dimensioni del camerone di manovra, necessario a consentire le manovre di inversione di marcia dei mezzi di soccorso (Figura 5).

Considerata la lunghezza totale della galleria ed il contesto geotecnico in cui verrà realizzato lo scavo (limi con argilla da sabbiosi a debolmente sabbiosi), si prevede di realizzare la galleria naturale con il metodo di scavo tradizionale.

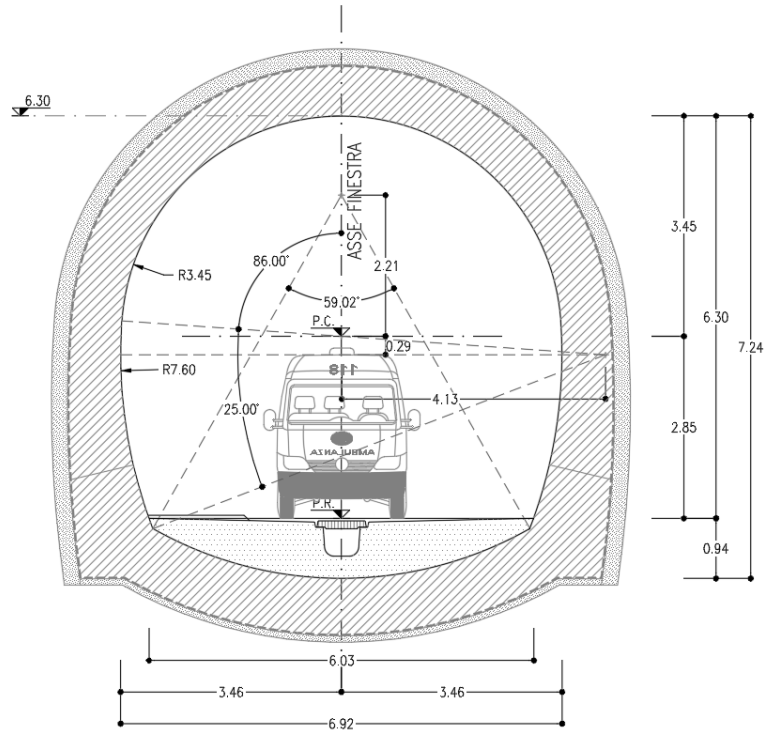


Figura 4 Sezione di intradosso policentrica per l'uscita/accesso intermedio di emergenza

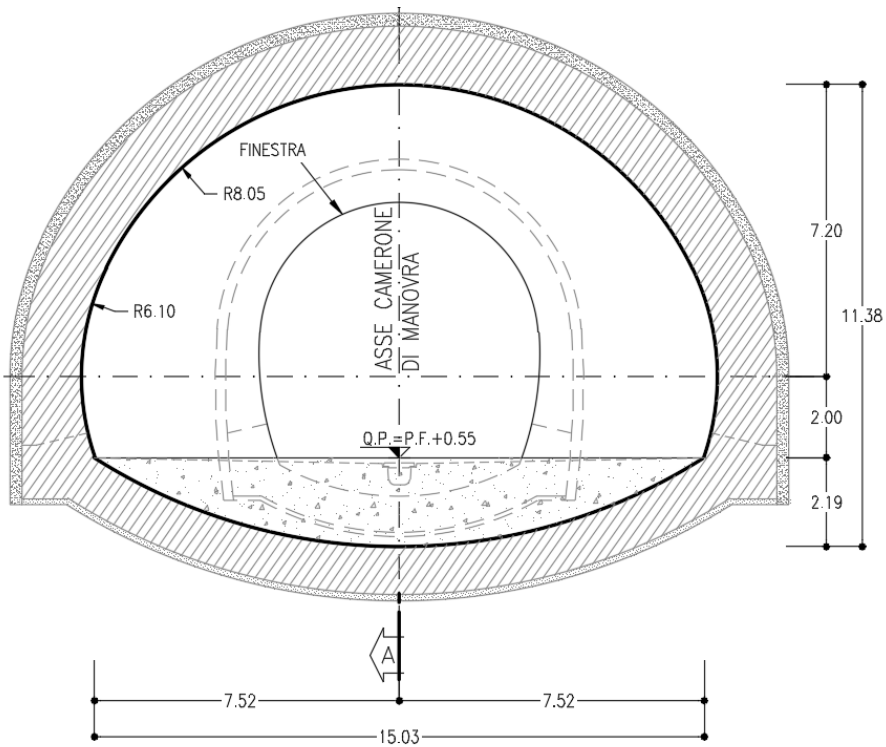


Figura 5 Sezione di intradosso policentrica per il camerone di manovra

7.3.3 Nicchie

In accordo al Manuale di Progettazione RFI (paragrafo 4.6.8 “Opere complementari”), la galleria non è dotata di nicchie di ricovero personale e non sono previste nicchie tecnologiche standard.

In galleria saranno pertanto realizzate soltanto nicchie a servizio delle esigenze impiantistiche e tecnologiche della linea (Rif. [61]):

Tipologia nicchia	Larghezza	Profondità	Altezza
QdT	2.20 m	2.50 m	2.05 m
GSM-P	2.80 m	2.50 m	2.05 m
BTS	3.00 m	5.30 m	2.35 m
TE	3.00 m	4.10 m	2.70 m

Le nicchie esistenti sono di quattro tipi (Rif. [60]):

Tipologia nicchia	Larghezza	Profondità	Altezza
A	1.80 m	1.50 m	1.95 m
B	2.80 m	2.47 m	2.20 m
C	2.80 m	12.23 m	5.70 m
D	2.80 m	3.46 m	2.20 m

Si prevede di ottimizzare la realizzazione delle nuove nicchie sfruttando le cavità già scavate di quelle esistenti, ad esempio si riporta in Figura 6 una nicchia di tipo BTS realizzata all’interno di una nicchia esistente di tipo C.

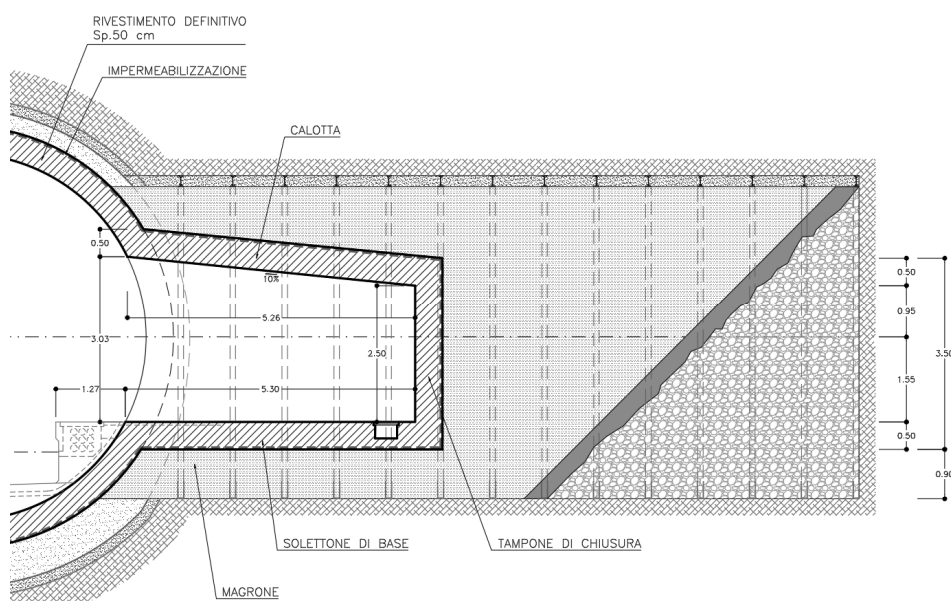


Figura 6 Nicchia BTS realizzata all’interno di una nicchia esistente di tipo C

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IA5F	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

8 FASE CONOSCITIVA

Nella fase conoscitiva si acquisiscono gli elementi necessari alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito e alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo interessato dall'opera in sotterraneo; in questo caso, assume una rilevanza centrale anche lo stato di consistenza della galleria esistente. Nel seguito si riporta un breve inquadramento geologico, la sintesi della caratterizzazione geotecnica del terreno al contorno e dello studio relativo allo stato di consistenza della galleria.

8.1 Inquadramento geologico

L'area interessata dall'opera in sotterraneo ricade nella parte centrale di un settore dell'avanfossa adriatica meridionale, noto in letteratura come Fossa Bradanica. La Fossa Bradanica è un profondo solco allungato in direzione NO-SE delimitato in senso longitudinale a nord dalla soglia di Lavello (Tavoliere delle Puglie) ed a sud dal golfo di Taranto, compreso fra il bordo esterno della catena appenninica ed il margine occidentale dell'avampaese adriatico murgiano.

La Galleria Miglionico sotto-attraversa un rilievo collinare allungato grossomodo da N-O a S-E, la cui sommità subpianeggiante prossima ai 500 metri d'altitudine, corrisponde allo spartiacque fra i bacini idrografici dei fiumi Basento e Bradano (Matera).

Lo scavo della Galleria Miglionico ha interessato interamente la formazione delle Argille Subappennine. Di seguito si riporta una breve descrizione dell'unità geologica appena menzionata:

Formazione delle Argille subappennine (Pleistocene) - ASP

Si tratta di argille di colore grigio-azzurro, di solito marnose e spesso, anche alle massime profondità, stratificate con frequenti alternanze di straterelli sabbiosi e, più raramente, di discontinuità contenenti acque in pressione e gas metano. L'ammasso deriva da depositi di ambiente marino per lo più litorale e profondo. Nelle argille sono talora presenti inclusioni nerastre di sostanze carboniose generalmente attribuibili a depositi algali. Spiccano rari e caratteristici livelli di cineriti e tufi e successioni lentiformi costituite da alternanze di limi, conglomerati e cineriti.

Nelle argille in esame, il cui contenuto in minerali argillosi è a prevalente costituzione illitica, si possono osservare sistemi di fessurazione che formano un caratteristico reticolo giallastro per alterazione dei labbri dovuta ad infiltrazione delle acque superficiali. Detto reticolo di fessure è stato prodotto da antichi movimenti franosi o in prevalenza dall'attività neotettonica. In particolare, la presenza di discontinuità e di livelli o lenti di terreni più permeabili all'interno delle Argille Subappennine ha suggerito un potenziale collegamento idraulico che di fatto è stato confermato anche dalle misure piezometriche eseguite nell'ambito delle indagini legate al Progetto Esecutivo del 2005 (Rif. [1]). Come risultato questa formazione è quindi stata considerata come un unico sistema, con una bassa permeabilità e ridotte possibilità di alimentazione e pertanto con quantitativi d'acqua immagazzinati modesti, a cui però si possono associare "sacche" più permeabili (diversi studi idrogeologici hanno classificato tali acque come fossili a ridotta capacità di alimentazione).

Per una dettagliata descrizione del modello geologico del sito si rimanda alla "Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica" (Rif. [16]).

8.2 Indagini geotecniche

Ai fini della definizione del modello geotecnico del sottosuolo per le opere in sotterraneo in progetto, oltre ai dati acquisiti con la campagna di indagini 2019, eseguita in particolare per il progetto della finestra, sono stati analizzati tutti i dati disponibili relativi alle diverse campagne di indagine condotte per il progetto esecutivo "storico" della Galleria Miglionico (Rif. [18]) e per il già citato progetto esecutivo redatto da Italferr nel 2005 (Rif. [13]).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IA5F	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

Di seguito sono riportati i dati relativi alle campagne di indagine alle quali si è fatto riferimento:

- Campagna indagini 1985 (Rif. [18])

Le numerose indagini eseguite in fase di progettazione (e di realizzazione) della Galleria Miglionico hanno previsto:

- indagini con prospezione sismica;
- misure piezometriche e geotermiche;
- sondaggi con prelievo di campioni di terreno da sottoporre a prove di laboratorio;
- prelievo di campioni dal fronte di scavo (durante lo scavo della galleria) da sottoporre a prove in laboratorio.

Dai sondaggi sono stati prelevati in totale 103 campioni indisturbati a profondità variabili fino a 342 m dal piano campagna. Su detti campioni sono state effettuate prove di classificazione, prove triassiali UU, CU e CD, prove di taglio diretto e prove edometriche.

- Campagna indagini 2005 (Rif. [13])

Nel corso del 2005 è stata effettuata un'estesa campagna di indagini con lo scopo di valutare lo stato di consistenza delle opere strutturali della Galleria Miglionico e lo stato di sollecitazione dei rivestimenti esistenti.

Sono stati previsti:

- rilievi visivi sul rivestimento;
- rilievi topografici con la tecnica della scansione laser per la geometrizzazione tridimensionale del rivestimento;
- sondaggi nel rivestimento definitivo esistente e nel terreno circostante il cavo con prelievo di campioni da sottoporre a prove di laboratorio;
- prospezione geofisica con georadar per la definizione degli spessori del rivestimento esistente e per l'individuazione di eventuale armatura;
- installazione di piezometri nei fori di sondaggio eseguiti in galleria;
- prove con martinetto piatto per la definizione dello stato di sollecitazione nei rivestimenti;
- 1 sondaggio profondo da piano campagna.

In particolare, sono stati eseguiti 20 sondaggi meccanici dislocati su 10 sezioni, all'interno del tratto di Galleria Miglionico a singolo binario. Per ogni sezione è stato eseguito 1 sondaggio in calotta e 1 in arco rovescio, aventi lunghezza, rispettivamente, di 6 m e 5 m.

- Campagna indagini 2019

Durante la campagna di indagine del 2019 sono stati realizzati:

- n.2 sondaggi a carotaggio continuo, attrezzati con piezometri;
- n.1 sondaggio a distruzione attrezzato con inclinometro;
- n.3 prove dilatometriche nei fori di sondaggio;
- n.4 prove di permeabilità di tipo Lugeon;

Il numero totale dei campioni indisturbati prelevati e sottoposti a prove di laboratorio è pari a 8; su questi sono state eseguite le prove di caratterizzazione fisica e le seguenti prove meccaniche:

- n. 4 prove triassiali consolidata non drenata (CIU);

- n. 4 prove triassiali non consolidata non drenata (UU);
- n. 4 prove di rigonfiamento impedito;
- n. 4 prove di rigonfiamento tipo Huder Amberg.

L'ubicazione dei sondaggi ed il modello geotecnico sono rappresentati negli elaborati di profilo geotecnico della galleria e della finestra (Rif. [33] e Rif. [36]). Per ulteriori dettagli relativi alle campagne di indagini si rimanda agli elaborati di progetto specialistici (Rif. [16]).

8.3 Caratterizzazione geotecnica

I risultati delle indagini geotecniche eseguite in situ e di laboratorio hanno permesso di definire il modello geotecnico rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e delle rocce interessate dall'opera in sotterraneo lungo il suo tracciato.

Le Argille Subappennine si presentano consistenti, a tratti marnose; sono presenti frequenti intercalazioni sabbioso limose, di spessore variabile da pochi centimetri ad alcuni decimetri.



Figura 7 - Argille Subappennine (Cassetta del sondaggio S2 da 130 m)



Figura 8 - Argille Subappennine – dettaglio intervalli centimetrici sabbiosi (Cassetta del sondaggio S2 da 130 m)

8.3.1 Caratteristiche fisiche

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati nei fori di sondaggio mostrano che la formazione delle Argille Subappennine è costituita prevalentemente da limo in percentuali variabili tra il 52% e il 70% (Figura 9); i terreni sono classificabili (Rif. [6]) come limi con argilla e limi argillosi, debolmente sabbiosi.

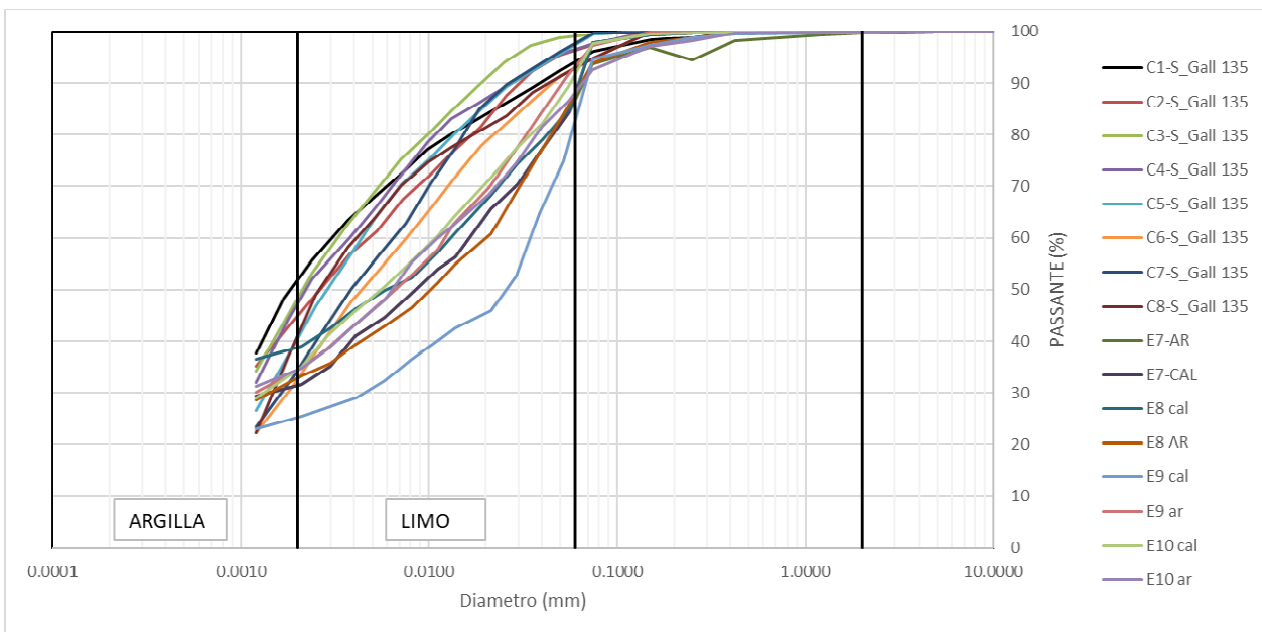


Figura 9 - Fusi granulometrici dei campioni di Argilla SubAppennina (campagna di indagine 2005 e 2019).

Il contenuto d'acqua naturale risulta compreso tra il 14% ed il 22%; nella figura seguente è riportato il grafico che ne rappresenta l'andamento con la profondità dal piano campagna. In Figura 11 si rappresenta il peso dell'unità di volume, variabile tra $19,4 \div 21,2 \text{ kN/m}^3$, mentre il peso specifico, in Figura 12, è compreso tra $27,0$ e $27,8 \text{ kN/m}^3$.

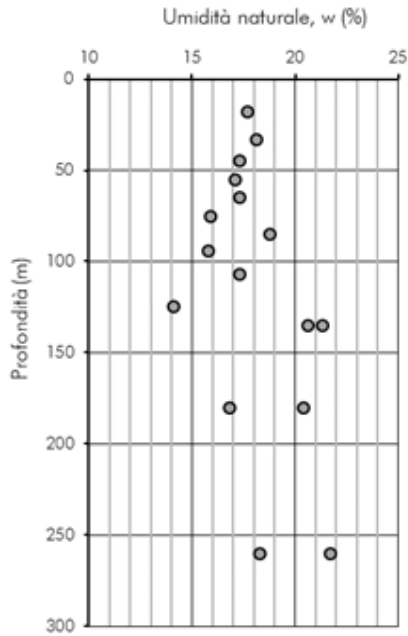


Figura 10 - Contenuto d'acqua

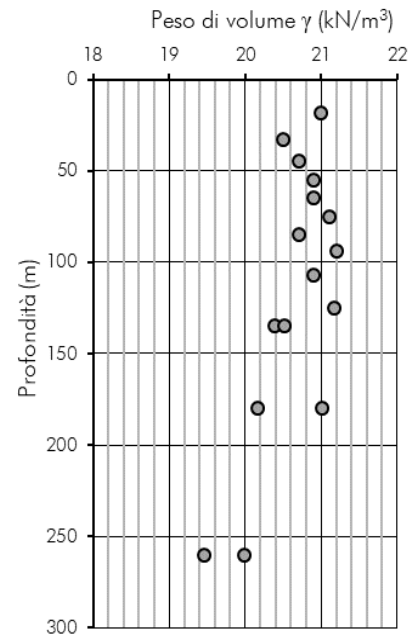


Figura 11 - Peso dell'unità di volume γ

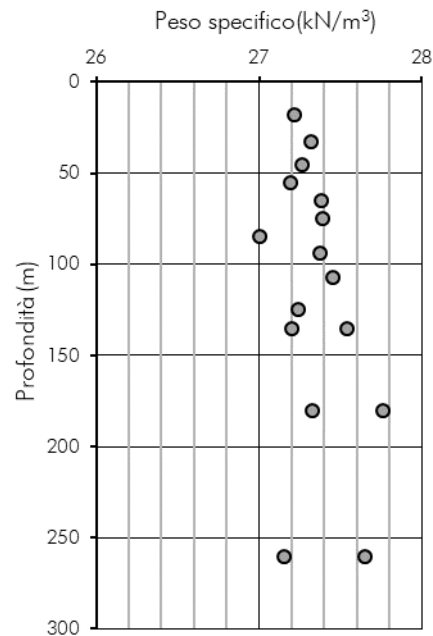


Figura 12 - Peso specifico γ_s

I limiti di Atterberg, in particolar modo il limite di liquidità, risultano variabili in un ampio range come riportato di seguito (Figura 13); l'indice di consistenza del terreno è compreso tra 0,9 e 1,15.

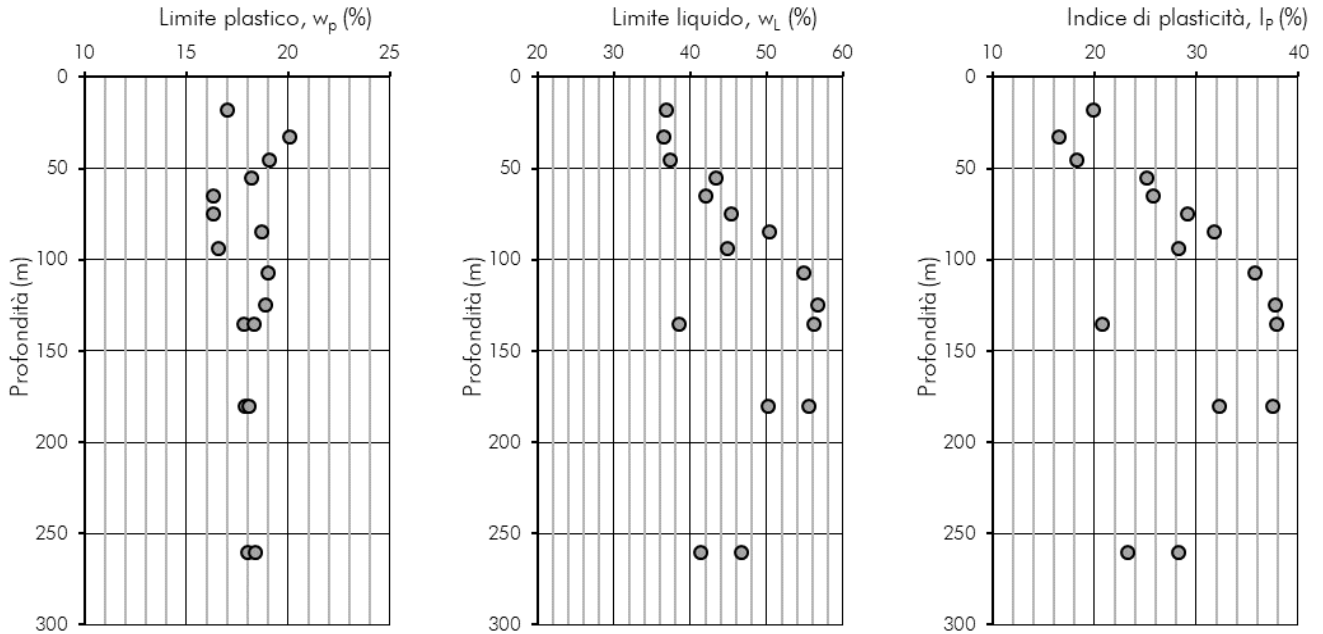


Figura 13 - Limiti di Atterberg e Indice di plasticità

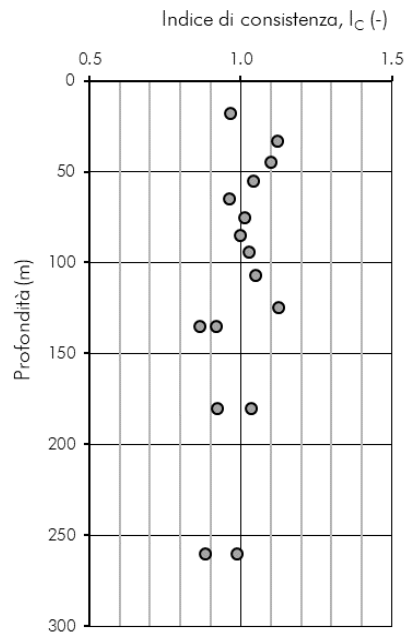


Figura 14 - Indice di consistenza.

I range di variabilità dei parametri fisici suddetti sono riassunti a seguire:

- Limite di plasticità: 16% ÷ 20%
- Limite di liquidità: 38% ÷ 57%
- Indice di Plasticità: 16% ÷ 37%

- Indice di consistenza: $0.9 \div 1.15$

La carta di Casagrande (Figura 15) classifica la formazione delle Argille Subappennine nell'ambito delle argille inorganiche di media ed alta plasticità.

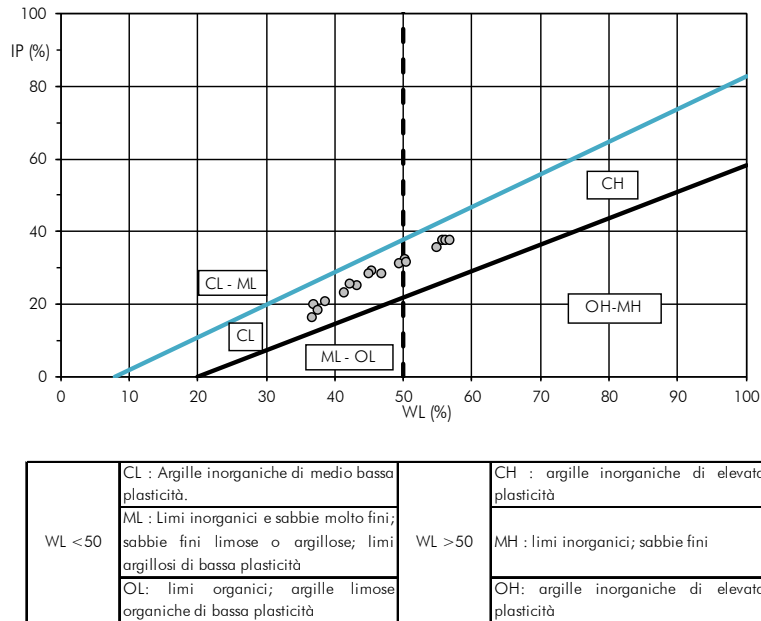


Figura 15 - Carta di Casagrande

8.3.2 Caratteristiche meccaniche

Sono state eseguite diverse prove di compressione triassiale del tipo consolidato – non drenato (CIU) che hanno fornito l'involuppo di resistenza riportato nella Figura 16; il criterio di rottura è definito da una linea retta che interpola i punti a rottura e definisce un angolo di attrito $\varphi' = 26^\circ$ ed una coesione drenata $c' = 33$ kPa.

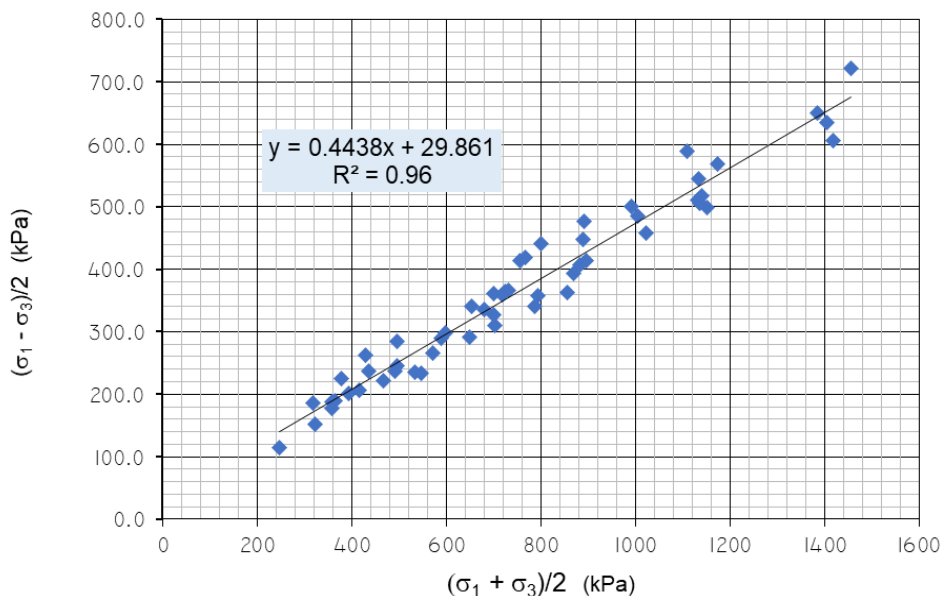


Figura 16 - Involuppi a rottura delle prove in cella triassiale del tipo consolidato - non drenato (CIU)

Nel corso delle campagne di indagine eseguite nel 2005 e nel 2019 sono state realizzate diverse prove di compressione triassiale non consolidate non drenate per determinare il valore della coesione non drenata; i risultati sono riportati nel grafico di Figura 17.

Nello stesso grafico sono riportati, evidenziati con campitura blu, gli intervalli minimo e massimo dei valori di coesione non drenata, ottenuti dalle prove UU realizzate per il progetto esecutivo “storico” della Galleria Miglionico (Rif. [18]). Gli intervalli riportati si riferiscono ad un elevato numero di prove, essendo state condotte circa 100 prove su campioni estratti da sondaggi, distinti per fasce di campionamento comprese, rispettivamente, fra 0÷50 m, 50÷150 m e oltre 150 m, raccogliendo in tal modo 34 campioni nel I gruppo, 46 nel II gruppo e 23 nel III gruppo. La tabella seguente sintetizza alcuni parametri geotecnici, per ognuno dei quali vengono forniti, rispettivamente, valore medio, deviazione standard, valore minimo e valore massimo.

Tabella 3 - Principali parametri geotecnici distinti per fasce di campionamento. Per ogni parametro sono riportati, rispettivamente, valore medio, deviazione standard, valore minimo e valore massimo

	γ_d	w	SABBIA	C.F.	LL	CARBONATI	SATURAZ.	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)_f$	$E_{1/3}$	C_s
	g/cmc	%	%	%	%	%	%	kg/cmq	kg/cmq	--
0+50 m	1.77/±.05	19.2/1.7	21.1/9.5	46.2/6.2	45.1/4.2	22.0/2.2	95.3/4.6	6.0/2.5	254/129	0.093/0.000
	1.67+1.91	15.3+25.4	5.8+55.5	25.1+56.9	33.6+54.0	18.4+27.7	74+100	1.6+11.9	43+693	0.029+0.110
50+150 m	1.85/.06	16.7/1.5	23.3/8.4	45.6/5.9	45.7/6.7	23.7/2.0	95.0/3.4	9.0/3.8	307/155	0.076/0.000
	1.72+1.97	13.5+20.7	11.9+46.8	30.4+55.9	33.2+65.4	19.7+27.5	78.2+100	2.9+19.9	25+955	0.027+0.110
> 150 m	1.85/.04	16.4/1.2	16.5/5.9	50.9/4.4	52.3/6.5	23.1/2.3	93.7/3.3	8.2/2.3	325/150	0.064/0.000
	1.78+1.93	14.8+19.1	5.6+33.8	38.9+57.0	39+63	19.9+28.7	86.9+100	4.7+13.5	110+790	0.033+0.110

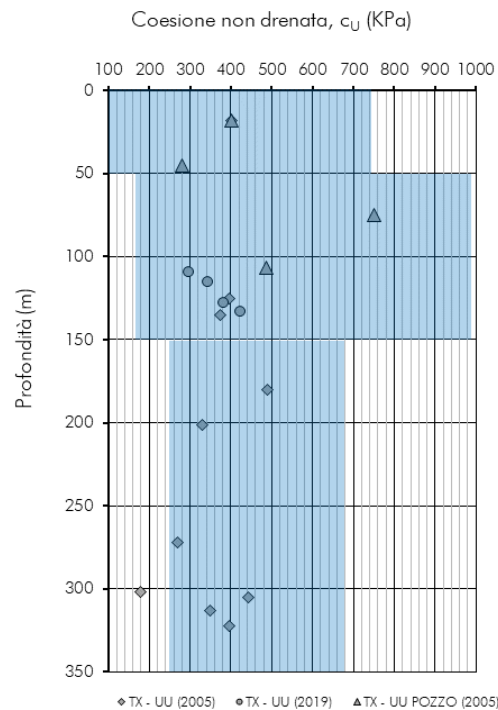


Figura 17 - Coesione non drenata da prove in cella triassiale del tipo non consolidato – non drenato

I valori di coesione non drenata ricavati dalle prove eseguite nel 2005 e nel 2019 ricadono all'interno del range di variabilità sopra indicato.

Ad integrazione dei dati di laboratorio sopra riportati, ai fini della caratterizzazione geotecnica di progetto, sono stati considerati anche i risultati delle back analysis messe a punto per il dimensionamento e la verifica degli interventi tipo, che verranno presentate nei paragrafi a seguire. Tali analisi dimostrano che nelle condizioni di verifica assunte nei modelli numerici, che si riferiscono ad elevati valori di ricoprimento sulla galleria, i valori di coesione non drenata delle Argille Subappennine possono essere riferiti ai valori massimi dei range indicati nella Figura 17.

I moduli di rigidità derivati dall'interpretazione delle prospezioni geofisiche eseguite nell'area di imbocco della finestra Miglionico e dalla misura della velocità di propagazione delle onde V_p e V_s su campioni di laboratorio, sono stati ottenuti a partire dai moduli E_0 , assumendo un rapporto E/E_0 pari a 0,10 in considerazione delle deformazioni di taglio attese per l'opera in progetto e delle curve di decadimento su materiali coesivi disponibili in letteratura.

Le risultanze delle indagini state opportunamente valutate tenendo in considerazione le differenti tipologie di prove condotte, i differenti volumi di materiale coinvolti ed il corrispondente effetto scala sulla definizione del modulo di rigidità della formazione.

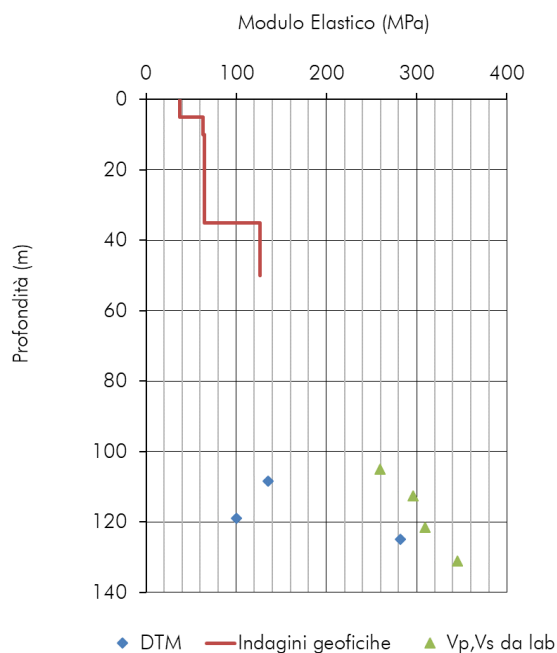


Figura 18 - Valori puntuali del modulo operativo da prove sismiche e da prove dilatometriche

Tali moduli sono quindi stati confrontati con i valori dei moduli desunti dalle prove dilatometriche eseguite nei fori di sondaggio per definire gli intervalli dei moduli operativi di rigidità nell'intervallo 50 ÷ 350 MPa.

Il valore del modulo elastico non drenato E_u è stato derivato utilizzando la correlazione proposta da Duncan e Buchignani ('76), che stabilisce il rapporto fra il valore del modulo non drenato e la coesione non drenata; nel caso specifico tale rapporto si attesta intorno al valore di 800, considerando un valore medio di $IP = 25 \div 28$.

Al fine di caratterizzare il previsto comportamento rigonfiante delle Argille Subappennine, sono state eseguite le seguenti prove di rigonfiamento in laboratorio, utilizzando la cella edometrica:

- prove di rigonfiamento tipo Huder Amberg (Rif. [24]);

- prove di rigonfiamento impedito con valutazione della pressione di rigonfiamento.

L'elaborazione delle prove secondo il metodo Huder-Amberg restituisce valori medi di coefficiente $k_{100 \text{ H-A}}$ pari a 4,8.

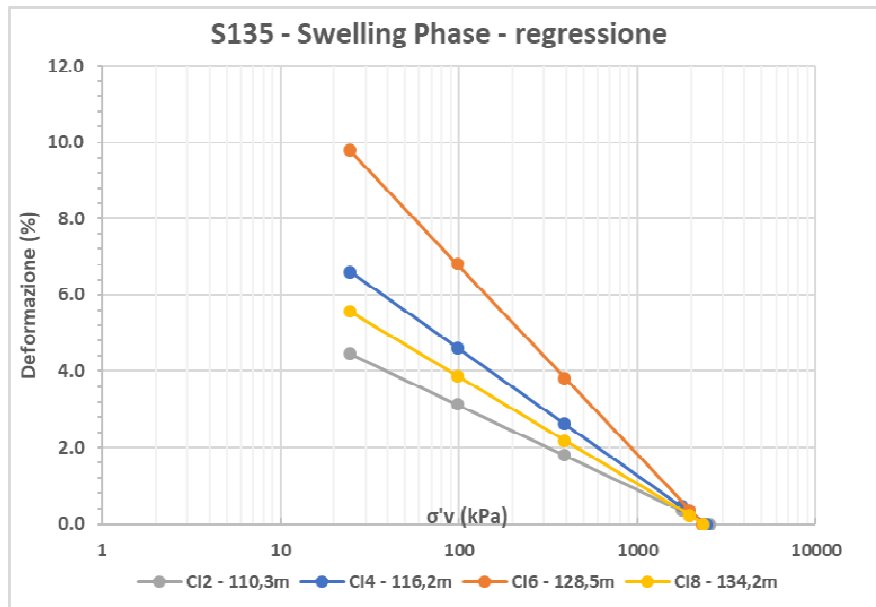


Figura 19 - Valori del coefficiente $k_{100 \text{ H-A}}$

Dalle prove di rigonfiamento impedito è stato possibile definire la pressione massima di contrasto al fenomeno di rigonfiamento del materiale in cella edometrica. Nella tabella seguente si riportano i valori ricavati da tale prova.

Tabella 4 - Risultanze prove di rigonfiamento impedito

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Pressione massima (kPa)
S Gall_135 m	CI 2	110.3	161.8
S Gall_135 m	CI 4	116.2	259.9
S Gall_135 m	CI 6	128.5	308.9
S Gall_135 m	CI 8	134.2	235.4

Le prove di permeabilità eseguite nei sondaggi delle campagne di indagine 2005 e 2019 forniscono valori compresi tra 10^{-7} e 10^{-8} m/s.

Tali valori confermano la modesta permeabilità della formazione in oggetto, peraltro già evidenziata nel corso delle prove pregresse. Rispetto ai valori di permeabilità che solitamente contraddistinguono le argille omogenee, si evidenzia che il quadro fessurativo dell'ammasso e la presenza degli intervalli sabbiosi costituiscono le cause principali di una permeabilità non eccessivamente bassa.

In ogni caso, in relazione agli interventi in progetto, alla scala dell'opera e alla velocità di avanzamento delle operazioni di scavo/demolizione è del tutto lecito ipotizzare che l'ammasso risponda in condizioni non drenate. Tale evidenza è stata, peraltro, ampiamente confermata dai risultati delle back analysis che, con riferimento alle condizioni di verifica modellate, non consentivano di ottenere configurazioni di equilibrio rappresentative dello stato attuale della galleria esistente, ipotizzando una risposta allo scavo drenata dell'ammasso.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IA5F	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

8.4 Il regime idraulico

I dati ricavati dal monitoraggio piezometrico eseguito nella campagna di indagine del 2019 su tutto il versante, con la quasi totalità dei piezometri installati nei materiali cartografati come Argille Subappennine, mostrano una forte variabilità nei valori di pressione interstiziale registrati lungo la linea ferroviaria.

Il piezometro S Gall PZ 135, posto a quota + 304,18 m s.l.m. nell'area di interesse della finestra Miglionico, mostra un valore piezometrico a quota + 265.68 m s.l.m.

Il piezometro S30_PZ posto a quota + 222,00 m s.l.m. nell'area di imbocco della finestra indica un valore piezometrico a quota + 206,40 m s.l.m.

Per quanto riguarda i livelli piezometrici misurati con i piezometri installati all'interno della galleria va considerato il fatto che la galleria stessa non è idraulicamente isolata e rappresenta un contorno drenante, responsabile di un possibile abbassamento delle pressioni interstiziali, almeno nell'intorno del cavo.

8.5 Indagini eseguite sul rivestimento della galleria esistente

Vista la natura dell'attività in oggetto riveste importanza fondamentale lo stato di fatto della galleria esistente al fine di valutare la qualità del rivestimento esistente, unitamente agli stati di sollecitazione agenti, oltre che le caratteristiche dell'ammasso al contorno del cavo.

Nel corso del 2005 è stata effettuata un'estesa campagna di indagini che ha previsto:

- rilievi visivi sul rivestimento;
- rilievo topografico con la tecnica della scansione laser per la geometrizzazione tridimensionale del rivestimento;
- prove con martinetto piatto per la definizione dello stato di sollecitazione nei rivestimenti.
- sondaggi nel rivestimento definitivo finalizzati alla valutazione dello spessore dello stesso ed al prelievo di campioni di calcestruzzo sottoposte a prove di laboratorio;
- prospezione geofisica con georadar per la definizione degli spessori del rivestimento esistente e per il rilievo della presenza di eventuali armature.

Per ulteriori dettagli relativi alla campagna di indagini 2005 si rimanda agli specifici elaborati di progetto specialistici (Rif. [37], Rif. [38] e Rif. [39]).

Per le indagini 2018 è stata predisposta una campagna del tutto analoga, anche se meno estesa rispetto a quella del 2005, ribattendo alcuni dati puntuali rispetto alla campagna del 2005, al fine di poter valutare la validità della campagna del 2005 anche nello stato attuale della galleria esistente. Per ulteriori dettagli riguardo si rimanda all'elaborato di progetto Rif. [40].

Inoltre, è stato eseguito un nuovo rilievo topografico degli intradossi con laser scanner che ha interessato il tratto di galleria a singolo binario, le zone di transizione singolo/doppio binario e l'imbocco lato Ferrandina.

8.6 Confronto rilievi laser scanner 2005 - 2018

Nell'ambito della fase conoscitiva si è ritenuto opportuno mettere a confronto il rilievo laser scanner del 2018 con l'analogo rilievo del 2005 al fine di evidenziare eventuali spostamenti e deformazioni dell'intradosso occorsi in questo intervallo di tempo. Il risultato di tale confronto è riportato nelle figure sottostanti mostrando la galleria

tridimensionale e le rispettive sezioni discrete per una visualizzazione 2D dei risultati. Gli spostamenti sono definiti rispetto al rilievo del 2005 e sono positivi (rossi) se diretti verso l'esterno della sezione, negativi (blu) se diretti verso l'interno della sezione, come riportato in figura:

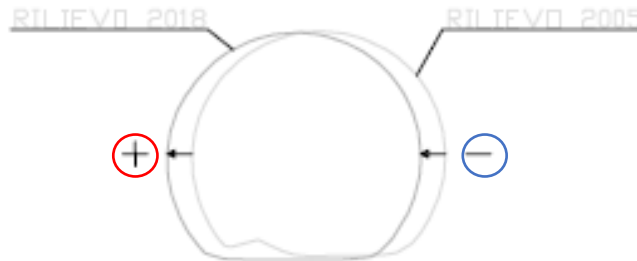


Figura 20 - Convenzione dei segni degli spostamenti

I colori identificano range di spostamenti così definiti: verde compreso tra -2 cm e +2 cm; azzurro tra -2 cm e -5 cm; blu tra -5 cm e -10 cm; rispettivamente tra 2 e 5 cm e tra 5 e 10 cm giallo e rosso con valori positivi.

Sono state identificate tre situazioni tipologiche di confronto:

- Tipo 1: spostamenti sostanzialmente (Figura 21);
- Tipo 2: spostamenti verso l'esterno alle reni e muretta lato sx, mentre in calotta e muretta lato dx convergenze verso l'interno (Figura 22 e Figura 23);
- Tipo 3: spostamenti verso l'esterno alla muretta lato sx, convergenze in calotta e spostamenti nulli alla muretta lato dx (Figura 24).

Il comportamento tipo 1 si registra nelle zone di inizio e fine singolo binario e di un tratto intermedio; il tipo 2 è stato diviso in sotto-tratte 2a e 2b in funzione dell'entità degli spostamenti (più accentuati per il 2b). Infine, il comportamento tipo 3 è riscontrabile in un piccolo tratto nella zona finale del singolo binario lato Matera.

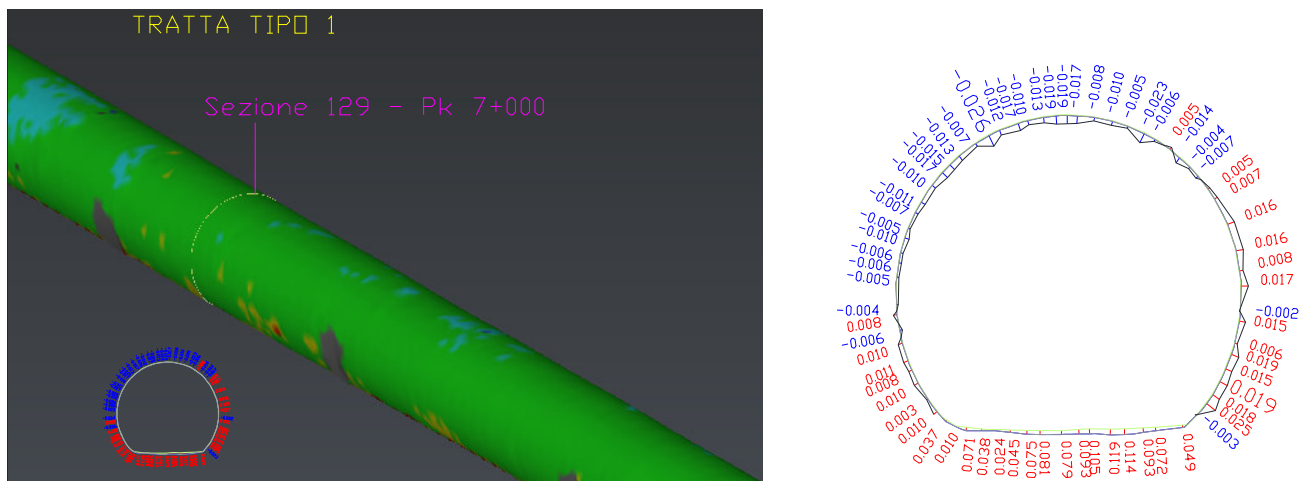


Figura 21 - Modello 3D e sezione rappresentativa tratta tipo 1

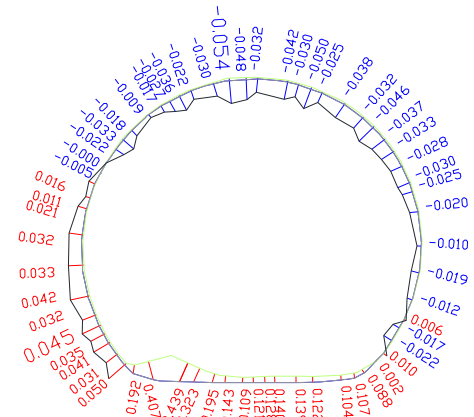
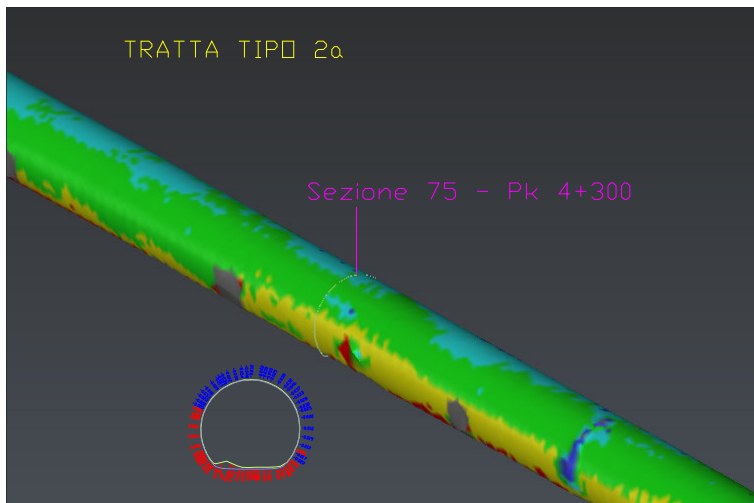


Figura 22 - Modello 3D e sezione rappresentativa tratta tipo 2a

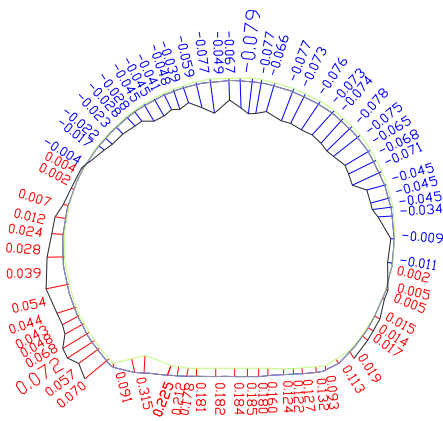
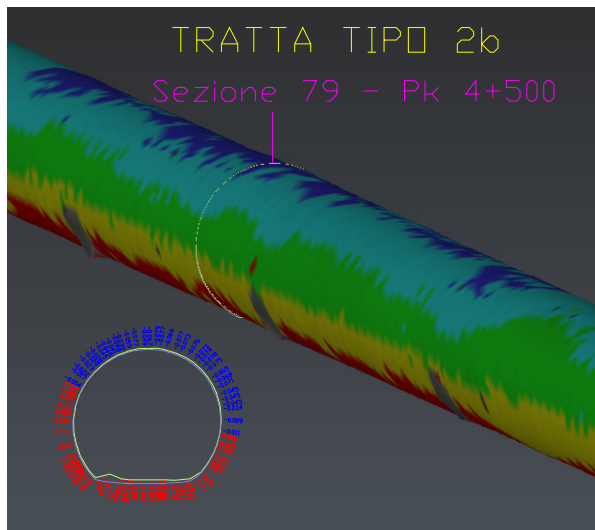


Figura 23 - Modello 3D e sezione rappresentativa tratta tipo 2b

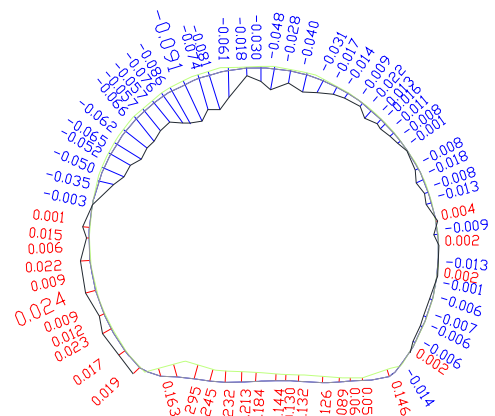


Figura 24 - Modello 3D e sezione rappresentativa tratta tipo 3

La Tabella 5 riassume le tipologie di comportamento individuate per ciascuna tratta esaminata.

Tabella 5 – Progressive delle tratte tipo lungo la galleria singolo binario

TRATTE TIPO	Da pk	a pk	Lunghezza [m]
1	3+455	3+650	195
2a	3+650	4+400	750
2b	4+400	4+550	150
2a	4+550	4+950	400
2b	4+950	5+700	750
1	5+700	5+900	200
2a	5+900	6+250	350
3	6+250	6+650	400
1	6+650	7+181	531

Dall'analisi critica delle diverse tipologie di scostamenti ottenuti, non sono stati riconosciuti dei potenziali meccanismi deformativi in atto, né è emerso il legame tra tali tipologie di comportamento e altri elementi di fase conoscitiva relativi allo stato di consistenza dei rivestimenti esistenti (sotto-spessori, ammaloramenti ecc.).

Le sezioni di confronto dei rilievi laser scanner 2005-2018 sono riportate in tre elaborati dedicati, cui si rimanda per ulteriori dettagli (Rif. [41], Rif. [42] e Rif. [43]).

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IA5F	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

9 FASE DI DIAGNOSI

9.1 Galleria Miglionico

L'elaborazione del rilievo laser scanner del 2018 ha consentito di mettere a punto un modello geometrico tridimensionale continuo in grado di restituire qualsiasi informazione riguardo lo stato di fatto dell'intradosso della galleria esistente. Da tale dato modello continuo è possibile estrapolare sezioni discrete con un passo qualsiasi, da definire in base all'aspetto di interesse.

In particolare, con questo modello 3D è stato possibile eseguire un'ottimizzazione plano-altimetrica del tracciato di progetto, al fine di minimizzare gli impatti sulle sezioni di intradosso esistenti, con particolare riferimento al tratto di galleria a singolo binario. Tale aspetto è stato senz'altro centrale nell'ambito del progetto degli interventi di risanamento in galleria perché ha consentito di ottimizzare tempi e costi di realizzazione.

Per lo studio plano-altimetrico del tracciato sono state previste sezioni ogni 50 metri con un infittimento, ogni 20 metri, in prossimità delle zone di passaggio dalla sezione policentrica a doppio binario alla sezione monocentrica a singolo binario.

Il processo iterativo seguito è stato articolato secondo le macro fasi di seguito indicate.

- In prima istanza è stato definito un "tracciato ideale" centrando la posizione della nuova sagoma di progetto all'interno delle sezioni di intradosso esistenti.
- Tale tracciato ideale è stato poi adeguato secondo le regole plano-altimetriche di un tracciato ferroviario.
- Con il tracciato di progetto sono state eseguite le verifiche di sagoma di dettaglio sulle sezioni trasversali estrapolate dal modello 3D della galleria.
- Le verifiche di sagoma hanno evidenziato la necessità di apportare ulteriori locali modifiche plano-altimetriche al tracciato di progetto, facendo ripartire il processo iterativo.

Il risultato finale di tale processo è la definizione di un tracciato di progetto che, nel rispetto di tutti i vincoli geometrici ferroviari, è tale da minimizzare le interferenze tra la nuova sagoma di progetto e gli intradossi esistenti.

9.1.1 Censimento delle interferenze

Nelle sezioni trasversali rilevate sono stati inseriti i profili d'intradosso di progetto e le relative carpenterie, così da poter individuare e censire tutte le interferenze tra le sagome di progetto e quelle esistenti e valutarne anche le entità.

Per i tratti di galleria a sezione policentrica doppio binario la sezione di progetto è costituita da un intradosso di calotta monocentrico di raggio 4,50 m e un rivestimento definitivo di spessore minimo pari a 50 cm. Per il tratto centrale della galleria realizzato a sezione circolare, la sezione di progetto è costituita da un intradosso di calotta monocentrico di raggio 3,35 m e un rivestimento definitivo di spessore minimo pari a 50 cm.

In particolare, le sezioni ricavate dal laser scanner hanno consentito di eseguire le verifiche per il tratto di imbocco lato Ferrandina (sezioni 6-13) e per il tratto di galleria a singolo binario, comprese le zone di passaggio singolo/doppio binario (sezioni 52-137). Per le restanti tratte di galleria a doppio binario e per l'imbocco lato Matera, sono state utilizzate le sezioni di rilievo topografico tradizionale (sezioni 14-51 e 138-209).

Tutte le verifiche di sagoma sono riportate negli elaborati grafici di censimento delle interferenze (Rif. [44], Rif. [45], Rif. [46], Rif. [47], Rif. [48] e Rif. [49]).

In Figura 25, a titolo di esempio per la tratta a singolo binario, è rappresentata la sezione 75 alla pk 4+300. Sono riportati l'intradosso di progetto (azzurro) associato alla posizione del piano del ferro di cui sono indicate le coordinate, la sagoma esistente (verde) e l'estradosso del controanello di calcestruzzo da 50 cm da realizzare. In rosso sono quotati gli spessori di demolizione del rivestimento esistente che ne conseguono.

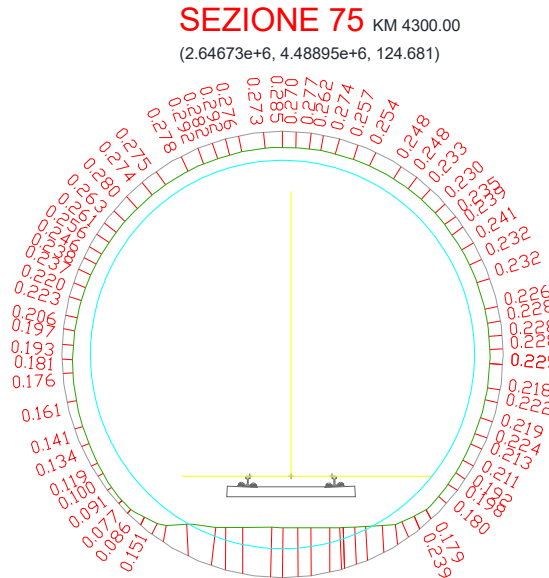


Figura 25 - Spessore di demolizione per realizzazione controanello

Sulla base di tali valutazioni ed in funzione dell'entità delle interferenze ottenute è stata indirizzata la scelta dell'intervento tipo da applicare.

Si riportano di seguito gli involuipi minimo e massimo delle sagome della galleria esistente rilevate nella tratta a singolo binario, ottenuti su sezioni trasversali a passo 25 m. Si osservi che l'involuppo dei minimi ha un raggio di intradosso inferiore a 3,55 m, cui corrisponde una demolizione di oltre 30 cm di rivestimento esistente, per poter realizzare un nuovo rivestimento definitivo, secondo l'intradosso di progetto con raggio di 3,35 m, con almeno 50 cm di spessore. L'involuppo dei massimi, invece, è prossimo a un raggio di intradosso di 3,85 m, in grado di accogliere senza demolizioni il nuovo rivestimento definitivo, con almeno 50 cm di spessore.

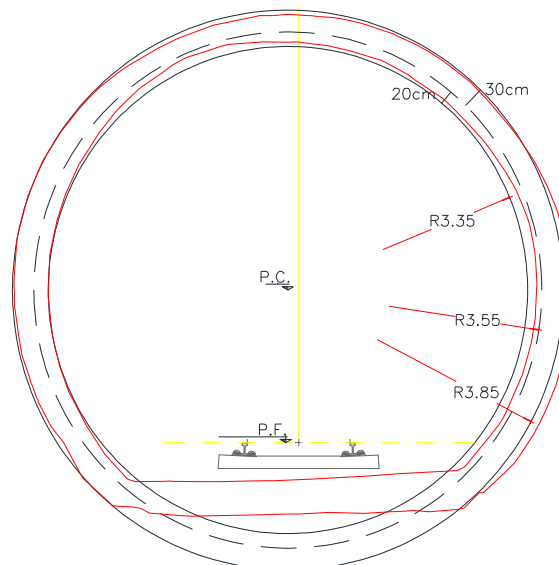


Figura 26 - Involuppo intradossi esistenti singolo binario

A seguire è rappresentato il confronto tra il modello 3D del rilievo laser scanner e un anello di raggio 3,55 m montato sul tracciato di progetto, per evidenziare le zone in cui l'entità delle interferenze è inferiore o superiore ai 30 cm.

Tale confronto è rappresentato sia in vista 3D su porzioni di galleria, sia in vista 2D della galleria "srotolata" in pianta. Su quest'ultima rappresentazione, sulle ascisse ci sono le pk (unità principale 2 m), mentre in ordinata la galleria "srotolata" (unità principale 10°) con la chiave calotta al centro e l'arco rovescio alle estremità.

Le indicazioni relative agli scostamenti vanno lette come di seguito: valori negativi (blu) indicano un sovrascavo (vale a dire interferenza inferiore a 30 cm), mentre valori positivi (rossi) indicano lo spessore di demolizione oltre 30 cm, necessario a garantire la carpenteria dell'anello di progetto. I valori positivi sono stati discretizzati in range per una diretta individuazione del dato: verde fino a 5 cm, giallo dai 5 cm ai 10 cm, rosso oltre i 10 cm.

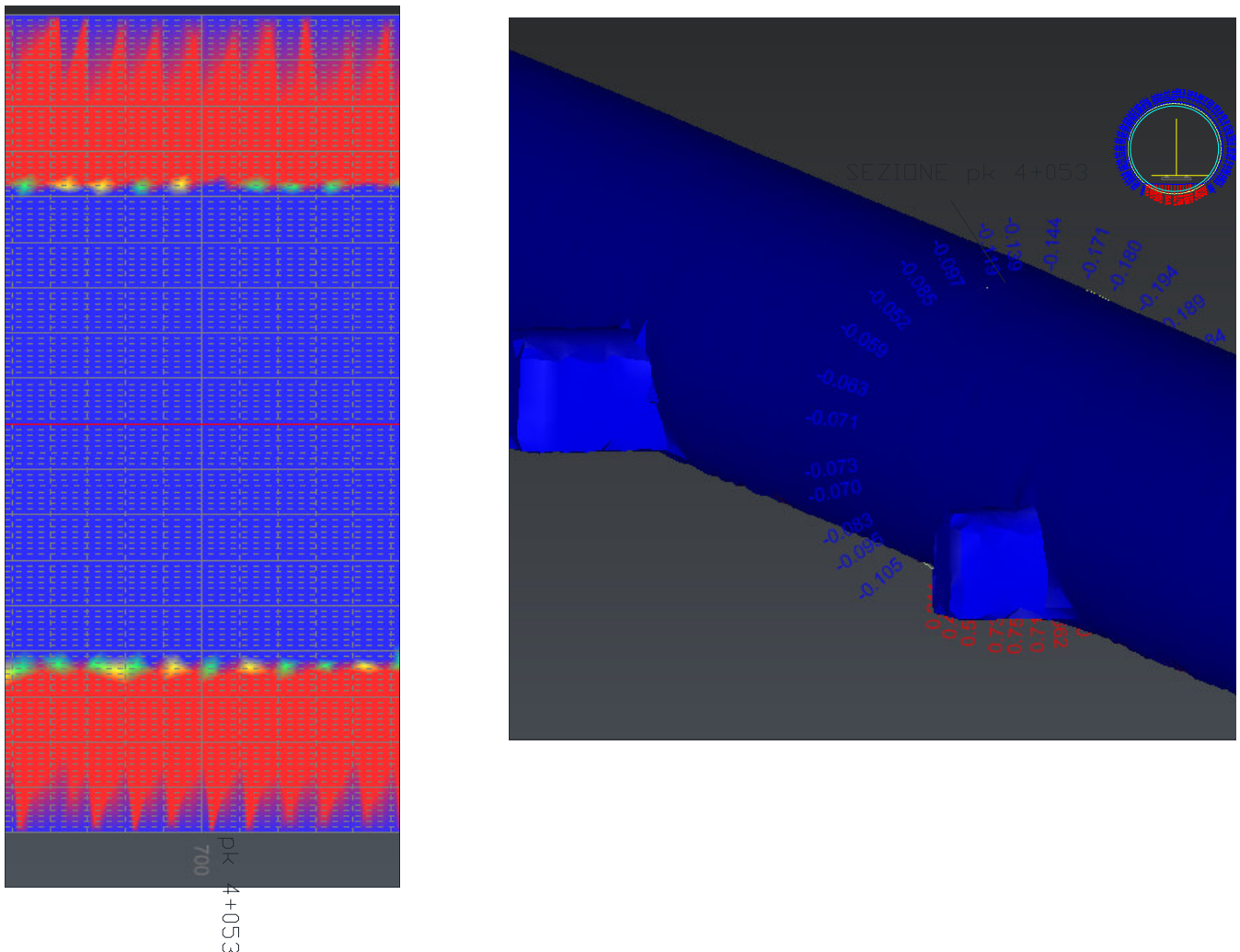


Figura 27 - Visualizzazione in pianta ed in 3D della sezione alla pk 4+053

La Figura 27 mostra la sezione alla pk 4+053 in cui si hanno tutti scostamenti negativi: in particolare, in calotta si hanno più di 10 cm rispetto all'anello di raggio 3,55 m, pertanto significa che lo spessore da rimuovere per la realizzazione del controanello (R=3,85 m) è minore di 30 cm.

La Figura 28 mostra la sezione alla pk 5+423 in cui si hanno scostamenti positivi e negativi: in particolare, in calotta si hanno circa 8 cm rispetto all'anello di raggio 3,55 m, pertanto significa che lo spessore da rimuovere per la realizzazione del controanello (R=3,85 m) è maggiore di 30 cm.

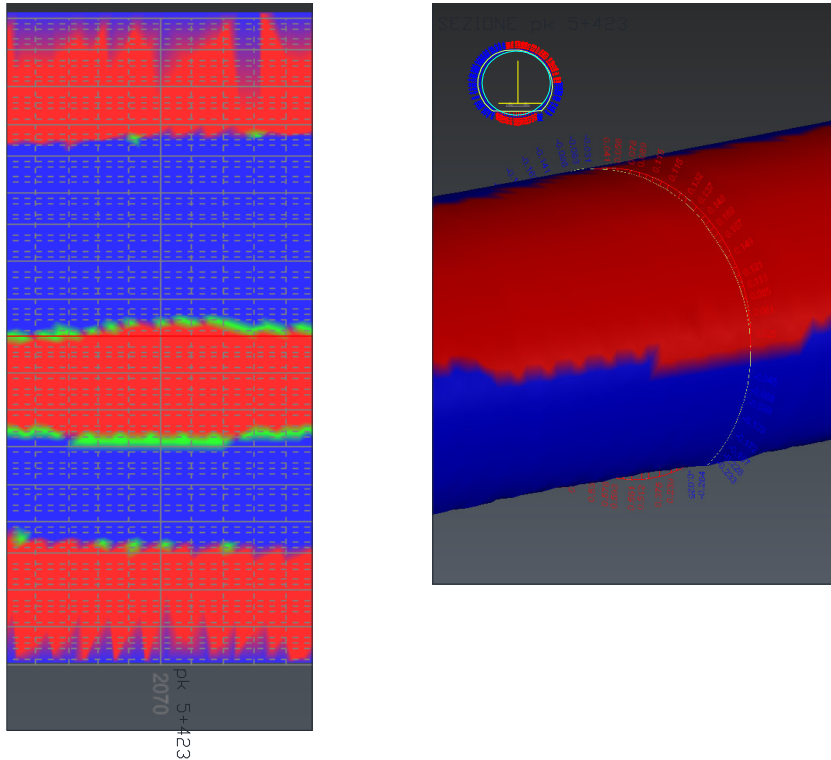


Figura 28 - Visualizzazione in pianta ed in 3D della sezione alla pk 5+423

Nella Figura 29 e nella Figura 30 sono riportate rispettivamente la planimetria del confronto e la visualizzazione tridimensionale del passaggio singolo/doppio binario: è evidente il disallineamento della galleria a cavallo della transizione, che comporta interferenze significative con la nuova sagoma di progetto. Nella Figura 31 e nella Figura 32 sono riportate due sezioni rappresentative.

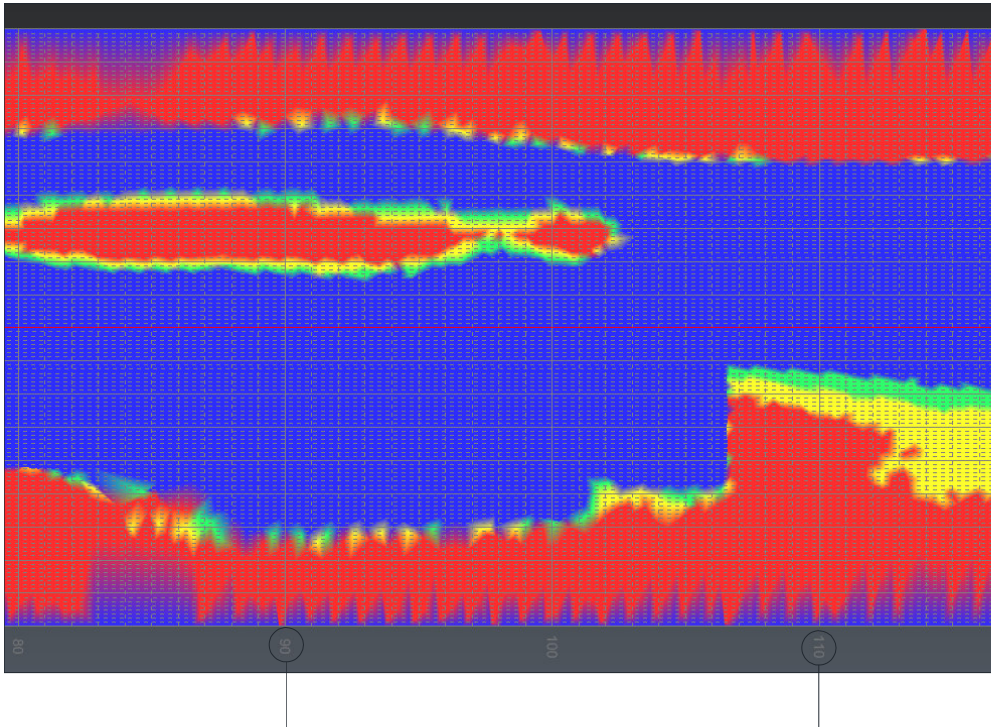


Figura 29 - Visualizzazione in pianta della zona di passaggio da doppio a singolo binario (da pk 3+433 a 3+473)

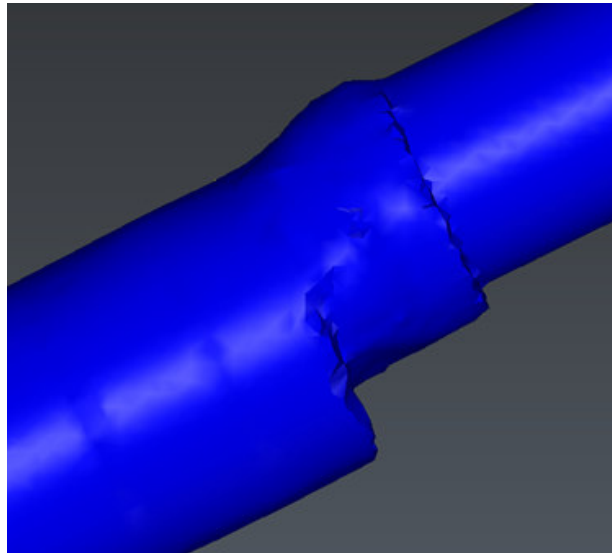


Figura 30 - Visualizzazione 3D della zona di passaggio da doppio a singolo binario

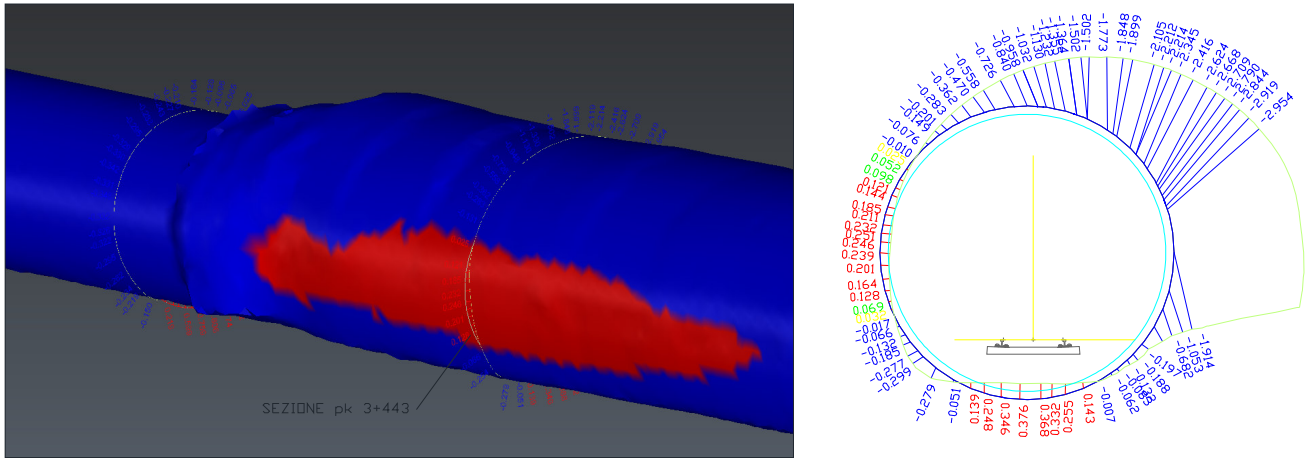


Figura 31 - Visualizzazione 3D e sezione alla pk 3+443

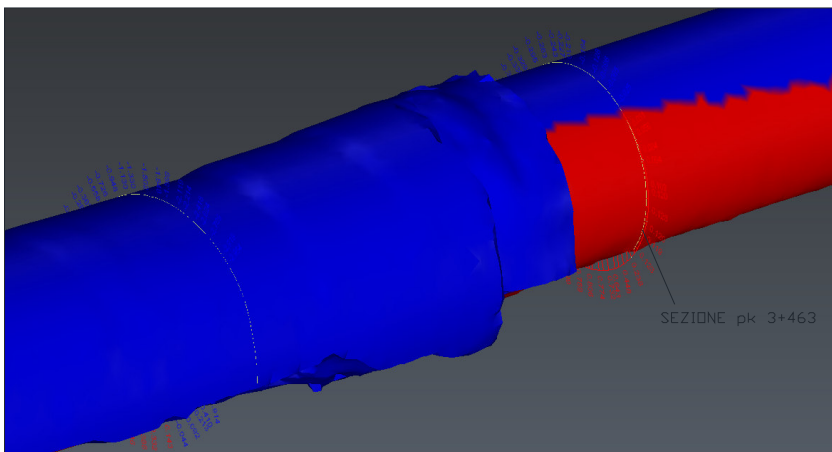


Figura 32 - Visualizzazione 3D e sezione alla pk 3+463

9.2 Finestra Miglionico

Con riferimento alla finestra Miglionico di nuova realizzazione, 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. [19]), di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

9.2.1 Classi di comportamento del fronte di scavo

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

Categoria C: nucleo-fronte instabile

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 e 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.

9.2.2 Determinazione delle categorie di comportamento

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

- 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.

9.2.3 Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo

Sulla base dei risultati delle analisi sopra descritte, 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 stato possibile concludere che:

- un comportamento del nucleo fronte allo scavo di categoria B (stabile a breve termine) è atteso all'interno della formazione delle Argille Subappennine per coperture inferiori a 50 metri in presenza di valori di coesione non drenata che si attestino su valori prossimi al limite superiore per le coperture considerate; per valori medi della coesione non drenata, a parità di copertura, è atteso un comportamento di tipo C.
- per coperture superiori ai 50 metri è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C (instabile).

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato della galleria sono illustrate in forma sintetica nell'elaborato di progetto di profilo geotecnico della Finestra Miglionico (Rif. [36]).

10 FASE DI TERAPIA

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

10.1 Metodologia di intervento della Galleria Miglionico

Gli interventi di rinforzo e risanamento previsti per la galleria di linea, in parte già anticipati nei paragrafi precedenti, possono essere sintetizzati come di seguito elencato.

- Nelle zone di imbocco è previsto il prolungamento delle tratte in artificiale esistenti, per circa 50 m su ciascun lato, e l'inserimento di nuovi portali a becco di flauto; il tutto sarà opportunamente ritombato, comprese le strutture esistenti attualmente a vista, al fine di migliorare la sistemazione definitiva delle due aree.
- All'interno delle tratte di galleria naturale a sezione policentrica doppio binario, senza alcun preventivo intervento strutturale sul rivestimento esistente di calotta, è prevista la realizzazione di un nuovo ed indipendente rivestimento definitivo in calcestruzzo armato, con impermeabilizzazione full round. La carpenteria del nuovo rivestimento potrà seguire l'intradosso esistente, a prescindere dalla posizione del binario, in modo da garantire uno spessore utile nominale di almeno 50 cm sia in calotta, sia in arco rovescio. Le eventuali irregolarità delle sezioni di intradosso esistenti rispetto al nuovo tracciato di progetto potranno essere assorbite dagli ampi margini della nuova sezione di intradosso rispetto al transito di un singolo binario.
- Anche all'interno della tratta centrale di galleria naturale a sezione circolare singolo binario è prevista la realizzazione di un nuovo ed indipendente anello di rivestimento definitivo in calcestruzzo armato, con impermeabilizzazione full round. In questo caso, in funzione della nuova sezione di intradosso, per poter garantire gli spazi necessari alla carpenteria del nuovo rivestimento, previsto con spessore costante di 50 cm, sarà necessario intervenire preventivamente con demolizioni (parziali o totali) del rivestimento esistente sia in calotta che in arco rovescio.

Per completezza, è necessario aggiungere che sono previste brevi tratte, in particolare nelle zone di transizione tra singolo e doppio binario esistente, in cui le tipologie di intervento previste cambiano rispetto a quelle principali sopra elencate.

Resta comunque invariata la filosofia di intervento che, sull'intera galleria, è finalizzata alla realizzazione di un nuovo ed indipendente rivestimento definitivo in calcestruzzo armato, che possa prescindere dalle strutture esistenti nella risposta ai carichi di esercizio, tra cui spiccano senza dubbio quelli idraulici di lungo termine. Per questo motivo si è scelto di adottare per il nuovo rivestimento definitivo un calcestruzzo ad elevate prestazioni, con classe di resistenza Rck 45.

La scelta dell'impermeabilizzazione full round, prevista sull'intero sviluppo della galleria (e della finestra Miglionico) è stata dettata dalla necessità di evitare il possibile ingresso in galleria di eventuali venute di gas metano, con particolare riferimento ai rischi associati nella fase di esercizio ferroviario della galleria. Tale aspetto assume una rilevanza centrale ai fini della riuscita e dell'efficacia degli interventi in progetto e pertanto, nella fase realizzativa, dovrà essere posta la massima cura nella posa del sistema di impermeabilizzazione, al fine di garantire la necessaria continuità tra elementi adiacenti e la completa tenuta del sistema. In ogni caso, dopo la posa in opera, il sistema di impermeabilizzazione potrà essere collaudato (mettendolo in pressione) per verificarne la tenuta; ulteriori dettagli a riguardo dovranno essere definiti nelle successive fasi progettuali.

10.1.1 Definizione degli interventi tipo

Sono state definite 8 sezioni tipo di intervento che permettono di affrontare l'intera tratta in naturale della galleria Miglionico, sia nelle zone con sagoma di intradosso a doppio binario (intervento tipo 1) sia con sagoma di intradosso a singolo binario (sezione tipo 2,3, 2bis, 3bis, 6), nonché di gestire le zone di transizione tra intradosso a doppio binario ed intradosso a singolo binario (sezioni tipo 4 e 5).

Nelle tratte a doppio binario, ad eccezione di un limitato tratto nella zona di transizione tra doppio e singolo binario (sezione tipo 5), gli interventi previsti (sezione tipo 1 e 4) non vanno ad interessare il rivestimento esistente di calotta.

Nella zona centrale con sagoma di intradosso a singolo binario, sulla base di tutti gli elementi acquisiti nella fase conoscitiva riguardo lo stato di consistenza dei rivestimenti definitivi esistenti (spessori, stati tensionali, ammaloramenti ecc.), e nella fase di diagnosi riguardo l'entità delle interferenze da risolvere, si può ritenere che il rivestimento esistente residuo a seguito degli interventi di demolizione, sia in generale compatibile con l'aumento di tensione indotto dalla conseguente riduzione di spessore. In tale fattispecie è previsto l'intervento tipo 2.

Nelle zone laterali della tratta a singolo binario esistente, poste a ridosso del passaggio singolo/doppio binario, dove sono stati evidenziati significativi sotto-spessori nel rivestimento esistente, associati a stati tensionali elevati, si ritiene necessario prevedere la totale demolizione del rivestimento esistente fino al raggiungimento del prerivestimento, che resta preservato. In tale fattispecie è previsto l'intervento tipo 3.

In considerazione del fatto che la rete elettrosaldata di intradosso, posta in calotta ed in arco rovescio, è stata evidenziata solo in determinate zone e non su tutto il tratto a singolo binario, si sono introdotte due sezioni tipo di intervento denominate 2bis e 3bis, applicate con gli stessi criteri, rispettivamente, degli interventi tipo 2 e 3, ma che non prevedono la fase di idrodemolizione necessaria per la rimozione dell'armatura.

Nel tratto a singolo binario sono state anche riscontrate alcune zone sprovviste di rivestimento definitivo esistente in calotta; in questi particolari tratti si prevede l'applicazione dell'intervento tipo 6.

Nei due tratti di transizione singolo/doppio binario sono previsti due particolari interventi, la sezione tipo 4 e la sezione 5, entrambe con intradosso a singolo binario.

In Tabella 6 si riporta la distribuzione degli interventi tipo per l'intero sviluppo della Galleria Miglionico.

Tabella 6 - Tratte di applicazione delle sezioni di intervento

Sezione prevalente (eventuale)	Progressive		Lunghezza (m)
	Inizio	Fine	
1	2438.45	3350	911.55
4	3350	3400	50
5	3400	3455.11	55.11
6	3455.11	3460.11	5
3	3460.11	3471.82	11.71
3bis	3471.82	3487.05	15.23
3	3487.05	3505.99	18.94
3bis	3505.99	3516.35	10.36
3	3516.35	3546.17	29.82
3bis	3546.17	3600	53.83
3bis (2bis)	3600	3800.5	200.5
6	3800.5	3807.5	7

Sezione prevalente (eventuale)	Progressive		Lunghezza (m)
	Inizio	Fine	
3bis (2bis)	3807.5	3821	13.5
6	3821	3822.8	1.8
3bis (2bis)	3822.8	3914.97	92.17
2 (3)	3914.97	6240.3	2325.33
Innesto	6240.3	6250.3	10
2 - 3	6250.3	6433.47	183.17
3bis (2bis)	6433.47	6522.27	88.8
3 (2)	6522.27	6531.45	9.18
2bis - 3bis	6531.45	6807.07	275.62
2 - 3	6807.07	6817.57	10.5
3bis (2bis)	6817.57	7111.87	294.3
3 (2)	7111.87	7138.87	27
3bis (2bis)	7138.87	7181.27	42.4
5	7181.27	7224.98	43.71
4	7224.98	7274.98	50
1	7274.98	8709.37	1434.39

10.1.1.1 Intervento Tipo 1

L'impiego dell'intervento tipo 1 è previsto nei due tratti di galleria doppio binario a sezione policentrica. Si prevedono le seguenti fasi operative:

- FASE 1 Demolizione di una porzione di regolamento previa rimozione del materiale di riempimento soprastante. La lunghezza del campo di demolizione non è vincolata.
- FASE 2 Messa in opera dell'impermeabilizzazione full round secondo le caratteristiche di progetto.
- FASE 3 Getto del nuovo arco rovescio in calcestruzzo armato. La distanza del getto dal fronte di demolizione non è vincolata.
- FASE 4 Getto del nuovo rivestimento definitivo di calotta in calcestruzzo armato. La distanza di getto del rivestimento definitivo non è vincolata.

10.1.1.2 Intervento Tipo 2 e 2bis

L'impiego dell'intervento tipo 2 (e 2bis) è previsto nei tratti di galleria singolo binario a sezione circolare in cui per realizzare il contro-anello del nuovo rivestimento definitivo è sufficiente una demolizione parziale del rivestimento definitivo esistente. Si prevedono le seguenti fasi operative:

- FASE 1 Demolizione di una porzione di regolamento previa rimozione del materiale di riempimento soprastante. La lunghezza del campo di demolizione non è vincolata.
- FASE 2 Idrodemolizione di una porzione di rivestimento esistente in calotta ed in arco rovescio e rimozione della rete elettrosaldata posta all'intradosso. L'idrodemolizione non è vincolata da campi (non prevista nei tratti di applicazione dell'intervento tipo 2bis per assenza di armatura).

FASE 3 Demolizione parziale del rivestimento esistente. Nelle tratte di applicazione comprese tra le progressive 3+455,11 - 3+878,11 e 6+807,29 - 7+181,29 la lunghezza massima del campo di demolizione è pari a 9 m. Nelle rimanenti tratte di applicazione la lunghezza del campo di demolizione non è vincolata.

FASE 4 Messa in opera dell'impermeabilizzazione full round secondo le caratteristiche di progetto.

FASE 5 Getto del nuovo arco rovescio in calcestruzzo armato. Nelle tratte di applicazione comprese tra le progressive 3+455,11 - 3+878,11 e 6+807,29 - 7+181,29 la massima distanza di getto dal fronte di demolizione è pari a 1,5Ø. Nelle rimanenti tratte di applicazione la distanza di getto dal fronte di demolizione è pari a 3Ø.

FASE 6 Getto del nuovo rivestimento definitivo di calotta in calcestruzzo armato. Nelle tratte di applicazione comprese tra le progressive 3+455,11 - 3+878,11 e 6+807,29 - 7+181,29 la massima distanza di getto dal fronte di demolizione è pari a 3Ø. Nelle rimanenti tratte di applicazione la distanza di getto dal fronte di demolizione è pari a 5Ø.

10.1.1.3 Intervento Tipo 3 e 3bis

L'impiego dell'intervento tipo 3 (e 3bis) è previsto nei tratti di galleria singolo binario a sezione circolare in cui per realizzare il contro-anello del nuovo rivestimento definitivo è necessaria la demolizione totale del rivestimento definitivo esistente. Si prevedono le seguenti fasi operative:

FASE 1 Demolizione di una porzione di regolamento previa rimozione del materiale di riempimento soprastante. La lunghezza del campo di demolizione non è vincolata.

FASE 2 Idrodemolizione di una porzione di rivestimento esistente in calotta ed in arco rovescio e rimozione della rete elettrosaldata posta all'intradosso. L'idrodemolizione non è vincolata da campi (non prevista nei tratti di applicazione dell'intervento tipo 3bis per assenza di armatura).

FASE 3 Demolizione totale del rivestimento di calotta esistente. La demolizione deve avvenire per singoli sfondi di 1 m e secondo campi di demolizione di lunghezza massima pari a 9 m. Al termine di ogni singolo sfondo immediata posa in opera di spritz beton fibrorinforzato al contorno. Demolizione parziale del rivestimento esistente anche in arco rovescio.

FASE 4 Messa in opera dell'impermeabilizzazione full round secondo le caratteristiche di progetto.

FASE 5 Getto del nuovo arco rovescio in calcestruzzo armato. La massima distanza di getto dal fronte di demolizione è pari a 1,5Ø.

FASE 6 Getto del nuovo rivestimento definitivo di calotta in calcestruzzo armato. La massima distanza di getto dal fronte di demolizione è pari a 3Ø.

10.1.1.4 Intervento Tipo 4

L'intervento tipo 4 viene applicato nei tratti di transizione tra la sezione policentrica a doppio binario e la sezione circolare a singolo binario, dove non sono necessarie operazioni di demolizione del rivestimento esistente di calotta. Tali transizioni dovranno inoltre essere gestite con continuità in modo da evitare il passaggio netto tra la sagoma a doppio binario e quella a singolo binario, che costituirebbe una potenziale zona d'ombra, da evitare rispetto al rischio metano in fase di esercizio. Nell'ambito di tali tratte dovrà essere gestita Si prevedono le seguenti fasi operative:

FASE 1 Demolizione di una porzione di regolamento previa rimozione del materiale di riempimento soprastante. La lunghezza del campo di demolizione non è vincolata.

FASE 2 Messa in opera dell'impermeabilizzazione full round secondo le caratteristiche di progetto.

FASE 3 Getto del nuovo arco rovescio in calcestruzzo armato. La distanza del getto dal fronte di demolizione non è vincolata.

FASE 4 Getto del nuovo rivestimento definitivo di calotta in calcestruzzo armato secondo l'intradosso di progetto a singolo binario. La distanza di getto del rivestimento definitivo non è vincolata.

10.1.1.5 Intervento Tipo 5

L'intervento tipo 5 viene applicato nel tratto di transizione tra la sezione policentrica a doppio binario e la sezione circolare a singolo binario, dove sono necessarie operazioni di demolizione del rivestimento esistente in calcestruzzo armato. Si prevedono le seguenti fasi operative:

FASE 1 Demolizione di una porzione di regolamento previa rimozione del materiale di riempimento soprastante. La lunghezza del campo di demolizione non è vincolata.

FASE 2 Idrodemolizione di una porzione di rivestimento esistente su un paramento. L'idrodemolizione non è vincolata da campi.

FASE 3 Messa in opera dell'impermeabilizzazione full round secondo le caratteristiche di progetto.

FASE 4 Getto del nuovo arco rovescio in calcestruzzo armato. La distanza del getto dal fronte di demolizione non è vincolata.

FASE 6 Getto del nuovo rivestimento definitivo di calotta in calcestruzzo armato secondo l'intradosso di progetto a singolo binario. La distanza di getto del rivestimento definitivo non è vincolata.

10.1.1.6 Intervento Tipo 6

L'intervento tipo 6 viene applicato nei tratti di galleria singolo binario a sezione circolare in cui non è presente il rivestimento definitivo di calotta. Si prevedono le seguenti fasi operative:

FASE 1 Immediata posa in opera di spritz beton fibrorinforzato al contorno a contatto con il rivestimento provvisorio esistente sull'intera zona di intervento.

FASE 2 Demolizione del getto di regolamento previa rimozione del materiale di riempimento soprastante. La lunghezza del campo di demolizione del getto di regolamento non è vincolata.

FASE 3 Idrodemolizione di una porzione di rivestimento esistente in arco rovescio e rimozione della rete elettrosaldata posta all'intradosso. L'idrodemolizione non è vincolata da campi.

FASE 4 Demolizione parziale dell'arco rovescio esistente. La lunghezza del campo di demolizione non è vincolata.

FASE 5 Getto del nuovo arco rovescio in calcestruzzo armato. La distanza del getto dal fronte di demolizione non è vincolata.

FASE 6 Getto del nuovo rivestimento definitivo di calotta in calcestruzzo armato. La distanza di getto del rivestimento definitivo non è vincolata.

10.2 Metodologia di scavo della Finestra Miglionico

10.2.1 Criteri di scelta del sistema di scavo

In considerazione della lunghezza della galleria in progetto e del contesto geotecnico attraversato, il metodo di scavo tradizionale a piena sezione è stato considerato adeguato per la realizzazione delle opere in sotterraneo.

10.2.2 Metodo di scavo tradizionale

Per la Finestra Miglionico si è prevista l'adozione dello scavo a piena sezione, mediante martellone o escavatore, in funzione delle caratteristiche geotecniche delle formazioni attraversate e del loro comportamento allo scavo.

Conseguentemente alla natura prevalentemente argillosa dei terreni attraversati da entrambe le gallerie e alla categoria di comportamento del fronte di scavo, si adotteranno interventi di precontenimento del fronte e/o del contorno

Gli interventi di preconsolidamento al contorno, costituiti da VTR a 3 piatti cementati in foro con miscele espansive, assolvono la funzione di "scaricare" il nucleo di scavo, riducendo, in combinazione con gli interventi al fronte, le deformazioni di estrusione e le pre-convergenze, e quindi controllando l'estensione della zona plastica al contorno del cavo.

Gli interventi di preconsolidamento del fronte consistono nell'installazione in avanzamento di elementi strutturali in VTR, integralmente connessi ai terreni attraversati mediante cementazione. L'intervento agisce prevalentemente riducendo le deformazioni plastiche dei terreni nel nucleo e, allo stesso tempo, l'estrusione del nucleo verso la galleria già scavata. Inoltre, si ha un contenimento dello spostamento radiale della parete della galleria in prossimità del fronte di scavo, consentendo di controllare l'estensione della fascia plastica.

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.

A tergo dei rivestimenti definitivi di calotta si porrà in opera l'impermeabilizzazione full round, realizzata con un manto impermeabile a doppio strato, compartimentato e iniettabile, costituito da un doppio strato di fogli a base di cloruro polivinile plastificato dello spessore di mm 2,0 ciascuno e waterstop disposti longitudinalmente e trasversalmente lungo le riprese di getto, sottostante strato di compensazione di tessuto non tessuto

Nei paragrafi a seguire si riporta una sintetica descrizione delle sezioni tipo definite, che trovano completa rappresentazione negli elaborati grafici di progetto. Per la distribuzione delle tratte di applicazione delle diverse sezioni tipo si rimanda invece al profilo geotecnico (Rif. [36]).

10.3 Definizione delle sezioni tipo

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

Per ciascuna sezione tipo è prevista l'installazione a ridosso del fronte di scavo di un rivestimento provvisorio costituito da spritz-beton fibrorinforzato e centine metalliche ed 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; è prevista l'impermeabilizzazione full round delle sezioni di scavo nella fase definitiva.

Per la distribuzione delle tratte di applicazione delle diverse sezioni tipo si rimanda invece al profilo geotecnico della galleria (Rif. [36]).

Sezione B2

La sezione B2 prevede interventi di precontenimento del fronte e deve essere impiegata nelle tratte a comportamento del nucleo-fronte stabile a breve termine (categoria B); ne è prevista l'applicazione in corrispondenza delle basse e medie coperture (non superiori ai 50m). Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione B2, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 30 elementi strutturali in VTR, L=17,0 m (sovrapposizione minima 7,0 m) cementati in foro con miscele cementizie. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del $\pm 20\%$;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 10,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato e centina 2IPN180 con passo 1,0 m $\pm 20\%$;
- arco rovescio (spessore 0,80 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1,5 diametri;
- calotta (spessore 0,70 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 4 diametri.

Sezione C2

La sezione C2 prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno e deve essere impiegata nelle tratte a comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C); ne è prevista l'applicazione come sezione prevalente per coperture fino a 90 metri.

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 25 elementi strutturali in VTR, L=18,0 m (sovrapposizione minima 8,0 m) cementati in foro con miscele cementizie. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del $\pm 20\%$;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 39 elementi strutturali in VTR, L=15,0 m (sovrapposizione minima 5,0 m) passo 0,50 m, cementati in foro con miscele espansive. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del $\pm 20\%$;
- precontenimento al piede centina realizzato mediante 5+5 elementi strutturali in VTR, L=13,5 m cementati in foro con miscele espansive. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del $\pm 20\%$;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 10 m; è previsto un sovrascavo eventuale pari a 10 cm;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN220 con passo 1,0 m $\pm 20\%$;
- arco rovescio (spessore 0,90 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta (spessore 0,80 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IA5F	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

Sezione C2p

La sezione C2p prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno e un rivestimento provvisorio anche in arco rovescio (centina puntone). Deve essere impiegata nelle tratte a comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C); ne è prevista l'applicazione come sezione prevalente nelle tratte con coperture non superiori a 120m.

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 45 elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 10,0 m) cementati in foro con miscele cementizie. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del $\pm 20\%$;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 41 elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 10,0 m) passo 0,50m, cementati in foro con miscele espansive. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del $\pm 20\%$;
- precontenimento al piede centina realizzato mediante 5+5 elementi strutturali in VTR, L=13,5 m cementati in foro con miscele espansive. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del $\pm 20\%$;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 10,0 m; è previsto un sovrascavo eventuale pari a 10 cm;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e centina singola HEB240 con passo 1,0 m $\pm 20\%$. Chiusura dell'arco rovescio provvisorio con centina puntone HEB240 con passo 1.00 m $\pm 20\%$ e 0,30 m di spritz-beton;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 0,5 diametri;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore 0,90 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 2 diametri.

Sezione C2p*

La sezione C2p* prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno e un rivestimento provvisorio anche in arco rovescio (centina puntone). Ne è prevista l'applicazione come sezione prevalente nelle tratte con coperture superiori a 120m.

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 45 elementi strutturali in VTR, L=24,0 m (sovrapposizione minima 16,0 m) cementati in foro con miscele cementizie. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del $\pm 20\%$;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 41 elementi strutturali in VTR, L=24,0 m (sovrapposizione minima 16,0 m) passo 0,50m, cementati in foro con miscele espansive. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del $\pm 20\%$;
- precontenimento al piede centina realizzato mediante 5+5 elementi strutturali in VTR, L=16,0 m cementati in foro con miscele espansive. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del $\pm 20\%$;

- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 8,0 m; è previsto un sovrascavo pari a 10 cm.
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e centina singola HEB240 con passo 1,0 m \pm 20%. Chiusura dell'arco rovescio provvisorio con centina puntone HEB240 con passo 1.00 m \pm 20% e 0,30 m di spritz-beton;
- arco rovescio (spessore 1,10 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari ad 1 diametro;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore 1,00 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 2 diametri.

10.4 Rischi potenziali

Di seguito si descrivono le principali criticità emerse dalla fase conoscitiva, che potrebbero avere ripercussioni nella fase realizzativa delle gallerie. La mappatura dei diversi rischi individuati è illustrata nell'elaborato di profilo geotecnico (Rif. [33]).

Instabilità del fronte e del cavo

Considerate le caratteristiche meccaniche della formazione delle Argille Subappennine, la possibilità di intercettare nello scavo livelli a maggiore componente granulometrica sabbiosa, l'attraversamento di tratti ad elevata copertura, potenziali rischi di instabilità del fronte e del cavo possono interessare la galleria lungo tutto il suo sviluppo.

I potenziali rischi di instabilità del fronte e del cavo devono considerarsi riferiti principalmente ad alcune tipologie di nicchie per la cui realizzazione sono necessarie operazioni di scavo nel terreno a tergo dei rivestimenti definitivi esistenti.

Riguardo gli interventi in galleria, non si entra mai in contatto col terreno a tergo dei rivestimenti esistenti, per cui i potenziali rischi di instabilità del cavo devono riferirsi solo ai tratti di galleria privi del rivestimento definitivo esistente o quelli in cui secondo gli interventi in progetto, si entra in contatto col rivestimento provvisorio esistente della galleria.

Fenomeni deformativi

L'esperienza acquisita durante la realizzazione degli scavi della galleria Miglionico, relativamente ai fenomeni deformativi del fronte e del cavo effettivamente monitorati nella formazione delle Argille Subappennine, consente di prevedere un potenziale rischio legato alla tendenza della formazione a manifestare fenomeni deformativi di notevole entità, se non opportunamente contrastati con adeguati interventi di precontenimento e consolidamento.

Potrebbero manifestarsi inoltre fenomeni di rigonfiamento (*swelling*); evidenze sperimentali di tale comportamento sono emerse dai risultati delle prove di rigonfiamento impedito e delle prove di rigonfiamento secondo il metodo Huder-Amberg (cfr § 8.3.2).

Riguardo la galleria, si ritiene che i potenziali fenomeni deformativi siano stati già scontati con la realizzazione della galleria esistente. Pertanto, anche in questo caso, i potenziali rischi associati a questo tema possono considerarsi riferiti solo agli interventi per cui si eseguono degli scavi nel terreno a tergo dei rivestimenti, vale a dire alcune tipologie di nicchie. Considerate le dimensioni contenute di tali scavi e gli scarichi tensionali associati non significativi, si ritiene che i rischi associati a tale aspetto siano del tutto marginali.

Venute d'acqua

Il rischio potenziale di venute d'acqua è legato alla presenza nell'ammasso di lenti di dimensioni anche decimetrica (riscontrate sia nell'esecuzione dei sondaggi, sia durante la realizzazione della Galleria Miglionico) a prevalente componente granulometrica sabbioso/limosa, maggiormente permeabile rispetto alla componente pelitica, e potenzialmente sedi di serbatoi naturali di acqua in pressione.

I potenziali rischi associati devono considerarsi riferiti principalmente ad alcune tipologie di nicchie per la cui realizzazione sono necessarie operazioni di scavo nel terreno a tergo dei rivestimenti definitivi esistenti.

Riguardo la galleria, non si entra mai in contatto col terreno a tergo dei rivestimenti esistenti, per cui i potenziali rischi di venute di acqua possono riferirsi solo ai tratti di galleria privi del rivestimento definitivo esistente o quelli in cui secondo gli interventi in progetto, si entra in contatto col rivestimento provvisorio esistente della galleria.

Presenza di corpi di frana in superficie

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA IA5F	LOTTO 01 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

Come riportato nel dettaglio negli elaborati specifici relativi allo studio geomorfologico dell'area interessata dalla Finestra Miglionico (Rif. [16]), il tracciato della finestra e l'area di imbocco della stessa non risultano interessati da fenomeni di instabilità dei versanti, anche se gli elaborati relativi allo studio geomorfologico dell'area riportano, a valle dell'area di imbocco, in direzione Nord-Ovest, un'area indicata come frana attiva ed in evoluzione.

Carichi idraulici elevati

Le misure piezometriche eseguite hanno evidenziato un livello della superficie piezometrica posto a circa 60 m rispetto alla calotta della galleria.

Le misure piezometriche eseguite in galleria hanno evidenziato livelli piezometrici elevati agenti sulle strutture di rivestimento definitivo esistente. In considerazione della prevista posa in opera di un'impermeabilizzazione full round sull'intera galleria, tali livelli costituiscono un carico elevato per i rivestimenti definitivi dell'opera.

Presenza di gas

Le ricerche bibliografiche ed il complesso dei rilievi e delle indagini passate e recenti eseguite all'interno della galleria dimostrano che le opere in sotterraneo in progetto sono immerse in terreni inequivocabilmente "grisutosi", e indicano come elevata la probabilità di flussi di metano indotti dalle lavorazioni in progetto che, con riferimento alla galleria di linea, ridurranno l'impermeabilità del rivestimento esistente (a seguito degli interventi di demolizione parziale o totale) oppure che interferiranno con il terreno a tergo.

Per l'analisi di dettaglio di tale problematica Italferr ha affidato a SERENGEIO S.r.l. (con il Prof. Ing. Paolo Berry) l'incarico tecnico-scientifico di supportare la progettazione definitiva delle opere in sotterraneo relative alla galleria Miglionico. Incarico del tutto analogo era stato affidato al Prof. Paolo Berry anche nell'ambito della progettazione esecutiva di Italferr del 2005 (Rif. [13]).

L'attività di consulenza, basandosi sui risultati degli studi, ricerche e valutazioni del Prof. Paolo Berry (1999 – 2006), sulle vigenti normative, buone pratiche e Linee Guida, definisce gli aspetti ingegneristici di interesse specifico rispetto ai pericoli di incendi causati da detonazioni/deflagrazioni di miscele aria – metano.

In particolare, l'attività di consulenza si è articolata nelle seguenti tre fasi, i cui risultati sono descritti e commentati in tre distinti documenti di progetto, cui si rimanda per tutti gli approfondimenti del caso.

1. Valutazione del livello di pericolo associato a potenziali emissioni di metano e classifica tecnica da adottare nei lavori di scavo della Finestra Miglionico (cfr elab. IA5F01D07RHGN0000007A);
2. Definizione delle misure e procedure di sicurezza che si debbono adottare durante la realizzazione degli interventi di risanamento della galleria di linea (cfr elab. IA5F01D07RHGN0000008A);
3. definizione delle misure di sicurezza per la gestione del pericolo di emissioni di metano nella galleria durante l'esercizio ferroviario (cfr elab. IA5F01D07RHGN0000009A).

Esposizione ambientale e attacco chimico

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

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

Inoltre, in presenza di attacco solfatico la UNI 9156 definisce anche la necessità di impiego di cemento a moderata, alta o altissima resistenza ai solfati.

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

Chemical characteristic	Reference test method	XA1	XA2	XA3
Ground water				
SO ₄ ²⁻ mg/l	EN 196-2	≥ 200 and ≤ 600	> 600 and ≤ 3 000	> 3 000 and ≤ 6 000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 and ≥ 5,5	< 5,5 and ≥ 4,5	< 4,5 and ≥ 4,0
CO ₂ mg/l aggressive	EN 13577	≥ 15 and ≤ 40	> 40 and ≤ 100	> 100 up to saturation
NH ₄ ⁺ mg/l	ISO 7150-1	≥ 15 and ≤ 30	> 30 and ≤ 60	> 60 and ≤ 100
Mg ²⁺ mg/l	EN ISO 7980	≥ 300 and ≤ 1 000	> 1 000 and ≤ 3 000	> 3 000 up to saturation
Soil				
SO ₄ ²⁻ mg/kg ^a total	EN 196-2 ^b	≥ 2 000 and ≤ 3 000 ^c	> 3 000 ^c and ≤ 12 000	> 12 000 and ≤ 24 000
Acidity according to Baumann Gully ml/kg	prEN 16502	> 200	Not encountered in practice	

^a Clay soils with a permeability below 10⁻⁵ m/s may be moved into a lower class.
^b The test method prescribes the extraction of SO₄²⁻ by hydrochloric acid; alternatively, water extraction may be used, if experience is available in the place of use of the concrete.
^c 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 33 – Prospetto 2 della UNI-EN 206 del 2016

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				0,50						0,50				0,50		
Minima classe di resistenza	C12/15	C25/30				C30/37						C30/37				C30/37		
Minimo contenuto in cemento (kg/m ³)	-	300				340						320				320		
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 sia 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 all'acqua di mare adeguata resistenza al 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 CEI-EN 12390-3, UNI CEI-EN 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) Doppie >20mm, per Doppie inferiori minima andrà opportunamente aumentata (ad esempio 5% per Doppie tra 12 mm e 16 mm).
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 minima di cemento sono calcolati in conformità al punto 5.2.2.

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

Sulla base dei dati di laboratorio esaminati, è possibile concludere che la classe di esposizione ambientale da attribuire al calcestruzzo dei nuovi rivestimenti definitivi sia XA1.

Sotto-spessori

Dall'analisi di tutti i dati disponibili relativamente allo stato di consistenza dei rivestimenti definitivi esistenti della galleria (contabilità di cantiere storica redatta nella fase di scavo della galleria, carotaggi e georadar relativi alla campagna di indagini del 2005, carotaggi relativi alla campagna di indagini del 2018) e per confronto con gli elaborati di carpenteria del progetto MATEFER (Rif. [18]), si evince che in alcuni tratti della galleria a singolo binario, in prossimità delle transizioni alle sezioni doppio binario, il rivestimento definitivo esistente presenta spessori significativamente inferiori a quelli minimi previsti in progetto.

Stati tensionali elevati

Dall'analisi di tutti i dati disponibili relativamente allo stato di consistenza dei rivestimenti definitivi esistenti della galleria in termini di stati tensionali agenti (prove di martinetto piatto 2005 e 2018), si evince che in alcuni tratti della galleria a singolo binario, in prossimità delle transizioni alle sezioni doppio binario, il rivestimento definitivo esistente è sottoposto a stati tensionali elevati, con valori massimi di compressione misurati fino a 14 MPa.

11 FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO

11.1 Monitoraggio in corso d'opera: Galleria Miglionico

Nella fase realizzativa dovrà essere posto in opera un adeguato programma di monitoraggio, volto a verificare gli effetti indotti dagli interventi di progetto.

Il programma di monitoraggio dovrà prevedere:

- il controllo della convergenza del cavo per gli interventi tipo 3 e 6 mediante installazione di stazioni di convergenza con 3 mire ottiche installati sui nuovi getti di spritz-beton fibrorinforzato;
- il monitoraggio dello stato tensionale nel rivestimento definitivo esistente mediante barrette estensimetriche incollate all'intradosso per gli interventi tipo 2 (e 2bis), 3 (e 3 bis) e 5;
- il monitoraggio dello stato tensionale nel nuovo rivestimento definitivo mediante barrette estensimetriche saldate alle armature.

Con riferimento alle zone degli imbocchi, in sintesi il programma di monitoraggio dovrà prevedere:

- monitoraggio degli spostamenti delle paratie mediante mire ottiche disposte sull'opera di sostegno esistente;

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

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

11.2 Monitoraggio in corso d'opera: Finestra Miglionico

Nella fase realizzativa dovrà essere posto in opera un adeguato programma di monitoraggio, volto a verificare le sezioni di scavo e consolidamento previste e ad ottimizzarle nell'ambito delle variabilità previste in progetto. Se necessario, il piano di monitoraggio dovrà prevedere anche il controllo degli effetti prodotti dallo scavo in superficie.

Il piano di monitoraggio deve prevedere:

- il rilievo analitico e speditivo del fronte di scavo;
- Le principali caratteristiche litologiche e strutturali dell'ammasso in scavo devono essere confrontate con quelle previste in progetto per la sezione tipo adottata;
- il controllo della convergenza del cavo, mediante installazione di stazioni di convergenza con 5 mire. Il numero delle sezioni di misura, per le diverse sezioni tipo è definito negli elaborati di progetto pertinenti. Le sezioni devono essere ubicate in prossimità del fronte scavo, la lettura di zero deve essere eseguita prima della ripresa dell'avanzamento per lo scavo del campo successivo, e le letture successive dovranno essere eseguite con frequenza almeno giornaliera fino alla completa stabilizzazione delle misure.

- il controllo dell'estrusione del fronte, mediante installazione di estrusometri con lunghezza e frequenza di misura così come definito negli elaborati di progetto pertinenti;
- il monitoraggio dello sforzo assiale nelle centine del rivestimento di prima fase mediante celle di carico, come definito negli elaborati di progetto pertinenti;
- il monitoraggio delle deformazioni del rivestimento definitivo mediante barrette estensimetriche, come definito negli elaborati di progetto pertinenti;
- in corrispondenza degli imbocchi e nelle zone di bassa copertura, il controllo degli spostamenti del piano campagna, mediante installazione di sezioni di misura topografica disposte trasversalmente all'asse della galleria, costituite da almeno 5 capisaldi;

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.

Gli strumenti di misura utilizzati dovranno permettere di garantire la precisione e l'affidabilità delle letture in modo da non essere influenzati in modo significativo da cambiamenti di temperatura, umidità, corrente elettrica e vibrazioni indotte.

La strumentazione di monitoraggio dovrà essere installata e predisposta all'uso con sufficiente anticipo rispetto all'arrivo degli scavi e dei consolidamenti in modo da poter effettuare le necessarie misure di zero.

12 CONCLUSIONI

Nel presente documento sono state analizzate le tematiche progettuali e gli aspetti tecnici relativi al progetto preliminare delle opere in sotterraneo della nuova linea Ferrandina – Matera La Martella, per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale.

Sono stati definiti gli interventi di risanamento e messa in sicurezza della esistente galleria Miglionico, lunga oltre 6 km, nonché quelli necessari per la realizzazione della nuova finestra Miglionico, lunga circa 600 m, prevista come uscita/accesso di emergenza intermedia.

Per il progetto della finestra Miglionico sono stati utilizzati i consueti criteri di progettazione in accordo al metodo ADECO-RS (Rif. [19]), che prevede 3 fasi fondamentali di lavoro: la fase conoscitiva, con l'acquisizione degli elementi geologici e geomeccanici; la fase di diagnosi, per l'individuazione del comportamento dell'ammasso atteso allo scavo; la fase di terapia, per la scelta delle modalità realizzative e la definizione delle sezioni tipo di scavo ed avanzamento.

Procedendo secondo un'impostazione progettuale del tutto analoga, sono stati definiti anche gli interventi necessari al risanamento strutturale e alla messa in sicurezza della galleria esistente; a tale scopo si è fatto utile riferimento alle scelte progettuali già operate in tal senso nell'ambito della vecchia progettazione esecutiva del 2006, seppur con alcune variazioni.

Il progetto è completato dal piano di monitoraggio da predisporre ed attuare nella fase realizzativa. Nel piano di monitoraggio sono individuati i valori delle grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d'opera per controllare la risposta deformativa dell'ammasso al procedere dello scavo, verificare la rispondenza con le previsioni progettuali e mettere a punto le soluzioni progettuali nell'ambito delle variabilità previste in progetto.