

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



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

TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI PROGETTO ESECUTIVO

GALLERIA NATURALE DI VALICO BINARIO PARI E BINARIO DISPARI CAMERONE DI INNESTO FINESTRA CASTAGNOLA

Relazione di monitoraggio e Linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI	
Consorzio Cociv Ing. P.P. Marcheselli		

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 3	E	C V	R O	G N 1 5 L X	0 0 2	A

Progettazione :								
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	Rocksoil 	15/07/2013	Rocksoil 	15/07/2013	A. Palomba 	19/07/2013	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R

n. Elab.:	File: IG5103ECVROGN15LX002A00
-----------	-------------------------------

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5103ECVROGN15LX002A00</p>	<p>Foglio 3 di 104</p>

INDICE

INDICE.....		3
1. INTRODUZIONE.....		7
2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI.....		10
2.1. Raccomandazioni		12
3. MATERIALI IMPIEGATI.....		13
3.1. Gallerie naturali.....		13
3.1.1. Consolidamenti e rivestimenti provvisori.....		13
3.1.2. Rivestimenti definitivi		15
3.1.3. Valori di verifica.....		15
4. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'OPERA		16
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO.....		20
5.1. Inquadramento geologico-geomorfologico generale		20
5.1.1. L'unità tettonometamorfica Figogna		22
5.2. Condizioni geologiche attese lungo lo sviluppo del tracciato		25
5.2.1. Presenza di faglie e stato medio di fratturazione dell'ammasso		25
5.2.2. Rischi geologici		26
5.3. Inquadramento Idrogeologico		26
5.4. Inquadramento Geotecnico		27
5.4.1. Note introduttive.....		27
5.4.2. Caratterizzazione Geomeccanica Argilloscisti		27
5.4.3. Parametri geomeccanici di calcolo		37
6. PREVISIONI SUL COMPORTAMENTO DEGLI AMMASSI ALLO SCAVO (FASE DI DIAGNOSI).....		40
6.1. Calcolo e determinazione delle categorie di comportamento allo scavo		41
7. LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO		43
7.1. Definizione delle caratteristiche geologiche-geomeccaniche dell'ammasso		45
7.2. Risposta deformativa del fronte e del cavo.....		47
7.3. Fasi esecutive e cadenze di avanzamento		48
7.4. Procedura di applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità		48
8. DESCRIZIONE DELLE FASI ESECUTIVE E DELLE SEZIONI TIPO DI SCAVO51		
8.1. Introduzione		51
8.2. Fasi esecutive		52
8.3. Analisi del Rischio.....		53
8.4. Analisi dei rischi lungo il tracciato dell' innesto		54

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5103ECVROGN15LX002A00</p>	<p>Foglio 4 di 104</p>

8.5.	Sezioni tipo.....	55
8.5.1.	Sezione tipo n: non consolidata	55
8.5.2.	Sezione tipo f: consolidata al fronte	58
8.5.3.	Sezione tipo fc: consolidata al fronte e al contorno	62
8.6.	Soglie di attenzione e allarme	67
8.7.	Applicazione di una diversa sezione tipo	67
9.	TECNOLOGIE ALTERNATIVE E PRESCRIZIONI	69
9.1.	Tecnologie alternative di perforazione	69
9.2.	Tecnologie alternative per l'armatura dello spritz-beton	69
9.3.	Armatura del rivestimento definitivo.....	69
9.4.	Distanze di getto dei rivestimenti definitivi	70
9.5.	Caratteristiche minime di resistenza del calcestruzzo in relazione alle fasi operative	71
9.6.	Tecniche di consolidamento dei fronti di scavo	71
9.7.	Soglie d'attenzione e d'allarme	72
9.8.	Criticità	72
10.	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA.....	73
10.1.	Quadro di sintesi del programma.....	73
10.2.	Misure di convergenza a cinque punti	75
10.2.1.	Definizione	75
10.2.2.	Installazione.....	75
10.2.3.	Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti.....	75
10.2.4.	Sistema di acquisizione	76
10.2.5.	Restituzione dati	76
10.3.	Mire e prismi ottici sul rivestimento definitivo.....	77
10.3.1.	Definizione	77
10.3.2.	Installazione	77
10.3.3.	Frequenza dei rilevamenti	77
10.3.4.	Sistema di acquisizione	77
10.3.5.	Restituzione dati	77
10.4.	Misure di tensione nei rivestimenti con celle di carico e barrette estensimetriche	78
10.4.1.	Definizione	78
10.4.2.	Installazione	78
10.4.3.	Modalità di rilevamento.....	78
10.4.4.	Frequenza dei rilevamenti	80
10.4.5.	Restituzione dati	80
10.5.	Misure di tensione nei bulloni mediante celle di carico	81
10.5.1.	Definizione	81

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5103ECVROGN15LX002A00

10.5.2.	Installazione	81
10.6.	Misure di estrusione estensimetriche	81
10.6.1.	Definizione	81
10.6.2.	Installazione	81
10.6.3.	Frequenza delle letture	82
10.6.4.	Sistema di acquisizione	82
10.6.5.	Restituzione dati	82
10.7.	Misure di estrusione topografica	83
10.7.1.	Installazione	83
10.7.2.	Frequenza delle letture	83
10.7.3.	Sistema di acquisizione	83
10.7.4.	Restituzione dati	83
10.8.	Estensimetri multibase o estensimetri incrementali.....	84
10.8.1.	Definizione	84
10.8.2.	Installazione	84
10.8.3.	Descrizione e modalità esecutive	85
10.8.4.	Estensimetri fissi da foro (acquisizione automatica dati).....	86
10.8.5.	Frequenza delle letture	87
10.8.6.	Restituzione Dati.....	87
10.9.	Rilievo geologico-geostrutturale dei fronti di scavo.....	88
10.9.1.	Rilievi di tipo analitico.....	88
10.9.2.	Rilievo di tipo speditivo	92
10.9.3.	Rilievo di tipo speditivo-pittorico	93
10.9.4.	Archiviazione dei dati geologici.....	93
10.10.	Indagini geognostiche in avanzamento.....	94
10.11.	Definizione delle soglie di attenzione e di allarme	94
11.	CONCLUSIONI	95

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG5103ECVROGN15LX002A00

Foglio
6 di 104

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG5103ECVROGN15LX002A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 7 di 104</p>

1. INTRODUZIONE

Finalità della presente Relazione è fornire i chiarimenti atti a dimostrare la rispondenza del progetto alle finalità dell'intervento e fornire indicazioni circa

- l'applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità previste
- il programma di monitoraggio in corso d'opera

relativamente all'Innesto tra la Finestra Castagnola e la galleria di Valico.

A tale scopo verrà fornito un inquadramento delle opere nel contesto territoriale ed una descrizione delle stesse, i dati ed i requisiti di base nel rispetto dei quali è stata sviluppata la progettazione, le caratteristiche prestazionali e descrittive dei materiali prescelti, le ipotesi progettuali adottate per il suo dimensionamento e le principali caratteristiche geometriche e dimensionali. Verranno inoltre dettagliati i criteri di scelta che il progettista adotterà in corso d'opera per l'applicazione e la gestione delle sezioni tipo previste in sede di progettazione esecutiva. Infine verrà definito il programma di monitoraggio in corso d'opera, le tecnologie utilizzate, le modalità esecutive e il numero e la frequenza delle indagini.

La relazione è articolata nei seguenti punti principali:

- Inquadramento generale dell'opera: il lavoro comprende la localizzazione geografica dell'opera, l'individuazione delle eventuali interferenze con manufatti preesistenti presenti lungo il tracciato e l'inquadramento geologico e geotecnico generale dell'area;
- Individuazione del comportamento allo scavo e criteri di calcolo: il lavoro riassume la metodologia di calcolo utilizzata e la filosofia di dimensionamento degli interventi di consolidamento e sostegno;
- Linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo: verranno fornite indicazioni circa l'applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità previste, la tecnica di scavo adottata e criteri di scelta, le fasi costruttive e i criteri di calcolo;
- Monitoraggio in corso d'opera: verranno definite le tipologie di misure da eseguire, fornendo indicazioni circa le strumentazioni e le modalità esecutive, il numero e la frequenza delle indagini.

Per quanto concerne gli aspetti relativi alla cantierizzazione, le analisi sulla riutilizzabilità dei materiali provenienti dagli scavi, i tempi di realizzazione delle opere, le opere civili per la sicurezza in esercizio e i programmi di manutenzione delle opere si rimanda alle relazioni specifiche.

Data l'unicità dell'opera in esame, in quanto a geometria, esecuzione e criticità, la presente relazione comprende le linee guida e il piano di monitoraggio sia per la WBS GN15L che per la WBS GN14L, relative rispettivamente alla parte d'opera dell'innesto con il binario dispari (Figura 1-1) e pari (Figura 1-2). In funzione di quanto detto, nel seguito della relazione si tratterà l'innesto come opera unica, non facendo più riferimento alla singola WBS.

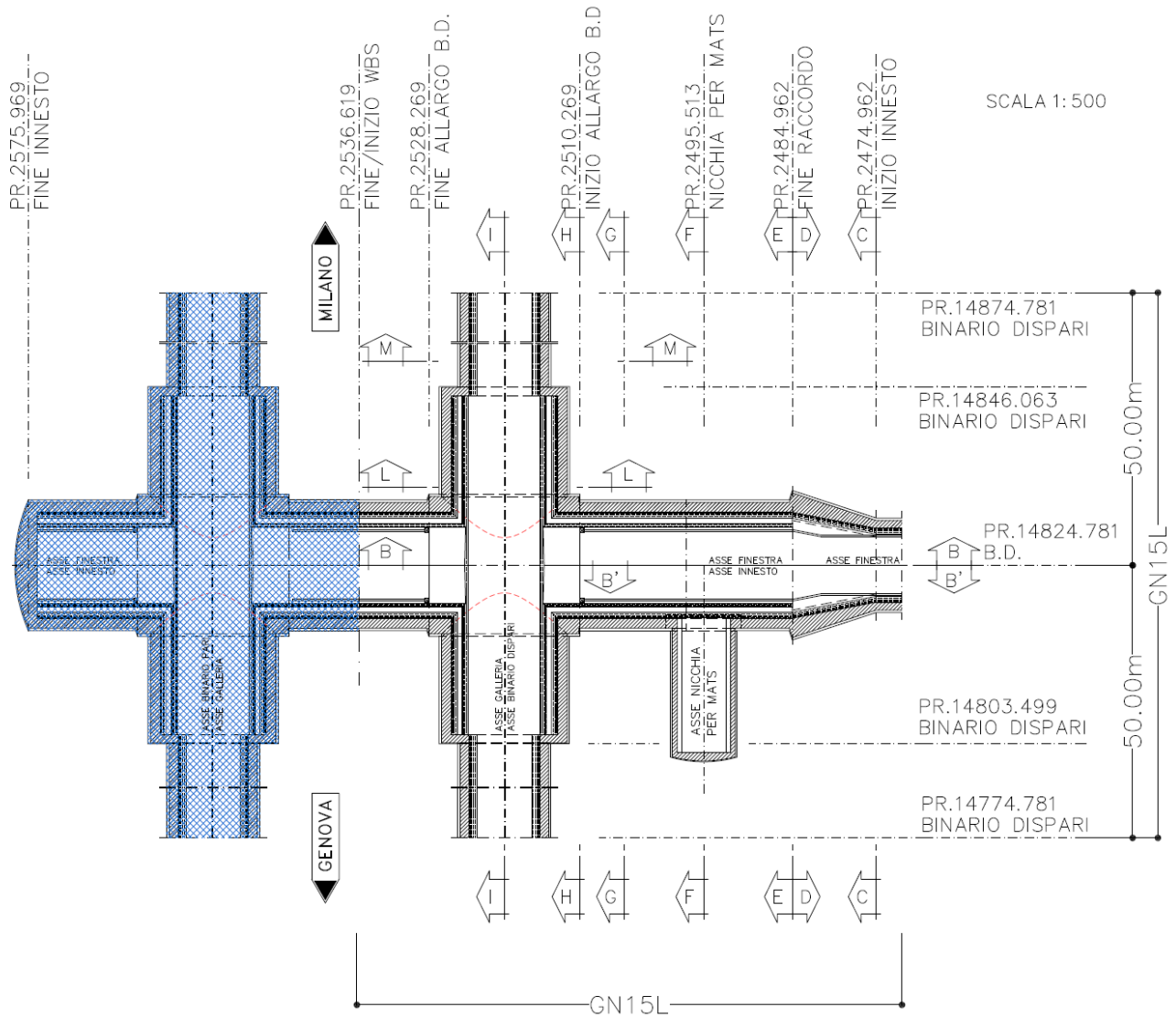


Figura 1-1. Pianta del camerone di innesto: binario dispari, WBS GN15L

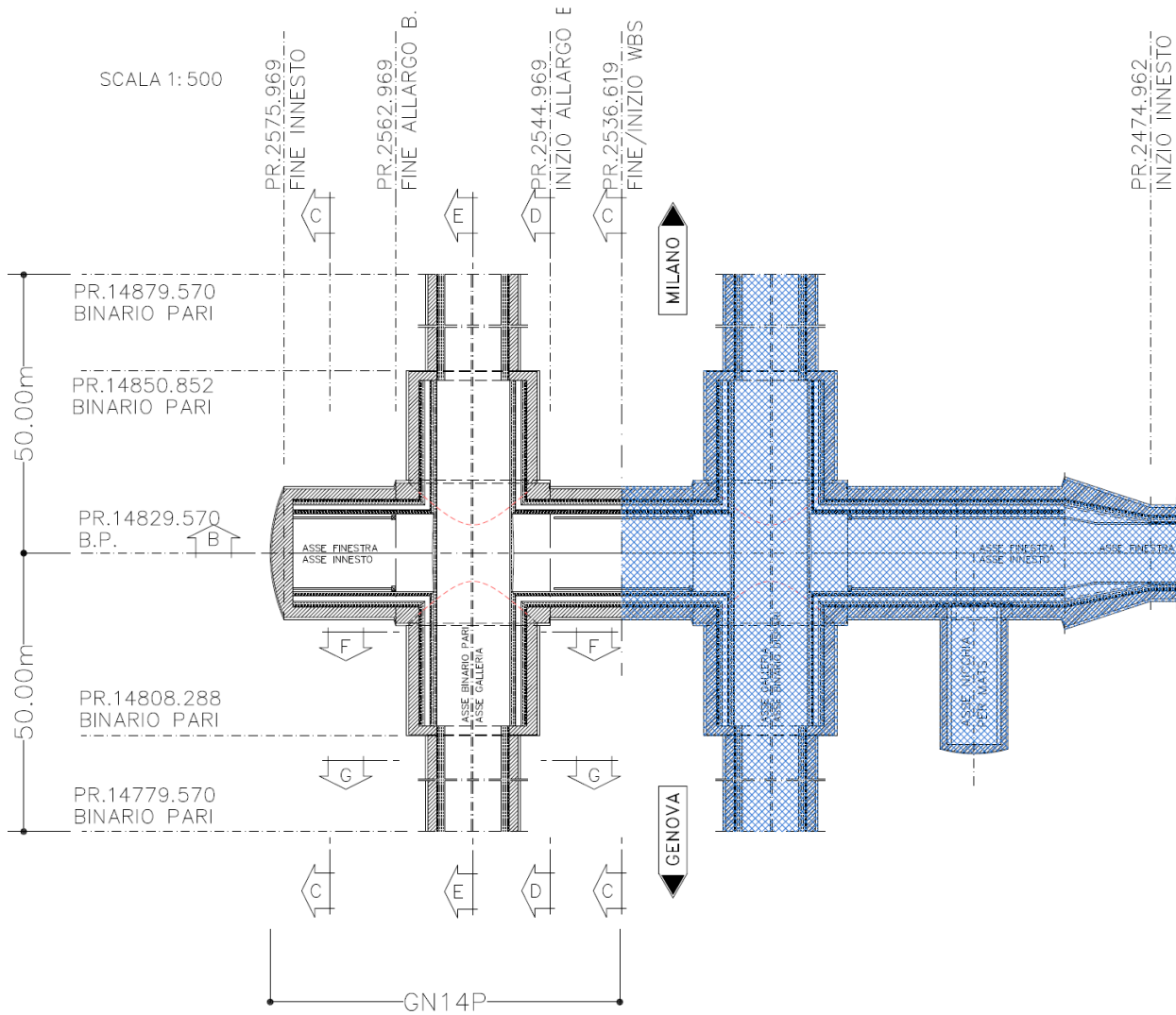


Figura 1-2. Pianta del camerone di innesto: binario pari, WBS GN14L

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 10 di 104

2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI

- Legge 5/11/1971 n. 1086

Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.

- Legge n° 64 del 2 febbraio 1974

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 11951 del 14/2/1974

Legge 5 novembre 1971, n. 1086. Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica. Istruzioni per l'applicazione.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 20049 del 9/1/1980

Legge 5 novembre 1971 n. 1086 - Istruzioni relative ai controlli sul conglomerato cementizio adoperato per le strutture in cemento armato.

- Istruzioni C.N.R. 10012-81

Azioni sulle costruzioni.

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 11/3/1988

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 30483 del 24/9/1988

Legge 2 febbraio 1974 art. 1-D.M. 11 marzo 1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione.

- Nota Ministero Lavori Pubblici n. 183 del 13/4/1989

D.M. 11.3.88. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, la progettazione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 14/02/1992

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici 24/06/1993 n. 406/STC

Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al D. M. 14/02/1992.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5103ECVROGN15LX002A00</p>	<p>Foglio 11 di 104</p>

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 9/01/1996

Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 16/01/1996

Norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 16/01/1996

Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero Lavori Pubblici 15/10/1996 n. 252

Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al D. M. 9/01/96.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici 4/07/1996 n. 156AA.GG/STC

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici 10/04/1997 n. 65/AA./GG.

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D. M. 16/01/96.

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 5/08/1999

Modificazioni al decreto ministeriale 9 gennaio 1996 contenente norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- D.P.R. 6 Giugno 2001, n°380

Testo unico delle disposizioni legislative e regolamenti in materia edilizia

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5103ECVROGN15LX002A00</p>	<p>Foglio 12 di 104</p>

2.1. Raccomandazioni

- **Eurocodice 1 UNI-EN-1991**

Criteri generali di progettazione strutturale

- **Eurocodice 2 UNI-EN-1992**

Progettazione delle strutture in calcestruzzo

- **Eurocodice 3 UNI-EN-1993**

Progettazione delle strutture in acciaio

- **Eurocodice 4 UNI-EN-1994**

Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo

- **Eurocodice 7 UNI-EN-1997**

Progettazione Geotecnica

- **Eurocodice 8 UNI-EN-1998**

Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5103ECVROGN15LX002A00 <table border="1" data-bbox="1356 224 1476 315"> <tr> <td>Foglio 13 di 104</td> </tr> </table>	Foglio 13 di 104
Foglio 13 di 104		

3. MATERIALI IMPIEGATI

3.1. Gallerie naturali

3.1.1. Consolidamenti e rivestimenti provvisori

Spritz beton fibrorinforzato	<ul style="list-style-type: none"> - Resistenza media su carote $h/\phi = 1$ a 48 ore ≥ 13 MPa, a 28 gg ≥ 30 MPa - dosaggio per fibre in acciaio ≥ 30 kg/m³
Acciaio per centine, piastre e	S275
Acciaio per catene	S275
Acciaio per armatura e rete	B450 C
Acciaio bulloni ad ancoraggio continuo	B450 C
Drenaggi	Tubi microfessurati in PVC <ul style="list-style-type: none"> - $\phi_{est} > 60$ mm, sp. 5 mm - Resistenza alla trazione 4.5 MPa, perforo 80 mm rivestiti con TNT - I primi 10m da boccaforo devono essere ciechi
Impermeabilizzazione in PVC	<ul style="list-style-type: none"> - teli sp. 2+/-0.5 mm, - Resistenza a trazione ≥ 15 MPa - Allungamento a rottura $\geq 250\%$ - Resistenza alla lacerazione ≥ 100N/mm - Resistenza alla giunzione ≥ 10.5 MPa - Stabilità al calore = 70°C - Flessibilità a freddo = -30°C - Resistenza alle soluzioni acide alcaline = +/-20% max allungamento - Comportamento al fuoco B2 - Resistenza alla pressione dell'acqua a 1 MPa per 10 ore : impermeabile

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5103ECVROGN15LX002A00 Foglio 14 di 104

Tubi in VTR (caratteristiche del composito)	<ul style="list-style-type: none"> - Diametro esterno = 60 mm ad aderenza migliorata - Diametro di perforazione = 100-120 mm - Spessore medio = 10 mm - Densità ≥ 1.8 t/mc - Res. a trazione ≥ 600 MPa - Res. a taglio ≥ 100 MPa - Modulo elastico ≥ 30000 MPa - Contenuto in vetro ≥ 50 % - Resistenza a flessione ≥ 600 MPa - Resistenza allo scoppio ≥ 8MPa - Perforazione eseguita a secco
Miscele cementizie per cementazione a bassa pressione	Cemento 42.5R <ul style="list-style-type: none"> - Rapporto a/c = 0.5-0.7 - Fluidificante = 4 % di peso sul cemento - Resistenza a compressione a 48 ore > 5 MPa
Iniezioni di guaina	Cemento R32.5 – R42.5 <ul style="list-style-type: none"> - Rapporto a/c $\approx 1.5-2$ - Bentonite $\approx 5-8$ % sul peso di cemento - Densità ≈ 1.3 t/m³ - Rendimento volumetrico ≥ 95% - Viscosità Marsh (ugello 4.7 mm) 30-35 sec.
Iniezione di consolidamento	Cemento R42.5 <ul style="list-style-type: none"> - Cemento a finezza di macinazione non inferiore a 4500 cm/g Blaine - Rapporto a/c $\approx 0.4-0.7$ - Bentonite <2 % - Additivo fluidificante (Flowcable o simili) ≈ 4 % di peso del cemento - Viscosità Marsh (ugello 4.7 mm) 35-45 sec. - Densità ≈ 1.8 t/m³ - Rendimento volumetrico > 95%

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5103ECVROGN15LX002A00 Foglio 15 di 104

Parametri minimi del terreno consolidato	<ul style="list-style-type: none"> - Resistenza a compressione 48h > 1.0 MPa - Resistenza a compressione 7gg > 1.5 MPa - R.Q.D. 48h > 50% - R.Q.D. 7gg > 70%
--	--

3.1.2. Rivestimenti definitivi

Acciaio per armatura:	B450 C
Calcestruzzo strutturale calotta e piedritti	C25/30, Tipo CEM III-V, XC2, S4
Calcestruzzo strutturale arco rovescio	C25/30, Tipo CEM III-V, XC2, S3
Magrone di pulizia di sottofondo	Rm ≥15 MPa, Tipo CEM I-V

3.1.3. Valori di verifica

Le verifiche strutturali sono condotte mediante il metodo delle tensioni ammissibili; nel seguito si indicano i valori di resistenza di progetto per i vari materiali.

Acciaio S275	$\sigma_{amm} = 190 \text{ MPa}$
Acciaio tubi S355	$\sigma_{amm} = 240 \text{ MPa}$
Acciaio B450 C	$\sigma_{amm} = 160 \text{ MPa (*)}$
Calcestruzzo proiettato $f_{cm} \geq 30 \text{ Mpa}$	$\sigma_{amm} = 30/1.3 = 23.1 \text{ MPa(**)}$
Calcestruzzo strutturale armato C25/30 Mpa	$\sigma_{amm} = 9.75 \text{ Mpa}$ $\tau_{c0} = 0.60 \text{ Mpa}$ $\tau_{c1} = 1.80 \text{ Mpa}$
Calcestruzzo strutturale non armato C25/30 Mpa	$\sigma_{amm} = 7.5 \text{ Mpa}$ $\tau_{c0} = 0.60 \text{ Mpa}$

(*) In condizioni sismiche o in condizioni di esercizio con verifica a fessurazione $\sigma_{amm} = 255 \text{ Mpa}$

(**) Le verifiche tengono conto delle diverse fasi di maturazione dello spritz beton

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 16 di 104

4. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'OPERA

L'opera in oggetto rientra nella realizzazione di una Finestra di accesso per la galleria del III Valico.

In particolare si tratta della realizzazione dell'innesto tra la finestra di accesso Castagnola e la galleria di linea compreso tra le progressive di linea PK 14803.499 e PK 14846.063 (binario dispari), con coperture pari a 580 m.

Il camerone, di lunghezza pari a 100 m circa, è collegato alla finestra di accesso da una zona di raccordo a sezione variabile che porta alla zona di allargo. Quest'ultima ha una sezione corrente tipologica, con raggio interno in chiave calotta di 6.31 m, larghezza massima interna pari a 12.63 m all'altezza del piano dei centri. La zona d'innesto ha poi una sezione più grande, con area di scavo pari a circa 224 m², con uguale sagoma interna ma solettone di fondazione piatto. Le dimensioni delle sezioni sono tali da garantire il passaggio dei mezzi di scavo e smarino necessari allo scavo della galleria di linea.

E' inoltre prevista la realizzazione di una nicchia MATS posta alla PK 2495.513. Il tratto terminale dell'opera, oltre il binario pari della linea, ha uno sviluppo di 15 m circa al fine di garantire gli spazi minimi richiesti in fase definitiva dagli impianti della galleria.

Si riportano nelle figure successive le planimetrie dell'opera e le principali sezioni, rimandando al §8.2 per la descrizione delle principali fasi esecutive agli specifici elaborati per ulteriori dettagli.

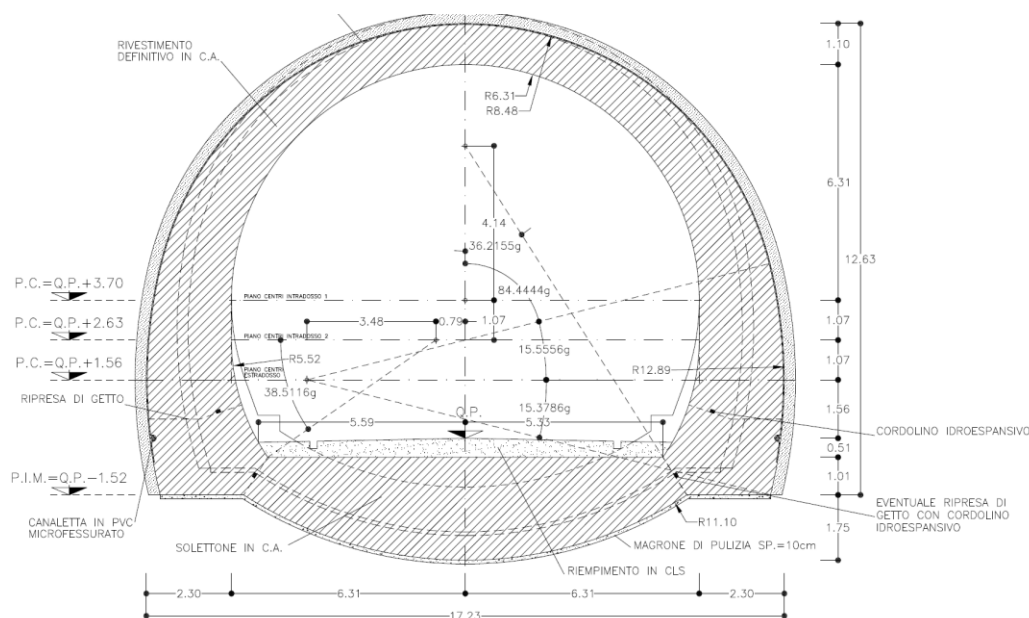


Figura 4-1. Sezione di raccordo

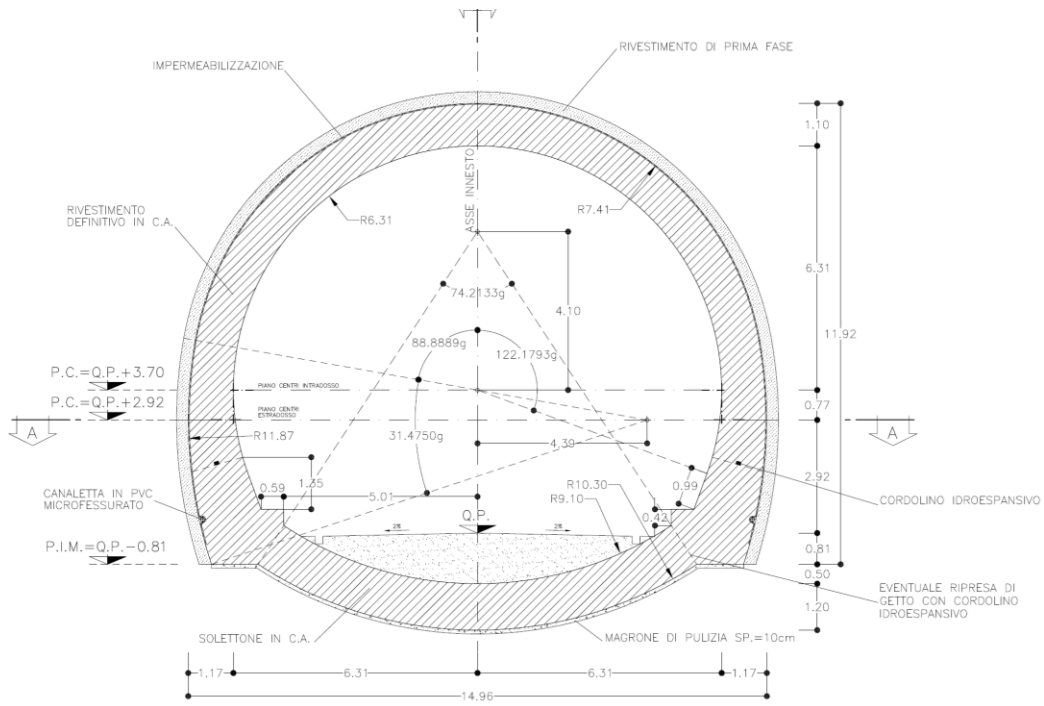


Figura 4-2. Sezione corrente

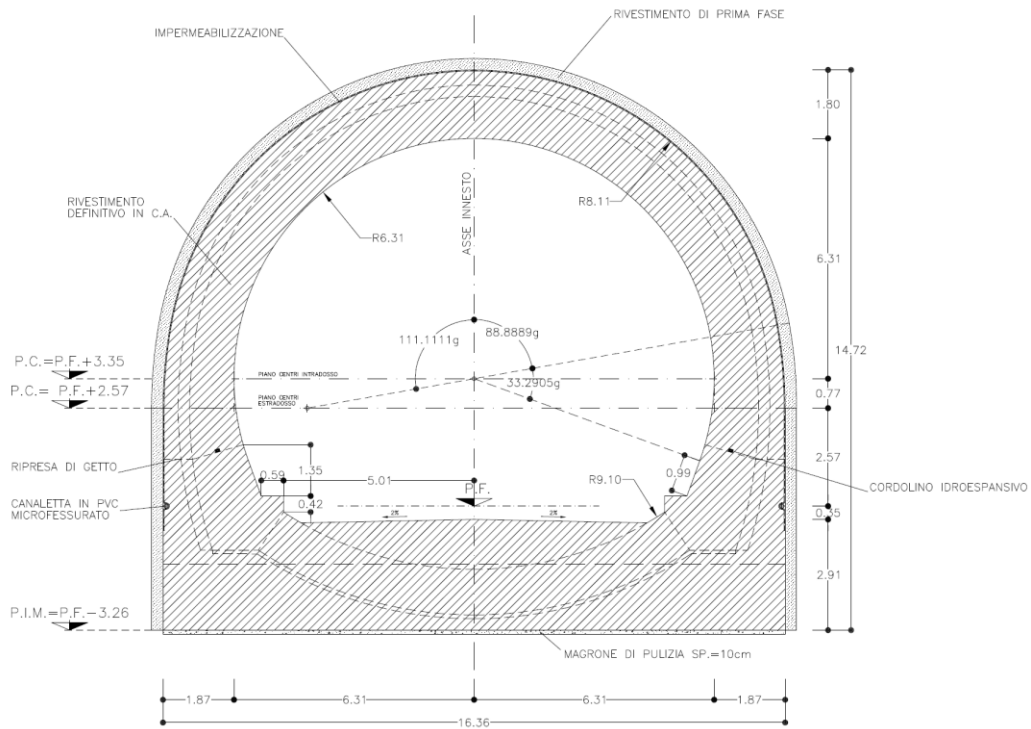


Figura 4-3. Sezione d'innesto

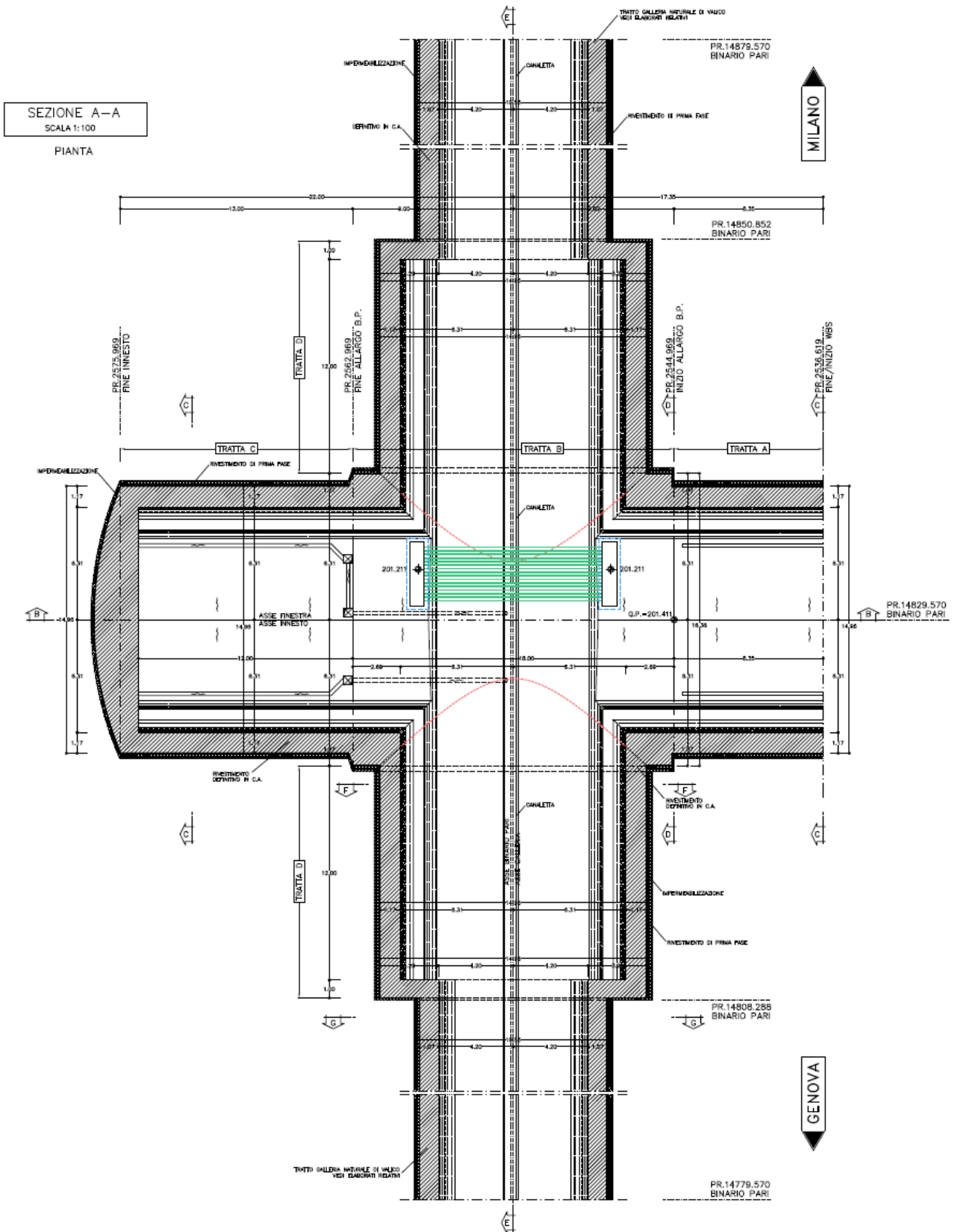


Figura 4-4. Planimetria binario pari

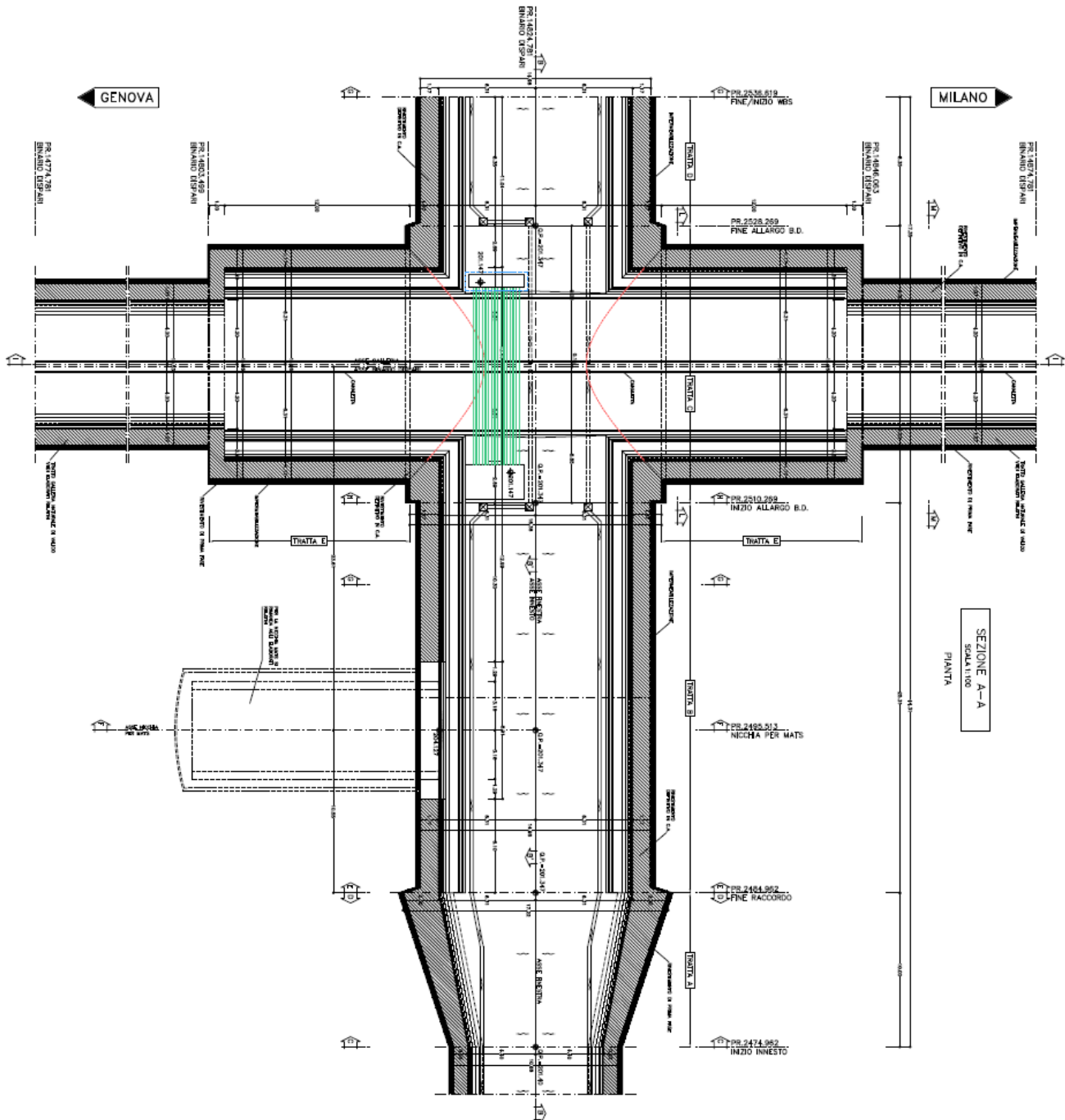


Figura 4-5. Planimetria binario dispari

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 20 di 104

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO

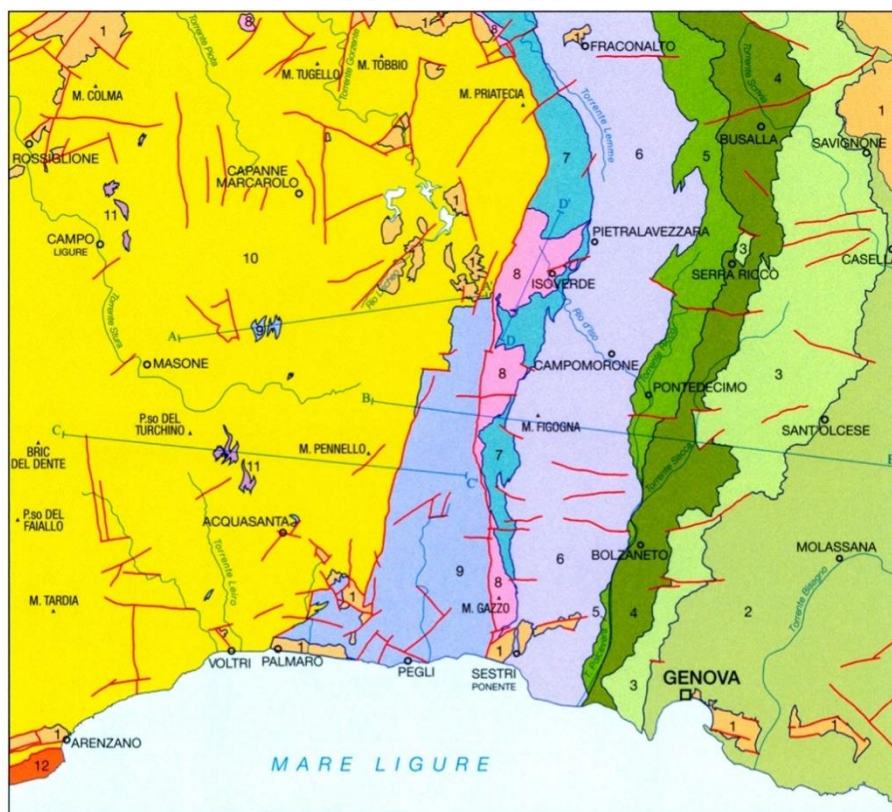
Si riporta di seguito un inquadramento generale geologico e geotecnico dell'area d'interesse, rimandando alle relative relazioni e tavole per ulteriori dettagli.

5.1. Inquadramento geologico-geomorfologico generale

Il tracciato della linea AC/AV Milano-Genova si sviluppa, in territorio ligure, a cavallo delle unità tettonometamorfiche Palmaro-Caffarella e Sestri-Voltaggio. A scala locale, il territorio in cui si collocano il sito di intervento e le zone limitrofe, è ubicato nell'areale di affioramento della ZSV e più precisamente entro la formazione delle "Argille a Palombini del Passo della Bocchetta" (aP), dell'unità tettonometamorfica Figogna.

Le sigle e le età geologiche riportate a fianco dei nomi delle formazioni descritte fanno riferimento alla legenda adottata nel Progetto Definitivo della linea Milano-Genova (2004); viene inoltre riportato, per completezza, il corrispondente codice adottato nella cartografia CARG (Capponi et al. 2009).

SCHEMA TETTONICO



- 1** DEPOSITI TARDO- E POST-OROGENICI
Successione del Bacino Terziario Piemontese, depositi pliocenici e quaternari
- 2** UNITÀ TETTONICA ANTOLA
Unità costituita da flysch, non metamorfica
- 3** UNITÀ TETTONICA RONCO
Unità costituita da flysch, a metamorfismo di anchizona
- 4** UNITÀ TETTONICA MONTANESI
Unità costituita da flysch, a metamorfismo di anchizona
- 5** UNITÀ TETTONICA MIGNANEGO
Unità costituita da flysch, a metamorfismo di anchizona
- 6** UNITÀ TETTONOMETAMORFICA FIGOGNA
Unità di crosta oceanica, a metamorfismo in facies pumpellyite-actinolite
- 7** UNITÀ TETTONOMETAMORFICA CRAVASCO - VOLTAGGIO
Unità di crosta oceanica, a metamorfismo in facies Scisti Blu (albite, clorite, Na-anfibolo, Na-pirosseno, lawsonite, pumpellyite, epidoto), con retrocessione moderata
- 8** UNITÀ TETTONOMETAMORFICA GAZZO - ISOVERDE
Unità di margine continentale, a sovrainfusione metamorfica di alta pressione
- 9** UNITÀ TETTONOMETAMORFICA PALMARO - CAFFARELLA
Unità di crosta oceanica, a metamorfismo in facies Scisti Blu (gaderite, Na-anfibolo, lawsonite), con retrocessione in facies Scisti Verdi più o meno pervasiva
- 10** UNITÀ TETTONOMETAMORFICA VOLTRI
Unità di crosta oceanica e di mantello, a metamorfismo in facies Scisti Blu con eclogiti e riequilibratura in facies Scisti Verdi spesso pervasiva
- 11** UNITÀ TETTONOMETAMORFICA ANGASSINO - TERMA
Unità di margine continentale, a sovrainfusione metamorfica di alta pressione
- 12** UNITÀ TETTONOMETAMORFICA ARENZANO
Costituita da un Complesso di margine continentale, monometamorfico, a sovrainfusione metamorfica alpina da alta pressione a Scisti Verdi e da un Complesso di margine continentale, polimetamorfico, a metamorfismo pre-alpino in facies Anfibolitica e sovrainfusione metamorfica alpina da alta pressione a Scisti Verdi

— Limite stratigrafico — Contatto tettonico — Faglia A-A' Traccia di sezione geologica

Figura 5-1. Schema tettonico dell'area interessata dal progetto (tratto dal foglio CARG "Genova")

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5103ECVROGN15LX002A00 Foglio 22 di 104

5.1.1. L'unità tettonometamorfica Figogna

L'unità tettonometamorfica Figogna è costituita da un basamento metaofiolitico e dalla relativa copertura metasedimentaria; la successione-tipo presenta alcuni caratteri peculiari rispetto alle sequenze di crosta oceanica delle altre unità: nei basalti, generalmente con tessitura a *pillow*, sono presenti livelli di ialoclastiti e breccie più o meno rimaneggiate, filoni basaltici e dioritici. I gabbri, generalmente ben rappresentati nelle altre unità, sono volumetricamente molto ridotti.

L'unità Figogna corrisponde all'unità denominata "Timone - Bric Teiolo" dagli autori pre-CARG, denominazione adottata anche nel Progetto Definitivo (2004); essa include le seguenti formazioni:

- Argille a Palombini del Passo della Bocchetta (aP) (suddivise nella cartografia CARG nelle due sottunità degli "argilloscisti di Murta, AGF" e degli "argilloscisti di Costagiutta, AGI");
- Metacalcari di Erzelli;
- Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia;
- Metabasalti del M. Figogna;
- Serpentiniti del Bric dei Corvi (zona di deformazione di Scarpino).

Uno schema sintetico dei rapporti stratigrafici all'interno dell'unità Figogna è presentato nella successiva.

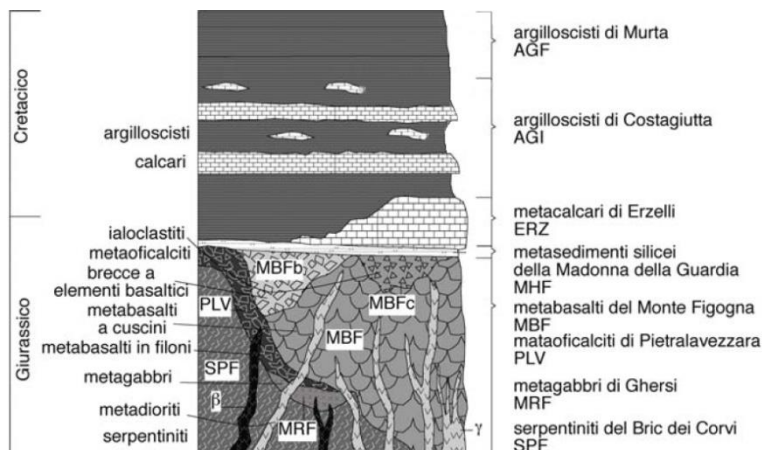


Figura 5-2. Schema dei rapporti stratigrafici tra le varie formazioni che costituiscono l'unità tettonometamorfica Figogna (Capponi et al., 2008)

Le Argille a Palombini del Passo della Bocchetta

L'unità delle "Argille a Palombini del Passo della Bocchetta" (aP, AGI, AGF - Cretaceo inf.), descritta come un complesso litostratigrafico unico dagli autori pre-CARG e dal Progetto Definitivo, è stata successivamente suddivisa nel foglio CARG Genova in due sottunità:

- argilloscisti di Costagiutta (codice CARG: AGI);
- argilloscisti di Murta (codice CARG: AGF).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5103ECVROGN15LX002A00 <table border="1" data-bbox="1356 224 1476 315"> <tr> <td>Foglio 23 di 104</td> </tr> </table>	Foglio 23 di 104
Foglio 23 di 104		

Per coerenza con il Progetto Definitivo e per evitare eccessive confusioni, si è scelto di mantenere la terminologia e il codice pre-CARG (aP), indicando, dove possibile, l'attribuzione dei litotipi affioranti all'una o all'altra delle due sottounità CARG sopra citate e distinguendo cartograficamente, sempre ove possibile, le due litofacies principali.

Le due sottounità AGI e AGF occupano posizioni strutturalmente e litostratigraficamente distinte (cfr. Figura 5-2): gli argilloscisti di Costagiutta in posizione soprastante, gli argilloscisti di Murta in posizione sottostante; i rapporti reciproci a scala regionale sono esemplificati dal profilo geologico di Figura 5-3, estratto dal foglio CARG "Genova". Il profilo ha un'orientazione E-W e passa per la sommità del M. Figogna, appena a sud del tracciato della finestra Castagnola. I rapporti geometrico-strutturali tra le due unità sono complicati dalla presenza di sistemi di pieghe ovest-vergenti, riferibili in gran parte all'evento deformativo D3 (cfr. Relazione geologica-geomorfologica-idrogeologica Camerone di Innesto Finestra Castagnola).

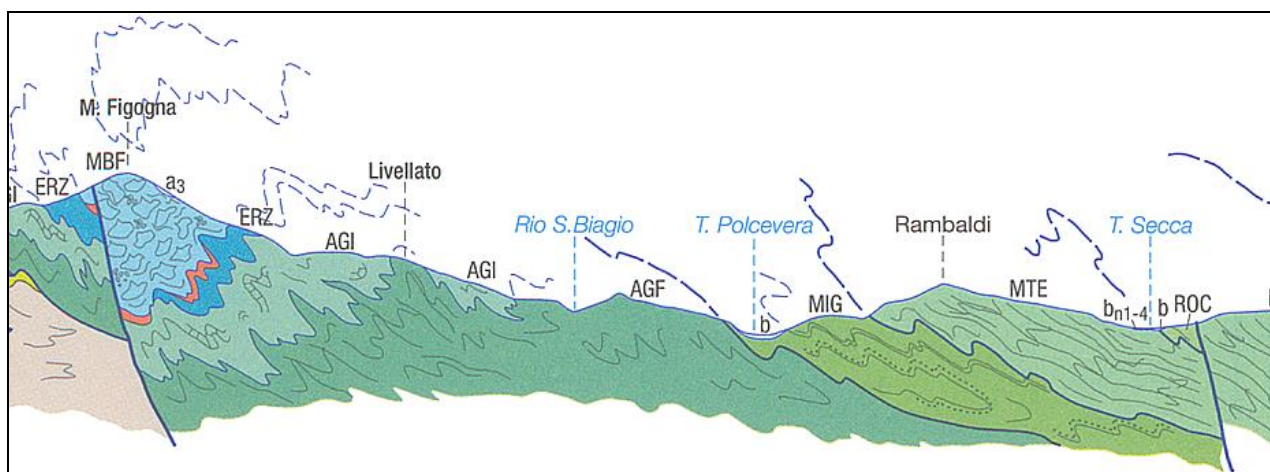


Figura 5-3. Profilo geologico E-W attraverso la Val Polcevera e la dorsale del M. Figogna (Foglio CARG Genova; Capponi et al., 2007). Il profilo si colloca a S del tracciato della finestra Castagnola.

Il volume roccioso entro cui è previsto lo scavo del camerone si colloca sul fianco sinistro della Valle Scrivia, dove affiorano i litotipi che costituiscono la formazione delle "Argille a Palombini del Passo della Bocchetta" (aP; unità tettonometamorfica Figogna); secondo l'interpretazione strutturale suggerita dal Foglio CARG Genova (Capponi et al., 2007, 2009) il tracciato del camerone ricade in parte all'interno dell'unità degli Argilloscisti di Murta (AGF), e in parte all'interno dell'unità degli Argilloscisti di Costagiutta (AGI). In realtà la distinzione tra questi due litotipi in questo settore è estremamente difficoltosa, poiché essi risultano intimamente interdigerati a causa dei fenomeni traspositivi associati al piegamento. Pertanto nell'elaborato cartografico di progetto si è scelto di mantenere indifferenziati gli argilloscisti, tanto più che dal punto di vista geomeccanico essi non presentano differenze sostanziali.

Nel complesso gli affioramenti sono molto alterati nei primi metri dalla superficie, principalmente per ossidazione e per argillificazione parziale delle fasi feldspatiche, mentre con la profondità l'ammasso tende rapidamente a chiudersi.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5103ECVROGN15LX002A00 <table border="1" data-bbox="1356 224 1484 318"> <tr> <td>Foglio 24 di 104</td> </tr> </table>	Foglio 24 di 104
Foglio 24 di 104		

Intercalati all'interno degli argilloscisti, sono stati osservati corpi lenticolari, di estensione pluri-decimetrica fino a ettometrica, costituiti da metabasiti (B') e da metasedimenti silicei (dM). Si tratta probabilmente di elementi che all'origine si trovavano stratigraficamente intercalati, seppur con una certa discontinuità, agli argilloscisti, successivamente ridotti a corpi lenticolari a seguito dei fenomeni traspositivi sin-plicativi.

L'assetto strutturale superficiale è caratterizzato da foliazioni immergenti sia verso ENE o NE sia verso WNW o NW, a causa di una fitta successione di pieghe da aperte a serrate, spesso con fianchi rovesciati, ad asse diretto da N-S a NNW-SSE (Figura 5-4). In superficie si osservano serie di pieghe decimetrico-metriche, più o meno disarmoniche, da serrate ad aperte (Figura 5-5), riferite all'evento deformativo D3; la deformazione è molto pervasiva e genera un clivaggio o una scistosità di piano assiale (S3) che localmente tende ad obliterare la precedente foliazione composita (S1+S2).

La discontinuità di affioramento nella zona della finestra non ha consentito l'osservazione diretta di strutture fragili. In ogni caso anche dalle osservazioni fotogeologiche eseguite non sembrano emergere zone di faglia rilevanti strettamente riguardanti il settore del camerone. Non si può comunque escludere la presenza di fagli minori, di estensione pluri-metrica, associate a modeste zone di danneggiamento, di spessore metrico.



Figura 5-4. Argilloscisti pieghettati con strati calcarei frammentati, affioranti lungo il rio Mainose

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00 <table border="1" data-bbox="1356 224 1477 318"> <tr> <td>Foglio 25 di 104</td> </tr> </table>	Foglio 25 di 104
Foglio 25 di 104		

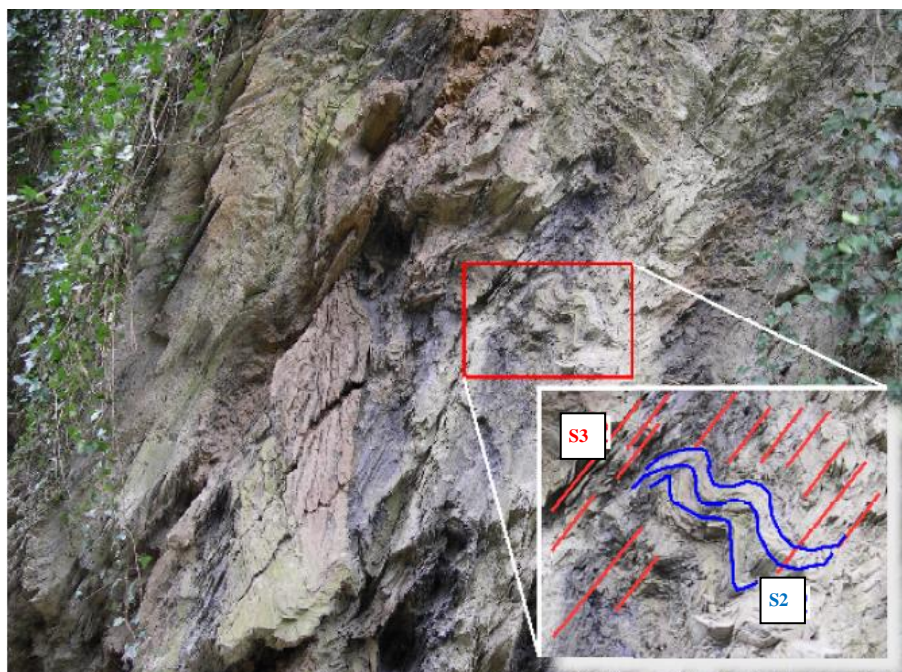


Figura 5-5. – Rapporti di sovrapposizione tra la scistosità composta principale (S1+S2) e clivaggi di piano assiale legati a pieghe aperte di fase D3 negli argilloscisti

5.2. Condizioni geologiche attese lungo lo sviluppo del tracciato

L'assetto geolitologico lungo lo sviluppo del tracciato è relativamente semplice, dal momento che è previsto che gli scavi interessino con continuità gli scisti micaceo carbonatici (aP) dell'unità delle Argille a Palombini del Passo della Bocchetta. La presenza di bancate carbonatiche di spessore metrico-decamentrico, reologicamente più rigide rispetto alle facies scistose prevalenti, è anche possibile. Seppure non siano stati rappresentati sulla sezione geologica previsionale, è possibile che localmente, all'interno di questa monotona successione di scisti, vengano intersecati dei corpi di meta-basalti (B') e di scisti silicei (dM).

La giacitura della foliazione, a causa dei fenomeni di piegamento, varierà frequentemente sia a scala metrica che decamentrica. Si potranno verificare sia situazioni di scavo con direzione della scistosità sub-perpendicolare all'asse della galleria e immersione perlopiù a medio angolo, sia situazioni in cui la direzione della scistosità risulterà essere sub-parallela all'asse, sempre con immersione prevalente a medio angolo.

5.2.1. Presenza di faglie e stato medio di fratturazione dell'ammasso

Non è prevista l'intersezione con zone di faglia maggiori; è comunque possibile la presenza di faglie minori, con persistenza metrico-decamentrica, caratterizzate da brecce tettoniche.

Lo stato di fratturazione generale dell'ammasso è caratterizzato da una densità delle superfici di discontinuità relativamente modesta; una densità di fratturazione media o medio-alta può essere

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5103ECVROGN15LX002A00 <table border="1" data-bbox="1369 232 1474 315"> <tr> <td>Foglio 26 di 104</td> </tr> </table>	Foglio 26 di 104
Foglio 26 di 104		

tuttavia presente nelle bancate più carbonatiche o nelle eventuali lenti di meta-basalti, reologicamente più competenti e rigide.

5.2.2. *Rischi geologici*

Lo scavo procederà in un ammasso caratterizzato da un' anisotropia meccanica elevata a causa della foliazione, che risulta essere molto pervasiva.

I fenomeni carsici e i fenomeni di dissoluzione sono improbabili, vista la composizione prevalentemente fillosilicatica dei litotipi. Non si possono comunque escludere locali e limitati settori con microcarsismo nelle bancate maggiormente carbonatiche e presenza di sottili livelletti di dissoluzione con materiale incoerente.

La presenza di fronti misti, con contatti litologici tra litotipi a differente competenza meccanica è ipotizzabile in tutto il settore qui considerato. Ciò dipende principalmente dalla possibile intersezione, all'interno degli argilloscisti, di scaglie di litotipi a differente competenza e più compatti, quali basalti e scisti silicei. Non si può inoltre escludere che, qualora intercettati, i contatti tra gli argilloscisti e tali corpi litologici presentino delle riattivazioni cataclastiche di modesta entità (livelli di gouge di spessore centimetrico), che comunque contribuirebbero a determinare un elemento di debolezza meccanica sul fronte. Fronti misti saranno sicuramente da prevedersi in corrispondenza delle zone di faglia minori citate in precedenza.

5.3. **Inquadramento Idrogeologico**

Gli argilloscisti che costituiscono la formazione delle "Argille a Palombini del Passo della Bocchetta" (aP) sono caratterizzati da permeabilità per fratturazione da bassa a molto bassa. La possibile presenza di interstrati calcarei relativamente più rigidi degli argilloscisti incassanti non modifica sostanzialmente la permeabilità globale dell'ammasso, dato il loro esiguo spessore. Gli argilloscisti non costituiscono un acquifero significativo.

Nel complesso quindi, lo scavo del camerone non presenta problematiche particolari dal punto di vista idrogeologico, fatte salve possibili condizioni di maggiore permeabilità legate alla presenza di zone di faglia, peraltro non previste, riguardo alle quali, allo stato attuale delle conoscenze e in assenza di sondaggi geognostici specifici, non è tuttavia possibile fare alcuna previsione precisa.

Non sono comunque attese situazioni idrogeologiche particolarmente critiche, considerata la bassa permeabilità dei litotipi attraversati e la composizione prevalentemente fillosilicatica che contraddistingue le zone di faglia, aspetto che, anche ove intercettate, tende a limitarne fortemente la permeabilità, confinando le fasce idraulicamente più trasmissive a uno spessore di pochi metri alle salbande di piani di taglio principali (*damage zone*).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 27 di 104

5.4. Inquadramento Geotecnico

5.4.1. Note introduttive

Lo scavo del Camerone di Innesto della Finestra Castagnola avviene interamente in terreni costituiti da Argilloscisti filladici, appartenenti alle Formazioni degli “Argilloscisti di Murta” (AGF) e degli “Argilloscisti di Costagiutta” (AGI). Queste due formazioni rappresentano, nella nuova cartografia ufficiale, Foglio “Genova” n. 213-230 in scala 1:50.000, la ex Formazione delle “Argilliti a Palombini del Passo della Bocchetta”. Dal punto vista geomeccanico le due formazioni sono completamente equivalenti alla ex formazione delle “Argille a Palombini del Passo della Bocchetta” (aP), a cui si farà riferimento nel seguito in conformità alla nomenclatura impiegata in Progetto Definitivo.

Alla data di stesura della presente relazione nella formazione sopra citata risultano parzialmente scavati due cunicoli esplorativi (Val Lemme e Castagnola); l’esecuzione di gallerie sperimentali è stata infatti considerata il mezzo di indagine ottimale per investigare le reali caratteristiche geomeccaniche della formazione argillitica in esame e per valutarne correttamente la risposta allo scavo sotto le elevate coperture presenti. Analizzando quanto verificatosi in corso d’opera durante lo scavo dei due cunicoli esplorativi, è stato possibile operare una suddivisione delle Argille a Palombini nei differenti gruppi geomeccanici considerati nell’ambito della presente progettazione.

5.4.2. Caratterizzazione Geomeccanica Argilloscisti

Esito Campagne Indagini

Di seguito si presenterà una sintesi completa delle assunzioni che hanno condotto alla determinazione dei parametri di calcolo per la formazione in esame. Per i dettagli si rimanda alla relazione geotecnica della Finestra Castagnola.

La formazione geotecnica delle Argilliti a Palombini (da ora Ap) è stata caratterizzata prendendo a riferimento tutti i dati delle seguenti campagne di indagine:

- Campagna di indagine eseguita durante lo scavo delle prime tratte dei cunicoli esplorativi (1998);
- Campagna di indagini P.P. (2001-2002)
- Campagna di indagini P.D. (2004)
- Campagna di indagini integrative P.D. (2005)
- Campagna di indagini P.E. Lotto 1 (2012-2013)
- Campagna di indagini P.E. Lotto 2 (2013 – dati non disponibili al momento della redazione del presente documento)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5103ECVROGN15LX002A00 Foglio 28 di 104

Si riportano nel seguito, in forma tabellare, i singoli sondaggi oggetto di elaborazione, per le varie campagne geognostiche condotte. Unitamente alla codifica COCIV propria delle verticali di indagine è data indicazione della formazione interessata dal sondaggio e della collocazione geografica delle verticali stesse (con riferimento alla progressiva della linea e distanza approssimativa dall'asse di tracciamento).

Tutti i 73 sondaggi oggetto di studio sono collocati nel tratto di linea interessato dalla presenza degli argilloscisti (progressive km 0+000/20+000) e formazioni assimilabili in termini di comportamento geo-meccanico (fascia milonitica di Isoverde).

ID	Fase	Sondaggio Codifica COCIV	Formazione interessata	Progressiva linea m	Distanza asse tracciamento linea m
1	PP	BH02	ma	850	40
2	PP	BH02/IN	ma	850	40
3	PP	BH01/PZ	ma	1680	150
4	PP	BH04	aP	1875	30
5	PP	BH05	ma	2078	190
6	PP	BH06	aP	3470	130
7	PP	BH03/PZ	aP	4355	50
8	PP	BH08	aP	4505	50
9	PP	BH10	ma	7434	5
10	PP	BH11/PZ	ma	7962	60
11	PP	BH12/Ch	ma	8511	40
12	PP	BH16/PZ	aP	12590	10

Tabella 5-1. Sondaggi Progetto Preliminare

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5103ECVROGN15LX002A00 Foglio 29 di 104

ID	Fase	Sondaggio Codifica COCIV	Formazione interessata	Progressiva linea m	Distanza asse linea m
1	PD	SL05	aP	0	3000
2	PD	SL09	aP	0	3000
3	PD	SL12	aP	0	700
4	PD	SL28	aP	0	1000
5	PD	SL29	aP	0	1000
6	PD	SL36	aP	0	700
7	PD	SL05	aP	0	1000
8	PD	SL08	aP	0	3000
9	PD	SL09	aP	0	3000
10	PD	SL24	aP	0	2000
11	PD	SL35	aP	0	2000
12	PD	SL57	aP	0	0
13	PD	SL11	aP	150	10
14	PD	SF5	aP	500	30
15	PD	SF6	aP	550	10
16	PD	SC18	aP	1750	250
17	PD	SF13	aP	4250	1800
18	PD	SC21	aP	4600	150
19	PD	SL38	aP	6000	2000
20	PD	SL39	aP	6000	2000
21	PD	SL55	aP	7500	600
22	PD	SL16	aP	7600	1200
23	PD	SL42	aP	9200	250
24	PD	SR11	aP/ serpentinoscisto	10450	10
25	PD	SR12	aP/aP anidrite	10750	10
26	PD	SR13	aP	11950	50
27	PD	SR14	aP/breccia faglia	16450	20
28	PD	SP13	aP	16700	1600
29	PD	SP21	aP	16700	1500
30	PD	SP12	aP	16900	1500
31	PD	SP27	aP	17000	1100
32	PD	SP7	aP	17000	1000
33	PD	SP26	aP	17300	400
34	PD	SP25	aP	18000	1000
35	PD	SP4	aP	18000	1200
36	PD	SP5	aP	18000	1200
37	PD	SP2	aP	18250	1400
38	PD	SP35	aP	18750	2000
39	PD	SP36	aP	18750	2000
40	PD	SP38	aP	18750	2000
41	PD	SP39	aP	18750	2000

Tabella 5-2. Sondaggi Progetto Definitivo – 2 di 2

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5103ECVROGN15LX002A00 Foglio 30 di 104

ID	Fase	Sondaggio Codifica COCIV	Formazione interessata	Progressiva linea m	Distanza asse tracciamento linea m
1	PE	SI1	alterazione aP	500	-
2	PE	SLI7	aP	5000	700
3	PE	SI8	aP	6500	1500
4	PE	SI56	aP	7800	250
5	PE	SI9	aP	7900	400
6	PE	SI55	aP	8000	200
7	PE	SI54	aP	8100	150
8	PE	SI52	aP	8200	200
9	PE	SI16	aP	15500	4000
10	PE	SI17	aP	15500	4000
11	PE	SI18	aP	16700	2500
12	PE	SI19	aP/aP cappellaccio	16800	800
13	PE	SI20	aP cappellaccio	16800	800
14	PE	SI21	ma/aP cappellaccio	16800	1000
15	PE	SLI12	aP	17750	500
16	PE	SLI9	aP/aP cappellaccio	17750	1500
17	PE	SI22	ma/aP cappellaccio	17800	800
18	PE	SI23	aP	18000	1300
19	PE	SI24	aP/ma/cappellaccio	18750	2000
20	PE	SI25	aP	18750	2000
21	PE	SI28	aP-aP frana	18750	2000

Tabella 5-3. Sondaggi Progetto Esecutivo

Sulla base dei dati raccolti, scaturiti dai rilievi strutturali, dalle colonne stratigrafiche ricavate dai sondaggi, nonché dai rilievi del fronte di scavo durante l'avanzamento del cunicolo esplorativo, è stato possibile effettuare una suddivisione dell'ammasso roccioso in 3 differenti gruppi geomeccanici (gruppi 1, 2 e 3). Per la descrizione dettagliata di tale fase di studio, si rimanda alla Relazione Geomeccanica Generale del Progetto Definitivo – documento A301-00-D-CV-RO-GN000X-003-A.

L'omogeneità e l'assimilabilità nell'ambito di ciascun gruppo sono state definite in base a criteri litologici (composizione mineralogica e petrografica, percentuale di palombino relativamente alla matrice argillitica, grado di alterazione).

I principali fattori considerati per l'individuazione di tali gruppi sono:

- **Criteri litologici** (composizione mineralogica e petrografica, percentuale di palombino relativamente alla matrice argillitica, grado di alterazione, eventuale presenza di acqua)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 31 di 104

- **Criteri strutturali** (caratteristiche delle strutture di separazione, indice RDQ, intensità della foliazione, intensità della tettonizzazione come ad esempio la presenza di struttura a pieghe fino alla microscala,
- **Criteri litomeccanici** (con riferimento ad una prima valutazione delle proprietà fisiche, di resistenza e deformabilità).

Nel seguito si fornisce una sommaria descrizione dei gruppi geomeccanici individuati:

Gruppo geomeccanico 1

L'ammasso presenta discrete proprietà geomeccaniche. L'RQD è mediamente maggiore del 50-60%; si individua chiaramente la foliazione regolarmente spaziata anche se la struttura non è intensamente piegata fino alla microscala. Le superfici dei giunti sono prive di alterazione e la circolazione idrica è scarsa o assente.

La presenza dei palombini può superare il 50% fino a condizionare completamente il comportamento generale dell'ammasso; gli strati calcarei sono però poco fratturati e poco alterati. Mediamente nel corso dello scavo questo gruppo litologico è stato incontrato con una percentuale pari al 28%.

Gruppo geomeccanico 2

L'ammasso mostra scadenti proprietà geomeccaniche. L'RQD è variabile mediamente tra il 20 e il 50%; si individua ancora chiaramente la foliazione regolarmente e fittamente spaziata ma con struttura più intensamente piegata, fino alla microscala.

Le superfici dei giunti sono da poco alterate ad alterate e la circolazione idrica è scarsa. I palombini, quando presenti (non oltre il 50%), risultano da fratturati a molto fratturati e localmente alterati. Mediamente nel corso dello scavo è stato incontrato con una percentuale pari al 55%.

Gruppo geomeccanico 3

L'ammasso che ricade in questo gruppo appartiene a zone particolarmente tettonizzate o alterate e mostra proprietà geomeccaniche molto scadenti. L'RQD è inferiore mediamente al 20%; la foliazione è talmente intensa ed irregolarmente e fittamente spaziata che può non essere più riconoscibile (ammasso destrutturato con perdita di coesione); la struttura, quando riconoscibile, è intensamente piegata fino alla microscala.

Le superfici dei giunti sono da alterate a molto alterate e la circolazione idrica può essere significativa. I palombini, quando presenti (non oltre il 30%), risultano intensamente fratturati ed alterati. Mediamente nel corso dello scavo è stato incontrato con una percentuale pari al 17%.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 32 di 104

In sintesi:

- il **Gruppo 1** può essere considerato rappresentativo delle condizioni migliori d'ammasso roccioso;
- il **Gruppo 2** può essere considerato rappresentativo delle caratteristiche medie dell'ammasso roccioso;
- il **Gruppo 3** può essere considerato rappresentativo del comportamento dell'ammasso roccioso delle zone a bassa copertura o in corrispondenza di importanti strutture geologiche (es. faglie, nuclei di pieghe, sovrascorrimenti, ecc.).

Caratteristiche fisiche

L'esito delle analisi condotte nello studio, riportato nella Relazione geotecnica Finestra Castagnola e avente come oggetto tutti i sondaggi rappresentativi della formazione degli argilloscisti (PP+PD+PE), è in linea con le determinazioni ottenute dallo scavo dei cunicoli esplorativi. Si definiscono pertanto i seguenti parametri, per i tre gruppi geomeccanici:

- **Gruppo G1**
 - Peso di volume: 27 kN/m³
 - Coefficiente di Poisson. 0.25-0.30
 - Conducibilità idraulica: 1E-6 m/s / 1E-7 m/s
- **Gruppo G2**
 - Peso di volume: 27 kN/m³
 - Coefficiente di Poisson. 0.25-0.30
 - Conducibilità idraulica: 4E-6 m/s
- **Gruppo G3**
 - Peso di volume: 26 kN/m³
 - Coefficiente di Poisson. 0.30
 - Conducibilità idraulica: 4E-6 m/s

Caratteristiche di resistenza

Come emerso dall'analisi dei risultati delle prove di compressione monoassiale e dalle correlazioni con i Point Load Test, la concentrazione di punti sperimentali individuabili con riferimento alle distribuzioni delle caratteristiche di resistenza, mostra una notevole dispersione dei risultati, associabile alla marcata anisotropia della matrice (sensibilità del risultato alla giacitura della scistosità rispetto alla direzione di carico) ed alla presenza di inclusi palombinici. Tale variabilità era peraltro emersa anche dalla campagna di indagini condotta durante lo scavo dei cunicoli esplorativi, per cui si rimanda alla Relazione Geomeccanica Generale del Progetto Definitivo – documento A301-00-D-CV-RO-GN000X-003-A.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5103ECVROGN15LX002A00 Foglio 33 di 104

La tabella che segue mostra i range di UCS, associati ai medesimi gruppi geo-meccanici, derivanti dalle indagini sui cunicoli e dalle elaborazioni oggetto del presente studio (sondaggi PP, PD, PE 1° lotto). Si fornisce infine il range di variazione derivato, secondo le considerazioni esposte nel seguito, dagli esiti delle citate analisi (scavo cunicoli e sondaggi).

Formazione	UCS (MPa)		
	cunicoli	sondaggi (PP+PD+PE)	PE
aP-G1	37	10 (17) (*)	30 - 40
aP-G2	12	9 (12) (*)	10 - 12
aP-G3	7	3-5 (**)	5 - 7

(*) media distribuzione con cut-off inferiore a 5 MPa
 (**) scarsa numerosità campione

Tabella 5-4. Resistenza a compressione mono-assiale per i gruppi geomeccanici rappresentativi degli Argilloscisti Filladici.

Con riferimento al gruppo geo-meccanico G1, il range 10-17 MPa, ottenuto dall'analisi completa dei sondaggi di PP – PD - PE, discende dai valori medi delle 2 distribuzioni analizzate, ovvero:

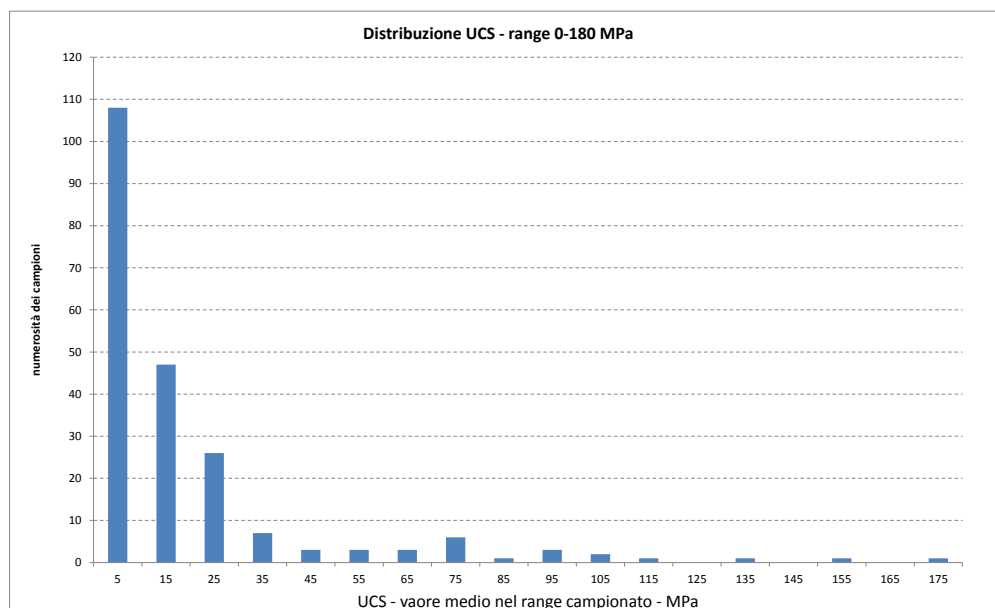
- distribuzione UCS-RQD limitata al range 0-35/40 MPa, rappresentativo della matrice argillitica;
- distribuzione UCS-RQD limitata al range 0-35/40 MPa con cut-off inferiore posto sul valore dei 5 MPa, considerato come limite minimo rappresentativo, da un punto di vista ingegneristico, delle resistenze a compressione misurate in direzione sub-parallela alla foliazione.

Si rammenta che entrambe le distribuzioni sono state ottenute escludendo dal campione i due punti sperimentali associati a valori di UCS compresi fra 80-90 MPa, considerando gli stessi rappresentativi degli inclusi calcarei (palombini) e non della matrice rocciosa degli argilloscisti. Si aggiunge che il limite inferiore di 10 MPa (prima distribuzione) è significativamente influenzato dal contributo di valori di resistenza nel range 3-7 MPa, valori riconducibili alla natura marcatamente anisotropa della matrice rocciosa, caratterizzata dalla foliazione intensa propria degli argilloscisti, con seguente riduzione della resistenza a compressione in condizioni di sollecitazione sub-parallela alla direzione prevalente della foliazione stessa. Si ricorda comunque che la rappresentatività del valor medio 10 MPa è confermata dai risultati delle prove di laboratorio (campagna di indagine del PD - 2004) caratterizzate dall'applicazione del carico in direzione parallela ai piani di scistosità, dalle quali si è ottenuto che la resistenza media a compressione si colloca sul medesimo valore dei 10 MPa.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5103ECVROGN15LX002A00 <table border="1" data-bbox="1356 224 1476 315"> <tr> <td>Foglio 34 di 104</td> </tr> </table>	Foglio 34 di 104
Foglio 34 di 104		

Secondo i criteri di classificazione dei gruppi geomeccanici, emessi in sede di analisi dell'attività di scavo dei cunicoli, il gruppo G1 è caratterizzato da una presenza di strati calcarei poco alterati e poco fratturati (palombini) che può superare il 50% fino a condizionare il comportamento generale dell'ammasso.

Dall'analisi completa dei dati di resistenza a compressione mono-assiale, è emerso che, su un campione complessivo di oltre 180 dati, circa 20 (pari al 10%) si collocano su valori superiori ai 35-40 MPa. Dall'esame delle prove a compressione eseguite in sede di progettazione esecutiva, è stato possibile associare tali valori di resistenza ad una componente calcarea molto compatta caratterizzante il provino testato, rappresentativa del palombino. E' ragionevole dunque ricondurre la gran parte di valori di resistenza superiori alla soglia dei 35-40 MPa agli inclusi calcarei caratterizzanti la formazione degli argilloscisti a palombini. Si riporta per completezza il grafico con distribuzione di frequenza delle UCS dal quale si riscontra una concentrazione di risultati sperimentali nel range 50-80 MPa, cui è possibile associare dunque il valore di resistenza media a compressione rappresentativo degli inclusi calcarei.



**Figura 5-6 Numerosità campione UCS in relazione a intervalli di 10 MPa
(campione aggregato PP+PD+PE)**

Considerando quindi una presenza di palombini pari al 50%, con resistenza a compressione di 50-70 MPa, ed un valore di resistenza della matrice nell'ordine dei 10 MPa (come detto rappresentativa dell'influenza della foliazione), si delinea una resistenza media nel range dei 30-40 MPa caratterizzante il comportamento generale dell'ammasso.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5103ECVROGN15LX002A00 Foglio 35 di 104

L'attribuzione del range di variabilità di UCS, per i gruppi geomeccanici G2 e G3, discende dall'affinità delle determinazioni ottenute dall'analisi dei sondaggi realizzati nelle campagne di PP, PD e PE e le risultanze associate allo scavo dei cunicoli esplorativi.

Si evidenzia, in merito al gruppo geo-meccanico G3, l'adozione del valore di 5 MPa quale limite inferiore del range di variazione. Come già dichiarato, tale valore è assunto quale minimo rappresentativo, da un punto di vista ingegneristico, delle resistenze a compressione misurate in direzione sub-parallela alla foliazione.

Con riferimento alla resistenza a trazione indiretta della matrice rocciosa, viste le caratteristiche delle distribuzioni di punti sperimentali discusse al 6.1.1 della presente relazione tecnica, si attribuiscono i range di variazione del parametro per i tre gruppi-geomeccanici, come elencato nella tabella che segue. Si evidenzia il carattere locale delle determinazioni, stante l'esiguità del campione sperimentale a disposizione, specie con riferimento ai gruppi G2 - G3.

Resistenza a trazione indiretta della matrice rocciosa	
aP-G1 -MPa	1.00 - 2.50
aP-G2 - MPa	0.50-1.00
aP-G3 - MPa	≅ 0.50

Tabella 5-5. Resistenza a trazione indiretta per i gruppi geomeccanici rappresentativi degli Argilloscisti Filladici.

L'attribuzione del parametro m_i di Hoek-Brown deriva altresì dall'analisi comparata delle determinazioni da sondaggi ed indagini in cunicolo, come espresso nella tabella qui di seguito. A fronte di un dato ben delineato per i gruppi G1 e G2 (peraltro confermato dalla letteratura) risulta evidente la discrepanza relativa alle determinazioni per il gruppo G3, peraltro condizionate dall'esiguità del campione a disposizione. Si è assunto pertanto un valore di m_i pari a 19, come da letteratura specifica, associando l'ammasso roccioso appartenente al gruppo geomeccanico 3 ad una breccia.

L'ammasso che ricade in questo gruppo, infatti, appartiene a zone particolarmente tettonizzate o alterate e mostra proprietà geomeccaniche molto scadenti. La foliazione è talmente intensa ed irregolarmente e fittamente spaziata che può non essere più riconoscibile (ammasso destrutturato con perdita di coesione).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5103ECVROGN15LX002A00 Foglio 36 di 104

Formazione	mi (Hoek-Brown)		
	cunicoli	sondaggi (PP+PD+PE)	PE
aP-G1	19	10 +- 2	15 - 20
aP-G2	16	20 + - 2	25 - 25
aP-G3	2	> 20	19

Tabella 5-6. Parametro mi di Hoek-Brown per i gruppi geomeccanici rappresentativi degli Argilloscisti Filladici.

Caratteristiche di deformabilità.

Gli intervalli di valori rappresentativi delle tre concentrazioni dei parametri di deformabilità della matrice rocciosa in funzione della fratturazione d'ammasso, mostrano la tipica estensione del range riconducibile all'anisotropia della matrice rocciosa caratterizzante gli argilloscisti, nonché alla presenza locale di inclusi calcarei cui attribuire i valori massimali di modulo raggiunti.

Nella tabella che segue si propone una sintesi dei parametri di deformabilità della matrice, attribuendo alle concentrazioni di cui al punto precedente la funzione di gruppo geo-meccanico, e definendo per il modulo elastico un limite superiore di significato ingegneristico.

Tale limite è determinato in funzione della percentuale di inclusi calcarei nella matrice argillitica, in misura variabile dal 50% al 30% (si veda descrizione dei Gruppi Geo-meccanici), pesando dunque il contributo dei palombini stessi sulla matrice argillitica, in termini di caratteristiche meccaniche di deformabilità (analogamente a quanto considerato per la valutazione dell'UCS).

Contestualmente è fornita la variazione del modulo elastico d'ammasso E_m , condotta secondo la relazione di Hoek-Diederichs (2006) e calcolata in condizioni indisturbate ($D=0$), associando i minimi ed i massimi del range GSI agli estremi dell'intervallo di E_i – modulo elastico della matrice.

Gruppo geo-meccanico	G1	G2	G3
	(MPa)	(MPa)	(MPa)
E_i min – matrice	3000	2000	1000
E_i max– inclusi calcarei	40000	25000	20000
% inclusi calcarei	50%	40%	30%
E_i max – matrice+inclusi calcarei	21500	11200	6700
E_m (Rock Mass): min - max	700-8700	250-2500	100-800

Tabella 5-7. : Parametri di deformabilità della matrice rocciosa e dell'ammasso in condizioni indisturbate rappresentativi dei tre gruppi geo-meccanici, da analisi aggregata sondaggi PP + PD + PE 1° lotto.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5103ECVROGN15LX002A00 Foglio 37 di 104

Da un primo esame dei moduli d'ammasso, appare evidente l'ampia variabilità degli stessi nell'ambito del medesimo gruppo geo-meccanico, effetto del processo di derivazione del valore del modulo, per mezzo dell'Ei (matrice) a sua volta condizionato dai modesti valori di resistenza a compressione associati alla marcata anisotropia della matrice.

Ai fini della valutazione finale del modulo d'ammasso, è significativo il confronto con i moduli d'ammasso derivanti dalle prove di laboratorio e dalle prove in situ eseguite nell'ambito dello scavo dei cunicoli Val Lemme e Castagnola.

Nel prospetto è data quindi evidenza delle valutazioni ingegneristiche condotte comparando le varie sorgenti di dati a disposizione, pervenendo al valore di progetto del modulo elastico d'ammasso per i tre gruppi geo-meccanici.

Formazione	Erm (rock mass) (MPa)			
	$E_{\text{unloading}}$ dilatometro media – (min – max)	Erm (TX-UCS-IDT)	sondaggi (PP+PD+PE)	PE
aP-G1	7900 (3100-20100)	4300-7700	700-8700	3000-7800
aP-G2	850 (280 – 1700)	1400-2500	250-2500	1000-2000
aP-G3	590 (280-1690)	730-1000	100-800	600-1200

Tabella 5-8. Parametri di deformabilità dell'ammasso, in condizioni indisturbato, rappresentativi dei tre gruppi geo-meccanici, da indagini in cunicolo, analisi aggregata sondaggi PP + PD + PE 1° lotto e determinazione valori di Progetto Esecutivo.

L'operazione di sintesi delle indagini condotte su più fronti è confluita essenzialmente nella soluzione così determinata, per ogni gruppo geo-meccanico:

- Limiti superiori degli intervalli di variazione del modulo dettati dalla buona affinità dei risultati desunti da fonti differenti e secondo approcci teorico/procedurali distinti;
- Limiti inferiori degli intervalli di variazione del modulo allineati con le determinazioni sperimentali caratterizzate da una maggiore rappresentatività delle reali condizioni in situ, ovvero con i risultati delle indagini in cunicolo. Questi risultano essere generalmente associati a valori superiori dei moduli elastici d'ammasso.

5.4.3. Parametri geomeccanici di calcolo

Si è scelto in fase di progettazione esecutiva di suddividere all'interno delle Argille a Palombini i gruppi geomeccanici 2 e 3 in due ulteriori sottogruppi così da ottenere una maggiore correlazione con quanto richiesto dall'applicabilità delle sezioni tipo.

Lo studio dei profili geotecnici e geologici dell'area escludono la presenza di zone di faglia nell'area in esame. Pertanto tutte le analisi verranno condotte nei gruppi geomeccanici 1 e 2 (2a e 2b).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5103ECVROGN15LX002A00 Foglio 38 di 104

Si riporta nel seguito il quadro di sintesi per la caratterizzazione geomeccanica dei 2 gruppi considerati nelle analisi, con ulteriore partizione del gruppo G2 a vantaggio della versatilità della classificazione rispetto alle esigenze progettuali e costruttive;

Formazione	γ	ν	E_{op}	σ_c	m_i	GSI
	[kN/m ³]	[-]	[GPa]	[MPa]	[-]	[-]
GR1	27	0,25-0,30	3.0÷7.8	30÷40	15÷20	45÷55
GR2a	27	0,25-0,30	1.5÷2.0	10÷12	20÷25	40÷45
GR2b	27	0,25-0,30	1.0÷1.5		15÷20	35÷40

Tabella 5-9. Quadro di sintesi di caratterizzazione geomeccanica per i 2 gruppi geomeccanici

Si sono definiti quindi i parametri geotecnici/geomeccanici di calcolo propri di ogni gruppo geomeccanico individuato. Si evidenzia a tal proposito che i parametri geomeccanici di cui alla tabella precedente sono stati elaborati sulla base dati disponibile, riferita essenzialmente a campionamenti e prove in situ condotte entro i 400 m di copertura. In considerazione delle alte coperture in corrispondenza del Camerone d'innesto, non direttamente investigate dalle Campagne di Indagini Geognostiche ad oggi condotte, si assumono quali parametri di calcolo, per i gruppi geomeccanici Gr2a/b gli estremi superiori degli intervalli individuati per modulo elastico operativo, resistenza a compressione uni-assiale e GSI, coerentemente con la ragionevole aspettativa di pervenire a condizioni d'ammasso sensibilmente migliori a profondità dell'ordine dei 600 m.

I suddetti parametri di calcolo, determinati in condizioni di picco ed in condizioni residue ($D=0.3$) sono presentati nella tabella che segue.

Argille a Palombini - Parametri di calcolo (Modello Hoek-Brown)											
Formazione	γ	ν	E_{op}	σ_c	m_i	GSI	a	m_{bp}	s_p	m_{br}	s_r
	[kN/m ³]	[-]	[GPa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
GR1	27	0.3	5,4	35	17,5	50	0.506	2.934	0.0039	2.141	0.0021
GR2a	27	0.3	2,0	12	20	45	0.508	2.805	0.0022	1.983	0.0011
GR2b	27	0.3	1,5	12	17,5	40	0.511	2.053	0.0013	1.407	0.0006

Tabella 5-10. Argille a Palombini: parametri di resistenza secondo il Criterio di Rottura Hoek-Brown

Definiti i parametri per la caratterizzazione dell'ammasso secondo il criterio di rottura di Hoek - Brown, è possibile "linearizzare" la curva trovata e ricondursi al modello di Mohr-Coulomb, determinando l'equivalente angolo di attrito e coesione efficace.

In particolare le linearizzazioni per i parametri di resistenza secondo il modello di Mohr-Coulomb sono state effettuate assumendo il range 5.0 – 5.5 MPa quale intervallo di tensioni principali minime (σ_3), rappresentativo delle tensioni orizzontali medie attorno al cavo, posto alle profondità relative all'opera in oggetto ($\cong 600$ m), a seguito del rilascio tensionale indotto dall'apertura dello stesso.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5103ECVROGN15LX002A00 Foglio 39 di 104

Argille a Palombini - Parametri di calcolo (Linearizzazione Modello Mohr-Coulomb)								
Formazione	Profondità	ϕ_p	ϕ_r	c_p	c_r	γ	ν	E_{op}
	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN/m ³]	[-]	[MPa]
GR1	600	39 (36)	36 (32)	1500	1350	27	0.3	5400
GR2a	600	30	27	1000	900	27	0.3	2000
GR2b	600	28	25	850	750	27	0.3	1500

Tabella 5-11. Argille a Palombini: Parametri di Resistenza Criterio di Rottura Mohr-Coulomb (da linearizzazione Involuppo di Rottura Hoek-Brown)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00 <table border="1" data-bbox="1369 232 1476 315"> <tr> <td>Foglio 40 di 104</td> </tr> </table>	Foglio 40 di 104
Foglio 40 di 104		

6. PREVISIONI SUL COMPORTAMENTO DEGLI AMMASSI ALLO SCAVO (FASE DI DIAGNOSI)

L'apertura di una cavità in un materiale caratterizzato da un campo di tensioni naturali preesistente indisturbato, dovuto essenzialmente a carichi litostatici e a sforzi tettonici, porta ad una generale ridistribuzione degli sforzi, sia in direzione trasversale che longitudinale, con conseguente incremento delle tensioni al contorno della galleria e già oltre il fronte di scavo.

Si genera così un nuovo campo tensionale che tende a far evolvere l'ammasso intorno al cavo verso una nuova situazione di equilibrio diversa da quella naturale, dando luogo a fenomeni deformativi.

Sulla base delle conoscenze dei terreni interessati dalle gallerie, è possibile, elaborando anche le esperienze maturate in lavori analoghi, svolgere delle previsioni sul comportamento dei terreni allo scavo, necessarie alla definizione degli interventi di stabilizzazione e degli schemi di avanzamento.

Queste previsioni sono strettamente connesse con lo studio dello stato tenso-deformativo instauratosi nell'ammasso al contorno della galleria e indotto dalle operazioni di scavo.

La previsione delle modalità di avanzamento in sotterraneo è stata principalmente condotta secondo l'approccio del "Metodo per l'Analisi delle Deformazioni Controllate nelle Rocce e nei Suoli (ADECO-RS)". Sulla base dei dati raccolti in fase di studio geologico e di caratterizzazione geomeccanica degli ammassi da attraversare, sono state effettuate le previsioni di comportamento tenso-deformativo della galleria in assenza di interventi, ed in particolare modo la previsione sul "comportamento deformativo del fronte di scavo", il quale riveste notevole importanza nella definizione delle condizioni di stabilità, a breve e lungo termine, e degli interventi più idonei per garantirle. Il comportamento del fronte è principalmente condizionato da:

- le caratteristiche di resistenza e deformabilità dell'ammasso connesse con le varie strutture geologiche che interessano le gallerie;
- il comportamento del materiale nel breve e lungo termine: rigonfiamento, squeezing, fluage e rilasci tensionali;
- i carichi litostatici corrispondenti alle coperture in gioco;
- la forma e le dimensioni della sezione di scavo;
- lo schema di avanzamento e la tipologia dello scavo.

Il comportamento del fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente di tre tipi: "stabile", "stabile a breve termine" e "instabile", come di seguito brevemente illustrato.

Gallerie a fronte stabile (CASO A)

Se il fronte di scavo è stabile, ciò significa che lo stato tensionale al contorno della cavità in prossimità del fronte si mantiene in campo prevalentemente elastico e i fenomeni deformativi

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5103ECVROGN15LX002A00 <table border="1" data-bbox="1369 230 1474 315"> <tr> <td>Foglio 41 di 104</td> </tr> </table>	Foglio 41 di 104
Foglio 41 di 104		

osservabili sono di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente. In questo caso anche il comportamento del cavo sarà stabile (rimanendo prevalentemente in campo elastico) e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di consolidamento. Saranno sufficienti, nel breve termine, interventi di confinamento delle pareti di scavo, e nel lungo termine, la realizzazione del rivestimento definitivo.

Gallerie a fronte stabile a breve termine (CASO B)

Questa condizione si verifica quando lo stato tensionale indotto dall'apertura della cavità supera le caratteristiche di resistenza meccanica del materiale al fronte, che assume un comportamento di tipo elasto-plastico. I fenomeni deformativi connessi con tale redistribuzione delle tensioni sono più accentuati che nel caso precedente e producono nell'ammasso roccioso al fronte una decompressione che porta ad una riduzione della resistenza interna. Questa decompressione deve essere opportunamente regimata, nel breve termine, mediante adeguati interventi di preconsolidamento al fronte (e talora al contorno del cavo), in grado di contenere l'ammasso e condurlo verso condizioni di stabilità; diversamente lo stato tenso-deformativo può evolvere verso condizioni di instabilità del cavo. Il rivestimento definitivo costituirà il margine di sicurezza a lungo termine.

Gallerie a fronte instabile (CASO C)

L'instabilità progressiva del fronte di scavo è attribuibile ad una accentuazione dei fenomeni deformativi nel campo plastico, che risultano immediati, più rilevanti e si manifestano prima ancora che avvenga lo scavo, oltre il fronte stesso. Di conseguenza tali deformazioni producono una decompressione più spinta nell'ammasso roccioso al fronte e portano ad un decadimento rapido e progressivo delle caratteristiche meccaniche d'ammasso. Questo tipo di decompressione più accentuata deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo e richiede pertanto interventi di preconsolidamento sistematici in avanzamento che consentiranno di creare artificialmente quell'effetto arco capace di far evolvere la situazione verso configurazioni di equilibrio stabile nel breve termine e, con l'aggiunta del rivestimento definitivo, anche nel lungo termine.

6.1. Calcolo e determinazione delle categorie di comportamento allo scavo

Nella Relazione Geotecnica e di Calcolo dell'Innesto è stato determinato il comportamento dell'ammasso allo scavo per le suddivisioni operate sui litotipi precedentemente esaminati, considerando un unico ricoprimento e la variabilità della sezione di scavo.

Nella fase di diagnosi, sulla base degli elementi raccolti nella fase conoscitiva, vengono sviluppate le previsioni sul comportamento deformativo del fronte e del cavo in assenza di interventi, al fine di giungere all'individuazione di tratte a comportamento omogeneo, suddivise nelle tre categorie di comportamento precedentemente descritte.

In fase di terapia, in cui sono stati definiti gli interventi necessari per l'avanzamento nelle diverse classi di comportamento, ad una stessa classe di comportamento possono corrispondere diverse sezioni tipo, adeguate alle caratteristiche geologiche e fisiche di ogni formazione.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5103ECVROGN15LX002A00</p>	<p>Foglio 42 di 104</p>

Gli strumenti numerici adottati per la determinazione del comportamento dell'ammasso allo scavo sono stati:

- Analisi di stabilità del fronte (metodi di analisi empirici in forma chiusa);
- Metodo delle Linee Caratteristiche.
- Analisi agli elementi finiti 2D e 3D

Si rimanda alla Relazione Geotecnica e di Calcolo - Camerone di innesto Finestra Castagnola - IG5102ECVROGN15LX001A00 per la completa definizione delle fasi di diagnosi e terapia e per i risultati in termini numerici delle analisi effettuate per l'opera in esame.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 43 di 104

7. LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO

Come ampiamente illustrato nei precedenti capitoli, il progetto dell'innesto è stato sviluppato attraverso:

- la caratterizzazione degli ammassi presenti lungo il tracciato, per mezzo dell'individuazione delle caratteristiche geologiche, litologiche, idrogeologiche e geomeccaniche (fase conoscitiva);
- la previsione di comportamento dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi e la suddivisione del tracciato in sotterraneo in tratte a comportamento geomeccanico omogeneo in funzione dello stato tensionale agente e delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso (fase di diagnosi);
- l'individuazione, per ciascuna tratta definita omogenea, delle sezioni tipo prevalenti (quelle che appaiono in percentuale maggiore sui profili geomeccanici delle gallerie naturali) ed eventualmente di altre sezioni, subordinate alle precedenti, per situazioni diverse da quelle ricorrenti lungo la tratta, ma previste in progetto quali ad esempio: zone di faglia, zone di intensa fratturazione, elevata variabilità dei parametri geomeccanici, tratte a bassa copertura, morfologie particolari, condizioni idrogeologiche particolarmente critiche, possibili interferenze con le preesistenze di superficie (fase di terapia).

Le sezioni tipo prevalenti sono state verificate staticamente in varie condizioni tensionali e considerando parametri geomeccanici rappresentativi all'interno del "range" di valori indicati sui profili geologico-tecnici e geomeccanici per la tratta in esame. Da qui si è potuto dedurre, nell'ambito della sezione tipo prevista, l'applicazione delle variabilità previste per la sezione tipo stessa.

Come previsto dal progetto, le gallerie sono classificate in funzione del comportamento del cavo, con riferimento anche al fronte di scavo, distinguendo tre casi (categorie di comportamento):

- caso A, galleria a fronte e cavità stabili, caratterizzata da fenomeni deformativi che evolvono in campo elastico, immediati e di entità trascurabile;
- caso B, galleria a fronte stabile a breve termine e cavità instabile, caratterizzata da fenomeni di tipo elastico presso il fronte di scavo, che evolvono in campo elasto-plastico con l'avanzamento del fronte;
- caso C, galleria a fronte e cavità instabili, caratterizzata da fenomeni deformativi di tipo plastico fino al collasso che coinvolgono anche il fronte di scavo.

Con le presenti "linee guida" s'intende creare uno strumento che definisce quali saranno i criteri che il progettista adotterà in corso d'opera per:

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5103ECVROGN15LX002A00</p>	<p>Foglio 44 di 104</p>

1. confermare la sezione tipo più adeguata, tra quelle già previste in una determinata tratta e riportate in chiaro sugli elaborati “profili geomeccanici”;
2. variare quegli interventi che, senza modificare strutturalmente le caratteristiche finali dell’opera, devono adeguarsi alle reali condizioni geomeccaniche riscontrate al fronte di avanzamento, nonché al comportamento estrusivo del fronte stesso e deformativo del cavo (questi ultimi come noto sono dipendenti sia dalla natura dell’ammasso in termini geologici, geomeccanici ed idrogeologici, sia dagli stati tensionali preesistenti, così come da quelli conseguenti alle operazioni di scavo);
3. individuare una diversa sezione tipo, tra quelle previste in quella tratta o comunque previste in progetto nella stessa formazione, qualora le condizioni realmente riscontrate risultino difformi da quelle ipotizzate.

Per la gestione di tali “linee guida” sarà necessaria la conoscenza dei seguenti elementi e la messa in atto delle seguenti attività sistematiche:

- formazione geologica e coperture in esame;
- raccolta dei dati geologici e geomeccanici rilevabili al fronte che consentono una completa caratterizzazione dell’ammasso in esame, evidenziandone l’intrinseca complessità, caratteristica delle formazioni. Oltre i parametri di resistenza e deformabilità tale caratterizzazione deve contenere, quindi, anche informazioni geostrutturali e di carattere qualitativo, necessarie a completarne la descrizione ai fini progettuali e di comprensione del reale comportamento dell’ammasso allo scavo;
- raccolta dei dati riguardanti le deformazioni superficiali e profonde del fronte (estrusioni) e al contorno del cavo (convergenze) durante l’avanzamento, che consente di valutare in particolare come l’ammasso descritto precedentemente, sottoposto ai reali stati tensionali, si comporta all’azione combinata delle operazioni di scavo e di messa in opera degli interventi di stabilizzazione previsti dalla sezione tipo adottata;
- registrazione di tutte le reali fasi di avanzamento quali ad esempio: distanza dal fronte di messa in opera dei rivestimenti e la successione delle fasi di consolidamento etc. attraverso osservazioni dirette;
- raccolta dei dati relativi a sezioni di monitoraggio esterne (ad esempio nel sottoattraversamento di edifici).

Nelle presenti linee guida sono descritti alcuni parametri essenziali, riscontrabili al fronte, caratterizzanti l’ammasso per i comportamenti A,B,C.

Per ogni sezione tipo sono state definite delle soglie di “attenzione” ed “allarme” inerenti alle deformazioni del fronte e del cavo, a cui far corrispondere quantità maggiori o minori di interventi (previsti variabili) o il cambio di sezione tipo.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 45 di 104

E' evidente che tali valori di deformazione ipotizzati non vanno intesi come l'unica informazione che possa incidere sulle scelte già adottate per una determinata tratta, in quanto le scelte progettuali sono state fatte tenendo conto di un complesso di elementi più significativi del solo parametro deformativo ed illustrati nello sviluppo di tutto il progetto; essi servono soltanto a fornire indicazioni sul campo dei valori deformativi più probabili per le sezioni già indicate in progetto.

Solo quando saranno osservate situazioni geologiche/geomeccaniche sensibilmente differenti da quelle ipotizzate e deformazioni al di fuori dei campi previsti o non tendenti alla stabilizzazione nel tempo o valori deformativi (entità e/o direzione) anomali, il progettista potrà adottare una sezione diversa da quella prevista, attingendo tra quelle indicate nella tratta in esame sui profili geomeccanici del Progetto Esecutivo.

Qualora si verifichi il solo superamento della soglia di attenzione, senza il superamento della soglia di allarme, si potranno allora modificare gli interventi di precontenimento e contenimento della sezione tipo prevista in progetto, secondo quanto riportato nella "variabilità sezione tipo" tenendo peraltro conto anche di tutte le altre informazioni derivanti dallo scavo.

La variabilità è anche legata agli stati tensionali, ovvero alle coperture ed alla presenza d'acqua; la stessa sezione tipo, a coperture e/o parametri geomeccanici diversi, potrà avere un'intensità d'interventi di contenimento e pre-contenimento differenziati.

Si sottolinea inoltre che la variabilità risulta anche legata alle misure delle sezioni di monitoraggio esterne, i valori di subsidenza misurati sul piano campagna potranno portare ad una modifica degli interventi di consolidamento.

Qualora il contesto riscontrato non corrisponda a nessuno di quelli ipotizzati nella tratta in esame, e di conseguenza nessuna delle sezioni previste possa essere applicata, ma tuttavia tale contesto sia analogo ad altri presenti lungo il tracciato e descritti nei profili geomeccanici del Progetto Esecutivo, il progettista individuerà attraverso i medesimi strumenti citati precedentemente, una diversa sezione tipo tra quelle già presenti nel Progetto Esecutivo ed applicate in altre gallerie.

Il caso in cui la situazione riscontrata sia del tutto imprevista e non vi siano analogie possibili lungo il tracciato esula dalle presenti linee guida; in tal caso, potranno essere applicate sezioni tipo non previste dal presente progetto, la cui tipologia dovrà essere concordata con l' ENTE APPALTANTE.

7.1. Definizione delle caratteristiche geologiche-geomeccaniche dell'ammasso

Gli ammassi rocciosi e i terreni incontrati lungo il tracciato sono descritti sulla base delle caratteristiche geologiche e geomeccaniche individuate in progetto.

Per comodità di rappresentazione gli ammassi incontrati lungo il tracciato sono raggruppati in "gruppi geomeccanici". Ciò è legato alla variabilità delle caratteristiche di resistenza e deformabilità di alcune formazioni geologiche. Tale variabilità può essere legata alla stessa natura geologica (cicli di deposizione/erosione) alle coperture in esame, alla presenza o meno di acqua, alla vicinanza di altre formazioni geologiche. In linea generale, l'ammasso interessato da uno scavo in sotterraneo può comportarsi in modo differente anche alle stesse coperture in esame. Da qui nasce la necessità di suddividere in gruppi i parametri geotecnici/geomeccanici, ove possibile e/o significativo. Ciò

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 46 di 104

consente di ipotizzare un susseguirsi discontinuo di comportamento allo scavo legato ad una serie di fattori difficilmente correlabili tra loro.

A ciascuna formazione sono stati attribuiti, in sede di progetto, campi di variazione dei principali parametri geomeccanici (quali ad es. c' , φ' , E'); tali campi tengono conto sia delle diverse configurazioni che una formazione può presentare nell'ambito dello stesso gruppo che delle coperture in esame.

Tali campi di variazione individuano così una "fascia intrinseca", compresa tra la curva di resistenza inferiore e la curva di resistenza superiore, che definisce univocamente ciascuna porzione di ammasso da un punto di vista geomeccanico.

Nel corso dei lavori, gli ammassi rocciosi e i terreni verranno descritti sulla base delle caratteristiche litologiche, geostrutturali, geomeccaniche e idrogeologiche che si evidenziano sul fronte alla scala della galleria, attraverso rilievi analitici (con prove in situ e/o di laboratorio) e rilievi speditivi.

In particolare, per la parametrizzazione dell'ammasso al fronte e cioè per la definizione della sua curva intrinseca, non si farà ricorso a nessun tipo di classificazione, ma a valutazioni dirette attraverso determinazioni sperimentali (prove in situ e/o laboratorio) durante i rilievi analitici.

Tali rilievi vengono condotti secondo le frequenze previste dal programma di monitoraggio, impiegando un'apposita scheda su cui riportare i dati rilevati e gli indici valutati secondo le prescrizioni ISRM, International Society of Rock Mechanics. In particolare, si distinguono due tipi di rilievi:

- a) rilievi analitici che prevedono la compilazione completa della scheda citata e l'eventuale esecuzione di prove e determinazioni in situ e/o di laboratorio. Tali rilievi sono previsti agli imbocchi, in concomitanza dei passaggi stratigrafici e tettonici significativi e comunque secondo le frequenze indicate dal programma di monitoraggio;
- b) rilievi speditivi, che prevedono in particolare il rilievo pittorico del fronte di scavo. Si tratta di un rilievo di tipo qualitativo e di confronto con quello analitico dell'ammasso in esame, che consente comunque al progettista di valutarne le caratteristiche principali.

I rilievi che sono svolti in corso d'opera consentono, in generale, di evidenziare qualitativamente le diverse situazioni in cui una formazione può presentarsi nell'ambito di uno stesso gruppo, definito dalla propria fascia intrinseca, come descritto, a titolo esemplificativo, nei punti seguenti:

- un ammasso che si presenta detensionato, evidenzierà valori dei parametri geomeccanici del relativo gruppo prossimi alla curva intrinseca inferiore;
- un ammasso che al contrario si presenta competente, evidenzierà valori dei parametri geomeccanici prossimi alla curva intrinseca superiore;
- la presenza di acqua, anche sotto forma di stillicidi, soprattutto in presenza di litologie ricche di minerali argillosi, comportano valori dei parametri geomeccanici più prossimi alla curva intrinseca inferiore;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5103ECVROGN15LX002A00 <table border="1" data-bbox="1369 230 1476 315"> <tr> <td>Foglio 47 di 104</td> </tr> </table>	Foglio 47 di 104
Foglio 47 di 104		

- nei terreni eterogenei, il rapporto tra i litotipi più granulari e più fini determina il rapporto tra i valori di angolo d'attrito e coesione, e quindi diversi andamenti della curva intrinseca;
- in un ammasso stratificato sollecitato in campo elastico, una sfavorevole anisotropia strutturale gioca un ruolo determinante, comportando valori dei parametri geomeccanici più prossimi alla curva intrinseca inferiore;
- al contrario in un ammasso stratificato con stati tensionali più elevati che lo sollecitano in campo elasto-plastico, l'effetto di una sfavorevole anisotropia strutturale è inferiore e il comportamento può essere meglio rapportato a un mezzo omogeneo.

7.2. Risposta deformativa del fronte e del cavo

La risposta deformativa del fronte e del cavo rilevabile in corso d'opera, unitamente ai rilievi anzidetti, ha lo scopo di verificare la validità delle sezioni adottate e previste in progetto in termini di:

- tipologia ed intensità degli interventi di 1^a fase
- fasi esecutive e cadenze di avanzamento

Essa dipende dalle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso in rapporto agli stati tensionali indotti all'atto dello scavo; il Progetto Definitivo fornisce indicazioni sul campo dei valori di convergenza diametrale e di estrusione attesi per ogni sezione tipo.

Tali valori, riferiti al diametro e riportati nel progetto, effettivamente misurabili in corso d'opera sono dati da:

$$\delta = \delta_f - \delta_o$$

dove:

δ_o = deformazione iniziale al fronte e non misurabile in galleria

δ_f = deformazione finale lontano dal fronte, a distanze tipicamente superiori a $2 \varnothing$ o da definirsi sulla base delle esperienze e dati raccolti

La frequenza con cui procedere al rilievo della risposta deformativa del fronte e del cavo durante gli avanzamenti è indicata nel progetto del monitoraggio e nei profili geomeccanici.

Nel corso dei lavori il rilievo della risposta deformativa del fronte e del cavo viene condotto utilizzando delle apposite schede all'interno delle quali è possibile leggere la risposta deformativa in funzione della distanza del fronte e dei rivestimenti.

Le risultanze di questi rilievi forniscono la reale risposta deformativa del fronte e del cavo. Tale risposta consente di valutare come quei fattori difficilmente schematizzabili e prevedibili a priori, sempre presenti in natura, agiscono sul comportamento del cavo, previsto teoricamente nel progetto.

Tali rilievi consentiranno di verificare qualitativamente lo stato tensionale agente sul cavo mediante la ricostruzione della deformata:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5103ECVROGN15LX002A00 <table border="1" data-bbox="1369 230 1476 315"> <tr> <td>Foglio 48 di 104</td> </tr> </table>	Foglio 48 di 104
Foglio 48 di 104		

- valori delle deformazioni radiali omogenei nei punti rilevati evidenziano uno stato tensionale di tipo isotropo ($K \approx 1$);
- valori delle deformazioni radiali diversi nei punti rilevati evidenziano stati tensionali diversi da quello isotropo ($K \neq 1$), che si verificano in corrispondenza di:
 - a) zone fortemente tettonizzate ed in presenza di lineamenti tettonici, per cui gli stati tensionali possono subire forti alterazioni, con orientazioni comuni alle azioni tettoniche principali;
 - b) in corrispondenza di zone corticali e/o parietali, in cui gli stati tensionali sono funzione della morfologia dell'area;
 - c) all'interno di ammassi a struttura caotica, per cui gli stati tensionali possono subire repentine e continue modificazioni in intensità e orientazione;
 - d) qualora il fronte di scavo si presenti "parzializzato" ovvero siano presenti due formazioni di diversa natura e comportamento;
 - e) in presenza di stratificazioni e comunque per coperture confrontabili con il diametro della galleria.

7.3. Fasi esecutive e cadenze di avanzamento

Il progetto definisce per ogni sezione le fasi esecutive e le cadenze di avanzamento, fornendo in particolare le distanze massime dal fronte di avanzamento entro cui porre in opera gli interventi di contenimento di prima e seconda fase (rivestimento di 1a fase, arco rovescio e rivestimento definitivo).

Come accennato, nel corso dei lavori il rilievo delle fasi esecutive e delle cadenze di avanzamento viene condotto secondo particolari schede riportanti ogni dettaglio esecutivo. Ciò al fine di correlare l'andamento delle deformazioni con le fasi lavorative.

Le risultanze di tali rilievi hanno lo scopo di fornire gli elementi necessari per valutare l'influenza delle fasi e delle cadenze di avanzamento sulla risposta deformativa del fronte e del cavo descritta nel paragrafo precedente (ad esempio una più efficace regimazione dei fenomeni deformativi può essere ottenuta rinforzando gli interventi di preconsolidamento al fronte o in alcuni casi avvicinando gli interventi di contenimento quali murette e arco rovescio al fronte).

7.4. Procedura di applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità

Il progetto, attraverso la caratterizzazione degli ammassi presenti lungo il tracciato e la successiva fase di previsione di comportamento dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi ha definito le tratte a comportamento geomeccanico omogeneo, attribuendone la relativa categoria di comportamento (A,B,C).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 49 di 104

All'interno di ciascuna tratta, in sede di progetto, sono state definite nel profilo geomeccanico le sezioni tipo e le relative percentuali di applicazione, in funzione delle caratteristiche geologiche dell'ammasso in esame e del grado di instabilità del fronte di avanzamento.

Una volta verificata la rispondenza con le ipotesi di progetto, riguardo alla situazione geologico-geomeccanica e gli stati tensionali con i criteri descritti nei paragrafi precedenti, si procede alla scelta e all'applicazione della sezione tipo prevista per la tratta in esame.

Durante gli avanzamenti verranno raccolti i dati, secondo i criteri indicati nei paragrafi precedenti, riguardo alle condizioni geologiche e geomeccaniche al fronte di avanzamento, la risposta deformativa del fronte e del cavo, le fasi e le cadenze di avanzamento; la loro elaborazione consentirà di confrontare la situazione così riscontrata con quella di progetto e procedere di conseguenza alla gestione del progetto secondo i punti di seguito indicati.

1. Se le condizioni geologiche e geomeccaniche rilevabili al fronte e la risposta deformativa si mantengono all'interno dei valori previsti, si prosegue con l'applicazione della sezione in corso di esecuzione.
2. Se la risposta deformativa manifesta la tendenza a miglioramento o, viceversa al raggiungimento della soglia di attenzione del campo ipotizzato, tendenza confermata dall'evidenza dei precedenti rilievi geologici/geotecnici/geomeccanici, il progettista definirà se procedere alla modifica della distanza dal fronte entro cui eseguire il getto dell'arco rovescio, delle murette, del rivestimento definitivo e/o alla modifica dell'intensità degli interventi, nell'ambito dei range di variabilità previsti per la sezione adottata.
3. Se le condizioni geologiche e geomeccaniche rilevate al fronte di avanzamento manifestano un miglioramento ovvero un peggioramento rispetto al rilievo precedente (pur rimanendo nell'ambito dei parametri caratterizzanti la tratta) il progettista, valuta la possibilità di procedere alla modifica dell'intensità degli interventi nell'ambito dei ranges di variabilità previsti per quella sezione e di seguito descritti, anche con modeste variazioni dei parametri deformativi (ad esempio in categoria di comportamento B la struttura dell'ammasso gioca un ruolo determinante ai fini della definizione dell'intensità degli interventi di 1a fase, anche a fronte di deformazioni trascurabili).

I valori e le misure registrate in corso d'opera dovranno essere interpretate globalmente, osservando il loro andamento; eventuali oscillazioni anomale delle misure, attribuibili ad un malfunzionamento o ad un incorretto posizionamento dello strumento di misura, dovranno essere escluse.

Nell'ambito di una stessa tratta a comportamento geomeccanico "omogeneo" possono essere presenti diverse sezioni tipo, oltre a quella prevalente la cui percentuale di applicazione è definita in progetto in funzione di:

- caratteristiche geologiche e geostrukturali dell'ammasso,

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 50 di 104

- caratteristiche geomeccaniche e idrogeologiche dell'ammasso,
- stato tensionale agente,
- possibili disturbi di natura tettonica

Quando le situazioni geologiche/geomeccaniche osservate risultano sensibilmente differenti da quelle ipotizzate e le deformazioni sono al di fuori dei campi previsti, si procede al passaggio ad una diversa sezione tipo, tra quelle previste in progetto per quella tratta.

Qualora la situazione riscontrata non corrisponda a nessuna di quelle ipotizzate nella tratta in esame, e di conseguenza nessuna delle sezioni tipo previste possa essere adottata, ma tuttavia tale situazione sia analoga ad altre ipotizzate lungo il tracciato, si procederà all'adozione di una diversa sezione tipo, non prevista in quella tratta, ma già prevista in progetto in altre gallerie in contesti analoghi.

Nel passaggio da una sezione ad un'altra con differenti limitazioni esecutive si procederà con l'adeguamento, in maniera graduale, per quanto possibile, in modo da evitare la perdita della continuità operativa del cantiere. In questa ottica, nell'ambito del progetto costruttivo si adotteranno quei criteri di flessibilità esecutiva che consentano la massima velocità di avanzamento e quindi tali da ridurre al minimo lo sviluppo reologico temporale del processo di detensionamento e rilassamento dell'ammasso al contorno e sul fronte.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5103ECVROGN15LX002A00 Foglio 51 di 104

8. DESCRIZIONE DELLE FASI ESECUTIVE E DELLE SEZIONI TIPO DI SCAVO

8.1. Introduzione

Come riportato al §1, la relazione è valida per tutto il camerone di innesto, senza distinzione tra le due WBS in cui è diviso. Per chiarezza, in riferimento alle seguenti figure

- Figura 1-1. Pianta del camerone di innesto: binario dispari, WBS GN15L
- Figura 1-2. Pianta del camerone di innesto: binario pari, WBS GN14L
- Figura 4-1. Sezione di raccordo
- Figura 4-2. Sezione corrente
- Figura 4-3. Sezione d'innesto
- Figura 4-4. Planimetria binario pari
- Figura 4-5. Planimetria binario dispari
- Figura 8-1. Pianta del camerone di innesto e campi di avanzamento

si riporta la distinzione dei campi di avanzamento dell'innesto relativamente alle WBS di appartenenza nella tabella sottostante.

WBS	CAMPO	SEZIONE
GN15L (bin. Dispari)	1D	raccordo
	2D	corrente
	3D	corrente
	4D	innesto galleria
	5D	corrente
	6D	allargo galleria
GN14L (bin. Pari)	1P	corrente
	2P	innesto galleria
	3P	corrente
	4P	allargo galleria

Tabella 8-1. WBS e relativi campi di avanzamento

Si riportano nei seguenti paragrafi le fasi esecutive dell'opera e le descrizioni delle sezioni tipo adottate, in funzione dei rispettivi campi di avanzamento e dell'analisi del richio.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 52 di 104

8.2. Fasi esecutive

Si riportano di seguito, in riferimento alla Figura 8-1, le principali fasi esecutive dell'innesto previsto tra la Finestra Castagnola e la galleria di Valico, per la cui descrizione dettagliata si rimanda alla relativa tavola.

Fase iniziale: inizio scavo alla progressiva finale della finestra d'accesso (inizio innesto pr 2474.962) del campo di raccordo (1D) e dei campi fino alla sezione di allargò (2D e 3D). Il getto di murette e arco rovescio dovrà essere realizzato fino alla sezione di inizio innesto, il rivestimento definitivo deve avere una distanza massima di 6 diametri.

Fase di scavo innesti: scavo in allargò dell'innesto 1 (binario dispari, campi 4D), scavo di avanzamento in sezione corrente (campi 5D e 1P) e scavo in allargò dell'innesto 2 (binario pari, campi 2P). Il getto di murette e arco rovescio segue l'avanzamento dello scavo, con distanze relative alla sezione tipologica di progetto, fino ad arrivare all'inizio del primo innesto e viene completato il rivestimento definitivo della finestra e del raccordo.

Fase di fine scavo camerone innesto: scavo in sezione corrente fino alla fine dell'innesto (pr 2575.969, campo 3P). Il getto di murette e arco rovescio è realizzato fino alla fine del secondo innesto, il rivestimento definitivo deve raggiungere il campo 5D, prevedendo gli opportuni risparmi nella sezione d'innesto e nei campi 2D e 3D per la futura realizzazione della nicchia MATS. Si comincia il consolidamento dei fronti di scavo della linea al binario dispari a partire dall'innesto 1.

Fase di scavo di linea binario dispari: a partire dall'innesto 1 si esegue lo scavo di innesto della galleria di linea dispari in entrambe le direzioni (sezione di allargò, campo 6D), alternando fasi di scavo a fasi di consolidamento sui due fronti. Si completa la realizzazione di murette e arco rovescio del camerone e in seguito del rivestimento definitivo con opportuni risparmi nei campi 2P dell'innesto 2. Si comincia il consolidamento dei fronti di scavo della linea al binario pari.

Fase di scavo di linea binario pari: a partire dall'innesto 2 si esegue lo scavo di innesto della galleria di linea pari in entrambe le direzioni (sezione di allargò, campo 5P), alternando fasi di scavo a fasi di consolidamento sui due fronti. Si procede alla realizzazione di murette, arco rovescio e calotta nelle sezioni di allargò della linea dispari e inizia lo scavo della linea al binario dispari fino ad una distanza dall'innesto di 6 diametri.

Fase finale: prosegue lo scavo della galleria di linea binario dispari e inizia lo scavo della galleria di linea binario pari, mantenendo la distanza minima tra i due fronti di scavo adiacenti pari a 4÷6 diametri in funzione dei risultati di monitoraggio tensionale e deformativo. Si completa il getto dei rivestimenti del camerone compresi i campi di innesto delle gallerie e si cominciano i getti in entrambi i binari, mantenendo le distanze di getto previste dal progetto.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5103ECVROGN15LX002A00 Foglio 53 di 104

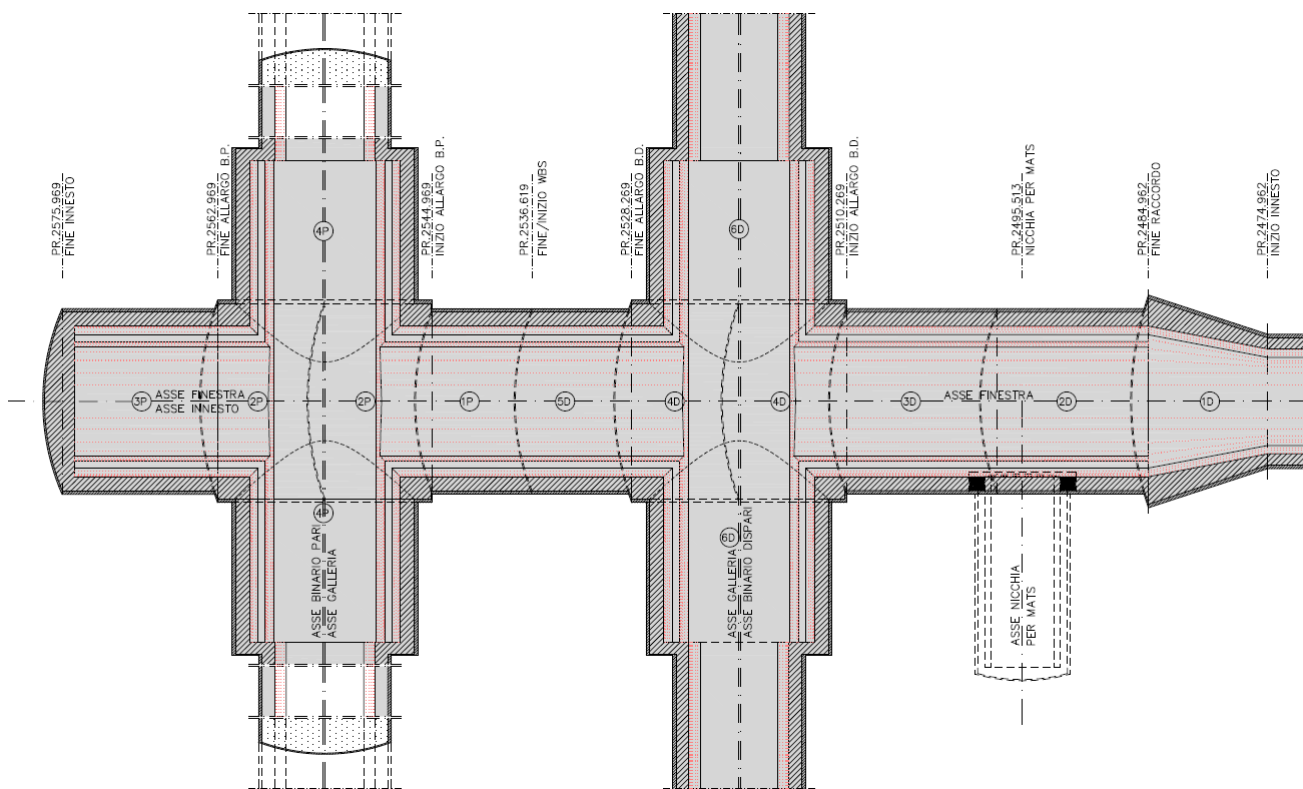


Figura 8-1. Pianta del camerone di innesto e campi di avanzamento

8.3. Analisi del Rischio

I profili geologico – geomeccanici longitudinali di previsione individuano una serie di rischi intraformazionali dell’ammasso per lo scavo delle gallerie, con conseguenze sulla scelta, dapprima della metodologia di scavo, meccanizzato o in tradizionale, quindi sulla tipologia degli interventi e dei sostegni da porre in opera in fase di scavo ed in definitiva sul dimensionamento del rivestimento definitivo.

Considerando le litologie presenti, le condizioni geostrutturali, le condizioni idrauliche, il possibile comportamento dell’ammasso allo scavo e le condizioni al contorno, sono state prese in esame le seguenti tipologie di problematiche, così come sono indicate nell’analisi del rischio riportata nei profili geologico – geomeccanici di previsione:

rischi collegati alle caratteristiche dell’ammasso

1. instabilità del fronte e/o del cavo per la presenza di zone tettonizzate
2. instabilità del fronte e/o del cavo in presenza di basse coperture
3. Presenza di trovanti
4. Fenomeni di “swelling”/”squeezing”
5. Anisotropia dell’ammasso

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 54 di 104

6. Deformazioni d'ammasso
7. Fenomeni di subsidenza e interferenza con altre strutture

rischi collegati alla presenza d'acqua

1. Carico Idraulico
2. Venute d'acqua concentrate
3. Fenomeni carsici
4. Presenza di acque aggressive
5. Fenomeni di dissoluzione

Nel seguito saranno presentati i principali tipi di rischi valutati per l'opera in esame.

8.4. Analisi dei rischi lungo il tracciato dell' innesto

La galleria naturale in oggetto si sviluppa interamente nella Formazione delle Argilliti a Palombini, caratterizzabile, da un punto di vista geologico, come scisti di colore grigio scuro-nero, con possibili intercalazioni di calcari detritici ad interstrati argillitici. Nella zona di interesse non sono previste faglie, pertanto i rischi sono legati soprattutto alla possibilità che l'ammasso roccioso possa essere ascrivibile al gruppo geomeccanico 2. In tali contesti l'ammasso mostra scadenti proprietà geomeccaniche; si individua ancora chiaramente la foliazione regolarmente e fittamente spaziata ma con struttura più intensamente piegata, fino alla microscala. Le superfici dei giunti sono da poco alterate ad alterate e la circolazione idrica è scarsa.

In particolare:

Instabilità del fronte e/o del cavo: fenomeni di instabilità del fronte e/o del cavo della galleria dipendono sostanzialmente dalla presenza di tratte del tracciato caratterizzate da parametri geomeccanici scadenti, come nei contesti maggiormente tettonizzati. Tali condizioni si verificano nel caso in cui l'ammasso riscontrato durante lo scavo appartenga al gruppo GR2, nel cui caso le analisi compiute hanno evidenziato un comportamento di tipo C (fronte instabile) o comunque al limite con il comportamento di tipo B (fronte stabile a breve termine) e sono quindi stati previsti specifici interventi di consolidamento.

Carico idraulico: In base a quanto riportato nell'inquadramento idrogeologico ed evidenziato nel profilo geomeccanico, non sono presenti carichi idraulici sull'opera in esame.

Venute d'acqua concentrate: Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico, non sono previste possibilità di venute d'acqua concentrate in corrispondenza di ammassi tettonizzati.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 55 di 104

Fenomeni di squeezing: nell'area in esame vi è il rischio di possibili fenomeni di squeezing, per i quali si rimanda alla specifica relazione geotecnica

Fenomeni di subsidenza e interferenza con altre strutture: date le profondità in gioco (200-270 m), non sono presenti rischi relativi a possibili fenomeni di subsidenza; non sussistono interferenze con altre opere/strutture.

8.5. Sezioni tipo

Si descrivono di seguito le sezioni tipo in funzione dei campi di avanzamento e della precedente analisi del rischio. In particolare, si prevede l'applicazione, sulla base del gruppo geomeccanico riscontrato in galleria, l'applicazione di differenti interventi di consolidamento e supporto. In particolare:

- Argillite a Palombini GR1 (gruppo geomeccanico 1): non si prevedono consolidamenti al fronte e al contorno
- Argillite a Palombini GR2a (gruppo geomeccanico 2a): si prevedono consolidamenti al fronte
- Argillite a Palombini GR2b (gruppo geomeccanico 2b): si prevedono consolidamenti al fronte e al contorno

Queste tipologie di sezioni sono da applicare in tutti i campi, nei quali, in funzione delle geometrie in gioco, si modificheranno le seguenti caratteristiche:

- Numero, lunghezza e sovrapposizione dei preconsolidamenti al contorno, piede centina e fronte
- Profilati centine metalliche
- Spessori rivestimenti definitivi

Pertanto, al di là di queste differenze, per le quali si rimanda alle tavole relative ad ogni campo di avanzamento, per quanto riguarda le fasi esecutive e gli interventi previsti, le sezioni tipologiche dell'opera in esame sono riconducibili a tre:

1. Sezione non consolidata (Sezione **n**)
2. Sezione consolidata al fronte (Sezione **f**)
3. Sezione consolidata al fronte e al contorno (Sezione **fc**)

8.5.1. Sezione tipo n: non consolidata

La sezione in fase costruttiva è costituita da:

- 3+3 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati per 20 m da fondo foro e ciechi per 10 m verso boccaforo Ø 60 mm e sp. 5 mm (eventuali);

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5103ECVROGN15LX002A00 <table border="1" data-bbox="1356 224 1476 315"> <tr> <td>Foglio 56 di 104</td> </tr> </table>	Foglio 56 di 104
Foglio 56 di 104		

- prriverstimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldada, e centine metalliche tipo HEB 220 (HEB 240 nelle sezioni di innesto), a passo 1 m;
- impermeabilizzazione composta da uno strato protettivo di tessuto non tessuto e da un telo impermeabilizzante di PVC;
- rivestimento definitivo in cls semplice avente spessore variabile in funzione della geometria relativa allo specifico campo di avanzamento.

Campo di applicazione

La sezione non consolidata si applica nella formazione delle Argilliti a Palombini, indipendentemente dalle coperture, qualora l'ammasso risulti caratterizzato da valori di resistenza e deformabilità attribuibili al gruppo geomeccanico 1 della formazione.

L'ammasso presenta discrete proprietà geomeccaniche. L'RQD è maggiore del 50-60%; si individua chiaramente la foliazione regolarmente spaziata ma la struttura non è intensamente piegata fino alla microscala. Le superfici dei giunti non sono alterate e la circolazione idrica è scarsa o assente. La presenza dei palombini può superare il 50% fino a condizionare il comportamento generale dell'ammasso; gli strati calcarei sono però poco fratturati e poco alterati.

In queste condizioni il fronte di scavo si presenta generalmente a cavallo tra la categoria di comportamento A e B (stabile/ stabile a breve termine), pertanto non si prevedono interventi di preconsolidamento del fronte.

L'avanzamento con mezzi meccanici può risultare difficoltoso (possibile impiego di esplosivo). La risposta deformativa del cavo evolve verso convergenze che si attestano sui valori minimi registrati (<5 cm).

Variabilità

Qualora, in corrispondenza delle tratte ove si prevede l'applicazione della sezione **n**, dai rilievi geostrutturali del fronte di scavo risultasse un ammasso caratterizzato da valori di GSI maggiori di 50, associati alla presenza di condizioni di ammasso generali poco fratturato e giunti con alterazione assente, è possibile variare l'intensità degli interventi, prevedendo l'adozione di un profilato più leggero (HEB 200/ HEB 220) mantenendo costante lo spessore di spritz-beton. In tali contesti la condizione di ammasso può essere localmente migliorato dalla presenza di Palombini non alterati ed estremamente compatti.

Nel caso opposto, cioè con un ammasso maggiormente allentato e fratturato, in situazioni che tendono ad abbassare i valori dei parametri geomeccanici verso la parte inferiore della fascia intrinseca e in corrispondenza di alte percentuali di Palombini alterati, potranno essere previsti interventi di supporto di prima fase di maggiore rigidità (diminuizione del passo centine a 0.80m) al fine di limitare l'estensione della fascia plastica.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 57 di 104

Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: esecuzione eventuali drenaggi in avanzamento

In caso di presenza d'acqua dovranno essere eseguiti drenaggi in avanzamento. Si prevede la realizzazione di n° 3+3 drenaggi costituiti da tubi in PVC L = 30 m, microfessurati per 20 m a partire da fondo foro e "ciechi" per 10 m verso bocca foro, del diametro $\phi \approx 60\text{mm}$ spessore 5mm e protezione in TNT.

Dopo la posa in opera del tubo in PVC, si dovranno adottare opportuni accorgimenti per isolare il tratto microfessurato da quello cieco (sacco otturatore, cementazione), ad evitare dannose percolazioni dell'acqua raccolta in avanzamento all'interno del nucleo consolidato.

FASE 2: esecuzione scavo

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per una lunghezza massima funzione del campo, per singoli sfondi max. di 1.0 m, sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale ed eseguendo lo spritz-beton fibrorinforzato, sp.5 cm, anche su ognuno di tali fronti.

FASE 3: posa in opera del rivestimento di prima fase

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1^a fase costituito da centine metalliche HEB 220 (HEB 240 nelle sezioni di innesto) passo 1.00 m e da uno strato di spritz-beton, di spessore pari a 30 cm fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

FASE 4: getto di murette e arco rovescio

Il getto delle murette e dell'arco rovescio dovrà avvenire entro 5ϕ dal fronte di scavo dopo aver eseguito il preconsolidamento al contorno e al fronte del successivo campo di avanzamento. In funzione della risposta deformativa del cavo si potrà valutare:

- la necessità di effettuare tale getto entro distanze più o meno restrittive;
- la lunghezza dei campioni di arco rovescio da eseguire;
- la necessità di realizzare il consolidamento del fronte del successivo campo di avanzamento dopo del getto dell'arco rovescio e delle murette.

FASE 5: impermeabilizzazione

Posa in opera dell'impermeabilizzazione, eseguita prima del getto del rivestimento definitivo, secondo le caratteristiche della sezione di impermeabilizzazione e drenaggio prevista. Si prevede la

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 58 di 104

messa in opera di uno strato protettivo di tessuto non tessuto e di un telo impermeabilizzante di PVC, come da Capitolato.

FASE 6: getto del rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo di calotta dovrà avvenire entro $7\emptyset$ dal fronte di scavo.

La distanza di getto dovrà essere regolata in funzione della risposta deformativa del cavo e sarà comunque inferiore a $5\emptyset$ dal fronte.

Qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un periodo prossimo alle 24 ore, è necessario porre in opera al fronte, sagomato a forma concava, uno strato di spritz-beton armato di spessore pari a 10 cm, con lo scopo di evitare che il materiale al contatto con l'atmosfera subisca deterioramenti. Se il fermo delle lavorazioni risulta superiore a 48 h (festività o fermi di qualsiasi natura) il ciclo delle lavorazioni dovrà necessariamente terminare con il consolidamento del fronte appena eseguito (eventualmente incrementato), previa sagomatura a forma concava ed esecuzione dello strato di spritz-beton armato, $sp=10$ cm, e con il rivestimento di prima fase, l'arco rovescio e le murette portati a ridosso del fronte stesso. In relazione al comportamento deformativo del fronte e del cavo, l'arco rovescio e le murette dovranno essere opportunamente avvicinate al fronte.

8.5.2. Sezione tipo f: consolidata al fronte

La sezione in fase costruttiva è costituita da:

- 3+3 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati per 20 m da fondo foro e ciechi per 10 m verso boccaforo \emptyset 60 mm e sp. 5 mm (eventuali);
- preconsolidamento del fronte realizzato mediante la posa in opera di tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie (numero, lunghezza e sovrapposizione riportate nelle specifiche tavole);
- prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, e centine metalliche tipo HEB 220 (HEB 240 nelle sezioni di innesto), a passo 1 m;
- impermeabilizzazione composta da uno strato protettivo di tessuto non tessuto e da un telo impermeabilizzante di PVC;
- rivestimento definitivo in cls semplice avente spessore variabile in funzione della geometria relativa allo specifico campo di avanzamento.

Campo di applicazione

La sezione consolidata al fronte si applica nella formazione delle Argilliti a Palombini, indipendentemente dalle coperture, qualora l'ammasso risulti caratterizzato da valori di resistenza e

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5103ECVROGN15LX002A00 <table border="1" data-bbox="1369 232 1474 315"> <tr> <td>Foglio 59 di 104</td> </tr> </table>	Foglio 59 di 104
Foglio 59 di 104		

deformabilità attribuibili alle fasce meno alterate del gruppo geomeccanico 2 della formazione (parametri prossimi al limite superiore del range stabilito, GR2a).

L'ammasso mostra, in tale contesto, proprietà geomeccaniche da medie a scadenti. L'RQD è variabile tra il 35% e il 50%; si individua ancora chiaramente la foliazione regolarmente e fittamente spaziata ma con struttura più intensamente piegata, fino alla microscala. Le superfici dei giunti sono poco alterate e la circolazione idrica è scarsa. I palombini, quando presenti (non oltre il 50%), risultano mediamente fratturati ma scarsamente o localmente alterati.

In queste condizioni il fronte di scavo si presenta generalmente stabile a breve termine (categoria B), ma le condizioni di giacitura delle superfici di foliazione e l'intensità della fratturazione, possono portare al verificarsi di fenomeni di distacco che impongono l'uso di consolidamenti al fronte

L'avanzamento avviene regolarmente con mezzi meccanici. La risposta deformativa del cavo evolve verso convergenze che si attestano sui valori medi registrati (5-8 cm), necessitando la presenza dell'arco rovescio a breve distanza dal fronte per la loro completa stabilizzazione nel tempo.

Variabilità

Se la risposta deformativa del fronte e del cavo evidenzia valori prossimi ai minimi previsti e l'ammasso si presenta poco alterato con presenza consistente di Palombini poco fratturati, è possibile variare l'intensità degli interventi previsti e intervenire sulla rigidità dei prerinvestimenti scegliendo profilati più leggeri delle centine (HEB200/HEB220) mantenendo costante lo spessore di spritz-beton. Sarà infatti probabile, in tali contesti, la riduzione della fascia plastica al contorno con conseguente diminuzione dei carichi sui rivestimenti di prima fase e definitivi.

Qualora si verificasse il caso opposto al precedente si potrà intervenire con un aumento di intensità del consolidamento e tramite interventi di supporto di prima fase di maggiore rigidità (diminuzione del passo centine a 0.80m). Tali contesti sono correlati alla presenza di Palombini alterati, anche in percentuale consistente, e le superfici dei giunti sono alterate. Il GSI associato alla formazione è prossimo ai valori minimi del gruppo 2A.

In questi casi, si prevede una variazione del numero dei consolidamenti intorno al 20% rispetto a quanto definito per ogni singolo campo.

Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: esecuzione eventuali drenaggi in avanzamento

In caso di presenza d'acqua dovranno essere eseguiti drenaggi in avanzamento. Si prevede la realizzazione di n° 3+3 drenaggi costituiti da tubi in PVC L = 30 m, microfessurati per 20 m a partire da fondo foro e "ciechi" per 10 m verso bocca foro, del diametro $\phi \approx 60\text{mm}$ spessore 5mm e protezione in TNT.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 60 di 104

Dopo la posa in opera del tubo in PVC, si dovranno adottare opportuni accorgimenti per isolare il tratto microfessurato da quello cieco (sacco otturatore, cementazione), ad evitare dannose percolazioni dell'acqua raccolta in avanzamento all'interno del nucleo consolidato.

FASE 2: preconsolidamento al fronte

Dal fronte di scavo, sagomato a forma concava, si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa in opera di tubi in VTR, aventi lunghezza e sovrapposizione variabili in funzione del relativo campo d'avanzamento.

Le fasi costruttive sono le seguenti:

- esecuzione sul fronte dello strato di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, avente spessore di 10 cm;
- perforazione eseguita a secco $\varnothing \geq 100$ mm;
- inserimento del tubo in VTR;
- esecuzione della cementazione mediante miscele cementizie a ritiro controllato ogni 4÷5 fori;

FASE 3: esecuzione scavo

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per una lunghezza massima funzione del campo, per singoli sfondi max. di 1.0 m, sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale ed eseguendo lo spritz-beton fibrorinforzato, sp.5 cm, anche su ognuno di tali fronti.

FASE 4: posa in opera del rivestimento di prima fase

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1^a fase costituito da centine metalliche HEB 220 (HEB 240 nelle sezioni di innesto) passo 1.00 m e da uno strato di spritz-beton, di spessore pari a 30 cm fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

FASE 5: getto di murette e arco rovescio

Il getto delle murette e dell'arco rovescio dovrà avvenire entro $3\varnothing$ dal fronte di scavo dopo aver eseguito il preconsolidamento al contorno e al fronte del successivo campo di avanzamento. In funzione della risposta deformativa del cavo si potrà valutare:

- la necessità di effettuare tale getto entro distanze più o meno restrittive;
- la lunghezza dei campioni di arco rovescio da eseguire;

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 61 di 104

- la necessità di realizzare il consolidamento del fronte del successivo campo di avanzamento dopo del getto dell'arco rovescio e delle murette.

FASE 6: impermeabilizzazione

Posa in opera dell'impermeabilizzazione, eseguita prima del getto del rivestimento definitivo, secondo le caratteristiche della sezione di impermeabilizzazione e drenaggio prevista. Si prevede la messa in opera di uno strato protettivo di tessuto non tessuto e di un telo impermeabilizzante di PVC, come da Capitolato.

FASE 7: getto del rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo di calotta dovrà avvenire entro $5\emptyset$ dal fronte di scavo. La distanza di getto dovrà essere regolata in funzione della risposta deformativa del cavo e sarà comunque inferiore a $5\emptyset$ dal fronte.

Qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un periodo prossimo alle 24 ore, è necessario porre in opera al fronte, sagomato a forma concava, uno strato di spritz-beton armato di spessore pari a 10 cm, con lo scopo di evitare che il materiale al contatto con l'atmosfera subisca deterioramenti. Se il fermo delle lavorazioni risulta superiore a 48 h (festività o fermi di qualsiasi natura) il ciclo delle lavorazioni dovrà necessariamente terminare con il consolidamento del fronte appena eseguito (eventualmente incrementato), previa sagomatura a forma concava ed esecuzione dello strato di spritz-beton armato, $sp=10$ cm, e con il rivestimento di prima fase, l'arco rovescio e le murette portati a ridosso del fronte stesso. In relazione al comportamento deformativo del fronte e del cavo, l'arco rovescio e le murette dovranno essere opportunamente avvicinate al fronte.

La sequenza operativa di perforazione, inserimento del tubo o dell'elemento strutturale in VTR e cementazione indicata precedentemente, andrà adattata alle caratteristiche dell'ammasso, prevedendo comunque l'inserimento del tubo o dell'elemento strutturale in VTR e la successiva cementazione massimo ogni 5 perforazioni realizzate, garantendo comunque il completo riempimento del foro e l'inghisaggio del tubo o dell'elemento strutturale. In corso d'opera si potrà comunque valutare la possibilità di variare la metodologia di perforazione indicata (a secco) utilizzando un opportuno fluido di perforazione (miscele cementizie, acqua additivata con agenti schiumogeni, etc) in funzione delle caratteristiche dell'ammasso e previa esecuzione di adeguate prove in sito, atte a garantire:

- caratteristiche di resistenza e funzionali ai fini del consolidamento del terreno non inferiori a quanto fornito seguendo le attuali prescrizioni;
- l'assenza di problemi connessi alla "sensibilità" dei terreni interessati dalle perforazioni (minerali rigonfianti, frazioni argillose attive, etc)
- condizioni di inghisaggio analoghe a quelle ottenute con la perforazione a secco.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 62 di 104

8.5.3. Sezione tipo fc: consolidata al fronte e al contorno

La sezione in fase costruttiva è costituita da:

- 3+3 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati per 20 m da fondo foro e ciechi per 10 m verso boccaforo Ø 60 mm e sp. 5 mm (eventuali);
- prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, e centine metalliche tipo HEB 220 (HEB 240 nelle sezioni di innesto), a passo 1 m;
- chiodature in VTR cementati alla base del piedritto, in numero 2 al metro disposti longitudinalmente a quinconce (previste per le sezioni di innesto)
- consolidamento al contorno mediante tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie (numero, lunghezza e sovrapposizione riportate nelle specifiche tavole)
- consolidamenti al piede centina mediante tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie (numero, lunghezza e sovrapposizione riportate nelle specifiche tavole).
- preconsolidamento del fronte realizzato mediante la posa in opera di tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie (numero, lunghezza e sovrapposizione riportate nelle specifiche tavole);
- impermeabilizzazione composta da uno strato protettivo di tessuto non tessuto e da un telo impermeabilizzante di PVC.
- rivestimento definitivo in cls semplice avente spessore variabile in funzione della geometria relativa allo specifico campo di avanzamento.

Campo di applicazione

La sezione consolidata al fronte e al contorno si applica nella formazione delle Argilliti a Palombini, indipendentemente dalle coperture, qualora l'ammasso risulti caratterizzato da valori di resistenza e deformabilità attribuibili alle fasce meno compatte del gruppo geomeccanico 2 della formazione (parametri prossimi al limite inferiore del range stabilito, GR2b).

L'ammasso mostra scadenti proprietà geomeccaniche. L'RQD è variabile tra il 20% e il 35%; si individua ancora chiaramente la foliazione regolarmente e fittamente spaziata ma con struttura più intensamente piegata, fino alla microscala. Le superfici dei giunti sono alterate e la circolazione idrica è scarsa. I palombini, quando presenti (non oltre il 20-30%), risultano molto fratturati ed alterati.

Sono possibili elevati stress di natura tettonica che possono portare spinte orizzontali maggiori delle verticali, con necessità di intervenire mediante bullonature radiali.

In queste condizioni il fronte di scavo si presenta generalmente a cavallo tra le classificazioni B e C (stabile a breve termine/ instabile), risultando necessario eseguire sistematici interventi di

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 63 di 104

consolidamento in avanzamento. Lo scavo avviene con mezzi meccanici. La risposta deformativa del cavo evolve verso convergenze che si attestano sui valori medi registrati anche superiori ai 10cm, necessitando la presenza dell'arco rovescio a breve distanza dal fronte per la loro completa stabilizzazione nel tempo.

Variabilità

L'intensità del consolidamento al fronte è direttamente collegabile al grado di fratturazione dell'ammasso e alla giacitura delle superfici di distacco, nonché alla presenza di Palombini. Lo stato dei giunti risulta un elemento significativo ai fini della stabilità del fronte.

Laddove il fronte di scavo sia caratterizzato da giaciture chiaramente individuabili e costanti prevalentemente a reggi poggio o sub-orizzontali, con giunti moderatamente alterati, sarà quindi possibile variare:

- l'intensità degli interventi al fronte e al contorno
- la rigidità dei priverimenti, prevedendo l'adozione di un profilato più leggero (HEB 200/HEB 220) mantenendo costante lo spessore di spritz-beton
- la chiodatura laterale (prevista per la sezione di innesto)

Rimane in ogni caso necessaria un'azione di precontenimento delle deformazioni al fine di limitare il detensionamento dell'ammasso già interessato da uno stato di fratturazione intensa.

Qualora si verificasse il caso opposto al precedente dovranno essere previsti interventi di supporto di prima fase di maggiore rigidità (diminuzione del passo per le centine a 0.80) e l'esecuzione di importanti interventi avanti il fronte e al contorno al fine di limitare i fenomeni deformativi e l'estensione della fascia plastica.

Tali contesti sono correlati a

1. Materiale roccioso interessato da numerose pieghe di varia dimensione ed attraversato da diverse famiglie di faglie che inducono una diminuzione locale della resistenza e/o alla presenza di Palombini alterati, anche in percentuale consistente. Il GSI associato alla formazione è prossimo ai valori minimi del gruppo 2B.
2. Orientazione delle giaciture sfavorevole con alterazione evidente dei giunti, anche associata a stillicidi diffusi.
3. Evidenza di elevati sforzi orizzontali dovuti a stress di natura tettonica.

Il range di variabilità degli interventi di consolidamento può essere assunto pari al 20% rispetto a quanto determinato nelle tavole dei singoli campi.

Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 64 di 104

FASE 1: esecuzione eventuali drenaggi in avanzamento

In caso di presenza d'acqua dovranno essere eseguiti drenaggi in avanzamento. Si prevede la realizzazione di n° 3+3 drenaggi costituiti da tubi in PVC L = 30 m, microfessurati per 20 m a partire da fondo foro e "ciechi" per 10 m verso bocca foro, del diametro $\phi \approx 60\text{mm}$ spessore 5mm e protezione in TNT.

Dopo la posa in opera del tubo in PVC, si dovranno adottare opportuni accorgimenti per isolare il tratto microfessurato da quello cieco (sacco otturatore, cementazione), ad evitare dannose percolazioni dell'acqua raccolta in avanzamento all'interno del nucleo consolidato.

FASE 2: preconsolidamento al fronte

Dal fronte di scavo, sagomato a forma concava, si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa in opera di tubi in VTR, aventi lunghezza e sovrapposizione variabili in funzione del relativo campo d'avanzamento.

Le fasi costruttive sono le seguenti:

- esecuzione sul fronte dello strato di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, avente spessore di 10 cm;
- perforazione eseguita a secco $\phi \geq 100\text{ mm}$;
- inserimento del tubo in VTR;
- esecuzione della cementazione mediante miscele cementizie a ritiro controllato ogni 4÷5 fori;

FASE 3: preconsolidamento al contorno del cavo e al piede centina

Esecuzione del preconsolidamento al contorno e al piede centina con le seguenti modalità:

- perforazione eseguita a secco $\phi \geq 100\text{ mm}$;
- inserimento del tubo in VTR;
- esecuzione della cementazione mediante miscele cementizie a ritiro controllato ogni 4÷5 fori;

FASE 4: esecuzione scavo

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per una lunghezza massima funzione del campo, per singoli sfondi max. di 1.0 m, sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale ed eseguendo lo spritz-beton fibrorinforzato, sp.5 cm, anche su ognuno di tali fronti.

FASE 5: posa in opera del rivestimento di prima fase e chiodatura (eventuale)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 65 di 104

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1^a fase costituito da centine metalliche HEB 220 (HEB 240 nelle sezioni di innesto) passo 1.00 m e da uno strato di spritz-beton, di spessore pari a 30 cm fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene. In funzione di quanto riportato nelle tavole specifiche, nelle sezioni di innesto vengono eseguite 2 chiodature al metro con VTR cementati in foro.

FASE 6: getto di murette e arco rovescio

Il getto delle murette e dell'arco rovescio dovrà avvenire entro 3Ø dal fronte di scavo dopo aver eseguito il preconsolidamento al contorno e al fronte del successivo campo di avanzamento. In funzione della risposta deformativa del cavo si potrà valutare:

- la necessità di effettuare tale getto entro distanze più o meno restrittive;
- la lunghezza dei campioni di arco rovescio da eseguire;
- la necessità di realizzare il consolidamento del fronte del successivo campo di avanzamento dopo del getto dell'arco rovescio e delle murette.

FASE 7: impermeabilizzazione

Posa in opera dell'impermeabilizzazione, eseguita prima del getto del rivestimento definitivo, secondo le caratteristiche della sezione di impermeabilizzazione e drenaggio prevista. Si prevede la messa in opera di uno strato protettivo di tessuto non tessuto e di un telo impermeabilizzante di PVC, come da Capitolato.

FASE 8: getto del rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo di calotta dovrà avvenire entro 5Ø dal fronte di scavo.

La distanza di getto dovrà essere regolata in funzione della risposta deformativa del cavo e sarà comunque inferiore a 5Ø dal fronte.

Qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un periodo prossimo alle 24 ore, è necessario porre in opera al fronte, sagomato a forma concava, uno strato di spritz-beton armato di spessore pari a 10 cm, con lo scopo di evitare che il materiale al contatto con l'atmosfera subisca deterioramenti. Se il fermo delle lavorazioni risulta superiore a 48 h (festività o fermi di qualsiasi natura) il ciclo delle lavorazioni dovrà necessariamente terminare con il consolidamento del fronte appena eseguito (eventualmente incrementato), previa sagomatura a forma concava ed esecuzione dello strato di spritz-beton armato, sp=10 cm, e con il rivestimento di prima fase, l'arco rovescio e le murette portati a ridosso del fronte stesso. In relazione al comportamento deformativo del fronte e del cavo, l'arco rovescio e le murette dovranno essere opportunamente avvicinate al fronte.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 66 di 104

La sequenza operativa di perforazione, inserimento del tubo o dell'elemento strutturale in VTR e cementazione indicata precedentemente, andrà adattata alle caratteristiche dell'ammasso, prevedendo comunque l'inserimento del tubo o dell'elemento strutturale in VTR e la successiva cementazione massimo ogni 5 perforazioni realizzate, garantendo comunque il completo riempimento del foro e l'inghisaggio del tubo o dell'elemento strutturale. In corso d'opera si potrà comunque valutare la possibilità di variare la metodologia di perforazione indicata (a secco) utilizzando un opportuno fluido di perforazione (miscele cementizie, acqua additivata con agenti schiumogeni, etc) in funzione delle caratteristiche dell'ammasso e previa esecuzione di adeguate prove in sito, atte a garantire:

- caratteristiche di resistenza e funzionali ai fini del consolidamento del terreno non inferiori a quanto fornito seguendo le attuali prescrizioni;
- l'assenza di problemi connessi alla "sensibilità" dei terreni interessati dalle perforazioni (minerali rigonfianti, frazioni argillose attive, etc)
- condizioni di inghisaggio analoghe a quelle ottenute con la perforazione a secco.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5103ECVROGN15LX002A00 Foglio 67 di 104

8.6. Soglie di attenzione e allarme

Si riportano in Tabella 8-2 le soglie di attenzione e allarme relative alle differenti sezioni tipo.

INNESTO CASTAGNOLA - SOGLIE DI ATTENZIONE E ALLARME						
CARATT. GALLERIA		SOGLIA ATTENZIONE	SOGLIA ALLARME	SOGLIA ATTENZIONE	SOGLIA ALLARME	
FORMAZIONE	SEZ.TIPO	CONV. DIAMETRALE (cm)	CONV. DIAMETRALE (cm)	ESTRUSIONE (cm)	ESTRUSIONE (cm)	
Ap – GR1	Non consolidata	Sez. d'innesto e di allargo galleria	4÷5	7÷9	-	-
		Sezioni correnti e di raccordo	3÷4	6÷8	-	-
Ap – GR2a	Consolidata al fronte	Sez. d'innesto e di allargo galleria	10÷12	>14	>6	>9
		Sezioni correnti e di raccordo	7÷8	>10	>4	>8
Ap – GR2b	Consolidata al fronte e al contorno	Sez. d'innesto e di allargo galleria	10÷12	>14	>7	>12
		Sezioni correnti e di raccordo	9÷10	>12	>5	>10

Tabella 8-2

Come indicato nel profilo geomeccanico, è necessario prevedere estra-scavi durante l'avanzamento al fine di ridurre eventuali sottospessori dovuti alle convergenze attese.

8.7. Applicazione di una diversa sezione tipo

Nei paragrafi precedenti si è detto che se i parametri di riferimento saranno tali da essere diversi da quelli ipotizzati, si potrà procedere ad una variazione degli interventi o al passaggio ad una diversa sezione tipo tra quelle previste per quella tratta.

Nel caso però che, a seguito dei rilievi condotti nel corso degli avanzamenti, si evidenzino nella tratta in scavo, una situazione geologica-geomeccanica attraverso la quale si riscontrano chiaramente caratteristiche geomeccaniche al di fuori di quelle previste nel contesto progetto, il progettista valuterà se adottare una diversa sezione tipo tra quelle previste in Progetto Esecutivo nell'ambito della stessa galleria.

In generale, comunque, il passaggio da una sezione tipo ad un'altra potrà avvenire in modo graduale: il progettista potrà adottare dei criteri flessibili di variazione della specifica sezione, ottimizzando gli elementi previsti, in modo che, da una parte, sia garantita la continuità e la sicurezza delle lavorazioni in cantiere e, dall'altra sia lasciato inalterato il livello prestazionale dell'opera.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5103ECVROGN15LX002A00</p>	<p>Foglio 68 di 104</p>

In questa ottica nell' ambito del Progetto Esecutivo si adotteranno quei criteri di flessibilità esecutiva che consentano la massima velocità di avanzamento e tali da ridurre al minimo lo sviluppo reologico temporale del processo di detensionamento e rilassamento dell' ammasso al contorno e sul fronte .

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 69 di 104

9. TECNOLOGIE ALTERNATIVE E PRESCRIZIONI

9.1. Tecnologie alternative di perforazione

In corso d'opera si potrà valutare la possibilità di variare la metodologia di perforazione (a secco) utilizzando un opportuno fluido di perforazione (miscela cementizia, acqua additivata con agente schiumogeno, ...) in funzione delle caratteristiche dell'ammasso e previa esecuzione di adeguate prove in sito, atte a garantire:

- ai fini del consolidamento del terreno, caratteristiche funzionali e di resistenza non inferiori a quanto fornito seguendo le attuali prescrizioni;
- l'assenza di problemi connessi alla "sensibilità" dei terreni interessati dalle perforazioni;
- condizioni di inghisaggio analoghe a quelle ottenute con la perforazione a secco.

La lunghezza dei consolidamenti al fronte e al contorno potrà essere diversa da quanto riportato nei relativi elaborati: andrà di conseguenza valutata la necessità di adeguare le geometrie di esecuzione previste in progetto.

9.2. Tecnologie alternative per l'armatura dello spritz-beton

Nell'ambito delle tecnologie da applicare per la realizzazione delle gallerie naturali è previsto per l'esecuzione del priverivestimento l'impiego di calcestruzzo proiettato, armato con centine metalliche e rete oppure con centine metalliche e fibre in acciaio.

Entrambe le tecnologie della rete e del fibrorinforzato risultano perfettamente equivalenti dal punto di vista prestazionale seppure caratterizzate da parametri di qualificazione diversi e da una differente modalità di messa in opera.

Coerentemente con ciò, nelle tavole di progetto è stata volutamente lasciata la possibilità di alternativa tra le due tecniche di armatura essendo stata verificata l'equivalenza progettuale.

La scelta tra l'utilizzo di fibre o di rete elettrosaldata verrà operata in cantiere in base alle reali condizioni operative dello scavo, in funzione di quanto precedentemente detto. Qualora l'ammasso presenti caratteristiche geomeccaniche migliori di quanto preventivato sarà possibile proteggere il fronte di scavo ricorrendo all'uso di spritz-beton semplice (non armato né fibrorinforzato).

Per quanto concerne le caratteristiche di resistenza dello spritz-beton, è previsto l'impiego di una miscela caratterizzata da $f_{cm}=30\text{MPa}$ per tutte le sezioni.

9.3. Armatura del rivestimento definitivo

In corrispondenza delle criticità ad oggi riscontrate è risultato necessario l'utilizzo di rivestimenti definitivi opportunamente armati.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 70 di 104

In corso d'opera è prevista la possibilità di utilizzare in calotta e piedritti sia armature tralicciate, sia quelle standard. Analogamente, in arco rovescio possono essere utilizzate gabbie prefabbricate o armatura tradizionale. Dette opzioni risultano valide anche per le tratte di gallerie artificiali.

Inoltre, le armature di arco rovescio potranno eventualmente non essere passanti nelle riprese di getto (*da decidersi in corso d'opera, in funzione delle condizioni d'ammasso e quindi degli stati tensionali indotti nel rivestimento definitivo*).

Un diverso utilizzo di armature per il rivestimento definitivo non deve dunque essere considerato come univocamente condizionato all'adozione di specifiche sezioni tipo, in quanto almeno in parte indipendente dalla tipologia e densità di consolidamenti applicati al fronte e in calotta, o dai rivestimenti di prima fase, e quindi non necessariamente legato ad una loro contestuale modifica.

Del resto, anche nel caso di tratte già previste come armate in progetto, non si può escludere che si determinino condizioni difformi da quanto oggi preventivabile, e tali da richiedere un appesantimento delle armature stesse, o anche da consentirne, viceversa, un'ottimizzazione, in funzione delle diverse condizioni di carico del rivestimento definitivo e della sua risposta strutturale nell'interazione con l'ammasso nelle diverse fasi realizzative.

In conclusione, ove si dovesse procedere con l'adeguamento dell'armatura necessaria, così come nel caso si dovesse procedere ad adottare sezioni tipo differenti, che implicino una diversa distribuzione dei rivestimenti definitivi, l'applicazione di tali diverse ipotesi dovrà essere ordinata a mezzo di apposito ordine di servizio dalla Direzione Lavori, assumendo tale modifica la valenza di "variante progettuale".

9.4. Distanze di getto dei rivestimenti definitivi

Le distanze di getto del rivestimento vengono misurate a partire dal fronte di scavo e sono relative ad arco rovescio, murette e calotta. Esse sono funzione della risposta tenso/deformativa del cavo nonché di specifiche situazioni locali riguardanti le singole gallerie.

In linea generale, il getto dell'arco rovescio e delle murette dovrà avvenire contemporaneamente solo in casi particolari, da valutarsi in corso d'opera; sempre in linea generale, si potrà effettuare un getto separato di arco rovescio e murette, avendo comunque cura di realizzare le murette il più vicino possibile al fronte di scavo, onde ottenere una più rapida stabilizzazione delle convergenze.

La distanza di getto della calotta sarà anch'essa funzione delle condizioni generali d'ammasso. Se l'ammasso si presenta in condizioni simili a quelle previste in progetto, si procederà ad utilizzare la distanza media all'interno del range di variabilità previsto. In generale:

- Per ammassi che si trovino in condizioni geomeccaniche scadenti o per situazioni che evidenzino elevati valori tenso/deformativi sarà necessario portare il getto della calotta il più possibile vicino al fronte (variabilità minima);
- In ammassi che presentino discrete caratteristiche geomeccaniche o bassi valori tenso/deformativi si potrà invece utilizzare come distanza di getto la distanza massima prevista all'interno del range di variabilità di detta sezione tipo (variabilità massima);

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 71 di 104

Le distanze di getto sono funzione della tipologia d'ammasso nonché delle convergenze misurate in galleria o all'esterno, e dei valori di estrusione al fronte; in linea generale dovrà essere applicata la distanza minima qualora le deformazioni misurate risultino comprese tra la soglia di attenzione e la soglia di allarme stabilite nel presente documento, e/o nel caso in cui i parametri geomeccanici riscontrati in fase di esecuzione dei lavori si collochino verso l'estremo inferiore del range di variabilità del rispettivo gruppo geomeccanico.

La distanza "massima" all'interno del range di variabilità potrà essere generalmente applicata qualora le convergenze misurate e le estrusioni risultino al di sotto della soglia di attenzione, e qualora i parametri geomeccanici si collochino verso l'estremo superiore del range di variabilità del gruppo geomeccanico.

La distanza di getto dei rivestimenti definitivi rispetto al fronte dovrà comunque rispettare tendenzialmente la massima distanza prevista per la sezione tipo in esame; il progettista potrà valutare in corso d'opera la possibilità di aumentare ulteriormente le distanze massime progettuali; situazioni locali e particolari verranno valutate di volta in volta.

In particolare l'opera in esame, per le particolari caratteristiche geometriche e di esecuzione, avrà una variabilità minima dei getti definita proprio dal susseguirsi delle fasi esecutive.

Per quanto concerne i valori numerici delle distanze di getto relativamente ad ogni sezione tipo si vedano i relativi paragrafi, mentre per le corrispondenti variabilità suggerite si vedano le tabelle allegate.

9.5. Caratteristiche minime di resistenza del calcestruzzo in relazione alle fasi operative

Per quanto riguarda il calcestruzzo che costituisce il riempimento dell'arco rovescio, si prevede di poter transitare sul cls quando sia stata raggiunta una resistenza minima di 4 MPa a compressione, ferma restando la resistenza caratteristica richiesta da progetto.

Nel caso fosse necessario transitare prima del raggiungimento di tale resistenza, il cls sarà opportunamente protetto da elementi ripartitori, tali da scaricare una pressione congrua per le caratteristiche di resistenza misurata a quella data di maturazione.

Per quanto riguarda il calcestruzzo di calotta, fermo restando la resistenza caratteristica richiesta da progetto, si prescrive che il disarmo del getto non avvenga prima che il calcestruzzo stesso abbia raggiunto una resistenza di almeno 8 MPa (a meno di condizioni di spinta d'ammasso particolari).

9.6. Tecniche di consolidamento dei fronti di scavo

Le geometrie di consolidamento presentate negli elaborati grafici di progetto devono intendersi come geometrie "medie"; in presenza di anomalie localizzate su parte del fronte, o per esigenze locali di messa in sicurezza, non è esclusa la possibilità di una variazione "puntuale" delle quantità o delle geometrie dei consolidamenti. Pur rimanendo invariato il numero totale degli interventi, nello specifico potranno aversi zone del fronte con differenti densità di intervento in funzione delle

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 72 di 104

caratteristiche geomeccaniche “puntuali” di ciascuna zona; Gli interventi di consolidamento precedentemente elencati dovranno essere dimensionati in modo da “cucire” la superficie di contatto tra le diverse formazioni, ovvero si dovrà prestare particolare attenzione nella definizione degli angoli di perforazione e delle lunghezze degli elementi. Detta operazione verrà definita nel dettaglio in corso d’opera, sulla base delle conoscenze geologiche ed idrogeologiche acquisite nel corso dello scavo, nonché in base ai rilievi dei fronti effettuati.

9.7. Soglie d’attenzione e d’allarme

In corso d’opera è prevista la possibilità di ritardare i valori numerici delle "soglie" di attenzione e di allarme previsti per i diversi litotipi. In questa fase le soglie risultano necessariamente derivate da parametrizzazioni geomeccaniche, schemi e modelli di calcolo basati sui dati ad oggi disponibili.

Per le motivazioni succitate i valori di soglia indicati in questa prima fase risultano indicativi e solo in fase di scavo gli stessi potranno essere ridefiniti più adeguatamente. Si precisa inoltre che i valori contenuti nella tabella sopra riportata sono riferiti al caso generale, mentre non sono utilizzabili in situazioni dove vi è la necessità di operare limitando le deformazioni (quali sottroversamenti di edifici/opere preesistenti).

9.8. Criticità

La progettazione delle sezioni tipo è stata condotta conformemente ai dati ad oggi disponibili. Qualora dovessero verificarsi, in fase di scavo, condizioni geomeccaniche e/o idrogeologiche (stress tettonici, rapporto tra tensioni verticali ed orizzontali nel terreno,, etc.) diverse da quanto oggi ipotizzabile in base ai dati raccolti e disponibili, sarà necessario procedere ad una rivisitazione degli interventi, in particolar modo delle caratteristiche dei rivestimenti definitivi.

Inoltre sarebbe opportuno intensificare gli interventi di consolidamento delle sezioni tipo se dovessero manifestarsi problematiche locali durante gli scavi di avanzamento (quali splaccaggi del fronte e/o della calotta, situazioni geologiche puntuali, etc). La valutazione delle modifiche necessarie sarà compiuta dal progettista in funzione di quanto osservato e registrato nel corso degli scavi.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5103ECVROGN15LX002A00
	Foglio 73 di 104

10. MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA

10.1. Quadro di sintesi del programma

Lo scopo del monitoraggio, in accordo con il metodo ADECO-RS adottato in progettazione è quello di tenere sotto controllo l'evolversi della risposta tenso-deformativa dell'ammasso allo scavo e di verificare la corrispondenza tra il comportamento reale delle strutture in fase di realizzazione ed il comportamento ipotizzato nelle varie fasi progettuali.

Il sistema di monitoraggio è stato progettato in modo da poter fornire, nel modo più completo e rapido possibile, tutti gli elementi necessari ad effettuare un'analisi della situazione in corso d'opera e della sua possibile evoluzione, finalizzata alla definizione di eventuali azioni correttive (intensificazione delle misure, installazione di ulteriore strumentazione, interventi sulle fasi esecutive, modalità di avanzamento, etc.) mirate ad evitare il manifestarsi di situazioni di pericolo.

L'organizzazione del sistema in questione prevede l'utilizzo di strumentazione topografica e geotecnica disposta a formare sezioni di monitoraggio distribuite lungo tutto il tracciato dell'opera. La disposizione delle sezioni è correlata alle condizioni al contorno quali le condizioni geomeccaniche, la posizione rispetto al tracciato, la presenza di interferenze antropiche mentre la frequenza di lettura è correlata principalmente alla successione delle fasi lavorative.

Tale programma, finalizzato alla valutazione delle caratteristiche dell'ammasso e del suo comportamento tenso-deformativo durante lo scavo, si articola in:

- misure di convergenza a cinque punti;
- mire e prismi ottici sul rivestimento definitivo;
- misura delle tensioni nei priverestimenti con celle di carico e barrette estensimetriche;
- misura delle tensioni nei rivestimenti definitivi mediante barrette estensimetriche a corda vibrante;
- misure d'estrusione estensimetriche e/o topografiche;
- misure di tensione mediante celle di carico nei bulloni;
- misure estensimetriche da piano campagna o radiali;
- rilievo geologico-geostrutturale dei fronti di scavo;
- indagini geognostiche in avanzamento e prelievo di campioni.
- Misure con estensimetri multi- base o estensimetri incrementali

Il monitoraggio mediante piezometri e/o inclinometri, salvo casi particolari specificati di volta in volta, non è da considerarsi oggetto del presente documento, ma si considerano inclusi nei documenti relativi alle indagini integrative previste per l'opera in oggetto.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5103ECVROGN15LX002A00 Foglio 74 di 104

Nei paragrafi che seguono vengono indicate le caratteristiche e le modalità esecutive del programma di monitoraggio predisposto.

L'insieme di questi dati concorrerà alla determinazione delle grandezze necessarie per l'applicazione delle linee guida, relativamente alla definizione dell'intensità degli interventi, delle cadenze lavorative e della sezione tipo da applicare tra quelle previste nella tratta.

Di seguito si riporta una tabella di sintesi delle quantità previste per l'opera in oggetto. Per una più chiara e corretta visualizzazione della posizione dei monitoraggi si rimanda alla tavola del Profilo Geomeccanico e di Monitoraggio.

Descrizione	Frequenza / posizionamento	Totale n°
Indagini in avanzamento con prelievo di campioni e prove di laboratorio	Campo iniziale di raccordo	1
Stazioni di misura dello stato tensionale nel priverivestimento	Sezioni di innesto	2
Barrette estensimetriche nel rivestimento definitivo	Sezioni di innesto	2
Celle di carico sui bulloni di ancoraggio	Sezioni di innesto	2
Estensimetri multibase e/o incrementali	Sezione di innesto (binario dispari)	1 radiali
Mire e prismi ottici sul rivestimento definitivo	Sezioni di innesto	2
Rilievi del fronte	Ogni campo di avanzamento	-
Misure di convergenza a cinque punti	Ogni campo di avanzamento	-
Misure di estrusione topografica	Ogni due campi di avanzamento	-
Misure di estrusione incrementale/estensimetrica	Zona di allargo bin. pari - Sezione corrente	1

Tabella 10-1. Riepilogo Monitoraggi

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 75 di 104

10.2. Misure di convergenza a cinque punti

10.2.1. Definizione

Tali misure consistono nel rilevamento e restituzione grafica e numerica degli spostamenti nel piano trasversale alla galleria, in direzione verticale e orizzontale, di 5 punti per ogni stazione di misura, posizionati sul rivestimento di prima fase come illustrato nello schema in allegato, ed attrezzati con mire ottiche rilevabili mediante strumento topografico di precisione. Le basi di misura sono costituite da 5 chiodi di convergenza posizionati sullo spritz-beton del rivestimento di 1° fase su cui vengono montati altrettanti marcatori costituiti da prismi cardanici riflettenti o catadiottri.

La convergenza del cavo si intende riferita sia al valore massimo rilevato sulle varie corde che allo spostamento, in valore assoluto, delle singole mire; verrà inoltre valutato il valore medio delle tre principali misure diametrali condotte (convergenza diametrale media).

10.2.2. Installazione

Le basi di misura sono costituite da 5 chiodi di convergenza $L = 50-80$ cm posizionati sullo spritz-beton del rivestimento di 1° fase su cui vengono montati altrettanti marcatori costituiti da prismi cardanici riflettenti o catadiottri, posizionati a ridosso del fronte di scavo alla progressiva della stazione di misura. Nel caso in cui si manifestassero comportamenti differenziati in termini deformativi tra spritz-beton e centine, a tali chiodi andranno affiancati dei supporti vincolati alle centine, su cui potranno essere montati i già citati marcatori (prismi cardanici riflettenti o catadiottri), posizionati a ridosso del fronte di scavo, in particolare a circa 1.0 m dal fronte stesso.

10.2.3. Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti

Fermo restando che l'effettiva distribuzione delle stazioni potrà essere modulata in funzione del reale comportamento dell'ammasso, le stazioni stesse andranno indicativamente installate secondo quanto riportato in Tabella 10-1 e nella tavola Profilo Geomeccanico e di Monitoraggio dell'opera in esame.

In particolare si posizionano le seguenti stazioni di misura:

- n°1 stazione di misura ogni campo di avanzamento

La frequenza dei rilevamenti, da precisare in corso d'opera, è la seguente:

- n. 1 misura al giorno fino a una distanza dal fronte di 10 m, quindi n. 1 misura alla settimana fino al getto del rivestimento definitivo o fino alla stabilizzazione della misura, per la categoria di comportamento tipo A.
- n. 1 misura al giorno fino a una distanza dal fronte di 10 m, quindi n. 1 misura alla settimana fino al getto del rivestimento definitivo, per la categoria di comportamento tipo B.
- n. 1 misura al giorno fino ad una distanza dal fronte di 15 m, quindi n. 3 misure alla settimana fino al getto del rivestimento definitivo, per la categoria di comportamento tipo C.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5103ECVROGN15LX002A00</p>	<p>Foglio 76 di 104</p>

Ciascuna stazione di misura viene disposta presso l'ultima centina posizionata, a circa 1m dal fronte stesso.

La lettura di riferimento ("0") andrà eseguita immediatamente e categoricamente prima del successivo sfondo parziale.

10.2.4. Sistema di acquisizione

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione composta da teodolite e distanziometro elettronico che misurano le posizioni assolute della base di misura rispetto ad un sistema di riferimento tridimensionale costituito da caposaldi siti in galleria. La misura permette di risalire alle coordinate spaziali delle basi con tolleranza $\pm 2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$.

10.2.5. Restituzione dati

Il sistema di elaborazione dati deve offrire i seguenti diagrammi e tabulati numerici in funzione del tempo:

- spostamenti trasversali;
- spostamenti verticali;
- spostamenti nel piano (deformata);
- velocità di convergenza (mm/giorno);
- fasi esecutive principali (progressive fronte, murette, arco rovescio e calotta).

I dati elaborati per ciascuna misura di ciascuna stazione vanno forniti entro la giornata in cui è stato eseguito il rilievo. È richiesta altresì una copia di tali dati anche su supporto digitale.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5103ECVROGN15LX002A00 <table border="1" data-bbox="1364 235 1495 320"> <tr> <td>Foglio 77 di 104</td> </tr> </table>	Foglio 77 di 104
Foglio 77 di 104		

10.3. Mire e prismi ottici sul rivestimento definitivo

10.3.1. Definizione

Tali misure consistono nel rilevamento e restituzione grafica e numerica degli spostamenti nel piano trasversale alla galleria, in direzione verticale e orizzontale, di 3 punti per ogni stazione di misura (in calotta e sui piedritti), posizionati sul rivestimento definitivo come illustrato nello schema in allegato, ed attrezzati con mire ottiche rilevabili mediante strumento topografico di precisione.

10.3.2. Installazione

Sono previste le installazioni di due stazione di misura in corrispondenza delle sezioni di innesto:

10.3.3. Frequenza dei rilevamenti

La lettura di zero viene eseguita all'atto del disarmo dei getti.

Successivamente l'intensità delle letture sarà la seguente:

- 1 misura alla settimana per il primo mese
- 1 misura al mese fino al termine dei lavori

10.3.4. Sistema di acquisizione

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione composta da teodolite e distanziometro elettronico che misurano le posizioni assolute della base di misura rispetto ad un sistema di riferimento tridimensionale costituito da caposalda siti in galleria. La misura permette di risalire alle coordinate spaziali delle basi con tolleranza $\pm 2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$.

10.3.5. Restituzione dati

Il sistema di elaborazione dati deve offrire i seguenti diagrammi e tabulati numerici in funzione del tempo:

spostamenti trasversali;

- spostamenti verticali;
- spostamenti nel piano (deformata);
- velocità di convergenza (mm/giorno);
- fasi esecutive principali (progressive fronte, murette, arco rovescio e calotta...).

I dati elaborati per ciascuna misura di ciascuna stazione vanno forniti entro la giornata in cui è stato eseguito il rilievo.

È richiesta altresì una copia di tali dati anche su supporto magnetico.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 78 di 104

10.4. Misure di tensione nei rivestimenti con celle di carico e barrette estensimetriche

10.4.1. Definizione

Tali misure consistono nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica dello stato tensionale entro i rivestimenti di 1a fase e definitivo, attraverso celle di carico e barrette estensimetriche, posizionate come indicato nelle figure allegate. In particolare le tensioni sulla centina verranno misurate con barrette posizionate sull'anima (intradosso ed estradosso) e con celle di carico inserite fra le piastre di giunzione della centina ad altezza delle reni, mentre quelle entro il calcestruzzo del rivestimento definitivo con barrette estensimetriche a corda vibrante, posizionate all'estradosso e all'intradosso della sezione da monitorare.

10.4.2. Installazione

Si prevede l'installazione di 3 coppie di barrette estensimetriche (1 in calotta e 2 sui piedritti) posizionate nel rivestimento di 1a fase (sull'anima delle centine) e l'installazione di 4 coppie di barrette estensimetriche a corda vibrante all'interno del rivestimento definitivo; in quest'ultimo caso devono essere installate anche delle barrette supplementari, al fine di valutare gli effetti del ritiro e della variazione di temperatura all'interno del calcestruzzo. Saranno inoltre installate 2 celle di carico fra le piastre di giunzione delle centine ad altezza delle reni o al piede delle centine stesse.

La frequenza d'installazione di tale strumentazione è:

- a) all'interno del rivestimento di prima fase:
 - n. 2 stazioni, nella zone di innesto
- b) all'interno del rivestimento definitivo (a corda vibrante):
 - n. 2 stazioni, nelle zone di innesto

10.4.3. Modalità di rilevamento

Il sistema di rilevamento dei dati avviene mediante il posizionamento di celle di carico e barrette estensimetriche, in funzione dello stato tensionale che si vuole rilevare, poste in opera nel numero e nei punti indicati in progetto (vedi allegati), con gli accorgimenti necessari per una perfetta installazione e funzionamento.

a) celle di carico

La cella di carico tipo è costituita da un corpo in acciaio inossidabile sensibilizzato da una serie di griglie estensimetriche (strain-gauges) applicate alla superficie interna del corpo stesso e isolate.

Una piastra di acciaio permette l'omogenea ripartizione del carico sull'intero corpo della cella.

La deformazione indotta dal carico alla cella viene rilevata dagli strain-gauges e trasformata in un segnale elettrico proporzionale al carico agente.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5103ECVROGN15LX002A00 <table border="1" data-bbox="1356 224 1476 315"> <tr> <td>Foglio 79 di 104</td> </tr> </table>	Foglio 79 di 104
Foglio 79 di 104		

Le celle di carico vengono impiegate fra le piastre di giunzione della centina ad altezza delle reni per valutare il carico che esse trasmettono al loro piede e quindi la pressione a cui esse sono sottoposte. Negli altri casi si usano le barrette estensimetriche.

b) barrette estensimetriche (resistive e a corda vibrante)

Le barrette estensimetriche sono composte da una barra in acciaio zincato di sezione rettangolare forata all'estremità per permettere la connessione di eventuali prolunghe ed alla quale sono applicati, nella parte centrale, estensimetri elettrici. La disposizione degli estensimetri deve permettere di compensare il segnale elettrico dagli effetti termici e dalla flessione. Strati sovrapposti di resine sono posti a protezione della parte sensibilizzata della barra per preservarne la funzionalità in caso di urti o immersione.

Le barrette estensimetriche sono sensibilizzate mediante strain-gauges collegati tra loro a ponte intero in grado di rilevare la deformazione assiale della barra. Tale deformazione induce una variazione di resistenza all'interno del ponte che viene misurata con apposita centralina o sistema automatico di acquisizione dati. Nelle barrette è inoltre applicata un'elettronica di amplificazione e conversione del segnale, grazie alla quale si possono eseguire misure allo stesso modo delle celle di carico.

Le barrette estensimetriche a corda vibrante sono costituite da un cavo in acciaio armonico teso tra due blocchi, fissati a loro volta all'anima della centina, mediante bullonamento o resinatura.

La frequenza di vibrazione del cavo di acciaio è funzione delle deformazioni della centina nella sezione considerata.

Mediante l'applicazione della legge di Hooke ($\sigma = \varepsilon \cdot E$) è possibile risalire allo stato tensionale presente.

Il campo di misura e la precisione richiesta è il seguente:

a) celle di carico

- campo di misura 0 ÷ 200 t , in funzione della sezione applicata
- sovrapp. massima 120% F.S.
- sensibilità 0.1% F.S.
- precisione 1% F.S.

b) barrette estensimetriche resistive

- campo di misura -1500 ÷ +1500 $\mu\varepsilon$
- sovrapp. massima 50 % F.S.
- precisione \leq 1% F.S.
- segnale di uscita 4÷20 mA

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 80 di 104

c) barrette estensimetriche a corda vibrante

- campo di misura -3300 ÷ +3300 $\mu\epsilon$
- sovrapp. massima 20 % F.S.
- precisione \leq 1% F.S.
- segnale di uscita Hz

10.4.4. Frequenza dei rilevamenti

Il numero minimo di rilevamenti da eseguire dopo la misura iniziale di riferimento e dopo una prima lettura da eseguirsi prima della maturazione dello spritz-beton, per ogni cella di carico / barretta estensimetrica è il seguente:

a) per il rivestimento di prima fase:

- n. 1 lettura ogni giorno con il fronte distante fino 10 m.
- n. 1 lettura ogni 3 giorni con il fronte distante fino 30 m.
- n. 1 lettura alla settimana con il fronte a distanza maggiore di 30 m fino al getto del rivestimento definitivo.

b) per il rivestimento definitivo:

- n. 1 lettura al giorno per i primi 7 giorni.
- n. 1 lettura ogni 3 giorni fino al raggiungimento del 30° giorno dall'installazione.

La frequenza delle letture successive sarà tarata in corso d'opera.

10.4.5. Restituzione dati

Il sistema di elaborazione dati richiede i seguenti diagrammi e tabulati numerici:

- carichi o tensioni in funzione del tempo;
- carichi o tensioni in funzione della distanza dal fronte di scavo;
- $\mu\epsilon$ in funzione del tempo e relativi delta rispetto lo "0".

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 81 di 104

10.5. Misure di tensione nei bulloni mediante celle di carico

10.5.1. Definizione

Tali misure consistono nel rivestimento dei livelli di tensione all'interno dei bulloni radiali di ancoraggio al contorno previsti eventualmente nel caso di sezioni di innesto consolidate al fronte e al contorno (Sezione fc), mediante l'installazione di celle di carico tra il prerinvestimento e la piastra di ancoraggio.

10.5.2. Installazione

L'installazione stazioni di misura è prevista in modo eventuale in funzione delle situazioni verificatesi in corso d'opera.

10.6. Misure di estrusione estensimetriche

10.6.1. Definizione

Tali misure consistono nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica degli spostamenti longitudinali, lungo basi di misura poste all'interno di una "colonna" estensimetrica posizionata in asse galleria in avanzamento rispetto al fronte, all'interno di un foro di sondaggio sub-orizzontale (leggermente "a bere") come indicato nelle figure allegate.

10.6.2. Installazione

Lo strumento necessario è un estensimetro tipo "sliding micrometer" o "sliding deformer", costituito da una serie di tubi in PVC, muniti di ancoraggi anulari posti a distanza di 1 metro l'uno dall'altro, collegati telescopicamente sino alla lunghezza voluta e resi solidali al foro mediante l'iniezione di miscele cementizie leggermente espansive.

Eseguito il foro di sondaggio della lunghezza ≥ 30 m viene inserita la colonna, costituita da tubi in PVC preventivamente pre-assemblati in tratte di lunghezza non superiore a 5-6 m, completando l'assemblamento durante l'installazione.

Nella medesima fase vengono posizionate le cannette per l'iniezione mediante nastro adesivo: se ne prevedono sempre almeno due, una sino a fondo foro e una sino a metà lunghezza.

Per favorire il centraggio della colonna nel foro si utilizzano distanziatori in gomma o materiale simile.

Al termine del posizionamento si procede all'iniezione di una miscela cementizia leggermente espansiva (acqua, cemento, bentonite), eventualmente additivata per accelerarne la presa.

L'iniezione viene eseguita attraverso la cannetta più profonda sino a circa metà lunghezza, quindi attraverso la cannetta superiore sino a bocca foro.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 82 di 104

Per la posizione dello strumento si veda il profilo di monitoraggio. E' prevista l'installazione di un estensimetro tipo "sliding micrometer" nella zona di allargo prima dell'innesto 1 (binario dispari).

10.6.3. *Frequenza delle letture*

La misura va effettuata a fine campo d'avanzamento. Dopo la maturazione delle iniezioni di consolidamento e/o delle cementazioni del consolidamento al fronte del nuovo campo di scavo si procede alla lettura di riferimento prima della ripresa dell'avanzamento.

Le successive letture vanno così cadenzate:

- n. 1 lettura ogni giorno, oppure una lettura ogni 3 m di avanzamento (delle due opzioni va privilegiata quella con maggior frequenza), fino a quando restano in opera almeno 12 m di tubo. Successivamente si eseguirà, se necessario, un nuovo tubo e sarà abbandonato il vecchio. Durante le lavorazioni che comportano fermi del fronte (consolidamento, arco rovescio ecc.) sarà necessario eseguire una lettura appena terminato lo scavo e una appena prima di riprenderlo.

10.6.4. *Sistema di acquisizione*

Si compone di:

- 1 sonda della lunghezza pari a 1.00 m, composta schematicamente da due teste sferiche, da un trasduttore di spostamento di tipo induttivo e da un tubo di protezione a tenuta idraulica.

Il posizionamento della sonda deve avvenire mediante l'uso di aste che permettano di far scorrere lo strumento da una base di misura alla successiva, di ruotarlo e di mandarlo in battuta contro due ancoraggi anulari successivi, che sono muniti di sede conica.

L'accoppiamento testa sferica – ancoraggio conico deve assicurare un posizionamento della sonda con tolleranza massima di 0.02 mm/m.

- 1 centralina di lettura collegata a un calcolatore portatile che permetta l'acquisizione automatica dei dati.

10.6.5. *Restituzione dati*

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- spostamenti relativi di ciascuna coppia di ancoraggi adiacenti in funzione della profondità (grafico degli spostamenti differenziali);
- sommatoria degli spostamenti differenziali (spostamenti integrati o cumulativi), rispetto alla base più profonda che viene ipotizzata fissa.

Tale restituzione deve avvenire nell'arco della giornata in cui è stata redatta la misura.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5103ECVROGN15LX002A00 <table border="1" data-bbox="1356 224 1476 315"> <tr> <td>Foglio 83 di 104</td> </tr> </table>	Foglio 83 di 104
Foglio 83 di 104		

10.7. Misure di estrusione topografica

Tali misure consistono nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica degli spostamenti superficiali del fronte di scavo in senso longitudinale, valutati su nove punti per ogni stazione di misura, attrezzati con mire ottiche che consentano la lettura mediante strumento topografico di precisione.

10.7.1. Installazione

Le basi di misura sono costituite da 9 supporti di dimensioni adeguate, vincolati alla superficie del fronte, ai quali devono essere fissati i target riflettenti.

La frequenza di esecuzione di tali misure è di massima pari a n°1 stazione ogni due campi di avanzamento

Inoltre andrà eseguito un rilevamento a ogni fermo prolungato del fronte.

10.7.2. Frequenza delle letture

Il numero minimo di letture da eseguire è il seguente:

- lettura di riferimento prima del consolidamento del fronte;
- n. 1 lettura al termine degli interventi di consolidamento;
- n. 1 lettura immediatamente prima di riprendere gli scavi.

10.7.3. Sistema di acquisizione

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione composta da teodolite e distanziometro elettronico che rilevano le posizioni assolute delle basi di misura rispetto a un sistema di riferimento tridimensionale fisso costituito da capisaldi siti in galleria.

Le misure permettono di risalire alle coordinate spaziali delle nove basi e quindi allo spostamento in direzione longitudinale delle stesse.

La tolleranza massima consentita è di $\pm 2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$.

10.7.4. Restituzione dati

Il sistema di elaborazione dati avviene su apposito software e si richiede la restituzione grafica e numerica di:

- spostamenti lungo l'asse della galleria per ogni punto;
- spostamenti integrati nelle due direzioni x e y.

Tutti i dati elaborati vanno forniti in tempo reale.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 84 di 104

10.8. Estensimetri multibase o estensimetri incrementali

10.8.1. Definizione

La posa in opera all'interno di un foro di sondaggio comunque inclinato di una tubazione per misure estensimetriche incrementali consente, attraverso l'uso di una apposita sonda removibile, il rilievo delle variazioni di lunghezza lungo la tubazione conseguenti a deformazioni nel terreno in cui è inserita. Il principio di funzionamento si basa sull'induzione elettromagnetica che consente di determinare la posizione e gli spostamenti di appositi anelli metallici installati originariamente ad 1 metro l'uno dall'altro attorno al tubo guida e cementati alle pareti del foro. La misura può essere accoppiata a misure inclinometriche, in modo da determinare gli spostamenti secondo tre componenti tra loro ortogonali. Anche in questo caso gli spostamenti verticali misurati sono rappresentati come differenza tra la lettura n-esima e la lettura di zero.

10.8.2. Installazione

Le principali applicazioni dell'estensimetro incrementale tipo Increx sono essenzialmente:

- monitoraggio delle deformazioni degli strati di terreno sovrastanti e adiacenti le gallerie, opere in sotterraneo durante le fasi di scavo, con applicazioni degli strumenti in fori verticali eseguiti dal piano campagna;
- monitoraggio delle deformazioni degli strati di terreno interessati dalla realizzazione di opere civili durante le fasi di scavo, con applicazioni degli strumenti in fori verticali eseguiti dal piano campagna;
- controllo della stabilità delle opere di contenimento, con applicazioni analoghe al punto precedente;
- controllo dei movimenti del terreno in generale.

Le fasi di installazione sono quelle previste anche per gli inclinometri, l'unica differenza riguarda la fase di assemblaggio dei tubi durante la quale bisogna posizionare gli anelli metallici a distanza di 1 metro l'uno dall'altro mediante l'utilizzo di un'apposita dima. (per il resto vale quanto detto precedentemente a riguardo dell'inclinometro).

È prevista l'installazione di una sezione strumentata radiale con n°3 estensimetri posizionati rispettivamente sui due paramenti della galleria e in mezzzeria, alla sezione dell'innesto1 (binario dispari).

Non sono previste stazioni di misura da piano campagna.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>IG5103ECVROGN15LX002A00</p>	<p>Foglio 85 di 104</p>

10.8.3. Descrizione e modalità esecutive

Tubi

I tubi per l'estensimetro incrementale tipo increx sono dello stesso tipo di quelli utilizzati per l'inclinometro infatti è possibile condurre sia letture inclinometriche che estensimetriche nello stesso tubo (vale quanto detto precedentemente a riguardo dell'inclinometro), a differenza che per le misure estensimetriche è necessario in fase di installazione posizionare degli anelli metallici all'esterno del tubo ad una distanza di 1m l'uno dall'altro.

Sonda Estensimetrica

La sonda estensimetrica è costituita da un contenitore cilindrico con lunghezza di 1,55m, munito di due carrelli per lo scorrimento nelle guide dei tubi; al suo interno è alloggiato il sensore di misura ad induzione elettromagnetica.

La distanza tra il carrello superiore e quello inferiore della sonda, è circa 1,40m. La sonda dovrà permettere le misure all'interno di tubi aventi diametro tra le guide da 63,5mm. Le letture estensimetriche sono di tipo comparativo (gli eventuali spostamenti nel tempo verranno riferiti alla lettura iniziale), fondamentale requisito delle misurazioni è la ripetibilità. Pertanto la sonda deve essere realizzata secondo elevati standard qualitativi e i materiali impiegati devono rispondere a severe specifiche prestazionali rispetto ai diversi fattori d'esercizio che possono alterare nel tempo la sensibilità e precisione della sonda. Inoltre per assicurare la precisione delle letture estensimetriche, è altrettanto essenziale che la sonda sia sottoposta periodicamente ad un accurato controllo di taratura.

Caratteristiche tecniche

- tipo di misura estensimetrica
- tipo di sensore ad induzione elettromagnetica
- campi di misura $\pm 20\text{mm/m}$
- precisione sensore $\pm 0.01\text{ mm}$
- campo di temperatura $-5 +105\text{ }^\circ\text{C}$
- carrello porta sensore sonda a rotelle basculanti in acciaio inox
- interasse rotelle 140 mm
- sensibilità sensore 0.001mm
- precisione sistema $\pm 0.02\text{mm}$.

Centralina Di Misura

E' uno strumento di misura di precisione, contenuto in un involucro realizzato in robusto materiale con adeguato grado di protezione, con il quale si:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5103ECVROGN15LX002A00 <table border="1" data-bbox="1369 232 1476 315"> <tr> <td>Foglio 86 di 104</td> </tr> </table>	Foglio 86 di 104
Foglio 86 di 104		

- alimentano i sensori della sonda;
- amplificano i segnali rilevati
- registrano o visualizzano i valori di lettura.

Aste

Il sistema prevede l'utilizzo di aste in ABS lunghe 2m, con aggancio maschio femmina. Durante la fase di lettura, saranno esse a sostenere in peso della sonda senza caricare eccessivamente il cavo di connessione garantendo una precisione maggiore.

Collaudo della tubazione estensimetrica e lettura iniziale di riferimento

Le operazioni di controllo relativa all'accessibilità del foro e alla sua idoneità alle misure sono quelle previste per l'inclinometro.

Inoltre si dovrà effettuare la calibrazione iniziale della tubazione mediante sonda estensimetrica incrementale avente precisione non inferiore a 1 μm , registrando le differenze di lunghezza di tutti i tratti strumentati rispetto alla lunghezza di riferimento di un metro. Prima dell'esecuzione della lettura di zero la sonda estensimetrica incrementale dovrà essere introdotta in apposito tubo di calibrazione e dovrà essere controllato, ed eventualmente regolato, il valore letto al display della centralina, a stabilizzazione termica avvenuta, tenendo conto della dilatazione termica del tubo di calibrazione. La determinazione dello zero di riferimento dovrà avvenire eseguendo almeno tre letture sulla medesima tubazione con calcolo del valore medio. Le letture sulla tubazione estensimetrica dovranno essere eseguite partendo da fondo foro, a stabilizzazione termica avvenuta, con passo di 1 m.

La tubazione estensimetrica verrà dichiarata idonea se tutte le distanze relative tra i riscontri di misura installati risulteranno comprese entro la tolleranza di ± 5.0 mm rispetto alla distanza nominale di 1 m.

10.8.4. Estensimetri fissi da foro (acquisizione automatica dati)

Gli estensimetri fissi da foro vengono installati all'interno di tubi inclinometrici attrezzati con speciali anelli magnetici allo scopo di effettuare misure in continuo di cedimenti o spostamenti del suolo lungo l'asse della tubazione. A seconda delle applicazioni, la catena di sonde viene ancorata al fondo del foro per ottenere un riferimento profondo, oppure sospesa alla testa del tubo con un cavetto in acciaio per un riferimento di superficie. Gli estenso-inclinometri fissi sono dotati inoltre di un sensore inclinometrico biassiale; tale soluzione permette di assemblare delle catene strumentali in grado di fornire un profilo tridimensionale dei movimenti della perforazione entro cui vengono installati. Collegando gli estensimetri al sistema di acquisizione dati è possibile acquisire automaticamente le misure e trasmetterle via modem GSM presso il proprio ufficio ed attivare un sistema di allertamento.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 87 di 104

10.8.5. *Frequenza delle letture*

- n. 1 lettura ogni giorno con il fronte distante fino +-10 m.
- n. 1 lettura ogni 3 giorni con il fronte distante fino +-30 m.
- n. 1 lettura alla settimana fino a stabilizzazione avvenuta.

10.8.6. *Restituzione Dati*

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (sito, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- caratteristiche del tubo estensimetrico installato;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo estensimetrico;
- coordinate assolute della estremità superiore del tubo estensimetrico (guida di riferimento);
- risultati della lettura iniziale di riferimento;
- osservazioni e note eventuali.

I dati vengono graficati nel diagramma “cedimenti verticali - profondità” che permette di valutare l'andamento delle deformazioni dell'ammasso lungo la verticale dello strumento.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5103ECVROGN15LX002A00
	Foglio 88 di 104

10.9. Rilievo geologico-geostrutturale dei fronti di scavo

Tali rilievi consistono nel rilevamento e restituzione grafica e numerica delle caratteristiche geologiche-geostrutturali e geomeccaniche del fronte di scavo, durante l'avanzamento.

Vengono operate le seguenti distinzioni:

- rilievi di tipo “analitico”
- rilievi di tipo “speditivo”
- rilievi di tipo “pittorico”

I rilievi dovranno essere eseguiti ad ogni campo di avanzamento, alternando i diversi tipi di rilievo

I rilievi potranno essere effettuati in modalità pittorico-descrittiva anzichè analitica qualora l'ammasso non presentasse particolari variazioni rispetto ai rilievi precedenti.

In ogni caso il numero di rilievi richiesti è da intendersi come numero minimo; eventuali passaggi litologici o litostratigrafici di particolare rilevanza verranno analizzati con un rilievo apposito secondo le indicazioni fornite dal progettista.

Durante lo svolgimento di tali rilievi può essere previsto il prelievo di campioni per lo svolgimento di prove di laboratorio.

10.9.1. Rilievi di tipo analitico

Con questo tipo di rilievi sono determinate:

- le caratteristiche litologico-stratigrafiche e strutturali;
- le caratteristiche geotecniche e geomeccaniche.

Caratteristiche litologico-stratigrafiche e strutturali

a) Con riferimento alla litologia dell'ammasso, andranno rilevate le seguenti caratteristiche dell'ammasso:

- 1) Genesi del litotipo;
- 2) litologia e caratteristiche petrografiche macroscopiche ;
- 3) condizioni (grado e tipo di cementazione/compattezza) ;
- 4) granulometria ;
- 5) stato d'alterazione ;
- 6) colore;
- 7) assetto generale dell'ammasso individuabile a scala del fronte:
 - A. stratificazione
 - B. scistosità

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5103ECVROGN15LX002A00</p>	<p>Foglio 89 di 104</p>

- C. clivaggio
- D. inclinazione
- E. direzione
- F. spessore.

b) Andranno inoltre indicate le seguenti caratteristiche delle principali discontinuità eventualmente presenti sul fronte:

- tipo (faglia, fratture, contatto, etc.);

- 1) localizzazione;
- 2) giacitura (inclinazione, direzione);
- 3) tipo di riempimento;
- 4) JRC (per discontinuità in ammassi lapidei);
- 5) JCS (per discontinuità in ammassi lapidei).

c) Infine si dovranno riportare eventuali osservazioni riguardo ad esempio:

- 1) Condizioni idrauliche e venute d'acqua valutata sugli ultimi 8 -10 m di scavo;
- 2) distacchi gravitativi;
- 3) interventi di consolidamento e confinamento effettuati;
- 4) varie (imprevisti, variazioni operative ecc.).

Con riferimento al punto a):

- nella descrizione delle caratteristiche di cui al punto 2, eseguita visivamente, si dovrà dare precedenza alle dimensioni ad affinità genetica o composizionale relegando ai soli casi di necessità la scelta del criterio granulometrico tessiturale. Tale considerazione risulta importante ai fini della comprensibilità delle caratteristiche primarie del materiale da cui discendono tutte le altre. Dovranno pertanto evitarsi classificazioni litologiche puramente granulometriche avulse dalle caratteristiche petrografico-composizionali.
- Il punto 3 dovrà essere descritto individuando il grado ed il tipo di cementazione e riferendosi ad una scala riconosciuta internazionale nella descrizione della compattezza.
- Le caratteristiche granulometriche (4) dovranno essere stimate visivamente per tutti i materiali differenziati ed affioranti sul fronte di scavo, relegando, se ritenuto necessario, ad una determinazione di laboratorio su campioni rappresentativi prelevati manualmente l'esatto contenuto granulometrico del materiale. In entrambi i casi si dovrà utilizzare la nomenclatura proposta dall'AGI.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 90 di 104

- Il grado di alterazione (5) dovrà essere indicato secondo una delle metodologie correnti o almeno utilizzando tre gradi come per esempio: sano, mediamente alterato, completamente alterato.
- Il colore (6) sarà riferito prevalentemente al materiale non alterato secondo una scala nota.
- La stratificazione (7) riscontrabile sul fronte sarà descritta con il maggior dettaglio possibile e misurata se possibile direttamente, altrimenti indirettamente con un fotogramma tarato (previo posizionamento di una stadia o una bindella sul metrica fronte). La descrizione della successione dovrà eseguirsi anche graficamente con la rappresentazione del fronte di scavo e dei materiali costituenti.
- L'assetto giaciturale (inclinazione, immersione) verrà misurato con la bussola rilevando le caratteristiche di immersione (dip) e direzione di immersione (dip direction).

Con riferimento al punto b):

Per ammassi lapidei, si tratta delle caratteristiche mesostrutturali secondarie dell'ammasso roccioso rappresentate dal reticolo di discontinuità composto da faglie, fratture, diaclasi, ecc.

Il loro rilievo sarà eseguito secondo le prescrizioni ISRM (International Society of Rock Mechanics) e debitamente restituito attraverso le rappresentazioni grafico-numeriche consuete (proiezioni stereografiche, istogrammi statistici, ecc.).

Le caratteristiche da rilevare sono descritte al punto b):

- la tipologia e natura dei piani di discontinuità principali va descritta distinguendo se si tratta di fratture, faglie, diaclasi, indicandone in tabella e sul rilievo pittorico l'esatta localizzazione.
- La giacitura dei singoli piani di discontinuità (dip e dip direction) va rilevata mediante la bussola geologica e riportata numericamente e graficamente sulla tabella allegata.
- La spaziatura delle discontinuità va valutata mediante l'ausilio di una bindella metrica e riportata numericamente e graficamente sulla tabella allegata. Sulla tabella va inoltre indicata l'apertura delle discontinuità stesse.
- La scabrezza delle superfici di discontinuità (JRC) va valutata numericamente, secondo quanto prescritto dall'ISRM con gli idonei strumenti.
- Il tipo di riempimento va qualificato secondo metodi speditivi evidenziando anche la natura (argilloso, limoso, ecc.).
- Il parametro JCS sarà stimato secondo le due possibilità alternative descritte:
 - **COMPRESSIONE MONOASSIALE** – sarà eseguito un adeguato numero di determinazioni speditive con pressa portatile o nel laboratorio di cantiere su campioni cilindrici con rapporto altezza-diametro pari a 2 estratti da carotaggi al fronte o sagomati da prelievi manuali al fronte. Dovrà essere adottata la metodologia sperimentale ISRM.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 91 di 104

- POINT LOAD TEST – sarà eseguito un adeguato numero di determinazioni con apparecchiatura “Point Load” in situ utilizzata, elaborata ed interpretata secondo le metodologie riconosciute internazionalmente.
- Nel caso di prospezioni in avanzamento, il parametro RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION) verrà determinato, secondo un criterio ritenuto più affidabile, tramite correlazioni con la spaziatura dei giunti precalcolate per quella particolare formazione o facies geologica.

Con riferimento al punto c):

- la ritenzione idrica sarà stimata visivamente sul materiale e descritta con appropriati aggettivi (asciutto, umido, saturo), mentre nel caso di venute idriche di una certa importanza (non semplici stillicidi) dovranno effettuarsi misurazioni quantitative seppur approssimate. In ogni caso si descriverà la loro localizzazione ed eventualmente l'evoluzione.
- Vanno evidenziate le anomalie rispetto alla geometria teorica del fronte di scavo e dovute a fuorisagoma, fornelli, distacchi gravitativi, ecc., riportando sull'apposita scheda la valutazione in metri cubi ed indicando sul rilievo pittorico l'ubicazione.
- Riguardo agli interventi di consolidamento e contenimento presenti all'atto del rilievo, vanno segnalati i più significativi, riportando ad esempio il numero dei bulloni, il passo ed il tipo delle centine, relativamente alla sezione tipo impiegata in quel momento.

Tutte le informazioni di cui ai punti a), b), c), sopra descritte vanno consegnate entro la giornata in cui avviene il rilievo per le determinazioni del progettista riguardo la classificazione geomeccanica (appartenenza al gruppo, curva intrinseca, ecc.).

Caratteristiche geotecniche-geomeccaniche

La determinazione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità dell'ammasso, se eventualmente richieste dal progettista, può venire valutata in maniera diretta mediante prove in situ e/o di laboratorio su campioni carotati direttamente dal fronte di avanzamento.

Per le prove in situ si prevede:

1. Pressiometro tipo MENARD o autoperforante (tipo Camkometer) per i terreni;
2. Scissometro in foro (Vane test) per i terreni;
3. Dilatometro in foro.

Nell'utilizzo del primo strumento ci si dovrà attenere alla metodologia corrente internazionale, sancita in particolare modo dalla sperimentazione e dall'esperienza tecnica sviluppatasi intorno al pressiometro Menard. Le prove saranno suborizzontali, di lunghezza superiore a 3 metri con diametro nominale adatto per accogliere lo strumento pressiometrico. Le prove saranno eseguite

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 92 di 104

nel tratto finale del foro. I materiali di perforazione potranno essere conservati per analisi granulometriche.

Le operazioni da eseguirsi con lo strumento 2) saranno sostanzialmente le stesse, potendo limitare la profondità dei fori a circa 2-2.5 metri.

Il pressiometro autoperforante, 1), il cui impiego è ovviamente limitato a terreni soffici, non richiede l'esecuzione di fori al fronte.

Nella prova dilatometrica, 3), andranno ricercati in particolare le indicazioni sullo stato tensionale in situ e sul modulo di deformabilità del terreno e/o roccia.

Per le prove di laboratorio, quando richieste, si prevede:

1. Prove di classificazione (granulometrie, limiti, ecc.)
2. Prove di compressione ad espansione laterale libera
3. Prove triassiali
4. Prove di taglio su giunto
5. Prove di estrusione triassiale.

I campioni estratti devono essere indisturbati, in particolar modo se destinati alle determinazioni delle caratteristiche meccaniche e di estrusione d'ammasso.

Il trasporto e la conservazione dei campioni deve essere effettuato in modo da minimizzare eventuali modificazioni (temperatura, umidità).

Allo stesso modo, la preparazione dei campioni da sottoporre a prove meccaniche deve avvenire in modo da ridurre il disturbo, impiegando metodi quali sovracarotaggi, estrusione orizzontale e verticali, ecc.

10.9.2. Rilievo di tipo speditivo

Secondo le frequenze prima indicate e ogni qualvolta vi sia un passaggio litologico o tettonico sono richieste:

- Caratteristiche litologiche-stratigrafiche e strutturali, che verranno valutate attraverso il rilevamento e la restituzione grafica e numerica di quanto già descritto in precedenza per i rilievi analitici, con le seguenti precisazioni:
 - l'assetto generale dell'ammasso individuato alla scala del fronte, potrà venire valutato anche qualitativamente;
 - la spaziatura delle discontinuità potrà venire valutata anche qualitativamente,
 - il parametro JRC verrà valutato qualitativamente;

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 93 di 104

- il parametro JCS verrà valutato secondo la metodologia H.R. (Hammer Rebound) secondo le prescrizioni già citate ISRM.

10.9.3. Rilievo di tipo speditivo-pittorico

Esso ha la funzione fondamentale di conferma/verifica del rilievo speditivo più vicino, e si compone in sostanza di un rilievo qualitativo dell'ammasso senza il rilevamento diretto dei dati. Questo tipo di rilievo prevede la restituzione grafica delle caratteristiche principali dell'ammasso rilevabili alla scala del fronte.

10.9.4. Archiviazione dei dati geologici

I dati relativi alle caratteristiche litologico-stratigrafiche e strutturali, per i tipi di rilievo previsti, devono essere archiviati mediante apposito programma con elaboratore elettronico, in modo da poterne disporre in qualunque momento durante la costruzione dell'opera. L'archivio andrà costituito mediante singole schede, suddivise per singole tratte di ogni galleria in funzione degli attacchi previsti nel programma lavori, su ognuna delle quali devono essere rappresentate in opportuna scala i dati necessari con particolare riguardo a:

- nome e tratta di galleria in esame;
- coperture;
- progressive;
- sezione longitudinale;
- litotipo e litologia;
- condizioni (grado di cementazione/compattezza);
- stato (grado di alterazione);
- assetto;
- caratteristiche di discontinuità;
- osservazioni.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 94 di 104

10.10. Indagini geognostiche in avanzamento

Qualora si renda necessario in corso d'opera potranno essere predisposte indagini geognostiche in avanzamento in zone non coperte da indagini di superficie. In linea generale in quest'opera di tali indagini eseguite mediante sondaggi di lunghezza pari a 30-50m dal fronte di scavo, comunque definiti in funzione delle reali necessità, se ne prevede uno nella zona di raccordo tra la finestra di accesso e la zona di allargo.

10.11. Definizione delle soglie di attenzione e di allarme

Il controllo mediante monitoraggio si basa principalmente sulla definizione di soglie aventi lo scopo di segnalare l'instaurarsi di una situazione deformativa e/o tensionale particolare. Sulla base dei valori raggiunti dai parametri di controllo in funzione dei valori di soglia definiti, vengono attuate eventuali azioni e contromisure.

I valori fissati per tali soglie sono funzione dei risultati previsti dai calcoli di progetto, relativamente a spostamenti, deformazioni, tensioni.

Questi limiti sono definiti come:

Soglia di attenzione: è definito come una quota parte delle risultanze delle sollecitazioni (o delle deformazioni) di progetto; il superamento di questo limite implica l'incremento della frequenza delle misure, allo scopo di stabilire e monitorare la velocità con la quale il fenomeno si evolve, in modo da valutare il potenziale instaurarsi di eventi e rapida evoluzione che potrebbero, in determinate circostanze, risultare incontrollabili.

Soglia di allarme: definita in funzione del livello deformativo e tensionale, più gravoso per una determinata situazione; il suo superamento implica il coinvolgimento della Direzione Lavori per la valutazione di opportune contromisure.

Le contromisure da adottare in caso di superamento dei limiti di allarme, hanno lo scopo di riportare la situazione reale entro i limiti previsti in progetto.

Per un maggior dettaglio relativamente alle soglie di attenzione e di allarme si rimanda agli specifici elaborati.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 95 di 104

11. CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state descritte le linee guida per l'esecuzione dell'opera e il programma di monitoraggio previsto.

Per quanto riguarda le linee guida sono state pertanto fornite indicazioni circa l'applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità previste, la tecnica di scavo adottata e criteri di scelta, le fasi costruttive.

Il programma di monitoraggio, finalizzato alla valutazione delle caratteristiche dell'ammasso e del suo comportamento tenso-deformativo durante lo scavo, si articola in:

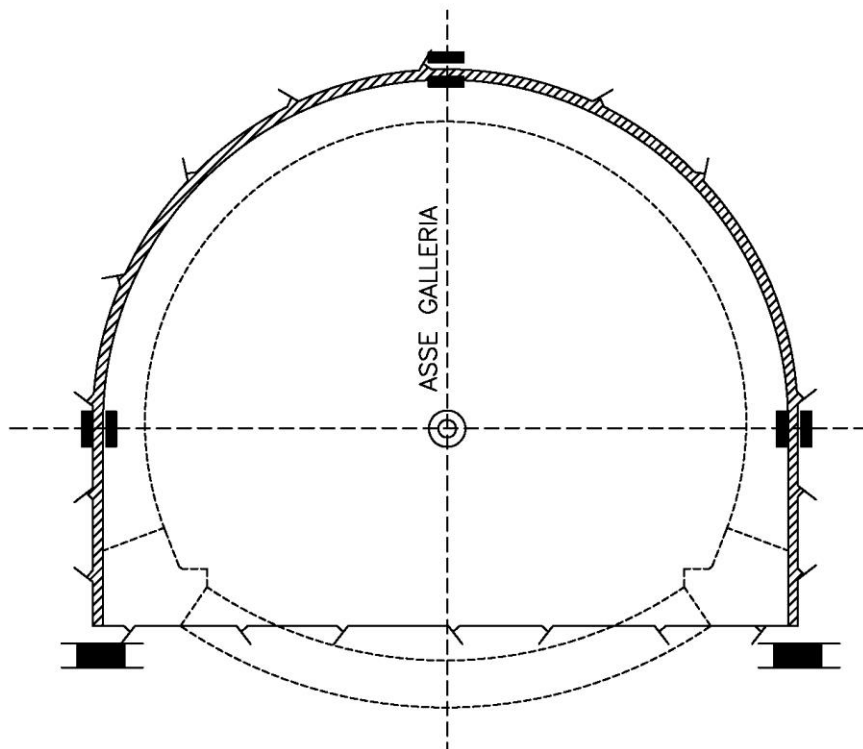
- misure di convergenza a cinque punti;
- mire e prismi ottici sul rivestimento definitivo;
- misura delle tensioni nei prerivestimenti con celle di carico e barrette estensimetriche;
- misura delle tensioni nei rivestimenti definitivi mediante barrette estensimetriche a corda vibrante;
- misure d'estrusione estensimetriche e/o topografiche;
- misure di tensione mediante celle di carico nei bulloni;
- misure estensimetriche da piano campagna o radiali;
- rilievo geologico-geostrutturale dei fronti di scavo;
- indagini geognostiche in avanzamento e prelievo di campioni.
- misure con estensimetri multi-base o estensimetri incrementali




Di tutte le tipologie di misure da eseguire, sono state fornite indicazioni circa le strumentazioni e le modalità esecutive, il numero e la frequenza delle indagini.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5103ECVROGN15LX002A00	Foglio 96 di 104

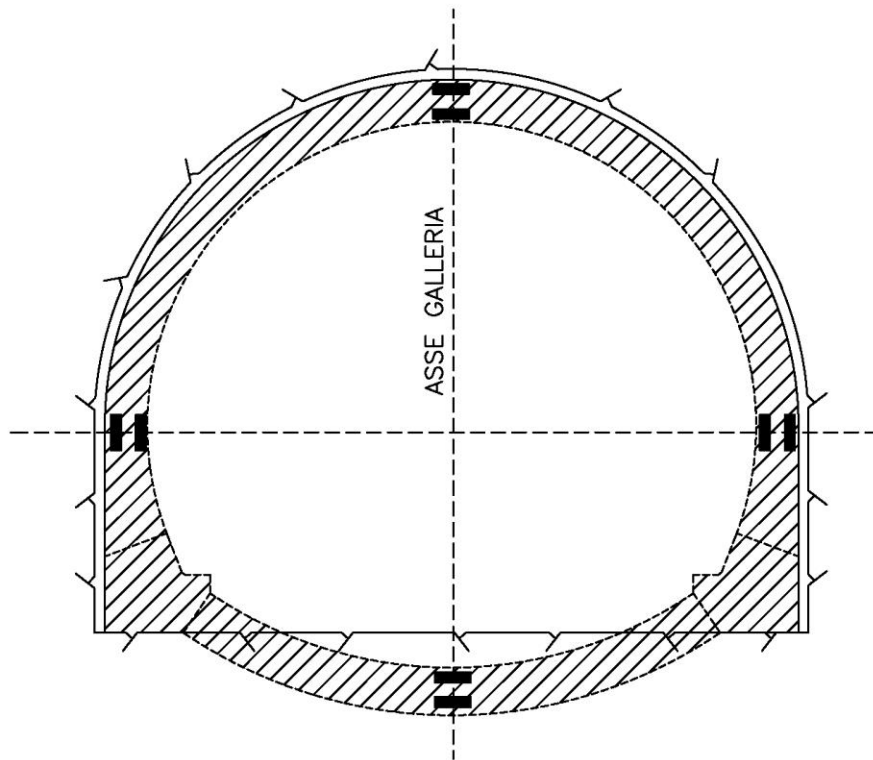
ALLEGATO – SCHEMI DI MONITORAGGIO TIPOLOGICI

Scavo in tradizionale monitoraggio interno
rivestimento di 1° fase (provvisorio)
Sistema di misura stato tensionale
Estrusione al fronte



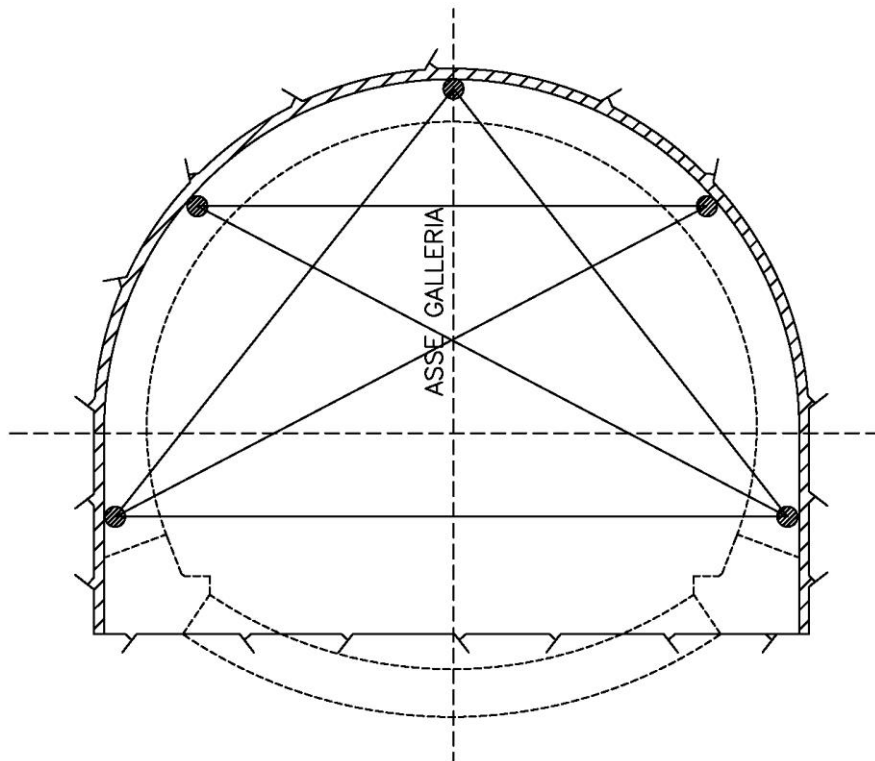
	Punto di misura estrusione al fronte
	Cella di carico a piede centina
	Coppia di barrette estensimetriche

Scavo in tradizionale monitoraggio interno
Sistema di misura stato tensionale
nel rivestimento di 2° fase (definitivo)

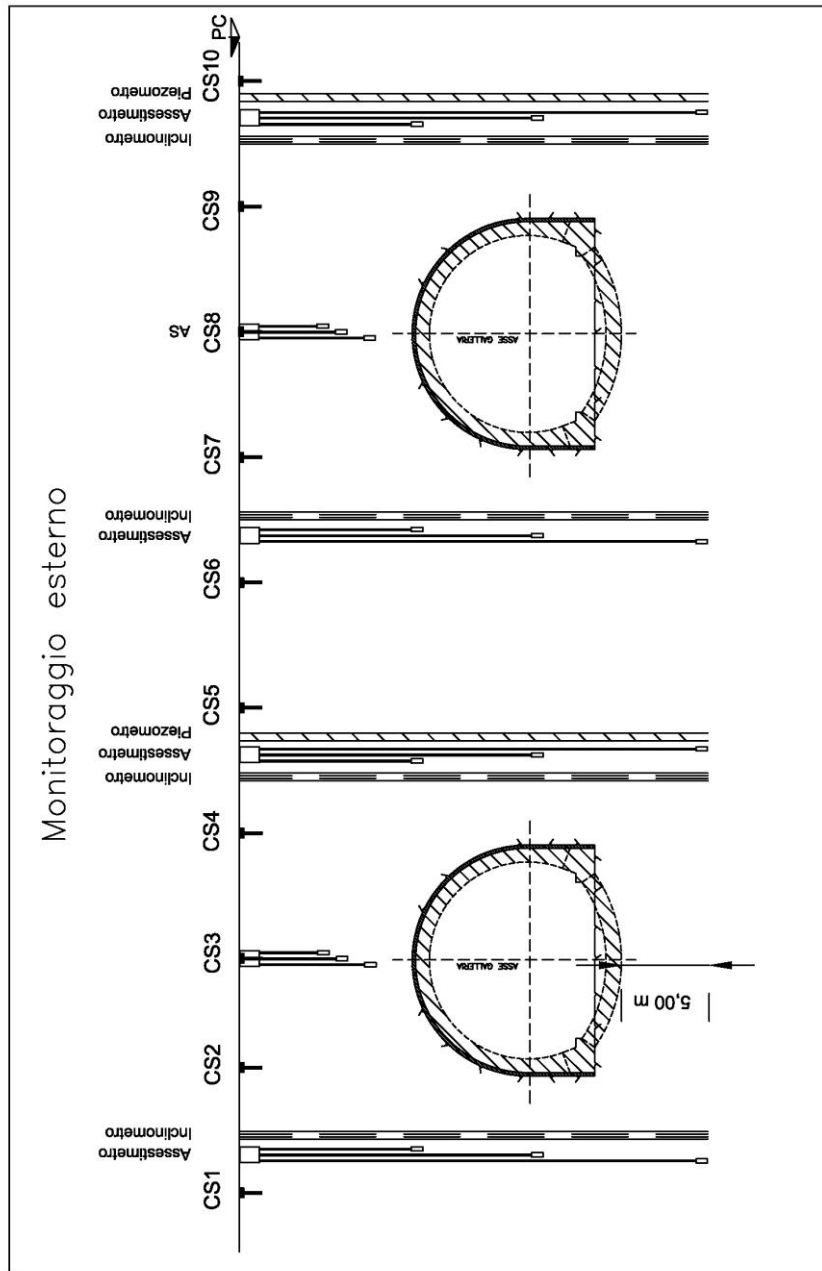


 Coppia di barrette estensimetriche

Scavo in tradizionale
Disposizione punti di misura
per convergenze



Punto di misura per convergenze



FASE DI VERIFICA
IN CORSO D'OPERA

RILIEVO GEOLOGICO-STRUTTURALE DEL FRONTE

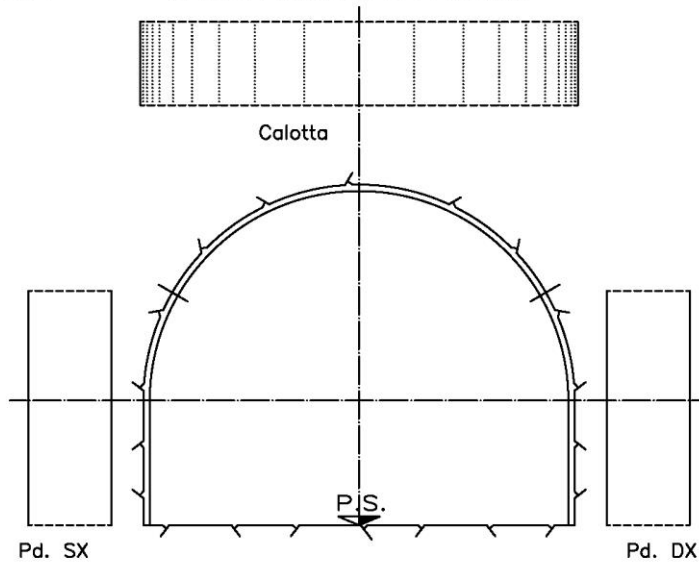
GALLERIA:
Imbocco:.....

Progr. Ass.:
Sez. applicata:

RILIEVO GEO-STRUTTURALE

CARATTERISTICHE ROCCIA	COND.	COMPATTA	
		POCO FRATTURATA	
		FRATTURATA	
	STATO	SANA	
		POCO ALTERATA	
		ALTERATA	
		NESSUNO	
	ASSETTO	STRATIFICAZIONE	
		SCIOSITA'	
		CLIVAGGIO	
	INCLINAZIONE (°)		
	DIREZIONE (*)		
	SPESSORE (cm)		
CARATTERISTICHE DISCONTINUITA'	TIPO	FAGLIA	
		FRATTURA	
	LOCALIZZ.	PIEDRITTO SX	
		PIEDRITTO DX	
		ENTRAMBI	
		ANDAMENTO IPOTETICO	
	INCLINAZIONE (°)		
	DIREZIONE (*)		
	APERTA		
	CHIUSA		
REMP.	SPESSORE (cm)		
	PROGETTO (cm)		
	CEMENTATO		
	PLASTICO		
	SCIOLTO		
	JRC		
	JCS (Mpa)		
	ASSENTE		
	STILLICIDIO		
	Q < 1L/sec		
Q > 1L/sec			
DISTACCHI	ASSENTI		
	PIEDRITTO SX		
	PIEDRITTO DX		
	CALOTTA		
	V < 0.6mc		
	0.6mc < V < 1.0mc		
	V > 1.0mc		
	ASSENTI		
	RETE ELETTROSALDATA		
	CENTINE		
SPRITZ-BETON			
CHIODI SX			
CHIODI DX			
CHIODI CALOTTA			
CONSOLIDAMENTI	VTR FRONTE (N°)		
	VTR CONTORNO (N°)		
	PRETAGLIO (sp. cm)		
	J.G. CONTORNO		
	J.G. FRONTE		
	INFILAGGI		
	DRENAGGI (N°)		

RILIEVO PITTORICO DEL FRONTE



LEGENDA GEOLOGICA:

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

DESCRIZIONE:

.....

FASE DI VERIFICA
IN CORSO D'OPERA

RISPOSTA DEFORMATIVA DEL CAVO

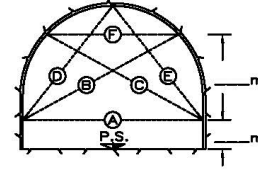
GALLERIA:

Imbocco:.....

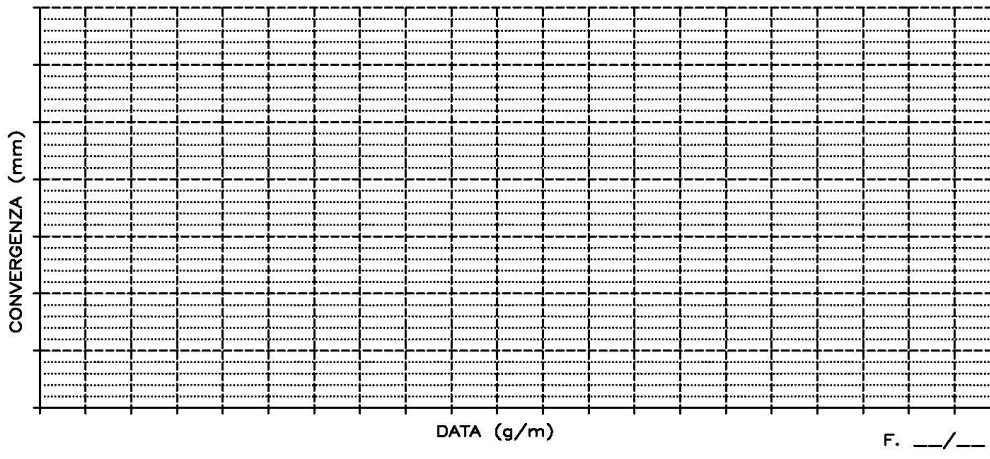
STAZIONE N° LETTURA:

Pr. Ass.:..... Pr. Rel.:

Sez. applicata:.....



N°	Data Ora	Letture (mm)	Converg. (mm)	Gradiente (mm/g)	Progressive e distanze				Note
					Fronte	A.R.	Piedr.	Rivest.	



F. ___/___



FASE DI VERIFICA IN CORSO D'OPERA

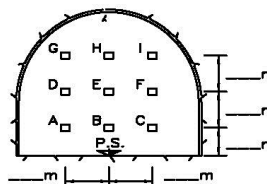
RISPOSTA DEFORMATIVA DEL FRONTE

GALLERIA:
Imbocco:.....
Sez. applicata:.....

SLIDING DEFORMETER N°:
Pr. installazione:.....
Data installazione:.....

Rilievo topografico del fronte:

Progr.:



Letture di zero (data):

Letture estrusione:

N°	Data	Simbolo	Lavorazioni effettuate
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Caposaldo	Estrusione (mm)
A	
B	
C	
D	
E	
F	
G	
H	
I	

SPOSTAMENTI DIFFERENZIALI

Table with grid for differential displacements. Vertical axis: ESTENSIONE (mm/m)

SPOSTAMENTI INTEGRATI

Table with grid for integrated displacements. Vertical axis: ALLUNGAMENTO (mm)