

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

U.O. GALLERIE

PROGETTO DEFINITIVO

### LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA

Relazione tecnica delle opere in sottterraneo

SCALA:

-

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

L I 0 2    0 2    D    0 7    R G    G N 0 0 0 0    0 0 1    B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione definitiva		Ottobre 2018	R.Pizzol	Ottobre 2018	M.T.Bianchi	Ottobre 2018	A. Sciotti Ottobre 2018
B	Emissione definitiva		Ottobre 2018	R.Pizzol	Ottobre 2018	M.T.Bianchi	Ottobre 2018	ITALFERR S.P.A. U.O. GALLERIE dott. Ing. Alessandra Sciotti Ordine degli Ingegneri di Roma n° 19848

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	SCOPO DEL DOCUMENTO .....	4
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3.1	LEGGI E NORMATIVE COGENTI.....	4
3.2	NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI .....	5
3.3	PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF) .....	5
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
4.1	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	5
4.2	DOCUMENTI CORRELATI .....	6
4.3	DOCUMENTI SUPERATI.....	6
5	ALLEGATI .....	6
6	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO .....	6
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	7
7.1	IL TRACCIATO E LA GALLERIA DI LINEA .....	7
7.2	USCITA DI EMERGENZA.....	9
7.3	NICCHIE.....	10
8	METODOLOGIA DI LAVORO .....	11
9	FASE CONOSCITIVA .....	12
9.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO .....	12
9.1.1	<i>Unità della Fossa Bradanica.....</i>	<i>12</i>
9.2	ASPETTI GEOMORFOLOGICI SPECIFICI .....	12
9.3	CARATTERI IDROGEOLOGICI.....	13
9.4	INDAGINI GEOTECNICHE .....	13
9.4.1	<i>Indagini e prove in sito/laboratorio .....</i>	<i>14</i>
9.5	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	14

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	LI02	02	D07RG	GN 00 00 001	B	3 di 35

10	FASE DI DIAGNOSI.....	16
10.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO .....	16
10.2	DETERMINAZIONE DELLE CLASSI DI COMPORTAMENTO .....	17
10.3	DEFINIZIONE DELLE TRATTE A COMPORTAMENTO TENSIO-DEFORMATIVO OMOGENEO.....	17
11	FASE DI TERAPIA: DEFINIZIONE DELLE SEZIONI DI AVANZAMENTO .....	19
11.1	METODOLOGIA DI SCAVO .....	19
11.1.1	<i>11.1.1 Criteri di scelta del sistema di scavo.....</i>	19
11.1.2	<i>11.1.2 Scavo tradizionale. Galleria di linea a doppio binario.....</i>	19
11.1.3	<i>11.1.3 Scavo tradizionale. Uscita di emergenza.....</i>	23
11.2	RISCHI POTENZIALI CHE INCIDONO SULLA REALIZZAZIONE DELLE GALLERIE .....	25
11.2.1	<i>11.2.1 Instabilità del fronte e del cavo .....</i>	25
11.2.2	<i>11.2.2 Venute d'acqua.....</i>	25
11.2.3	<i>11.2.3 Fenomeni di subsidenza/interferenza con opere preesistenti .....</i>	25
11.2.3.1	<i>11.2.3.1 Cedimenti in condizioni di campo libero – .....</i>	26
11.2.3.2	<i>11.2.3.2 Valutazione del danneggiamento degli edifici e definizione delle categorie di danno.....</i>	27
11.2.3.3	<i>11.2.3.3 Analisi dei Risultati.....</i>	29
11.2.4	<i>11.2.4 Interferenza sorgenti .....</i>	30
11.2.5	<i>11.2.5 Esposizione ambientale e attacco chimico .....</i>	30
11.2.6	<i>11.2.6 Sismicità .....</i>	32
12	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO.....	33
12.1	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA .....	33
13	CONCLUSIONI .....	35

	<b>LINEA PESCARA-BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>LOTTI 2 E 3 -RADDOPPIO TERMOLI – RIPALTA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	LI02	02	D07RG	GN 00 00 001	B	4 di 35

## 1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto definitivo del Raddoppio della Tratta Termoli – Lesina, afferente alla linea ferroviaria storica Pescara – Bari.

Nel tratto in studio la linea ferroviaria è attualmente a binario singolo; l'intervento di raddoppio della linea esistente è stato suddiviso, in sede di progetto preliminare, in tre lotti funzionali. Nel seguito della relazione sono analizzati gli aspetti relativi alla progettazione definitiva delle opere civili in sotterraneo che interessano i Lotti 2 e 3 del Raddoppio della linea tra Termoli e Ripalta.

Le opere in sotterraneo previste in progetto sono le seguenti:

- La galleria di linea denominata “Campomarino”, che si sviluppa complessivamente per 1666,70 m, di cui 1552,10 m in galleria naturale e 114,60 m in galleria artificiale.
- Un ingresso/uscita di emergenza pedonale di lunghezza pari a circa 350 metri.

## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Scopo del documento è la descrizione delle soluzioni tecnico-progettuali individuate per la realizzazione delle tratte in naturale delle gallerie e delle relative opere accessorie.

## 3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

### 3.1 Leggi e normative cogenti

- Rif. [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 14/01/2008, “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”;
- Rif. [2] C.S.LL.PP., Circolare n°617 del 02/02/2009, “Istruzioni per l’applicazione delle “nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al DM 14/01/2008”;
- Rif. [3] Decreto Ministeriale 28/10/2005. “Sicurezza nelle gallerie ferroviarie”;
- Rif. [4] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1303/2014 - relativa alla Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente “la sicurezza nelle gallerie ferroviarie” nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- Rif. [5] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1300/2014 - relativa alla Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente le “persone a mobilità ridotta” nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- Rif. [6] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1299/2014 - relativa alla Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA PESCARA-BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>LOTTI 2 E 3 -RADDOPPIO TERMOLI – RIPALTA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	LI02	02	D07RG	GN 00 00 001	B	5 di 35

### 3.2 Normative non cogenti e raccomandazioni

Rif. [7] SIG, “Linee guida per la progettazione, l’appalto e la costruzione di opere in sotterraneo”, 1997;

Rif. [8] ITA, “Guidelines for the design of tunnels”, 1988;

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

Rif. [9] RFI, documento RFI DTC SI GA MA ISF 001 A “Manuale Progettazione Opere Civili - Parte II/Sezione 4 - Gallerie” datato Dicembre 2016;

Rif. [10] ITALFERR, Specifica Tecnica PPA.0002403 “Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali” datato Dicembre 2015.

## 4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 4.1 Documenti Referenziati

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

Rif. [11] ITALFERR, Progetto Preliminare (2017)

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

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

Rif. [13] Profilo geotecnico - Galleria Campomarino - cod. LI0202D07F6GN0000001A – Ottobre 2018.

Rif. [14] Profilo geotecnico - Galleria Campomarino - Uscita di emergenza pk 6+000 – cod. LI0202D07F6GN0000002A – Ottobre 2018.

Rif. [15] Relazione sulla valutazione delle subsidenze e verifica degli effetti indotti sulle interferenze in superficie cod. LI0202D07CLGN0000001A – Ottobre 2018

Rif. [16] Relazione fabbricati interferenti con le gallerie naturali – cod. LI0202D07SHGN0000001A - Ottobre 2018

Rif. [17] Planimetria opere interferenti con livello di danno Tav. 1 di 2 cod. LI0202D07P7GN0000001A - Ottobre 2018;

Rif. [18] Planimetria opere interferenti con livello di danno Tav. 2 di 2 cod. LI0202D07P7GN0000002A - Ottobre 2018

	<b>LINEA PESCARA-BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>LOTTI 2 E 3 -RADDOPPIO TERMOLI – RIPALTA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	LI02	02	D07RG	GN 00 00 001	B	6 di 35

## 4.2 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. [19] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.).
- Rif. [20] Lunardi P. (2015). Il controllo dell'estrusione del nucleo di terreno al fronte d'avanzamento di una galleria come strumento di stabilizzazione per la cavità - Muir Wood Lecture at the ITA/AITES World Tunnel Congress on "Promoting tunnelling in SEE Region". Dubrovnik.
- Rif. [21] Peck R.B. (1969). Deep excavations and tunnelling in soft ground. SOA Report 7th Int. Conf. SMFE Mexico City, State of the Art Volume.
- Rif. [22] O'Reilly, M.P. e New, B.M. (1982). Settlements above tunnels in the united kingdom - their magnitude and prediction. Tunnelling 82. The Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Rif. [23] Burland J.B. (1997). Assessment of risk of damage to buildings due to tunnelling and excavation. Earthquake Geotechnical Engineering, Ishihara (ed.). Balkema, Rotterdam.
- Rif. [24] Boscarding M.D., Cording E.G. (1989). Building response to excavation-induced settlement. Jnl. Geo. Engrg. ASCE, 115.
- Rif. [25] Potts, D.M. e Addenbrooke, T.I. (1997). A structure's influence on tunnelling-induced ground movements. Proc. Instn. Civ. Engrs. Geotech. Engineering.

## 4.3 Documenti Superati

Non esistono documenti superati.

## 5 ALLEGATI

Non sono presenti documenti allegati.

## 6 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

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

## 7 DESCRIZIONE DELL'OPERA

### 7.1 Il tracciato e la galleria di linea

Il tracciato di progetto prevede la realizzazione della Galleria Campomarino nel tratto tra le progressive pk 5+229 e pk 6+895 circa, per una lunghezza totale pari a  $L = 1666,70$  m; nella Tabella 1 sono riportate progressive ed estese delle opere di imbocco, comprensive di un modesto tratto in galleria artificiale (GA01, GA02) e della galleria naturale (GN01).

**Tabella 1 – Progressive della galleria di linea della tratta Termoli Lesina**

Tratta Termoli Lesina – Galleria Campomarino					
GALLERIA	Opera	pkinizio	pkfinale	Lparziali	LTOT
[-]		[m]	[m]	[m]	[m]
Campomarino	GA01	5229,15	5256,90	27,75	1666,70
	GN01	5256,90	6809,00	1552,10	
	GA02	6809,00	6895,85	86,85	

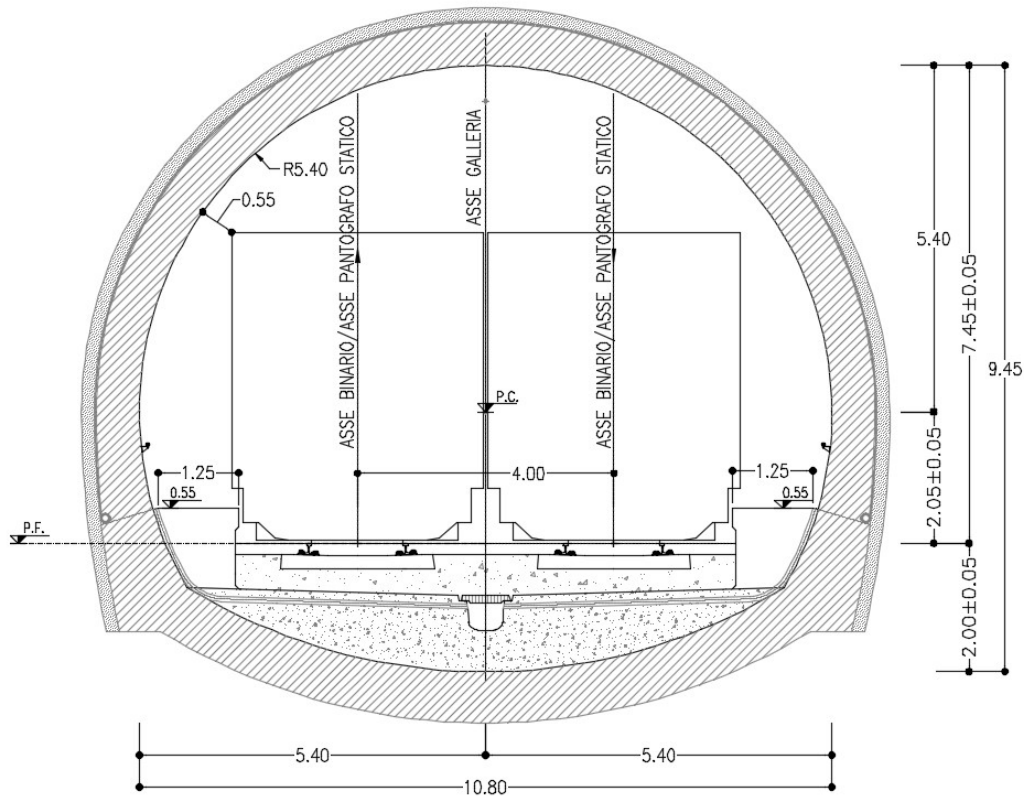
La galleria di linea è progettata nella configurazione a singola canna e doppio binario, con sezione adeguata al transito del Gabarit C (PMO n°5) e velocità di progetto  $V = 200$  km/h.

La sezione di intradosso della galleria di linea, a doppio binario per velocità  $160 < V < 200$  km/h, è in accordo con le sezioni tipo del Manuale di Progettazione delle opere civili – RFI (Rif. [9]). La sezione adottata (Rif. [9]) è una sezione policentrica con raggio di calotta e piedritti pari a 5,40 metri (con semi-apertura angolare pari a  $120,50^\circ$ ); tale sezione sviluppa un'area libera di poco superiore ai  $66 \text{ m}^2$

La sezione di intradosso delle gallerie presenta un marciapiede d'esodo con andamento del ciglio variabile in funzione della quota del binario attiguo. Nello specifico l'altezza del ciglio risulta pari a + 55 cm, misurata perpendicolarmente al piano di rotolamento del binario attiguo, mentre la distanza del ciglio dal bordo interno della più vicina rotaia è pari a 113 cm, misurata parallelamente al piano di rotolamento. Tale camminamento, presente su entrambi i lati delle gallerie, ha una larghezza non inferiore a 120 cm ed è corredato da mancorrente posto sul paramento interno della galleria ad una quota di circa 1m dal piano di calpestio del marciapiede.

Lo scavo della Galleria Campomarino è previsto con metodo di scavo tradizionale.

Il profilo longitudinale della galleria è in ascesa procedendo da Termoli verso Lesina, con valori di pendenza pari al 5.2‰ per i primi 310 m circa, per poi raggiungere il 12 ‰ per il restante tratto.



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

La galleria presenta quota di imbocco lato Termoli, riferita al piano ferro, a circa 16.80 m s.l.m., mentre quella lato Lesina è pari a circa 34.28 m s.l.m.. A partire dall'imbocco lato Termoli, le coperture della galleria naturale crescono rapidamente da 5 a 20 metri in un breve tratto di circa 30 metri di lunghezza; procedendo verso Lesina le coperture raggiungono i valori compresi tra 35 e 45 metri con valore massimo di 47 m in corrispondenza della progressiva 5+700 circa. Da questa progressiva, procedendo verso Lesina, le coperture decrescono gradatamente con debole pendenza, per raggiungere i valori minimi in corrispondenza dell'imbocco Sud lato Lesina.

Le opere di imbocco della galleria Campomarino prevedono paratie di pali di grande diametro puntonate/tirantate per il contrasto delle spinte agenti sulle paratie stesse.

Per l'imbocco lato Termoli il progetto prevede la realizzazione di un rilevato provvisorio, necessario per consentire l'esecuzione della paratia di imbocco; tale rilevato consente di superare le difficoltà tecniche e realizzative che presenterebbe l'ipotesi alternativa di realizzare piste di cantiere sul versante di imbocco della galleria. La pendenza naturale del versante è infatti molto accentuata (1H: 2V circa 60°) ed un eventuale scavo per piste di cantiere richiederebbe notevoli sbancamenti e interventi di stabilizzazione rilevanti.

A completamento dell'imbocco lato Termoli è prevista la realizzazione di un tratto di galleria artificiale di lunghezza pari a 27.75 m, comprensiva del portale a becco di flauto.

Per l'imbocco lato Lesina è prevista la realizzazione di un tratto di galleria artificiale policentrica, di estensione pari a 86.85 m, che si collega alle strutture delle opere all'aperto progettate per il tratto adiacente.



Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati specialistici allegati al progetto.

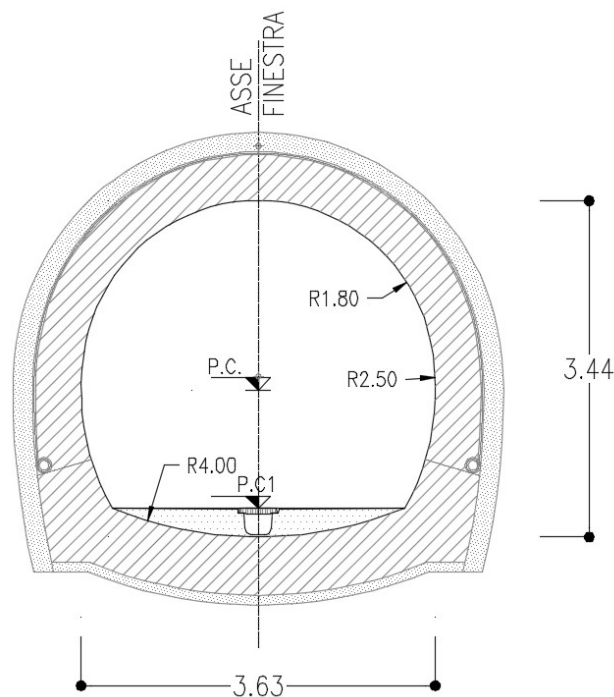
## 7.2 Uscita di emergenza

In accordo con quanto richiesto dalle STI-SRT “Sicurezza nelle gallerie ferroviarie” (Rif. [4]), la galleria di linea in progetto deve essere dotata di uscite/accessi di emergenza, ad interasse inferiore a 1000m.

Tale requisito è rispettato con la realizzazione di un cunicolo pedonale di lunghezza pari a circa 350 m, che si connette alla galleria di linea in corrispondenza della pk. 6+000 circa.

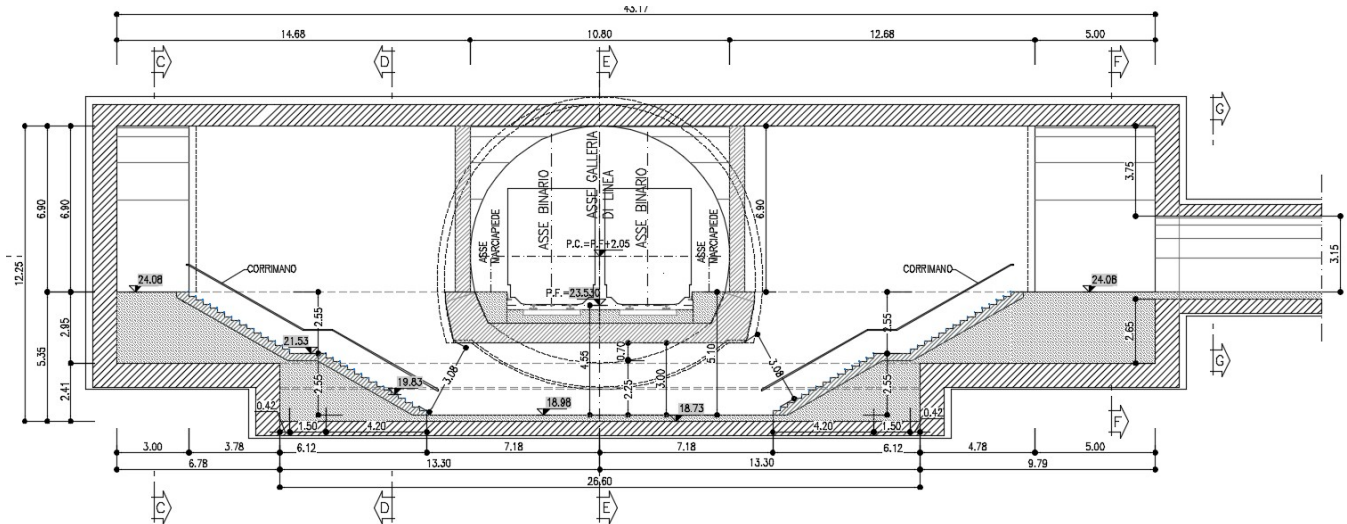
La sezione di scavo del cunicolo pedonale è policentrica (Figura 3) con raggio interno di calotta pari a 1,80 m e area di scavo pari a circa 20 m<sup>2</sup>; la pendenza media della linea d’asse è pari a circa 13%.

L’imbocco dell’uscita di emergenza è tra paratie di pali tirantati; a completamento dell’imbocco è prevista la realizzazione di una galleria artificiale.



**Figura 2 Sezione di intradosso – cunicolo di uscita pedonale**

Con riferimento al “Manuale di Progettazione delle opere civili” del Dicembre 2017, all’innesto con la galleria di linea, l’uscita/accesso di emergenza è dotata di un sottopasso (Figura 3), di altezza utile pari a 3 m, che consente l’esodo in sicurezza dei passeggeri anche dal marciapiede del binario opposto al percorso di esodo verso l’esterno.

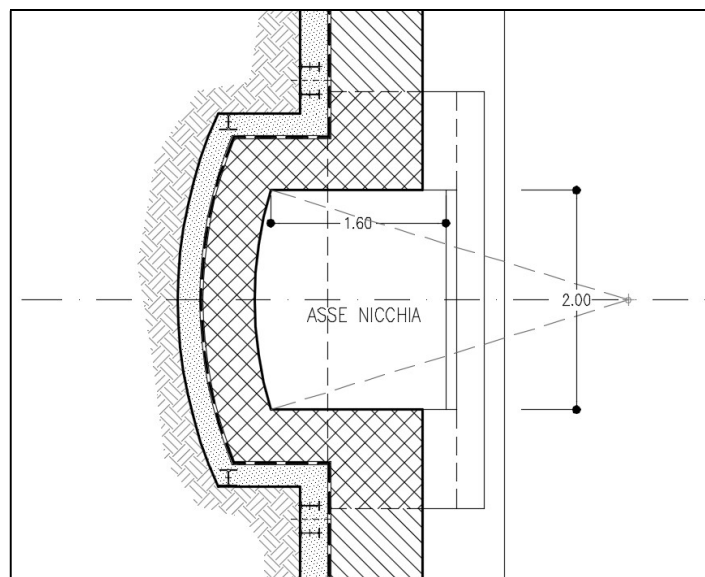


**Figura 3 Sezione in corrispondenza del sottopasso.**

### 7.3 Nicchie

Con riferimento al “Manuale di Progettazione delle opere civili” (Rif. [9]), le gallerie non sono dotate di nicchie di ricovero personale ma esclusivamente di nicchie LFM.

Sono previste nicchie LFM e nicchie per connessioni induttive, entrambe di dimensioni utili in pianta pari a 1.6mx2,0m ed altezza di 2,3m (Figura 4).



**Figura 4 – Pianta nicchia LFM e connessioni induttive.**

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	LI02	02	D07RG	GN 00 00 001	B	11 di 35

## 8 METODOLOGIA DI LAVORO

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [19]), si è articolata nelle seguenti fasi:

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

	<b>LINEA PESCARA-BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>LOTTI 2 E 3 -RADDOPPIO TERMOLI – RIPALTA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	LI02	02	D07RG	GN 00 00 001	B	12 di 35

## 9 FASE CONOSCITIVA

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

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

### 9.1 Inquadramento geologico e geomorfologico

Di seguito vengono descritti i caratteri principali delle unità geologiche individuate lungo lo sviluppo del tracciato della Galleria Campomarino e del cunicolo di uscita di emergenza.

#### 9.1.1 Unità della Fossa Bradanica

Le formazioni interessate dalla realizzazione delle opere in sotterraneo sono ascrivibili all'Unità della Fossa Bradanica, rappresentata dalle seguenti formazioni:

- Argille Subappennine (ASP) (pliocene superiore – Pleistocene inferiore)
- Sabbie di Serracapriola (SSC) (Pleistocene inferiore)
- Conglomerati di Campomarino (CGC) (Pleistocene inferiore - Pleistocene medio);

Le argille subappennine (ASP) sono prevalentemente argille limose e limi argillosi, in strati da sottili a spessi, con sottili intercalazioni di argille marnose, limi sabbiosi e sabbie fini.

Le sabbie di Serracapriola (SSR) sono costituite da sabbie medio-fini a luoghi cementate; si rinvencono intercalazioni di conglomerati grossolani ad elementi prevalentemente arenacei e calcareo-marnosi, e sottili livelli di arenarie medio-fini.

I conglomerati di Campomarino presentano due facies denominate CGC1 e CGC2:

- CGC1 - Conglomerati poligenici ed eterometrici, ad elementi prevalentemente arenacei e calcareo-marnosi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa.
- CGC2 - Argille limose e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio, marrone e verdastro, a struttura indistinta o debolmente laminata.

### 9.2 Aspetti geomorfologici specifici

In corrispondenza dell'imbocco lato Termoli della galleria Campomarino, è presente un'alta ed estesa scarpata di erosione fluviale e marina, che interessa i terreni sabbioso-conglomeratici del substrato pleistocenico appartenenti alle formazioni delle Sabbie di Serracapriola e dei conglomerati di Campomarino (CGC1), con pendenze medie di 1H: 2V (circa 60 °).

La scarpata si presenta stabile ma è interessata localmente da modesti fenomeni di crollo della porzione lapidea di natura arenacea e conglomeratica affiorante; tali forme di dissesto non interessano l'area di imbocco che è ubicata in una area geomorfologicamente stabile (Rif. [12]).

	<b>LINEA PESCARA-BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>LOTTE 2 E 3 -RADDOPPIO TERMOLI – RIPALTA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA LI02	LOTTO 02	CODIFICA D07RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. B



**Figura 5 – Imbocco lato Termoli.**

Lungo il tracciato della galleria Campomarino non sono stati rilevati fenomeni gravitativi in atto o quiescenti. Anche l'imbocco lato Lesina è ubicato in area geomorfologicamente stabile Rif. [12].

### 9.3 Caratteri idrogeologici

Sulla base degli approfondimenti specialistici riportati negli elaborati di progetto dedicati (cfr Rif. [12]) è stato possibile definire i principali caratteri idrogeologici delle formazioni di interesse.

Saranno interessati dallo scavo della galleria due complessi idrogeologici: il complesso sabbioso-arenaceo ed il complesso argilloso-limoso .

Al complesso idrogeologico argilloso-limoso sono associati i depositi plio-pleistocenici delle Argille Subappenniniche e della litofacies argilloso-limosa dei Conglomerati di Campomarino (**ASP** e **CGC2**); è costituito, dal punto di vista litologico, da argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi, in strati da sottili a spessi.

Tali litotipi costituiscono limiti di permeabilità per gli acquiferi giustapposti verticalmente o lateralmente; e, nello specifico contesto idrogeologico di riferimento, rappresentano degli *acquiclude* per gli acquiferi dei terreni del substrato; non sono presenti falde o corpi idrici sotterranei di una certa rilevanza. A questo complesso si può attribuire un coefficiente di permeabilità  $k$  variabile tra  $1 \cdot 10^{-10}$  e  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s.

Il complesso idrogeologico sabbioso arenaceo è costituito dai depositi pleistocenici delle Sabbie di Serracapriola (**SSR**) che rappresentano acquiferi misti di buona trasmissività, localmente piuttosto eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee. A tale complesso si può attribuire un coefficiente di permeabilità  $k$  variabile tra  $1 \cdot 10^{-7}$  e  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s.

Per quanto riguarda l'entità del carico idraulico massimo, questo risulta essere pari a circa 8m al di sopra dell'estradosso di calotta della galleria (Rif. [14]).

### 9.4 Indagini geotecniche

Per la caratterizzazione geotecnica delle formazioni interessate dalle opere in sotterraneo sono stati esaminati ed analizzati i dati provenienti dalla campagna d'indagine eseguita da Italferr nel 2017.

Relativamente al tratto in galleria sono stati eseguiti: 6 sondaggi a carotaggio continuo, di cui quattro attrezzati con piezometri e due utilizzati per l'esecuzione di prove geofisiche in foro.

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	LI02	02	D07RG	GN 00 00 001	B	14 di 35

#### 9.4.1 Indagini e prove in sito/laboratorio

Sono state eseguite le seguenti indagini e prove in sito:

- n° 10 prove di permeabilità Lefranc;
- n° 2 prove di permeabilità Lugeon;
- n° 3 prove Pressiometriche;
- n° 9 prove dilatometriche;
- prove SPT.

Sono di seguito elencate le indagini e le prove di laboratorio eseguite:

- N° 7 prove triassiale consolidate non drenate (CIU);
- N° 8 prove triassiali non consolidate non drenate (UU);
- n° 7 prove edometriche;
- n° 18 prove di taglio diretto;
- n° 3 prove di taglio residuo;
- n° 5 prove di colonna risonante;
- n° 7 prove di rigonfiamento in cella edometrica.

Sono state inoltre realizzate:

- 2 prove di sismica in foro (downhole);
- 4 linee di stendimento di tomografia elettrica;
- 5 stendimenti sismici MASW/Re.Mi.

#### 9.5 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

I risultati delle indagini geotecniche, in situ e di laboratorio, hanno permesso di definire il modello geotecnico rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni/rocce interessati dall'opera in sotterraneo lungo il suo tracciato. Il modello geotecnico è rappresentato negli elaborati 'Profili geotecnici' (Rif. [14], Rif. [13]).

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

Di seguito si riporta una breve sintesi degli intervalli di variazione dei principali parametri geotecnici relativi ai terreni interessati dalla realizzazione delle opere in sotterraneo.

**Tabella 2 – Sintesi della caratterizzazione geotecnica dei terreni**

Unità	$\gamma$	$c'$	$\phi'$	Cu	E
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]	[°]	[kPa]	[MPa]
<b>CGC1</b> ( Conglomerati di Campomarino facies sabbiosa)	19 ÷ 20	0	35 ÷ 38	-	50 ÷ 80
<b>CGC2</b> ( Conglomerati di Campomarino facies limoso-argillosa)	19 ÷ 20	10-30	18-25	100-150	50-100
<b>SSR</b> (Sabbie di Serracapriola)	19 ÷ 20	0-5	34-38	-	200-400
<b>ASP</b> (Argille Subappennine)	20 ÷ 21	10-30	22-24	200-300	50-80

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	LI02	02	D07RG	GN 00 00 001	B	16 di 35

## 10 FASE DI DIAGNOSI

Nella fase di diagnosi, sulla base del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuati nella fase conoscitiva, si procede alla previsione della risposta tensio-deformativa dell'ammasso allo scavo, in assenza di interventi di stabilizzazione. La valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo è condotta con riferimento alle tre categorie di comportamento fondamentali individuate nel metodo ADECO-RS (Rif. [19]), di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

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

### 10.1 Classi di comportamento del fronte di scavo

Secondo l'approccio ADECO-RS (Rif. [19]) la previsione dell'evoluzione dello stato tensionale a seguito dell'apertura di una galleria è possibile attraverso l'analisi dei fenomeni deformativi, che forniscono indicazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine. Dati sperimentali e analisi teoriche hanno dimostrato che il comportamento della cavità è significativamente condizionato, oltre che dalle caratteristiche geometriche della galleria stessa e dai carichi litostatici, anche dalle caratteristiche di resistenza e di rigidità del nucleo d'avanzamento, inteso come il volume di terreno a monte del fronte di scavo. Se il nucleo non è costituito da materiale sufficientemente rigido e resistente da mantenere in campo elastico il proprio comportamento tensio-deformativo, si sviluppano fenomeni deformativi e plasticizzazioni rilevanti in avanzamento, a cui consegue l'evoluzione verso condizioni di instabilità del fronte e del cavo. Se, invece, il comportamento del nucleo d'avanzamento si mantiene in campo elastico, il nucleo stesso svolge un'azione di precontenimento del cavo, che si mantiene a sua volta in condizioni elastiche, conservando le caratteristiche di massima resistenza del materiale attraversato e quindi configurazioni di stabilità.

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

#### Categoria A: nucleo-fronte stabile

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

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

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



	<b>LINEA PESCARA-BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>LOTTI 2 E 3 -RADDOPPIO TERMOLI – RIPALTA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	LI02	02	D07RG	GN 00 00 001	B	17 di 35

### Categoria C: nucleo-fronte instabile

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

### **10.2 Determinazione delle classi di comportamento**

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

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

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

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

Con riferimento alle indicazioni riportate nei profili geotecnici di progetto (Rif. [13]) la galleria naturale, dalla pk 5+229.15 di imbocco lato Termoli fino alla pk 6+450 circa, interessa esclusivamente la formazione delle Sabbie di Serracapriola (SSR), caratterizzate dalla presenza di sabbie medio fini limose a luoghi cementate, per un'estensione di 1221 metri circa.

Le analisi eseguite per la determinazione della categoria di comportamento del fronte di scavo in tale formazione, secondo i metodi indicati nel paragrafo precedente, hanno indicato una categoria tipo C (nucleo -fronte instabile).

A partire dalla pk 6+450 fino all'imbocco lato Lesina, a pk 6+809.00 per un'estensione di 359 metri circa, lo scavo della galleria naturale interessa:

- dalla calotta fino al piano dei centri, la formazione del Conglomerato di Campomarino in facies argilloso – limosa (CGC2);
- dal piano dei centri fino all'arco rovescio, la formazione delle sabbie di Serracapriola (SSC).

Le analisi di stabilità del fronte eseguite hanno evidenziato che la categoria di comportamento del cavo è di tipo C (nucleo -fronte instabile).

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02	D07RG	GN 00 00 001	B	18 di 35

In prossimità dell'imbocco lato Lesina, il fronte di scavo interessa prevalentemente la formazione CGC2 argilloso – limosa. La categoria di comportamento del fronte di scavo derivante dalle analisi di stabilità del fronte è di tipo C.

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

A partire dall'imbocco, lo scavo del cunicolo pedonale interessa nel tratto iniziale, per circa 140 metri di estensione, la formazione CGC2 argilloso – limosa; per il restante sviluppo di circa 160 metri lo scavo interessa la formazione delle Sabbie di Serracapriola.

Le analisi di stabilità del fronte hanno condotto, per entrambe le formazioni interessate dallo scavo del cunicolo, alla definizione della categoria di comportamento tipo C.

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato della galleria sono illustrate in forma sintetica nel Profilo Geotecnico (Rif. [13]).

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	LI02	02	D07RG	GN 00 00 001	B	19 di 35

## 11 FASE DI TERAPIA: DEFINIZIONE DELLE SEZIONI DI AVANZAMENTO

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

### 11.1 Metodologia di scavo

#### 11.1.1 Criteri di scelta del sistema di scavo

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

L'estensione della galleria naturale di linea, pari a 1552,10 metri, non consente una conveniente adozione del sistema di scavo meccanizzato; inoltre, lo scavo interessa formazioni geologiche che presentano caratteristiche granulometriche variabili da prevalentemente granulare (Sabbie di Serracapriola (SSR)) a prevalentemente argilloso limosa (Conglomerati di Campomarino (CGC2)).

In tale contesto, il metodo di scavo più idoneo per la realizzazione della galleria naturale è quello tradizionale, che consente di affrontare i vari contesti geomeccanici ricorrendo all'adozione di differenti sezioni di avanzamento, progettate in funzione delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni attraversati e delle condizioni idrogeologiche al contorno.

In particolare, in considerazione della categoria prevalente di comportamento tensio deformativo di tipo C che si riscontra dalle analisi di stabilità del fronte eseguite, sono state adottate in progetto sezioni di scavo che prevedano interventi di preconsolidamento in avanzamento al fronte ed al contorno della sezione di scavo.

In particolare, gli interventi di preconsolidamento ritenuti più idonei ad affrontare lo scavo della galleria nelle diverse formazioni attraversate sono i seguenti:

- nella formazione delle sabbie di Serracapriola si prevede di adottare interventi di preconsolidamento al fronte ed al contorno realizzati mediante colonne in jet grouting;
- nella formazione argilloso – limosa dei conglomerati di Campomarino (CGC2), si prevede l'adozione di interventi di precontenimento al fronte ed al contorno realizzati mediante infilaggi in VTR cementati in foro mediante miscele espansive.

#### 11.1.2 Scavo tradizionale. Galleria di linea a doppio binario.

Per la tratta di galleria naturale a doppio binario in cui è previsto l'avanzamento in tradizionale, in funzione delle caratteristiche geotecniche delle formazioni attraversate e del loro comportamento allo scavo, saranno applicate 4 diverse sezioni tipo, intese come complesso inscindibile di modalità operative, fasi di lavoro, interventi di stabilizzazione, confinamento, contenimento, drenaggio e delle relative tecnologie esecutive, denominate C1, C1bis, C2m, C2.

Come indicato nel paragrafo precedente, per ciascuna sezione tipo sono previsti opportuni interventi di pre-sostegno e pre-contenimento al fronte ed al contorno, l'installazione a ridosso del fronte di scavo di un rivestimento provvisorio costituito da spritz-beton fibrorinforzato e centine metalliche ed infine il getto dei rivestimenti

definitivi di arco rovescio e calotta. Tutte le sezioni tipo prevedono l'installazione di drenaggi in avanzamento (3+3) (eventuali per la sola sezione tipo C2), l'impermeabilizzazione a tergo dei rivestimenti definitivi di calotta con tubi di drenaggio microfessurati di raccolta ai piedi dell'impermeabilizzazione.

Nei paragrafi a seguire si riporta una sintetica descrizione di tali sezioni tipo. Per eventuali approfondimenti si rimanda agli specifici elaborati grafici di progetto. Per la distribuzione delle tratte di applicazione delle diverse sezioni tipo si rimanda alle tavole dei profili geotecnici (Rif. [13]; Rif. [14]).

### 11.1.2.1 Sezione C1

La sezione di avanzamento denominata C1 è una sezione tronco-conica che prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno, con campi di avanzamento da 12,0 m; ne è prevista l'applicazione nella formazione delle Sabbie di Serracapriola (SSR) con comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C), per coperture superiori ai 20 metri.

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 30 microtrattamenti in jet-grouting Ø300 armati con elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 8,0 m). Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del ±20%;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 65 colonne in jet-grouting Ø600, L=16,5 m (sovrapposizione minima 4,5 m) e ulteriori 8+8 colonne al piede centina; Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del ±20%;
- presostegno al contorno realizzato mediante 34 tubi in acciaio Ø127 sp. 10 mm, L=15,5 m (sovrapposizione minima 3,5 m), passo 0.40 m valvolati con 1 vlv/m. Per l'incidenza del presostegno (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del ±20%;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 12,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e centina HEB200 con passo 1,0 m ± 20%;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore variabile da 0,60 m a 1,35 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

### 11.1.2.2 Sezione C1bis

La sezione tipo C1bis è una sezione tronco-conica che prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno, con campi di avanzamento da 6,0 m; ne è prevista l'applicazione nella formazione delle Sabbie di Serracapriola (SSR) con comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C), per coperture inferiori ai 20 metri ed in corrispondenza delle interferenze con gli edifici e le strade interferenti in superficie.

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C1bis, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 25 microtrattamenti in jet-grouting Ø300 armati con elementi strutturali in VTR, L=17,0 m (sovrapposizione minima 11,0 m). Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del ±20%;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 65 colonne in jet-grouting Ø600, L=15,0 m (sovrapposizione minima 9.0 m) e ulteriori 8+8 colonne al piede centina. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del ±20%;;
- presostegno al contorno realizzato mediante 34 tubi in acciaio Ø127 sp. 10 mm, L=9,5 m (sovrapposizione minima 3,5 m), passo 0.40 m valvolati con 1 vlv/m. Per l'incidenza del presostegno (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del ±20%;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 6,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN200 con passo 1,0 m ± 20%;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 0,5 diametri;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore variabile da 0,60 m a 1,35 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 2 diametri.

### 11.1.2.3 Sezione C2m

La sezione tipo C2m è una sezione che prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno, con campi di avanzamento da 10,0 m; ne è prevista l'applicazione nel tratto di transizione litologica tra la formazione dei conglomerati di Campomarino nella facies argillosa (CGC2) e la formazione delle Sabbie di Serracapirola (SSR).

Per la valutazione degli interventi di consolidamento previsti per la sezione C2m, si è fatto riferimento ad una configurazione stratigrafica relativa ad una sezione media, che prevede la presenza della formazione argilloso limosa CGC2 nell'area di calotta fino all'altezza delle reni, mentre a partire dalle reni fino all'arco rovescio è presente la formazione sabbiosa SSR.

SEZIONE TIPO C2m

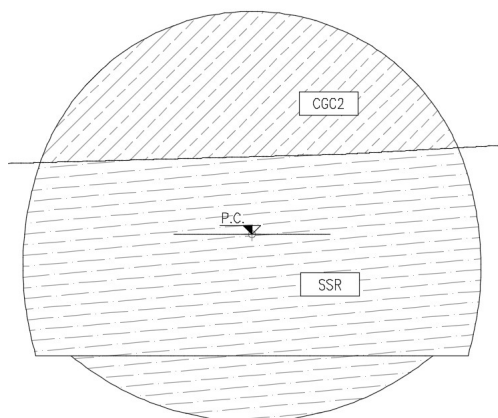


Figura 6 – Imbocco lato Termoli.

	<b>LINEA PESCARA-BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>LOTTI 2 E 3 -RADDOPPIO TERMOLI – RIPALTA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	LI02	02	D07RG	GN 00 00 001	B	22 di 35

In tali condizioni le analisi di stabilità del fronte evidenziano che il comportamento del nucleo-fronte è instabile (categoria C).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C2m, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte
  - Calotta: 17 elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 10,0 m) cementati in foro con miscele cementizi. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
  - Murette/Arco rovescio: 33 microtrattamenti in jet-grouting  $\varnothing 300$  armati con elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 10,0 m). Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- precontenimento al contorno
  - Calotta: 29 elementi strutturali in VTR, L=16,0 m (sovrapposizione minima 6,0 m) cementati in foro con miscele espansive. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
  - Murette/Arco rovescio: 24 colonne in jet-grouting  $\varnothing 600$ , L=16,0 m (sovrapposizione minima 6,0 m) e ulteriori 8+8 colonne al piede centina. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del  $\pm 20\%$ ;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 10,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN220 con passo 1,0 m  $\pm 20\%$ ;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 0,5 diametri;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore 0,90 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 2 diametri.

#### 11.1.2.4 Sezione tipo C2

La C2 è una sezione cilindrica che prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno con campi di avanzamento di 10 m.

E' prevista nelle zone prossime all'imbocco della galleria lato Lesina, dove è prevalente la presenza della formazione dei Conglomerati di Campomarino in facies argilloso limosa (CGC2); in queste condizioni il comportamento del nucleo-fronte è instabile (categoria C).

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 50 elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 10,0 m) cementati in foro con miscele espansive. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del  $\pm 20\%$

- precontenimento al contorno realizzato mediante 51 elementi strutturali in VTR, L=16,0 m (sovrapposizione minima 6,0 m) cementati in foro con miscele espansive e ulteriori 8+8 elementi strutturali in VTR al piede centina. Per l'incidenza del precontenimento (numero o lunghezza degli elementi) è prevista una variabilità del  $\pm 20\%$
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 10,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN220 con passo 1,0 m  $\pm 20\%$ ;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta (spessore 0,90 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

### 11.1.3 Scavo tradizionale. Uscita di emergenza.

Per la realizzazione della tratta in naturale dell'uscita di emergenza, si utilizzerà la tecnica dello scavo in tradizionale mediante avanzamenti a piena sezione.

Le tipologie di intervento previste nelle singole sezioni tipo e i criteri di applicazione sono del tutto analoghi a quelli definiti per la galleria di linea, descritte al precedente paragrafo.

#### 11.1.3.1 Cunicolo pedonale - Sezione tipo C2

Nel tratto di cunicolo pedonale che interessa la formazione dei conglomerati di Campomarino (CGC2), la sezione di avanzamento prevista è la C2.

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

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

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	LI02	02	D07RG	GN 00 00 001	B	24 di 35

### 11.1.3.2 Cunicolo pedonale - Sezione tipo C1

Nel tratto di cunicolo pedonale che interessa la formazione delle Sabbie di Serracapriola, la sezione di avanzamento prevista è la C1.

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

- precontenimento del fronte realizzato mediante 11 microtrattamenti in jet-grouting Ø300 armati con elementi strutturali in VTR, L=15,0 m (sovrapposizione minima 7,0 m). L'incidenza del preconsolidamento (numero o lunghezza degli elementi) potrà avere una variabilità del ±20%;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 27 colonne in jet-grouting Ø600, L=12,5 m (sovrapposizione minima 4,5 m). L'incidenza del preconsolidamento potrà avere una variabilità del ±20%;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 8,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo 1,0 m;
- arco rovescio (spessore 0,60 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore variabile da 0,40 m a 1,05 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

Tali sezioni trovano completa rappresentazione nei corrispondenti elaborati grafici.



	<b>LINEA PESCARA-BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>LOTTI 2 E 3 -RADDOPPIO TERMOLI – RIPALTA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	LI02	02	D07RG	GN 00 00 001	B	25 di 35

## 11.2 Rischi potenziali che incidono sulla realizzazione delle gallerie

Di seguito si descrivono le principali criticità, legate al contesto geologico, idrogeologico e geotecnico, che potrebbero avere ripercussioni sulla fase realizzativa delle gallerie, e si illustrano le relative azioni di mitigazione o riduzione del rischio.

La mappatura dei diversi rischi individuati nella fase conoscitiva e la relativa gestione definita nella fase di terapia sono illustrate in forma sintetica negli elaborati dei profili geotecnici (Rif. [13];Rif. [14]).

### 11.2.1 Instabilità del fronte e del cavo

Potenziali rischi di instabilità del fronte e del cavo possono interessare le tratte di galleria nei tratti in materiali incoerenti anche sotto falda e quelle di attraversamento di transizione litologica.

- Nei tratti in materiali incoerenti saranno eseguiti interventi di consolidamento con jet grouting sia al fronte sia al contorno eventualmente attrezzati con preventer se eseguiti sottofalda. A protezione di eventuali distacchi di porzioni di terreno cementato al contorno, dovranno essere eseguiti interventi di presostegno con infilaggi metallici cementati.
- Nelle tratte di galleria prossime alla zona di transizione litologica dovranno essere eseguite delle indagini in avanzamento al fine di tarare gli interventi di consolidamento in anticipo rispetto alla variazione del materiale al fronte .

### 11.2.2 Venute d'acqua

Il potenziale rischio di venute d'acqua in galleria in fase di scavo è stato definito in funzione dei principali caratteri idrogeologici delle formazioni di interesse. Tale rischio dipende dalla conducibilità idraulica dei materiali attraversati e dal carico idraulico.

In particolare, possibili venute d'acqua in galleria sono attese nella formazione delle sabbie di Serracapriola, quando la superficie piezometrica attraversa l'area di scavo.

Al fine di limitare gli effetti legati alle possibili venute d'acqua, le sezioni tipo di scavo e consolidamento previste in questa formazione prevedono l'esecuzione sistematica dei drenaggi al fronte e l'impermeabilizzazione a tergo del rivestimento definitivo di calotta.

La formazione dei conglomerati di Campomarino (CGC2) è caratterizzata da permeabilità basse o molto basse ( $10^{-7}$  m/s < K <  $10^{-9}$  m/s). In considerazione delle caratteristiche di permeabilità suddette, il rischio di venute d'acqua è basso o nullo; in tale formazione la realizzazione dei drenaggi è prevista come eventuale.

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

L'analisi dei rilievi topografici della cartografia di progetto ha consentito di individuare gli edifici più significativi ai fini dell'interferenza con le opere in progetto. Nello specifico sono stati considerati 19 edifici interessati potenzialmente dallo scavo della galleria di linea.

La metodologia di lavoro si è articolata nelle seguenti fasi:

1. analisi della subsidenza: definizione dei cedimenti potenzialmente indotti sugli edifici dallo scavo della galleria di linea mediante metodi semi-empirici in condizioni di campo libero.

2. studio del danneggiamento degli edifici senza interazione terreno-struttura: valutazione dei potenziali danni indotti sugli edifici in superficie dalle curve di subsidenza e profili di abbassamento definite al punto 1, mediante il metodo semplificato della “trave equivalente”; tale metodo di calcolo, coerentemente con le ipotesi di campo libero con cui sono definiti i cedimenti, non considera la rigidità degli edifici e l’interazione terreno-struttura e, per questo, generalmente sovrastima la previsione di danno.

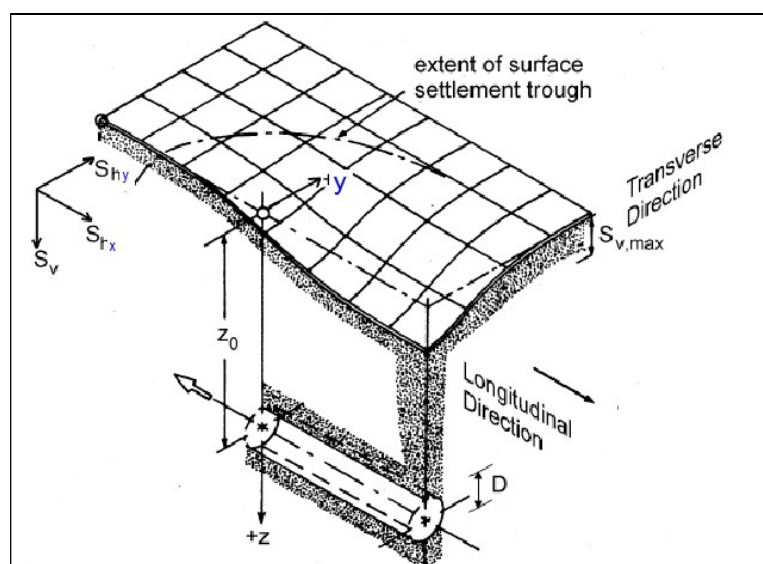
### 11.2.3.1 Cedimenti in condizioni di campo libero –

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

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

dove:

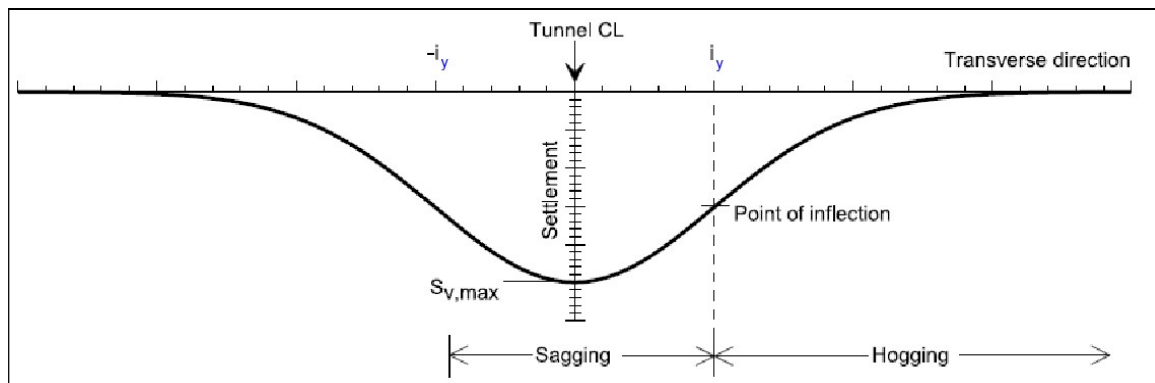
- $S_v$  : cedimento nel punto posto alla distanza  $y$  dall’asse della galleria;
- $V_p$  : volume della conca di subsidenza in superficie per unità di lunghezza;
- $\phi$  : diametro della galleria;
- $k$  : coefficiente adimensionale dipendente dalla natura dei terreni interessati;
- $z_0$  : profondità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



**Figura 7 – Movimenti indotti in superficie dall’avanzamento di uno scavo sotterraneo**  
(Attewell et Al., 1986, Mair, Taylor 1997)

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

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



**Figura 8 – Profilo trasversale di subsidenza (Mair, Taylor 1997)**

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

Per il coefficiente  $k$  è stato assunto un valore pari a

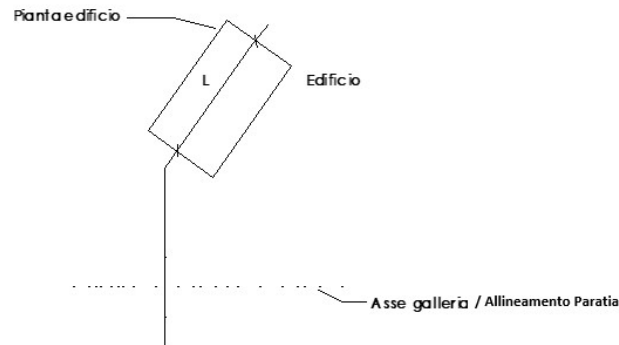
- 0,35 per i terreni granulari della formazione di Serracapriola
- 0,50, per i terreni a comportamento prevalentemente coesivo della formazione dei conglomerati di Campomarino (CGC2).

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

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

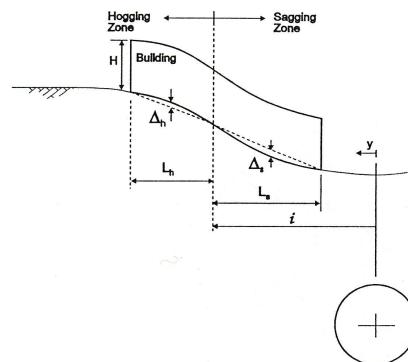
Gli edifici sono stati analizzati nel piano trasversale all'asse della galleria e dell'opera di sostegno, considerando gli effetti combinati dei cedimenti e degli spostamenti orizzontali.

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



**Figura 9 Definizione della lunghezza della trave equivalente**

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



**Figura 10 Metodo della trave equivalente**

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

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

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

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	LI02	02	D07RG	GN 00 00 001	B	29 di 35

**Tabella - 3 Tabella riepilogativa parametri indica per la definizione delle categorie di danno**

<b>Categoria di danno e corrispondenti deformazioni limite</b>		
<b>(M.D. Boscardin &amp; E.G. Cording, 1989)</b>		
<b>Categoria di danno</b>	<b>Intensità del danno*</b>	<b>Deformazione limite di allungamento <math>\epsilon_{lim}</math> (%)</b>
0	Trascurabile	0.00 ÷ 0.05
1	Molto lieve	0.05 ÷ 0.075
2	Lieve	0.075 ÷ 0.15
3	Moderata	0.15 ÷ 0.30
4 a 5	Da severa a molto severa	> 0.30

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

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

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

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

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

### 11.2.3.3 *Analisi dei Risultati*

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

Edificio	Progressiva (km)	zo (m)	Xd (m)	Xs (m)	k=0.35				Categoria di Danno
					Vp = 1 (%)	Vp = 1,5 (%)	Vp = 2 (%)	Vp = 2,5 (%)	
1	5+314	43	5.87	6.93	0	1	1	1	1
2	5+350	45	27.68	16.91	0	0	1	2	2
3	5+425	46	9.7	4.45	0	0	0	1	1
4	5+425	46	4.45	23.4	0	0	0	0	0
5	5+540	42	22.91	12.1	0	0	0	1	1
6	5+540	42	8.62	3.38	0	0	0	0	0
7	5+540	42	3.44	1.87	0	0	0	1	1
8	5+560	42	5.74	7.68	0	1	1	2	2
9	5+570	42	16.15	11.26	0	0	0	1	1
10	5+570	42	25.82	19.6	0	0	0	1	1
11	5+580	45	62.2	42.2	0	0	0	0	0
12	5+590	45	0.95	16.35	0	0	0	1	1
13	5+610	45	16.77	22.67	0	0	0	1	1

Edificio	Progressiva (km)	zo (m)	Xd (m)	Xs (m)	k=0.5				Categoria di Danno
					Vp = 1 (%)	Vp = 1,5 (%)	Vp = 2 (%)	Vp = 2,5 (%)	
14	6+240	35	20	1.25	0	0	0	0	0
15	6+275	35	25.21	6.76	0	0	0	0	0
16	6+290	35	37.3	31.4	0	0	0	0	0
17	6+290	35	13.02	19.65	0	0	0	0	0
18	6+325	35	36.7	28.25	0	1	2	2	2
19	6+350	32	7.7	34.75	0	1	2	2	2

Dai risultati esposti si evidenzia che 15 edifici analizzati ricadono in categoria di danno 0/1 a cui corrispondono effetti nulli o trascurabili sugli edifici interferenti. Quattro edifici ricadono nella categoria di danno 2 (danni lievi).

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

A maggior cautela, lo scavo della galleria in corrispondenza degli edifici interferenti in superficie prevede l'utilizzo di una sezione tipo C1bis, che presenta campi di avanzamento ridotti.

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

#### 11.2.4 Interferenza sorgenti

Nell'area interessata dallo scavo della Galleria Campomarino non sono state individuate emergenze sorgentizie, delle quali non vi è traccia neanche in bibliografia e negli archivi degli enti operanti sul territorio, come riportato nella relazione geologica di progetto (Rif. [12]).

Le opere di captazione (pozzi) sono generalmente di scarsa rilevanza, in quanto si tratta generalmente di pozzi superficiali e pozzi cisterna. (Rif. [12]).

#### 11.2.5 Esposizione ambientale e attacco chimico

Per la valutazione della classe di esposizione del calcestruzzo si fa riferimento alla UNI-EN 206-2016 ed alla UNI 11104-2016; quest'ultima, in applicazione della EN 206, stabilisce le misure preventive da adottare in termini di

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA PESCARA-BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>LOTTI 2 E 3 -RADDOPPIO TERMOLI – RIPALTA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	LI02	02	D07RG	GN 00 00 001	B	31 di 35

massimo rapporto acqua/cemento (a/c), minima classe di resistenza e minimo contenuto in cemento (kg/m<sup>3</sup>) (Figura 12).

4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare		
XS1	Esposto alla salsedine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua di mare	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali sulle coste o in prossimità.
XS2	Permanentemente sommerso	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso di strutture marine completamente immerse in acqua.
XS3	Zone esposte agli spruzzi oppure alla marea	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali esposti alla battigia o alle zone soggette agli spruzzi ed onde del mare.

<b>2 Corrosione indotta da carbonatazione</b>		
Nel caso in cui il calcestruzzo contenga armature o inserti metallici sia esposto all'aria e all'umidità, l'esposizione sarà classificata nel modo seguente:		
Nota Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel copriferrero o nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi si può considerare che tali condizioni riflettano quelle dell'ambiente circostante. In questi casi la classificazione dell'ambiente circostante può essere adeguata. Questo può non essere il caso se c'è una barriera fra il calcestruzzo e il suo ambiente.		
XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	Calcestruzzo all'interno di edifici con bassa umidità relativa Calcestruzzo costantemente immerso in acqua
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo Molte fondazioni
XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa dell'aria moderata oppure elevata Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia
XC4	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2

Figura 11 – Classe di esposizione secondo la Uni EN 206

prospetto 5 Valori limite per la composizione e le proprietà del calcestruzzo																		
UNI 11104:2016	Classi di esposizione																	
	Nessun rischio di corrosione dell'armatura	Corrosione delle armature indotte dalla carbonatazione				Corrosione delle armature indotte da cloruri						Attacchi da cicli di gelo/disgelo				Ambiente aggressivo per attacco chimico		
						Acqua di mare			Cloruri provenienti da altre fonti									
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Massimo rapporto a/c	-	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45		
Minima classe di resistenza	C12/15	C25/30	C30/37	C32/40	C32/40	C35/45	C30/37	C32/40	C35/45	C32/40	C25/30	C30/37	C30/37	C32/40	C35/45			
Minimo contenuto in cemento (kg/m <sup>3</sup> )	-	300	320	340	340	360	320	340	360	320	340	360	320	340	360			
Contenuto minimo in aria (%)											b)	4,0 a)						
Altri requisiti					E' richiesto l'utilizzo di cementi resistenti all'acqua di mare a secondo UNI 9156						E' richiesto l'utilizzo di aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo				In caso di esposizione a terreno o acqua del terreno contenente solfati nei limiti del prospetto 2 della all'acqua di mare adeguata resistenza al UNI EN 206:2014, è richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati. c)			
<small>a) Quando il calcestruzzo non contiene aria inglobata, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI CEN/TS 12350-9, UNI CEN/TR 15177 o UNI 7087 per la relativa classe di esposizione. Il valore minima di aria inglobata del 4% può ritenersi adeguato per calcestruzzi specificati con b) Dupper &gt;20mm; per Dupper inferiori il limite minima andrà opportunamente aumentato (ad esempio 5% per Dupper tra 12 mm e 16 mm).          Qualora si ritenga opportuno impiegare calcestruzzo aerato anche in classe di esposizione XF1 si adottano le specifiche di composizione prescritte per le classi XF2 e XF3.          c) Cementi resistenti ai solfati sono definiti dalla UNI EN 197-1 e su base nazionale dalla UNI 9156. La UNI 9156 classifica i cementi resistenti ai solfati in tre classi: moderata, alta e altissima resistenza solfatica. La classe di resistenza solfatica del cemento deve essere prescelta in relazione alla classe di esposizione del calcestruzzo secondo il criterio di corrispondenza della UNI 11417-1.          d) Quando si applica il concetto di valore k il rapporto massimo a/c e il contenuto minima di cemento sono calcolati in conformità al punto 5.2.2.</small>																		

Figura 12 – Classe di esposizione secondo la UNI 11104-2016

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	LI02	02	D07RG	GN 00 00 001	B	32 di 35

La norma EN 206 stabilisce che in presenza di aria che trasporta salsedine marina, la classe di esposizione del cls da considerare è la XS1 – Calcestruzzo per zone costiere. Per le strutture che sono esposte a cicli di bagnato – asciutto la classe di esposizione indicata dalla stessa norma è XC4.

In base alle indicazioni riportate nelle specifiche UNI sopra indicate, si prevede di adottare le seguenti caratteristiche per i calcestruzzi delle opere definitive di imbocco (Galleria Artificiale, Portali) e della galleria naturale:

- Classe di esposizione XS1 - XC4
- Massimo rapporto A/C = 0,50
- Minima Classe di Resistenza = C32/40
- Contenuto minimo in cemento = 340 kg/m<sup>3</sup>.

#### **11.2.6 Sismicità**

L'area che interessa l'opera in sotterraneo è caratterizzata da sismicità superficiale (ipocentri a profondità comprese nell'intervallo 5÷15 km).

In base a quanto sopra, le sezioni di avanzamento previste in progetto sono state verificate anche in condizioni sismiche, valutando il livello di deformazione indotta dal sisma in condizioni pseudo statiche, in regime free-field. Nota tale deformazione di taglio massima alla quota di riferimento della galleria, è stato possibile valutare, mediante formule analitiche in forma chiusa, l'incremento delle sollecitazioni agenti sul rivestimento definitivo in fase sismica.



	<b>LINEA PESCARA-BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>LOTTI 2 E 3 -RADDOPPIO TERMOLI – RIPALTA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	LI02	02	D07RG	GN 00 00 001	B	33 di 35

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

### 12.1 Monitoraggio in corso d'opera

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

Con riferimento alle gallerie di linea, in sintesi il programma di monitoraggio dovrà prevedere:

- il rilievo analitico e speditivo del fronte di scavo;
- il controllo della convergenza del cavo, mediante installazione di stazioni di convergenza con mire ottiche;
- il controllo dell'estrusione del fronte, mediante installazione di estrusometri in avanzamento, dove previsto;
- il controllo delle deformazioni al contorno del cavo attraverso estensimetri multibase;
- il monitoraggio dello stato tensionale nel rivestimento di prima fase mediante celle di carico, celle di pressione e *strain-gauges*;
- il monitoraggio dello stato tensionale nel rivestimento definitivo mediante barrette estensimetriche;
- il controllo dei cedimenti al piano campagna mediante installazione di capisaldi su sezioni di livellazione topografica;
- il controllo topografico degli spostamenti sugli edifici interferenti;
- il monitoraggio degli spostamenti verticali assoluti e relativi dei terreni di copertura nelle tratte a bassa copertura mediante assestimetri;
- il monitoraggio piezometrico per la misura della variazione della quota di falda nelle tratte a bassa copertura;
- il monitoraggio inclinometrico per la misura degli spostamenti orizzontali nelle tratte a bassa copertura.

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

- il monitoraggio degli spostamenti delle paratie mediante mire ottiche disposte sulle travi di ripartizione e sui cordoli di testa;
- il monitoraggio delle sollecitazioni indotte sui tiranti mediante celle di pressione;
- il controllo dei cedimenti al piano campagna a tergo delle paratie mediante installazione di capisaldi su sezioni di livellazione topografica;
- il monitoraggio degli spostamenti verticali assoluti e relativi a tergo delle paratie mediante assestimetri;
- il monitoraggio piezometrico per la misura della variazione della quota di falda a tergo delle paratie;
- il monitoraggio inclinometrico per la misura degli spostamenti orizzontali a tergo delle paratie;
-



**LINEA PESCARA-BARI**  
**RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA**  
**LOTTI 2 E 3 -RADDOPPIO TERMOLI – RIPALTA**  
**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02	D07RG	GN 00 00 001	B	34 di 35

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

### 13 CONCLUSIONI

Nell'ambito della Progettazione Definitiva del raddoppio della tratta Termoli – Ripalta, afferente alla linea storica Pescara – Bari, è prevista la realizzazione della Galleria Campomarino a doppio binario, di lunghezza pari a circa 1,670 km.

Completano il progetto delle opere in sotterraneo gli imbocchi delle gallerie e le uscite/accessi di emergenza.

La progettazione delle opere in sotterraneo in progetto è stata condotta secondo il Metodo ADECO-RS (cfr. Rif. [19]) che si articola nelle seguenti fasi:

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

Nome file: LI02 02 D 07 RG GN0000 001 B.doc  
Directory: E:\Pubblica\---TERMOLI LESINA CONSEGNA  
CARATTERIZZANTI EDITABILI\01-ELABORATI GENERALI  
Modello: C:\APW\MSOFFICE\WW6\MODELLI\PRIV\_A.DOT  
Titolo:  
Oggetto:  
Autore: MICHELANGELI ROBERTO  
Parole chiave:  
Commenti:  
Data creazione: 09/11/2018 12:16:00  
Numero revisione: 11  
Data ultimo salvataggio: 09/11/2018 12:41:00  
Autore ultimo salvataggio: PIZZOL ROBERTO  
Tempo totale modifica 15 minuti  
Data ultima stampa: 09/11/2018 12:42:00  
Come da ultima stampa completa  
Numero pagine: 35  
Numero parole: 9,915 (circa)  
Numero caratteri: 56,520 (circa)