

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. GALLERIE

PROGETTO PRELIMINARE

NUOVA LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE

TRATTA RONCHI - TRIESTE

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

SCALA:

-

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

L 3 4 4 0 0 R 0 7 R G G N 0 0 0 0 0 0 0 1 A

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Tipo di Emissione ESECUTIVA	P. PIOLLI	ott. '10	N. CASAGRANDE	ott. '10	D. FOCESATO	ott. '10	A. PIGORINI	ott. '10

File: L34400R07RGGN0000001A.doc

n. Elab.: 130



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

INDICE

1	PREMESSA	5
2	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO	5
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
3.1	DOCUMENTI REFERENZIATI	6
3.2	DOCUMENTI CORRELATI.....	6
3.3	DOCUMENTI SUPERATI	6
3.4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO PER LA PROGETTAZIONE DELLE GALLERIE.....	7
3.4.1	<i>Normative Cogenti.....</i>	7
3.4.2	<i>Raccomandazioni e linee guida.....</i>	7
3.4.3	<i>Prescrizioni e specifiche tecniche di RFI</i>	7
3.4.4	<i>Prescrizioni e specifiche tecniche di Italferr</i>	7
4	ALLEGATI	8
5	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO	8
6	METODOLOGIA DI LAVORO	10
7	ASPETTI GENERALI	11
7.1	IL TRACCIATO DI PROGETTO.....	11
8	DESCRIZIONE DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	14
8.1	CONFIGURAZIONE E SVILUPPO DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	14
8.2	SEZIONI TIPO DI INTRADOSSO	16
8.2.1	<i>Gallerie a semplice binario - Sezione tipo per lo scavo meccanizzato.....</i>	17
8.2.2	<i>Gallerie a semplice binario - Sezione tipo per lo scavo tradizionale.....</i>	18
8.2.3	<i>Gallerie a doppio binario - Sezione tipo per lo scavo tradizionale.....</i>	20
8.2.4	<i>Gallerie artificiali policentriche.....</i>	21
8.2.5	<i>Cameroni di interconnessione Bivio Aurisina.....</i>	21

8.2.6	<i>Camerone di diramazione doppio binario-singolo/singolo binario subtratta Aurisina-Trieste.....</i>	22
8.2.7	<i>Cameroni di lancio TBM subtratta Aurisina-Trieste.....</i>	22
8.2.8	<i>Cameroni di innesto alla linea di cintura di Trieste.....</i>	23
8.3	NICCHIE.....	24
8.4	BY-PASS TRASVERSALI	25
8.5	USCITE/ACCESSI DI EMERGENZA LATERALI	30
8.6	POZZI.....	31
8.6.1	<i>Pozzi aggotamento acque.....</i>	31
8.6.2	<i>Pozzi aggotamento liquidi pericolosi</i>	32
8.6.3	<i>Pozzi di disconnessione fumi</i>	34
9	FASE CONOSCITIVA	36
9.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO	36
9.1.1	<i>Caratteri litologici e stratigrafici.....</i>	36
9.1.2	<i>Aspetti idrogeologici</i>	38
9.1.3	<i>Aspetti geomorfologici.....</i>	38
9.1.4	<i>Criticità geologiche connesse con la realizzazione di opere in sotterraneo</i>	40
9.2	INDAGINI GEOTECNICHE.....	41
9.2.1	<i>Indagini e prove di laboratorio</i>	41
9.3	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA	45
9.3.1	<i>Gallerie di linea.....</i>	46
10	FASE DI DIAGNOSI: ANALISI DEL COMPORTAMENTO DEFORMATIVO ALLO SCAVO.....	49
10.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO.....	49
10.2	DETERMINAZIONE DELLE CLASSI DI COMPORTAMENTO.....	50
10.2.1	<i>Analisi con il metodo delle linee caratteristiche</i>	50
10.2.2	<i>Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo.....</i>	55
11	FASE DI TERAPIA: DEFINIZIONE DELLA METODOLOGIA DI SCAVO.....	56

11.1	METODOLOGIA DI SCAVO.....	56
11.1.1	<i>Criteri di scelta del sistema di scavo.....</i>	56
11.1.2	<i>Metodo di scavo tradizionale.....</i>	57
11.1.3	<i>Metodo di scavo meccanizzato delle gallerie.....</i>	59
11.2	SEZIONE TIPO DI AVANZAMENTO PER SCAVO IN TRADIZIONALE.....	61
11.2.1	<i>Gallerie a singolo e doppio binario.....</i>	61
11.2.2	<i>I cameroni di interconnessione Bivio Aurisina e di diramazione doppio binario-singolo/singolo binario.....</i>	64
11.2.3	<i>Pozzi di aggotamento e pozzi di disconnessione fumi.....</i>	68
11.2.4	<i>L'uscita d'emergenza laterale pedonale della galleria a doppio binario GN02.....</i>	68
11.2.5	<i>I cunicoli di by-pass.....</i>	69
11.3	SEZIONE TIPO DI AVANZAMENTO PER SCAVO MECCANIZZATO.....	69
11.4	LUNGHEZZE DI APPLICAZIONE DELLO SCAVO TRADIZIONALE E MECCANIZZATO.....	69
11.5	FASI REALIZZATIVE.....	70
11.5.1	<i>Subtratta Quadruplicamento Bivio S.Polo - Rilocalazione linea storica Venezia-Trieste.....</i>	71
11.5.2	<i>Subtratta Ronchi-Aurisina.....</i>	71
11.5.3	<i>Subtratta Aurisina – Ronchi.....</i>	71
11.6	RISCHI POTENZIALI PER LA REALIZZAZIONE DELLE GALLERIE.....	72
11.6.1	<i>Modalità per il superamento di forme carsiche.....</i>	72
11.6.2	<i>Modalità per il superamento di fasce tettonizzate.....</i>	79
11.7	IL MONITORAGGIO PER LA FASE REALIZZATIVA.....	80
11.7.1	<i>Monitoraggio per l'individuazione di cavità carsiche interferenti.....</i>	80
11.7.2	<i>Monitoraggio interno.....</i>	82
12	PROGRAMMA DI INDAGINI PER LE SUCCESSIVE FASI DI PROGETTAZIONE.....	83
12.1	INDAGINI GEOTECNICHE.....	83
13	CONCLUSIONI.....	84

	LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE					
	PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L344	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 5 di 84

1 PREMESSA

Nel presente documento vengono analizzate le tematiche progettuali e gli aspetti tecnici relativi al progetto preliminare delle opere in sotterraneo della Nuova Linea AV/AC Venezia-Trieste nella tratta compresa tra Ronchi dei Legionari e Trieste.

La progettazione preliminare di questa nuova linea ricade nell'ambito delle legge 443/01, cosiddetta "Legge Obiettivo".

La Nuova Linea AV/AC Venezia Trieste consta di sei fasi funzionali distinte, corrispondenti ad altrettante subtratte. La Tratta Ronchi-Trieste verrà realizzata in tre delle sei fasi funzionali, precisamente nelle fasi funzionali 1, 2 e 6, secondo quanto riportato di seguito (le progressive chilometriche sono riferite al binario pari della linea AV):

- Fase funzionale 1): Quadruplicamento Bivio San Polo-Monfalcone che comprende le rilocazioni delle linee storiche Gorizia-Trieste e Venezia-Trieste.
- Fase Funzionale 2): Linea AV/AC Ronchi-Aurisina dal km 0+000 al km 22+800. Dai km 21+358 e 22+033 (relativi al B.P. di progetto) si sviluppano le interconnessioni di Aurisina Ovest con la linea storica Venezia-Trieste, rispettivamente di 1,5 km per il binario dispari e di 0,8 km per il binario pari. Le gallerie di interconnessione rientrano nella stessa fase funzionale;
- Fase Funzionale 6): Aurisina-Trieste (innesto nella Linea di Cintura) dal km 22+800 al km 36+634.

Per le tre fasi funzionali di cui sopra, definite nel seguito subtratte, si è fatto riferimento agli standard tecnico-funzionali di RFI.

La lunghezza totale del tracciato AV/AC a doppio binario della Tratta Ronchi-Trieste, è di circa 36,6 km. Di questi, circa 22,7 km si svolgono in sotterraneo (gallerie naturali e gallerie artificiali policentriche) mentre i restanti 13,9 km comprendono altre opere quali trincee, rilevati, viadotti e gallerie artificiali scatolari, non oggetto della presente relazione.

2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Scopo del documento è illustrare i risultati della progettazione preliminare delle opere in sotterraneo della linea Venezia Trieste, tratta Ronchi-Trieste.

Gli obiettivi della progettazione preliminare sono stati i seguenti:

- definizione della geometria e delle caratteristiche tecniche delle opere;
- classificazione preliminare di terreni/rocce interessati dalla realizzazione delle gallerie;
- individuazione delle problematiche connesse al comportamento dei terreni/rocce in fase di scavo in funzione del quadro geologico, geomorfologico, idrogeologico e geotecnico;

	LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE					
	PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L344	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 6 di 84

- definizione delle modalità realizzative (tradizionale e/o meccanizzato) e delle sezioni tipo di scavo;

Nei successivi paragrafi, dopo aver illustrato la metodologia di lavoro, sono sviluppati i temi legati alla progettazione delle gallerie, con particolare riferimento alle problematiche geomorfologiche e geotecniche, agli aspetti realizzativi e ai requisiti in termini di sicurezza.

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1 Documenti Referenziati

I documenti referenziati, utilizzati come input per il presente documento, sono i seguenti:

- Rif. [1] U.O. Geologia, documento n° L344 00 R 69 RG GE0001 001 A “Relazione geologica”;
- Rif. [2] U.O. Geologia, documento n° L344 00 R 69 RG GE0001 002 A “Allegato 1 - scheda delle cavità censite”;
- Rif. [3] U.O. Geologia, “Indagini geognostiche”;
- Rif. [4] U.O. Geologia, documento n° L344 00 R 69 PR GE0005 001 B “Prove di laboratorio”;
- Rif. [5] U.O. Geologia, documento n° L344 00 R 69 F4 GE0001 001 A “Profilo geologico tav.1”;
- Rif. [6] U.O. Geologia, documento n° L344 00 R 69 F4 GE0001 002 A “Profilo geologico tav.2”;
- Rif. [7] U.O. Safety & Security, “Requisiti di sicurezza per la progettazione della galleria della tratta Ronchi-Trieste”, rev. B (Ottobre 2010).

3.2 Documenti Correlati

I documenti correlati, la cui lettura è consigliata per allargare la conoscenza dell’ambito nel quale si inquadra il presente documento, sono i seguenti:

- Rif. [8] U.O. Geologia, documenti di progetto.

3.3 Documenti Superati

Progetto preliminare “Nuova Linea AV/AC Venezia-Trieste, tratta Ronchi-Trieste” anno 2003, documentazione progettuale.

	LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE					
	PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L344	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 7 di 84

3.4 Documenti di riferimento per la progettazione delle gallerie

3.4.1 Normative Cogenti

- Rif. [9] Decreto Ministero delle Infrastrutture 14/01/2008. "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni".
- Rif. [10] Decreto Ministeriale 28/10/2005. "Sicurezza nelle gallerie ferroviarie".
- Rif. [11] Circolare 02/02/2009 n°617 C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione delle "nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14/01/2008".
- Rif. [12] Decisione del 21/12/2007 della Commissione dell'Unione Europea - 2008/164/CE - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente le "persone a mobilità ridotta" nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità.
- Rif. [13] Decisione del 20/12/2007 della Commissione dell'Unione Europea - 2008/163/CE - relativa alla Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente "la sicurezza nelle gallerie ferroviarie" nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità.
- Rif. [14] Decisione del 20/12/2007 della Commissione dell'Unione Europea - 2008/217/CE - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità.

3.4.2 Raccomandazioni e linee guida

- Rif. [15] SIG, "Linee guida per la progettazione, l'appalto e la costruzione di opere in sotterraneo", 1997.
- Rif. [16] AFTES - Groupe de travail Tunnel support and lining. Recommendations for use of convergence – confinement method".
- Rif. [17] ITA, "Guidelines for the design of tunnels", 1988.
- Rif. [18] Lunardi P. "Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS". Ed. Hoepli, 2006.

3.4.3 Prescrizioni e specifiche tecniche di RFI

- Rif. [19] RFI, documento n. RFI DTC-ICI-PO SP INF 007 A. "Istruzione 44G. Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.08 alla progettazione geotecnica delle opere ferroviarie", 02/03/2010.
- Rif. [20] RFI Direzione Investimenti Ingegneria Civile, documento RFI-DIN-IC MA GA GN 00 001 B "Manuale di progettazione gallerie", 2003.
- Rif. [21] RFI Direzione Investimenti Ingegneria Civile, documento RFI-DIN-IC\A0011\PI\2005\0001075 "Relazione Conclusiva Gruppo di Lavoro Nicchie in galleria", 24/11/2005.

3.4.4 Prescrizioni e specifiche tecniche di Italferr

- Rif. [22] Italferr, "Manuale di progettazione" ver.06, gennaio 2006.



LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
SOTTERRANEO	L344	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	8 di 84

Rif. [23] Italferr, documento n. XXXX 00 E IF MA 000000 001 A “Linee guida per la progettazione esecutiva delle gallerie naturali”, ottobre 1996.

Rif. [24] Italferr, documento n. XXXX 00 0 IF NR CE.00.00 001 A “Linee guida per il miglioramento della sicurezza nelle gallerie ferroviarie”, 01/10/97.

4 ALLEGATI

Il documento non è corredato di allegati.

5 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

I contenuti della presente relazione sono completati e arricchiti dai seguenti elaborati di progetto.

Rif. [25] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 F4 GN0100 001 A “Gallerie di linea. Subtratta Ronchi-Aurisina. Profilo geotecnico e geomeccanico (Tav. 2 di 3)”

Rif. [26] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 F4 GN0100 002 A “Gallerie di linea. Subtratta Ronchi-Aurisina. Profilo geotecnico e geomeccanico (Tav. 3 di 3)”

Rif. [27] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 F4 GN0200 001 A “Gallerie di linea. Subtratta Aurisina-Trieste. Profilo geotecnico e geomeccanico (Tav. 1 di 2)”

Rif. [28] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 F4 GN0200 002 A “Gallerie di linea. Subtratta Aurisina-Trieste. Profilo geotecnico e geomeccanico (Tav. 2 di 2)”

Rif. [29] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 WB GN0000 001 A “Gallerie di linea - Gallerie di interconnessione Bivio Aurisina - Galleria di rilocazione linea storica VE-TS -Sezioni tipo di intradosso”

Rif. [30] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 WA GN0000 001 A “Gallerie di linea - Gallerie di interconnessione Bivio Aurisina - Galleria di rilocazione linea storica VE-TS - Gallerie a singolo binario – Scavo tradizionale – Scavo, consolidamento, carpenteria”

Rif. [31] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 WA GN0000 002 A “Gallerie di linea - Gallerie a doppio binario – Scavo tradizionale – Scavo, consolidamento, carpenteria”

Rif. [32] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 WB GN0200 001 A “Gallerie di linea – Scavo meccanizzato- Scavo in avanzamento - Carpenteria anello”

Rif. [33] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 W9 GN0100 001 A “Gallerie di interconnessione Bivio Aurisina – Sottoattraversamento linea AV Ronchi – Aurisina – Sezioni trasversali caratteristiche”

Rif. [34] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 WB GA0000 001 A “Opere di imbocco gallerie a singolo binario – Portale – Carpenteria”

Rif. [35] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 WB GA0000 002 A “Opere di imbocco gallerie a doppio binario – Portale – Carpenteria”

Rif. [36] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 WB GA0000 003 A “Opere di imbocco gallerie a singolo binario – Galleria artificiale – Carpenteria”



LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L344	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	9 di 84

- Rif. [37] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 WB GA0000 004 A “Opere di imbocco gallerie a doppio binario – Galleria artificiale – Carpenteria”
- Rif. [38] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 WZ GN0100 001 A “Opere particolari – Gallerie di linea subtratta Ronchi-Aurisina – Cameroni di interconnessione Bivio Aurisina – Sezioni tipo”
- Rif. [39] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 WZ GN0200 001 A “Opere particolari – Gallerie di linea subtratta Aurisina-Trieste – Camerone di diramazione doppio binario-singolo/singolo binario – Sezioni tipo”
- Rif. [40] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 WZ GN0200 002 A “Opere particolari – Gallerie di linea subtratta Aurisina-Trieste – Camerone di lancio TBM – Sezioni tipo”
- Rif. [41] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 WZ GN0200 003 A “Opere particolari – Gallerie di linea subtratta Aurisina-Trieste – Cameroni di innesto su linea di cintura di Trieste – Sezioni tipo”
- Rif. [42] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 PZ GN0100 001 A “Opere particolari – Gallerie di linea subtratta Ronchi-Aurisina – Uscita/accesso di emergenza – Planimetria e profilo longitudinale”
- Rif. [43] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 PZ GN0100 002 A “Opere particolari – Gallerie di linea subtratta Ronchi-Aurisina – Uscita/accesso di emergenza – Pianta e sezioni zona di innesto”
- Rif. [44] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 PZ GN0000 001 A “Opere particolari – Gallerie di linea – By-Pass di collegamento per gallerie a doppia canna – Pianta, profilo e sezioni”
- Rif. [45] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 PZ GN0100 003 A “Opere particolari – Gallerie di interconnessione Bivio Aurisina – By-Pass di collegamento galleria d’interconnessione galleria di linea – Pianta, profilo e sezioni”
- Rif. [46] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 PZ GN0100 004 A “Opere particolari – Gallerie di interconnessione Bivio Aurisina – By-Pass di collegamento gallerie d’interconnessione – Pianta, profilo e sezioni”
- Rif. [47] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 PZ GN0000 002 A “Opere accessorie – Galleria di interconnessione Bivio Aurisina B.D. e galleria di rilocazione linea storica VE-TS – Pozzi di aggettamento – Pianta e sezioni”
- Rif. [48] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 PZ GN0200 001 A “Opere accessorie – Gallerie di linea subtratta Aurisina-Trieste – Pozzo di disconnessione fumi – Pianta e sezioni”
- Rif. [49] U.O. Gallerie, documento n.° L344 00 R 07 PZ GN0200 002 A “Opere accessorie – Gallerie di linea subtratta Aurisina-Trieste – Pozzo di discesa cavi e accumulo liquidi pericolosi – Pianta e sezioni”

	LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE					
	PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L344	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 10 di 84

6 METODOLOGIA DI LAVORO

La progettazione delle opere in sotterraneo ha riguardato la definizione della configurazione delle gallerie della tratta valutando le diverse alternative (gallerie a singola canna a doppio binario, gallerie a doppio canna a singolo binario) nel rispetto delle normative in termini di sicurezza sulle gallerie ferroviarie Rif. [10] Rif. [13] e in particolare del documento Rif. [7], in cui vengono declinati i requisiti di sicurezza per lo specifico progetto, e la definizione degli aspetti strutturali e costruttivi delle gallerie.

La progettazione geotecnica e strutturale delle opere in sotterraneo è stata sviluppata nel rispetto della normativa vigente e in accordo con le prescrizioni e le raccomandazioni elencate nel paragrafo 3.4 “Documenti di riferimento per la progettazione delle gallerie”.

In accordo con il metodo ADECO-RS (Rif. [18]), la progettazione si è articolata nelle seguenti fasi progettuali:

- acquisizione degli elementi geologici e geomeccanici (fase Conoscitiva),
- individuazione del comportamento dell’ammasso allo scavo (fase di Diagnosi),
- scelta delle modalità realizzative e definizione delle sezioni tipo di scavo ed avanzamento (fase di Terapia)

Lo studio geologico, geomorfologico, idrogeologico (Rif. [1]) e geotecnico ha permesso di definire in maniera adeguata alla fase preliminare della progettazione i seguenti aspetti:

- la litologia e la successione stratigrafica di terreni lungo il tracciato delle gallerie;
- i principali caratteri geomorfologici dell’area interessata dal tracciato;
- il quadro idrogeologico di riferimento;
- le principali caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati ed eventuali criticità in fase di scavo.

I risultati dello studio geologico sono stati esaminati ed interpretati allo scopo di individuare le principali problematiche progettuali legate alla realizzazione delle singole opere (fase di Diagnosi), individuando tra le soluzioni tecniche possibili, le migliori ai fini del rispetto dell’impatto sul territorio e dei requisiti di sicurezza, sia in fase esecutiva che di esercizio (fase di Terapia).

Sono stati, pertanto, definiti i metodi di scavo e le sezioni tipo di avanzamento più idonee per le varie tratte, individuando, in funzione delle caratteristiche geotecniche e geomorfologiche dei materiali, dei fenomeni deformativi attesi e delle interferenze lungo il tracciato, anche la tipologia di interventi di consolidamento propedeutici allo scavo.



LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L344	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	11 di 84

7 ASPETTI GENERALI

7.1 Il tracciato di progetto

Il Progetto Preliminare in esame realizza il collegamento da Ronchi a Trieste C.le, nell'ambito della linea AV/AC Venezia-Trieste (corridoio V), alla velocità massima di 200 km/h.

Il tracciato di progetto ha inizio nel territorio della Provincia di Gorizia e termina nella Provincia di Trieste, in corrispondenza dell'innesto nella Linea di Cintura merci esistente.

Come anticipato (cfr. § 1) la tratta Ronchi Trieste è realizzata in tre delle sei fasi funzionali (in particolare nelle fasi funzionali 1, 2 e 6), a diversi scenari temporali, che costituiscono il progetto della linea AV/AC Venezia-Trieste.

In particolare la fase funzionale 1, di seguito definita Subtratta Quadruplicamento Bivio San Polo, prevede:

- il quadruplicamento del tratto di linea storica Venezia-Trieste compreso tra il Bivio San Polo e l'attuale stazione di Monfalcone che comporta una variante plano-altimetrica della linea Gorizia-Trieste e del BP e BD della linea storica Venezia-Trieste.
- il rifacimento del PRG di Monfalcone.

Nell'ambito della fase funzionale 2, di seguito definita Subtratta Ronchi-Aurisina, sono previsti:

- la realizzazione della linea AV/AC da Ronchi dei Legionari ad Aurisina;
- la realizzazione della nuova stazione di Ronchi, in prossimità dello scalo aeroportuale di Ronchi dei Legionari, in corrispondenza della quale si realizza l'interconnessione tra linea storica e linea AV/AC;
- la realizzazione dell'interconnessione con la linea AV/AC con Trieste c.le e Trieste Campo Marzio via Bivio Aurisina;
- la dismissione dell'attuale impianto di Aurisina e la realizzazione di un posto di movimento che garantisce l'interconnessione tra la linea AV/AC, che termina in corretto tracciato con l'attuale linea per Villa Opicina, e i binari della linea storica Trieste – Villa Opicina.

In fine, nell'ambito della fase funzionale 6, di seguito definita Subtratta Aurisina-Trieste, sono previsti:

- il completamento della nuova linea AV/AC in corretto tracciato dal PM Aurisina fino all'allaccio con la Cintura merci di Trieste, mediante un bivio a raso a 60km/h per consentire il collegamento con Ts. C.le.
- la variante linea storica Aurisina- Villa Opicina, necessaria per realizzare il completamento della AV/AC.

Con riferimento ai soli tracciati ferroviari, gli interventi compresi nello sviluppo progettuale della tratta Ronchi-Trieste sono riepilogati nella seguente tabella:



LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L344	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	12 di 84

<i>Linea AV/AC</i>	di lunghezza complessiva pari a 36,635 km, con origine dalla spalla Est del viadotto Isonzo e termine in corrispondenza della linea di Cintura esistente.
<i>Interconnessione Bivio Aurisina</i>	di lunghezza pari a 1,988 km BD e 1,224 km BP, che collega la Linea AV/AC con la Linea Storica da/per Trieste.
<i>Variante Linea Storica Venezia-Trieste</i>	di lunghezza pari a 8,711 km BP e 10,317 km BD, che lascia la sede attuale per la nuova linea AV e si colloca esternamente ad essa; la variante ha inizio in corrispondenza della spalla est del viadotto sul fiume Isonzo e termina nell'impianto di Monfalcone.
<i>Variante Linea Storica Gorizia-Trieste</i>	di lunghezza pari a 3,079 km BP e 3,263 km BD, è resa necessaria per la risoluzione del bivio San Polo; ha inizio dopo la stazione di Ronchi Nord e termina nell'impianto di Monfalcone.
<i>Variante Linea Storica Bivio Aurisina – Stazione Aurisina</i>	di lunghezza complessiva 2,993 km BP e 1,064 km BD, è necessaria per l'inserimento della linea AV/AC nell'impianto di Aurisina; ha inizio dopo l'opera di scavalco esistente dell'autostrada e termina in prima fase nella stazione di Aurisina e in seconda fase 1500 m circa dopo l'uscita dall'impianto.

Tabella riepilogativa dei tracciati ferroviari previsti nella tratta Ronchi-Trieste

Inoltre in ragione del suo andamento piano-altimetrico, la Linea AV/AC è articolabile in tre tratti:

- il primo tratto, compreso tra la progressiva iniziale ed il chilometro 7+825, si sviluppa prevalentemente in rilevato;
- il secondo tratto, compreso tra le prg 7+825 e 13+095, è caratterizzato da un alternarsi di gallerie e viadotti, in cui le gallerie sono tutte a singola canna doppio binario;
- il terzo tratto, compreso tra la prg. 13+095 e fine progetto, è caratterizzato da due lunghe gallerie a doppia canna, con interasse variabile da 20.0 m a 40.0 m, divise da un tratto all'aperto ed uno in galleria a singola canna doppio binario.

Nella tabella seguente sono riportate le specifiche tecnico-funzionali adottate per la progettazione delle linee della tratta in esame. Per maggiori dettagli si rimanda comunque agli specifici elaborati di progetto.



LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
 SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L344	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	13 di 84

<i>Caratteristiche</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Linea AV/AC</i>	<i>Interconnessioni</i>	<i>Varianti linee storiche Ud – Ts / Ve – Ts / Bivio Aurisina - Aurisina</i>
Tipo di esercizio	-	Misto	Misto	Misto
Velocità max di progetto	km / h	220	60	100/100/60
Raggio min. curve	m	1.250	500	390 / 400 / 300
Sopraelevazione max.	mm	150	30	150/160/50
Insuff. sopraelevazione	mm	80	92	92
Ecced. sopraelevazione	mm	110	110	110
Pendenza max (compens.)	‰	12,50	12,50	15,60/15.52/12.5
Raggio min racc.vert.	m	6.400	3.000	3.000
Peso assiale	t	22,5	22,5	22,5
Interasse binari	m	4,00/40,00	4,00	4,00
Gabarit	-	C	C	C
Posa del binario	-	su pietrisco	su pietrisco	su pietrisco
Tipo rotaie	-	60 UIC, 900 A	60 UIC, 900 A	60 UIC, 900 A
Tipo traverse in c.a.p.	-	RFI 2,60	RFI 2,40	RFI 2,40
Spessore massicciata	cm	35	35	35

Tabella di sintesi delle specifiche tecnico-funzionali per i tracciati della tratta Ronchi-Trieste



LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE

PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L344	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	14 di 84

8 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

8.1 Configurazione e sviluppo delle opere in sotterraneo

Nella subtratta Quadruplicamento Bivio San Polo (cfr. § 1) sono presenti opere in sotterraneo di modesta estensione. In particolare sulla rilocazione della linea storica Gorizia-Trieste è presente un unico tratto in sotterraneo lungo 650m (realizzato in artificiale di tipo scatolare e pertanto non oggetto della presente relazione), mentre sul binario dispari della variante della linea storica Venezia-Trieste sono presenti due tratti in sotterraneo, il primo di circa 1300m (galleria naturale e artificiali policentriche) ed il secondo di circa 60m (anche quest'ultimo realizzato in artificiale di tipo scatolare e pertanto non oggetto della presente relazione).

Tutte le gallerie di linea, circa 22,7 km, e quelle di interconnessione Bivio Aurisina, circa 2,2 km, ricadono invece nelle altre due subtratte, rispettivamente Ronchi-Aurisina e Aurisina-Trieste.

In relazione alle esigenze di tracciato e di sicurezza (Rif. [10] Rif. [13] e Rif. [7]), per le gallerie di linea sono state previste sia la configurazione a singola canna a doppio binario, che quella a doppia canna a singolo binario. Nello specifico, la presenza di due tratti in sotterraneo di sviluppo maggiore di 10 km, sia nella subtratta Ronchi-Aurisina che nella subtratta Aurisina-Trieste, ha portato alla scelta della configurazione a doppia canna a singolo binario. Tale scelta garantisce infatti, prevedendo appositi collegamenti tra le canne, di evitare la realizzazione ogni 1000m di uscite di emergenza previste secondo Rif. [13] per le gallerie a doppio binario. In particolare i by-pass di collegamento previsti nell'ambito di tale progetto (cfr. § 8.9) sono ubicati ogni 500m, hanno dimensioni in pianta maggiore di 100mq, ed hanno funzione di A.S.P. (Area di sosta provvisoria). L'interasse tra le canne varia da un minimo di 20 m ad un massimo di 40 m. Per le restanti gallerie di linea è stata adottata invece la configurazione a singola canna a doppio binario. Con tale configurazione, in due casi, uno riguardante una galleria naturale nella subtratta Ronchi-Aurisina e l'altro una galleria artificiale scatolare nella subtratta Aurisina-Trieste (quest'ultimo non oggetto della presente relazione), lo sviluppo dell'opera in sotterraneo è maggiore di 1000m. Il rispetto dei requisiti di sicurezza di cui ai Rif. [10] Rif. [13] e al documento Rif. [7], è garantito, nel primo caso dalla realizzazione di un'uscita/accesso di emergenza laterale pedonale posta in posizione pressoché baricentrica rispetto allo sviluppo longitudinale della galleria, mentre nel secondo caso, dalla realizzazione di un'uscita/accesso di emergenza verticale con scale a pozzo sul tratto di galleria artificiale scatolare che precede l'imbocco della galleria naturale lato Aurisina.

Anche per la galleria a singola canna del binario dispari della rilocazione della linea storica Venezia-Trieste, di sviluppo anch'essa maggiore di 1000m, il rispetto dei requisiti di sicurezza di cui sopra è garantito dalla realizzazione di un'uscita/accesso di emergenza verticale con scale a pozzo sul tratto di galleria artificiale policentrica lato Ronchi.

Con riferimento alla galleria di interconnessione Bivio Aurisina binario dispari (L = 1600 m circa), in accordo con quanto riportato nel documento Rif. [7], è stata adottata la soluzione che consente di avere collegamenti trasversali ogni 500 m tra le due gallerie di interconnessione e/o tra la galleria di interconnessione del binario dispari e la canna del binario dispari della galleria di linea. A differenza dei by-pass tra le gallerie di linea, tali collegamenti (cfr. § 8.9) non presentano (in particolare il collegamento tra galleria d'interconnessione e galleria di linea) una superficie calpestabile pari a 100 mq e servono esclusivamente per il trasferimento dei passeggeri nella galleria non interessata dall'incendio che ha funzione di luogo sicuro.



LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE

PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L344	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	15 di 84

Completano le opere sotterranee, opere accessorie complementari quali:

- pozzi di aggotamento, Rif. [47], presenti in corrispondenza dei punti di minimo (“corde molli”) del tracciato della galleria di rilocalizzazione storica Venezia-Trieste e della galleria d’interconnessione Bivio Aurisina binario dispari;
- pozzi di disconnessione fumi che si attestano sul camerone di interconnessione Bivio Aurisina binario dispari, Rif. [38], sul camerone di diramazione doppio binario-singolo/singolo binario della subtratta Aurisina-Trieste (nel seguito definito, per brevità, anche semplicemente camerone di diramazione), Rif. [39], e sulle gallerie di linea AV/AC prima dell’innesto sulla Linea di Cintura di Trieste;
- pozzo di accumulo dei liquidi pericolosi eventualmente sversati in galleria, posto anch’esso in prossimità dell’innesto della linea AV/AC sulla Linea di Cintura di Trieste, Rif. [49].

Nel dettaglio, seguendo il tracciato da Ronchi verso Trieste, le gallerie naturali ed artificiali policentriche previste in ciascuna subtratta sono le seguenti:

- Subtratta Quadruplicamento Bivio San Polo-Monfalcone:
 - rilocalizzazione della linea storica Venezia-Trieste, galleria a singolo binario, copertura max. di 20 m, sviluppo complessivo pari a 1.260 m di cui 725 m realizzati in naturale con scavo tradizionale (GN01), ed i restanti 535 m, costituenti gli imbocchi della naturale (GA02 e GA03), realizzati in artificiale policentrica.
- Subtratta Ronchi-Aurisina, da p.k. 0+000 al p.k. 22+800 del binario pari:
 - Galleria di linea a doppio binario da p.k. 9+700 a p.k. 10+877, copertura max. di 55 m, sviluppo complessivo pari a ca. 1.177 m, di cui 1.085 m in naturale (GN02), realizzata in scavo tradizionale, ed i restanti 92 m, costituenti gli imbocchi della naturale (GA07 e GA08), in artificiale policentrica. Poiché l’opera supera i 1.000 m di lunghezza è prevista un’uscita di emergenza intermedia pedonale di lunghezza pari a 162 m ca., di cui 136 in naturale (GN10) realizzata in scavo tradizionale e 18 m, in artificiale policentrica (GA17);
 - Galleria di linea a doppia canna da p.k. 12+775 a p.k. 12+926, copertura di 15 m, sviluppo complessivo pari a ca. 151 m, di cui 105 m in naturale (GN03), realizzata in scavo tradizionale, ed i restanti 46 m, costituenti l’imbocco lato Aurisina della naturale (GA11), in artificiale policentrica (l’imbocco lato Ronchi è realizzato in artificiale di tipo scatolare);
 - Galleria di linea a doppia canna da p.k. 13+095 a p.k. 22+800, copertura max. di m 190, sviluppo complessivo pari a ca. 9.705 m, di cui 9.260 m in naturale (GN04 e GN05), intervallata a circa metà da una galleria artificiale policentrica di 275 m (GA13), realizzata in scavo tradizionale con collegamenti trasversali ogni 500m, ed i restanti 499 m, costituenti gli imbocchi della galleria naturale a doppia canna (GA12 e GA14), realizzati in artificiale policentrica
 - Interconnessione Bivio Aurisina costituita dai due rami di interconnessione così composti:
 - Interconnessione B.D., coperture variabili da 12 a 25 m, sviluppo complessivo di ca. 1.557 m, di cui 1.482 m in naturale, costituita da una galleria a singolo binario (GN06) di 1310 m e da un camerone di interconnessione (GN07) di ca. 171 m, realizzati in scavo tradizionale, ed i restanti 57 m, costituenti l’imbocco lato Aurisina della naturale (GA15), realizzati in artificiale policentrica.
 - Interconnessione B.P., copertura max. di 40 m, sviluppo complessivo di ca. 800 m, di cui 700 m in naturale, costituita da un camerone di interconnessione (GN08) di 191 m ca e da una galleria a singolo binario (GN09) di 509 m, realizzati in scavo tradizionale, ed i restanti 100 m, costituenti l’imbocco lato Aurisina della naturale (GA16), realizzati in artificiale policentrica.



LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L344	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	16 di 84

Complessivamente in questa subtratta sono previsti 10.450 m di gallerie naturali, pari a ca. il 46% della subtratta, di cui 9.365 m nella configurazione a doppia canna, a cui si aggiungono 2.181 m di gallerie di interconnessione.

- Subtratta Aurisina-Trieste da p.k. 22+800 a p.k. 36+634 del binario pari, per complessivi 13.834 m:
 - o Galleria di linea a doppio binario da p.k. 25+052 a p.k. 25+389, copertura variabile da 15 a 30 m, sviluppo complessivo pari a ca. 337 m, realizzata in scavo tradizionale(GN11);
 - o Camerone di diramazione da galleria a singola canna a doppio binario a galleria a doppia canna a singolo binario da p.k. 25+389 a p.k. 25+662.8, coperture variabili da 30 a 35 m, sviluppo complessivo pari a ca. 274 m, realizzato in scavo tradizionale (GN12);
 - o Galleria di linea a doppia canna da p.k. 25+662,80 a p.k. 28+527.84, coperture variabili da 35 a 140 m, sviluppo complessivo pari a ca. 2.865 m, realizzata in scavo tradizionale con collegamenti trasversali ogni 500m (GN13);
 - o Camerone di lancio delle TBM da p.k. 28+527,84 a p.k. 28+677.84, coperture variabili da 60 a 75 m, sviluppo complessivo pari a ca. 150 m, realizzati in scavo tradizionale (GN14);
 - o Galleria di linea a doppia canna da p.k. 28+677,84 a p.k. 36+510, coperture variabili da 12 a 190 m, sviluppo complessivo pari a ca. 7.832 m, realizzata in scavo meccanizzato con collegamenti trasversali ogni 500m (GN15);
 - o Camerone di innesto alla linea di cintura realizzati in tradizionale, rispettivamente di 111 m ca. per il BD (GN16) e di 124 m ca. per il B.P. (GN17) con copertura di ca. 125 m.

Complessivamente in questa subtratta sono previsti 11.582 m di gallerie naturali, pari a ca. l'84% della subtratta, di cui 10.847 m nella configurazione a doppia canna.

8.2 Sezioni tipo di intradosso

Le sezioni di intradosso progettate sono in accordo alle sezioni tipo del manuale di progettazione RFI/ ITALFERR (Rif. [10] e Rif. [13]) e si riferiscono alla sezione tipo Gabarit C, P.M.O. 5, Rif. [29].

Per le gallerie a semplice binario, sia in scavo tradizionale che in meccanizzato, la sezione tipo prevista è quella per velocità di progetto $V \leq 200$ km/h, con piccole modifiche per renderla compatibile con traverse da 2.60 m e la eventuale successiva elettrificazione a 25kv.

Per le gallerie a doppio binario in scavo tradizionale, la sezione tipo prevista è quella per velocità di progetto $200 \text{ km/h} < V \leq 250 \text{ km/h}$ per consentire l'adozione di traverse da 2.60 m, mantenendo comunque l'interasse di 4.00 m tra i binari.

Per le gallerie in scavo tradizionale, rispetto a quanto riportato in Rif. [29] e nelle figure 8.1 e 8.2, si precisa che i raggi di curvatura delle calotte e dei piedritti si intendono con tolleranze di -0.00 cm e + 0.05 cm, mentre la curvatura degli archi rovesci è indicativa.

Tutte le sezioni, sia in scavo meccanizzato che in scavo tradizionale, sono dotate di corrimano conforme alle normative Rif. [10] Rif. [13], secondo quanto riportato in Rif. [7].



LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L344	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	17 di 84

In accordo con quanto riportato nel documento Rif. [7], nella galleria di linea a doppia canna del tratto Ronchi-Aurisina da p.k. 13+095 a p.k. 22+800, ed in tutto il tratto in sotterraneo da Aurisina a Trieste, entrambi monopendenti e di lunghezza complessiva maggiore di 5 km, le sezioni sono attrezzate in modo da consentire la raccolta e lo smaltimento di liquidi pericolosi in caso di accidentale sversamento da vagoni merci. Il sistema di raccolta prevede la realizzazione di un collettore di raccolta longitudinale e di una serie di pozzetti con sistema di sifone rompi fiamma (Fig. 8.1, 8.2 e 8.3). Nei restanti tratti di galleria di linea, nelle gallerie di interconnessioni e nella rilocazione della linea storica Venezia-Trieste, tutti di sviluppo inferiore ai 5 km, non è invece previsto un sistema di raccolta dei liquidi pericolosi e le sezioni sono attrezzate con canalette per la raccolta delle acque di piattaforma. In entrambi i casi comunque non è previsto un sistema di raccolta differenziata tra le acque di drenaggio e le acque di piattaforma/liquidi pericolosi. Per lo scavo meccanizzato infatti non sono previste infiltrazioni (i conci di rivestimento sono dotati di guarnizioni idrauliche al contorno), mentre per lo scavo tradizionale, nonostante la presenza di tubi di drenaggio, le portate stimate risultano pressoché nulle (cfr. Rif. [1]).

Per i cameroni presenti sul tracciato, sia quelli di interconnessione, Rif. [38], che di diramazione, Rif. [39], che di innesto sulla Linea di Cintura, Rif. [41], le sezioni sono a geometria variabile viste le ampie dimensioni delle opere. Per i cameroni di lancio delle TBM invece è prevista un'unica ampia sezione appositamente studiata per consentire il montaggio delle macchine, Rif. [40].

8.2.1 Gallerie a semplice binario - Sezione tipo per lo scavo meccanizzato

Rispetto alla sezione tipo del manuale di progettazione RFI/ITALFERR (Rif. [39] e Rif. [39]), le modifiche introdotte nella sezione tipo circolare per lo scavo meccanizzato, consistono nella diminuzione del disassamento dell'asse binario rispetto all'asse galleria da 40 cm a 35 cm, e nella riduzione della distanza tra p.f. e centro della galleria da 2.60 m a 2.55 m (v.fig.8.1). Il diametro interno di 8.2m permette il transito di una sagoma di tipo C, corrispondente ad un P.M.O.n.5 con ampi margini di sicurezza. Il diametro di 8.2 m è la misura minima per il rispetto di tutti i franchi elettrici e di armamento e fornisce un'area libera di circa 45 mq, che assicura un adeguato livello di comfort fino a velocità di 200 Km/h. Il marciapiede è normalmente di 170 cm e si riduce a 120 cm, in corrispondenza delle nicchie per alloggiamenti tecnologici ed antincendio (cfr. § 8.8), che sono realizzate con elementi prefabbricati in aggetto, onde evitare la demolizione del rivestimento in conci prefabbricati della galleria. I marciapiedi sono ricavati sul lato più vicino all'altra canna, in modo da essere collegate direttamente attraverso i by-pass.

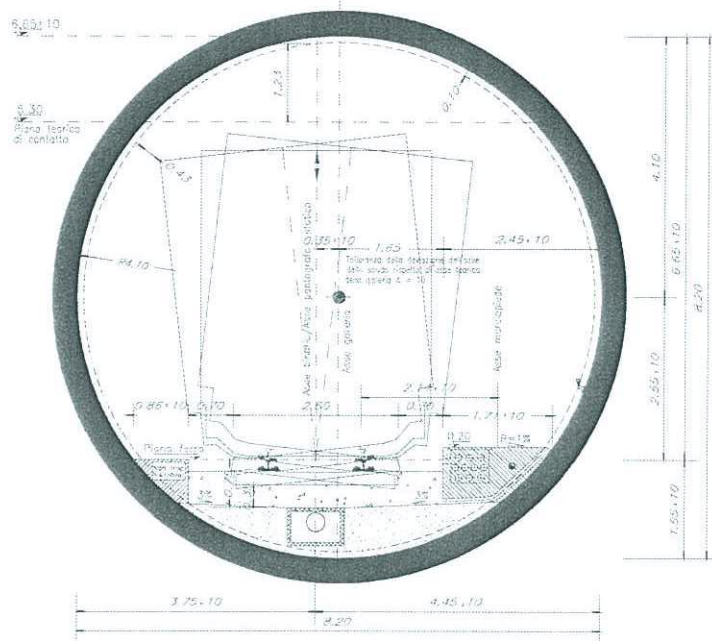


Fig. 8.1 – Sezione tipo di ntradosso galleria semplice binario scavo meccanizzato

In definitiva la sezione tipo scelta di diametro interno di 8.2 m soddisfa i seguenti requisiti:

- transito di un Gabarit tipo C, P.M.O. 5;
- area libera di 45mq;
- piano teorico di contatto della T.E. a 5.30m dal piano ferro con franco libero dalla calotta di 123cm;
- uso di traverse da 260cm;
- distanza fissa delle traverse del marciapiede di 70cm;
- piano marciapiede posto a +20cm dal piano ferro;
- larghezza corrente di marciapiede di 170±10cm e di 120cm in corrispondenza delle nicchie tecnologiche poste ogni 125/250m ;
- armamento su ballast di spessore 35cm.

8.2.2 Gallerie a semplice binario - Sezione tipo per lo scavo tradizionale

Le modifiche a tale sezione tipo, consistono invece in un disassamento costante dell'asse binario rispetto all'asse galleria di 10 cm, per accogliere le traverse da 2.60 m (v.fig.8.2), e nella predisposizione all'eventuale successivo utilizzo dell'alimentazione da 25kv. Oltre che per le gallerie di linea AV/AC, tale sezione tipo è utilizzata anche per le gallerie di interconnessione Bivio Aurisina e di rilocazione della linea storica Venezia-Trieste. Si precisa che, in quest'ultimi due casi, la sezione prevede l'adozione di traverse da 2.40 m ed alimentazione da 3kv.

La sezione è policentrica con area libera di circa 49mq. Il marciapiede è di 120 cm anche in corrispondenza delle nicchie per alloggiamenti tecnologici ed antincendio (cfr. § 8.8), in quanto ricavate all'interno del rivestimento

definitivo della galleria. I marciapiedi sono ricavati sul lato più vicino all'altra canna, in modo da essere collegate direttamente attraverso i by-pass e sono dotate di corrimano conforme alle normative Rif. [10] e Rif. [13].

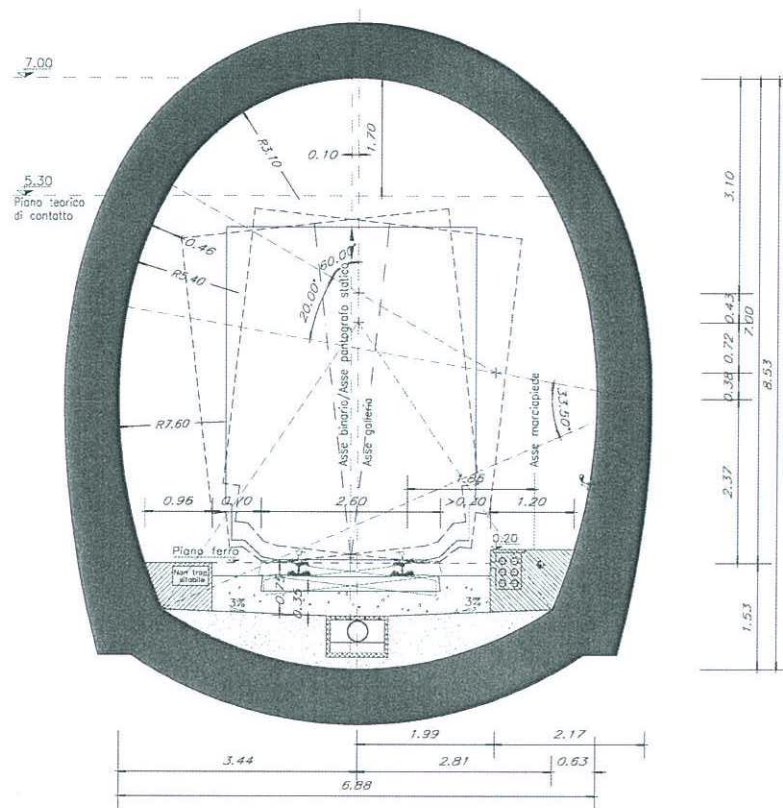


Fig. 8.2 – Sezione tipo di ntrado sso galleria semplice binario scavo tradizionale

In definitiva la sezione tipo scelta soddisfa i seguenti requisiti:

- transito di un Gabarit tipo C, P.M.O. 5;
- area libera di 49mq;
- piano teorico di contatto della T.E. a 5.20m dal piano ferro con franco libero dalla calotta di 170cm;
- uso di traverse da 260cm (240cm per le interconnessioni e la rilocalazione della linea storica Ve-Ts);
- distanza fissa delle traverse dal marciapiede di 70cm;
- piano marciapiede posto a +20cm dal piano ferro
- larghezza corrente di marciapiede di 120cm;
- armamento su ballast di spessore 35cm.

8.2.3 Gallerie a doppio binario - Sezione tipo per lo scavo tradizionale

Per le gallerie a doppio binario, che sono previste solo in scavo tradizionale, l'adozione di traverse di 2,60 m comporta invece la necessità di adottare la sezione tipo per velocità di progetto compresa tra 200 km/h <math>V < 250 \text{ km/h}</math> (v.fig.8.3) modificata con un interasse di 4.00 m anziché 4.50 m e compatibile anche per la eventuale elettrificazione a 25kv. I marciapiedi, ricavati su ambo i lati, sono larghi 134 cm, anche in corrispondenza delle nicchie per alloggiamenti tecnologici ed antincendio (cfr. § 8.8) in quanto ricavate all'interno del rivestimento definitivo della galleria. I marciapiedi sono dotati di corrimano conforme alle normative Rif. [10] e Rif. [13].

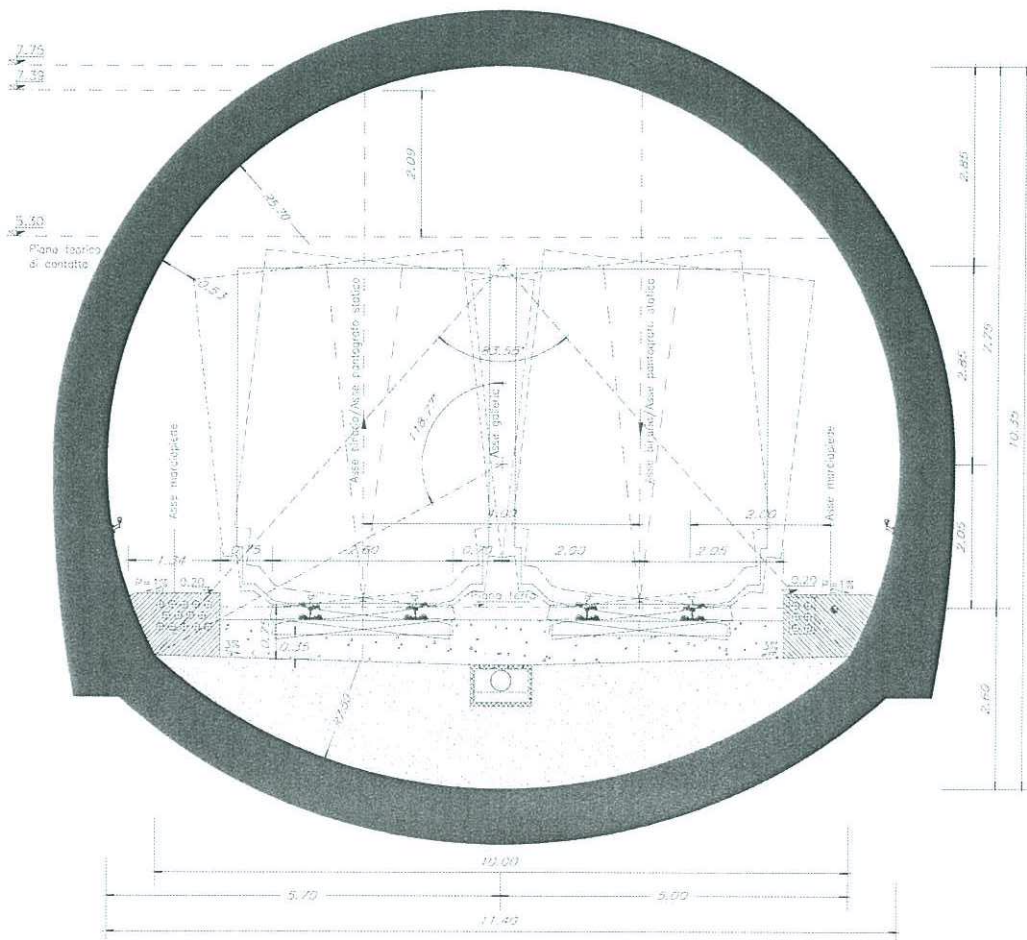


Fig. 8.3 – Sezione tipo di ntradosso galleria doppio binario scavo tradizionale

In definitiva la sezione tipo scelta soddisfa i seguenti requisiti:

- transito di un Gabarit tipo C, P.M.O. 5;
- area libera di 94mq;
- piano teorico di contatto della T.E. a 5.30m dal piano ferro con franco libero dalla calotta di 209cm;

	LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L344	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

- uso di traverse da 260cm;
- distanza fissa delle traverse dal marciapiede di 75cm;
- piano marciapiede posto a +20cm dal piano ferro;
- larghezza corrente di marciapiede di 134cm;
- armamento su ballast di spessore 35cm.

8.2.4 Gallerie artificiali policentriche

Agli imbocchi delle gallerie naturali della subtratta Ronchi-Aurisina e tra le due gallerie naturali GN04 e GN05 della stessa subtratta, si prevede la realizzazione di tratti di galleria artificiale policentrica in c.a., che verranno successivamente ricoperti, permettendo la riconfigurazione geometrica locale dei versanti. Tali opere hanno la stessa sagoma interna delle gallerie naturali, mentre gli spessori esterni possono essere vincolati dalla presenza delle opere di contenimento laterali e/o dal profilo della scarpata verso cui verranno gettati i piedritti controterra.

Ad esclusione del tratto in galleria artificiale policentrica compreso tra le gallerie naturali GN04 e GN05, tutte le altre gallerie artificiali policentriche sono previste con imbocco sagomato a becco di flauto.

Per gli scavi delle gallerie artificiali policentriche si prevedono interventi per garantire la stabilità delle scarpate mediante opere provvisorie. In base alle attuali conoscenze delle caratteristiche geomeccaniche degli ammassi (cfr. § 9), tali interventi consistono nel trattamento superficiale con rete elettrosaldata, spritz beton, chiodature ed impermeabilizzazione. Nelle successive fasi progettuali sarà valutata, ove necessario, la realizzazione di opere specifiche di consolidamento superficiali o profonde.

Le sezioni di riferimento per il doppio e singolo binario sono riportate negli elaborati grafici di progetto (Rif. [34], Rif. [35], Rif. [36] e Rif. [37]), cui si rimanda per maggiori dettagli.

8.2.5 Camerone di interconnessione Bivio Aurisina

Ai km 21+358.889 e 22+033.120 del tracciato AV/AC (p.k. relative al B.P.) si sviluppano rispettivamente il ramo dispari ed il ramo pari dell'interconnessione di Aurisina, mediante due camerone di sfiocco di lunghezza pari a 172 m ca. per il binario dispari e 191 m ca. per il binario pari. Le dimensioni trasversali di tali opere impongono sezioni di intradosso a geometria variabile (Fig. 8.4), con aree nette che variano da ca. 92mq (sezione minima) a ca. 206mq (sezione massima).

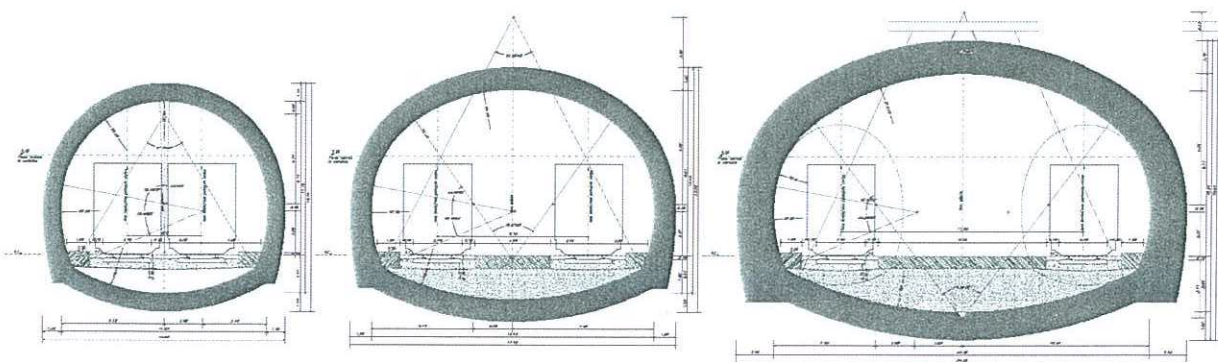


Fig. 8.4 – Sezioni tipo di intradosso camerone di interconnessione di Aurisina

8.2.6 *Camerone di diramazione doppio binario-singolo/singolo binario subtratta Aurisina-Trieste*

Tale camerone si sviluppa a partire dal km 25+389 per una lunghezza di 274 m ca. e consente il passaggio dalla galleria a doppio binario alla configurazione di galleria a doppia canna a singolo binario. Anche qui le dimensioni trasversali dell'opera impongono sezioni di intradosso a geometria variabile, come mostrato in figura 8.5, con aree nette che variano da ca. 112mq (sezione minima) a ca. 200mq (sezione massima).

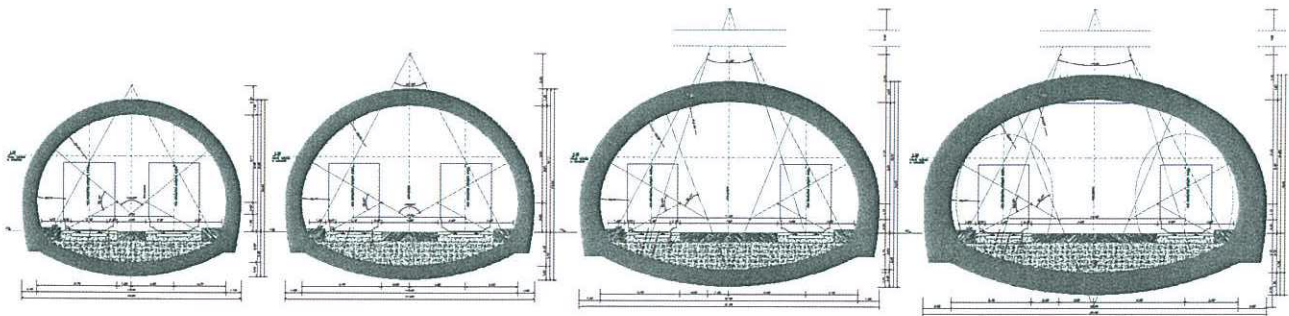


Fig. 8.5 – Sezioni tipo di intradosso camerone di diramazione doppio binario-singolo/singolo binario

8.2.7 *Cameroni di lancio TBM subtratta Aurisina-Trieste*

A partire dalla p.k. 28+677,84 sino alla linea di cintura di Trieste, il tracciato si sviluppa nel Flysch di Trieste. Lo scavo di tale tratto, con esclusione dei cameroni finali di innesto e di un breve tratto di collegamento tra le gallerie in meccanizzato e i cameroni stessi, è previsto mediante frese scudate a piena sezione che vengono montate in galleria, dopo che è stato ultimato il tratto precedente in tradizionale, che ricade all'interno della formazione Calcarea di Aurisina. Per consentire il montaggio in galleria delle TBM, che verranno trasportate, smontate nei loro vari componenti, attraverso il tratto in tradizionale appena realizzato, è necessario predisporre dei cameroni di ampie dimensioni che presentano una lunghezza di almeno 150 m, per poter accogliere anche il back-up, e sezione di intradosso per l'installazione delle attrezzature di montaggio (carri ponte), di altezza 18m ca. e larghezza 16m ca. (Fig.8.6).

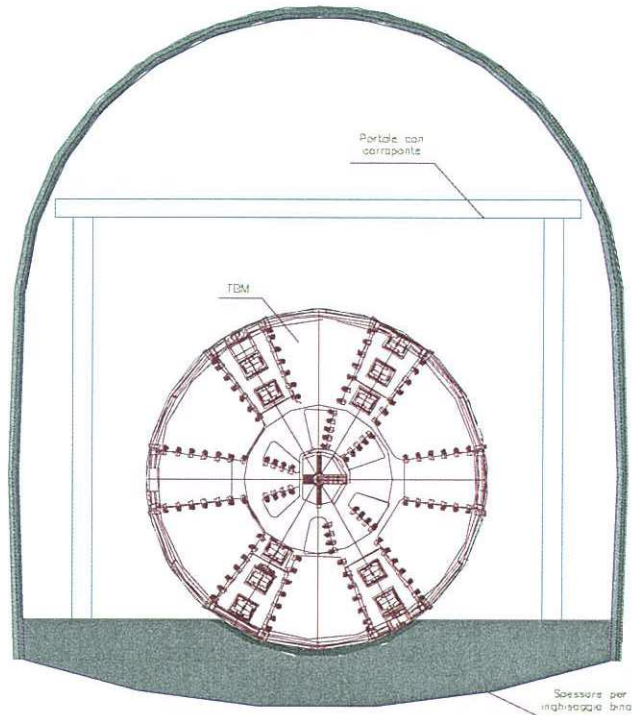


Fig. 8.6 – Sezione camerone di lancio TBM - fase esecutiva montaggio TBM

8.2.8 Camerone di innesto alla linea di cintura di Trieste

Tali camerone, che verranno realizzati in tradizionale al termine dello scavo delle gallerie eseguite in meccanizzato, presentano sezioni di intradosso a geometria variabile come mostrato nelle fig. 8.7 e 8.8, con aree nette che variano da ca. 92mq (sezione minima) a ca. 233mq (sezione massima), per il camerone del binario pari, e da ca. 100mq (sezione minima) a ca. 142mq (sezione massima), per il camerone del binario dispari.

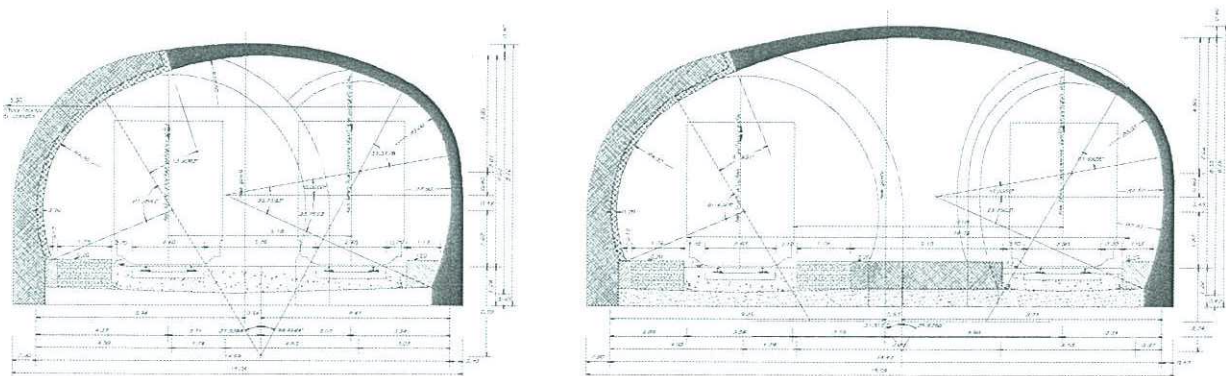


Fig. 8.7 – Sezioni camerone di innesto sulla Linea di cintura B.D. – fase transitoria

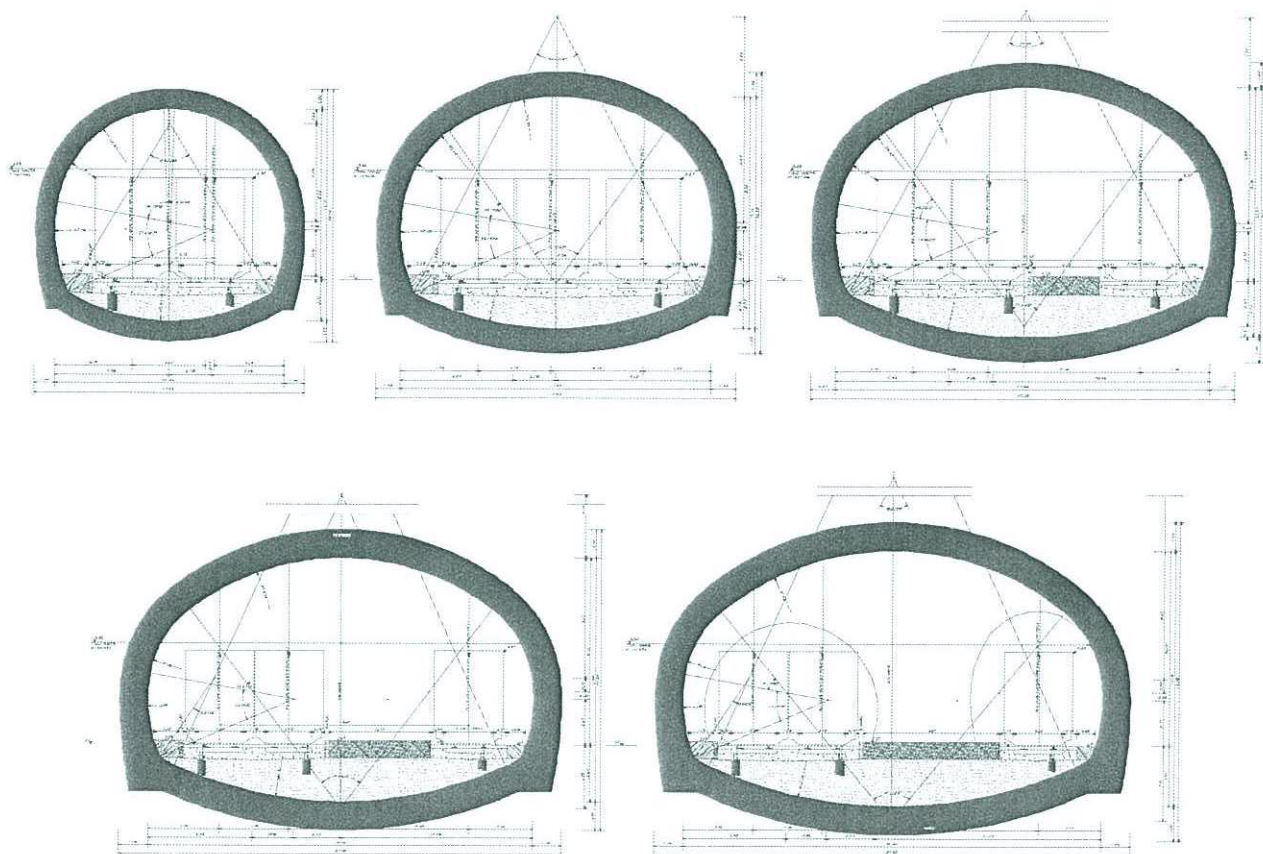


Fig. 8.8 – Sezioni camerone di innesto sulla Linea di cintura B.P. – fase transitoria

8.3 Nicchie

Sia per le gallerie a doppia canna che per le gallerie a singola canna a doppio binario non sono previste nicchie di ricovero personale, Rif. [21]. Per le gallerie a doppia canna, in quanto le opere di manutenzione vengono svolte in regime di sospensione dell'esercizio sulla canna in manutenzione con banalizzazione del traffico ferroviario sulla canna adiacente. Per le gallerie a singola canna doppio binario, invece, perché l'ingresso all'interno per le opere di manutenzione è consentito esclusivamente in regime di interruzione di un binario con riduzione di velocità a non più di 160 km/h sul binario attiguo.

Sono invece previste nicchie tecnologiche ed antincendio di dimensioni adeguate alle esigenze impiantistiche delle gallerie. In particolare, il DM 28/10/2005 (Rif. [10]), richiede, tra i requisiti minimi, la presenza di idranti antincendio ogni 125 m. Nel caso delle gallerie realizzate in scavo meccanizzato, le nicchie sono realizzate con strutture prefabbricate in aggetto rispetto al rivestimento definitivo della galleria, per evitarne la parziale demolizione. In corrispondenza di tali nicchie le dimensioni del marciapiede si riducono lasciando comunque una

larghezza utile per il passaggio di 120 cm. Nel caso delle gallerie realizzate in tradizionale le nicchie saranno invece ricavate all'interno del rivestimento definitivo, senza riduzioni di larghezza del marciapiede.

8.4 By-pass trasversali

Per le gallerie di linea a singolo binario a doppia canna sono previsti collegamenti trasversali (by-pass), ad interasse di 500 m, aventi funzione di A.S.P. (Area di sosta provvisoria), con le seguenti caratteristiche: area in pianta di circa 100 m² (requisito integrativo del DM 28/10/2005 - Rif. [10]), altezza utile da piano di calpestio pari a 2.9 m, larghezza di 5.6 m e larghezza delle porte di 2.0 m (Fig.8.9 e 8.10).

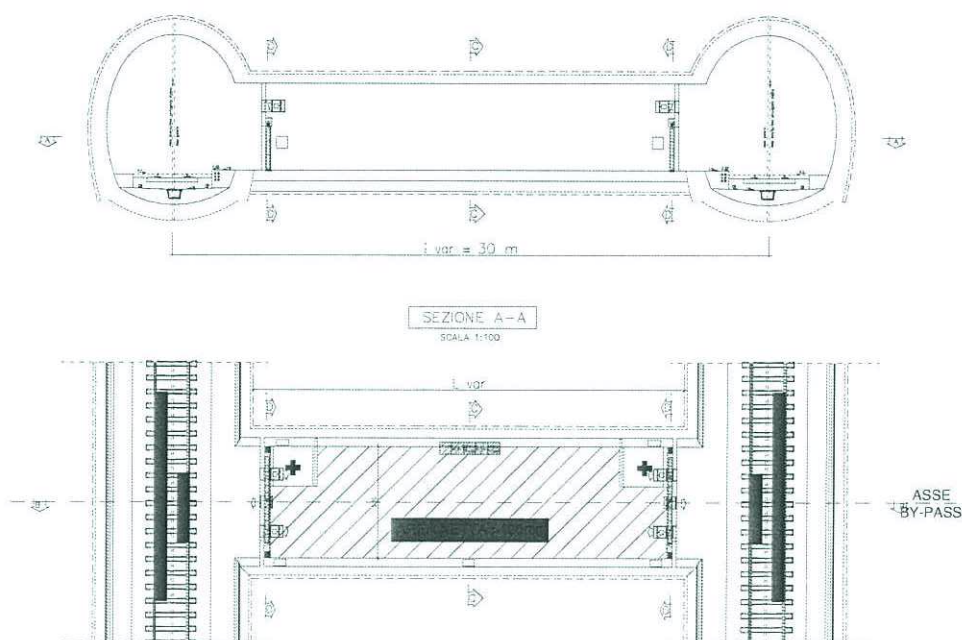


Fig. 8.9 – By-pass di collegamento per gallerie a doppia canna in scavo tradizionale – interasse >30m

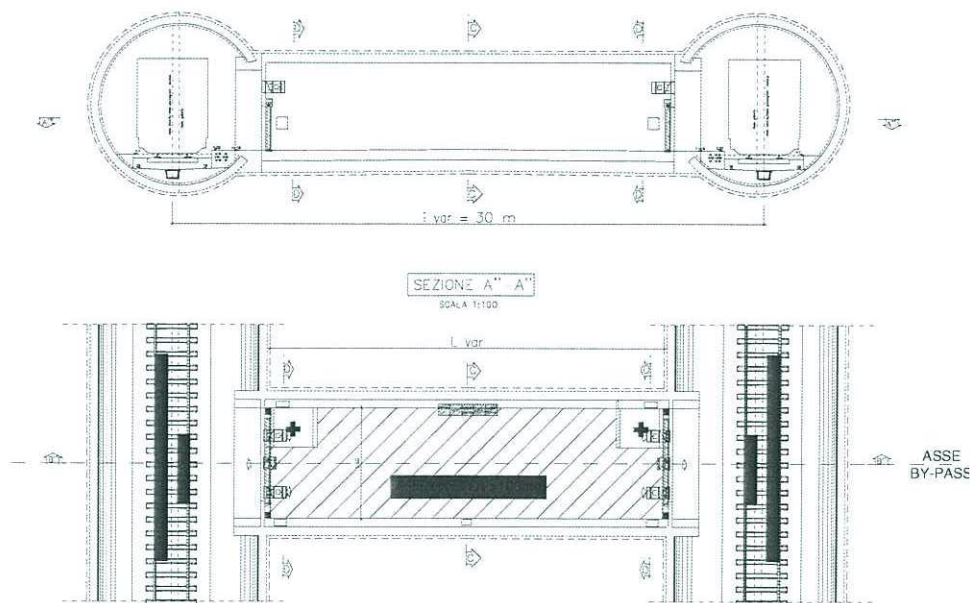


Fig. 8.10 – By-pass di collegamento per gallerie a doppia canna in scavo meccanizzato – interasse >30m

Con questa configurazione di by-pass, la larghezza di 5,6 m è la minima necessaria per il raggiungimento dei 100mq di superficie utile calpestabile per interassi tra le canne di almeno 30 m. Laddove, per esigenze di tracciato, gli interassi tra le canne sono inferiori a 30 m, sempre nel rispetto del passo di 500 m, i collegamenti trasversali saranno realizzati con una configurazione geometrica ad H (ovvero un collegamento con due gallerie distanti 20m più un cunicolo longitudinale), con superficie in pianta pari a 100 m² (requisito integrativo) (Fig.8.11). Le dimensioni dei due cunicoli trasversali sono le stesse del by-pass singolo, mentre il cunicolo longitudinale presenta una larghezza di 1.8 m ed un'altezza minima di 2.25 m. La configurazione ad H è stata adottata in un unico tratto, realizzato in scavo tradizionale, nella subtratta Ronchi-Aurisina.

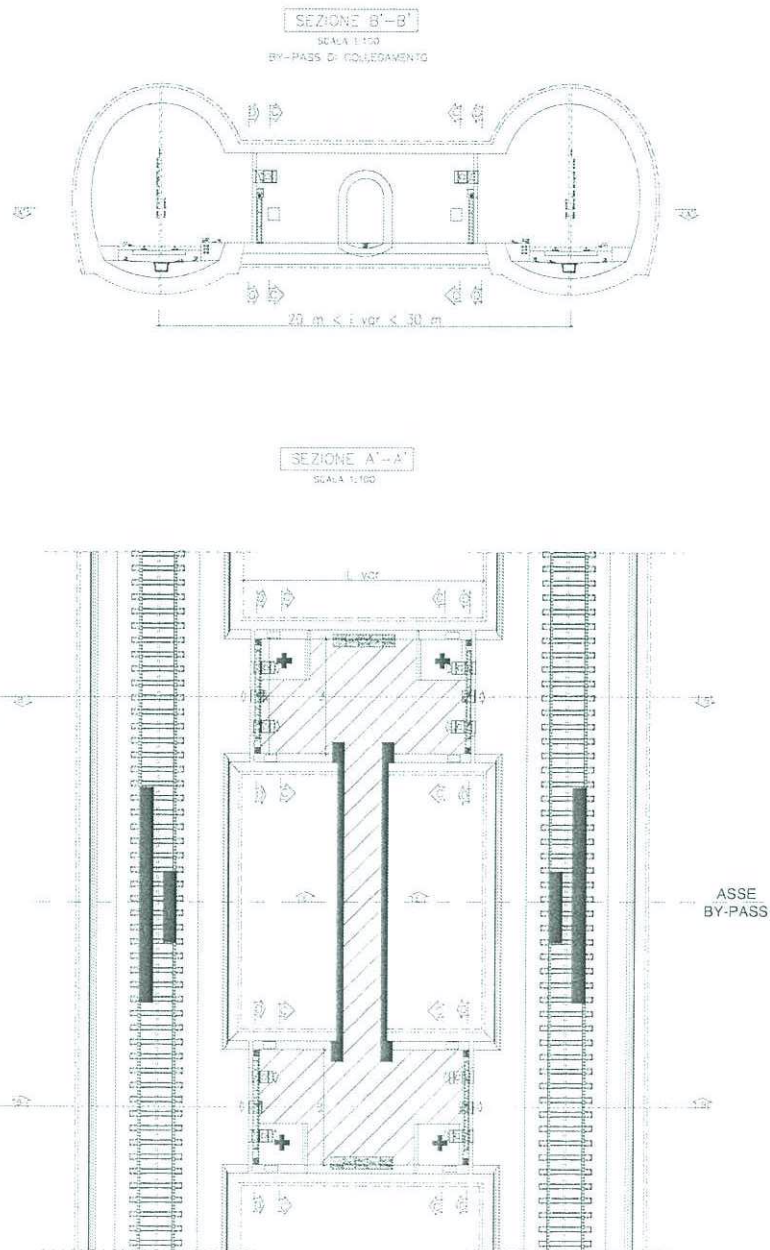


Fig. 8.11 – By-pass di collegamento per gallerie a doppia canna in scavo meccanizzato – interasse <30m

Con riferimento alle gallerie di interconnessione Bivio Aurisina al fine di rispettare la normativa europea STI “Sicurezza nelle gallerie ferroviaria” si realizzerà un collegamento trasversale tra la galleria di interconnessione binario dispari e la canna del binario dispari della galleria di linea (fig.8.12) e tra le due gallerie dell’interconnessione (fig.8.13).

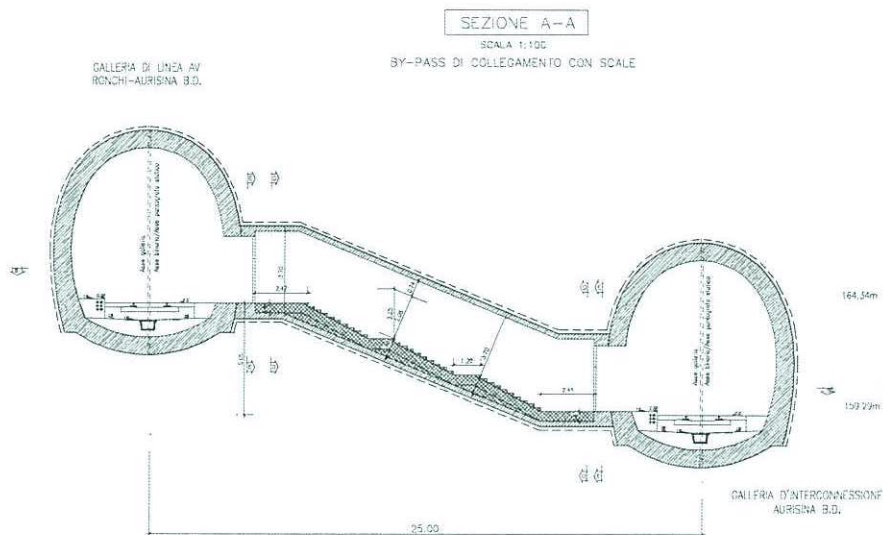


Fig. 8.12 – By-pass di collegamento tra la galleria di interconnessione di Aurisina B.D. e la galleria di linea B.D.

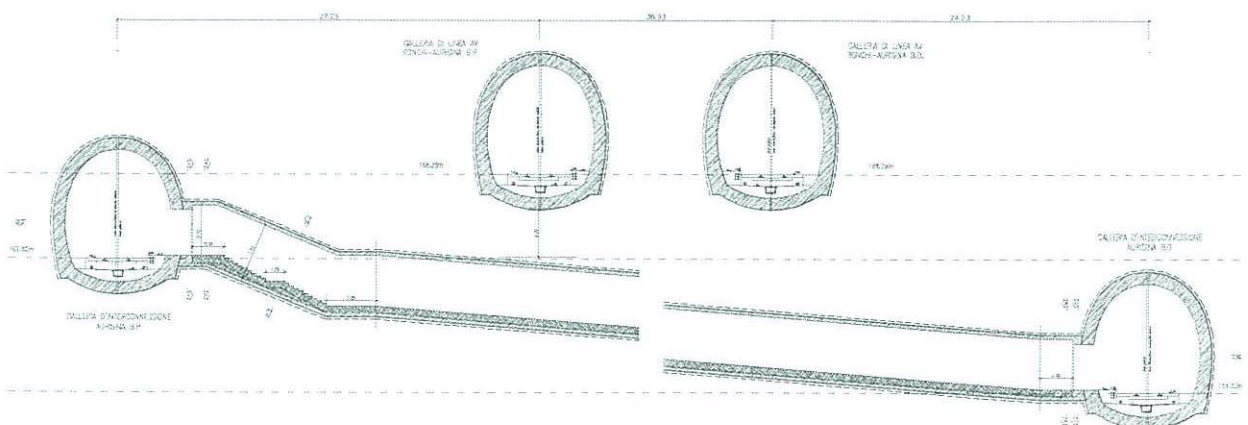


Fig. 8.13 – By-pass di collegamento tra le gallerie di interconnessione di Aurisina B.D. e B.P.

In tal modo le gallerie collegate da by-pass ogni 500 m. sono assimilabili ad una galleria a doppia canna (fig. 8.14). Tali collegamenti non hanno funzione di Area di sosta provvisoria ed hanno dimensioni rispondenti ai requisiti della STI/SRT 2008.

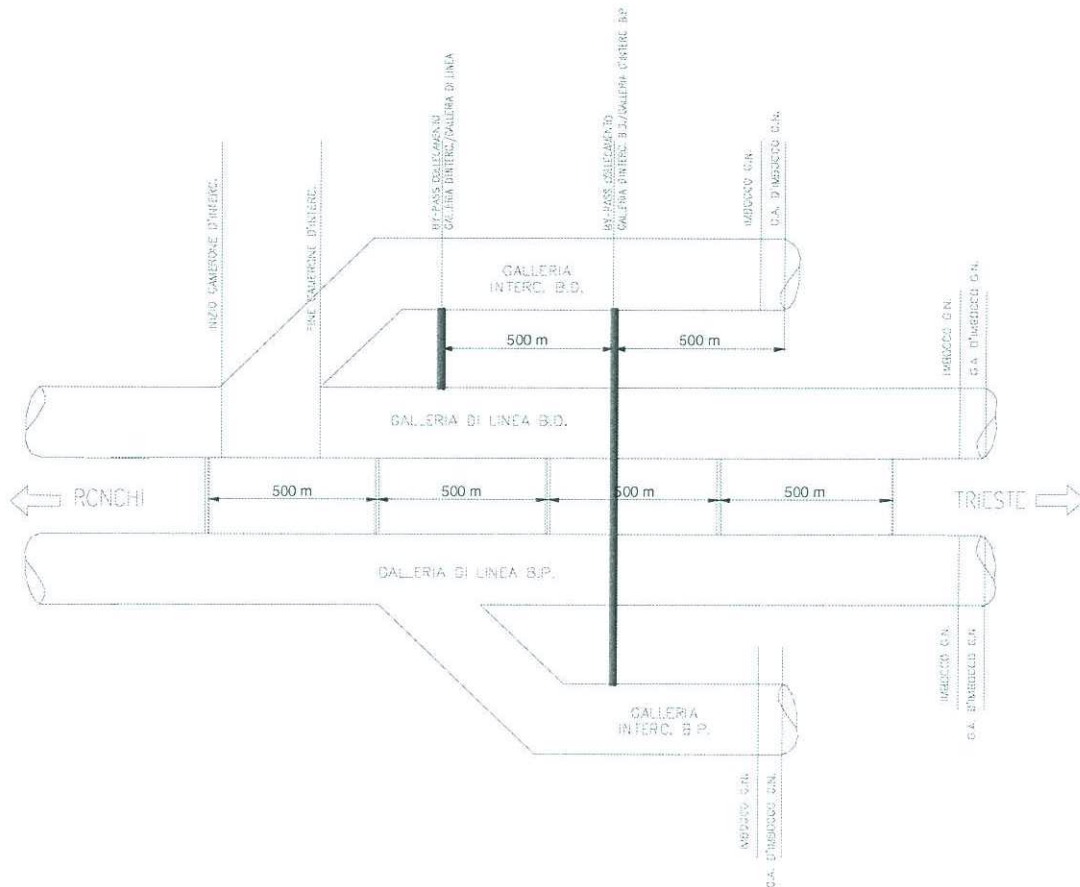


Fig. 8.14 – Schema dei by-pass di collegamento per la galleria di interconnessione di Aurisina B.D.

8.5 Uscite/accessi di emergenza laterali

Per la galleria a doppio binario presente nella subtratta Ronchi-Aurisina, della lunghezza di 1085 m, il sistema di uscita di emergenza è configurato (Fig.8.16) con un'unica uscita verso l'esterno, realizzata tramite un accesso pedonale intermedio di circa 162 m di lunghezza, pendenza a scendere dell'8% e sezione trasversale come mostrato in figura 8.15.

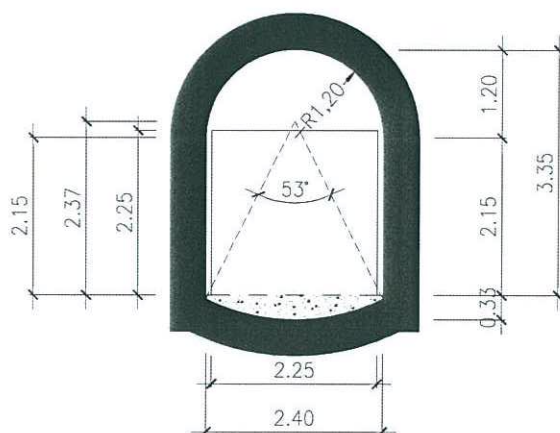


Fig. 8.15 – Sezione uscita/accesso di emergenza pedonale con pendenza $i=8\%$

L'innesto con la galleria di linea è realizzato tramite un allargo a sezione variabile. Da tale vano si sviluppa da una parte un camerone tecnologico di 90 mq e dall'altra un cunicolo pedonale che sottopassa la galleria di linea per consentire il collegamento al binario opposto evitando l'attraversamento dei binari.



Fig. 8.16 – Schema uscita/accesso di emergenza per galleria di linea AV - subtratta Ronchi Aurisina (GA07+GN02+GA08)

	LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE					
	PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L344	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 31 di 84

8.6 Pozzi

Sono previste varie tipologie di pozzi in relazione alle esigenze di sicurezza e di esercizio. In figura 8.17 è riportata una pianta schematica della tratta Ronchi Trieste con l'ubicazione e le dimensioni delle varie tipologie di pozzo previste. Si precisa che quelli indicati in figura non sono tutti i pozzi presenti lungo la tratta ma solo quelli ricadenti nelle opere oggetto della presente relazione e trattati nei successivi paragrafi (cfr § 8.6.1-8.6.3).

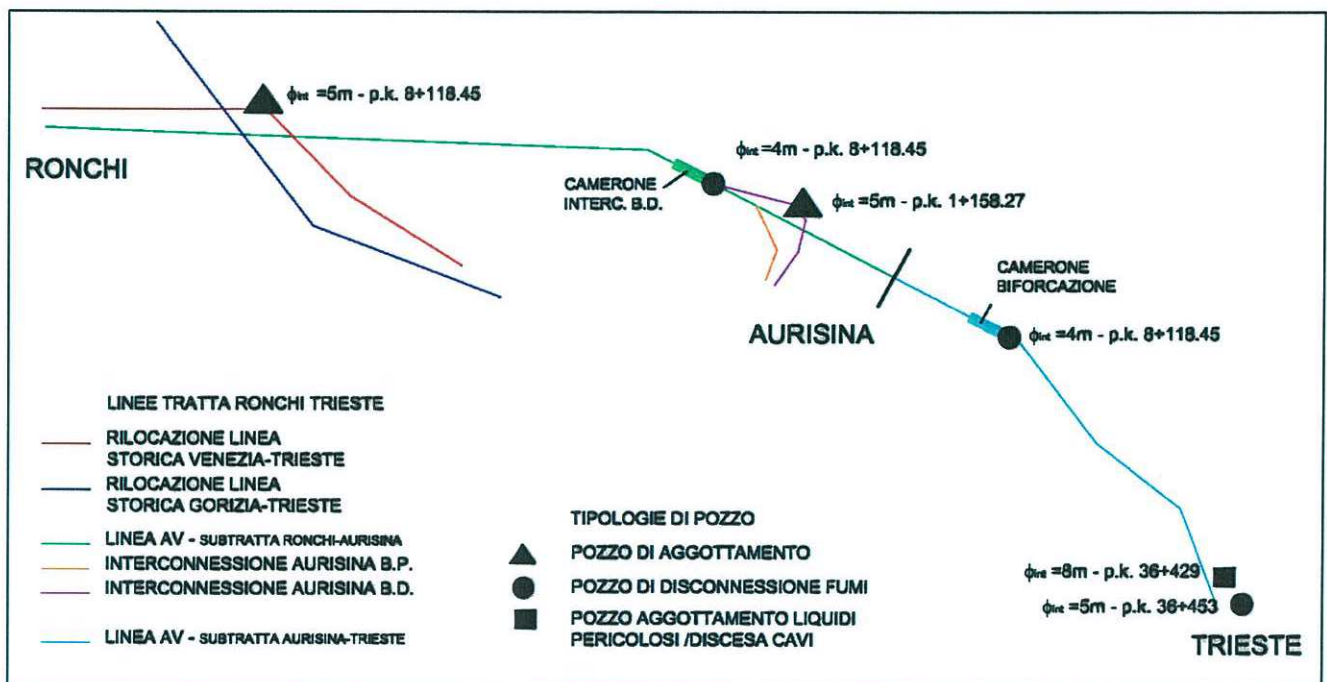


Fig. 8.17– Schema con ubicazione e dimensione dei pozzi nella tratta Ronchi-Trieste

8.6.1 Pozzi aggotamento acque

In corrispondenza dei punti di minimo del tracciato, si prevede la realizzazione di pozzi di aggotamento. Tali opere sono previste per la nuova galleria della linea storica Venezia-Trieste, alla p.k. 8+118.450 (Fig. 8.17), e sulla galleria di interconnessione di Aurisina, binario dispari, alla p.k. 1+158.270 (Fig. 8.18). Nel primo caso il pozzo è profondo circa 26 m ed ha diametro interno finito di 5 m. Nel secondo caso il pozzo è profondo circa 50 m ed ha anch'esso un diametro di 5 m. In entrambi i pozzi il volume di accumulo è ricavato sul fondo del pozzo che è posto a profondità maggiore delle canalette di raccolta. Le acque destinate alla vasca sono quelle di eventuale drenaggio e le acque di piattaforma. Le acque piovane di trincea sono, infatti, intercettate prima di essere convogliate in galleria. Il collegamento delle canalette alla vasca è realizzato con tubazione a spinta. Le vasche saranno attrezzate con pompe sommerse munite di galleggianti di innesco automatico che sollevano l'acqua in superficie dove è collocata la vasca di accumulo.

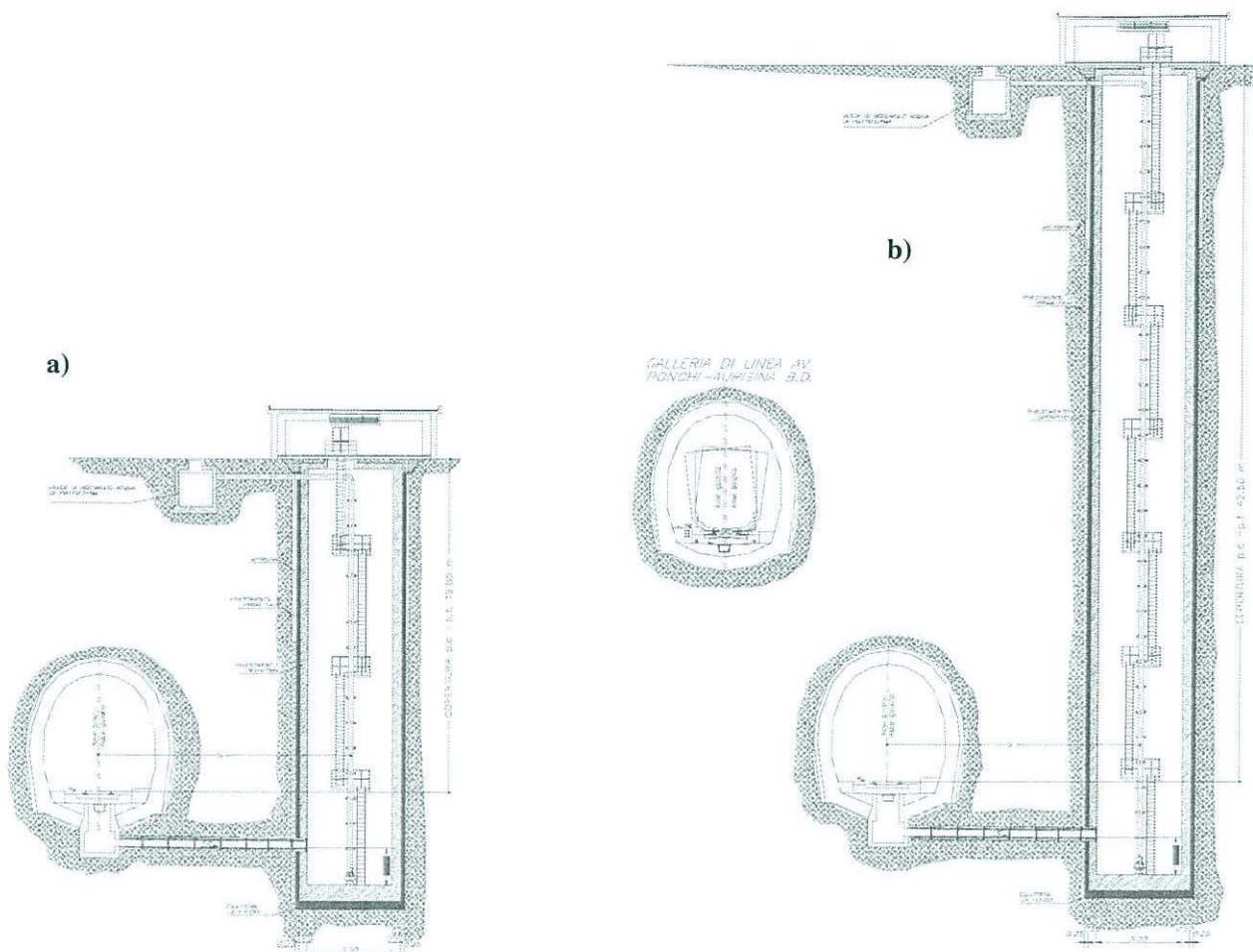


Fig. 8.17 (a) – Sezione pozzo di aggotamento rilocazione linea storica Venezia-Trieste

Fig. 8.18 (b) – Sezione pozzo di aggotamento galleria d’interconnessione B.D.

8.6.2 Pozzi aggotamento liquidi pericolosi

In accordo con quanto riportato nel documento Rif. [7], nelle gallerie monopendenti di lunghezza complessiva maggiore di 5 km, è previsto un sistema di raccolta e smaltimento dei liquidi pericolosi in caso di accidentale sversamento da vagoni merci. Nella galleria di linea a doppia canna da p.k. 13+095 a p.k. 22+800, subtratta Ronchi-Aurisina, il collettore di raccolta, previsto da tale sistema, è collegato ad una vasca di accumulo interrata posta esternamente all’imbocco della galleria artificiale policentrica lato Ronchi. Nella gallerie di linea della subtratta Aurisina-Trieste, la vasca di accumulo dei liquidi pericolosi è invece ricavata in sotterraneo, a quota gallerie, nella parte terminale di un pozzo di aggotamento (Fig. 8.19). Tale pozzo, profondo circa 195 m e con diametro interno utile di 8 m, è realizzato in posizione baricentrica tra le due canne, poco prima dell’innesto delle gallerie nella Linea di Cintura (p.k. 36+429.00), al fine di evitare che i liquidi pericolosi, eventualmente sversati nelle gallerie di linea, raggiungano la galleria di Cintura stessa. Sia la vasca all’esterno che quella in sotterraneo saranno realizzate con materiali e tecniche che garantiscono la completa tenuta idraulica: doppia

impermeabilizzazione, calcestruzzo con classe di esposizione XA3, rivestimento interno con resine epossidiche. Nel caso del pozzo di aggotamento il collegamento dei collettori alla vasca è realizzato con tubazione a spinta in maniera analoga a quanto previsto per i pozzi di aggotamento di cui al § 8.6.1. Inoltre, la vasca sarà attrezzata con pompe per aggotamento di acqua e con pompe per aggotamento liquidi pericolosi, che entreranno in funzione solo nel caso di sversamento di quest'ultimi. Il prelievo dei liquidi pericolosi avverrà in tal caso tramite vagoni-cisterna da parte dei VV.FF.. Per esigenze di sicurezza le pompe per i liquidi pericolosi sono collegate ad una sola delle due canne, tramite un cunicolo realizzato per manutenzione/ispezione. Il pozzo di aggotamento dei liquidi pericolosi sarà inoltre attrezzato come pozzo di discesa cavi MT/BT.

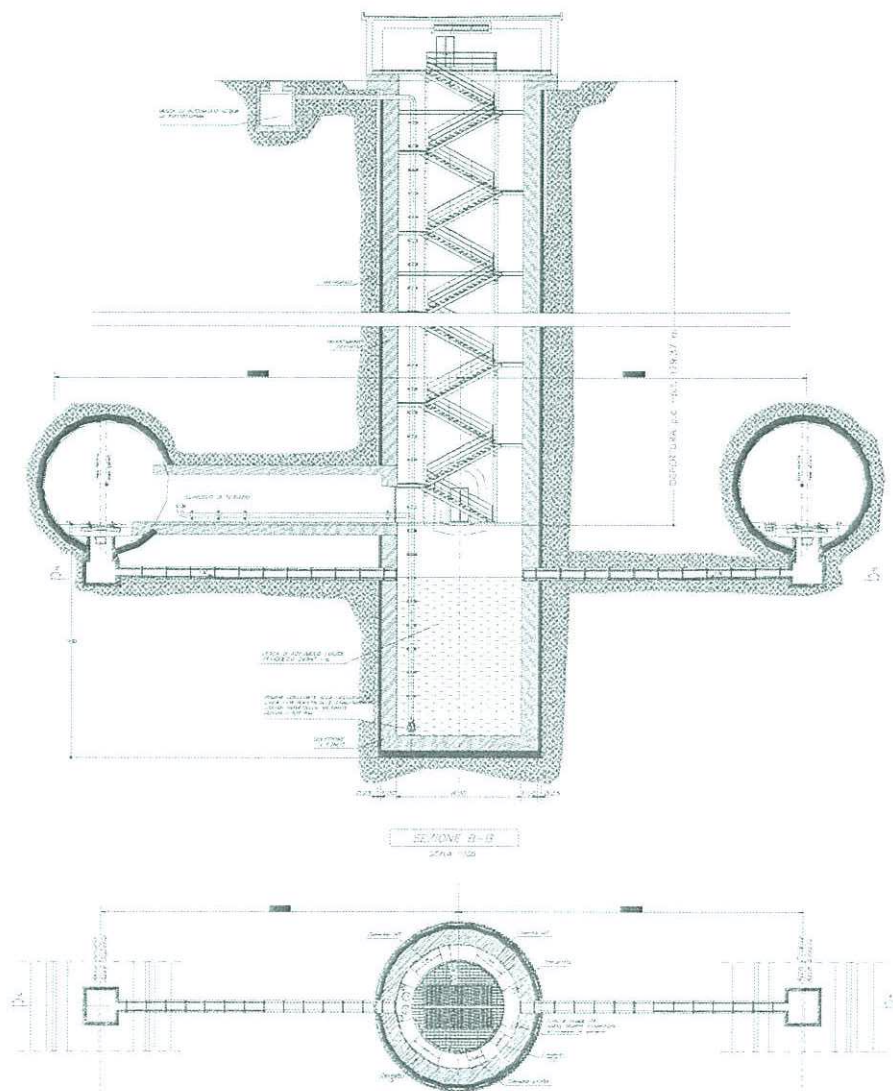


Fig. 8.19– Sezione pozzo di aggotamento liquidi pericolosi.

8.6.3 Pozzi di disconnessione fumi

In accordo con quanto riportato nel documento Rif. [7], per le gallerie della tratta è necessario realizzare:

- pozzi di disconnessione fumi nei punti di passaggio da una galleria a doppia canna ad una a singola canna, al fine di evitare il ricircolo dei fumi dalla canna incidentata alla canna sana;
- pozzi di disconnessione fumi tra le gallerie di linea e le gallerie di interconnessione lì dove queste gallerie fungano da luogo sicuro rispetto ad un'altra galleria.

Si prevede, pertanto, l'esecuzione di tre pozzi di disconnessione fumi. Due di questi si innestano sulla calotta della sezione più grande dei cameroni di interconnessione di Aurisina B.D. (Fig.8.20) e di diramazione (subtratta Aurisina-Trieste)(Fig.8.21). Questi pozzi sono lunghi rispettivamente 62m, 38m ed hanno forma circolare con diametro interno utile di 4m. L'altro pozzo si innesta sulla calotta delle gallerie di linea, subtratta Aurisina-Trieste, ed è posizionato in prossimità della Linea di Cintura, alla p.k. 36+453, al fine di disconnettere quest'ultima da un eventuale incendio sulle gallerie di linea AV/AC. Questo pozzo è lungo 164m ed ha anch'esso forma circolare ma con diametro interno utile di 5m (Fig 8.22). Il diametro interno dei pozzi è coerente con un dimensionamento basato su una potenza d'incendio di 50MW (cfr. Rif. [7]).

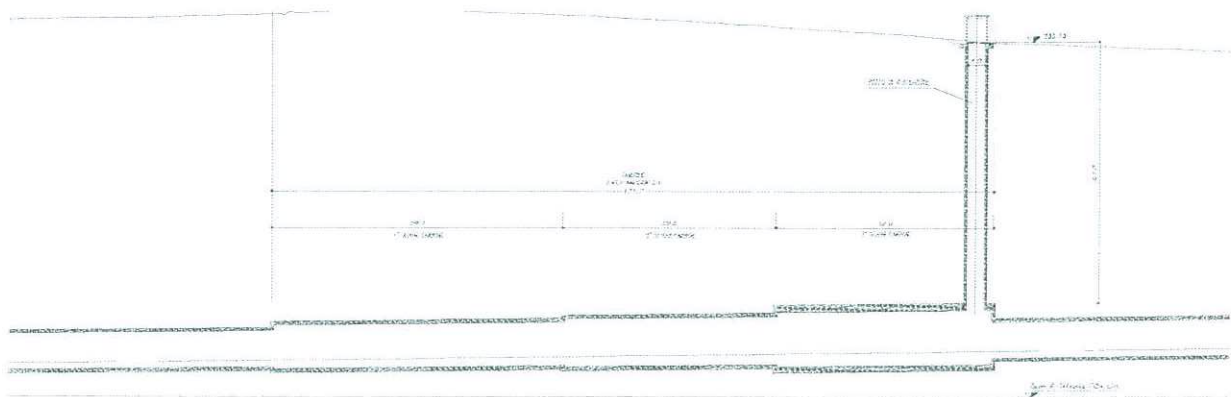


Fig. 8.20– Profilo pozzo di disconnessione fumi su camerone di interconnessione B.D.

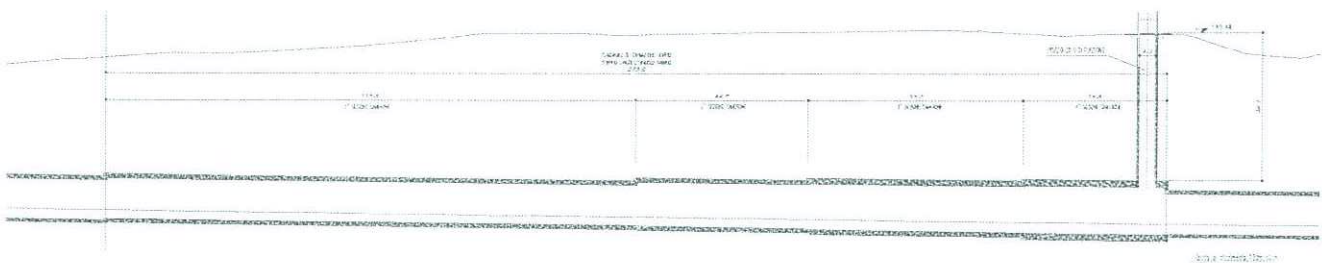


Fig. 8.21– Profilo pozzo di disconnessione fumi su camerone di diramazione doppio binario-singolo/singolo binario

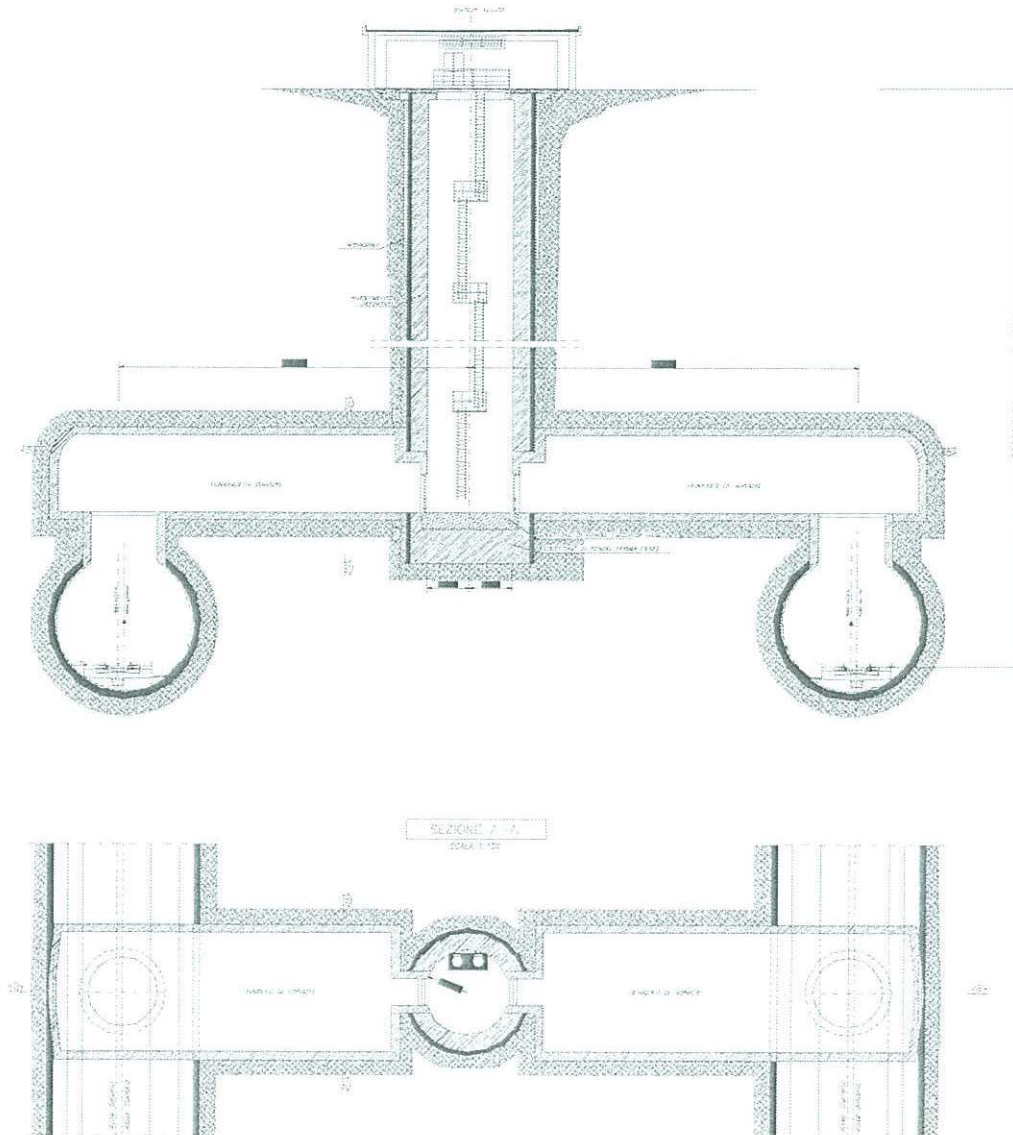


Fig. 8.22- Sezione pozzo di di disconnessione fumi p.k. 36+453



LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L344	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	36 di 84

9 FASE CONOSCITIVA

9.1 Inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico

Lo studio geologico, effettuato sulla base delle informazioni di letteratura, dei risultati utilizzabili delle campagne d'indagini condotte nel 2003, nell'ambito della progettazione preliminare della Ronchi-Trieste effettuato su un diverso corridoio di tracciato, e della campagna di indagini eseguita nel 2009-2010 per questa fase di progettazione, (tutt'ora in corso di esecuzione e della quale, nella presente relazione, vengono recepiti solo alcuni risultati preliminari mentre il quadro complessivo con i risultati finali verrà utilizzato nelle successive fasi della progettazione), ha condotto alla definizione di un quadro di riferimento adeguato per la progettazione preliminare delle opere in sotterraneo. Metodi e risultati dello studio geologico sono ampiamente esposti e commentati nell'elaborato "Relazione geologica", Rif. [1], allegato al progetto.

9.1.1 Caratteri litologici e stratigrafici

Dal punto di vista geologico, il tracciato della linea AV/AC interesserà, nella parte iniziale all'aperto, i depositi quaternari della Piana Isontina e successivamente, tutte le formazioni geologiche che costituiscono la successione locale, di età da Cretacica a Terziaria, costituita essenzialmente da calcari, dolomie, arenarie e marne, queste ultime in facies di flysch.

Tali formazioni, ad eccezione dei depositi Alluvionali della Piana Isontina e del Flysch, fanno parte dell'area del Carso classico (Carso triestino ed isontino) ove affiorano calcari molto carsificabili e carsificati che danno luogo a numerose forme carsiche epigee ed ipogee: campi solcati, doline, pozzi, grotte e gallerie.

Sulla base delle caratteristiche litologiche e strutturali, delle morfologie esterne e della carsificazione ipogea, si possono riconoscere nel tratto considerato, cinque "unità litostratigrafiche significative":

- l'unità dei calcari neri, che comprende i litotipi afferenti ai "Calcari di Monte Coste", complessivamente dalle buone se non ottime caratteristiche geomeccaniche;
- l'unità delle alternanze di dolomie e calcari, che comprende i litotipi afferenti alla "Formazione di Monrupino", dalle caratteristiche geomeccaniche complessive da buone a non molto buone;
- l'unità dei calcari a Rudiste, che comprende i litotipi dei "Calcari di Aurisina", dalle ottime caratteristiche geomeccaniche;
- l'unità dei calcari terziari, che comprende i litotipi afferenti alla Formazione Liburnica ed ai Calcari ad Alveoline e Nummuliti, complessivamente dalle buone se non ottime caratteristiche geomeccaniche;
- l'unità delle marne ed arenarie, che comprende marne, calcari marnosi, arenarie silico clastiche a cemento calcareo afferenti al Flysch di Trieste, dalle caratteristiche geomeccaniche da buone a scadenti.

Alle formazioni attraversate, in funzione della litologia e dello studio bibliografico condotte sulle forme carsiche censite, è stato attribuito un livello di carsificazione, al quale si associa un equivalente livello di carsificabilità, che va da basso ad elevato.

Nella seguente tabella sono riportate, in sintesi, le formazioni geologiche e i litotipi con i corrispondenti livelli di carsificazione, interessati dalle opere in sotterraneo, in accordo con quanto riportato nel Profilo Geotecnico di progetto (Rif. [25], Rif. [26], Rif. [27], Rif. [28]).

	Formazioni geologiche	Litotipi	Livello di carsificazione
Successione carbonatica edel Carso Triestino	Calcari di Monte Coste	Calcari neri	Medio
	Formazione di Monrupino	Dolomie e calcari	Basso
	Calcari di Aurisina	Calcari a Rudiste	Elevato
	Formazione Liburnica e Calcari ad Alveoline e Nummuliti	Calcari terziari	Medio
Formazione del Flysch		Marne	Assente
		Arenarie e marne	Assente

Tabella di sintesi delle formazioni geologiche e dei litotipi con i corrispondenti livelli di carsificazione interessati dalle opere in sotterraneo

Seguendo la linea AV/AC da Ronchi verso Trieste, il tracciato interessa nei primi 7.6 km i depositi alluvionali quaternari e successivamente intercetta i termini carbonatici approssimativamente secondo questa successione:

- dalla progressiva 7+ 610 alla 10 + 865, i Calcari di Monte Coste;
- dalla progressiva 10+865 alla 10+950, le alternanze di dolomie e calcari della Formazione di Monrupino;
- dalla progressiva 10+ 950 alla 11+795, i Calcari di Monte Coste;
- dalla progressiva 11+795 alla 13+890, la Formazione di Monrupino;
- dalla 13+890 alla 17+230, i Calcari di Monte Coste,
- dalla progressiva 17+230 alla 21+950, la Formazione di Monrupino;
- dalla progressiva 21+950 alla 27+265, i Calcari di Aurisina;
- dalla progressiva 27+265 alla progressiva 27+440, i calcari dell'intervallo inferiore della Formazione Liburnica;
- dalla 27+440 alla 28+425, i calcari dell'intervallo superiore della Formazione Liburnica;
- dalla progressiva 28+425 fino alla 28+680, i Calcari ad Alveoline e Nummuliti;
- dalla progressiva circa 28+680 in poi il Flysch.

In definitiva litotipi da elevata a bassa carsificazione interessano il tracciato per tutti i circa 18 km da Ronchi alla Stazione di Aurisina e per poco più di 5 dei 13 km complessivi dalla stazione di Aurisina a Trieste.

Il materiale di copertura è rappresentato da depositi terroso-detritici sciolti, a scadenti caratteristiche geologico-tecniche, generalmente di esiguo spessore.

	LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE					
	PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L344	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 38 di 84

Caratteristiche scadenti se non pessime hanno anche i depositi di riempimento delle cavità carsiche.

Il cavo della galleria non dovrebbe incontrare faglie importanti nel complesso carsico, sono comunque da mettere in preventivo piccole complicazioni strutturali e zone a fratturazione più intensa (a parte i fenomeni di carsismo epigee ed ipogee di cui si parlerà in seguito).

Nel Flysch, invece, sono da prevedere faglie più numerose ed importanti, riportate indicativamente sui profili geologici e geotecnici, con complicazioni strutturali rappresentate da acquiferi permeabili per fratturazione con ritenzione di acqua.

9.1.2 Aspetti idrogeologici

Le tematiche idrogeologiche sono ampiamente descritte e dettagliate in Rif. [1], allegata al progetto. Di seguito se ne riprendono le principali conclusioni.

Nella parte di tracciato che interessa le opere in sotterraneo, oggetto della presente relazione, si possono distinguere due complessi idrogeologici:

- Complesso idrogeologico delle rocce permeabili per fratturazione e per carsismo: comprendono tutti i termini carbonatici della successione
- Complesso idrogeologico delle rocce permeabili per fratturazione: appartengono a questo complesso tutti i volumi costituiti dalla Formazione del Flysch.

Nel complesso carbonatico la falda è governata dalle piene del Timavo con livelli statici e livelli dinamici. Lo studio ha evidenziato una quota di livello di falda sempre inferiore a quella di tracciato della linea AV/AC, sia in periodo di magra che durante i periodi di deflusso normale. Infatti la superficie piezometrica della falda durante i periodi di magra o di normalità, è posizionata a quote che vanno dai 2-5 metri s.l.m. in corrispondenza del settore Ronchi-Jamiano-Sistiana, ai 12-13 metri s.l.m. nel settore Prosecco-Opicina. Durante i periodi di piena l'ampiezza della zona di oscillazione è variabile in funzione dell'entità della piena, del tipo di alimentazione, della velocità di trasmissività laterale dell'impulso con valori comunque lontani dal piano ferro. In particolare alla p.k. 7+630 il franco tra il livello massimo della falda e il piano ferro è 1,5 m per divenire 10 m alla p.k. 8+350 e poi progressivamente aumentare verso S.Pelagio.

Ad eccezione della rilocazione della linea storica Venezia-Trieste, che presenta un punto di minimo del piano ferro (a quota 7.43 m s.l.m.) al di sotto del massimo livello di falda, il tracciato, fino all'intercettazione del Flysch, non è quindi interessato né dalle acque di fondo né dalle acque della zona di oscillazione, nemmeno durante le piene eccezionali. Nell'attraversamento dei termini flyschoidi si potrebbero rinvenire localmente modeste falde, anche in pressione, discontinue e stagionali, legate alla presenza di termini arenacei più fratturati.

Nelle successive fasi di progettazione sarà comunque necessario verificare le oscillazioni della falda nella fascia interessata dall'opera all'interno della formazione carbonatica attraverso, per es., l'installazione di piezometri elettrici con restituzioni automatizzate.

9.1.3 Aspetti geomorfologici

Dal punto di vista geomorfologico l'aspetto predominante nell'area interessata dalle opere in sotterraneo è senz'altro il fenomeno del carsismo che si presenta numerose forme epigee ed ipogee quali campi solcati, doline, pozzi, grotte e gallerie.



LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE

PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L344	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	39 di 84

Per una descrizione dettagliata di tali forme si rimanda al paragrafo 4.1 della Relazione Geologica, Rif. [1].

In particolare il tracciato nell'area carsica si può suddividere in tre settori (cfr. § 9.1.1):

- il primo si sviluppa da Monfalcone a San Pelagio (circa dalla progressiva 7+600 alla 21+950, misurate rispetto al piano ferro sul profilo), in calcari a carsificabilità da media a medio bassa e dolomie poco carsificabili con bassa probabilità di intersezione con vuoti significativi;
- il secondo da San Pelagio fino circa alla località Bosco San Primo (circa dalla progressiva 21+950 alla progressiva 27+265 circa), nei Calcari di Aurisina, altamente carsificabili e carsificati, con alta probabilità di incontrare vuoti anche significativi;
- il terzo, dalla località Bosco San Primo fino a Grignano (circa dalla progressiva 27+265 fino alla 28+680 circa) nei Calcari liburnici ed eocenici, dalla media, o localmente elevata, carsificabilità, con media probabilità di incontrare vuoti significativi;

9.1.3.1 Studio sull'individuazione della presenza forme ipogee nell'area oggetto delle opere

Al fine di valutare l'entità delle possibili interferenze delle cavità con il tracciato e di effettuare una valutazione preliminare del loro impatto con l'opera, è stato effettuato uno studio mirato all'individuazione e all'analisi di tutte le cavità censite ricadenti all'interno di una fascia ampia 900 m a cavallo del tracciato, dei quali 700 a monte dell'asse ferroviario e 200 a mare, e lunga 23 km circa. Nel complesso sono stati individuati 314 ingressi di cavità, di cui 34 ricadono in una fascia ristretta di circa 50 m posta a cavallo del tracciato stesso e che possono presentare problemi di interferenza con quest'ultimo. Di queste solo una decina ha profondità accertata che raggiunge il piano ferro.

Per la descrizione delle caratteristiche geometriche delle 34 cavità rilevate (diametri gallerie e pozzi, sviluppo, quota fondo, distanza dalla galleria ecc.) che ricadono nella fascia ristretta, si rimanda al paragrafo 6.1.3 della Relazione Geologica, Rif. [1], e alle schede allegate, Rif. [2], che derivano dal Catasto Regionale delle Grotte del FVG. Nella tabella seguente è riportata, per ognuna delle suddette cavità, l'identificativo catastale (a cui è associata la relativa scheda), la progressiva chilometrica rispetto al tracciato di progetto B.P., la quota di ingresso, la quota di piano ferro relativa e l'eventuale interferenza con le opere. In merito a quest'ultimo aspetto, in base a considerazioni sulla morfologia e tipologia delle cavità e a rapporti geometrico-dimensionali tra queste e le opere in sotterraneo, è stata fornita una valutazione preliminare sull'entità dell'interferenza con il tracciato distinta, nell'ordine, in: assente, possibile, probabile e certa.

nr. catasto	p.k.	quota di ingresso m.s.l.m.	quota p.f. m.s.l.m.	opera	interferenza col tracciato
3940	10+000	57	33,5	GN02	assente
6730	13+278	107	56,5	GN04	probabile
700	14+320	159	69,5	GN04	probabile
1289	15+763	252	87,7	GN04	possibile
672	17+943	129	115	GN05/GA13	assente
4918	19+884	203	139,2	GN05	probabile
4919	19+895	203	139,2	GN06	probabile

1619	20+895	246	151,8	GN05	probabile
4223	21+195		155,5	GN05	assente
438	21+442		158,5	GN05	possibile
1551	22+000	200	183	Interc. B.D.- Camerone	probabile
1561	22+050	194	166	GN05	possibile
6586	22+075		166	GN05/Interconness.	possibile
5803	22+100		165,8	interconn. B.P.	possibile
6711	22+150	192	165,9	interconn. B.P.	probabile
1213	22+200	202	156,5	Interconn. B.D.	probabile
538	22+350	195	155	Interconn. B.D.	probabile
1557	22+600	190	160,6	interconn. B.P.	possibile
1558	22+600	194	160,7	interconn. B.P.	assente
1559	22+698	184	167	GA16	certa
3945	22+700		159	interconn. B.P.	possibile
175	22+884	159	165	Zona Aurisina all'aperto	assente
1369	23+369	167	165,5	Zona Aurisina all'aperto	certa
526	23+379		165,5	Zona Aurisina all'aperto	probabile
1597	23+439		165,5	Zona Aurisina all'aperto	assente
1214	23+446	170	165,5	Staz. Aurisina all'aperto	certa
460	24+360	161	157,5	Zona Aurisina all'aperto	possibile
1365	24+400	162	157	Zona Aurisina all'aperto	possibile
1364	24+800	169	150	GA18	certa
4399	24+900		150	GA18	certa
1037	25+000	165	148,8	GA18/GN11	assente
4786	25+120	157	147,5	GN11	possibile
1230	25+300	179	145,5	GN11	possibile
5967	27+700	245	115,5	GN13	assente

Tabella delle cavità individuate ricadenti nella fascia di 50m a cavallo del tracciato

Dall'analisi risulta che 8 cavità non interferiscono con il tracciato, per 21 sussiste la possibilità o probabilità che il loro sviluppo in profondità lo intercetti, e le restanti 5 cavità intercettano le opere nella zona di Aurisina.

Un'analisi più dettagliata delle interferenze delle opere in sotterraneo con le cavità presenti lungo il tracciato dovrà comunque essere eseguita nelle successive fasi progettuali (cfr § 12.1), nonché in fase realizzativa (cfr. § 11.7).

9.1.4 Criticità geologiche connesse con la realizzazione di opere in sotterraneo

Le principali criticità connesse con la realizzazione delle opere in sotterraneo sono:

- L'intersezione di strutture carsiche verticali o complesse (pozzi e gallerie), con dimensioni superiori anche a 5 metri, vuote o riempite con materiale generalmente avente caratteristiche geotecniche scadenti;
- La presenza di fasce tettonizzate, distribuite localmente sull'intero tracciato, dove potrebbero rinvenirsi modeste falde, anche in pressione;



LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L344	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	41 di 84

Riguardo l'intercettazione di forme carsiche, il cui rischio si riscontra nella porzione di tracciato che si sviluppa nei calcari, dovrà essere messo a punto un sistema di previsione delle condizioni geomorfologiche in avanzamento in grado di anticipare la presenza di tali cavità (cfr. 11.7.1). Dal punto di vista esecutivo il superamento delle cavità può essere affrontato solo con lo scavo tradizionale che permette, in tempi rapidi, una scelta più ampia e flessibile delle modalità esecutive, adeguate all'entità della cavità e al contesto geotecnico (cfr. 11.6.1).

La presenza di zone di faglia tettonizzate è riscontrabile principalmente nella porzione di tracciato ricadente nel flysch. Poiché su tale tratto è previsto l'impiego dello scavo meccanizzato mediante TBM scudata, anche qui dovrà essere messo a punto un sistema di previsione delle condizioni geologiche in avanzamento per anticipare la presenza di tali fasce in modo da fermare la TBM ad una distanza di sicurezza adeguata e, da quella posizione procedere, se necessario, con un sistematico drenaggio e consolidamento in avanzamento (cfr. 11.6.2).

9.2 Indagini geotecniche

Al fine di migliorare il quadro conoscitivo ricavato da precedenti campagne geognostiche svolte nel 2003 e 2004, è stata condotta nel 2009-2010 una nuova campagna di indagini geognostiche, tuttora in corso di esecuzione, della quale vengono recepiti nella presente relazione solo alcuni risultati preliminari, mentre il quadro complessivo con i risultati finali verrà utilizzato nelle successive fasi della progettazione.

9.2.1 Indagini e prove di laboratorio

Nell'ambito della campagna condotta nel periodo 2009-2010, sono stati eseguiti 16 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti a profondità variabili tra 40 e 150 m da piano campagna. In foro sondaggio sono state eseguite prove geotecniche in situ (prove SPT, prove pressiometriche, prove dilatometriche, prove di permeabilità tipo Lefranc o Lugeon) e sono stati prelevati campioni sia indisturbati che rimaneggiati successivamente sottoposti a prove di laboratorio.

Nella tabella seguente sono indicate le perforazioni eseguite con le relative sigle di identificazione, le profondità raggiunte, la strumentazione installata in foro, il numero di campioni prelevati e le prove in situ eseguite.

Sondaggio	Profondità (m da p.c.)	Strument. installata	Campioni prelevati	Prove		
				SPT	Permeabilità	Pressiometrica-dilatometrica
TS1	30	piezom.	1	x	x	
TS2	40	piezom.	5		x	
TS3	60	-	4			
TS4	80	inclinom.	6	x	x	x
TS5	60	inclinom.	-	x	x	x
TS6	140	piezom.	9	x	x	x
TS7	80	piezom.	5		x	x
TS8	100	piezom.	6	x	x	x
TS9	100	piezom.	8	x	x	x
TS10	150	piezom.	6		x	
TS13	80	piezom.	6		x	x
TS14	40	piezom.	5		x	
TS15	40	piezom.	4	x		
TS16	65	piezom.	6		x	
TS17	100	piezom.	6		x	x
TS18	135	piezom.	10		x	x

Tabella di sintesi delle indagini svolte nella campagna geognostica 2009-2010

Ai fini del presente studio sono stati inoltre consultati i dati di sottosuolo relativi ad ulteriori perforazioni geognostiche eseguite all'interno dell'areale investigato. Nello specifico si è fatto uso dei dati di sondaggi eseguiti nel corso di campagne di indagini svolte da Italferr negli anni 2003 e 2004 sia per indagare un precedente corridoio di tracciato, sia per finalità idrogeologiche.

Le ubicazioni dei sondaggi svolti per la presente fase progettuale e di quelli eseguiti negli anni precedenti sono riportate sui profili geologici e geotecnici di progetto (Rif. [5], Rif. [6], Rif. [25], Rif. [26], Rif. [27], Rif. [28]), distinte con apposita simbologia.

Le stratigrafie dei sondaggi ed i risultati delle prove eseguite sono contenuti in Rif. [3] e Rif. [4].

Nel seguito sono riportate alcune foto dei carotaggi a profondità interessate dalla galleria, la cui ubicazione è riportata sui profili geologici e geotecnici di progetto (Rif. [5], Rif. [6], Rif. [25], Rif. [26], Rif. [27], Rif. [28]).



Fig. 9.1– Foto sondaggio TS17 a quota galleria (55m da p.c.) - Formazione Calcarei di Monte Coste - Calcarei neri



Fig. 9.2– Foto sondaggio TS13 a quota galleria (50m da p.c.) - Formazione di Monrupino - Dolomie e Calcarei



Fig. 9.4– Foto sondaggio TS14 a quota galleria (14m da p.c.) - Formazione Calcari di Aurisina - Calcari a Rudiste



Fig. 9.5– Foto sondaggio TS10 a quota galleria (120m da p.c.) - Formazione Calcari Liburnici - Calcari



Fig. 9.6- Foto sondaggi TS6 e TS7 a quota galleria (risp 130m e 70m da p.c.) - Arenarie e Marne argillose (TS6) e Marne e Arenarie (TS7)

9.3 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

La caratterizzazione geotecnica per la progettazione preliminare di opere in sotterraneo è finalizzata all'individuazione delle problematiche geotecniche che la natura e le caratteristiche dei terreni pongono nella definizione delle soluzioni progettuali, all'individuazione delle criticità associate alle condizioni idrauliche del sottosuolo, all'esame delle condizioni di stabilità generale dell'area, prima e dopo la realizzazione delle opere in progetto. Il modello geotecnico del sottosuolo, sintesi della fase di caratterizzazione sopra descritta, è illustrato nel "Profilo geotecnico" di progetto Rif. [25], Rif. [26], Rif. [27] e Rif. [28].

9.3.1 Gallerie di linea

La caratterizzazione geomeccanica è stata condotta sulla base dei dati ottenuti nell'ultima campagna geognostica eseguita ed in corso di completamento, individuando dei campi di variazione dei parametri geomeccanici sufficientemente ampi, per tenere conto della variabilità delle caratteristiche geomeccaniche delle formazioni e dei margini di incertezza dovuti a particolari carenze.

I seguenti range sono stati utilizzati per la determinazioni delle caratteristiche geomeccaniche delle diverse unità litostratigrafiche attraversate.

Formazioni geologiche	Litologia	σ_c	GSI
Calcari di Monte Coste	Calcari neri	80÷90 MPa	70÷80
Formazione di Monrupino	Dolomie e calcari	70÷95 MPa	70÷80
Calcari di Aurisina	Calcari a Rudiste	30÷100 MPa	60÷70
Formazione Liburnica - Calcari ad Alveoline - Nummuliti	Calcari terziari	30÷50 MPa	65÷75
Flysch di Trieste	Marne	50÷65 MPa	30÷50
	Arenarie e marne		

Tabella di sintesi parametri σ_c e GSI per ciascun litotipo

Per i valori di resistenza a compressione dell'ammasso, σ_c , sono stati considerati i massimi e minimi valori derivanti dalle prove di laboratorio eseguite per ciascun ammasso su campioni estratti a quota galleria. I valori del GSI sono stati invece valutati mediante gli abachi di Hoek e Marinos (2000), Fig. 9.7, che tengono conto della struttura della roccia e delle condizioni delle superfici di discontinuità, che nell'ambito di tale progetto, sono state desunte qualitativamente dai risultati delle indagini geognostiche e dalle prove di laboratorio sui campioni estratti sempre a quota galleria.

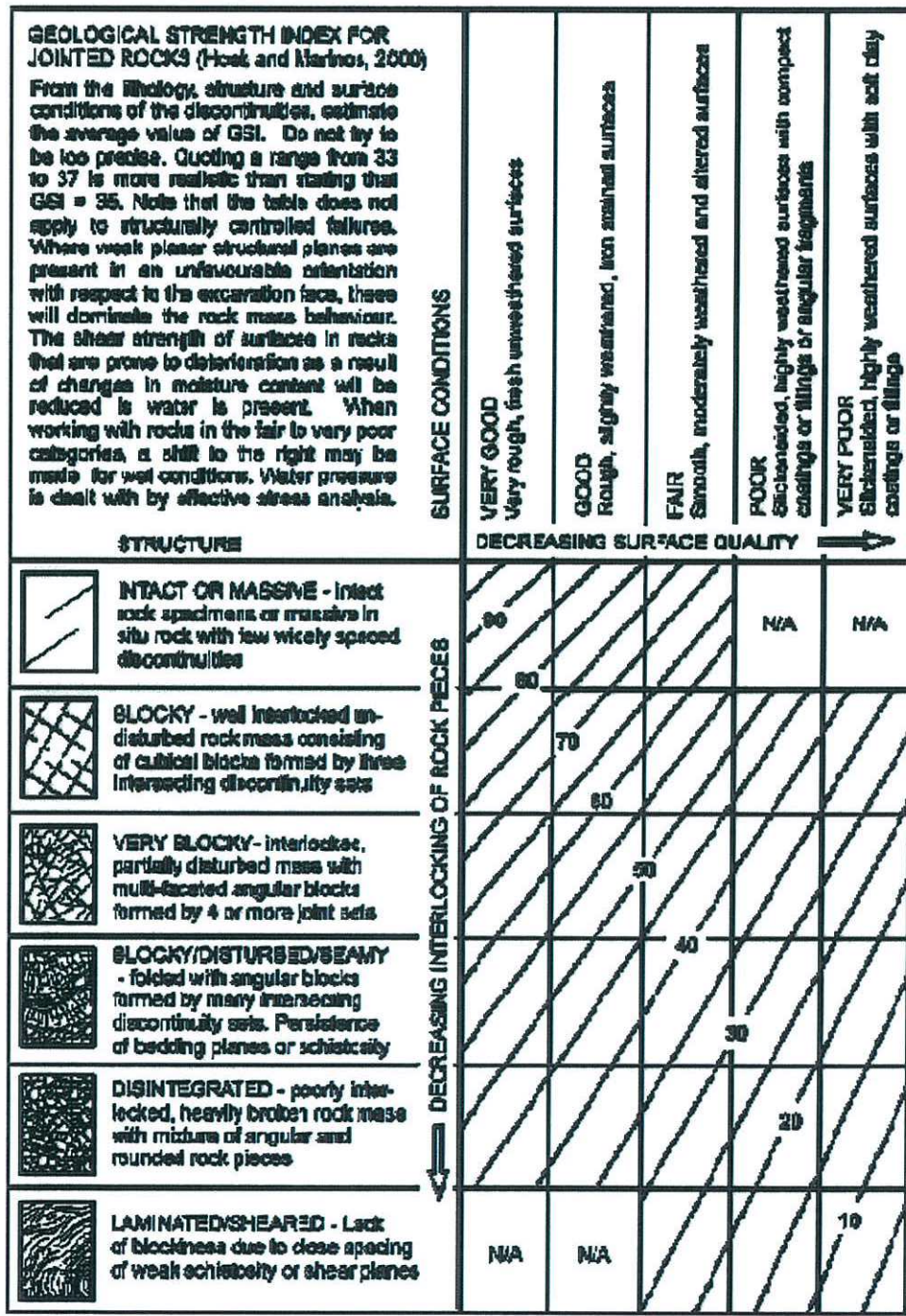


Fig. 9.7- Abaco (Hoek e Marinos, 2000) per la stima di GSI in funzione del grado di fratturazione e delle condizioni di alterazione dell'ammasso roccioso.

In ogni caso, la parametrizzazione effettuata deve considerarsi previsionale e dovrà essere confortata dai dati che saranno acquisiti a seguito delle campagne di indagini geognostiche integrative previste nelle successive fasi di progettazione.

Per la definizione dei parametri di resistenza e delle caratteristiche di deformabilità viene adottato il criterio di resistenza non lineare di Hoek e Brown (1980), sia per il materiale roccioso che per l'ammasso roccioso.

Tale criterio è espresso, in termini di tensioni principali efficaci, dalla:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c \left(m \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + s \right)^a$$

dove:

σ'_1 tensione principale efficace maggiore, a rottura;

σ'_3 tensione principale efficace minore, a rottura;

σ_c resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta.

I parametri «m», «s» ed «a» sono stati determinati in funzione del parametro GSI dell'ammasso, mediante il programma di calcolo RocLab (2002 Rocscience Inc.).

9.3.1.1 Caratterizzazione geomeccanica dei terreni

Utilizzando il range del valore di GSI ricavato per ogni litologia, si ottengono i seguenti valori dei parametri di deformazione e di resistenza:

Litologia	σ_c	GSI	c' (Mpa)	φ' (°)	E' (Gpa)
Calcari neri	80÷90 MPa	70÷80	2÷4	55÷56	30÷50
Dolomie e calcari	70÷95 MPa	70÷80	2÷5	55÷60	27÷55
Calcari a Rudiste	30÷100 MPa	60÷70	0.45÷2.7	57÷60	10÷30
Calcari terziari	30÷50 MPa	65÷75	0.85÷2	46÷51	13÷30
Marne	50÷65 MPa	30÷50	0.25÷0.9	40÷50	2.2÷8
Arenarie e marne					

Tabella di sintesi dei parametri geomeccanici per ciascun litotipo

I valori così valutati sono comunque da intendersi riferiti a condizioni "medie" dell'ammasso, prescindono quindi da quelle che potrebbero essere condizioni di particolare fratturazione e alterazione.



LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE

PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L344	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	49 di 84

10 FASE DI DIAGNOSI: ANALISI DEL COMPORTAMENTO DEFORMATIVO ALLO SCAVO

Nella fase di diagnosi, sulla base del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuati nella fase conoscitiva, si procede alla previsione della risposta tensio-deformativa dell'ammasso allo scavo, in assenza di interventi di stabilizzazione. La valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo è condotta con riferimento alle tre categorie di comportamento fondamentali individuate nel metodo ADECO-RS (Rif. [18]), di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

I risultati dell'analisi del comportamento deformativo consentono di individuare gli interventi di precontenimento e/o di contenimento più idonei a garantire condizioni di stabilità della galleria in fase di scavo e a lungo termine.

10.1 Classi di comportamento del fronte di scavo

Secondo l'approccio ADECO-RS (Rif. [18]) la previsione dell'evoluzione dello stato tensionale a seguito dell'apertura di una galleria è possibile attraverso l'analisi dei fenomeni deformativi, che forniscono indicazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine. Dati sperimentali e analisi teoriche hanno dimostrato che il comportamento della cavità è significativamente condizionato, oltre che dalle caratteristiche geometriche della galleria stessa e dai carichi litostatici, anche dalle caratteristiche di resistenza e di rigidità del nucleo d'avanzamento, inteso come il volume di terreno a monte del fronte di scavo. Se il nucleo non è costituito da materiale sufficientemente rigido e resistente da mantenere in campo elastico il proprio comportamento tensio-deformativo, si sviluppano fenomeni deformativi e plasticizzazioni rilevanti in avanzamento, a cui consegue l'evoluzione verso condizioni di instabilità del fronte e del cavo. Se, invece, il comportamento del nucleo d'avanzamento si mantiene in campo elastico, il nucleo stesso svolge un'azione di precontenimento del cavo, che si mantiene a sua volta in condizioni elastiche, conservando le caratteristiche di massima resistenza del materiale attraversato e quindi configurazioni di stabilità.

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

Categoria A: nucleo-fronte stabile

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

Categoria B: nucleo-fronte stabile a breve termine

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità, a seguito delle operazioni di scavo, raggiunge la resistenza dell'ammasso. I fenomeni deformativi tensionali sono di tipo elasto-plastico, di maggiore entità rispetto al caso precedente. Nell'ammasso può prodursi una eventuale riduzione delle caratteristiche di resistenza con decadimento verso i parametri residui. La risposta tensio-deformativa può essere opportunamente controllata con adeguati interventi di preconsolidamento del fronte e/o di

	LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE					
	PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L344	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 50 di 84

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.

10.2 Determinazione delle classi di comportamento

10.2.1 Analisi con il metodo delle linee caratteristiche

Per la determinazione delle categorie di comportamento nelle zone del tracciato è stato utilizzato il metodo delle linee caratteristiche.

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, essendo lo scopo delle analisi la valutazione del comportamento deformativo dell'ammasso in assenza di interventi di stabilizzazione, l'analisi consiste nella valutazione della sola curva caratteristica del fronte (e del cavo) senza considerare l'interazione con i sostegni. Le analisi sono state svolte col codice di calcolo GV4 (versione 4H, 2003). Per l'ammasso si è utilizzato un modello costitutivo elasto-plastico, con criterio di resistenza di Hoek-Brown.

I risultati delle analisi (da Fig.10.1 a Fig10.7) sono stati esaminati valutando lo sviluppo dei fenomeni deformativi e di plasticizzazione al contorno del fronte (e del cavo), prendendo a riferimento il seguente criterio:

u_F/R_{eq}	R_{plF}/R_{eq}	Classe di comportamento
$\leq 0,2 \%$	$\leq 1,1$	A
$0,2\% < u_F/R_{eq} \leq 0,5 \%$	$1,1 < R_{plF}/R_{eq} \leq 1,5$	B
$> 0,5 \%$	$> 1,5$	C

u_F = convergenza al fronte
 R_{plF} = raggio plastico al fronte
 R_{eq} = raggio di scavo equivalente della galleria

Tabella per valutazione categoria di comportamento dell'ammasso allo scavo

Tali valutazioni quantitative, unitamente a considerazioni in merito all'affidabilità e rappresentatività dei dati di ingresso, hanno condotto alla definizione della categoria di comportamento.

Sono state analizzate sette sezioni, in corrispondenza delle massime coperture, per ciascun tipo d'ammasso e per le configurazioni di galleria a singolo binario e doppio binario. I valori dei parametri geomeccanici utilizzati nelle analisi sono i mini stimati per i litotipi interessati (cfr. § 9.3.1.1).

Sono di seguito riportati i dati di ingresso e i risultati delle analisi.

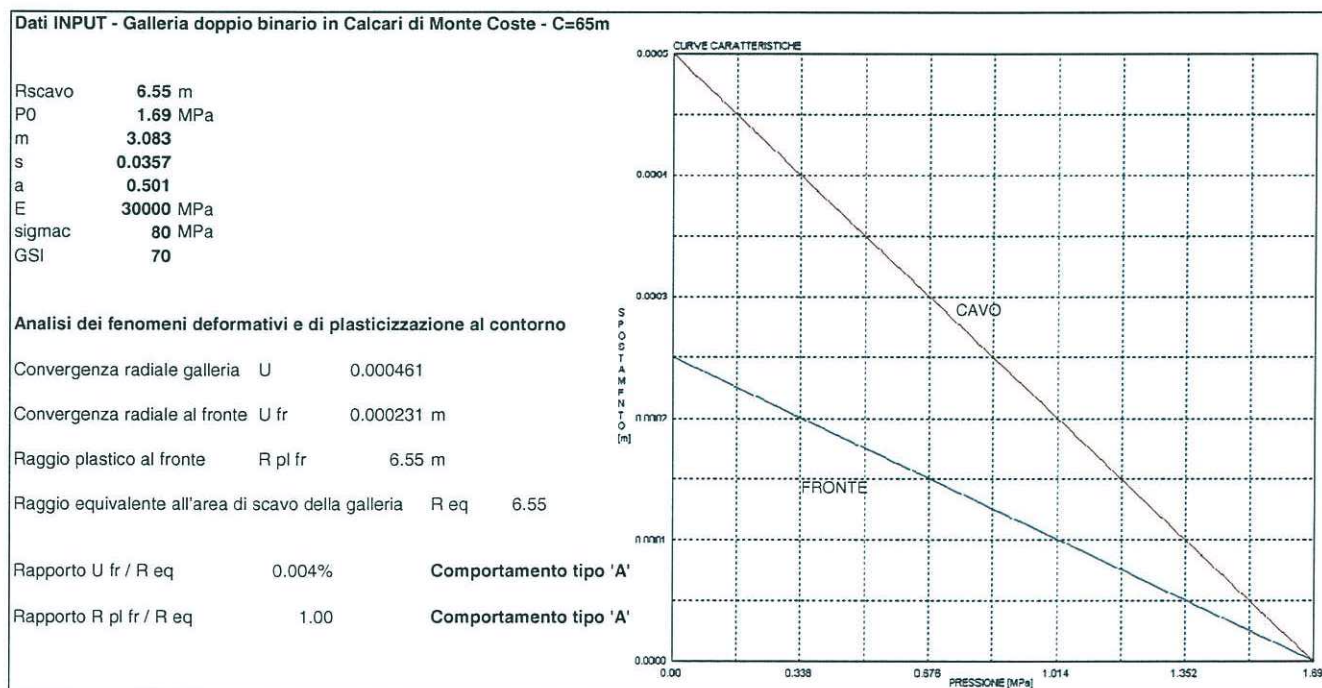


Fig. 10.1- Sezione d'Analisi 1 - galleria a doppio binario (scavo tradizionale) - Calcarei di Monte Coste - copertura 65m

Dati INPUT - Galleria singolo binario in Calcari di Monte Coste - C=198m

Rscavo 5 m
 P0 5.148 MPa
 m 3.083
 s 0.0357
 a 0.501
 E 30000 MPa
 sigmac 80 MPa
 GSI 70

Analisi dei fenomeni deformativi e di plasticizzazione al contorno

Convergenza radiale galleria U 0.001072
 Convergenza radiale al fronte U fr 0.000536 m
 Raggio plastico al fronte R pl fr 5 m
 Raggio equivalente all'area di scavo della galleria R eq 5
 Rapporto U fr / R eq 0.01% **Comportamento tipo 'A'**
 Rapporto R pl fr / R eq 1.00 **Comportamento tipo 'A'**

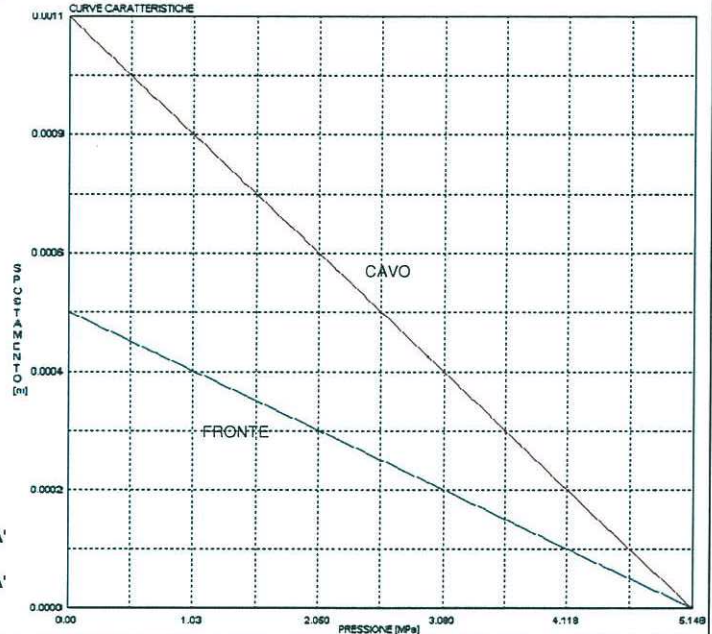


Fig. 10.2- Sezione d'Analisi 2 - galleria a singolo binario (scavo tradizionale) - Calcari di Monte Coste - copertura 198m

Dati INPUT - Galleria singolo binario in Formazione di Monrupino - C=103m

Rscavo 5 m
 P0 2.678 MPa
 m 3.083
 s 0.0357
 a 0.501
 E 27000 MPa
 sigmac 80 MPa
 GSI 70

Analisi dei fenomeni deformativi e di plasticizzazione al contorno

Convergenza radiale galleria U 0.006199
 Convergenza radiale al fronte U fr 0.0031 m
 Raggio plastico al fronte R pl fr 5 m
 Raggio equivalente all'area di scavo della galleria R eq 5
 Rapporto U fr / R eq 0.06% **Comportamento tipo 'A'**
 Rapporto R pl fr / R eq 1.00 **Comportamento tipo 'A'**

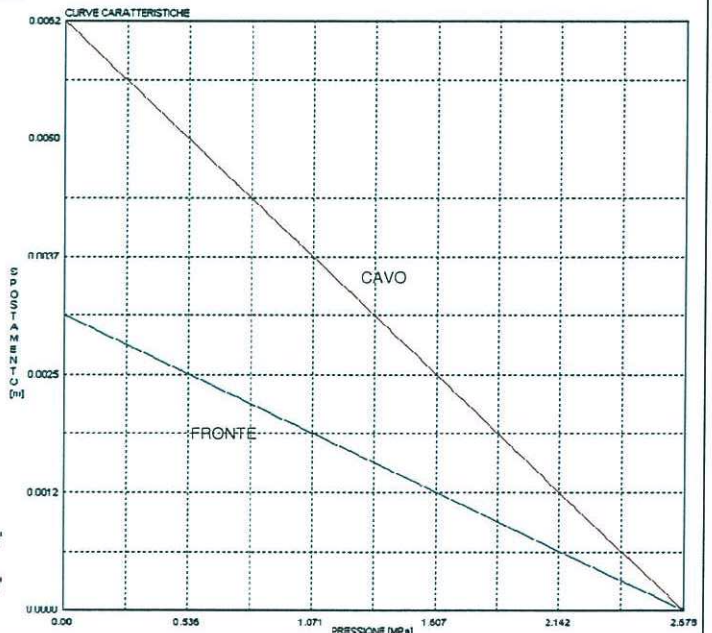


Fig. 10.3- Sezione d'Analisi 3 - galleria a singolo binario (scavo tradizionale)-Formazione Monrupino - copertura 103m

Dati INPUT - Galleria doppio binario in Calcarì di Aurisina - C=37m

Rscavo **6.55 m**
 P0 **0.962 MPa**
 m **2.157**
 s **0.0117**
 a **0.503**
 E **10000 MPa**
 sigmac **30 MPa**
 GSI **60**

Analisi dei fenomeni deformativi e di plasticizzazione al contorno

Convergenza radiale galleria U 0.000788
 Convergenza radiale al fronte U fr 0.000394 m
 Raggio plastico al fronte R pl fr 6.55 m
 Raggio equivalente all'area di scavo della galleria R eq 6.55
 Rapporto U fr / R eq 0.01% **Comportamento tipo 'A'**
 Rapporto R pl fr / R eq 1.00 **Comportamento tipo 'A'**

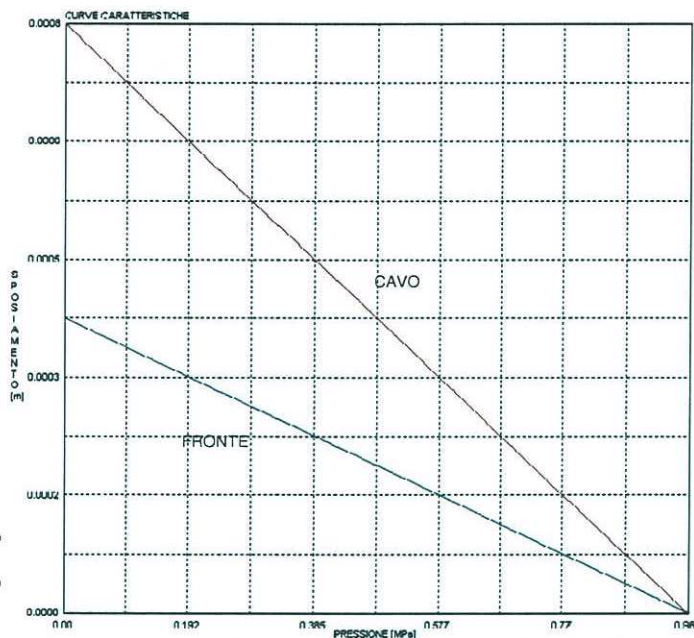


Fig. 10.4- Sezione d'Analisi 4 - galleria a doppio binario (scavo tradizionale) -Calcarì di Aurisina - copertura 37m

Dati INPUT - Galleria singolo binario in Calcarì di Aurisina - C=116m

Rscavo **5 m**
 P0 **3.016 MPa**
 m **2.157**
 s **0.0117**
 a **0.503**
 E **10000 MPa**
 sigmac **30 MPa**
 GSI **60**

Analisi dei fenomeni deformativi e di plasticizzazione al contorno

Convergenza radiale galleria U 0.001885
 Convergenza radiale al fronte U fr 0.000942 m
 Raggio plastico al fronte R pl fr 5 m
 Raggio equivalente all'area di scavo della galleria R eq 5
 Rapporto U fr / R eq 0.02% **Comportamento tipo 'A'**
 Rapporto R pl fr / R eq 1.00 **Comportamento tipo 'A'**

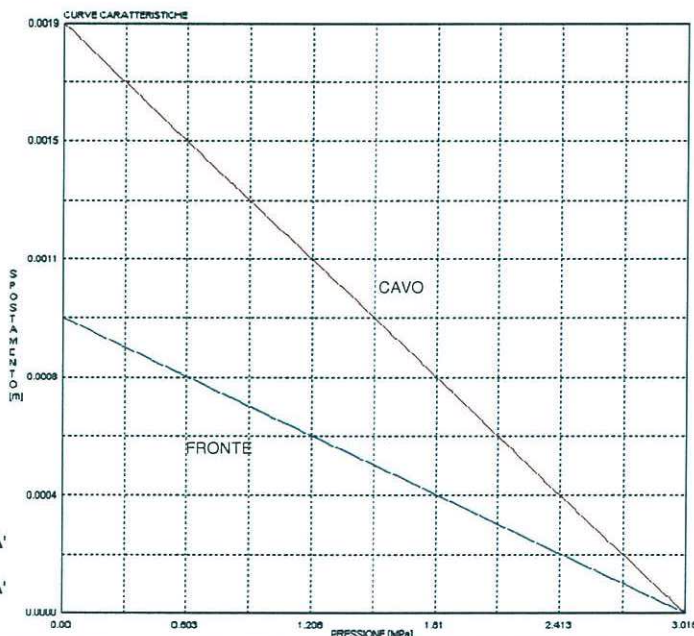


Fig. 10.5- Sezione d'Analisi 5 - galleria a singolo binario (scavo tradizionale) -Calcarì di Aurisina - copertura 116m

Dati INPUT - Galleria singolo binario in Calcari Liburnici - C=147m

Rscavo 5 m
 P0 3.822 MPa
 m 2.579
 s 0.0205
 a 0.502
 E 13000 MPa
 sigmac 30 MPa
 GSI 65

Analisi dei fenomeni deformativi e di plasticizzazione al contorno

Convergenza radiale galleria U 0.001837
 Convergenza radiale al fronte U fr 0.000919 m
 Raggio plastico al fronte R pl fr 5 m
 Raggio equivalente all'area di scavo della galleria R eq 5
 Rapporto U fr / R eq 0.02% **Comportamento tipo 'A'**
 Rapporto R pl fr / R eq 1.00 **Comportamento tipo 'A'**

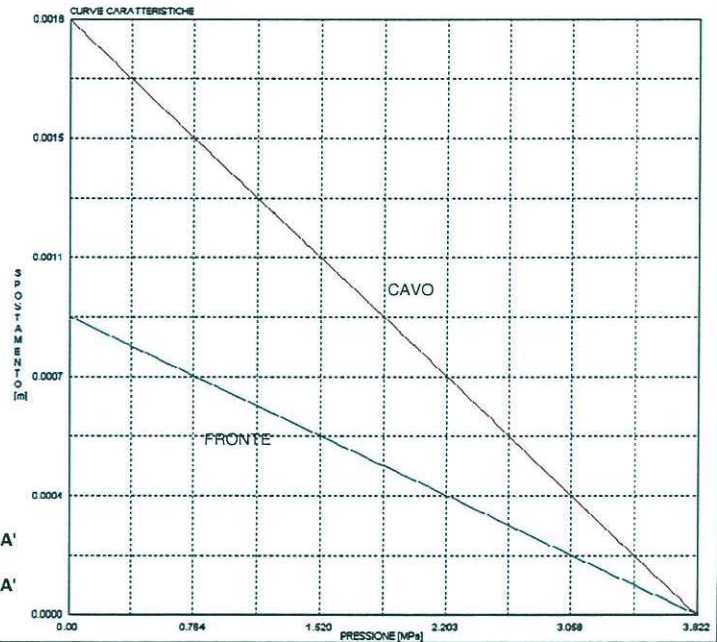


Fig. 10.6- Sezione d'Analisi 6 - galleria a singolo binario (scavo tradizionale) - Formazione Liburnica - copertura 147m

Dati INPUT - Galleria singolo binario in Flysch di Trieste - C=198m

Rscavo 4.65 m
 P0 5.148 MPa
 m 0.739
 s 0.0004
 a 0.522
 E 2200 MPa
 sigmac 50 MPa
 GSI 30

Analisi dei fenomeni deformativi e di plasticizzazione al contorno

Convergenza radiale galleria U 0.019508
 Convergenza radiale al fronte U fr 0.008331 m
 Raggio plastico al fronte R pl fr 4.9 m
 Raggio equivalente all'area di scavo della galleria R eq 4.65
 Rapporto U fr / R eq 0.18% **Comportamento tipo 'A'**
 Rapporto R pl fr / R eq 1.05 **Comportamento tipo 'A'**

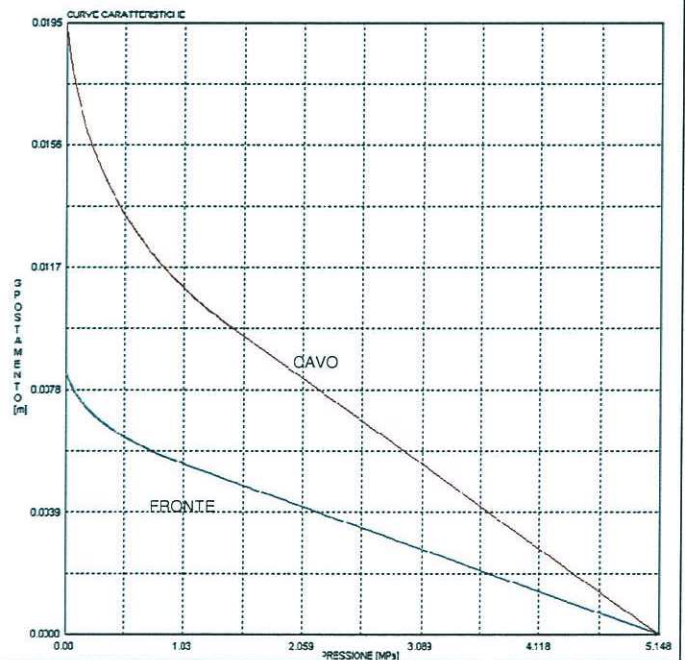


Fig. 10.7- Sezione d'Analisi 7 - galleria a singolo binario (scavo meccanizzato) -Flysch di Trieste - copertura 198m

Nella tabella che segue sono sintetizzati i risultati delle analisi di cui sopra.

Sezione di analisi	p.k.	u_F [m]	u_F/R_{eq} [%]	R_{PF} [m]	R_{PF}/R_{eq} [-]	u_∞ [m]	Categoria
1	10+540	0.000231	0.004	6.55	1	0.000461	A
2	16+110	0.000536	0.01	5	1	0.001072	A
3	20+900	0.0031	0.06	5	1	0.006199	A
4	25+380	0.000394	0.01	6.55	1	0.000788	A
5	27+020	0.000942	0.02	5	1	0.001885	A
6	27+600	0.000919	0.02	5	1	0.001837	A
7	34+390	0.008331	0.18	4.9	1.05	0.019508	A

u_F = convergenza al fronte (soluzione cavità sferica)
 R_{PF} = raggio plastico al fronte
 u_∞ = convergenza finale del cavo
 R_{eq} = raggio di scavo equivalente della galleria

Tabella – Sezioni analizzate con il metodo delle linee caratteristiche: risultati delle analisi.

10.2.2 Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo

Sulla base dei risultati delle analisi sopra descritte, il tracciato è stato suddiviso in tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo. In particolare, per tutte le formazioni attraversate, il comportamento dell'ammasso allo scavo risulta sempre stabile (comportamento "A"), compreso il tratto nel Flysch di Trieste (Fig.10.7), in cui risultano delle modeste plasticizzazioni sia al fronte che al contorno del cavo. Tuttavia in corrispondenza delle zone di faglia individuate (cfr. Rif. [5] e Rif. [6]), tenuto conto delle possibili instabilità del fronte, è stato previsto un comportamento deformativo allo scavo di categoria "C".

Il riepilogo della previsione di comportamento del fronte, con riferimento al metodo Adeco-RS., è stata riportata, per tratte omogenee, nel Profilo geotecnico di progetto (Rif. [25], Rif. [26], Rif. [27] e Rif. [28]).



LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L344	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	56 di 84

11 FASE DI TERAPIA: DEFINIZIONE DELLA METODOLOGIA DI SCAVO

Nella fase di terapia, sulla base delle indicazioni provenienti dalla fase conoscitiva e dall'analisi del comportamento deformativo allo scavo (fase di diagnosi), si individuano le modalità di scavo e gli interventi necessari per garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine. Sono di seguito descritte le caratteristiche principali delle sezioni tipo di avanzamento e il loro campo di applicazione, con riferimento alle zone a comportamento omogeneo, individuate in fase di diagnosi.

Nella fase di progettazione preliminare, l'individuazione delle tratte di applicazione delle sezioni tipo è condotta con riferimento alla percentuale di applicazione, che fornisce una stima parametrica attendibile dei tempi e dei costi di realizzazione delle opere.

Le sezioni tipo, selezionate tra gli standard di progetto di Italferr/UO Gallerie e già applicate in contesti geotecnici paragonabili, risultano adeguate alle diverse situazioni studiate ed analizzate nella fase conoscitiva e di diagnosi. Nelle successive fasi della progettazione tali soluzioni progettuali saranno valutate e ottimizzate alla luce degli ulteriori elementi di approfondimento del contesto geotecnico.

11.1 Metodologia di scavo

11.1.1 Criteri di scelta del sistema di scavo

Dall'analisi del tracciato plano-altimetrico, dall'inquadramento geologico-idrogeologico, dalla previsione della risposta deformativa allo scavo (determinazione della categoria di comportamento) e in funzione della configurazione delle gallerie (a doppio binario e a doppia canna), deriva la scelta del metodo di scavo più appropriato per la realizzazione delle gallerie naturali nelle due subtrate Ronchi-Aurisina e Aurisina-Trieste.

I principali criteri considerati sono:

- esigenza di operare nelle migliori condizioni di sicurezza, sia in fase realizzativa (per l'ambiente e per gli addetti ai lavori), sia in fase di esercizio (cfr. Rif. [10], Rif. [13] e Rif. [7]) ;
- superamento di zone potenzialmente critiche dal punto di vista geologico, geomorfologico ed idrogeologico (cavità carsiche, fasce tettonizzate)
- contenimento del fronte di scavo per evitare possibili instabilità del fronte medesimo legate alle condizioni geotecniche ed idrogeologiche degli ammassi attraversati;
- lunghezza delle gallerie e necessità di velocizzare le fasi di scavo e di rivestimento senza fronti d'attacco intermedi.

Questi criteri base hanno portato alla scelta di utilizzare per lo scavo delle gallerie sia il sistema tradizionale che il sistema meccanizzato, individuati in relazione al particolare contesto geologico-geotecnico e alle criticità presenti lungo il tracciato. Come già anticipato nella porzione di tracciato che ricade nella successione carbonatica del Carso, caratterizzato dalla presenza di cavità carsiche che possono intercettare le gallerie è stato previsto l'impiego del sistema tradizionale che consente di adeguare le modalità esecutive in funzione al contesto geologico-



LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L344	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	57 di 84

geomorfologico-geomeccanico in tempi rapidi. Nel tratto flyshoide che si estende per 7,8 km è stato invece previsto il sistema meccanizzato con TBM scudate e posa di rivestimento definitivo in conci prefabbricati. Tale scelta è motivata dal fatto che lo scavo avviene da un solo punto d'attacco, per ridurre al minimo l'impatto sull'esterno, evitando così l'installazione di numerosi cantieri e la realizzazione di finestre o pozzi di attacco intermedi che, vista la lunghezza della galleria, lo scavo tradizionale richiederebbe. Solo il collegamento tra le gallerie di linea e le gallerie di cintura, tramite cameroni di innesto, verranno realizzati in tradizionale viste le ampie sezioni di scavo che non consentono l'impiego di TBM.

Considerando le due subtratte rispettivamente Ronchi-Aurisina e Aurisina-Trieste l'applicazione dei due sistemi di scavo è la seguente:

- **subtratta Ronchi-Aurisina** : l'intero tracciato ricade nei calcari, lo scavo è stato pertanto previsto in tradizionale.
- **subtratta Aurisina-Trieste**: il primo tratto, sino alla p.k. 28+678 ca., ricade nei calcari, con caratteristiche geologiche-geomorfologiche analoghe a quelle della subtratta Ronchi-Aurisina, pertanto anche qui è previsto lo scavo tradizionale. Nel secondo tratto, che si sviluppa nel Flysch-triestino sino a Trieste, è stato previsto l'impiego dello scavo meccanizzato, a parte i cameroni di interconnessione e il tratto di collegamento tra le gallerie in meccanizzato e i cameroni stessi. Qualora si verificherà, nelle successive fasi di progettazione, un basso livello di criticità dei fenomeni carsici, tali da non inficiare l'impiego dello scavo meccanizzato, si potrà valutare l'uso della TBM anche nel primo tratto a partire dal camerone di diramazione. Tale soluzione risulterebbe senz'altro vantaggiosa per l'accorciamento dei tempi di scavo. Infatti nella subtratta 6 è previsto, secondo l'attuale sequenza realizzativa, la realizzazione in successione delle opere presenti lungo il tracciato a partire da un solo imbocco ubicato nella zona di Aurisina. Pertanto lo scavo meccanizzato potrà iniziare solo dopo la realizzazione di tutto il tratto in tradizionale, prevedendo il montaggio delle TBM all'interno dei cameroni di lancio. La possibilità di anticipare lo scavo meccanizzato anche nel tratto di galleria a doppia canna che ricade nei calcari, accorcerebbe i tempi di scavo nel tratto considerato, da un lato per la maggiore velocità d'avanzamento che il sistema offre rispetto a quello tradizionale e dall'altro perché non risulterebbe più necessario la realizzazione dei cameroni per il montaggio delle TBM. In prima approssimazione si può stimare un recupero di circa 2 anni.

11.1.2 Metodo di scavo tradizionale

In relazione alle caratteristiche geomeccaniche degli ammassi, lo scavo potrà essere condotto mediante esplosivo o demolitore meccanico in presenza di roccia di buona qualità, eventualmente con macchina escavatrice. In presenza di materiale scadente, per esempio quello di riempimento delle cavità, si procederà alla realizzazione di consolidamenti in avanzamento, mediante elementi strutturali in vetroresina iniettati o trattamenti colonnari in jet-grouting.

Effettuato lo scavo a sfondi limitati (a sezione intera, o parziale invece nei cameroni) e lo smarino, si procederà alla posa in opera dei rivestimenti di prima fase, mediante spritz-beton, bulloni e/o centine metalliche.

A distanza dal fronte di scavo, funzione del comportamento deformativo del cavo, si procederà al getto dei rivestimenti definitivi di arco rovescio, al fine di contrastare adeguatamente il piede del rivestimento di prima fase, e successivamente al getto dei rivestimenti definitivi di calotta.

	LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE					
	PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L344	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 58 di 84

Tra il rivestimento provvisorio (spritz-beton) e quello definitivo (cls) si prevede la posa in opera del manto impermeabile, costituito da un telo in PVC su supporto di tessuto non tessuto.

Le sezioni strutturali utilizzate sono del tutto analoghe ad altre per le quali è stato verificato il soddisfacimento del requisito minimo R120 come prescritto all'Allegato II § 1.2.1 "Resistenza e reazione al fuoco" del *Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 28 Ottobre 2005 "Sicurezza nelle Gallerie Ferroviarie"* (Rif. [10]). Verifiche di dettaglio saranno sviluppate nelle successive fasi progettuali, nelle quali saranno anche definiti gli spessori dei rivestimenti definitivi.

Le acque intercettate dall'impermeabilizzazione verranno smaltite da tubazioni drenanti ubicate al piede del manto in PVC, protette dal tessuto non tessuto che, a loro volta, saranno collegate al canale di deflusso in asse galleria.

Nei tratti di galleria in cui non è previsto il sistema di raccolta dei liquidi pericolosi (cfr. Rif. [7]), l'impermeabilizzazione sarà estesa anche all'arco rovescio, al fine di evitare, in fase di scavo, l'eventuale contaminazione delle acque di falda.

Sono realizzate con metodo di scavo tradizionale le seguenti opere:

Subtratta Bivio San Polo

- la galleria a singolo binario della rilocazione della linea storica Venezia-Trieste;

Subtratta Ronchi-Aurisina

- le gallerie di linea a singolo binario doppia canna e quella a doppio binario;
- le gallerie e i cameroni di interconnessione Bivio di Aurisina;
- i by-pass di collegamento fra le gallerie;
- l'uscita di emergenza della galleria di linea a doppio binario;
- i pozzi di aggotamento, rispettivamente della galleria della linea storica Venezia-Troeste e dell'interconnessione B.D. bivio di Aurisina.

Subtratta Aurisina-Trieste

- le gallerie di linea a doppio binario nel tratto tra le p.k. 25+052 e 25+389;
- il camerone di diramazione doppio binario-singolo/singolo binario tra le p.k. 25+389 e 25+662.8;
- le gallerie di linea a doppia canna nel tratto tra le p.k. 25+662.8 e 28+527;
- i cameroni di lancio delle TBM tra le p.k. 28+527 e 28+677;
- i cameroni di innesto con la linea di cintura di Trieste;
- i by-pass di collegamento fra le gallerie;
- il pozzo di aggotamento e discesa cavi alla p.k. 36+429;
- il pozzo di disconnessione fumi alla p.k. 36+453;



LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L344	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	59 di 84

11.1.3 Metodo di scavo meccanizzato delle gallerie

Come evidenziato le gallerie a singolo binario a doppia canna che ricadono nella formazione Flyschoidi, subtratta Aurisina-Trieste, saranno realizzate con scavo meccanizzato, mediante l'impiego di TBM-S da roccia, cioè macchine scudate con testa rotante, a piena sezione che permettono l'esecuzione del foro sull'intera sagoma prevista e la contemporanea messa in opera del rivestimento definitivo con processo ciclico di tipo industriale.

Nella fig. 11.1 è rappresentata schematicamente una TBM-S da roccia nella quale si possono distinguere le seguenti parti principali che generalmente caratterizzano una TBM scudata:

1. la ruota fresante che porta gli utensili di scavo (fig.11.2);
2. il corpo motore (cuscinetto e motori);
3. il cilindro d'acciaio, detto scudo, di diametro leggermente inferiore a quello dello scavo, che ha la funzione di sostegno e tenuta idraulica nel tratto di galleria dove non è ancora in opera il rivestimento in conci prefabbricati. Nello scudo sono installati gli organi di propulsione per l'avanzamento della macchina, costituito da martinetti idraulici longitudinali che, poggiandosi sull'ultimo anello di rivestimento messo in opera, per contrasto lo spingono in avanti;
4. l'erettore per il montaggio del rivestimento, realizzato da anelli in c.a. costituiti da elementi prefabbricati (conci). Ciascun concio è dotato di una guarnizione idraulica perimetrale in neoprene per sostenere l'eventuale carico idraulico presente e garantire l'impermeabilità della galleria (Figg. 11.3 e 11.4). Il vuoto anulare che si crea tra il profilo dello scavo e l'estradosso dell'anello di rivestimento viene immediatamente riempito con miscele cementizie sotto l'arco-rovescio e ghiaietto (pea-gravel) sul resto del contorno per fissare definitivamente l'anello al terreno e ripristinare le condizioni di equilibrio precedenti lo scavo;
5. l'apparato di raccolta dello smarino dalla camera di scavo, tramite nastro primario, che scarica sul nastro trasportatore secondario (8);
6. il posizionatore dei conci prefabbricati
7. una serie di carri (treno back-up) che seguono lo scudo sui quali sono installate le apparecchiature elettriche, idrauliche ed ausiliarie per il funzionamento del sistema;
8. il nastro trasportatore secondario che scarica il materiale su vagoni o autocarri oppure prosegue sul paramento della galleria trasportando il materiale sino all'imbocco.

Il ciclo del lavoro comprende:

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

Le prestazioni, in termini di velocità di avanzamento, in presenza di ammassi stabili o stabili a breve termine possono essere notevoli dell'ordine di 10-15 metri/giorno.

Se, sulla base di ulteriori indagini geognostiche da effettuarsi nelle successive fasi di progettazione, il contesto geomeccanico risulta favorevole (ammassi rocciosi stabili, assenza di acqua) si può prevedere l'uso di TBM-DS doppie scudate che offrano la possibilità di effettuare il ciclo di lavoro continuo grazie alla capacità di scavare simultaneamente al montaggio del rivestimento, il che permette di abbassare notevolmente il tempo del ciclo di scavo ed aumentare l'avanzamento.

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

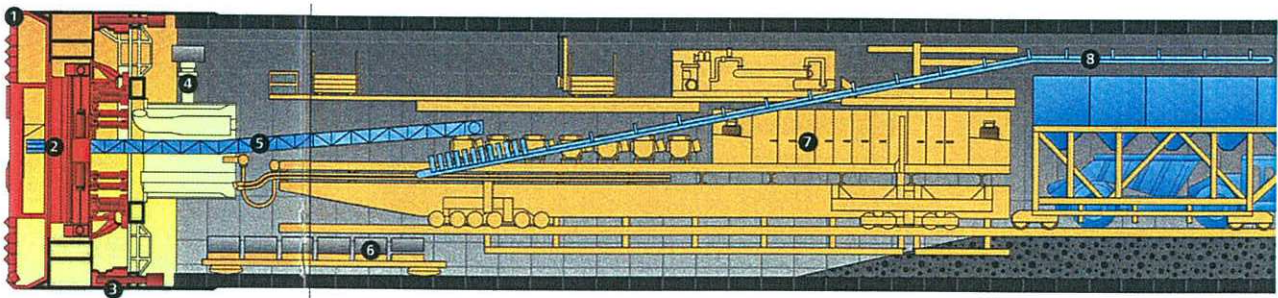


Fig. 11.1- Schema di una TBM da roccia

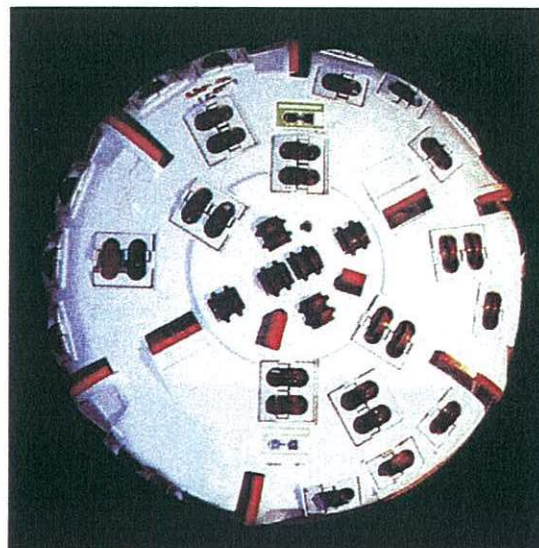


Fig. 11.2 - Testa fresante di una TBM da roccia

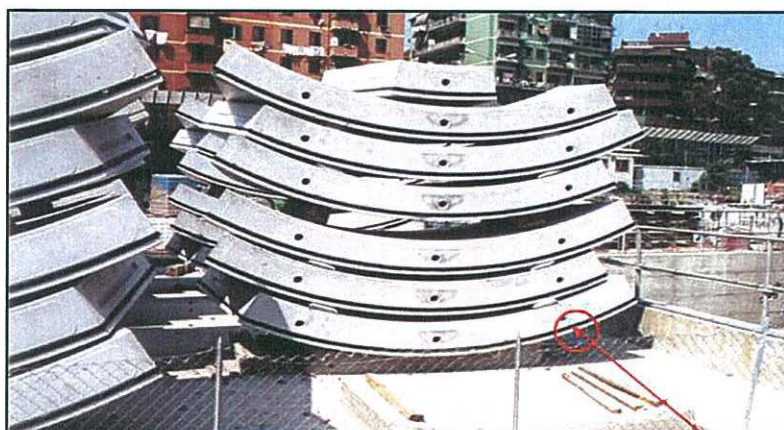


Fig. 11.3 – Conci prefabbricati con guarnizioni in neoprene a tenuta idraulica

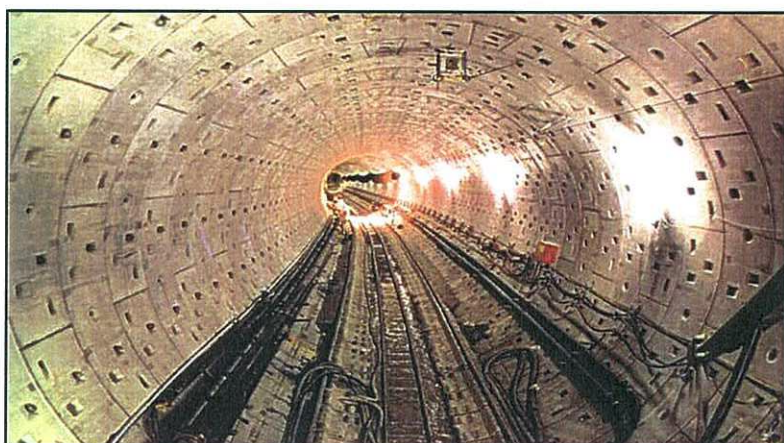


Fig. 11.4 – Rivestimento in conci prefabbricati

11.2 Sezione tipo di avanzamento per scavo in tradizionale

11.2.1 Gallerie a singolo e doppio binario

Le sezioni tipo di avanzamento per gallerie a singolo doppio binario in scavo tradizionale prevedono gli interventi descritti nelle tabelle seguenti (cfr. Rif. [30] e Rif. [31]). Gli interventi sono definiti in termini di quantità medie, con gli associati campi di variabilità, da calibrare in funzione del comportamento deformativo riscontrato allo scavo mediante un opportuno sistema di monitoraggio.

Si precisa che la distribuzione delle sezioni tipo A0, A1 e A2, nei tratti in cui è stato previsto un comportamento dell'ammasso allo scavo di tipo "A" (cfr. §11.4), verrà definito nelle successive fasi progettuali.

Inoltre gli spessori dei rivestimenti definitivi indicati in tabella sono orientativi e verranno, anch'essi definiti nelle successive fasi progettuali (cfr. §. 11.1.2)

SEZIONE TIPO	Rivestimento provvisorio					Interventi di precontenimento/presostegno				Rivestimento definitivo
	AREA DI SCAVO (m ²)	Spritz beton (fibrorinforz. 30 Kg/m ³) spessore (cm)	Spritz al fronte fibrorinforz. 30 Kg/m ³ spessore (cm)	Centine (tipo e passo)	interventi radiali (bulloni)	lunghezze a campo	interventi al fronte	interventi al contorno	drenaggi (L e sovrapp.)	
A0	66.00	10	-	-	5-6 bulloni radiali $\phi 24$, ad ancorag. puntuale, L=4,5m iL=2,0m	-	-	-	2+2 L=30m/10m	calotta 50 cm a.r. 50 cm
A1	70.14	15	-	2IPN140 1,40 +- 20%	-	-	-	Eventuali infilaggi metall. costituiti da 15 tubi metallici $\phi 127$, sp. 10mm, L=12m, sovrapp. min. 3,5m, valvolati (1V/m) p=0,5 m $\alpha=120^\circ$	2+2 L=30m/10m	calotta 60 cm a.r. 60 cm
A2	70.80	15	-	2IPN140 1,20 +- 20%	10-11 bulloni $\phi 24$ (o tipo Swellex), ad ancorag. continuo, L=4,5m iL=1,2+-20%, distan. max chiodatura dal fronte 3,6m	-	-	-	2+2 L=30m/10m	calotta 60 cm a.r. 70 cm
B1	78.89	20	15 (ogni fine campo) 10 sul 30% degli sfondi	2IPN160 1,0 +- 20%	-	8,5 m	20 +-10% elemen. struttur. in VTR L=13,5m, sovr. min.=5m, cementati in foro con miscele cementizie	infilaggi metall. costituiti da 21 tubi metallici $\phi 127$, sp. 10mm, L=12m, sovrapp. min. 3,5m, valvolati (1V/m) p=0,4 m $\alpha=120^\circ$	2+2 L=30m/13m	calotta 50-115 cm a.r. 80 cm
C2	79.46	25	15 (ogni fine campo) 10 sul 50% degli sfondi	2IPN180 1,0 +- 20%	-	10 m	25+-10% VTR a 3 piatti, L=18m, sovr.min.=8m, cementati in foro con miscele cementizie	43 VTR a 3 piatti, L=15m, sovrapp. min=5m, cementati in foro con miscele espansive. Passo=0,5 m consolidam. al piede centina mediante elementi strutturali in VTR in n°5+5, Lmedia=10m ogni campo (10m), cementati in foro con miscele espansive	2+2 L=30m/10m	calotta 80 cm a.r. 90 cm

Tabella interventi sezioni tipo per gallerie a singolo binario $V \leq 200$ km/h

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
L344 00 R 07 RG GN 00 00 001 A 63 di 84

		Rivestimento provvisorio				Interventi di precontenimento/presostegno				Rivestimento definitivo
SEZIONE TIPO	AREA DI SCAVO (m ²)	Spritz beton (fibrorinforz. 30 Kg/m ³) spessore (cm)	Spritz al fronte fibrorinforz. 30 Kg/m ³ spessore (cm)	Centine (tipo e passo)	interventi radiali (bulloni)	lunghezze a campo	interventi al fronte	interventi al contorno	drenaggi (L e sovrapp.)	Rivestimento definitivo
A1	115.84	20	-	2IPN180 1.40 +- 20%	-	-	-	eventuali infilaggi metall. costituiti da 33 tubi metallici ϕ 127, sp. 10mm, L=12m, sovrapp. min. 3.5m, valvolati (1V/m) p=0,4 m $\alpha=120^\circ$	3+3 L=30m/10m	calotta 60 cm a.r. 70 cm
A2	119.75	20	-	2IPN180 1.20 +- 20%	14-15 chiodi radiali ϕ 24, ad ancorag. continuo, in raggiere altern., L=6m, il=1.2m +-20%, distan. max chiodatura dal fronte 3.6m	-	-	-	3+3 L=30m/10m	calotta 70 cm a.r. 80 cm
B1	127.91	25	15 cm (ogni fine campo) 10 cm sul 30% degli sfondi	2IPN180 1.0 +- 20%	-	8.5 m	30 +-10% elemen. struttur. in VTR L=14.5m, sovr. min.=6m, cementati in foro con miscele cementizie	infilaggi metall. costituiti da 35 tubi metallici ϕ 127, sp. 10mm, L=12m, sovrapp. min. 3.5m, valvolati (1V/m) p=0,4 m $\alpha=120^\circ$	3+3 L=30m/13m	calotta 50-115 cm a.r. 90 cm
C2	141.04	30	15 cm (ogni fine campo) 10 cm sul 50% degli sfondi	2IPN200 1.0 +- 20%	-	10 m	40 +-10% VTR a 3 piatti, L=20m, sovr.min.=10m, cementati in foro con miscele cementizie	53 (=1 ogni 0.5m) VTR a 3 piatti, L=16m, sovrapp. min=6m, cementati in foro con miscele espansive consolidam. al piede centina mediante elementi strutturali in VTR in n°8+8, Lmedia=12m ogni campo (10m), cementati in foro con miscele espansive	3+3 L=30m/10m	calotta 90 cm a.r. 100 cm

Tabella interventi sezioni tipo per gallerie a doppio binario $200 \leq V \leq 250$ km/h

11.2.2 I cameroni di interconnessione Bivio Aurisina e di diramazione doppio binario-singolo/singolo binario

Queste opere presentano uno sviluppo di 172m e 192m, rispettivamente per i cameroni di interconnessione B.D. e B.P., e di 274m per il camerone di diramazione, con sezioni interne policentriche molto ampie, la maggiore misura circa 22 metri. Le dimensioni di questi cameroni impongono un'attenzione particolare per la loro realizzazione, che prevede, per i profili più ampi, la parzializzazione della sezione di scavo.

In relazione alle dimensioni geometriche e alle caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dallo scavo possono essere previsti interventi di consolidamento al contorno. La scelta dei macchinari e attrezzature per lo scavo è funzione delle caratteristiche geotecniche degli ammassi. Effettuato lo scavo (a sezione parzializzata e successivamente a sezione intera per sfondi limitati) e lo smarino, si procederà alla posa in opera dei rivestimenti di prima fase, mediante spritz-beton e centine metalliche. Tra il rivestimento provvisorio (calcestruzzo proiettato) e quello definitivo (calcestruzzo vibrato entro casseri) si prevede l'impermeabilizzazione dei cameroni costituita da una membrana in polietilene o in PVC, su supporto di tessuto non tessuto.

11.2.2.1 I cameroni di lancio delle TBM

Queste opere presentano uno sviluppo di 150m, sezione policentrica di scavo di circa 284 mq, (circa 16 metri di larghezza alla base e 18 metri di altezza). Tali dimensioni, indicate da un costruttore di TBM per lavori analoghi già realizzati (Fig.11.5), sono necessarie per l'installazione dell'attrezzatura (carri ponte) atta al montaggio della TBM e del back-up.



Fig. 11.5 - Camerone di lancio per una TBM (galleria S.Gottardo)

Per lo scavo di questi cameroni si prevede la parzializzazione della sezione. Effettuato lo scavo, la posa in opera dei rivestimenti di prima fase mediante centine e spritz-beton e l'impermeabilizzazione, si procederà al montaggio delle TBM e dei back-up, che verranno trasportati smontati nei loro vari elementi attraverso il tratto di galleria in tradizionale già realizzata. Iniziato lo scavo con TBM, quando tutto il treno del back-up si sarà allontanato dai cameroni, sarà possibile completare i cameroni secondo le seguenti fasi:

- realizzazione di una dima metallica, composta da centine e spritz beton, con estradosso analogo a quello per galleria a doppio binario (Fig. 11.6) a formare un cassero di intradosso;
- getto del rivestimento definitivo fra dima e cassero di intradosso;
- riempimento a tergo della dima mediante pompaggio di malte espansive da fori predisposti.

In tal modo si evita di realizzare il getto di rivestimento definitivo del camerone con casseri speciali, viste le ampie dimensioni geometriche del vano, che non appare proponibile eseguire in contemporanea agli scavi del tratto in meccanizzato per ragioni di sicurezza (interferenza con i mezzi a servizio dello scavo meccanizzato). Inoltre, la scelta di una dima con estradosso analogo a quello per galleria a doppio binario, consente di avere, nella zona dei cameroni, maggiori spazi di sosta e manovra per i mezzi a servizio dello scavo meccanizzato, nonché di ridurre il volume di riempimento a tergo della dima.

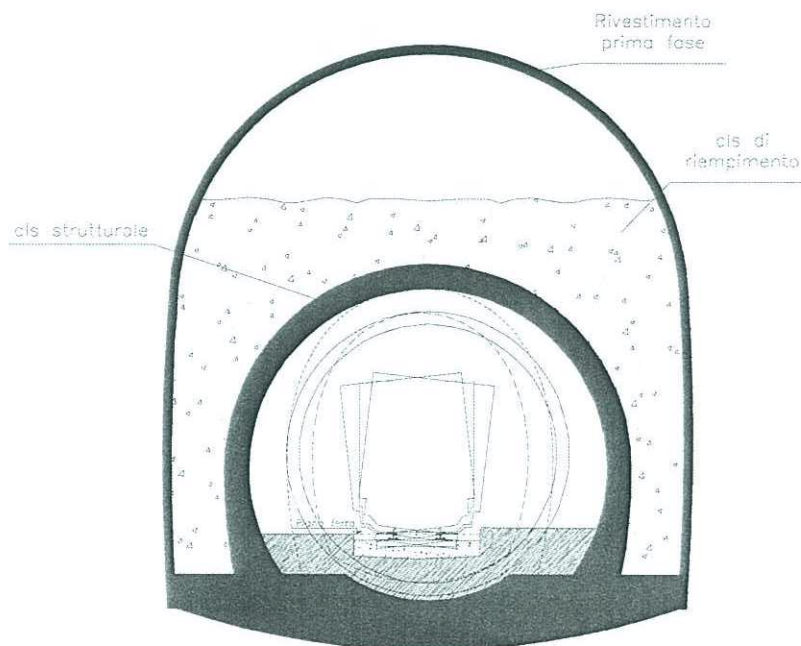


Fig. 11.6 - Camerone di lancio per una TBM

11.2.2.2 I cameroni di innesto alla linea di cintura

L'esigenza di minimizzare l'impatto sull'esercizio ferroviario della Linea di Cintura, inevitabilmente provocato dai lavori per la realizzazione delle opere di innesto, ha portato, per il camerone lato Campo Marzio (binario dispari), alla scelta di una tecnica esecutiva diversa da quella consueta di allargamento. Va premesso che la soluzione realizzativa prevista è valida in caso di buone condizioni dell'ammasso al contorno della galleria esistente e che

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L344	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 66 di 84
--	------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	--------------------

quindi, nelle successive fasi di progettazione, dovrà essere verificato e confermato tale aspetto. La soluzione comporta la realizzazione per fasi del camerone binario dispari, in circa 9 mesi; dal punto di vista dell'esercizio ferroviario tali fasi prevedono per 6 mesi circa la circolazione di traffico da/per Campo Marzio su un solo binario, e successivamente l'interruzione totale di esercizio per 3 mesi circa. Una volta completato l'intervento, sarà ripristinata la circolazione da/per Campo Marzio sul binario dispari nella nuova galleria di linea AV ed avranno inizio i lavori per la realizzazione del camerone binario pari, stavolta con la consueta tecnica di allargo, in circa 12 mesi.

Camerone di innesto binario dispari

Il camerone misura uno sviluppo di 129m circa, con sezioni trasversali a geometria variabile. Di seguito si riporta la descrizione sintetica delle fasi di realizzazione del camerone binario dispari lato Campo Marzio illustrate nella figura 11.7:

- Fase 0) Configurazione attuale della galleria linea di cintura;
- Fasi 1 e 2) Intervento di consolidamento del rivestimento esistente nel tratto corrispondente al camerone di innesto mediante posa di uno strato di 25 cm di spritz beton fibrorinforzato e consolidamento radiale della calotta e dei piedritti mediante bulloni autoperforanti di cucitura cementati, la cui disposizione, inclinazione e dimensioni geometriche saranno precisate nelle successive fasi di progettazione. Scopo di tale consolidamento è realizzare una cucitura delle murature con la roccia a tergo in modo da creare un incremento delle caratteristiche meccaniche della roccia al contorno.

Le attività si svolgeranno su un binario per volta da/per Campo Marzio, dando la precedenza al binario pari, il binario dispari rimarrà quindi attivo finché non sarà completato l'intervento e poi viceversa. Durante le attività, la circolazione sul binario in esercizio si svolgerà con rallentamento precauzionale.

Durante gli interventi sarà possibile accedere alla galleria unicamente da Campo Marzio. Tutte le macchine di cantiere e i dispositivi impiegati nelle lavorazioni dovranno avere un ingombro tale da garantire che il binario in esercizio sia sempre disponibile al transito dei treni in condizioni di assoluta sicurezza per l'esercizio ferroviario.

La durata di tutto l'intervento è stimato in circa 3 mesi.

- Fasi 3 e 4) Completato l'intervento di rinforzo resterà solo un binario in asse galleria mentre contemporaneamente si procederà, con avanzamento lato Aurisina, allo scavo del camerone binario dispari per l'intero sviluppo. Lo scavo verrà realizzato in tradizionale, per sfondi limitati, con posa di priverivestimento strutturale in centine e betoncino spruzzato e consolidamenti radiali mediante chiodi autoperforanti. La dove la galleria di camerone avvicinandosi alla galleria esistente andrà ad interferire con il piedritto di monte, si procederà con una galleria parallela a sezione "mozza" con priverivestimento in spritz-beton e chiodi. La durata di tale fase è stimata in circa 3 mesi, durante la quale la circolazione ferroviaria si svolgerà su unico binario da/per Campo Marzio con rallentamento precauzionale.
- Fase 5) Interruzione totale della circolazione ferroviaria, asportazione del ballast, dei binari e della linea di contatto nel tratto oggetto dei lavori. Successivamente si eseguirà demolizione parziale del rivestimento della galleria esistente, per campi limitati, e cucitura del priverivestimento strutturale della nuova galleria con quello esistente. La durata di tale fase è stimata in circa 3 mesi.
- Fase 6) Ripristino della circolazione ferroviaria da/per Campo Marzio solo sul binario dispari utilizzando la nuova galleria verso Aurisina.

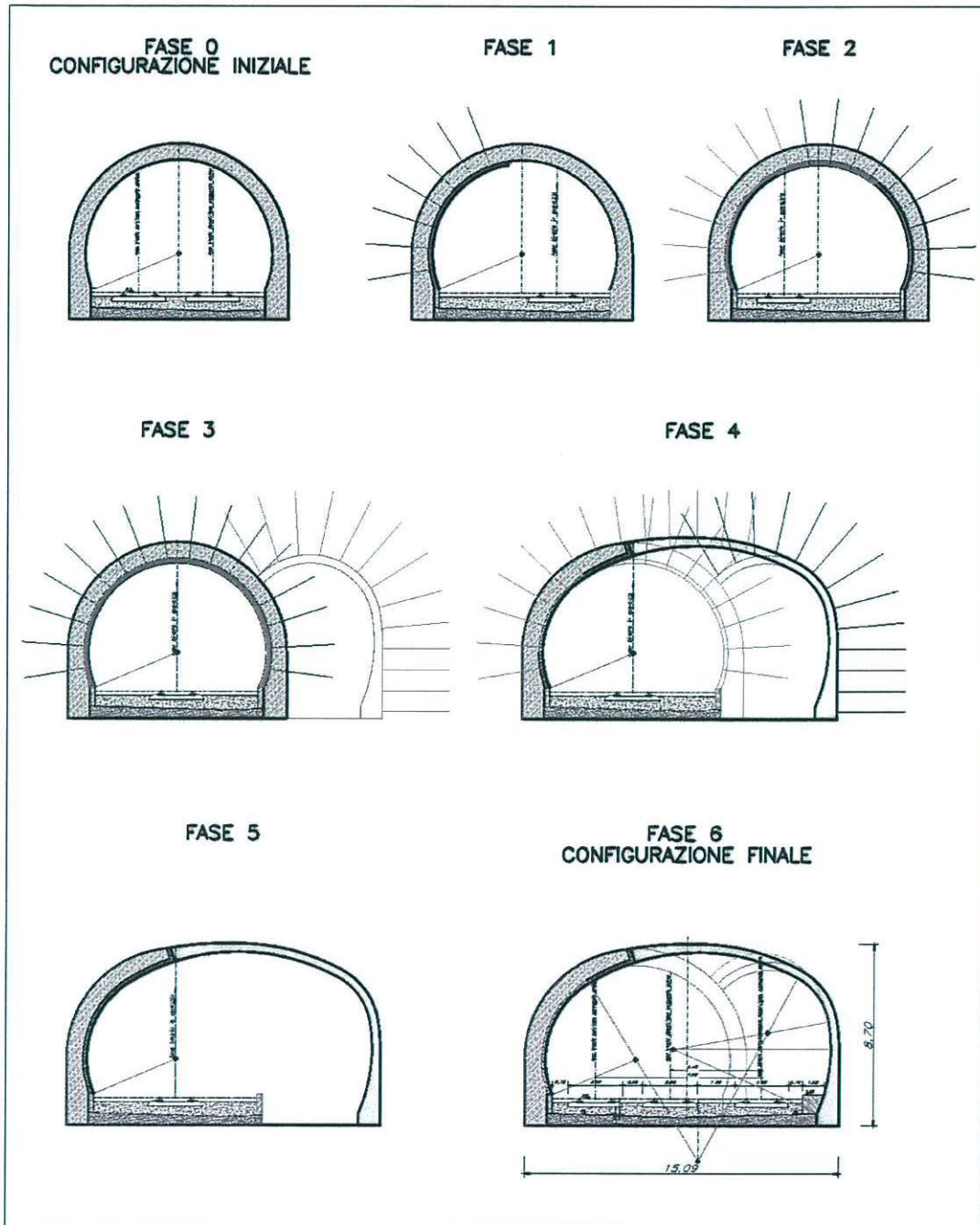


Fig. 11.7 – Schema delle fasi realizzative del camerone di innesto alla Linea di Cintura B.D.

	LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE					
	PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L344	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 68 di 84

Camerone di innesto binario pari

Con la riattivazione della circolazione ferroviaria solo sul binario dispari della nuova galleria e il mantenimento dell'interruzione dell'esercizio nel tratto a monte del camerone di innesto binario pari, si rende possibile la realizzazione di quest'ultima opera adottando stavolta la consueta tecnica dell'allargo in scavo tradizionale. Il camerone presenta uno sviluppo di circa 128 m e sezioni interne molto ampie, la maggiore misura circa 23 metri con un'area di scavo di 360 m³. Le dimensioni di questo camerone impongono un'attenzione particolare per la sua realizzazione, che prevede, per i profili più ampi, la parzializzazione della sezione di scavo. La durata di tale intervento è stimata in circa 12 mesi.

11.2.3 Pozzi di aggotamento e pozzi di disconnessione fumi

La tecnica impiegata per lo scavo di tali opere sarà quella in tradizionale per sottomurazione per sfondi limitati, con mezzi meccanici (martellone demolitore, escavatore) in relazione alle caratteristiche geotecniche dei terreni. Lo scavo sarà preceduto da una corona perimetrale di invito realizzato con micropali della profondità di circa 10m. Al termine di ogni sfondo si procederà alla posa in opera del rivestimento di prima fase (centine e spritz-beton). Tra il rivestimento provvisorio (calcestruzzo proiettato) e quello definitivo (calcestruzzo vibrato entro casseri) si prevede l'impermeabilizzazione completa costituita da una membrana in polietilene o in PVC, su supporto di tessuto non tessuto.

Per i pozzi di aggotamento, una volta raggiunto il fondo, il collegamento con i collettori/canalette delle gallerie è realizzato con la tecnica dello spingi tubo (cfr. § 8.6.1 e § 8.6.2) .

Per quanto riguarda il pozzo di aggotamento per liquidi pericolosi, la vasca di raccolta, ricavata sul fondo del pozzo, verrà realizzata con materiali e tecniche che garantiscono la completa tenuta idraulica: doppia impermeabilizzazione, calcestruzzo con classe di esposizione XA3, rivestimento con resine epossidiche (cfr. § 8.6.2).

11.2.4 L'uscita d'emergenza laterale pedonale della galleria a doppio binario GN02

Quest' opera prevede un cantiere dedicato e pertanto la sua realizzazione non vincola i lavori della galleria principale.

L'opera sarà eseguita in tradizionale con pendenza a scendere dell'8%.

Dalla galleria di linea saranno invece realizzati il camerone di allargo di collegamento con l'uscita di emergenza e il camerone tecnologico. Il cunicolo pedonale, che dal camerone di allargo by-passa la galleria di linea sotto l'arco-rovescio per consentire l'accesso all'altro binario, sarà realizzato per ultimo.

In relazione alle caratteristiche geotecniche dei terreni, lo scavo potrà essere condotto mediante demolitore meccanico (o esplosivo) o escavatore. Effettuato lo scavo (a sezione intera per sfondi limitati) e lo smarino, si procederà alla posa in opera dei rivestimenti di prima fase, mediante spritz-beton, bulloni e/o centine metalliche. Tra il rivestimento provvisorio (calcestruzzo proiettato) e quello definitivo (calcestruzzo vibrato entro casseri) si prevede l'impermeabilizzazione completa costituita da una membrana in polietilene o in PVC, su supporto di tessuto non tessuto.

	LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L344	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

11.2.5 I cunicoli di by-pass

I by pass potranno essere realizzati durante l'esecuzione delle gallerie di linea, a distanza adeguata dal fronte per non interferire con le operazioni di avanzamento. Effettuato lo scavo con mezzi meccanici (martello demolitore, escavatore) e lo smarino, si procederà alla posa in opera dei rivestimenti di prima fase, mediante spritz-beton e centine metalliche. L'intervento sarà completato con la posa dell'impermeabilizzazione in PVC, su supporto di tessuto non tessuto, ed il getto del rivestimento definitivo

11.3 Sezione tipo di avanzamento per scavo meccanizzato

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

La sezione tipo ha le seguenti caratteristiche:

- diametro scavo: 9.3 m
- riempimento a tergo: spessore di 15 cm circa con miscela cementizia cementizia sotto l'arco-rovescio e ghiaietto (pea-grevel) sul resto del contorno attraverso apposti fori realizzati nei conci di rivestimento
tipologia anello: anello universale
- diametro interno: 8,2 m
- numero conci:6+1
- spessore conci:40 cm
- lunghezza conci:1.5 m
- Rck: 45 MPa
- Armatura: incidenza 90 kg/mc
- Guarnizioni: in neoprene
- Collegamenti tra i conci: bulloni, barre guida, bi-block.

Le sezioni strutturali utilizzate sono del tutto analoghe ad altre per le quali è stato verificato il soddisfacimento del requisito minimo R120 come prescritto all'Allegato II § 1.2.1 "Resistenza e reazione al fuoco" del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 28 Ottobre 2005 "Sicurezza nelle Gallerie Ferroviarie"(Rif. [10]). Verifiche di dettaglio saranno sviluppate nelle successive fasi progettuali.

11.4 Lunghezze di applicazione dello scavo tradizionale e meccanizzato

Nella tabella seguente, per ciascuna galleria di linea, sono riportate: la tipologia di galleria, le progressive (riferite al B.P.), la lunghezza, la formazione/litotipo, la categoria di comportamento secondo ADECO-RS, il metodo di scavo (meccanizzato/tradizionale), le percentuali di applicazioni delle sezioni tipo (con riferimento all'elaborato di progetto "Profilo Geotecnico", Rif. [25], Rif. [26], Rif. [27] e Rif. [28]).

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
 SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L344	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	70 di 84

Si precisa che (cfr § 10.2.2), in corrispondenza delle zone di faglia individuate, è stato previsto un comportamento deformativo allo scavo secondo ADECO-RS di categoria "C", con applicazione di sezioni tipo corrispondente secondo la percentuale indicata nell'ultima colonna della suddetta tabella.

	Tipologia di galleria	da progr.	a progr.	L (m)	Formazioni	Litotipo	Categoria di comportamento o secondo ADECO-RS	Metodo di scavo	Percentuali di applicazione sezioni tipo	
Linea AV/AC - Ronchi-Aurisina	GN02	Singola canna a Doppio binario	9+765.00	10+850.00	1.085	Calcari di Monte Coste	Calcari Neri	stabile (A)	Tradizionale	A=80% - B=20%
	GN03	Doppia canna a singolo binario	12+775.00	12+880.00	105	Formazione di Monrupino	Alternanza di dolomie e calcari	stabile (A)	Tradizionale	A=60% - B=40%
	GN04	Doppia canna a singolo binario	13+150.00	17+675.00	4.525	Calcari di Monte Coste - Formazione di Monrupino	Calcari Neri - Alternanza di dolomie e calcari	stabile (A)	Tradizionale	A=65% - B=25% - C=10%
	GN05	Doppia canna a singolo binario	17+950.00	22+685.00	4.735	Formazione di Monrupino - Calcari di Aurisina	Alternanza di dolomie e calcari - Calcari a Rudiste	stabile (A)	Tradizionale	A=50% - B=40% - C=10%
Linea AV/AC Aurisina - Trieste Linea di Cintura	GN11	Singola canna a Doppio binario	25+052.00	25+389.00	337	Calcari di Aurisina	Calcari a Rudiste	stabile (A)	Tradizionale	A=60% - B=25% - C=15%
	GN13	Doppia canna a singolo binario	25+662.80	28+527.84	2.865	Calcari di Aurisina - Formazione Liburnica	Calcari a Rudiste - Calcari Terziari	stabile (A)	Tradizionale	A=85% - B=15%
	GN15	Doppia canna a singolo binario	28+677.84	36+510.28	7.832	Flysch di Trieste	Arenarie e Marne	stabile a breve termine (B)	Meccanizzato	-

Tabella lunghezze di applicazione scavo tradizionale e meccanizzato

11.5 Fasi realizzative

Nel presente paragrafo sono sintetizzate le fasi realizzative delle gallerie della tratta Ronchi-Trieste.

Per quanto riguarda i tempi di realizzazione delle opere, si rimanda agli specifici elaborati di progetto.

	LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE					
	PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L344	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 71 di 84

11.5.1 Subtratta Quadruplicamento Bivio S.Polo - Rilocalazione linea storica Venezia-Trieste

Nell'ambito dei lavori per la rilocalazione della linea storica Venezia-Trieste, resa necessaria per le interferenze dell'attuale tracciato con la futura linea AV/AC, la galleria naturale GN01, di 725m circa, sarà realizzata prima della galleria artificiale GA05 della linea AV/AC, che la sovrappassa a distanza molto ridotta dalla calotta. La galleria verrà scavata in tradizionale dall'imbocco lato Ronchi, mentre su lato Trieste verranno eseguite solo le opere di imbocco. Le gallerie artificiali policentriche (GA02 e GA03), previste agli imbocchi, verranno realizzate al termine dell'esecuzione della galleria naturale.

11.5.2 Subtratta Ronchi-Aurisina

In questa tratta tutte le gallerie sono previste in scavo tradizionale.

- **GN02:** galleria a doppio binario di 1.085m circa, l'avanzamento in tradizionale a piena sezione è previsto solo dall'imbocco lato Ronchi mentre su lato Trieste verranno predisposte solo le opere di imbocco. Le gallerie artificiali policentriche (GA07,GA08) previste agli imbocchi, verranno realizzate al termine dell'esecuzione della galleria naturale.
- **GN03:** galleria a singolo binario a doppia canna di 105m circa, l'avanzamento in tradizionale a piena sezione è previsto solo dall'imbocco lato Ronchi, mentre su lato Trieste verranno predisposte solo le opere di imbocco. Le fasi prevedono l'esecuzione in serie delle due gallerie e successivamente delle gallerie artificiali scatolari (GA10) e policentriche (GA11) previste agli imbocchi.
- **GN04:** galleria a singolo binario a doppia canna di lunghezza pari a 4.525m circa. L'avanzamento in tradizionale a piena sezione è previsto da entrambi gli imbocchi con uno sfalsamento temporale tra le due canne di 60 giorni.
- **GN05:** galleria a singolo binario a doppia canna di lunghezza pari a 4.735m circa. Vale quanto riportato per la GN04. Da lato Ronchi verranno realizzati entrambi i cameroni di interconnessione del Bivio Aurisina GN6 e GN8, in scavo tradizionale per sezioni parzializzate. Al termine degli scavi delle due gallerie naturali, rispettivamente GN04 e GN05, verranno realizzate le gallerie artificiali policentriche (GA12,GA14) previste agli imbocchi e quella di collegamento (GA13) tra le due gallerie naturali.
- **GN07 e GN09:** gallerie di interconnessione a singolo binario, rispettivamente di lunghezza 1310m circa quella del binario dispari e 509m quella del binario pari, che verranno realizzate entrambe dall'imbocco lato Ronchi, in scavo tradizionale a piena sezione. Successivamente verranno realizzate le gallerie artificiali policentriche (rispettivamente GA15 e GA16) previste agli imbocchi lato Ronchi.

11.5.3 Subtratta Aurisina – Ronchi

Il tratto in sotterraneo è costituito da un'unica galleria naturale con diverse tipologie di opere. E' previsto un solo fronte d'avanzamento lato Aurisina da dove, in serie, si eseguiranno tutte le opere previste come di seguito indicato:

- **GN11:** galleria a doppio binario di 337m circa, eseguita in scavo tradizionale a piena sezione.

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L344	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 72 di 84
--	------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	--------------------

- **GN12:** camerone di diramazione di 274m circa, eseguito in scavo tradizionale a sezioni parzializzate.
- **GN13:** galleria a singolo binario a doppia canna di 2.865m, eseguita in scavo tradizionale a piena sezione con sfalsamento temporale di 60 giorni tra le due gallerie;
- **GN14:** cameroni di lancio delle TBM di 150m di sviluppo, eseguiti in scavo tradizionale a sezioni parzializzate;
- **GN15:** galleria a singolo binario a doppia canna di 7.832m circa, eseguita in scavo meccanizzato a piena sezione e posa rivestimento prefabbricato, con uno sfalsamento temporale tra le due canne di 60 giorni. Al termine dello scavo, previsto quando la distanza tra le nuove gallerie e la galleria linea di cintura misurerà circa un diametro rispetto agli estradossi dei rispettivi rivestimenti, i back-up e le parti interne delle TBM verranno smontati e portati all'esterno attraverso le gallerie appena realizzate, lasciando definitivamente nel terreno solo i mantelli. Il tratto di rivestimento finale sarà quindi eseguito in opera sfruttando gli scudi delle TBM come casseri esterni. Da qui lo scavo riprenderà in tradizionale per la realizzazione dei cameroni di innesto.
- **GN16 e GN17:** gallerie di innesto alla linea di cintura di lunghezza rispettivamente 124m e 125m, eseguiti in scavo tradizionale a sezioni parzializzate.

11.6 Rischi potenziali per la realizzazione delle gallerie

Le principali criticità, legate al contesto geomorfologico e geotecnico, che potrebbero avere ripercussioni sulla fase realizzativa delle gallerie, sono le seguenti (cfr. § 9.1.4):

- a) Intersezione di strutture carsiche verticali e complesse (pozzi e gallerie) nella porzione di tracciato che si svolge nei calcari caratterizzato dal fenomeno del carsismo;
- b) Intercettazione di fasce tettonizzate presenti sia nel Flysch che, in misura minore, nei calcari.

11.6.1 Modalità per il superamento di forme carsiche

Per il superamento delle forme carsiche riscontrate lungo il percorso (cfr. § 9.3.1) si prevedono alcune modalità di intervento, intese come indicative e non esaustive, di alcuni casi che si potrebbero verificare. Tali modalità, peraltro già adottate in contesti analoghi, dovranno essere tarate in base alle risultanze del monitoraggio in corso d'opera previsto (cfr. § 11.4).

Di seguito si riportano le modalità di intervento previste ed i relativi schemi:

1. Cavità vuota, di modeste dimensioni, interessante la zona di piedritto ed una porzione di arco-rovescio: la cavità tende a restringersi verso il basso.

Modalità di intervento: riempimento con materiale grossolano di pezzatura variabile e completamento con magrone di calcestruzzo (fig. 11.8). Superamento con posa di centine e spritzt-beton.

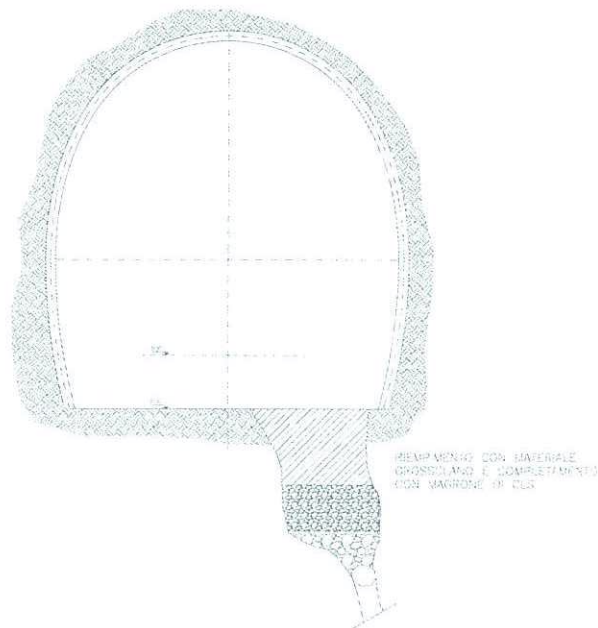


Figura 11.8 - Schema d'intervento 1.

2. Cavità assimilabile a pozzo, vuota, stabile, che si sviluppa sino a profondità non nota, che da una parte si sviluppa orizzontalmente sino a intercettare la galleria su un paramento.

Modalità di intervento: posa di una cassaforma nel ramo orizzontale della cavità a circa 1-2 m dietro l'estradosso della galleria e successivo riempimento con magrone di calcestruzzo o spritz-beton (Fig. 11.9).

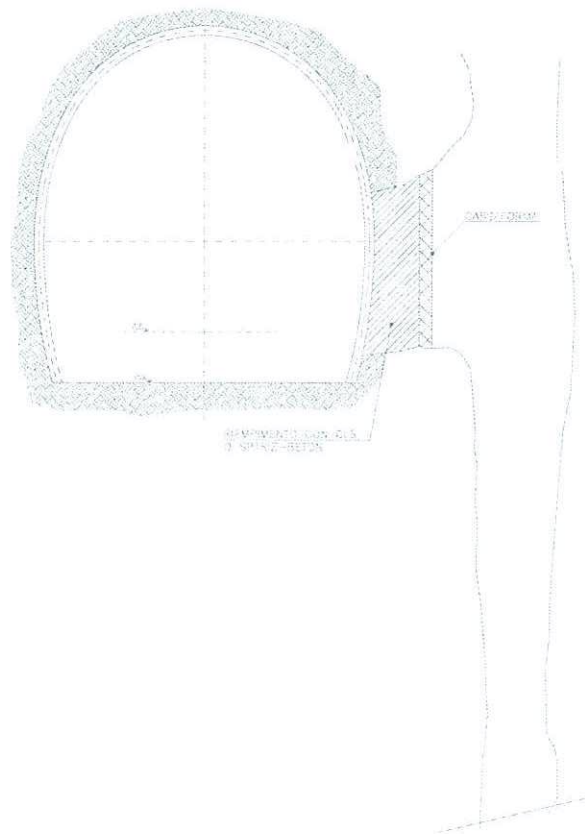


Figura 11.9 - Schema d'intervento 2.

3. Cavità assimilabile a pozzo, vuota, con pareti alterate, di grande diametro che si sviluppa dalla superficie e in fondo tende a restringersi, e che intercetta parzialmente la galleria da un lato.

Modalità di intervento: posa di spritzt sulle pareti verticali del pozzo sin dove possibile. Eventuale consolidamento delle pareti del pozzo con chiodature radiali. Chiusura del fondo con un tappo formato da grossi blocchi e successivo getto di uno strato di magrone di calcestruzzo. Posa di profilati verticali poggiati sul magrone, che raggiungono una quota di 1-2 metri superiore a quella dell'estradosso di calotta, per consentire la chiusura del vano con tavole di legno o lamiere. Riempimento del vano con malta cementizia o malte espansive sino all'estradosso del prerivestimento (Fig. 11.10).

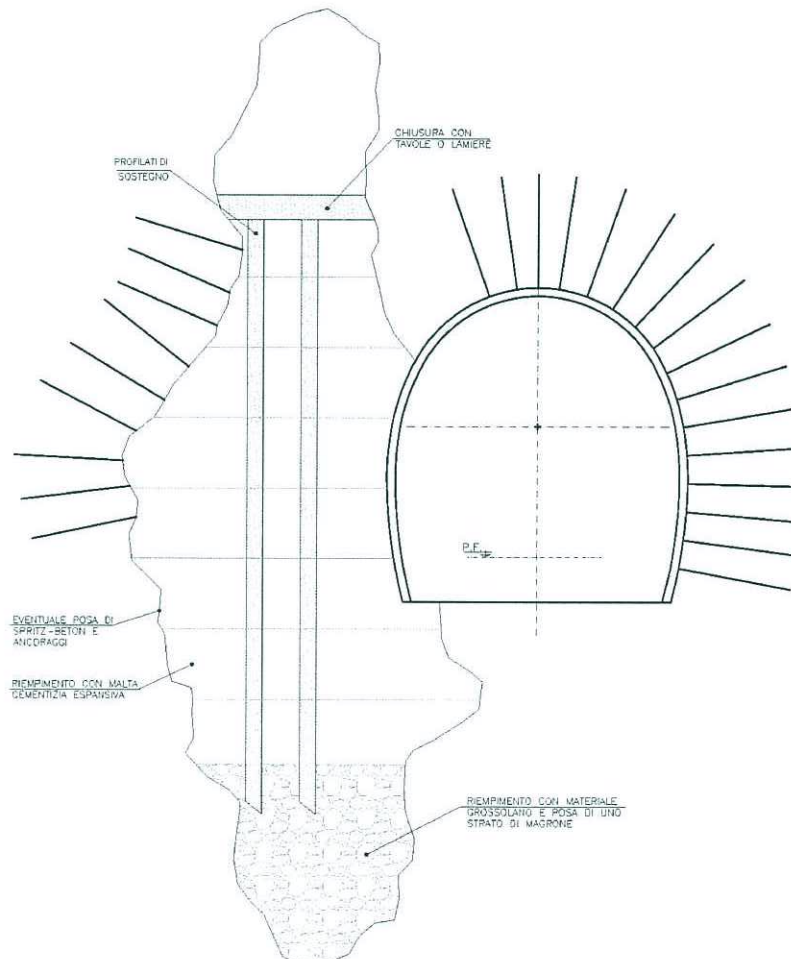


Figura 11.10 - Schema d'intervento 3.

4. Cavità a pozzo, di lunghezza max. 1.00 m in senso longitudinale e profondità non nota che intercetta la galleria in asse (Fig. 11.11).

Modalità di intervento: posa di putrelle e lamiere al di sotto dell'estradosso dell'arco-rovescio, attraversamento con centine, pernerovmetal e spritz-beton, successivo riempimento della cavità.

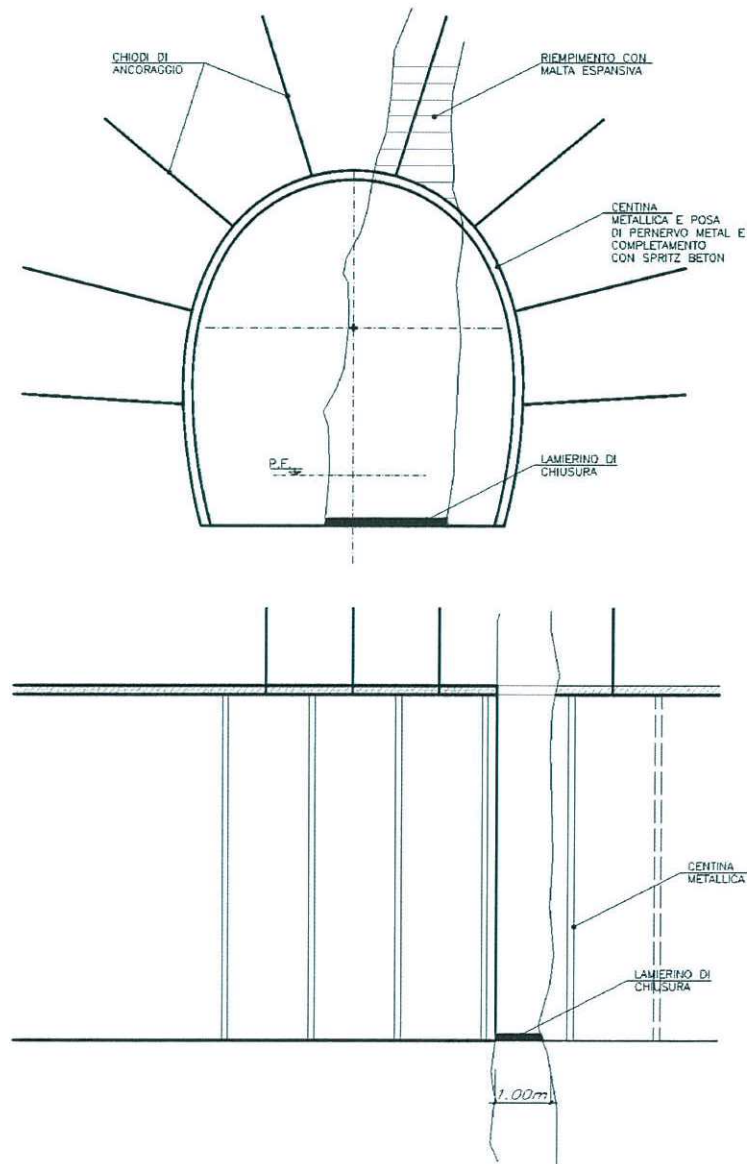


Figura 11.11 - Schema d'intervento 4.

5. Cavità assimilabile a pozzo che intercetta la galleria in asse, di grandi dimensioni con base che si ferma all'altezza dell'arco rovescio, parzialmente riempita sino al piano dei centri della galleria con materiale detritico di grossa pezzatura misto a materiale sciolto (Fig.11.12).

Modalità di intervento: realizzazione di un muro tampone in calcestruzzo, riempimento del vuoto sopra il materiale detritico con malta cementizia iniettata attraverso fori eseguiti nel tampone. Eventuali iniezioni di consolidamento del materiale sciolto attraverso canne valvolate. Superamento mediante applicazione della sez. tipo C2.

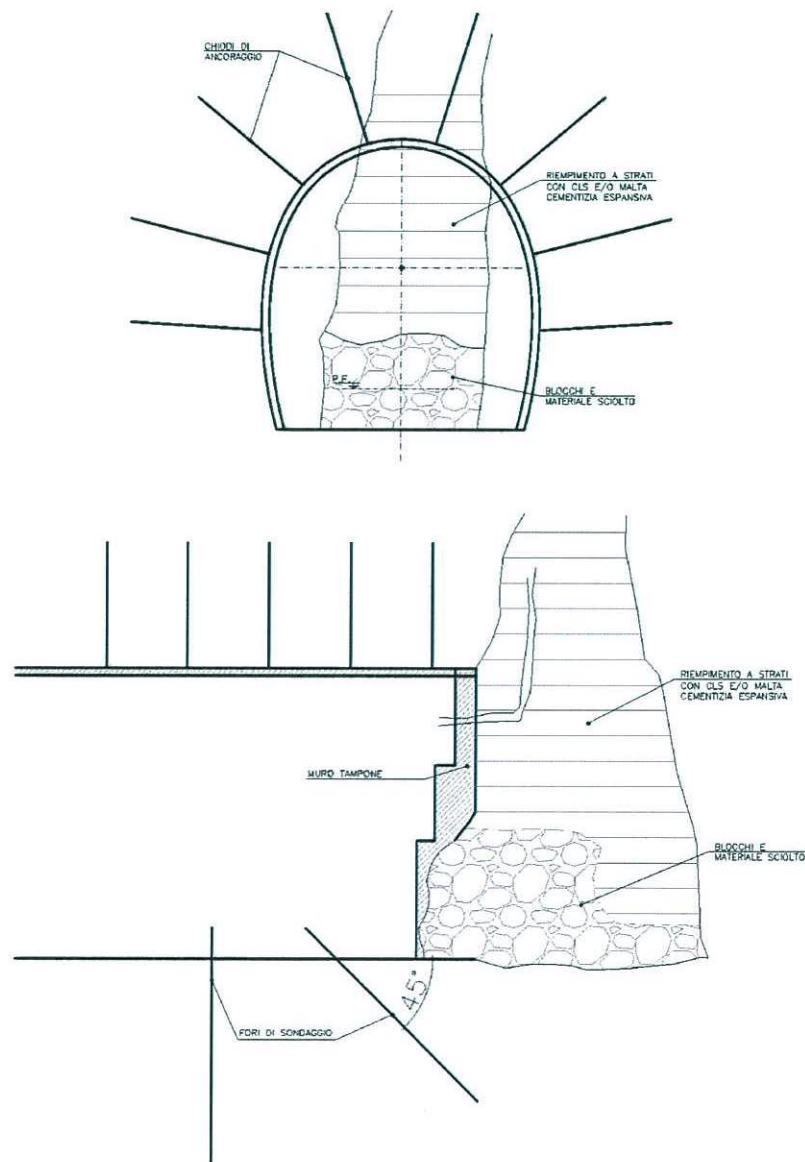


Figura 11.12 - Schema d'intervento 5.

6. Cavità di grandi dimensioni riempita con materiale detritico (blocchi di grosso diametro e materiale fino) che intercetta la galleria in asse (Fig. 11.13)

Modalità di intervento: Posa al fronte di un tampone in spritz-beton, esecuzione di iniezioni cementizie di riempimento al fronte tramite canne valvolate. Superamento mediante applicazione della sez. tipo C2 rinforzata con infilaggi metallici in calotta.

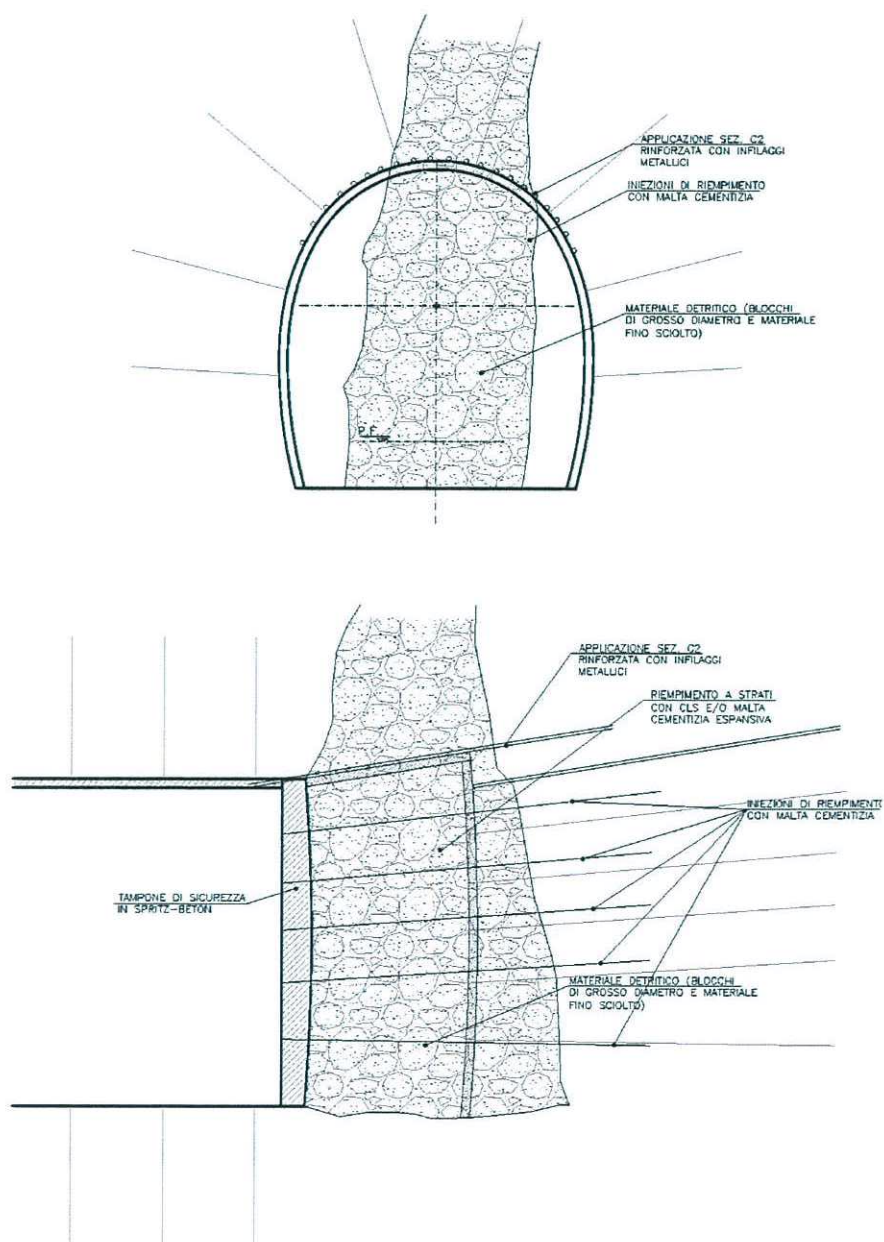


Figura 11.13 - Schema d'intervento 6.

In presenza di forme epigee ed ipogee che interferiscono con le gallerie artificiali policentriche si prevedono le seguenti modalità di intervento:

1. Per forme epigee estese ma comunque di modesta profondità accertata interessanti il fondo scavo, riempimento con magrone di calcestruzzo direttamente scaricato dalle autobetoniere (v. fig.11.14)



Figura 11.14- Schema d'intervento per gallerie artificiali.

2. Per forme ipogee presenti a pochi metri sotto il piano di fondo scavo, iniezioni di riempimento con malte cementizie attraverso fori verticali armati con tubi valvolati, di profondità da stabilire in relazione ai risultati dei sondaggi superficiali, disposti a maglie di 1,5 x 1,5 m ed estese sulla superficie dove ricade l'opera.

11.6.2 Modalità per il superamento di fasce tettonizzate

Nelle gallerie realizzate in scavo tradizionale la modalità di intervento consiste nell'applicazione di una sezione tipo pesante C2, con l'intervento di precontenimento in avanzamento e al contorno mediante barre in vetroresina al fronte cementati in foro con miscele cementizie, e barre VTR sul contorno dello scavo sino al piede centina cementati in foro con miscele espansive e l'eventuale posa di drenaggi in avanzamento. In tal modo si realizza una fascia consolidata sul contorno della galleria esteso sino al piede della centina. L'intervento è completato con la posa del preresivestimento, costituito da centine ravvicinate e spritz-beton armato fibrorinforzato.

Nelle gallerie in scavo meccanizzato la modalità di intervento consiste nel realizzare in calotta una fascia consolidata, mediante tubi in VTR ed iniezioni di miscele cementizie più eventuali drenaggi attraverso i fori appositamente predisposti sulla parte superiore del mantello della TBM.

	LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L344	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 80 di 84

11.7 Il monitoraggio per la fase realizzativa

Durante la realizzazione delle opere in sotterraneo si dovrà predisporre un adeguato sistema di monitoraggio, volto a verificare le scelte progettuali effettuate ed a dimensionare gli interventi previsti.

11.7.1 Monitoraggio per l'individuazione di cavità carsiche interferenti

In corrispondenza di zone caratterizzate dalla presenza di cavità note (cfr. § 9.1.3), il sistema di scavo tradizionale, adottato nei calcari, dovrà prevedere un continuo monitoraggio dell'ammasso, sia diretto che indiretto. mediante:

- sondaggi sub orizzontali in avanzamento, a distruzione di nucleo, della lunghezza di 50 metri, sovrapposizione 10 metri e inclinazione radiale variabile sino ad un max. di 45°, secondo lo schema riportato nella fig. 11.15;
- per le gallerie a singolo binario a doppia canna, eventuali ulteriori sondaggi radiali eseguiti dalla canna che avanza per prima, secondo lo schema riportato in fig. 11.15, per indagare in anticipo sulle possibili interferenze con le cavità carsiche presenti sul tracciato della seconda galleria;
- indagine geoleitriche eseguite sia in avanzamento, con campo di rilievo variabile da 2 a 3 diametri, sia trasversalmente per un raggio di 20 metri. Tale sistema di indagine è stato sperimentato con successo in alcune gallerie ferroviarie eseguite in Germania (liena AV Norimberga-Ingolstadt) in ammassi che presentavano caratteristiche simili. L'esame a consuntivo dei dati permette, allo stato attuale, di definire un utilizzo del sistema entro distanze di circa 20 m dal paramento, con individuazione di cavità di lunghezza superiore a 5 metri.
- Eventuali sondaggi verticali da superficie, a distruzione di nucleo, da eseguirsi in funzione: della localizzazione accertata delle cavità di cui però non è noto del tutto o in parte né l'estensione in orizzontale né lo sviluppo in profondità, della possibilità di accesso ai luoghi e delle coperture.
- Per quanto riguarda le gallerie artificiali policentriche dovranno essere eseguiti sondaggi verticali sull'area dove ricadono le predette opere, per profondità spinte sino a 15-20 metri.

Tale campagna di monitoraggio ha lo scopo di individuare anticipatamente le possibili interferenze con le cavità carsiche, individuare le tipologie di intervento da adottarsi per il superamento delle medesime e tarare le modalità di avanzamento.

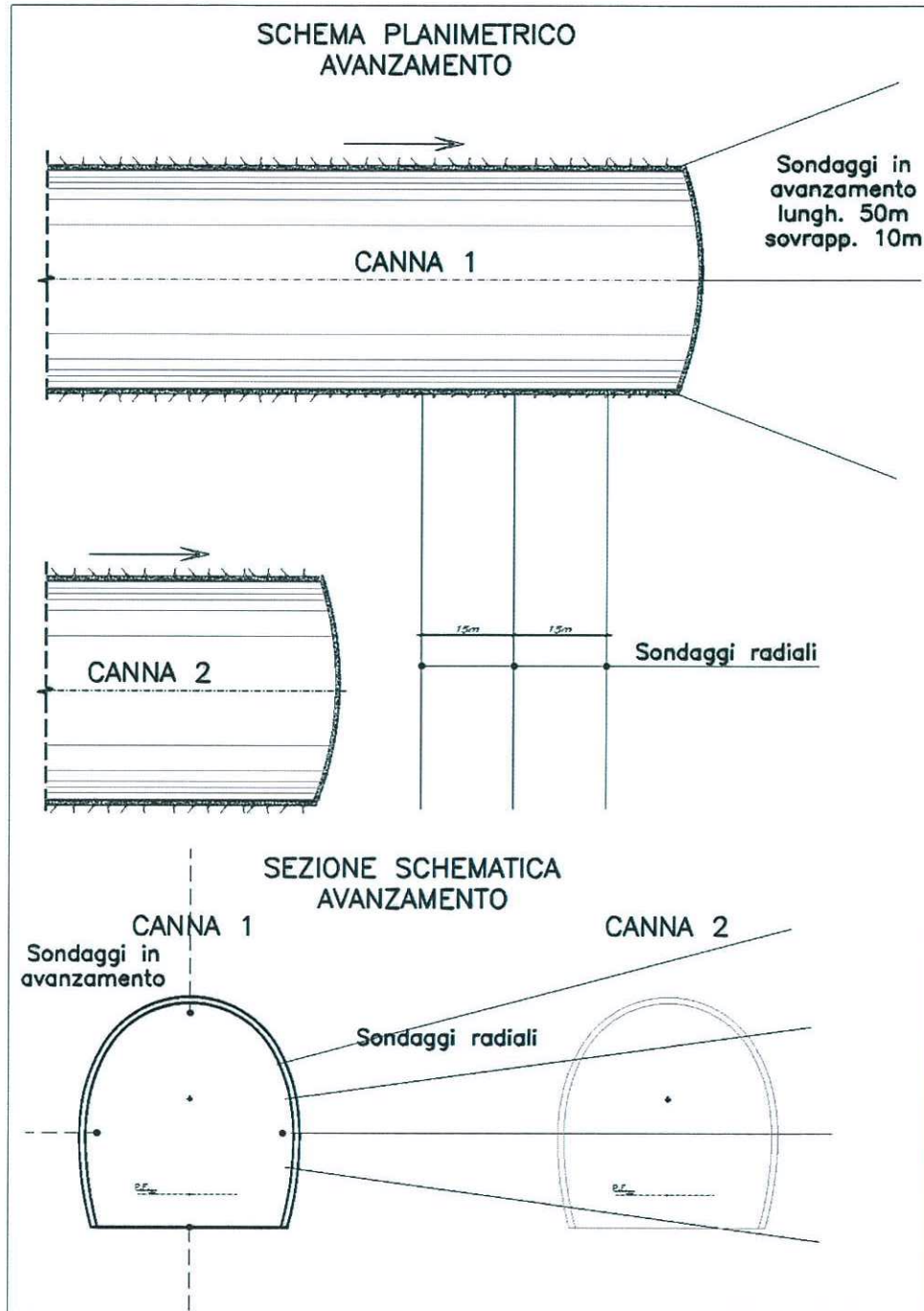


Figura 11.15- Schema di monitoraggio per l'individuazione delle cavità carsiche.

11.7.2 Monitoraggio interno

Al fine di verificare l'entità degli interventi previsti (consolidamento e confinamento) e la successione delle fasi esecutive (in particolare: cadenze di scavo e distanze di getto dal fronte dei rivestimenti definitivi in funzione dei livelli deformativi del fronte e del cavo), si prevede la predisposizione di:

- Rilievi del fronte di scavo, per la restituzione delle caratteristiche geologiche-geostrutturali dell'ammasso al fronte di scavo; andranno previsti rilievi di tipo speditivo-pittorico ogni 20-30 m, con rilievi più dettagliati, di tipo analitico, ogni 150-200 o in corrispondenza di passaggi particolarmente significativi.
- Stazioni di misura delle convergenze a cinque chiodi, per il rilevamento tridimensionale degli spostamenti del profilo di scavo, disposte ad un interasse di 50-100 m in funzione del contesto geomeccanico; nelle tratte caratterizzate da ammassi alquanto scadenti, dove si prevede la esecuzione di consolidamenti in avanzamento, andranno ubicate ogni campo di avanzamento, al fine di calibrare l'intensità dei trattamenti.
- Stazioni di misura dell'estrusione al fronte mediante estrusometro, solo in ammassi spingenti con significative deformazioni estrusometriche al fronte; tale misura viene condotta mediante la posa di una colonna estensimetrica, del tipo "sliding deformer", per una lunghezza in avanzamento di 30-40 m.
- Stazioni di misura dello stato tensionale nei rivestimenti mediante celle di carico al di sotto del piede della centina e/o barrette estensimetriche da posizionarsi sull'anima del profilato centinato.
- Stazioni di misura dello stato tensionale nei rivestimenti definitivi mediante prove di martinetto piatto o mediante barrette estensimetriche annegate nei getti.
- Stazioni di misura delle deformazioni e del livello di plasticizzazione al contorno del cavo, mediante estensimetri multibase, ubicati in corrispondenza della calotta e delle reni.
- Stazioni di misura delle pressioni neutre al contorno del cavo, mediante posa di piezometri radiali con celle piezometriche; al fine di stimare le portate d'acqua in galleria si prevede infine l'impiego di misuratori di portata.



LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L344	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	83 di 84

12 PROGRAMMA DI INDAGINI PER LE SUCCESSIVE FASI DI PROGETTAZIONE

12.1 Indagini geotecniche

Nelle successive fasi progettuali, per definire in modo più dettagliato il contesto geologico, geomorfologico e geomeccanico e le condizioni idrogeologiche, sarà necessario svolgere un'ulteriore campagna di indagini ed approfondire la caratterizzazione geotecnica degli ammassi interessati dallo scavo delle gallerie naturali. In particolare dovrà essere maggiormente indagata la porzione di tracciato che ricade nei calcari compresa tra l'imbocco lato Aurisina della galleria GN11 e i cameroni di lancio delle TBM sino al contatto col Flysch, al fine di verificare la possibilità di poter adottare anche in questa tratta la tecnica dello scavo meccanizzato. Qualora ciò venisse confermato non sarà più necessario realizzare i cameroni di lancio e le TBM potranno essere montate all'esterno in prossimità dell'imbocco della GN11 e traslate nel tratto di galleria eseguito in scavo tradizionale (GN11 e GN12). L'anticipazione dello scavo meccanizzato a partire dal camerone di diramazione comporterebbe, come già osservato, una riduzione dei tempi di realizzazione stimabili in circa 2 anni.

Infine, particolare cura dovrà essere rivolta ad arricchire il livello di conoscenze del fenomeno carsico, in particolare nella zona dei calcari di Aurisina.

13 CONCLUSIONI

La relazione ha illustrato il progetto preliminare delle gallerie naturali previste nella tratta Ronchi-Trieste compresa nella nuova linea AV/AC Venezia Trieste.

Dopo una descrizione del tracciato e delle principali opere, è stato sinteticamente presentato il quadro di riferimento geologico ed idrogeologico, che ha consentito di individuare le problematiche geotecniche e geomorfologiche connesse alle soluzioni progettuali. La sintesi della fase conoscitiva di studio geologico e geotecnico è riportata nel "Profilo Geotecnico" di progetto.

Sulla base del modello geotecnico, formulato nella fase conoscitiva, si è proceduto alla previsione della risposta tensio-deformativa dell'ammasso allo scavo (fase di diagnosi). Tale valutazione è stata condotta con riferimento alle tre categorie di comportamento fondamentali individuate nel metodo ADECO-RS.

Dall'analisi del tracciato plano-altimetrico, dall'inquadramento geologico-geomorfologico-idrogeologico, dalla previsione della risposta deformativa allo scavo, e in funzione della configurazione delle gallerie è derivata la scelta dei metodi di scavo più appropriati per la realizzazione delle gallerie naturali e delle altre opere in sotterraneo (cameroni, cunicoli di by-pass, accessi di emergenza all'esterno, pozzi). Per la fase realizzativa sono stati individuati gli schemi operativi di costruzione e gli eventuali rischi che possono incidere sulla realizzazione delle opere.

Lo studio condotto in questa fase di progettazione ha permesso di identificare le principali tematiche e criticità e di individuare, sulla base dei dati disponibili, le soluzioni progettuali che sembrano più idonee. Tali soluzioni saranno oggetto di approfondimenti e verifiche nelle successive fasi della progettazione.