

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. GALLERIE

PROGETTO PRELIMINARE L.O. N.443/01

NUOVA LINEA TORINO LIONE TRATTA NAZIONALE

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO



SCALA:

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
D040	00	R	07	RG	GN0000	001	A



Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione esecutiva	N. Casagrande A. Sciotti	06/2010	A. Sciotti	06/2010	M. Della Vedova	06/2010	A. PIGORINI	06/2010

File: D04000R07RGGN0000001A.doc

n. Elab.: 1



Questo progetto è cofinanziato dalla Comunità Europea

ITALFERR S.p.A.
U.O. OPERE CIVILI
 Dott. Ing. LUIGI EVANGELISTA
 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
 n° A23189

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	6
3.4.1	<i>Normative Cogenti.....</i>	6
3.4.2	<i>Raccomandazioni e linee guida</i>	7
3.4.3	<i>Ulteriori Prescrizioni e specifiche tecniche di RFI.....</i>	7
3.4.4	<i>Ulteriori Prescrizioni e specifiche tecniche di Italferr</i>	7
4	ALLEGATI.....	7
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.....	13
8.1	CONFIGURAZIONE E SVILUPPO DELLE OPERE IN SOTTERRANEO.....	13
8.1.1	<i>Sottotratta “Confine tratta internazionale-Orbassano”.....</i>	13
8.1.2	<i>Sottotratta “Orbassano- Settimo Torinese”</i>	15
8.2	SEZIONI TIPO DI INTRADOSSO.....	16
8.2.1	<i>Sottotratta “Confine tratta internazionale-Orbassano”.....</i>	16
8.2.2	<i>Sottotratta “Orbassano- Settimo Torinese”</i>	16

8.3	NICCHIE	17
8.4	BY-PASS TRASVERSALI.....	17
8.4.1	<i>Sottotratta “Confine tratta internazionale-Orbassano”</i>	17
8.4.2	<i>Sottotratta “Orbassano- Settimo Torinese”</i>	18
8.5	USCITE DI EMERGENZA.....	19
8.5.1	<i>Caratteristiche delle uscite/accessi di emergenza</i>	19
8.6	POZZI	21
8.6.1	<i>Sottotratta “Confine tratta internazionale-Orbassano”</i>	21
8.6.2	<i>Sottotratta “Orbassano- Settimo Torinese”</i>	22
9	FASE CONOSCITIVA.....	23
9.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO.....	23
9.1.1	<i>Caratteri litologici e stratigrafici</i>	23
9.1.2	<i>Caratteri idrogeologici</i>	26
9.1.3	<i>Criticità geologiche connesse con la realizzazione di opere in sotterraneo</i>	28
9.2	INDAGINI GEOTECNICHE	29
9.2.1	<i>Indagini e prove in sito</i>	29
9.2.2	<i>Indagini e prove di laboratorio</i>	30
9.3	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	30
9.3.1	<i>Sottotratta “Confine tratta internazionale – Orbassano”:</i> galleria naturale S.Antonio	30
9.3.2	<i>Sottotratta “Orbassano- Settimo Torinese”:</i> galleria naturale Dora.....	31
10	FASE DI DIAGNOSI: ANALISI DEL COMPORTAMENTO DEFORMATIVO ALLO SCAVO	33
10.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO	33
10.2	DETERMINAZIONE DELLE CLASSI DI COMPORTAMENTO	34
11	FASE DI TERAPIA: DEFINIZIONE DELLE SEZIONI DI AVANZAMENTO	37
11.1	METODOLOGIA DI SCAVO	37



NUOVA LINEA TORINO-LIONE
TRATTA NAZIONALE
PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D040	00	R07 RG	GN00 00 001	A	4 di 59

11.1.1	<i>Criteri di scelta del sistema di scavo</i>	37
11.1.2	<i>Metodo di scavo meccanizzato</i>	38
11.1.3	<i>Metodo di scavo tradizionale</i>	45
11.2	SEZIONE TIPO DI AVANZAMENTO PER SCAVO MECCANIZZATO	49
11.3	FASI REALIZZATIVE	49
11.3.1	<i>Gallerie di linea e gallerie di interconnessione di Avigliana</i>	49
11.4	ANALISI DEI POTENZIALI RISCHI CHE INCIDONO SULLA REALIZZAZIONE DELLE GALLERIE	51
11.4.1	<i>Presenza di trovanti e massi erratici di grandi dimensioni</i>	51
11.4.2	<i>Potenziale interferenza con la falda acquifera</i>	54
11.4.3	<i>Scavo in presenza di elevati carichi idraulici</i>	56
11.4.4	<i>Sottoattraversamento di aree urbanizzate con basse copertura e preesistenze superficiali</i>	56
11.5	INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO PROPEDEUTICI ALLO SCAVO	57
12	PROGRAMMA DI INDAGINI PER LE SUCCESSIVE FASI DI PROGETTAZIONE	58
13	CONCLUSIONI	59

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
	RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A

1 PREMESSA

Il presente documento illustra le tematiche progettuali e gli aspetti tecnici relativi al progetto preliminare delle gallerie naturali della Tratta Nazionale della Nuova Linea Torino-Lione (NLTL).

La Nuova Linea Torino Lione consta di tre tratte: la parte francese, totalmente in territorio della Francia, dall'agglomerato urbano di Lione a Saint-Jean-de-Maurienne, affidata a Réseau Ferré de France (RFF), la Parte Comune italo-francese che termina in corrispondenza del Sito di Sicurezza di Chiusa S. Michele di competenza della Lyon Turin Ferroviaire (LTF) e la Tratta Nazionale, di competenza di Rete Ferroviaria Italiana (RFI) che prosegue fino all'allaccio con la linea AV/AC TO-MI in prossimità di Settimo Torinese.

La progettazione preliminare della tratta nazionale ricade nell'ambito delle legge 443/01, cosiddetta "Legge Obiettivo".

La Tratta Nazionale della NLTL è distinta in due sottotratte, separate dalla piattaforma logistica di Orbassano: la sottotratta "Confine tratta internazionale –Orbassano" e la sottotratta "Orbassano – Settimo Torinese". Per la progettazione della sottotratta "Confine tratta internazionale- Orbassano" sono stati adottati i medesimi standard tecnico-funzionali adottati nella Parte Comune di competenza LTF e le prescrizioni della Commissione Intergovernativa (CIG). Nella sottotratta "Orbassano-Settimo Torinese" si è fatto riferimento agli standard tecnico-funzionali di RFI.

La lunghezza totale del tracciato, che si sviluppa per massima parte in sotterraneo, è pari a circa 45 km. Sono previste 2 gallerie naturali di linea, aventi lunghezza complessiva di circa 30 km.

2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Scopo del documento è illustrare i risultati della progettazione preliminare delle opere in sotterraneo della NLTL, tratta Nazionale. 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, idrogeologico e geotecnico;
- individuazione delle interferenze con opere e strutture preesistenti in superficie e nel sottosuolo;
- definizione delle modalità realizzative (tradizionale e/o meccanizzato) e delle sezioni tipo di scavo;
- definizione dei tempi e costi di costruzione delle opere.

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

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
	RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A

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° D04000R69RGGE0001002A “Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica”, giugno 2010;
- Rif. [2] U.O. Geologia, documento n° D04000R69P3GE0005001A “Planimetria ubicazione indagini”, giugno 2010;
- Rif. [3] U.O. Geologia, documento n° D04000R69DZGE0001003A “All.1. Stratigrafie pozzi e sondaggi”, giugno 2010;
- Rif. [4] U.O. Geologia, documento n° D04000R69DZGE0001004A “All.2. Misure piezometriche”, giugno 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. [5] U.O. Pianificazione e coordinamento progetti, documento n° D04000R05RGMD0000001A “Relazione descrittiva generale”, giugno 2010.
- Rif. [6] U.O. Geologia, documenti di progetto.

3.3 Documenti Superati

Non esistono documenti superati.

3.4 Documenti di riferimento per la progettazione delle gallerie

3.4.1 Normative Cogenti

- Rif. [7] Decreto Ministero delle Infrastrutture 14/01/2008. Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni.
- Rif. [8] Decreto Ministeriale 28/10/2005. Sicurezza nelle gallerie ferroviarie.
- Rif. [9] 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.

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A	FOGLIO 7 di 59

Rif. [10] 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. [11] 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. [12] 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. [13] SIG (1997). Linee guida per la progettazione, l'appalto e la costruzione di opere in sotterraneo.

Rif. [14] AFTES - Groupe de travail n°7, Tunnel support and lining. Recommendations for use of convergence –confinement method.

Rif. [15] ITA (1988). Guidelines for the design of tunnels.

Rif. [16] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.)

Rif. [17] 1°edizione 01/07/94 Fiche UIC 660 Annexe 1GC per la rete europea AV.

3.4.3 Ulteriori Prescrizioni e specifiche tecniche di RFI

Rif. [18] FS (1990) S.OC.S/3870 Sagome-Profili minimi degli ostacoli.

Rif. [19] I.CO.T/0W2/019/D5206 (1993) Nuovo profilo degli ostacoli per la rete europea ed AV.

Rif. [20] RFI Direzione Investimenti Ingegneria Civile (2003). Manuale di progettazione gallerie RFI DINIC MA GA GN 00 001 B.

3.4.4 Ulteriori Prescrizioni e specifiche tecniche di Italferr

Rif. [21] ITALFERR (2006). Manuale di progettazione ver.06 gennaio 2006.

Rif. [22] ITALFERR (1996). Linee guida per la progettazione esecutiva delle gallerie naturali.

4 ALLEGATI

Non sono presenti allegati.



NUOVA LINEA TORINO-LIONE
TRATTA NAZIONALE
PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D040	00	R07 RG	GN00 00 001	A	8 di 59

5 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

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

- Rif. [23] U.O. Gallerie, documento n.° D040 00 R 07 F4 GN0000 001 A intitolato “Gallerie di linea. Profilo geotecnico sottotratta “Confine tratta internazionale – Orbassano” tav. 1 /2” giugno 2010;
- Rif. [24] U.O. Gallerie, documento n.° D040 00 R 07 F4 GN0000 002 A intitolato “Gallerie di linea. Profilo geotecnico sottotratta “Confine tratta internazionale – Orbassano” tav. 2/2” giugno 2010;
- Rif. [25] U.O. Gallerie, documento n.° D040 00 R 07 F4 GN0000 003 A intitolato “Gallerie di linea. Profilo geotecnico sottotratta “Orbassano – Settimo Torinese” tav. 1 /2” giugno 2010;
- Rif. [26] U.O. Gallerie, documento n.° D040 00 R 07 F4 GN0000 004 A intitolato “Gallerie di linea. Profilo geotecnico sottotratta “Orbassano – Settimo Torinese” tav. 2 /2” giugno 2010;
- Rif. [27] U.O. Gallerie, documento n.° D040 00 R 07 WB GN0000 001 A intitolato “Gallerie naturali a singolo binario. Scavo meccanizzato. Sezioni tipo di intradosso” giugno 2010;
- Rif. [28] U.O. Gallerie, documento n.° D040 00 R 07 WB GN0000 002 A intitolato “Gallerie naturali a singolo binario. Scavo meccanizzato. Scavo in avanzamento. Carpenteria anello” giugno 2010;
- Rif. [29] U.O. Gallerie, documento n.° D040 00 R 07 WB GN0000 003 A intitolato “Gallerie di interconnessione di Avigliana. Opere di imbocco. Gallerie artificiali a singolo binario. Scavo meccanizzato. Portale” giugno 2010;
- Rif. [30] U.O. Gallerie, documento n.° D040 00 R 07 WB GN0000 004 A intitolato “Gallerie di interconnessione di Avigliana. Opere di imbocco. Gallerie artificiali a singolo binario. Scavo meccanizzato. Carpenteria” giugno 2010;
- Rif. [31] U.O. Gallerie, documento n.° D040 00 R 07 WZ GN0000 001 A intitolato “Opere particolari. Cameroni di interconnessione di Avigliana. Sezioni tipo di intradosso” giugno 2010;
- Rif. [32] U.O. Gallerie, documento n.° D040 00 R 07 PZ GN0200 001 A intitolato “Opere particolari. Galleria di Interconnessione di Avigliana binario pari. Finestra di sicurezza e uscita di emergenza. Planimetria e profilo longitudinale” giugno 2010;
- Rif. [33] U.O. Gallerie, documento n.° D040 00 R 07 PZ GN0200 002 A intitolato “Opere particolari. Galleria di Interconnessione di Avigliana binario pari. Finestra di sicurezza. Pianta e sezioni zone di innesto” giugno 2010;
- Rif. [34] U.O. Gallerie, documento n.° D040 00 R 07 PZ GN0200 003 A intitolato “Opere particolari. Galleria di Interconnessione di Avigliana binario pari. Uscita di emergenza. Pianta e sezioni zone di innesto ed allargato” giugno 2010;
- Rif. [35] U.O. Gallerie, documento n.° D040 00 R 07 PZ GN0100 001 A intitolato “Opere particolari. By-pass di collegamento per gallerie a doppia canna. Galleria S.Antonio. Pianta, profilo e sezioni” giugno 2010;
- Rif. [36] U.O. Gallerie, documento n.° D040 00 R 07 PZ GN0600 001 A intitolato “Opere particolari. By-pass di collegamento per gallerie a doppia canna. Galleria Dora. Pianta, profilo e sezioni” giugno 2010;



NUOVA LINEA TORINO-LIONE
TRATTA NAZIONALE
PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D040	00	R07 RG	GN00 00 001	A	9 di 59

- Rif. [37] U.O. Gallerie, documento n.° D040 00 R 07 PZ GN0600 002 A intitolato “Opere particolari. Interventi di consolidamento da piano campagna. Galleria Dora. Sottoattraversamento Corso Marche. Planimetria e sezioni” giugno 2010;
- Rif. [38] U.O. Gallerie, documento n.° D040 00 R 07 PZ GN0600 003 A intitolato “Opere particolari. Interventi di consolidamento da piano campagna. Galleria Dora. Sottoattraversamento autostrada A4 e linea AV TO-MI. Planimetria e sezioni” giugno 2010;
- Rif. [39] U.O. Gallerie, documento n.° D040 00 R 07 PZ GN0000 001 A intitolato “Opere accessorie. Pozzi di aggottamento Gallerie di linea. Piante e sezioni” giugno 2010;
- Rif. [40] U.O. Gallerie, documento n.° D040 00 R 07 PZ GN0100 002 A intitolato “Opere accessorie. Pozzo di ventilazione. Galleria S. Antonio. Piante e sezioni” giugno 2010;
- Rif. [41] U.O. Gallerie, documento n.° D040 00 R 07 PZ GN0600 004 A intitolato “Opere accessorie. Pozzo di discesa cavi. Galleria Dora. Pianta e sezioni” giugno 2010;

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A	FOGLIO 10 di 59

6 METODOLOGIA DI LAVORO

La progettazione delle opere in sotterraneo della tratta nazionale della NLTL è stata condotta con riferimento ai seguenti standard:

- per la sottotratta “Confine tratta internazionale –Orbassano” sono stati adottati i medesimi standard tecnico-funzionali impiegati nella progettazione della tratta comune di LTF, tenendo conto, ai fini della sicurezza in esercizio, delle prescrizioni della C.I.G.;
- per la sottotratta “Orbassano – Settimo Torinese” sono stati adottati gli standard di RFI, tenendo conto, ai fini della sicurezza in esercizio, di quanto prescritto dalle STI (Rif. [10], Rif. [11], Rif. [12]) e nel rispetto del DM 28/10/2005 (Rif. [8]).

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

- la litologia e la successione stratigrafica di terreni/rocce 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 ai fini dell’ottimizzazione di tempi e costi (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 dei materiali, dei fenomeni deformativi attesi e delle interferenze lungo il tracciato, anche la tipologia di interventi di consolidamento propedeutici allo scavo.

7 ASPETTI GENERALI

7.1 Il tracciato di progetto

Il tracciato di progetto della tratta nazionale della nuova linea Torino-Lione si sviluppa nel territorio compreso tra la parte terminale della val di Susa (comune di Chiusa San Michele) ad Ovest, l'anfiteatro morenico di Rivoli-Avigliana nella sua porzione centrale e la pianura torinese ad Est, dal comune di Orbassano fino a Settimo Torinese.

I Comuni della Provincia di Torino, interessati dal passaggio della Tratta Nazionale, sono: Chiusa San Michele, Sant'Ambrogio di Torino, Avigliana, Buttigliera Alta, Rosta, Rivoli, Rivalta, Orbassano, Grugliasco, Collegno, Torino, Venaria Reale e Settimo Torinese.

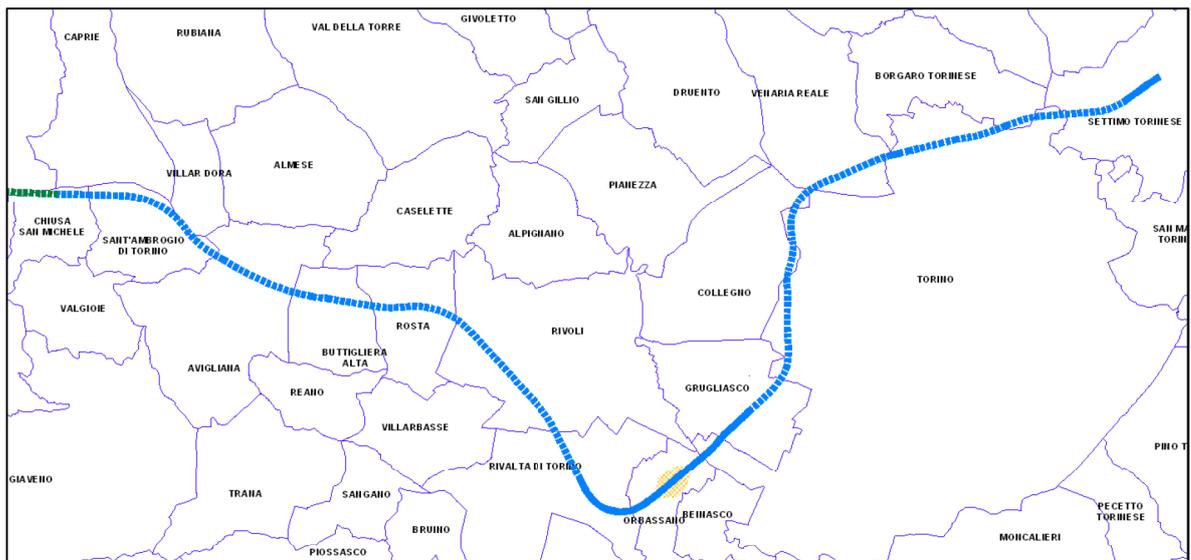


Figura 7.1 – Planimetria del tracciato della NLTL e comuni attraversati

La scelta del tracciato plano-altimetrico e delle opere ad esso correlate deriva da approfondimenti progettuali multidisciplinari. Tale studio ha portato all'individuazione di una soluzione di tracciato che, tenuto conto dei requisiti e dei dati di base, si integra nel territorio con un ridottissimo impatto, in termini di inserimento paesaggistico, ambientale e di interferenza con l'edificato. Il tracciato si sviluppa, infatti, per la massima parte in sotterraneo: la lunghezza totale della Tratta Nazionale è di circa 44,3 km, di cui circa 38,7 km in galleria e circa 5,6 km allo scoperto. Dei 38,7 km di galleria circa 30 km sono in galleria naturale e circa 8,7 km in galleria artificiale.

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A	FOGLIO 12 di 59

Il tratto in sotterraneo è costituito da due lunghe gallerie naturali, una per ciascuna sottotratta, entrambe precedute da gallerie artificiali agli imbocchi.

Seguendo il percorso da Ovest verso Est, il tracciato ha inizio in sotterraneo a partire dal sito di sicurezza di Chiusa S. Michele, superando S. Ambrogio e ponendosi all'esterno dell'edificio sotto l'area agricola tra il Fiume Dora Riparia e la Linea Storica. La NLTL prosegue in galleria riportandosi sotto il sedime della Linea Storica prima del comune di Avigliana. Tra i comuni di Avigliana e di Buttigliera Alta si realizza l'interconnessione con la linea storica tramite due tratti in galleria che si diramano in direzione Est-Ovest dalle gallerie della NLTL ed escono in superficie oltre la frazione di Ferriere verso Avigliana, affiancandosi al sedime della LS.

La NLTL attraversa la collina morenica nei comuni di Rosta e Rivoli sempre in galleria naturale. Risale oltre il piano campagna accanto all'abitato di Rivalta e prosegue attraversando l'area del futuro Parco del Sangone per circa 1,9 km, per i quali è previsto il ricoprimento della struttura scatolare ferroviaria con l'utilizzo del materiale di scavo della collina morenica, che ospita una sovrastante viabilità pedonale, una viabilità ciclabile o veicolare a bassa velocità per la fruizione del parco. In questo modo la NLTL esce allo scoperto soltanto in prossimità delle esistenti aste di manovra, estremità Sud dello scalo di Orbassano. Per i successivi 5 km circa la linea rimane in superficie per consentire la realizzazione del sistema dei collegamenti ferroviari con lo scalo di Orbassano, dove termina la sottotratta "Confine tratta internazionale – Orbassano".

Dopo lo scalo di Orbassano, all'altezza di bivio Pronda inizia la sottotratta "Orbassano-Settimo Torinese". Il tracciato ritorna nuovamente in sotterraneo, inserendosi sotto Corso Marche e realizzando un unico corridoio infrastrutturale con il Nuovo Asse Stradale di Corso Marche. La linea supera in sotterraneo il fiume Dora Riparia e il torrente Stura di Lanzo, in gran parte collocandosi sotto la Tangenziale Nord fino all'innesto in superficie con la linea AV/AC Torino-Milano in prossimità di Settimo Torinese. La nuova infrastruttura termina alla progressiva km 44+350. A valle di tale progressiva, sulla linea AV/AC Torino Milano è stato posizionato il marciapiede del Posto di Soccorso, quindi l'intervento totale termina alla progressiva km 45+720.

La velocità di progetto del tracciato è pari a 220 km/h, con velocità ridotta a 160 km/h all'ingresso dello scalo di Orbassano e 120 Km/h in corrispondenza dell'imbocco del corridoio di corso Marche; il raggio minimo del tracciato è 1000 m in corrispondenza di Bivio Pronda/San Paolo e la pendenza massima è del 12 ‰ per i treni passeggeri. E' presente un breve tratto con il 15 ‰ in corrispondenza della risalita a Settimo Torinese per i treni merci della Gronda, che non determina, a causa della brevità della rampa, problematiche di prestazione dei treni merci.

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A	FOGLIO 13 di 59

8 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

8.1 Configurazione e sviluppo delle opere in sotterraneo

Per garantire adeguati requisiti di sicurezza in esercizio, la configurazione prevista per le gallerie naturali di entrambe le sottotratta è quella di gallerie a doppia canna a singolo binario, collegate con cunicoli trasversali. Completano il sistema altre opere sotterranee, costituite da uscite di emergenza, pozzi di aggettamento in corrispondenza dei punti di minimo (“corde molli”) del tracciato e un pozzo di ventilazione.

8.1.1 Sottotratta “Confine tratta internazionale-Orbassano”

La sottotratta ha una lunghezza complessiva di circa 23 km. Il tracciato si sviluppa per la massima parte in sotterraneo. Le principali opere in sotterraneo presenti lungo il tracciato sono: una galleria naturale di linea, tre gallerie artificiali di linea, due gallerie di interconnessione con la linea storica e due cameroni di interconnessione.

8.1.1.1 La galleria naturale S.Antonio

La galleria naturale S.Antonio è preceduta, lato Lione, dalla galleria artificiale S.Ambrogio (da pk 0+000 - 1+100) e termina alla pk 15+600, dove il tracciato prosegue in artificiale fino all’imbocco lato Torino (pk 20+826). La galleria naturale S.Antonio si estende dalla pk 1+100 alla pk 15+600 per un lunghezza di 14500 m.

Il tracciato della galleria naturale si sviluppa per circa 3 km tra il fiume Dora Riparia e il rilevato ferroviario della Linea storica, per poi seguire planimetricamente la linea esistente fino alla pk 6+000, oltre la quale comincia ad attraversare le pendici della collina morenica. Il tracciato in galleria prosegue all’interno della collina morenica fino al comune di Rivalta dove la linea prosegue in artificiale.

Altimetricamente il tracciato della galleria è caratterizzato da una livelletta in discesa verso le progressive crescenti, con pendenza del 12‰ nei primi 500 m e del 2-3‰ fino alla pk 6+433, A questa progressiva la livelletta comincia a salire nella zona delle interconnessioni di Avigliana per ridurre la lunghezza dell’interconnessione binario dispari, per poi ridiscendere fin verso Rosta, al fine di riguadagnare maggiori coperture sotto l’abitato. All’interno della collina morenica l’esigenza di mantenere la galleria alle quote più alte possibili alla luce delle condizioni idrogeologiche dell’area, produce una nuova variazione altimetrica con la livelletta in salita con la pendenza massima del 12‰ fino alla pk 13+267, da cui ridiscende con analoga pendenza fino al termine della galleria naturale.

La galleria S. Antonio si sviluppa per circa 5 km di tracciato sotto coperture dell’ordine di 10-15 metri. Dalla pk 6+430 circa la copertura cresce progressivamente fino a raggiungere i 70 m alla pk 8+130 oltre la quale la copertura decresce nuovamente fino a circa 20 m sotto l’abitato di Rosta (intorno alla pk 10+400). All’interno della collina morenica le coperture aumentano nuovamente fino a raggiungere il valore massimo pari a 130 m circa alla pk 13+600 (Fig. 8.1).

L’interasse delle canne nella parte iniziale del tracciato si mantiene maggiore o uguale a 40 m per ridursi fino a 25 m in corrispondenza dell’attraversamento dei comuni di Avigliana e Rosta. All’interno della collina morenica l’interasse delle canne riaumenta fino a valori maggiori o uguali a 40 m.

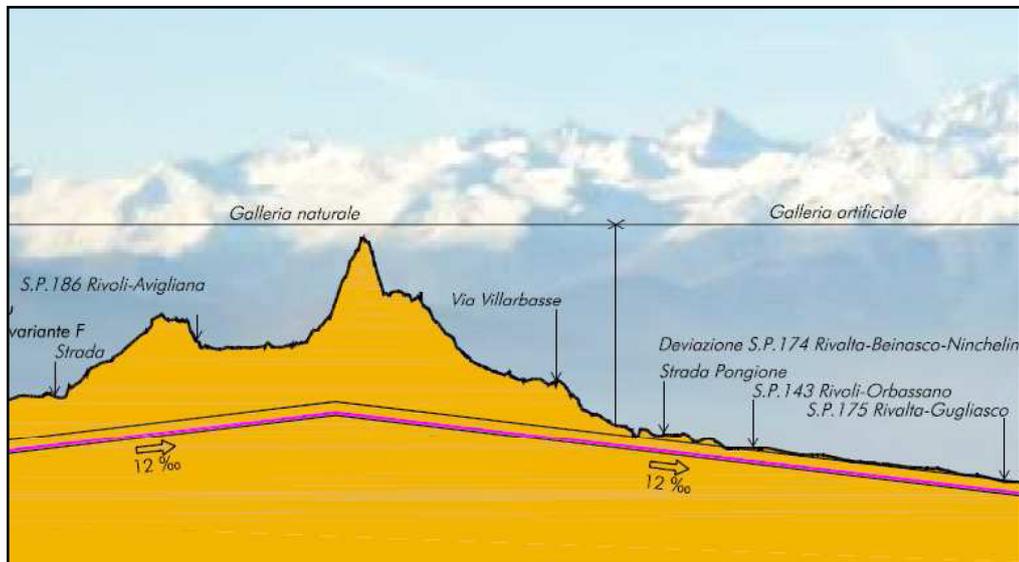


Figura 8.1 – Tracciato altimetrico nell'attraversamento della collina morenica

Le gallerie di Interconnessione di Avigliana

Le interconnessioni si diramano in direzione Est-Ovest dalle gallerie della NLTL ed escono in superficie oltre la frazione di Ferriere verso Avigliana, per un tratto di circa 3 km, affiancandosi al sedime della Linea Storica.

La galleria di interconnessione binario dispari si sviluppa per 200 m in artificiale e per circa 813 m in naturale. La galleria di interconnessione binario pari si sviluppa per 300 m in artificiale e per circa 2044 m in naturale.

I Cameroni di Interconnessione

I Cameroni di Interconnessione si sviluppano per circa 200 m di lunghezza, con sezioni variabili da 22 m a 11 m circa misurate al piano ferro.

Nella tabella seguente sono riepilogate lunghezze e progressive delle opere in sotterraneo relative alla sottotratta "Confine tratta internazionale-Orbassano":

OPERE	da pk	a pk	L (m)
Galleria naturale S. Antonio – GN01	1+100	15+600	14500
Camerone di Interconnessione B.P. – GN04	9+362.8	9+563.29	200.49
Camerone di interconnessione B.D. – GN05	7+929	8+146.94	217.94

Galleria di Interconnessione binario pari	da pk	a pk	L (m)
galleria artificiale – GA02	2+950	3+250	300
galleria naturale – GN02	3+250	5+294.16	2044.16
Galleria di Interconnessione binario dispari	da pk	a pk	L (m)
galleria artificiale – GA03	2+800	3+000	200
galleria naturale – GN03	3+000	3+812.88	812.88

8.1.2 Sottotratta “Orbassano- Settimo Torinese”

La sottotratta “Orbassano-Settimo” ha una lunghezza complessiva di circa 20 km. Il tracciato si sviluppa per la massima parte in sotterraneo. E’ presente una sola galleria naturale di linea, la galleria Dora, di circa 15 400 m di lunghezza.

La galleria naturale Dora è preceduta, lato Lione, da pk 25+500 a pk 27+682.64 da una galleria artificiale e termina alla pk 43+150 per la canna binario dispari e alla pk 43+520 per la canna binario pari.

Il tracciato della galleria naturale si sviluppa fino alla pk 30+000 in una zona densamente urbanizzata della città di Torino. Prosegue in rettilineo, sottoattraversando il fiume Dora Riparia, raccordandosi con il tracciato della Tangenziale Nord. Il tracciato ferroviario si mantiene per gran parte del suo sviluppo al di sotto della Tangenziale, sotto passando anche il fiume Stura di Lanzo. Alla pk 41+000 il tracciato ferroviario lascia l’asse della tangenziale per interconnettersi all’aperto con la linea AV Torino-Milano nei pressi di Settimo Torinese.

Altimetricamente il tracciato della galleria è caratterizzato da una livelletta in discesa verso le progressive crescenti, con pendenza variabile dal 12‰ al 2‰ fino alla pk 41+710. A questa progressiva la livelletta risale con pendenza del 12‰ circa fino all’imbocco.

La galleria Dora si sviluppa pressoché lungo tutto il tracciato sotto coperture tra i 30 e i 40 m, fatta eccezione per il sottoattraversamento dei fiumi Dora Riparia e Stura di Lanzo, al di sotto dei quali la copertura si riduce a circa 15 m, al fine di mantenere la galleria il più possibile all’interno dell’acquifero superficiale.

L’interasse delle canne lungo il tracciato varia da un minimo di 20 m ad un massimo di circa 40 m.

Nella tabella seguente sono riepilogate le lunghezze e progressive delle opere in sotterraneo della sottotratta “Orbassano-Settimo Torinese”:

OPERE	da pk	a pk	L (m)
Galleria naturale Dora – GN06			
galleria naturale GN binario pari	27+682.64	43+030	15347.36
galleria artificiale GA binario pari	43+030	43+150	120
galleria naturale GN binario pari	43+150	43+520	370
galleria naturale GA binario dispari	27+682.64	43+150	15467.36

8.2 Sezioni tipo di intradosso

In funzione dell'andamento altimetrico di tracciato ed ai fini della sicurezza d'esercizio e di manutenzione, sono previsti pozzi di ventilazione, aggotamento e discesa cavi.

8.2.1 Sottotratta "Confine tratta internazionale-Orbassano"

Per la galleria naturale S. Antonio, in accordo con le specifiche LTF, è prevista l'adozione della sagoma AF, con linea di contatto posta a 5.57 m dal piano ferro. La sezione di intradosso è monocentrica con raggio di intradosso pari a 4.20 e un'area libera interna pari a 55.4 m², con marciapiede ubicato a +0.64 m sul piano ferro e con distanza del bordo stradale dall'asse binario di 1.825 m. L'armamento è su piastra. La sezione è attrezzata 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.

Per le gallerie di interconnessione con la linea storica la sezione di intradosso è la medesima adottata per le gallerie di linea.

8.2.2 Sottotratta "Orbassano- Settimo Torinese"

Per la galleria naturale Dora si applicano gli standard RFI. È prevista l'adozione del Gabarit C-PMO 5, con linea di contatto posta a 5.30 m dal piano ferro. La sezione di intradosso è monocentrica con raggio di intradosso pari a 4.30 m e un'area libera interna pari a 58 m²; con marciapiede ubicato a +0.20 m sul piano ferro e con distanza del bordo stradale dall'asse binario di 2.0 m, in accordo con il Manuale di progettazione RFI. L'armamento è su ballast. In analogia ai criteri adottati nella precedente sottotratta, la sezione è attrezzata in modo da consentire la raccolta e lo smaltimento di liquidi pericolosi in caso di accidentale sversamento da vagoni merci.

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
	RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A

8.3 Nicchie

Per entrambe le sottotratte non sono previste nicchie di ricovero personale. Nella sottotratta “Orbassano-Settimo Torinese” sono invece previste nicchie tecnologiche, di dimensioni adeguate alle esigenze impiantistiche delle gallerie. In funzione delle necessità nelle successive fasi progettuali si potrà studiare la soluzione realizzativa tramite strutture prefabbricate in aggetto rispetto al rivestimento definitivo al fine di evitarne la parziale demolizione.

8.4 By-pass trasversali

8.4.1 Sottotratta “Confine tratta internazionale-Orbassano”

Per la galleria naturale S.Antonio, con configurazione a doppia canna, è prevista, in accordo con gli standard tecnico-funzionali della Parte Comune della linea Torino-Lione, la realizzazione di rami di collegamento trasversali ad interasse di 333m, aventi le seguenti caratteristiche: area in pianta di circa 130 m², altezza utile da piano di calpestio pari a 2.7 m, larghezza minima di 4.0 m e larghezza delle porte di 2.0 m (Fig. 8.2).

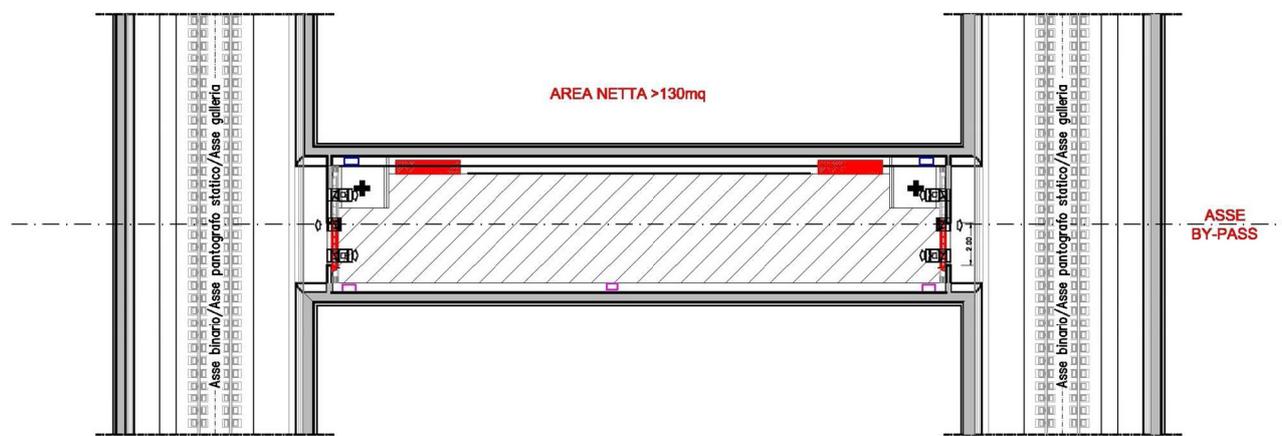


Figura 8.2 – Schema dei cunicoli di by-pass nella galleria S.Antonio per interasse tra le canne $i \geq 40$ m.

Laddove, per esigenze di tracciato, gli interassi tra le canne sono inferiori ai 40 m, sempre nel rispetto del passo di 333 m, i collegamenti trasversali saranno realizzati con una configurazione geometrica ad H, prevedendo per ciascun by-pass due luoghi di ricovero attigui e collegati tra loro da un passaggio longitudinale di adeguate dimensioni, al fine di ottemperare al requisito di una superficie utile di 130 m² (Fig. 8.3).

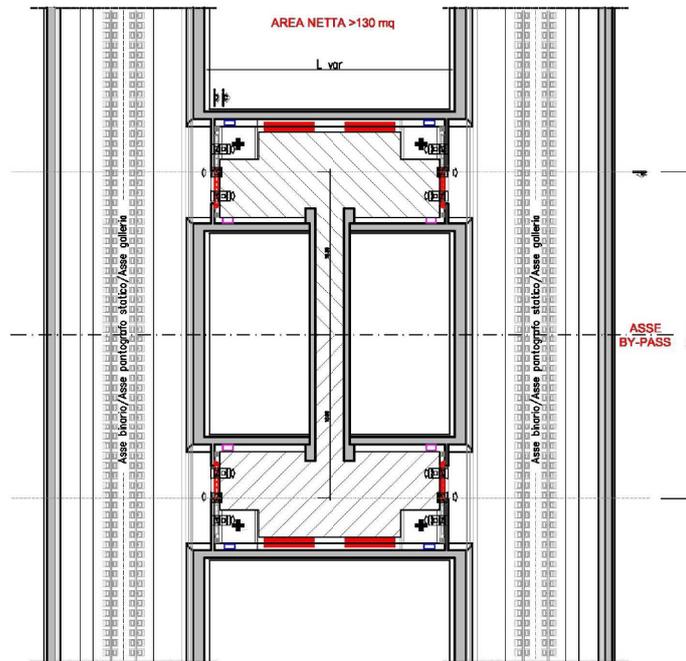


Figura 8.3 – Schema planimetrico dei cunicoli di by-pass nella galleria S. Antonio per interasse tra le canne $i < 40m$.

8.4.2 Sottotratta “Orbassano- Settimo Torinese”

Per la galleria naturale Dora, con configurazione a doppia canna, è prevista la realizzazione di collegamenti trasversali ogni 500 m e con dimensioni rispondenti ai requisiti della STI/SRT 2008 (Fig. 8.4).

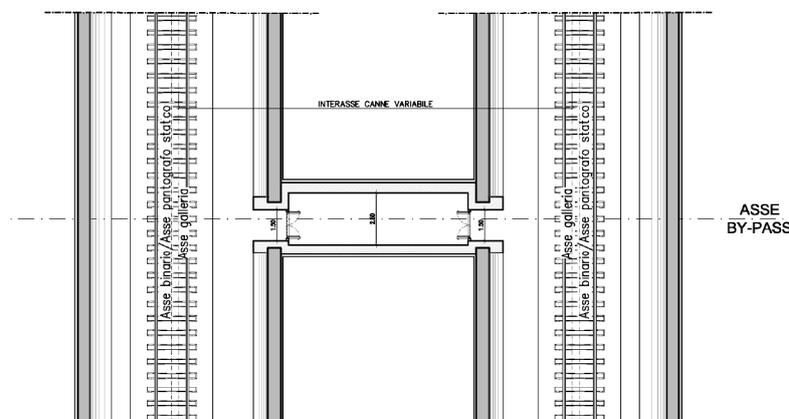


Figura 8.4 – Schema dei cunicoli di by-pass nella galleria Dora.

8.5 Uscite di emergenza

Per le gallerie di interconnessione a singolo binario di Avigliana, si fa riferimento al requisito della norma STI/SRT 2008 (Safety in Railway Tunnel - § 4.2.2.6.3) che prevede uscite di emergenza ogni 1000 m. Per la galleria di interconnessione pari, con lunghezza di 2400 m, sono necessarie, pertanto, due uscite di emergenza.

8.5.1 Caratteristiche delle uscite/accessi di emergenza

Le sezioni tipo da applicare alle uscite di emergenza devono essere scelte in relazione alla lunghezza dei percorsi di esodo e alla funzionalità attribuita all'uscita. In questo caso la finestra è stata progettata per assolvere alla sola funzione di via di esodo.

Per la galleria di interconnessione di Avigliana, binario pari, il sistema delle uscite di emergenza è configurato con un'unica uscita verso l'esterno, realizzata tramite una finestra di sicurezza F che si innesta sulla galleria alla pk 1+000. A partire da tale finestra di sicurezza viene realizzata un'uscita di emergenza carrabile, di lunghezza 400 m, costituita da un cunicolo parallelo alla galleria e ad essa collegata (alla pk 1+400) tramite un cunicolo pedonale (Fig. 8.5).

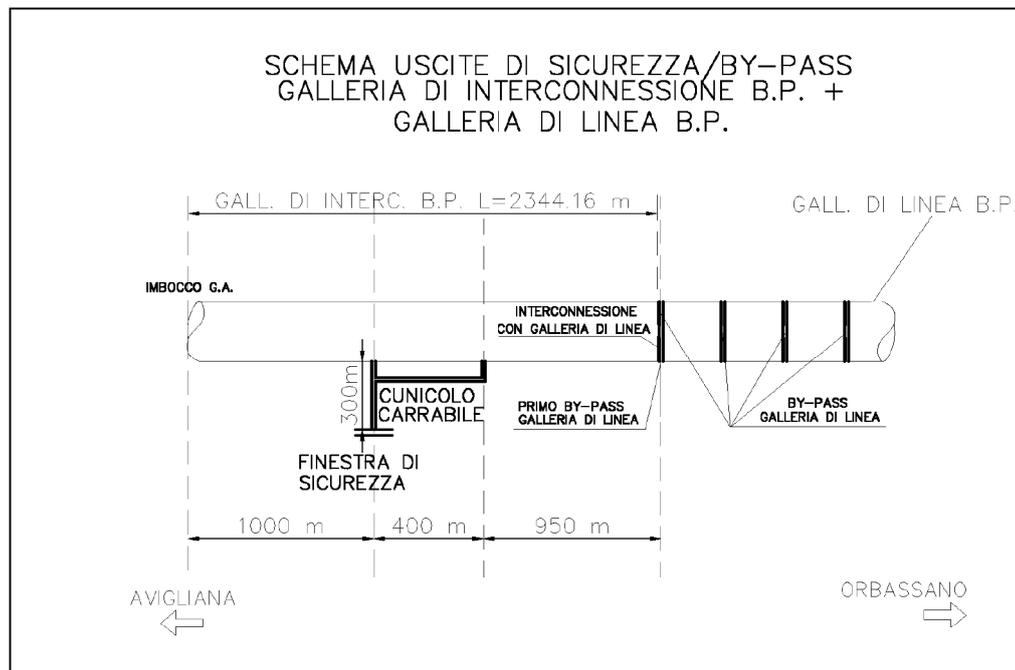


Figura 8.5 – Schema delle uscite di emergenza per la galleria di interconnessione di Avigliana BP.

La finestra ha una lunghezza pari a circa 280 m e pendenza del 13%. La finestra di emergenza ha sezione trasversale rispondente ai requisiti geometrici minimi (larghezza media $\geq 6\text{m}$, altezza media in chiave $\geq 5\text{m}$).

fissati nelle “Linee guida per il miglioramento della sicurezza nelle gallerie ferroviarie” del 1997 per le uscite di sicurezza (Sezione tipo 3- Fig. 8.6). E’ consentito l’incrocio dei mezzi di soccorso, pur se a velocità moderata e con parziale sormonto del ciglio del marciapiede. In corrispondenza dell’innesto tra uscita pedonale e finestra F sarà realizzato un allargo tale da garantire l’incrocio dei mezzi di soccorso

Il cunicolo parallelo alla galleria di interconnessione ha sezione trasversale tale da consentire il transito al suo interno di un autofurgone polisoccorso di dimensioni pari a 2,12 m x 2,66 m, garantendo un percorso pedonale di larghezza minima pari a 90 cm (Sezione tipo 2 – Fig. 8.7). Ogni 250 m sono previste zone di allargo di lunghezza indicativa pari a 15 m, per consentire l’incrocio dei veicoli e, a fine cunicolo, un’area di manovra per consentire l’inversione di marcia dei mezzi di soccorso.

SEZIONE TIPO 3
SCAVO TRADIZIONALE

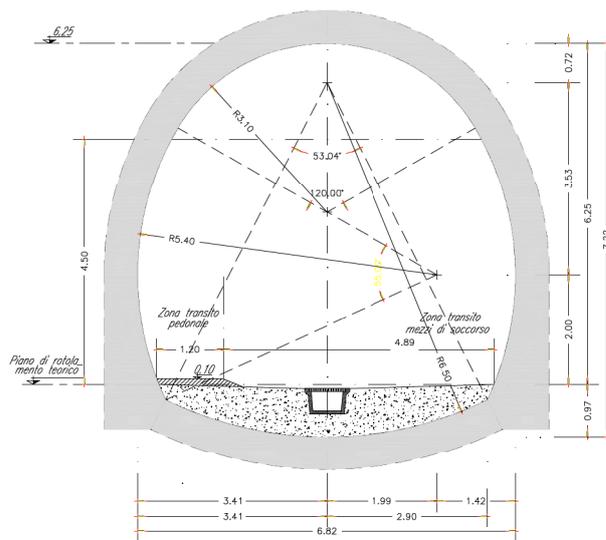


Figura 8.6 – Sezione tipo 3: uscita/accesso carrabile (finestra di sicurezza).

La finestra di accesso intermedia sarà realizzata in tradizionale, da questa per allarghi successivi si realizzerà in tradizionale il primo camerone di manovra. Dal camerone di manovra si procederà allo scavo in tradizionale del cunicolo carrabile. Alle due testate del cunicolo carrabile si realizzeranno in tradizionale e per allarghi successivi le due aree di manovra. Il collegamento trasversale tra la galleria e il cunicolo carrabile laterale sarà realizzato con scavo in tradizionale.

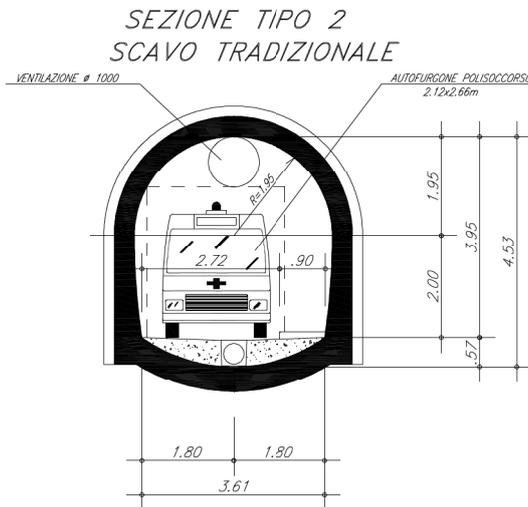


Figura 8.7 – Sezione tipo 2: uscita/accesso carrabile.

8.6 Pozzi

8.6.1 Sottotratta “Confine tratta internazionale-Orbassano”

Per la galleria naturale S. Antonio è necessario realizzare le predisposizioni per la ventilazione longitudinale delle canne. Si prevede, pertanto, in posizione intermedia tra i due imbocchi, l'esecuzione di un pozzo di ventilazione, collegato in sommità alla centrale di ventilazione, che va ad innestarsi sulla calotta delle due gallerie. Il pozzo, ubicato alla pk 9+702, ha diametro interno di 9 m e lunghezza di circa 40 m. All'interno del pozzo di ventilazione è stato realizzato un corpo scala che consente l'accesso in galleria tramite un cunicolo trasversale alla base del pozzo. Il pozzo in sommità è collegato ad una stazione di pompaggio (fabbricato PGEP).

Per vincoli al contorno e per ridurre l'impatto sulle interferenze, il tracciato, come già detto, presenta due punti di minimo (“corda molle”) che non consentono lo smaltimento verso l'imbocco dell'acqua raccolta in piattaforma. Pertanto si prevede la realizzazione di due pozzi di aggotamento: il primo pozzo è ubicato alla pk 6+433 ed ha una lunghezza di circa 36 m, il secondo è ubicato alla pk 10+943 ed ha una lunghezza di circa 50 m. La parte terminale dei pozzi è configurata come vasca di accumulo temporaneo dei liquidi pericolosi eventualmente sversati in galleria. Tali vasche saranno realizzate con materiali e tecniche che garantiscono la perfetta tenuta idraulica: doppia impermeabilizzazione, calcestruzzo con classe di esposizione XA3, rivestimento con resine epossidiche. Le vasche saranno attrezzate con pompe per aggotamento di acqua e con pompe per aggotamento liquidi pericolosi, che entreranno in funzione solo nel caso di sversamento di liquidi pericolosi. Il prelievo dei liquidi pericolosi avverrà tramite vagone-cisterna da parte dei VV.FF.. Le pompe per i



NUOVA LINEA TORINO-LIONE
TRATTA NAZIONALE
PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D040	00	R07 RG	GN00 00 001	A	22 di 59

liquidi pericolosi sono attivabili da una sola delle due canne, collegata al pozzo di aggotamento tramite un cunicolo realizzato per esigenze di manutenzione/ispezione.

8.6.2 Sottotratta “Orbassano- Settimo Torinese”

Per la galleria naturale Dora è prevista la realizzazione di un pozzo intermedio per discesa cavi, attrezzato con rampe di scale per l’accesso in galleria e collegato in sommità con una stazione di pompaggio in superficie (fabbricato PGEP). Il pozzo è situato alla pk 33+000 ed ha lunghezza di circa 40 m.

Anche per la galleria Dora i vincoli al contorno determinano un punto di minimo del tracciato, in corrispondenza del quale (pk. 41+709.9) è quindi necessario prevedere la realizzazione di un pozzo di aggotamento di lunghezza pari a circa 50m. Anche questo ospita alla base la vasca di accumulo dei liquidi pericolosi eventualmente sversati in galleria, con caratteristiche del tutto analoghe a quelle indicate per i pozzi di aggotamento della sotto tratta “confine tratta internazionale – Orbassano”. Analogamente si provvederà per il prelievo dei liquidi pericolosi.

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
	RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A

9 FASE CONOSCITIVA

9.1 Inquadramento geologico e idrogeologico

Lo studio geologico, effettuato sulla base delle informazioni di letteratura, dei risultati di precedenti indagini e della campagna di indagini eseguita nell'ambito di questa fase di 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 esaurientemente esposti e commentati nell'elaborato di progetto "Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica" ([Rif. [1]]).

9.1.1 Caratteri litologici e stratigrafici

L'area oggetto dello studio geologico ha un'estensione di circa 400 km², compresa tra la parte terminale della val di Susa ad Ovest, l'anfiteatro morenico di Rivoli-Avigliana nella sua porzione centrale, e la pianura torinese centro-occidentale ad Est. Si distinguono tre elementi morfografici, che corrispondono a tre domini geologicamente distinti (Rif. [1]):

- il substrato metamorfico pre-pleiocenico, costituito da rocce di crosta continentale (Unità Dora-Maira), da rocce di crosta oceanica (Unità bassa Valle di Susa - Valli di Lanzo - Monte Orsiera) e da rocce di mantello (Complesso Ultrabasico di Lanzo);
- i depositi glaciali dell'Anfiteatro di Rivoli-Avigliana;
- i depositi pliocenico-quadernari della pianura torinese.

In particolare, il tracciato delle opere in sotterraneo attraversa i depositi glaciali e i depositi pliocenico-quadernari della pianura torinese, le cui principali caratteristiche sono di seguito descritte.

1. Depositi glaciali dell'Anfiteatro Morenico di Rivoli-Avigliana (depositi morenici).

Sono il prodotto del trasporto e deposito operato dai ghiacciai. A causa dell'azione non selettiva operata dai ghiacciai, sono in genere costituiti da elementi grossolani (ciottoli, ghiaie e sabbie) in una matrice fina limo-argillosa, a volte con trovanti lapidei (Fig. 9.1). Per la deposizione di legante carbonatico ad opera delle acque di circolazione sotterranee, questi depositi presentano un grado di cementazione fortemente variabile, che ha dato origine in alcuni casi a veri e propri livelli lapidei (conglomerati) (Fig. 9.2). All'interno dei depositi glaciali possono essere presenti i cosiddetti massi erratici: si tratta di ammassi rocciosi veri e propri, con volumi variabili da qualche decina di m³ fino a centinaia (in qualche caso migliaia) di m³, rinvenuti sia in superficie, sia in profondità e con una distribuzione spaziale variabile. Da un punto di vista litologico, si tratta di metabasiti, metagabbri, serpentiniti, prasiniti e peridotiti.



Figura 9.1 – I depositi morenici.



Figura 9.2 – I livelli conglomeratici dei depositi morenici.

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A	FOGLIO 25 di 59

2. Depositi pliocenico-quadernari della pianura torinese

Sono costituiti da depositi alluvionali e depositi fluvio-glaciali poggianti su un substrato plio-pleistocenico. Si distinguono in:

- depositi fluviali:

sono prevalentemente costituiti dalle alluvioni antiche e recenti che bordano la Dora Riparia e il Sangone. Sono terreni ben classati e selezionati dalla elevata energia di trasporto del corso d'acqua. Sono costituiti da ghiaie e sabbie con rari ciottoli e intercalazioni limose.

- depositi fluvio-glaciali:

derivano dall'azione dei corsi d'acqua originatisi nelle fasi interglaciali a seguito dello scioglimento dei ghiacciai. A causa della variabile capacità di trasporto del corso d'acqua, legata alle condizioni climatiche, questi depositi sono caratterizzati da livelli alterni grossolani (sabbie e ghiaie) e fini (limi e argille). Sono presenti livelli cementati, ma è difficile ricostruire l'andamento spaziale sia verticale, sia orizzontale in quanto il grado di cementazione ha una spiccata variabilità (Fig. 9.3). I livelli cementati sono stati intercettati in numerose perforazioni in tutto il settore della Dora Riparia posto all'esterno dell'Anfiteatro Morenico fino alla città di Torino. Nella città di Torino questi livelli si incontrano usualmente a profondità comprese fra 20 e 40 metri e spesso si localizzano al di sopra del livello piezometrico medio della falda. Spostandosi verso ovest questi livelli impermeabili, discontinui in senso verticale, si ritrovano su spessori via via più elevati che, complessivamente, possono raggiungere i 50 metri.



Figura 9.3 – Depositi fluvio-glaciali (sondaggio G62 – profondità 15 ÷ 20 m)

- depositi continentali del Villafranchiano (“Villafranchiano”):

sono presenti lungo il tracciato, alla base dei depositi morenici e dei depositi fluvio-glaciali, nei due termini, indicati come “complesso inferiore” e “complesso superiore”. Si tratta di sabbie più o meno

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
	RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A

fini, con livelli e strati limo-argillosi. Il complesso inferiore è a prevalente comportamento coesivo, il complesso superiore, costituito in netta prevalenza da ghiaie minute, con intercalazioni di sabbie limose e limo, ha prevalente comportamento incoerente. Alla base dei depositi morenici dell’Anfiteatro di Rivoli-Avigliana è presente il “complesso inferiore” caratterizzato da argille con sottili e ritmiche intercalazioni di sabbie fini, di deposizione lacustre (Fig. 9.4).



Figura 9.4 – Il “Villafranchiano” del complesso inferiore.

- depositi marini pliocenici (“Sabbie dell’Astiano” e “Argille di Lugagnano”):

in una ristretta area in prossimità di Torino, alla base dei depositi superficiali quaternari sono presenti la formazione delle Sabbie di Astiano e la formazione delle Argille di Lugagnano. Le Sabbie di Astiano sono costituite da sabbie fini uniformi e in subordine da limi; talvolta si riscontrano sottili strati ghiaiosi oppure livelli cementati dal carbonato di calcio proveniente dagli abbondanti fossili. Il passaggio al sottostante complesso delle Argille di Lugagnano è sempre graduale e sfumato e tra le formazioni dei due complessi si osservano anche passaggi laterali in eteropia di facies. Le Argille di Lugagnano sono argille e limi grigio-azzurrognoli.

9.1.2 Caratteri idrogeologici

La definizione dei caratteri idrogeologici dell’area interessata dal tracciato è stata condotta sulla base di un ampio dataset di informazioni provenienti dagli enti operanti sul territorio, da bibliografia scientifica specializzata e mediante sopralluoghi e indagini (Rif. [1]).

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A	FOGLIO 27 di 59

La ricostruzione della piezometrica lungo il tracciato rivela una direzione delle linee di flusso centrifuga nella zona della collina morenica e da ovest verso est nelle altre zone.

Tuttavia, nella zona dell'anfiteatro morenico gli unici dati disponibili si hanno lungo i corsi d'acqua della Dora e del Sangone, mentre in corrispondenza della collina morenica i dati sono estremamente scarsi. La ricostruzione, eseguita con i dati disponibili, evidenzia una risalita della falda in corrispondenza della porzione centrale dell'anfiteatro morenico. Nell'area sono in corso di realizzazione una serie di sondaggi della campagna Italferr e alcuni di questi sono previsti nella zona dell'anfiteatro morenico. Mediante questi sondaggi dovrebbe essere possibile ricostruire con maggiore precisione la sequenza stratigrafica dell'area acquisendo nel contempo ulteriori informazioni sulle quote dei livelli piezometrici ed eseguire una ricostruzione più affidabile dell'andamento della falda.

Pur con questi limiti la ricostruzione della piezometrica nell'area interessata dagli affioramenti del fluvioglaciale risulta fondamentalmente concordante con quanto riportato da Regione Piemonte 2005 e pertanto in prima approssimazione si può supporre che la ricostruzione effettuata sia nella sostanza accettabile.

La ricostruzione ottenuta, pur con il livello di approssimazione raggiunto legato all'eterogeneità dei dati bibliografici di input, ha rappresentato uno strumento essenziale per le prime valutazioni dell'andamento dei flussi e dei carichi idraulici lungo il tracciato, che potrà essere aggiornato ed approfondito nelle successive fasi progettuali.

I principali caratteri idrogeologici dei depositi interessati dal tracciato delle opere in sotterraneo sono di seguito sintetizzati (Rif. [1]).

- I depositi alluvionali, antichi e recenti, possiedono permeabilità elevata e ospitano una falda idrica a superficie libera, in diretto collegamento con la rete idrografica.
- I depositi fluvio-glaciali della pianura torinese hanno, come i depositi alluvionali, permeabilità elevata e sono sede di una falda freatica, la cui superficie libera si approfondisce spostandosi da Est verso Ovest. Il flusso della falda è governato dal livello di base regionale, costituito dal Po. Nella sequenza fluvio-glaciale sono presenti livelli cementati che, da un punto di vista idrogeologico, costituiscono strati a minore permeabilità.
- I depositi morenici, eterogenei e con elevata presenza di materiale fine limo-argilloso, hanno una permeabilità variabile, in funzione della granulometria e dal grado di cementazione. Nel complesso i depositi morenici sono considerati con permeabilità media. Tuttavia le prove di permeabilità raccolte od eseguite nell'ambito di questo studio hanno evidenziato una permeabilità alta, paragonabile a quella dei depositi alluvionali e fluvio-glaciali.
- Il "Villafranchiano", costituito da un'alternanza di livelli sabbio-ghiaiosi e di livelli limo-argillosi, dal punto di vista idrogeologico è sede di un sistema acquifero multifalda. Dal momento che esistono continue interdigitazioni fra i livelli grossolani e i livelli fini, le varie falde di questo sistema presentano a loro volta diversi gradi di separazione o di connessione. Il "complesso inferiore", a comportamento prevalentemente coesivo presenta un grado di permeabilità medio-basso; il "complesso superiore", a comportamento incoerente, è caratterizzata da una maggiore permeabilità. Nella pianura torinese gli orizzonti più grossolani alimentano numerosi pozzi a scopo idropotabile.

- Le “Sabbie dell’Astiano” sono caratterizzate nei livelli sabbiosi da permeabilità medio-alta; dove aumenta la percentuale di limi o limi-argillosi (soprattutto al passaggio con le argille di Lugagnano) la permeabilità si riduce notevolmente. La permeabilità si riduce anche in corrispondenza dei livelli più addensati e/o cementati.

Ai fini della gestione delle acque la Regione Piemonte opera una distinzione tra la *falda superficiale*, più vicina alla superficie del suolo, alimentata direttamente dalle acque di infiltrazione superficiale ed in diretta connessione con il reticolo idrografico, e la *falda profonda*, più idonea allo sfruttamento a fini idropotabili. L’acquifero profondo può presentarsi come acquifero confinato, separato dal sovrastante mediante strati o livelli impermeabili, o come la porzione inferiore di un acquifero indifferenziato. La legge regionale n. 6 del 7 aprile 2003 stabilisce che “*per la tutela e la protezione della qualità delle acque sotterranee è vietata la costruzione di opere che consentano la comunicazione tra le falde profonde e la falda freatica*”.

La Regione Piemonte ha messo a punto criteri tecnici e linee guida che consentono di identificare la base dell’acquifero superficiale, e quindi di operare la distinzione tra acquifero superficiale e acquifero profondo, al fine di consentire l’applicazione della disposizione di legge suddetta. Pertanto, lo studio idrogeologico condotto nell’ambito della progettazione preliminare della NLTL è stato dedicato anche a tale aspetto e alla verifica puntuale, sulla base delle indagini recenti e dei dati pregressi, della geometria della base dell’acquifero superficiale (Rif. [1]). Il risultato di tale studio concorda sostanzialmente con quanto riportato nelle carte regionali ed è rappresentato negli elaborati di progetto.

9.1.3 Criticità geologiche connesse con la realizzazione di opere in sotterraneo

Dallo studio geologico ed idrogeologico emergono le seguenti criticità connesse con la realizzazione delle gallerie.

1. L’attraversamento in sotterraneo dell’Anfiteatro Morenico di Rivoli-Avigliana e dei depositi fluvio-glaciali (in misura minore) pone il problema della presenza all’interno di tali depositi dei cosiddetti massi erratici.

I massi erratici rappresentano un duplice problema in fase di scavo. Il primo problema è rappresentato dalla necessità di precedere tecniche idonee di scavo in presenza di questi massi rocciosi, con dimensioni estremamente variabili, presenti all’interno di una matrice di terreno incoerente. Il secondo problema riguarda la natura petrografica dei massi erratici, le cui rocce madri sono serpentiniti, metagabbri e prasiniti, che contengono minerali asbestiformi; occorre pertanto prevedere modalità operative e procedure di scavo tali da evitare la dispersione di fibre negli ambienti di lavoro, predisponendo allo stesso tempo un campionamento ed analisi dello smarino estratto, al fine di definirne la capacità o meno di rilasciare fibre in concentrazioni pericolose e la destinazione finale di recapito e di eventuale trattamento.

La criticità geologica rappresentata dai massi erratici è anche legata alla difficoltà di prevederne la localizzazione in profondità (Rif. [1]). I massi erratici affioranti risultano distribuiti soprattutto nell’area occidentale dell’Anfiteatro morenico, pertanto nell’ipotesi che la loro distribuzione superficiale possa essere estrapolata anche in profondità, la probabilità di intercettarli durante i lavori di scavo è massima in tale zona rispetto alle altre zone del tracciato. Inoltre, poiché tali massi derivano da fenomeni di distacco e crollo delle

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A	FOGLIO 29 di 59

pareti rocciose che coronavano i ghiacciai, è ragionevole ritenere che i massi erratici siano maggiormente concentrati ai bordi dell'Anfiteatro Morenico. Tale distribuzione sarebbe in accordo con la concentrazione dei massi affioranti.

Lo studio del tracciato nella sottotratta "confine tratta internazionale-Orbassano" risponde anche alla necessità di mitigare tale rischio. L'attraversamento in sotterraneo della collina morenica è stato infatti ottimizzato in modo da interessare la porzione marginale della collina e per la minore estensione possibile. Le strategie di gestione del rischio in fase realizzativa sono descritte nel capitolo dedicato alla definizione del metodo e tecniche di scavo.

2. Nella sottotratta "Orbassano-Settimo Torinese", secondo i criteri tecnici della Regione Piemonte, l'acquifero profondo si identifica con la formazione del Villafranchiano e la formazione delle Sabbie dell'Astiano. In particolare, infatti, la captazione delle acque avviene soprattutto nella formazione del Villafranchiano. Dal torrente Stura procedendo verso Settimo Torinese il tetto di tale acquifero si trova a poche decine di metri (10-20 m) dal piano campagna, al di sotto dei depositi fluvio-glaciali. Pertanto le opere in sotterraneo si trovano inevitabilmente ad interferire con l'acquifero profondo.

Il tracciato della NLTL è stato ottimizzato allo scopo di ridurre l'interferenza tra opere in sotterraneo e acquifero profondo: la galleria si mantiene infatti per tutto il suo sviluppo all'interno dei depositi fluvio-glaciali della pianura torinese, quindi al di sopra dell'acquifero profondo, fatta eccezione per gli ultimi 9 km, dove per riportarsi in superficie ed interconnettersi con la linea AV Torino-Milano deve necessariamente attraversare la formazione delle Sabbie dell'Astiano. In ogni caso il rischio di *comunicazione tra falde profonde e falde freatiche* è controllato nel breve termine dall'adozione della tecnica di scavo tramite macchina di scavo scudata e con pressione al fronte e nel lungo termine dal rivestimento definitivo impermeabile della galleria. Rispetto a possibili sversamenti accidentali di liquidi pericolosi da treni merci, è prevista la realizzazione in galleria di un sistema di raccolta con pozzetti sifonati frangi fiamma, che convogliano tali liquidi all'interno di camere stagne dalle quali saranno portati in superficie e opportunamente smaltiti. Le strategie di mitigazione del rischio in fase realizzativa sono descritte in maggior dettaglio nel capitolo dedicato alla definizione del metodo e tecniche di scavo.

9.2 Indagini geotecniche

9.2.1 Indagini e prove in sito

La campagna di indagini programmata per la progettazione preliminare della NLTL prevedeva l'esecuzione di sondaggi con prove in foro, prelievo di campioni ed installazione di strumenti per la misura delle pressioni interstiziali, e l'esecuzione di prove geofisiche. Il programma delle indagini è stato eseguito parzialmente a causa di difficoltà contingenti, legate a motivi di ordine pubblico.

Sull'intero tracciato di 40 km di lunghezza i sondaggi ad oggi realizzati sono in numero di 18. Il maggior numero di sondaggi è stato eseguito nei depositi fluvio-glaciali che interessano la sottotratta "Orbassano-Settimo Torinese". Nella collina morenica è stato possibile eseguire solo due sondaggi (G12, G55). La ricerca bibliografica e l'acquisizione di dati preesistenti provenienti da altre campagne di indagine eseguite nelle stesse aree hanno permesso di sopperire al mancato completamento delle indagini programmate, giungendo alla definizione di un quadro di riferimento adeguato al livello di progettazione preliminare. La caratterizzazione

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A	FOGLIO 30 di 59

meccanica con prove in sito è consistita nell'esecuzione di prove in foro: prove SPT e di prove pressiometriche. Nel caso dei depositi fluvio-glaciali la determinazione delle caratteristiche meccaniche tramite prove SPT fornisce solo indicazioni parziali sul reale comportamento meccanico di tali terreni a causa della presenza di livelli cementati, discontinui e con grado di cementazione variabile. Inoltre, nel caso dei depositi morenici sono presenti veri e propri livelli litoidi. Pertanto i parametri meccanici ricavati dalle prove in foro forniscono una stima del limite inferiore delle caratteristiche di resistenza dei materiali.

Per la determinazione delle caratteristiche di permeabilità sono state eseguite prove Lefranc nei fori di sondaggio. I risultati delle prove sono stati valutati anche alla luce delle informazioni bibliografiche e di precedenti campagne di indagine. L'analisi dei dati ha condotto alla determinazione di classi di permeabilità, come illustrato nel profilo geotecnico (Rif.[23-26]).

Per l'ubicazione delle indagini e la dettagliata descrizione dei risultati si rimanda agli elaborati di progetto (Rif. [2],Rif. [3]Rif. [4]).

9.2.2 Indagini e prove di laboratorio

Per la maggior parte del tracciato, i terreni interessati dallo scavo delle gallerie della NLTL sono terreni granulari (depositi alluvionali, depositi fluvio-glaciali, depositi morenici), per i quali, come è noto, la caratterizzazione meccanica con prove di laboratorio non è possibile e/o adeguata. Prove di laboratorio sono state condotte, pertanto, solo sui campioni indisturbati prelevati nei livelli limosi delle alluvioni e nella formazione del Villafranchiano. Su tali terreni sono state determinate le caratteristiche di resistenza al taglio tramite prove triassiali e prove di taglio diretto. I parametri si pongono nell'intervallo di valori tipico di tali terreni.

Nelle successive fasi della progettazione, la caratterizzazione meccanica dei terreni sarà approfondita e mirata alla definizione dei parametri di maggiore interesse per la verifica delle condizioni di sicurezza e funzionalità delle opere in sotterraneo.

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. [23]-[26]).

9.3.1 Sottotratta "Confine tratta internazionale – Orbassano": galleria naturale S.Antonio

La galleria naturale S.Antonio attraversa sotto modeste coperture, dall'imbocco lato Lione fino alla pk 6+300 circa, i depositi fluviali, costituiti da terreni sabbio-ghiaiosi. La superficie di falda è pochi metri sotto il piano campagna, quindi i carichi idraulici sulla calotta della galleria sono compresi tra 5 e 10 m circa. Non sono

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A	FOGLIO 31 di 59

presenti interferenze al piano campagna o in sotterraneo fino alla pk 3+800, dove la galleria della NLTL si porta sotto il sedime della Linea Storica, che in tale tratto attraversa l'abitato di Avigliana.

I rischi potenziali in tale tratto sono connessi allo scavo in terreni permeabili sotto falda e con basse coperture, e nel sottotraversamento delle interferenze superficiali sopra dette.

Dalla pk 6+300 la galleria attraversa i depositi morenici e dalla pk 7+400 circa cominciano ad essere presenti a quota arco rovescio i terreni del "Villafranchiano", che diventano la litologia prevalente sul fronte di scavo a partire dalla pk 8+400 fino alla pk 10+400. In questa zona il Villafranchiano è rappresentato dalla sua facies coesiva ("complesso inferiore") con bassa permeabilità.

Le coperture crescono dai 20 metri (pk. 6+300) fino ai 70 m circa (pk 8+100) per ridiscendere fino a ai 25 m in corrispondenza dell'abitato di Rosta (tra le pk 10+100 e 10+700). Il carico idraulico sulla calotta presenta un andamento variabile, dai 10 m circa della parte iniziale diminuisce nella zona dei depositi morenici fino a pochi metri sopra la galleria e cresce nuovamente fino a 10 m circa.

Dalla pk 10+400 la galleria attraversa la collina morenica con le massime coperture del tracciato (125 m). La falda ha un battente idraulico crescente sopra la galleria dai 10 m circa fino ai 20 m nelle zone di maggiori coperture, fatta eccezione per un tratto intorno alla pk 11+400 dove diminuisce fino a quota arco rovescio. Non si dispone di informazioni sul regime idraulico nella restante parte del tracciato all'interno della collina morenica, non essendo stato possibile portare a termine la prevista campagna di indagini. Nelle successive fasi della progettazione tale aspetto dovrà essere debitamente approfondito.

I rischi potenziali nell'attraversamento dei depositi morenici sono legati all'eventualità di incontrare, in fase di scavo, i cosiddetti massi erratici, di cui è difficile prevederne localizzazione e dimensioni. La presenza di questi trovanti pone non solo il problema tecnico dello scavo di materiale roccioso in una matrice più fina, ma anche accentua la possibilità di fenomeni di instabilità del fronte in funzione della posizione e della dimensione del masso sulla sezione di scavo. A tale problematica è connesso un rischio elevato in presenza di interferenze superficiali e con basse coperture della galleria. In questa tratta l'unica interferenza è rappresentata dall'edificato del comune di Rosta che viene sottoattraversato con coperture di 25 m.

Tra le progressive pk. 7+929 – 8+147 e tra le pk. 9+363 – 9+563 è prevista la realizzazione dei cameroni delle interconnessioni di Avigliana: lo scavo di tali opere interessa i depositi morenici e solo parzialmente i sottostanti terreni del Villafranchiano. Per la complessità dei depositi morenici e i rischi connessi ai massi erratici, e in considerazione del fatto che lo scavo dei cameroni dovrà essere realizzato con metodo tradizionale, appare opportuno verificare nelle successive fasi della progettazione la possibilità di una variazione altimetrica del tracciato. Un abbassamento della livelletta potrebbe, infatti, far conseguire il vantaggio di realizzare lo scavo delle ampie sezioni dei cameroni interamente nella formazione argillosa poco permeabile.

9.3.2 Sottotratta "Orbassano- Settimo Torinese": galleria naturale Dora

La galleria Dora attraversa dall'imbocco fino alla pk 34+900 i depositi fluvio-glaciali. Le coperture crescono dai 15 m ai 30 metri. Alla pk. 30+400 circa la galleria sottopassa l'alveo del fiume Dora Riparia con copertura di circa 12 metri. Fino alla pk 29+000 circa la falda acquifera è ubicata al disotto dell'arco rovescio e raggiunge



NUOVA LINEA TORINO-LIONE
TRATTA NAZIONALE
PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D040	00	R07 RG	GN00 00 001	A	32 di 59

una profondità massima di 40 metri dal p.c.; successivamente la superficie di falda risale fino ad una profondità di 15-20 metri dal p.c, quindi con un battente idraulico sopra la calotta di circa 15-20 m.

Le criticità in fase di scavo sono rappresentate I rischi geotecnici sono soprattutto connessi alle caratteristiche dei depositi fluvio-glaciali, per la presenza di livelli cementati discontinui in senso orizzontale e verticale: si dovranno prevedere, pertanto, fronti di scavo misti, con maggiore possibilità di fenomeni di instabilità del fronte. Tali criticità si accentuano nelle tratte di bassa coperture, presenti dall'imbocco fino alla pk 28+500, anche per la presenza di interferenze in superficie e in sotterraneo (struttura integrata stradale e sottoattraversamento della metropolitana di Torino). Inoltre dalla pk 29+000 le condizioni idrauliche diventano più gravose, raggiungendo un battente idraulico di 20 m sopra la calotta della galleria.

Dalla pk 34+900 fino alla pk 37+800, per sottopassare il torrente Stura di Lanzo, la galleria si approfondisce e attraversa la formazione del Villafranchiano (complesso inferiore-facies coesiva) fino alla pk. 36+700 e successivamente la facies incoerente del Villafranchiano. Dalla pk. 37+800 fino alla pk. 42+700 circa la galleria attraversa la formazione delle Sabbie dell'Astiano e progressivamente il carico idraulico cresce fino ad un massimo di 30 m sopra la calotta avvicinandosi verso Settimo Torinese.

I rischi potenziali sono rappresentati dallo scavo in terreni sabbiosi sotto falda, con possibilità di eventuali fenomeni di erosione/sifonamento nelle Sabbie dell'Astiano se non contrastati con adeguati interventi. La parte terminale del tracciato in sotterraneo rappresenta il punto più critico del progetto, a causa del sottoattraversamento con bassissime coperture prima dell'autostrada A4 e poi della linea AV Torino-Milano, per i quali sono previsti interventi di consolidamento del terreno propedeutici allo scavo. I rischi geotecnici sono connessi anche alle caratteristiche dei materiali presenti alla quota del cavo, a causa della transizione tra le sabbie dell'Astiano e i depositi fluvio-glaciali.



NUOVA LINEA TORINO-LIONE
TRATTA NAZIONALE
PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D040	00	R07 RG	GN00 00 001	A	33 di 59

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, 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 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 stabile sono stabili e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di stabilizzazione, se non localizzati e in misura ridotta. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

Categoria B: nucleo-fronte stabile a breve termine

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità, a seguito delle operazioni di scavo, raggiunge la resistenza dell'ammasso. I fenomeni deformativi tensioni sono di tipo elasto-plastico, di maggiore entità rispetto al caso precedente. Nell'ammasso può prodursi



NUOVA LINEA TORINO-LIONE
TRATTA NAZIONALE
PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D040	00	R07 RG	GN00 00 001	A	34 di 59

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

Categoria C: nucleo-fronte instabile

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

10.2 Determinazione delle classi di comportamento

Per la determinazione delle categorie di comportamento nelle zone del tracciato con maggiore copertura (zona della collina morenica) 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 Mohr-Coulomb.

Sono state analizzate due sezioni: la sezione con copertura di 70 m e la sezione con copertura di 130 m.

I risultati delle analisi sono stati esaminati valutando i seguenti aspetti:

- 1) confronto tra la resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso (σ_c) e la pressione critica al fronte (p_c), che individua il passaggio dal comportamento elastico a quello plastico;
- 2) sviluppo dei fenomeni deformativi e di plasticizzazione al contorno del fronte (e del cavo).

Tali valutazioni quantitative, unitamente a considerazioni in merito all'affidabilità e rappresentatività dei dati di ingresso, alle condizioni idrauliche al contorno, e alle variabilità attese lungo il tracciato, hanno condotto alla definizione della categoria di comportamento.

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

Dati INPUT - Scenario Ghiata Cmax

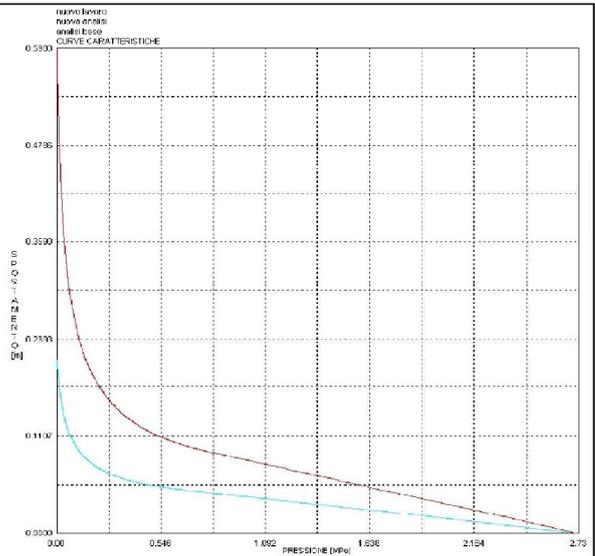
Riscavo 4.8 m
 P0 2.73 MPa
 c 0.025 MPa rad sen f cos f kp
 f 45 ° 0.785398 0.7071068 0.707107 5.828427
 E 120 MPa

Confronto tra la resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso roccioso sig c e la pressione critica al fronte Pc (valore che individua il passaggio da un comportamento di tipo elastico ad uno di tipo plastico)

Resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso sig c 0.120711 Mpa
 Pressione critica al fronte Pc 0.6280059 Mpa
 Rapporto sig c / Pc 0.192213 **Comportamento tipo 'C'**

Analisi dei fenomeni deformativi e di plasticizzazione al contorno

Convergenza radiale al fronte U fr 0.21 m
 Raggio plastico al fronte R pl fr 6.88 m
 Raggio equivalente all'area di scavo della galleria R eq 4.8
 Rapporto U fr / R eq 0.04375 **Comportamento tipo 'C'**
 Rapporto R pl fr / R eq 1.433333 **Comportamento tipo 'B'**



Dati INPUT - Scenario Ghiata Cmin

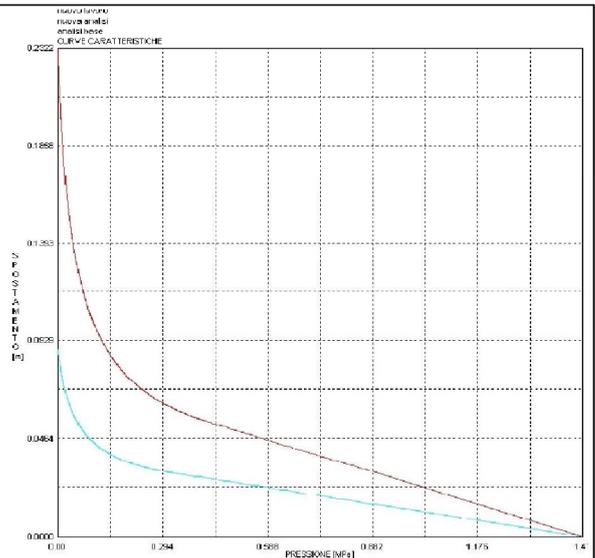
Riscavo 4.8 m
 P0 1.47 MPa
 c 0.025 MPa rad sen f cos f kp
 f 45 ° 0.785398 0.7071068 0.707107 5.828427
 E 120 MPa

Confronto tra la resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso roccioso sig c e la pressione critica al fronte Pc (valore che individua il passaggio da un comportamento di tipo elastico ad uno di tipo plastico)

Resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso sig c 0.120711 Mpa
 Pressione critica al fronte Pc 0.3293535 Mpa
 Rapporto sig c / Pc 0.368508 **Comportamento tipo 'B-C'**

Analisi dei fenomeni deformativi e di plasticizzazione al contorno

Convergenza radiale al fronte U fr 0.09 m
 Raggio plastico al fronte R pl fr 6.39 m
 Raggio equivalente all'area di scavo della galleria R eq 4.8
 Rapporto U fr / R eq 0.01875 **Comportamento tipo 'C'**
 Rapporto R pl fr / R eq 1.33125 **Comportamento tipo 'B'**



Il comportamento deformativo allo scavo nella tratta di attraversamento della collina morenica è intermedio tra la categoria B e la categoria C. Anche in considerazione delle incertezze riguardo le condizioni idrauliche all'interno della collina morenica, si ritengono necessari interventi di precontenimento del fronte.



NUOVA LINEA TORINO-LIONE
TRATTA NAZIONALE
PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D040	00	R07 RG	GN00 00 001	A	36 di 59

Per la restante parte del tracciato delle opere in sotterraneo, considerate le basse coperture, la presenza di un battente idraulico sopra la calotta della gallerie, la natura e le caratteristiche dei terreni, contraddistinti da estrema variabilità, il comportamento deformativo allo scavo ricade nella categoria C. Sono pertanto necessari interventi di precontenimento del fronte.

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A	FOGLIO 37 di 59

11 FASE DI TERAPIA: DEFINIZIONE DELLE SEZIONI DI AVANZAMENTO

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 (doppia canna), deriva la scelta del metodo di scavo più appropriato per la realizzazione delle gallerie naturali nelle due sottotratte.

I principali criteri considerati sono:

- esigenza di operare nelle migliori condizioni di sicurezza, sia nei riguardi dell'ambiente esterno sia degli addetti ai lavori;
- contenimento del fronte di scavo per evitare possibili instabilità del fronte medesimo legate alle condizioni geotecniche ed idrogeologiche dei terreni attraversati;
- superamento di zone geologiche ed idrogeologiche potenzialmente critiche (forti carichi idraulici, eventuale presenza di materiali asbestiformi)
- superamento di zone critiche sotto edifici caratterizzate da ridotte coperture e dalla presenza di terreni in falda;
- minimizzazione dei cedimenti indotti alle preesistenze superficiali in fase di scavo;
- 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 di linea e di interconnessione dei sistemi meccanizzati basati sull'impiego di macchine dette TBM-S (Tunnel Boring Shield-Machine) a testa rotante a piena sezione in grado di garantire un elevato standard di sicurezza associata a produzioni elevate. L'adozione dello scavo in tradizionale è invece limitato all'esecuzione dei cameroni di interconnessione, le cui sezioni di scavo non consentono l'impiego di TBM, e delle altre opere sotterranee, salvo alcuni pozzi anch'essi previsti con impiego di sistemi meccanizzati.

Il sistema meccanizzato, inoltre, ha il vantaggio di poter realizzare lunghi tratti di galleria da un solo punto d'attacco, riducendo quindi al minimo l'impatto sull'esterno. I punti d'attacco pertanto sono concentrati solo agli imbocchi delle gallerie, riducendo quindi il numero di cantieri e rendendo il controllo dell'impatto sul territorio più efficace, diversamente dal sistema tradizionale che, per poter garantire le stesse produzioni per gallerie di lunghezza come quelle in oggetto, ha la necessità di installare un gran numero di cantieri distribuiti sul territorio.

Un altro vantaggio che il sistema meccanizzato offre dal punto di vista ambientale è la produzione di marino con pezzatura tale da consentire di ampliare l'utilizzazione dei sistemi normali di trasporto (autocarri) con vagoncini, nastri e/o tubi di pompaggio; inoltre riduce drasticamente la produzione di polveri da lavorazione

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
	RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A

che, nel caso di macchine a fronte chiuso in pressione, viene eliminata del tutto a vantaggio della salubrità dell'ambiente di lavoro.

L'adozione di questo particolare sistema a fronte chiuso in pressione, come spiegato più avanti, consente inoltre di poter superare eventuali criticità sia di natura geologica-idrogeologica (possibile presenza di materiali asbestiformi, di zone di faglia, di forti gradienti idraulici), sia legata ad interferenze prossime al cavo (sottoattraversamento a bassa copertura di zone urbanizzate e di preesistenze sotterranee), limitando drasticamente le ripercussioni in superficie indotte dallo scavo.

Tale sistema, ormai collaudato da anni di esperienza e chilometri di scavo in tutto il mondo anche in presenza di scenari geotecnici difficili e di situazioni al contorno problematiche soddisfa le esigenze e i criteri sopraindicati.

11.1.2 Metodo di scavo meccanizzato

11.1.2.1 Gallerie

Come evidenziato le gallerie di linea e le gallerie di interconnessione di Avigliana saranno realizzate con scavo meccanizzato mediante l'impiego di TBM-S, cioè macchine scudate con testa rotante 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.

Sulla base del contesto geologico-idrogeologico in cui si sviluppano entrambe le gallerie naturali e delle preesistenze sotterranee e superficiali lungo il tracciato, si ritiene che la tipologia di TBM-S più idonea, in grado di offrire le migliori condizioni di realizzabilità, unite ad un'efficace riduzione di rischi connessi allo scavo, sia quella costituita dalla categoria di macchine a "fronte chiuso in pressione". In queste macchine tra la testa fresante e la canna, si interpone una paratia stagna, adeguatamente dimensionata per sopportare le pressioni previste in progetto, attraverso la quale transitano l'albero motore e il materiale fresato. Si realizzano pertanto due zone distinte e fisicamente separate, la prima detta anche camera di scavo o di lavoro nella quale è installata la testa fresante e si applica una contropressione attiva al fronte di scavo per contrastare la spinta del terreno e quella dovuta al carico idraulico, la seconda che costituisce il cantiere retrostante dove operano gli addetti ai lavori.

Questo tipo di macchine sono utilizzate per terreni, anche in presenza di importanti carichi idraulici e di faglie, e consente, inoltre, di poter affrontare lo scavo di terreni e rocce caratterizzate da contenuti di minerali asbestiformi, senza coinvolgere il personale addetto che, come visto, resta fuori dall'area di scavo.

Le TBM di questa categoria sono di due tipi, Hydroshield ed EPB (Earth Pressure Balance Shield). Possono essere previste anche macchine commutabili del tipo Polyshield (Hydroshield/EPB o EPB/TBM da roccia o Hydroshield/TBM da roccia), la scelta finale del tipo di macchina da adottare sarà comunque fatta sulla base di una valutazione più ampia e approfondita delle problematiche progettuali da sviluppare nelle successive fasi di progettazione.

Di seguito si riporta una breve descrizione dei due sistemi di scavo Hydroshield ed EPB.

Hydroshield

Il funzionamento della macchina si basa sull'uso di una sospensione di bentonite o argilla in acqua che riempie una camera di lavoro pressurizzata penetrando nel terreno a formare una membrana impermeabile (filter-cake) che garantisce il trasferimento della contropressione al fronte di scavo (fig. 11.1). La pressione sui fanghi presenti nella camera di scavo viene esercitata da un cuscino d'aria in pressione presente tra la paratia sommersa e quella stagna della camera di scavo, nel terzo superiore. La ruota fresante scava il terreno e miscchia simultaneamente il materiale fresato al fronte con la sospensione di bentonite; il materiale viene pompato tramite una condotta fino ad un impianto di separazione posto, generalmente, all'esterno del tunnel (fig. 11.2). Qui viene separato dalla sospensione e trasportato su mezzi (camion, treni, nastri) al sito di destinazione finale, mentre la sospensione di bentonite viene recuperata e immessa nuovamente nel circuito tramite una condotta di alimentazione. La sospensione di bentonite, quindi, oltre a svolgere la funzione stabilizzante è anche un mezzo di convogliamento del materiale scavato.

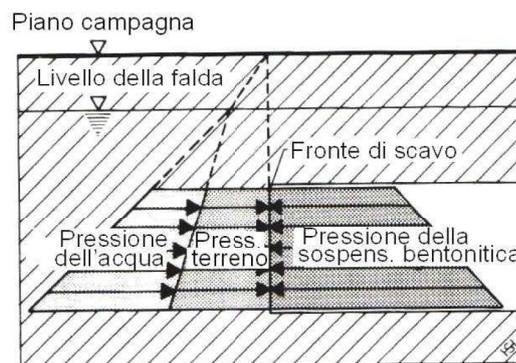


Fig. 11.1 - Principio della contropressione al fronte con fango bentonitico

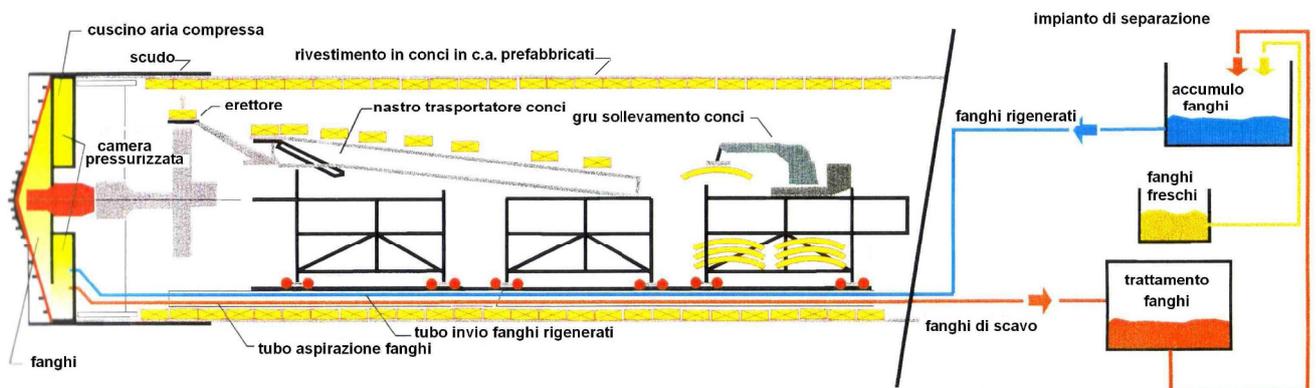


Fig. 11.2 - Schematizzazione sistema Hydroshield

Earth Pressure Balance Shields (EPB-S)

Il sostegno del fronte avviene per mezzo dello stesso terreno scavato che è mantenuto in pressione all'interno della camera di scavo attraverso i martinetti di spinta dello scudo che trasferiscono la pressione al diaframma di separazione tra scudo e camera di scavo e quindi al terreno scavato (fig. 11.3). L'estrazione del terreno avviene per mezzo di una coclea che permette la riduzione progressiva della pressione da dove prosegue su nastri trasportatori, oppure su vagoncini su rotaia o su autocarri. Il sistema si basa sull'uso di agenti fluidificanti iniettati al fronte, in modo da liquefare o plasticizzare il terreno da scavare, impermeabilizzandolo e permettendo il sostegno del fronte di scavo anche in terreni incoerenti. Gli additivi, ecocompatibili, vengono iniettati tramite ugelli installati sulla testa fresante, all'interno della camera di scavo e della coclea. Il materiale fresato passa attraverso le aperture della testa e cade all'interno della camera di lavoro, detta "camera in pressione", nella cui parte inferiore è installata la coclea. La camera di scavo è dotata di ugelli per continuare il condizionamento del terreno e di barre fisse per il mescolamento ed omogeneizzazione l'impasto.

I martinetti di avanzamento che agiscono sul rivestimento prefabbricato, attraverso il diaframma in pressione, scaricano la spinta sul materiale fluidificato, posto all'interno della camera, il quale reagirà in modo idrostatico trasferendo la pressione sul fronte di scavo. Una serie di sensori di pressione controlla che la pressione della camera di scavo rimanga entro i limiti predeterminati e calcolati sulla base del carico del terreno sul fronte. Il materiale nella camera di scavo viene estratto da una coclea a vite a velocità regolabile in modo che il volume estratto sia equivalente a quello che entra attraverso la testa fresante e quindi mantenere costante la pressione nella camera di scavo. Per ottenere questo risultato di corretto bilanciamento delle pressioni al fronte occorre che tutte le variabili in gioco siano intercorrelate e controllate con continuità.

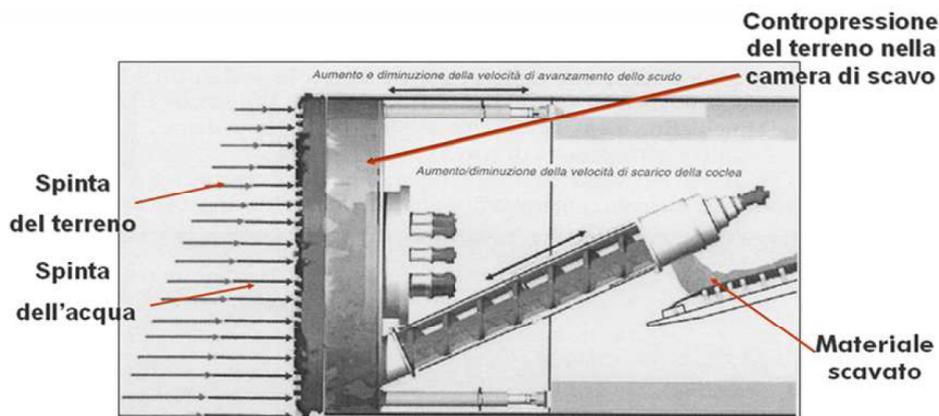


Fig. 11.3 - Principio della contropressione al fronte con sistema EPB

In questo tipo di macchine, come sopra accennato, l'ambiente di lavoro degli operatori è totalmente isolato dal terreno. Un setto d'acciaio, infatti, divide la camera di scavo dall'ambiente di lavoro degli operatori, che possono accedere al fronte, per eseguire ispezioni o interventi di manutenzione, solo attraverso una camera iperbarica, seguendo le procedure sanitarie previste per legge e previo svuotamento del terreno o dei fanghi

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
	RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A

dalla camera stessa. In tal caso il mantenimento della contropressione al fronte viene esercitata dall'aria compressa.

Nella fig. 11.4 è rappresentata schematicamente una TBM-EPB nella quale si possono distinguere le seguenti parti principali che generalmente caratterizzano una TBM scudata:

- la ruota fresante che porta gli utensili di scavo;
- il cilindro d'acciaio, detto scudo, di diametro pari 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;
- l'apparato di raccolta dello smarino dalla camera di scavo, tramite coclea, ed evacuazione all'esterno sotto forma solida, tramite nastri trasportatori, vagoni su rotaia o autocarri;
- il sistema di montaggio del rivestimento, realizzato da anelli in c.a. costituiti da elementi prefabbricati (conci), tramite un braccio meccanico (erettore). Ciascun concio è dotato di una guarnizione idraulica perimetrale in neoprene per sostenere il carico idraulico presente e garantire l'impermeabilità della galleria (Figg. 11.5 e 11.6). Il vuoto anulare che si crea tra il profilo dello scavo e l'estradosso dell'anello di rivestimento viene immediatamente riempito con miscele cementizie per fissare definitivamente l'anello al terreno e ripristinare le condizioni di equilibrio precedenti lo scavo.
- una serie di carri che seguono lo scudo sui quali sono installate le apparecchiature elettriche, idrauliche ed ausiliarie per il funzionamento del sistema.

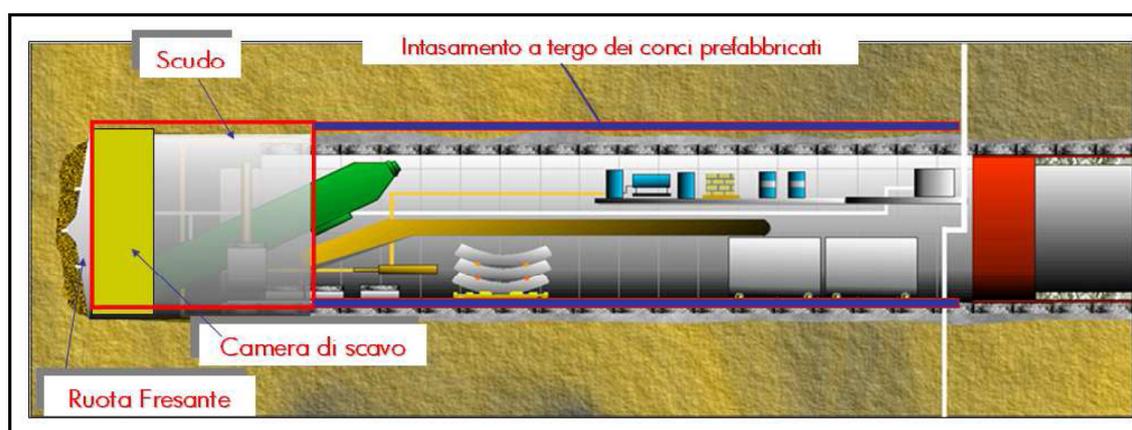


Fig. 11.4 – Schema di una TBM-EPB



Fig. 11.5 – Conci prefabbricati con guarnizioni in neoprene a tenuta.



Fig. 11.6 – Rivestimento con conci prefabbricati.

Confronti

Con entrambi i sistemi di scavo pertanto è possibile esercitare un'azione di contenimento dell'estrusione del fronte e di contrasto del drenaggio dell'acqua, sia nel breve termine durante l'avanzamento, mediante la contropressione al fronte, sia nel lungo termine, montando un rivestimento definitivo costituito da anelli in conci prefabbricati dotati di guarnizioni idrauliche a tenuta (Fig. 11.5), garantendo in questo modo una ridotta interferenza con la falda acquifera. Entrambi i sistemi inoltre offrono un adeguato sistema di controllo e gestione della pressione di bilanciamento da applicare sul fronte.

A seconda della tipologia di macchina si possono evidenziare le seguenti principali peculiarità:

nell'Hydroshield il contrasto sul fronte è esercitato da un mezzo liquido (fanghi bentonitici o acqua) tenuto in pressione da un cuscino d'aria;

- nell'EPB la pressione al fronte è esercitata dallo stesso materiale scavato opportunamente trattato;
- nell'Hydroshield il prelievo viene effettuato tramite una circolazione idraulica del fluido in pressione
- nell'EPB si utilizza una coclea capace di graduare la portata di prelievo, conservando sul fronte la prescritta pressione di terra.

Le modalità di avanzamento dello scudo, di montaggio del rivestimento e di iniezione a tergo del medesimo sono identiche in entrambi i sistemi.

La scelta sulla tipologia di macchina in pressione da adottare è funzione delle caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dagli scavi. Nel seguente diagramma sono riportati i campi di applicazione delle macchine con fronte in pressione sulla base della granulometria dei terreni.

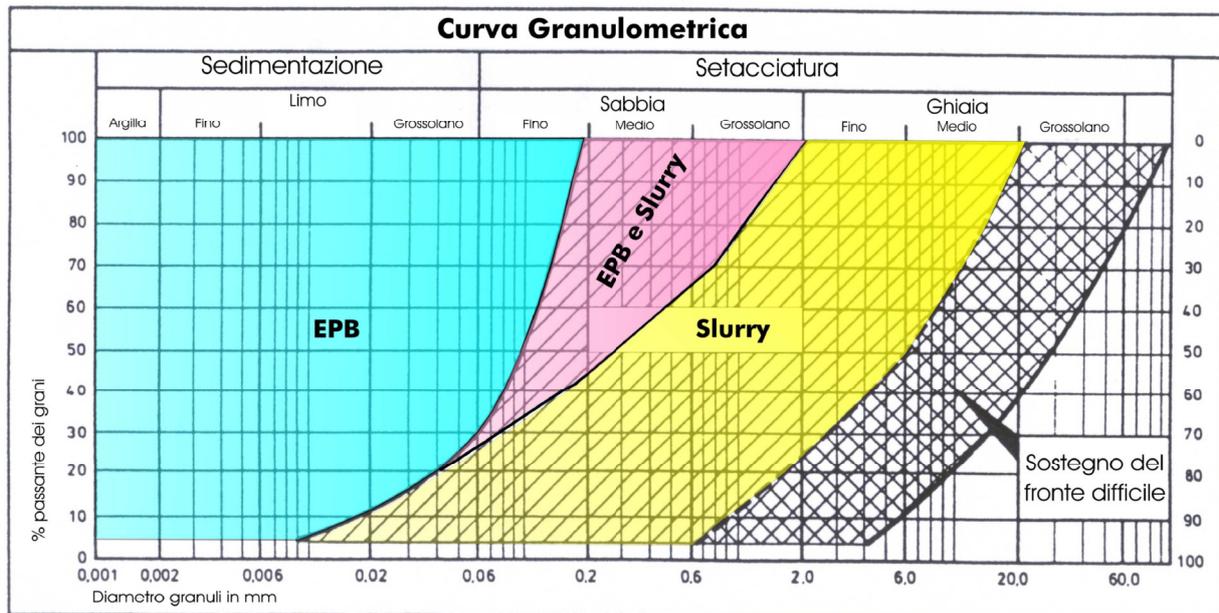


Fig. 11.7- Campi di applicazione delle macchine con fronte in pressione.

Quando il mezzo da scavare è eterogeneo, ovvero è possibile la presenza di alternanze di terreni con granulometria diversa o di ammassi rocciosi e terreni anche sottofaldati, si possono utilizzare macchine di tipo misto, dette Polyshield, che permettono lo scavo sia in modalità EPB/Hydroshield, sia in modalità chiusa/aperta, cioè EPB/TBM da roccia o Hydroshield/TBM da roccia, previo opportuno adattamento nelle rispettive configurazioni. Questa tipologia di macchinari offre un'ampia possibilità di utilizzo che naturalmente hanno ricadute sui costi stessi delle macchine. La scelta definitiva del tipo di TBM-S, come anticipato, potrà essere fatta solo a fronte di un maggiore approfondimento degli aspetti relativi alle caratteristiche geotecniche e

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A	FOGLIO 44 di 59

idrogeologiche degli ammassi attraversati e alla risposta degli ammassi allo scavo, scaturito da un'integrazione della campagna di indagini da effettuare nelle successive fasi di progettazione. Al momento si ritiene di orientare l'indirizzo sulla tipologia di macchina a fronte chiuso in pressione.

Circa la possibilità di effettuare il monitoraggio e/o il trattamento dei terreni oltre il fronte di scavo quando ciò si rendesse necessario, queste macchine possono essere attrezzate con idonee aperture, sia al contorno dello scudo sia nella paratia stagna, attraverso le quali possono essere effettuati dei sondaggi, prelievi, consolidamenti. Va tuttavia segnalato che tali interventi, in particolare i consolidamenti, possono comportare tempi di esecuzione significativi anche per le difficoltà operative di esecuzione legati agli esigui spazi interni della TBM.

11.1.2.2 Pozzi

Per lo scavo ed il rivestimento dei pozzi di aggotamento e del pozzo di discesa cavi si prevede l'impiego di un sistema meccanizzato secondo una tecnologia già utilizzata con successo per opere analoghe in ambito nazionale (Metropolitana di Napoli) ed internazionale.

Il sistema, denominato VSM (Vertical Shaft Sinking Machine), è composto essenzialmente da una stazione di spinta verticale, costituita da apparati oleodinamici, collocata in superficie che infigge nel terreno un anello metallico con tagliente a forma di lama, al quale è fissato l'apparato di scavo. Quest'ultimo è costituito da una fresa ad attacco puntuale con testa a tamburo, collegata ad un braccio brandeggiabile che consente di coprire l'intera sezione di scavo.

La tecnica consiste nell'infissione nel terreno dello scudo a tagliente per una profondità pari alla corsa dei cilindri di spinta eseguendo contemporaneamente l'asportazione del terreno. Al termine della corsa i cilindri vengono retratti per far posto al rivestimento realizzato in anelli formati da conci prefabbricati in cemento armato dotati di guarnizioni perimetrali a tenuta idraulica che vengono montati da una gru. La tecnica è analoga a quello dello spingitubo.

Il sistema può operare anche sotto falda; l'evacuazione del materiale fresato avviene attraverso una tubazione collegata ad una pompa di aspirazione fanghi collocata sul fondo che invia il fango, caricato del materiale fresato, ad un impianto di separazione posto in superficie dove viene pulito e rinviato in circolazione.

Raggiunto il fondo scavo sarà eseguito sottofalda un primo solettone in calcestruzzo di spessore tale da contrastare, nel breve termine, le sottospinte idrauliche. Sul rivestimento prefabbricato e sul solettone sarà quindi realizzata l'impermeabilizzazione ed eseguiti in opera la soletta di fondo definitiva in c.a. ed una controfodera in calcestruzzo sulle pareti.

Tale metodo di scavo e realizzazione dei pozzi costituisce un'efficace misura di controllo del rischio di interferenza con la falda acquifera.

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A	FOGLIO 45 di 59

11.1.3 Metodo di scavo tradizionale

Sono realizzate con metodo di scavo tradizionale le seguenti opere:

- i cameroni di interconnessione di Avigliana;
- i by-pass di collegamento fra le gallerie;
- la finestra di sicurezza e le uscite di emergenza della galleria di interconnessione pari;
- il pozzo di ventilazione della galleria S. Antonio.

11.1.3.1 I cameroni di interconnessione

Queste opere presentano uno sviluppo di circa 200m e sezioni interne 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, eseguita in allargo dalla sezione delle gallerie scavate con TBM-S, secondo le macrofasi di seguito illustrate (Fig.11.8).

In relazione alle dimensioni geometriche e alle caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dallo scavo sono previsti interventi di consolidamento al contorno, eseguiti dalla galleria realizzata con TBM, preventivi alla demolizione/smontaggio del rivestimento in conci prefabbricati. La scelta dei macchinari e attrezzature per lo scavo è funzione delle caratteristiche geotecniche degli ammassi e dell'eventuale presenza negli ammassi di minerali asbestiformi. 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 completa dei cameroni costituita da una membrana in polietilene o in PVC, su supporto di tessuto non tessuto.

La realizzazione di tali opere è subordinata al completamento delle gallerie di interconnessione, eseguite in scavo meccanizzato, e al successivo allontanamento/smontaggio delle TBM che avverrà agli imbocchi delle gallerie di interconnessione. Gli scavi di allargo avverranno a partire dalla sezione più piccola alimentando il cantiere dall'imbocco della galleria di interconnessione per non interferire con le altre lavorazioni di completamento lungo le gallerie di linea (by-pass, piano di regolamento, marciapiedi).

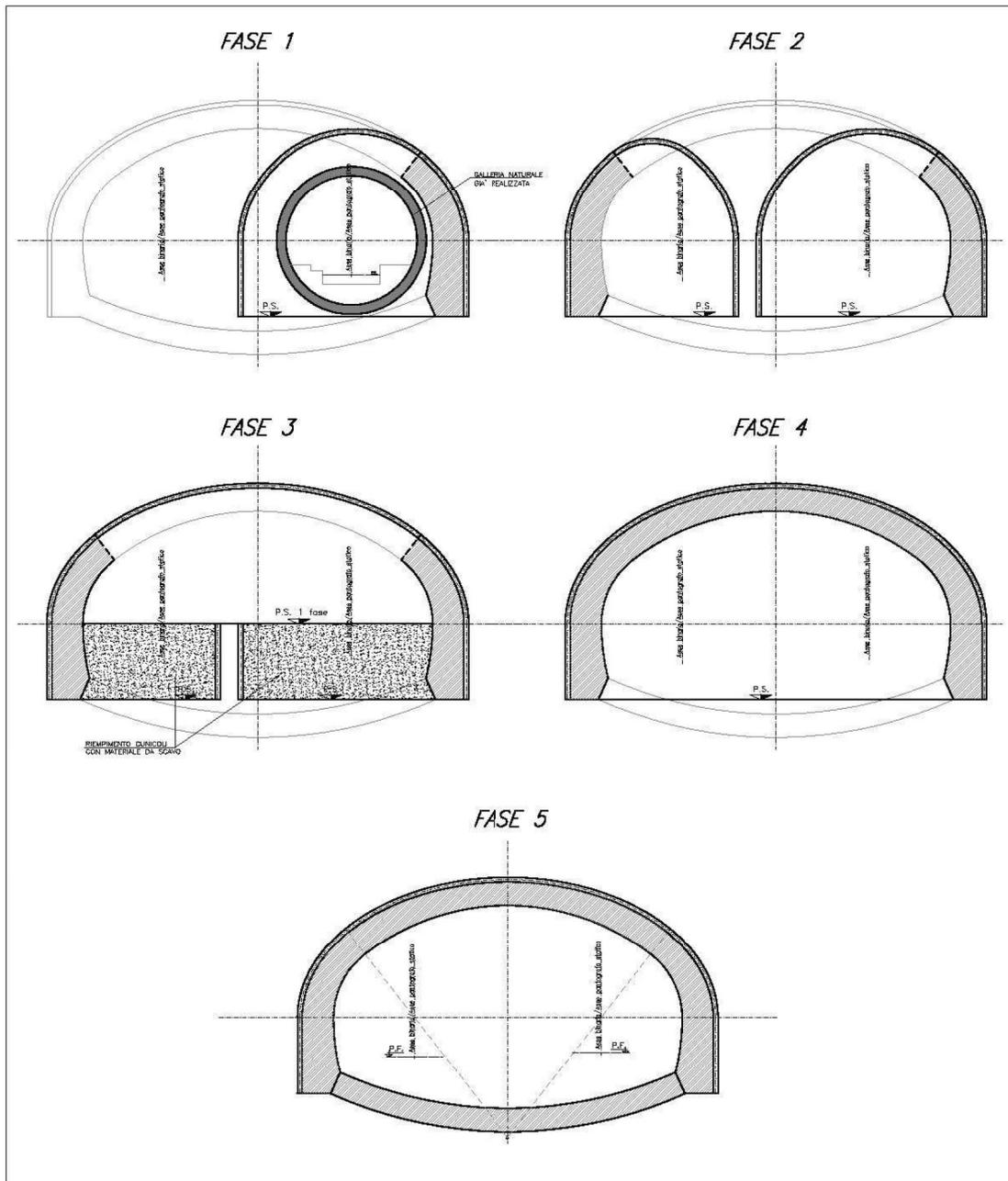


Figura 11.8- Schema delle fasi esecutive dei cameroni di interconnessione.

11.1.3.2 I cunicoli di by-pass

Una parte dei cunicoli di by-pass sarà realizzata contemporaneamente allo scavo della galleria principale e l'altra dopo ultimazione della stessa. E' prevista l'adozione della tecnica del congelamento artificiale dei terreni, allo scopo di realizzare condizioni di impermeabilità al contorno dello scavo e migliorare al contempo le caratteristiche dei terreni nella fase transitoria di realizzazione dei cunicoli (Fig. 11.9).

Effettuato lo scavo 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 completa dei by-pass costituita da una membrana in polietilene o in PVC, su supporto di tessuto non tessuto.

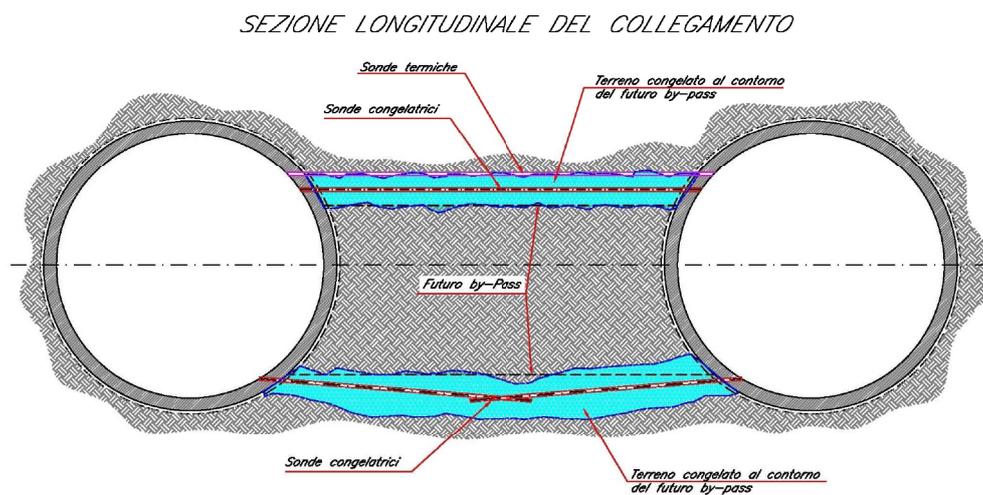


Figura 11.9- Schema dell'intervento di congelamento artificiale per i by-pass.

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A	FOGLIO 48 di 59

11.1.3.3 La finestra di sicurezza e le uscite di emergenza della Galleria d'Interconnessione Pari

Queste opere prevedono un cantiere dedicato e pertanto la loro realizzazione non vincola i lavori della galleria principale.

La finestra di sicurezza sarà eseguita in tradizionale con pendenza a scendere del 13% circa, da questa per allarghi successivi si realizzerà il primo camerone di manovra e poi il cunicolo carrabile. Alla testata del cunicolo carrabile si realizzerà, per allarghi successivi, l'area di manovra ed il collegamento con la galleria di interconnessione.

In relazione alle caratteristiche geotecniche dei terreni, lo scavo potrà essere condotto mediante demolitore meccanico (o esplosivo) in presenza dei livelli litoidi, mentre in presenza di materiale scadente lo scavo verrà eseguito previa realizzazione di consolidamenti in avanzamento e al contorno (iniezioni cementizie o trattamenti in jet-grouting). 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.

11.1.3.4 Il pozzo di ventilazione della galleria S. Antonio

Il pozzo, di diametro interno di 9 m e di profondità pari a circa 40 m, sarà realizzato tra pali armati perimetrali di grande diametro, integrati all'esterno da colonne in jet-grouting per realizzare un contorno impermeabile. In considerazione delle condizioni idrauliche presenti, lo scavo sarà preceduto dalla realizzazione del tampone di fondo in jet grouting eseguito dal piano campagna. Lo scavo verrà eseguito per sottomurazione, per sfondi limitati, con mezzi meccanici (martellone demolitore, escavatore) in relazione alle caratteristiche geotecniche dei terreni. 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.

Il pozzo è collegato alle gallerie di linea attraverso due cunicoli di ventilazione orizzontali che raggiungono le due canne al di sopra della calotta, sulla quale si innestano tramite pozzi verticali. La superficie minima dei cunicoli orizzontali e verticali di aerazione non deve essere inferiore a 27 m². Infine alla base del pozzo si realizza un accesso alle gallerie tramite un cunicolo trasversale. Anche per queste opere si seguiranno le fasi esecutive in scavo tradizionale sopra descritte, eventualmente precedute da interventi di consolidamento in avanzamento e al contorno in relazione al contesto geotecnico.

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A	FOGLIO 49 di 59

11.2 Sezione tipo di avanzamento per scavo meccanizzato

Le sezioni tipo di avanzamento in scavo meccanizzato fanno riferimento ad una configurazione standard per comportamenti d'ammasso tipo B/C.

Le sezioni tipo hanno le seguenti caratteristiche:

- diametro scavo: 9,50 m per la galleria S. Antonio
- diametro di scavo 9,70 m per la galleria Dora
- riempimento a tergo: spessore 15 cm di miscela cementizia/miscela bicomponente iniettata dalla coda dello scudo nel caso di comportamento tipo B/C
- tipologia anello: anello universale
- numero conci: 6+1
- spessore conci: 40 cm
- lunghezza conci: 1.5 m
- Rck: 45 MPa
- Armatura: incidenza 90 kg/m³
- Guarnizioni: neoprene o altro
- Collegamenti tra i conci: bulloni, barre guida, bi-block

11.3 Fasi realizzative

11.3.1 Gallerie di linea e gallerie di interconnessione di Avigliana

Per ciascuna delle canne delle due gallerie di linea, S. Antonio e Dora, sono previsti due fronti di scavo a partire dai rispettivi imbocchi prevedendo, per ciascuna canna l'impiego, di 2 TBM. Per ciascuna galleria sono previste quindi 4 TBM per complessive 8 macchine di scavo. L'inizio degli scavi è subordinato all'esecuzione dei pozzi per il calo e l'assemblaggio delle macchine, che realizzano anche la continuità strutturale tra galleria naturale e galleria artificiale.

Tenendo conto dell'estensione delle gallerie naturali, delle complessità di realizzazione legate sia alle potenziali criticità di carattere geologico, idrogeologico e geotecnico, sia al contorno (scavi in ambiente urbano), e nell'ottica di ottimizzazione dei tempi, si impone la necessità di prevedere che le lavorazioni in galleria si svolgano con continuità sette giorni a settimana, per 24 ore al giorno su tre turni giornalieri di 8 ore/cad. Sulla base di queste considerazioni è stato redatto un cronoprogramma, allegato al presente progetto, cui si rimanda, che riporta una visione globale di tutte le opere evidenziando le priorità d'esecuzione e i vincoli reciproci tra un'attività e l'altra.

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
	RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A

Galleria S. Antonio e gallerie di interconnessione di Avigliana

L'avanzamento della galleria avverrà a partire dai due imbocchi, rispettivamente lato Chiusa S. Michele in direzione Torino, e lato Rivalta in direzione Lione secondo lo schema rappresentato in Figura 11.10.

Le TBM lato Chiusa S. Michele scaveranno le gallerie sino ad arrivare al limite dei cameroni di interconnessione dove verranno smontate.

Le TBM lato Rivalta scaveranno le gallerie di linea e il tratto in corrispondenza dei cameroni, che verranno realizzati successivamente in allargo in tradizionale, e proseguiranno per scavare le gallerie di interconnessione sino ai rispettivi portali in prossimità di Avigliana dove verranno smontate.

I cameroni di interconnessione verranno eseguiti in scavo tradizionale (cfr. § 11.1.3).

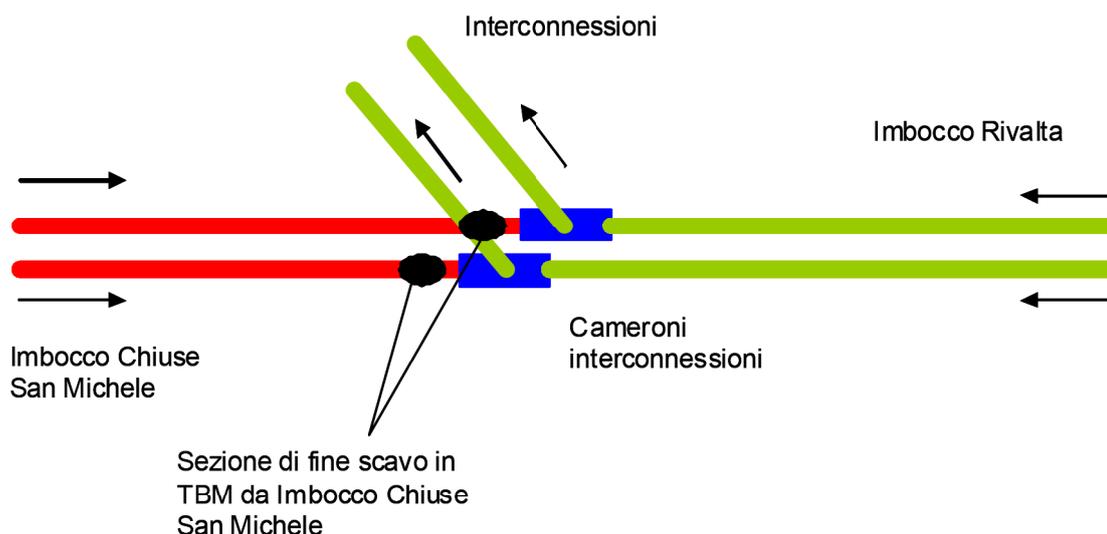


Figura 11.10 – Schema delle fasi di scavo delle gallerie nella tratta “Confine tratta internazionale- Orbassano”.

Galleria Dora

L'avanzamento della galleria avverrà a partire dai due imbocchi, rispettivamente lato Bivio Pronda in direzione Torino, e lato Settimo Torinese in direzione Orbassano.

Da questo lato sono stati previsti per la galleria binario pari due pozzi per il calo-sollevamento TBM, ubicati rispettivamente prima e dopo l'interferenza con la linea AV Torino-Milano. Secondo l'attuale configurazione di cantierizzazione la TBM sarà calata nel pozzo compreso tra la linea AV Torino-Milano e l'autostrada A4 per scavare in direzione Orbassano. Al termine dello scavo la TBM sarà riutilizzata per sottoattraversare la linea AV TO-MI partendo dallo stesso pozzo, ma in direzione opposta, sino al pozzo di arrivo da dove verrà sollevata. Qualora, nella zona in cui ricade quest'ultimo pozzo, si rendesse disponibile un'area di cantiere

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
	RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A

maggiore rispetto alla attuale, si potrà prevedere di utilizzare tale pozzo per la partenza della TBM in direzione Orbassano. La scelta potrà farsi nella successiva fase di progettazione.

Per quanto riguarda il binario dispari il pozzo di partenza è invece collocato tra la linea AV Torino-Milano e l'autostrada.

In corrispondenza del contatto dei due fronti sarà realizzato, prima dell'arrivo delle TBM, un tampone di terreno consolidato, per l'intera sezione di scavo e lunghezza pari almeno a quella di entrambe le TBM, mediante trattamenti eseguiti direttamente dalla superficie, se le condizioni al contorno lo permettono, e/o dall'interno delle TBM attraverso passaggi predisposti sia sul perimetro dello scudo che nel setto divisorio e nella testa fresante. Raggiunto il tampone di contatto le TBM si avvicineranno quanto più possibile tra loro, quindi i back-up e le parti interne degli scudi 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.

11.4 Analisi dei potenziali rischi che incidono sulla realizzazione delle gallerie

Di seguito si delineano le principali criticità che si potrebbero verificare durante lo scavo, legate alle caratteristiche geologico, geotecniche, all'ambiente e al contorno e le relative possibili modalità di intervento.

In termini generali, si possono così sintetizzare:

- a) presenza di trovanti e di massi erratici di grandi dimensioni di natura ofiolitica eventualmente contenenti minerali asbestiformi;
- b) potenziale interferenza con la falda acquifera;
- c) scavo in presenza di elevati carichi idraulici;
- d) sottoattraversamento di aree urbanizzate con modesti spessori di copertura in corrispondenza di preesistenze superficiali (edifici e infrastrutture viarie stradali e ferroviarie).

11.4.1 Presenza di trovanti e massi erratici di grandi dimensioni

I massi erratici affioranti e i trovanti risultano distribuiti in larga parte nell'area occidentale della collina morenica (cfr. § 9.1.3). Il problema riguarda in particolare lo scavo della galleria naturale S. Antonio nella zona dell'anfiteatro morenico di Rivoli-Avigliana. La presenza di blocchi di dimensioni ragguardevoli potrebbe rallentare l'avanzamento dello scudo per gli specifici interventi da adottare per superare la problematica. Tali massi comportano due tipi di criticità.

- 1) La prima riguarda la difficoltà di rimuovere e/o demolire trovanti e massi con volumi importanti immersi all'interno di una matrice di terreno sciolto instabile, con possibili ripercussioni sulla stabilità locale del fronte di scavo. La previsione di scavare in ammassi dove non è esclusa la presenza di trovanti di grandi dimensioni, che possono rendere difficoltoso l'avanzamento, comporta la necessità di adottare soluzioni progettuali che permettano di superare la problematica. Per quanto riguarda lo scavo meccanizzato un primo aspetto riguarda l'ampiezza delle aperture nella testa fresante attraverso le quali transitano le pezzature dei blocchi disgregati

dagli utensili di scavo secondo dimensioni idonee ad essere poi raccolte dagli apparati di estrazione del marino. Il disegno della testa fresante pertanto dovrà tenere conto anche di questo aspetto. Nel caso dell'Hydroshield, la macchina può essere equipaggiata con un frantumatore "a mascelle" collocato davanti al tubo di aspirazione ed azionato dall'operatore quando risulta necessario. Nel caso dell'EPB invece il diametro della coclea dovrà essere dimensionato in relazione alle aperture della testa fresante dove scarica il materiale. Tuttavia nel caso che nella camera di scavo si raccolgano blocchi di dimensioni tali da non poter essere raccolti dalla coclea o disgregati dal frantumatore, si rende necessario l'intervento del personale operativo in camera di scavo, in ambiente pressurizzato, per eseguire la demolizione del blocco con martello pneumatico. E' inoltre opportuno che la TBM sia equipaggiata con un'ulteriore camera iperbarica, collocata nella parte bassa della parete stagna, per il passaggio di utensili e attrezzature, da utilizzare, nell'evenienza, come transito per blocchi più grandi. L'apertura della camera iperbarica dovrà pertanto essere opportunamente dimensionata già in fase progettuale per tenere conto di questa possibile situazione.

Un'ulteriore criticità può manifestarsi sul fronte quando il trovante intercettato, immerso in una matrice di terreno instabile, comincia a ruotare assieme alla testa fresante per cui viene meno la capacità del sistema di abbattimento di disgregare il blocco. Tale situazione può avere ripercussioni sull'avanzamento e sulla stabilità del fronte. Gli interventi da attuare possono consistere nella demolizione manuale del trovante da parte degli operatori, compatibilmente con le condizioni di sicurezza al fronte o, in alternativa, nel consolidamento del fronte attraverso la paratia stagna in modo da fissare il trovante al terreno circostante e consentire quindi la ripresa regolare dello scavo. Va tuttavia segnalato che casi del genere si sono verificati in macchine di piccolo diametro, del tipo Microtunnel o Micromachines, e hanno riguardato sporadici rinvenimenti di trovanti. Non si hanno notizie o case history analoghi per diametri di scavo come quelli in oggetto, che dovrebbero comunque garantire la disgregazione del materiale. Si ritiene pertanto che la probabilità di accadimento di tale situazione, pur se eccezionale, sia bassa.

Per quanto riguarda lo scavo nei massi erratici di maggiori dimensioni, da qualche decina di metri cubi a qualche migliaio, non si ritiene pongano particolari problematiche all'avanzamento.

Nello scavo in tradizionale la presenza di massi erratici e trovanti non presenta particolare criticità per la flessibilità del sistema di avanzamento che può essere adattato rapidamente alle variazioni delle condizioni del fronte.

2) La seconda, di carattere prevalentemente ambientale, riguarda la natura petrografica dei massi che in taluni casi, per effetto della disgregazione durante le operazioni di scavo, portano al rilascio nell'ambiente circostante di una frazione di polvere. In particolare le polveri rilasciate sia in rocce basiche che ultrabasiche, potrebbero contenere fibre di minerali asbestiformi. Ulteriori dispersioni successive alla fase di scavo possono verificarsi durante la movimentazione del materiale di marino, per le operazioni di carico sui mezzi di trasporto e successivo allontanamento. Sebbene la probabilità di incontrare lungo il percorso della galleria ammassi contenenti minerali asbestiformi sia, sulla base dei dati disponibili, basso, bisogna comunque prevedere modalità operative di scavo e trasporto del marino tali da non pregiudicare la salute degli operatori in galleria

L'eventuale possibilità di scavo in terreni e rocce caratterizzate da contenuti anche minimi di minerali asbestiformi richiede la necessità di prevedere:

- un piano di monitoraggio della dispersione in aria delle fibre di minerali asbestiformi all'interno del cantiere e nelle immediate vicinanze;



NUOVA LINEA TORINO-LIONE
TRATTA NAZIONALE
PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D040	00	R07 RG	GN00 00 001	A	53 di 59

- l'utilizzo di D.P.I. (D.Lgs.277/1991)
- esecuzione di sondaggi geognostici (con recupero di campioni) per l'accertamento preventivo della presenza di minerali asbestiformi;
- l'utilizzo di tecniche di scavo a bassa produzione di polveri.

Nello scavo l'abbattimento della produzione di polveri nelle quali possono essere presenti fibre di minerali asbestiformi si ottiene con sistemi di nebulizzazione collocati in prossimità del fronte che consentono di mantenere un elevato grado di umidità nell'area di scavo.

Nel tratto scavato in tradizionale, che riguarda i cameroni di interconnessione, bisogna cercare di evitare di ricorrere a metodologie di scavo che immettono in aria grandi quantità di polvere. Il ricorso a fresc puntuali o martelloni al posto dell'esplosivo è senz'altro consigliabile. Il rilascio di polveri dipende sia dalle caratteristiche geotecniche delle formazioni, sia dalla tipologia di macchinari per lo scavo e dal grado di umidificazione dell'ambiente di lavoro. Nel caso sia accertato di scavare in ammassi in presenza di minerali asbestiformi, si ritiene necessario, in analogia a quanto già adottato in precedenti esperienze in ambito nazionale ed internazionale, suddividere la galleria in scavo in tre zone (A, B e C), separate tra loro dalla presenza di due fasce d'acqua nebulizzata :

- nella zona (A) avvengono le lavorazioni di scavo e caricamento del marino su automezzi telonati (o comunque chiusi);
- nella zona (B) sono posizionati i servizi (ad esempio: postazione di lavaggio per la pulizia dei macchinari o contenitori stagni per deporvi le maschere respiratorie contaminate, il container per il cambio dei minatori) e avviene l'allestimento dei macchinari per i lavori nella zona (A) nonché le operazioni di preparazione e di pulizia per accedere alla zona (C);
- la zona (C) è uno spazio non contaminato da fibre di minerali asbestiformi, che deve essere comunque sempre controllato mediante monitoraggio della dispersione in aria delle fibre.

Nello scavo meccanizzato per realizzare condizioni che evitino il contatto con fibre di minerali asbestiformi, sia all'atto dello scavo stesso, sia nel trasporto verso l'esterno dello smarino fresato, il ricorso a sistemi di scavo in modalità chiusa è senz'altro la soluzione migliore. L'adozione pertanto di macchine del tipo Hydroshield o EPB, come previsto in progetto, consente di raggiungere tale obiettivo. Entrambi i sistemi offrono garanzie pressoché totali, in quanto, come già evidenziato, la camera di scavo risulta separata da un setto d'acciaio dall'ambiente di lavoro. Nell'Hydroshield la camera di scavo è totalmente riempita dal fluido bentonitico che si mescola col materiale fresato, la miscela di fango viene quindi estratta per pompaggio attraverso una tubazione fissata lungo la galleria sino all'impianto di separazione posto all'esterno della galleria. Pertanto il convogliamento del materiale fresato avviene all'interno di un circuito chiuso. Nell'EPB il materiale nella camera di scavo viene fluidificato con appositi additivi ecocompatibili per rendere il marino plastico per ragioni operative. Il processo di umidificazione continua ancora nella coclea e pertanto il materiale viene estratto in condizioni umide e scaricato su nastro trasportatore. Per continuare a mantenere le condizioni di umidità, evitando quindi dispersioni di polveri lungo il tragitto sino all'imbocco, è sufficiente disporre dei nebulizzatori sopra il nastro a distanze prefissate. Per aumentare il livello di sicurezza il nastro potrebbe essere chiuso all'interno di un cilindro isolante collegato alla coclea, garantendo quindi l'isolamento totale dall'ambiente di

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A	FOGLIO 54 di 59

lavoro. Qualora il trasporto all'esterno venga eseguito con vagoni bisognerà installare idonei sistemi di copertura dei mezzi, per es. tramite teloni o portelloni di chiusura ermetici, continuando eventualmente a mantenere il materiale estratto il più possibile umido nello strato superficiale attraverso un sistema di nebulizzatori montati sui vagoni stessi. In entrambi i sistemi il materiale esce in condizioni umide e, a valle delle analisi di caratterizzazione che evidenziano la presenza di minerali asbestiformi, verrà collocato in sacche sigillate e trasportato in discarica. Infine per aumentare il livello di sicurezza in galleria le apparecchiature di ventilazione ed eventualmente di raffreddamento dovranno essere dotate di un sistema di depolverizzazione (filtri antipolvere) in modo da ridurre la diffusione delle polveri in atmosfera. In definitiva i sistemi di scavo individuati offrono elevati standard di sicurezza contro il rilascio delle polveri e perdita del materiale nel trasporto all'esterno. Nell'eventualità che il personale operativo debba intervenire in camera di lavoro (per ispezioni, manutenzione, riparazioni) anche qualora lo scavo si svolgesse in ammassi con presenza di minerali asbestiformi, dovranno essere assunti ulteriori provvedimenti quali:

- predisposizione nella camera di scavo di idonei sistemi di nebulizzazione dell'acqua per continuare a mantenere umido l'ambiente e garantire l'abbattimento delle polveri, quest'ultima condizione viene comunque raggiunta per la presenza di una maggiore pressione in camera di scavo, rispetto a quella atmosferica, necessaria per garantire le condizioni di stabilità del fronte;
- utilizzo di sistemi di protezione individuale per gli operatori;
- controllo delle emissioni di polvere tramite monitoraggio della dispersione in aria delle fibre di minerali asbestiformi all'interno della camera di scavo.

Tali provvedimenti devono essere assunti anche e soprattutto quando si verificano situazioni anomale di scavo, per es. nell'attraversamento di situazioni di ammasso con presenza di trovanti e massi erratici e che richiedono l'intervento degli operatori in camera di scavo come sopra evidenziato.

Da quanto sopra appare chiaro come l'attraversamento di zone con trovanti può risultare complesso. Questi aspetti devono essere tenuti in conto per definire realisticamente i tempi ed i costi di realizzazione dell'opera.

11.4.2 Potenziale interferenza con la falda acquifera

I sistemi di scavo meccanizzato indicati e sopra descritti (sistemi chiusi con fronte in pressione e montaggio di rivestimento in conci prefabbricati dotati di guarnizioni idrauliche a tenuta tali da sostenere il carico idraulico presente) sono in grado sia di garantire l'assenza di drenaggio della falda acquifera, in fase di scavo e a lungo termine, sia di impedire la comunicazione tra acquifero superficiale e acquifero profondo (cfr. § 9.1.3).

Va segnalato che il requisito principale per l'ottenimento di tale risultato è la gestione della corretta procedura d'avanzamento rispettando i seguenti punti:

- mantenimento della corretta contropressione di equilibrio al fronte secondo i valori di progetto;
- corretto intasamento a tergo dei conci di rivestimento per riempire il vuoto anulare che si crea tra il profilo dello scavo e l'estradosso del rivestimento. Tale vuoto viene riempito con una miscela di

iniezione di malta cementizia in pressione o miscela bicomponenti a presa rapida durante la fase di avanzamento, per consentire il definitivo fissaggio dell'anello ed evitare, limitare possibili assestamenti del terreno che potrebbero ripercuotersi in superficie sotto forma di cedimenti e impedire l'ingresso di acqua (Figg. 11.11, 11.12). Gli ugelli di iniezione della malta sono montati alla fine dello scudo che verso l'interno è protetto dal pericolo di ingresso della malta mediante diverse file di spazzole tra le quali è iniettato in continuo grasso di opportune caratteristiche.

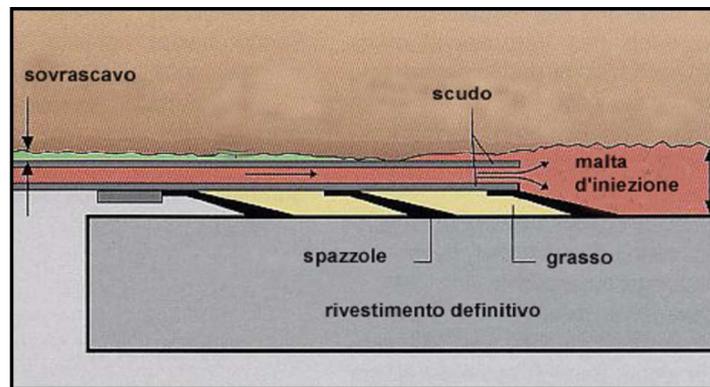


Fig. 11.11 - Schema illustrativo dell'iniezione longitudinale dalla coda dello scudo TBM.



Fig. 11.12 - Il perfetto intasamento a tergo dei conchi, messo in evidenza da un successivo scavo di allargamento.



NUOVA LINEA TORINO-LIONE
TRATTA NAZIONALE
PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D040	00	R07 RG	GN00 00 001	A	56 di 59

- controllo del volume estratto con la coclea. Durante l'avanzamento deve essere estratto il volume di materiale che entra nella camera di scavo ossia il volume teorico più gli eventuali additivi iniettati sul fronte o nella camera. E' fondamentale pertanto questo controllo per poter intervenire nel caso in cui si estragga più materiale del teorico scavato (sovrascavo) o meno materiale del teorico scavato (sottoscavo).

Il controllo della procedura da parte degli operatori è ottenuta con la verifica, attraverso sensori ed attrezzature di rilevamento, dei seguenti parametri:

- pressione di supporto del fronte (valore della pressione del materiale presente nella camera di scavo fornito dai sensori applicati a diverse altezze);
- pressione e volume della malta di intasamento del vuoto anulare;
- peso del materiale estratto con i relativi valori di attenzione e allarme.

In conclusione la corretta applicazione della procedura di avanzamento costituisce un'efficace misura di controllo del rischio di interferenza con la falda acquifera.

11.4.3 Scavo in presenza di elevati carichi idraulici

I sistemi di scavo meccanizzato indicati consentono di realizzare avanzamenti regolari in presenza di elevati carichi idraulici, come oramai ampiamente sperimentato in numerose realizzazioni eseguite con TBM con pressioni elevate (> 3 bar).

Per quanto riguarda l'opera in oggetto lo scavo di entrambe le gallerie avviene sotto falda con carichi idraulici indicati nel profilo geotecnico a cui si rimanda. Le TBM e conseguentemente i rivestimenti sono quindi progettati per sopportare i carichi di progetto incrementati dei valori di sicurezza. Tali carichi non hanno ripercussioni sulle prestazioni delle TBM in termini di velocità d'avanzamento che possono risultare ancora elevate. Vanno invece considerati quegli aspetti operativi che possono incidere sugli oneri e sui tempi riguardanti gli interventi in ambiente iperbarico, di cui al paragrafo 11.4.1.

11.4.4 Sottoattraversamento di aree urbanizzate con basse copertura e preesistenze superficiali

Tale criticità interessa la galleria Dora per quasi l'intero sviluppo in quanto sottopassa infrastrutture stradali e ferroviarie, fabbricati e corsi d'acqua e per alcuni tratti riguarda anche la galleria S. Antonio.

Valgono le stesse considerazioni riportate al paragrafo 11.4.2 cui si rimanda. Il sistema di controllo sarà inoltre implementato con un piano di monitoraggio per la misura degli abbassamenti in superficie e dei loro effetti sulle preesistenze attraverso una rete di monitoraggio costituita da sezioni di controllo topografiche trasversali all'asse della galleria, da punti ausiliari posti lungo il tracciato e da punti di controllo (staffe) sugli edifici sottoattraversati o adiacenti.

11.5 Interventi di consolidamento propedeutici allo scavo

Interventi di miglioramento delle caratteristiche dei terreni, da realizzarsi preventivamente allo scavo, sono previsti per le zone in cui le gallerie naturali sottopassano, con basse o bassissime coperture, infrastrutture preesistenti: in particolare, nella zona di sottoattraversamento di Corso Marche, dove è prevista la realizzazione della struttura integrata, e in corrispondenza del sottoattraversamento dell'autostrada A4 e della linea AV Torino-Milano in prossimità di Settimo Torinese fino all'imbocco della galleria naturale.

Entrambi gli interventi saranno eseguiti dall'alto, in modo da poter realizzare al contorno della galleria un arco di terreno consolidato, di elevata rigidezza e resistenza. Gli interventi di Corso Marche saranno necessariamente da eseguirsi prima della realizzazione della struttura stradale. In Fig 11.13 è rappresentato lo schema adottato per l'interferenza autostradale, e in Fig. 11.14 lo schema adottato per l'interferenza con la linea AV Torino -Milano.

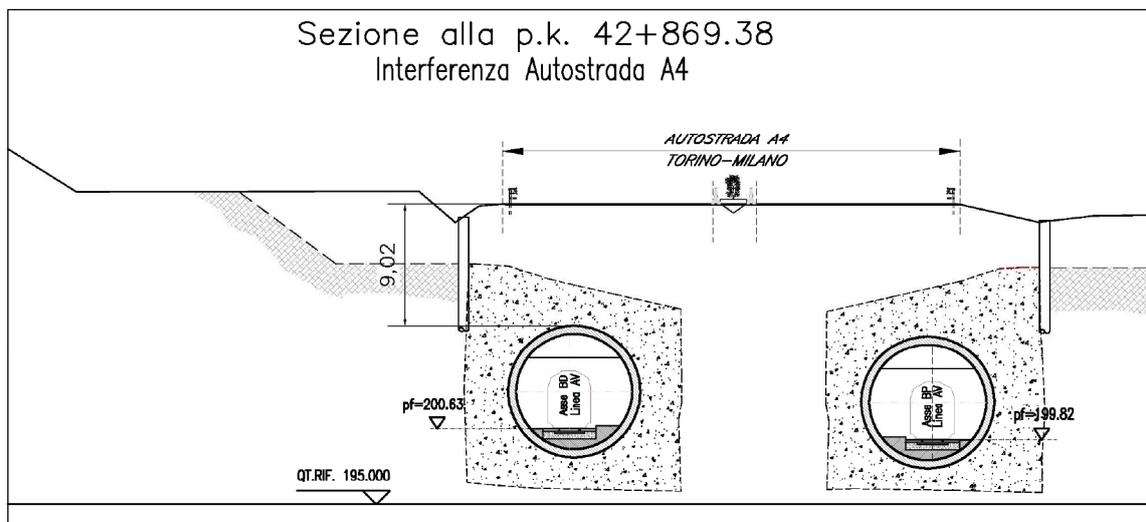


Figura 11.13 – Schema degli interventi di consolidamento.

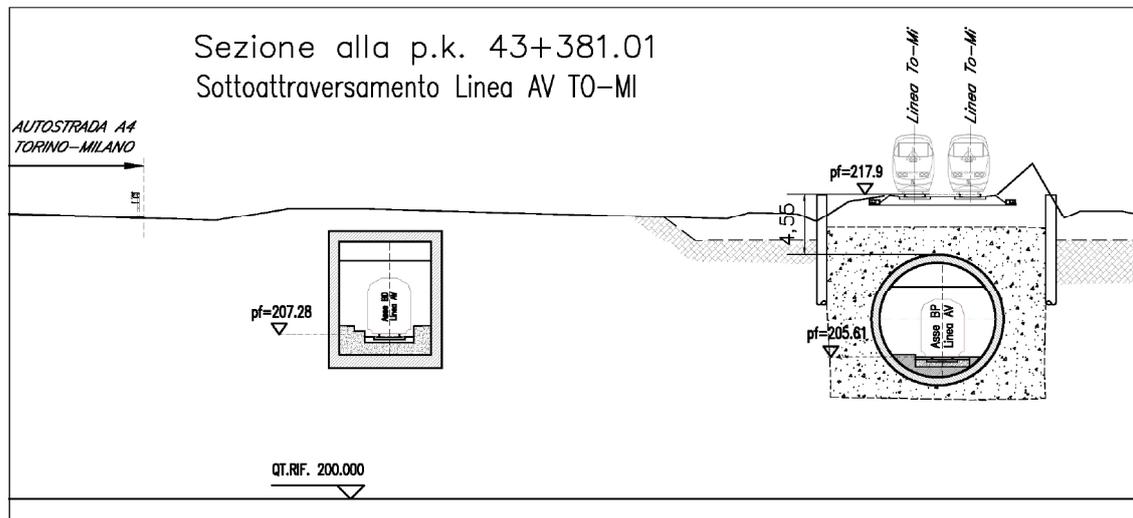


Figura 11.14 – Schema degli interventi di consolidamento.

12 PROGRAMMA DI INDAGINI PER LE SUCCESSIVE FASI DI PROGETTAZIONE

Nelle successive fasi progettuali, per definire in modo più dettagliato il contesto geologico e geomeccanico e le condizioni idrogeologiche, sarà necessario completare la prevista campagna di indagini, programmata per questa fase progettuale, ed approfondire la caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dallo scavo delle gallerie naturali.

Particolare cura dovrà essere rivolta ad arricchire il livello di conoscenze sui seguenti aspetti:

- regime idraulico all'interno della collina morenica,
- caratterizzazione meccanica dei depositi morenici,
- approfondimento delle tematiche riguardanti i massi erratici,
- caratterizzazione geotecnica dei livelli cementati presenti all'interno dei depositi fluvio-glaciali.

	NUOVA LINEA TORINO-LIONE TRATTA NAZIONALE PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE TECNICA OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA D040	LOTTO 00	CODIFICA R07 RG	DOCUMENTO GN00 00 001	REV. A	FOGLIO 59 di 59

13 CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state illustrate le tematiche progettuali e gli aspetti tecnici relativi al progetto preliminare delle gallerie naturali della Tratta Nazionale della Nuova Linea Torino-Lione (NLTL).

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 connesse alle soluzioni progettuali e le criticità associate alle condizioni idrauliche del sottosuolo. 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-idrogeologico, dalla previsione della risposta deformativa allo scavo, e in funzione della configurazione delle gallerie (doppia canna), è derivata la scelta dei metodi di scavo più appropriati per la realizzazione delle gallerie naturali e delle altre opere in sotterraneo (cunicoli di by-pass, finestra di sicurezza, 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 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.