

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 VALICO CAMERONE TIPO B2- INTERCONNESSIONE VOLTRI  
Binario Pari  
Relazione di monitoraggio e Linee guida**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing. P.P. Marcheselli	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 4	E	C V	R O	G N 1 4 B X	0 0 2	A

Progettazione :								
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	Rocksoil 	24/09/2014	Rocksoil 	26/09/2014	A. Palomba 	30/09/2014	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R
A01	Modifica lotto costruttivo	Rocksoil 	26/07/2016	Rocksoil 	27/07/2016	A. Mancarella 	29/07/2016	

n. Elab.:	File: IG5105ECVROGN14BX002A01
-----------	-------------------------------



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>IG5105ECVROGN14BX002A00</p>	<p>Foglio 3 di 99</p>

## INDICE

INDICE.....	3
1 INTRODUZIONE.....	7
2 NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI.....	8
2.1 RACCOMANDAZIONI .....	10
3 MATERIALI IMPIEGATI.....	11
3.1 Consolidamenti e rivestimenti provvisori.....	11
3.2 Rivestimenti definitivi .....	13
3.3 Valori di verifica.....	13
4 DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	14
5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO.....	20
5.1 Inquadramento Geologico – Geomorfologico - Idrogeologico .....	20
5.1.1 Condizioni geologiche attese in corrispondenza dell'opera .....	21
5.1.2 La Formazione delle Argille a Palombini.....	22
5.2 Assetto idrogeologico dell'area .....	22
5.2.1 Complesso 15 (aP, dM, d", f, Mn, Se") .....	23
5.2.2 Condizioni idrogeologiche attese in corrispondenza dell'opera .....	24
5.3 Inquadramento Geotecnico .....	25
6 PREVISIONI SUL COMPORTAMENTO DEGLI AMMASSI ALLO SCAVO (FASE DI DIAGNOSI) .....	28
6.1 Calcolo e determinazione delle categorie di comportamento allo scavo .....	29
7 LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO.....	31
7.1 Definizione delle caratteristiche geologiche-geomeccaniche dell'ammasso .....	33
7.2 Risposta deformativa del fronte e del cavo.....	35
7.3 Fasi esecutive e cadenze di avanzamento .....	36
7.4 Procedura di applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità .....	36
8 DESCRIZIONE DELLE FASI ESECUTIVE E DELLE SEZIONI TIPO DI SCAVO39	
8.1 Fasi esecutive .....	39
8.2 Analisi del Rischio.....	44
8.3 Analisi dei rischi lungo il tracciato del camerone tipo B2 .....	44
8.4 Sezioni tipo di avanzamento .....	45
8.4.1 Sezione tipo 1 .....	46
8.4.2 Sezione tipo 2 .....	52
8.4.3 Sezione tipo 3 .....	58
8.4.4 Sezione tipo 4 .....	64

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5105ECVROGN14BX002A00</p>	<p>Foglio 4 di 99</p>

8.4.5	Sezione tipo 5 .....	69
8.5	Soglie di attenzione e allarme .....	74
8.6	Applicazione di una diversa sezione tipo .....	74
9	<b>TECNOLOGIE ALTERNATIVE E PRESCRIZIONI .....</b>	<b>75</b>
9.1	Tecnologie alternative di perforazione .....	75
9.2	Tecnologie alternative per l'armatura dello spritz-beton .....	75
9.3	Armatura del rivestimento definitivo .....	75
9.4	Distanze di getto dei rivestimenti definitivi .....	76
9.5	Caratteristiche minime di resistenza del calcestruzzo in relazione alle fasi operative .....	77
9.6	Tecniche di consolidamento dei fronti di scavo e di consolidamento radiale al contorno .....	77
9.7	Soglie d'attenzione e d'allarme .....	78
9.8	Criticità .....	78
10	<b>INTRODUZIONE MONITORAGGIO .....</b>	<b>79</b>
11	<b>STRUMENTAZIONE FONDAMENTALE PER IL MONITORAGGIO DEL FRONTE DI SCAVO .....</b>	<b>81</b>
11.1	Rilievi .....	81
11.1.1	Rilievi di tipo analitico .....	81
11.1.2	Rilievo di tipo speditivo .....	86
11.1.3	Rilievo di tipo speditivo-pittorico .....	86
11.1.4	Archiviazione dei dati geologici .....	86
11.2	Indagini geognostiche in avanzamento .....	87
11.3	Estensimetri multibase da piano campagna e radiali .....	87
11.3.1	Installazione .....	87
11.3.2	Frequenza di lettura e restituzione finale dei dati .....	88
11.4	Misure di convergenza a cinque punti .....	88
11.4.1	Definizione .....	88
11.4.2	Installazione .....	88
11.4.3	Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti .....	89
11.4.4	Sistema di acquisizione .....	89
11.4.5	Restituzione dati .....	90
11.5	Misure di estrusione topografiche .....	90
11.5.1	Installazione .....	90
11.5.2	Frequenza delle letture .....	91
11.5.3	Sistema di acquisizione .....	91
11.5.4	Restituzione dati .....	91
11.6	Misure di estrusione estensimetriche .....	92
11.6.1	Installazione .....	92

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG5105ECVROGN14BX002A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 5 di 99</p>

11.6.2	Frequenza delle letture, acquisizione e restituzione dati .....	92
1 2	<b>STRUMENTAZIONE FONDAMENTALE DEL MONITORAGGIO DEL PRERIVESTIMENTO .....</b>	<b>94</b>
12.1	Misura dello stato tensionale del preinvestimento con celle di carico e barrette estensimetriche..	94
12.1.1	Installazione delle barrette estensimetriche a corda vibrante a saldare .....	94
12.1.2	Installazione delle celle di carico.....	94
1 3	<b>STRUMENTAZIONE FONDAMENTALE PER IL MONITORAGGIO DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO.....</b>	<b>96</b>
13.1	Barrette estensimetriche a corda vibrante entro il rivestimento definitivo.....	96
13.1.1	Installazione .....	96
13.1.2	Rilevamento, acquisizione e restituzione dati .....	96
13.2	Mire e prismi ottici sul rivestimento definitivo.....	97
13.2.1	Installazione .....	97
13.2.2	Rilevamento, acquisizione e restituzione dati .....	97
1 4	<b>DEFINIZIONE DELLE SOGLIE DI ATTENZIONE E DI ALLARME.....</b>	<b>98</b>
1 5	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>99</b>

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG5105ECVROGN14BX002A00

Foglio  
6 di 99

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <div style="float: right;">Foglio 7 di 99</div>

## 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 per il camerone tipo B2 della galleria di Valico (WBS GN14B). Vengono inoltre fornite le indicazioni relative al monitoraggio da eseguirsi in corso d'opera e al termine delle lavorazioni.

A tale scopo verrà fornito un inquadramento dell'opera nel contesto territoriale ed una descrizione della stessa, 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.

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 8 di 99</span>

## 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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 9 di 99</span>

**- 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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 10 di 99

## 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
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 11 di 99</span>

### 3 MATERIALI IMPIEGATI

#### 3.1 Consolidamenti e rivestimenti provvisori

Spritz beton fibrorinforzato	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistenza media su carote <math>h/\phi = 1</math> a 48 ore <math>\geq 13</math> MPa, a 28 gg <math>\geq 25</math> MPa</li> <li>- dosaggio per fibre in acciaio <math>\geq 30</math> kg/m<sup>3</sup></li> </ul>
Acciaio per centine, piastre e collegamenti:	S275
Acciaio per catene	S275
Acciaio per armatura e rete elettrosaldata:	B450 C
Acciaio bulloni ad ancoraggio continuo	B450 C
Drenaggi	Tubi microfessurati in PVC <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>\phi_{est} &gt; 60</math> mm, sp. 5 mm</li> <li>- Resistenza alla trazione 4.5 MPa, rivestiti con TNT</li> <li>- I primi 10m da boccaforo devono essere ciechi</li> <li>- Diametro di perforazione = 100-120 mm</li> </ul>
Impermeabilizzazione in PVC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- teli sp. <math>\geq 2</math>mm +/- 5%,</li> <li>- Resistenza a trazione <math>\geq 15</math> MPa</li> <li>- Allungamento a rottura <math>\geq 250\%</math></li> <li>- Resistenza alla lacerazione <math>\geq 100</math>N/mm</li> <li>- Resistenza alla giunzione <math>\geq 10.5</math> MPa</li> <li>- Stabilità al calore = 70°C</li> <li>- Flessibilità a freddo = -30°C</li> <li>- Resistenza alle soluzioni acide alcaline = +/-20% max allungamento</li> <li>- Comportamento al fuoco B2</li> <li>- Resistenza alla pressione dell'acqua a 1 MPa per 10 ore : impermeabile</li> </ul>

Tubi in VTR (caratteristiche del composito)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diametro esterno = 60 mm ad aderenza migliorata</li> <li>- Diametro di perforazione = 100-120 mm</li> <li>- Spessore medio = 10 mm</li> <li>- Densità <math>\geq 1.8</math> t/mc</li> <li>- Res. a trazione <math>\geq 600</math> MPa</li> <li>- Res. a taglio <math>\geq 100</math> MPa</li> <li>- Modulo elastico <math>\geq 30000</math> MPa</li> <li>- Contenuto in vetro <math>\geq 50</math> %</li> <li>- Resistenza a flessione <math>\geq 600</math> MPa</li> <li>- Resistenza allo scoppio <math>\geq 8</math> MPa</li> <li>- Perforazione eseguita a secco</li> </ul>
Miscele cementizie per cementazione a bassa pressione	Cemento 42.5R <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapporto a/c = 0.5-0.7</li> <li>- Fluidificante = 4 % di peso sul cemento</li> <li>- Resistenza a compressione a 48 ore <math>&gt; 5</math> MPa</li> </ul>
Iniezioni di guaina	Cemento R32.5 – R42.5 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapporto a/c <math>\approx 1.5-2</math></li> <li>- Bentonite <math>\approx 5-8</math> % sul peso di cemento</li> <li>- Densità <math>\approx 1.3</math> t/m<sup>3</sup></li> <li>- Rendimento volumetrico <math>\geq 95</math> %</li> <li>- Viscosità Marsh (ugello 4.7 mm) 30-35 sec.</li> </ul>
Iniezione di consolidamento	Cemento R42.5 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cemento a finezza di macinazione non inferiore a 4500 cm/g Blaine</li> <li>- Rapporto a/c <math>\approx 0.4-0.7</math></li> <li>- Bentonite <math>&lt; 2</math> %</li> <li>- Additivo fluidificante (Flowcable o simili) <math>\approx 4</math> % di peso del cemento</li> <li>- Viscosità Marsh (ugello 4.7 mm) 35-45 sec.</li> <li>- Densità <math>\approx 1.8</math> t/m<sup>3</sup></li> <li>- Rendimento volumetrico <math>&gt; 95</math> %</li> </ul>

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 13 di 99

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

### 3.2 Rivestimenti definitivi

Acciaio per armatura:	B450 C
Calcestruzzo strutturale calotta e piedritti	C25/30, XC2, S4
Calcestruzzo strutturale arco rovescio	C25/30, XC2, S3
Magrone di pulizia di sottofondo	$R_m \geq 15 \text{ MPa}$

### 3.3 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 B450 C	$\sigma_{amm} = 160 \text{ MPa (*)}$
Calcestruzzo proiettato $F_{cm} \geq 25 \text{ Mpa}$	$\sigma_{amm} = 25/1.3 = 19.2 \text{ MPa}$
Calcestruzzo strutturale armato C25/30 Mpa	$\sigma_{amm} = 9.75 \text{ Mpa}$ $\tau_{c0} = 0.60 \text{ Mpa}$ $\tau_{c1} = 1.80 \text{ Mpa}$

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

## 4 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il camerone tipo B2 previsto per la galleria di Valico risulta necessario per il collegamento del tratto di galleria a singolo binario (lato binario pari) con l'interconnessione Voltri lato binario pari. L'opera si estende dalla pk 2+080.1 (B.P.) alla pk 2+501.51 (B.P.), coprendo quindi un tratto di lunghezza pari a circa 421.5 m..

La massima copertura prevista per l'opera in esame risulta appena superiore i 150 m.

Date le dimensioni del cavo la sua realizzazione richiede fasi e modalità costruttive del tutto particolari, che non hanno alcun riscontro con quelle comunemente adottate per la galleria di linea.

Nello specifico il camerone è costituito da tre sezioni tipo caratterizzate da uno scavo a sezione piena seguite da due sezioni tipo eseguite con scavo parzializzato secondo la fasistica esposta nel seguito. Il tracciato presenta inoltre cinque sezioni di passaggio.

Si riportano nelle figure successive la pianta dell'opera e le principali sezioni, rimandando al §8.1 per la descrizione delle principali fasi esecutive agli specifici elaborati per ulteriori dettagli.

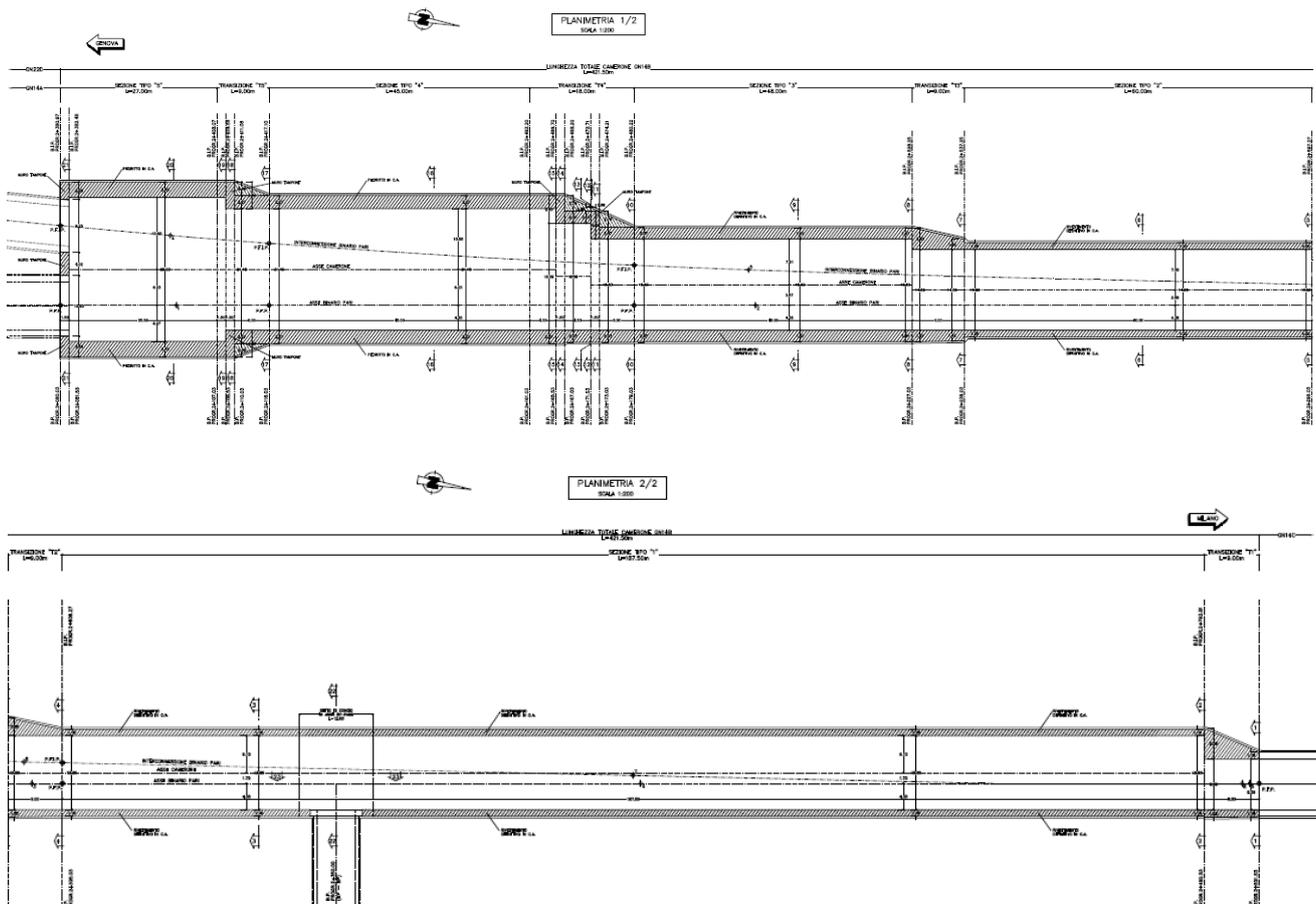


Figura 1 - Pianta del camerone

SEZIONE 1-1  
SCALA 1:100

SEZIONE DI TRANSIZIONE "T1"  
SCAVO A PIENA SEZIONE

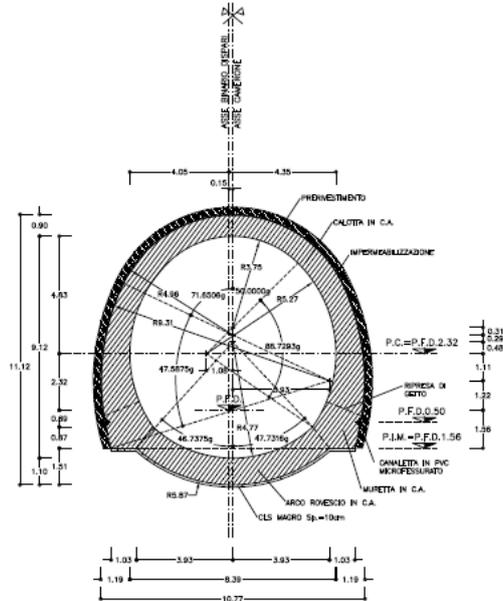


Figura 2 - Sezione tipo T1

SEZIONE 3-3  
SCALA 1:100

SEZIONE CORRENTE TIPO "1"  
SCAVO A PIENA SEZIONE

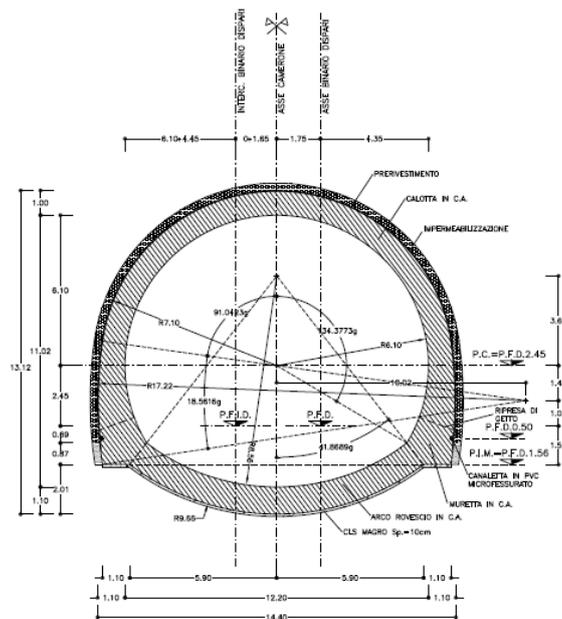


Figura 3 - Sezione tipo 1

SEZIONE 4-4

SCALA 1:100

SEZIONE DI TRANSIZIONE "T2"  
SCAVO A PIENA SEZIONE

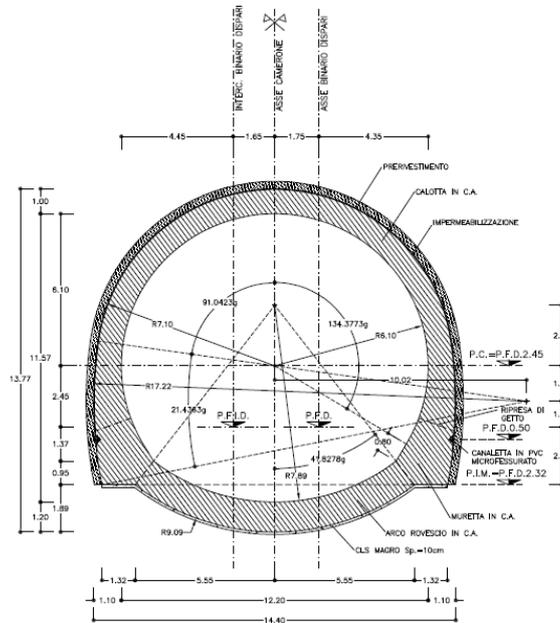


Figura 4 - Sezione tipo T2

SEZIONE 6-6

SCALA 1:100

SEZIONE CORRENTE TIPO "2"  
SCAVO A PIENA SEZIONE

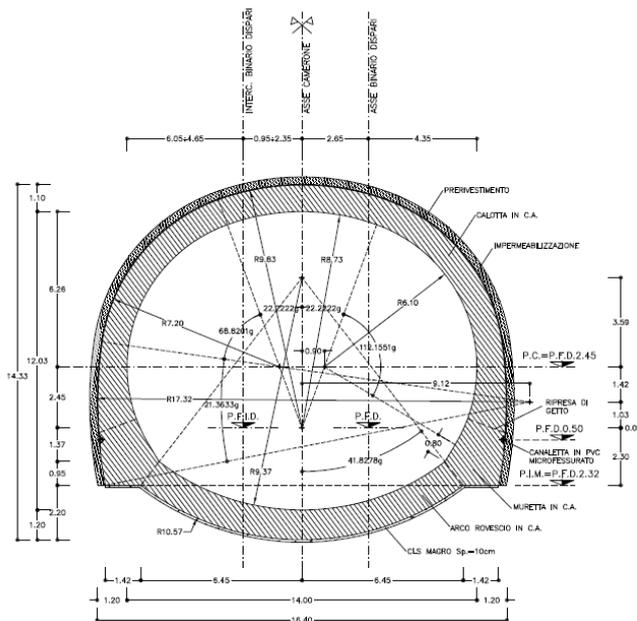


Figura 5 - Sezione tipo 2

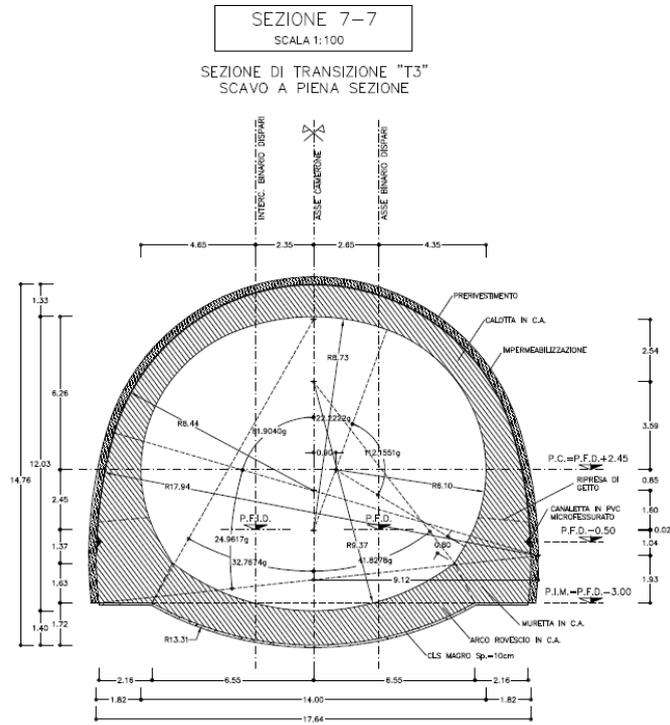


Figura 6 - Sezione tipo T3

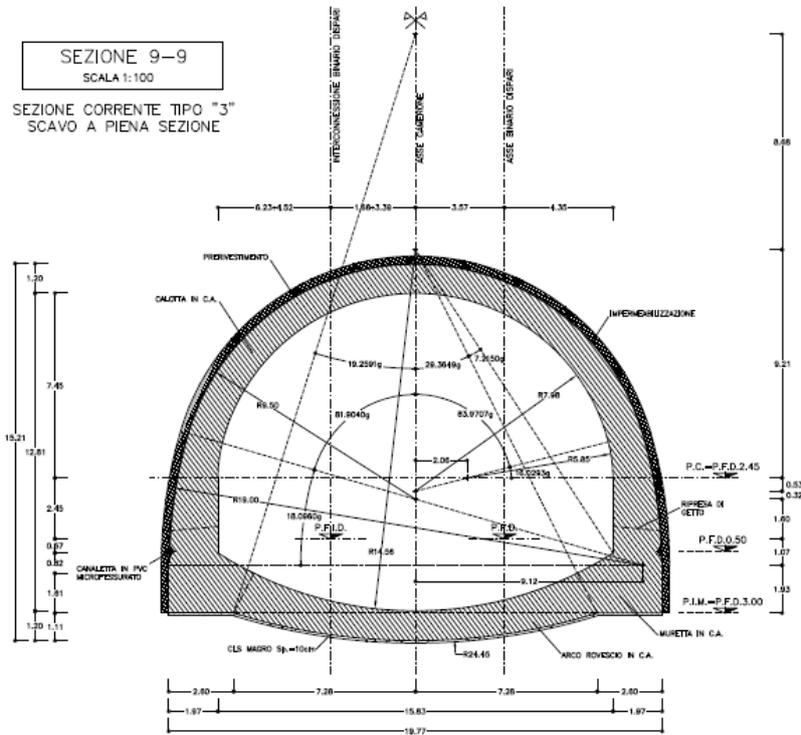


Figura 7 - Sezione tipo 3

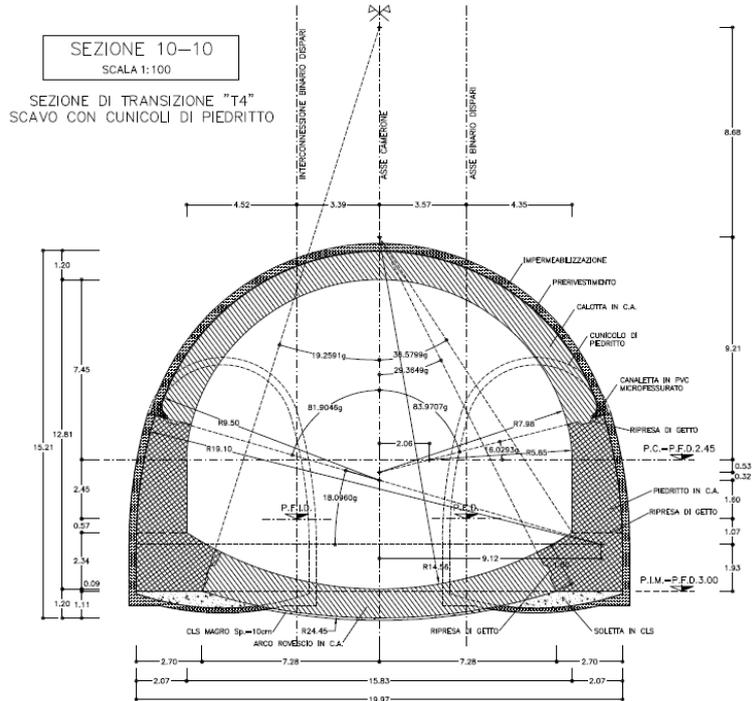


Figura 8 - Sezione tipo T4

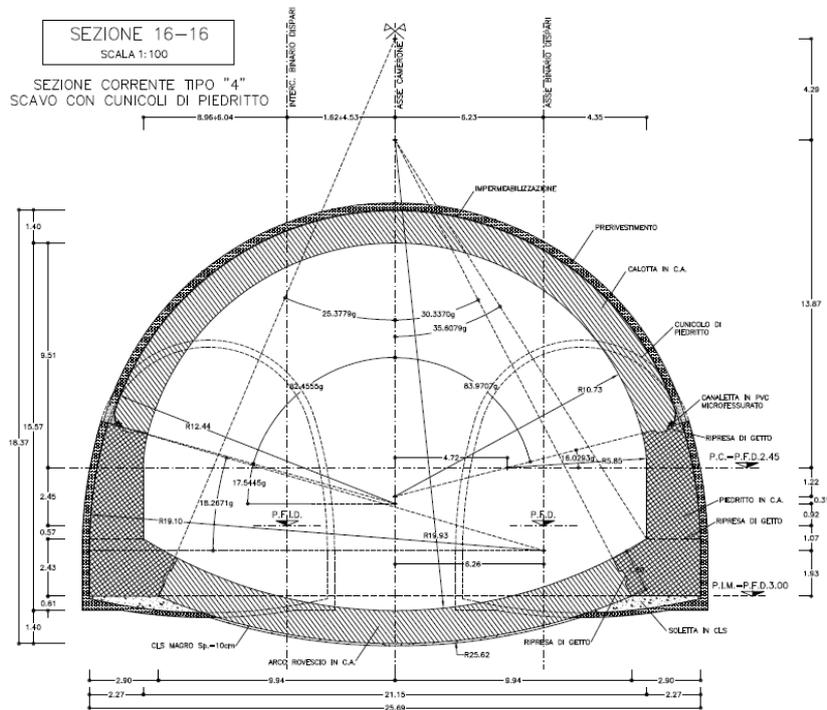


Figura 9 - Sezione 4

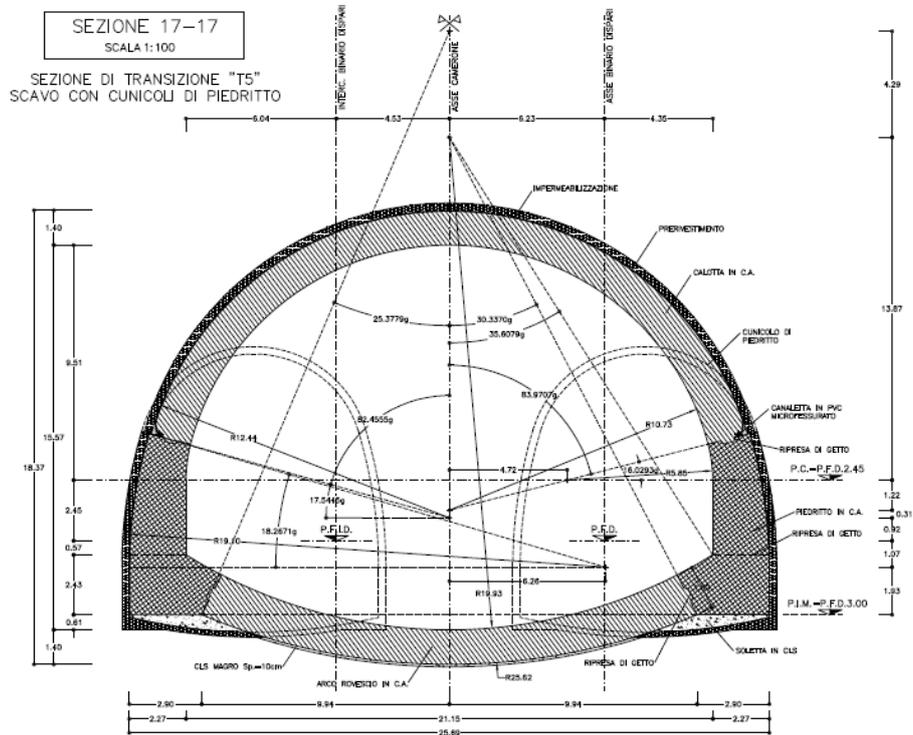


Figura 10 - Sezione T5

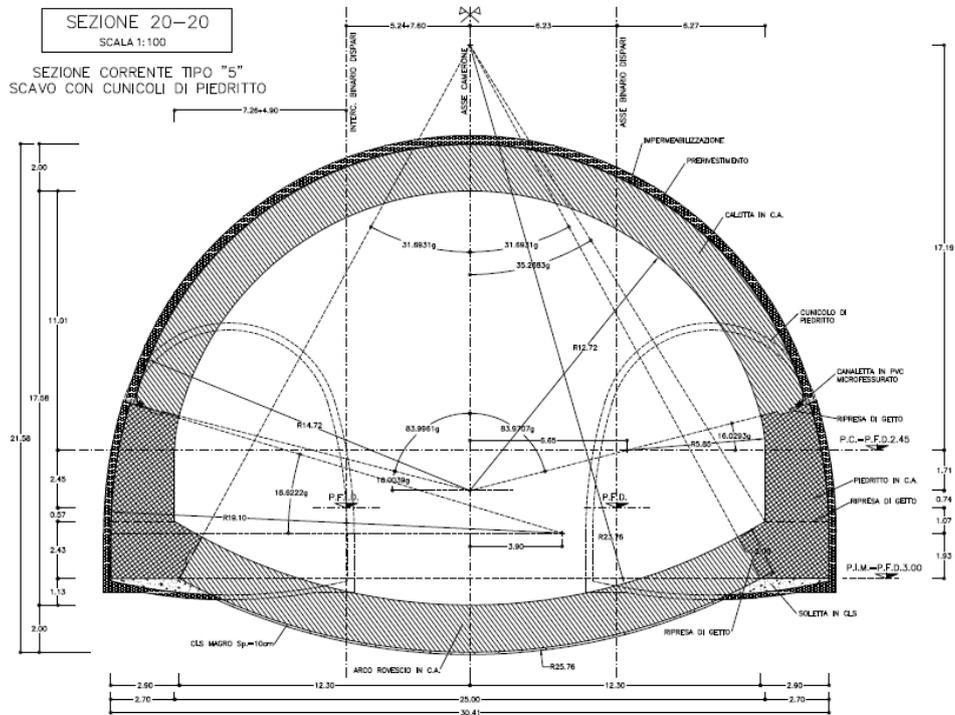


Figura 11 - Sezione 5

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 20 di 99

## 5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO

L'opera in oggetto rientra nella realizzazione della tratta A.V./A.C. del terzo valico dei Giovi ed in particolare nella realizzazione della galleria ferroviaria di Valico – tratto GN14B. Tale galleria si estende per una lunghezza totale di circa 421.5m, con coperture massime di circa 150m.

### 5.1 Inquadramento Geologico – Geomorfologico - Idrogeologico

L'area di studio si colloca nella zona di giustapposizione tra i domini orogenici alpino e appenninico nota in letteratura come “nodo collisionale ligure” (Laubscher at. al., 1992).

Nell'area del Foglio Genova è possibile distinguere, da W verso E, tre settori caratterizzati dall'associazione di unità di crosta oceanica e di mantello, unità di margine continentale e unità costituite da flysch:

1. le **unità tettonometamorfiche<sup>1</sup> Voltri e Palmaro-Caffarella** (“*Gruppo di Voltri*” *auct.*): sono costituite dalle associazioni pre-cenomaniane di ofioliti e metasedimenti carbonatici del dominio oceanico ligure-piemontese. La distinzione sicura tra i litotipi delle due unità è in genere possibile solo a scala microscopica, in base ai caratteri mineralogico-petrografici.
2. la **Zona Sestri-Voltaggio** *auct.* (nel seguito ZSV): è costituita da tre unità tettonometamorfiche, di cui due ofiolitiche (Cravasco-Voltaggio e Figogna) e una di margine continentale (Gazzo-Isoverde). Il livello del metamorfismo è progressivamente decrescente passando dalle unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde (facies scisti blu) all'Unità Figogna (facies pumpellyite-actinolite).
3. Il **dominio dei Flysch Appenninici**: è rappresentato dalle quattro unità tettoniche Mignanego, Montanesi, Ronco e Antola, sovrapposte con vergenza europea. Procedendo verso est, il grado metamorfico decresce da basso a bassissimo nelle prime tre unità fino ad arrivare a condizioni di diagenesi per l'Unità Antola.

La Zona Sestri-Voltaggio è in contatto, a est, con le unità tettoniche di basso grado che compongono il dominio dei Flysch Appenninici e, a ovest, con le unità tettonometamorfiche Voltri e Palmaro-Caffarella. Il contatto occidentale è sottolineato da una discontinuità regionale con direzione N-S, nota in bibliografia come *Linea Sestri-Voltaggio*; questo lineamento strutturale è classicamente ritenuto il limite fisico tra la catena alpina e quella appenninica, anche se le interpretazioni sulla sua natura sono spesso state tra loro discordanti: faglia trascorrente (Elter & Pertusati, 1973), sovrascorrimento (Cortesogno & Haccard, 1984) o faglia estensionale (Hoogerduijn Strating, 1994).

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 colloca il sito di intervento è ubicato nell'areale di affioramento della ZSV e più precisamente entro

<sup>1</sup> Con il termine di “unità tettonometamorfica” si intende un volume roccioso caratterizzato da incompatibilità metamorfiche e strutturali rispetto ai volumi adiacenti.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 21 di 99</span>

la formazione delle “Argille a Palombini del Passo della Bocchetta” (aP), dell’unità tettonometamorfica Figogna.

### 5.1.1 Condizioni geologiche attese in corrispondenza dell’opera

Il tratto di galleria considerato si sviluppa all’interno della formazione delle Argille a Palombini del P.so della Bocchetta (aP), costituita da argilloscisti, metapeliti scistose grigio-nerastre, più o meno siltose, metasiltiti e metaareniti in strati centimetrici, con intercalazioni di metacalcilutiti siltose più o meno marnose, di colore grigio o grigio-bruno in strati e banchi.

La litofacies a “Palombini” (alternanze di calcari silicei micritici a tessitura massiva, calcari arenacei e meno frequenti calcari marnosi, in strati e banchi di potenza da centimetrica a metrica) affiora localmente nell’area di studio ed è stata intercettata anche dai sondaggi AA301G045 (PP) e SC18 (PD), realizzati nello stesso punto, che mettono in evidenza, a profondità compresa tra 40 e 80 m ca., la presenza di livelli carbonatici che potrebbero essere riferiti ai calcari sopra descritti.

Ciò sembra indicare che, a livello del tunnel, potrebbe venire attraversato, una o più volte, il limite transizionale tra le litofacies AGF e AGI (secondo la suddivisione proposta dal foglio CARG “Genova”), per lo meno nella tratta di galleria più a sud, indicativamente nei primi 2-300 m di scavo.

Lo scavo della galleria verrà realizzato in un ammasso roccioso caratterizzato da una notevole omogeneità litologica e da una forte anisotropia strutturale, quest’ultima dovuta alla presenza di una fitta foliazione metamorfica.

Al di fuori delle zone di faglia, l’ammasso roccioso sarà quindi abbastanza omogeneo se considerato alla scala dell’intero sviluppo dell’opera, ma strutturalmente eterogeneo alla scala del fronte di scavo.

Nel settore d’indagine non è stata direttamente riscontrata la presenza di faglie in affioramento, soprattutto per l’estesa copertura di detrito, suolo e vegetazione, che limitano fortemente la percentuale di affioramento.

Il profilo interpretativo allegato non riporta faglie principali potenzialmente in grado di intercettare l’asse della WBS in esame. È probabile che l’ammasso sia caratterizzato dalla presenza di piani di taglio cataclastico a basso-medio angolo, a cinematismo prevalentemente inverso.

Diverse faglie minori, rappresentate sia da strutture discordanti, sia da piani di taglio lungo superfici di scorrimento flessurale intra-foliazione, potranno essere incontrate in più punti lungo lo scavo, tuttavia non si tratta di strutture in grado di determinare un sensibile decadimento delle condizioni geomeccaniche generali.

Il grado di fratturazione al di fuori delle zone di faglia può variare da medio a basso, con sviluppo di fratture più nette all’interno di livelli più compatti e di clivaggi di fratturazione pervasivi nei livelli più fillosilicatici.

Per quanto riguarda la valutazione qualitativa del grado di stabilità del fronte di scavo, sono state stimate condizioni di stabilità a breve-medio termine, al di fuori delle zone di faglia; condizioni di instabilità localizzata, con possibili splaccamenti, localizzati principalmente in calotta o sul

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 22 di 99

paramento sinistro (considerando una direzione di avanzamento verso N), potranno verificarsi nel caso che la foliazione intersechi l'asse tunnel con direzione ad esso subparallela, immersione prevalente verso W e inclinazione a medio-basso angolo (20-50° dall'orizzontale).

### 5.1.2 La Formazione delle Argille a Palombini

Nel settore oggetto di studio affiorano, in superficie, i litotipi della formazione delle "Argille a Palombini del Passo della Bocchetta" (aP); secondo quanto riportato nel Foglio CARG "Genova", il settore interessato dallo scavo della WBS in oggetto ricade a cavallo di due aree in cui affiorano sia l'unità degli Argilloscisti di Murta (AGF), sia l'unità degli Argilloscisti di Costagiutta (AGI), strutturalmente soprastante.

In sintesi, le due litofacies si differenziano per la presenza (Argilloscisti di Costagiutta, AGI) o l'assenza (Argilloscisti di Murta, AGF) di livelli di calcari micritici silicei a grana fine ("Palombini").

Per una più dettagliata descrizione delle caratteristiche della formazione si rimanda alle specifiche relazioni.

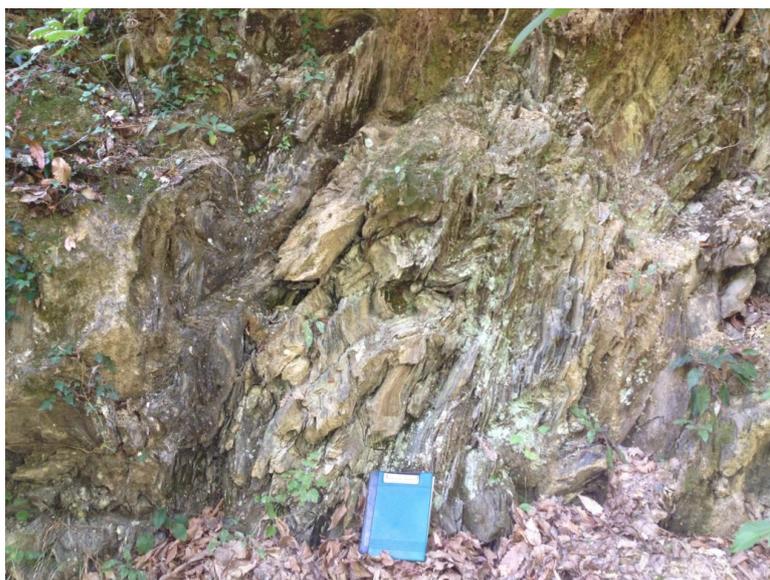


Figura 12. Argilloscisti in sponda destra del Rio Trasta.

## 5.2 Assetto idrogeologico dell'area

La zona interessata dal progetto della linea del III Valico è stata suddivisa, su base litologica, in diversi *complessi idrogeologici* a permeabilità differente, distinguendo lungo l'asse delle gallerie settori con comportamento idrogeologico omogeneo.

I sistemi di flusso idrico sotterraneo possono svilupparsi all'interno di un solo complesso idrogeologico, quando questo è limitato lateralmente da complessi meno permeabili, oppure possono attraversare più complessi permeabili adiacenti.

La formazione delle “Argille a Palombini del Passo della Bocchetta” (aP) corrisponde, insieme ad altre unità litostratigrafiche, al complesso idrogeologico 15.

### 5.2.1 Complesso 15 (aP, dM, d”, f, Mn, Se”)

I litotipi di questo complesso idrogeologico fanno parte di unità metamorfiche ove la permeabilità è sostanzialmente legata al grado di fratturazione dell’ammasso roccioso, a sua volta dipendente dalla reologia del tipo di roccia considerato.

I test idraulici disponibili sull’intera area di progetto indicano per l’ammasso roccioso al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra  $1 \times 10^{-7}$  e  $1 \times 10^{-8}$  m/s, meno frequentemente tendenti  $1 \times 10^{-6}$  m/s, come evidenziato dal diagramma di Figura 13.

I test idraulici disponibili sull’intera area di progetto indicano per l’ammasso roccioso al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra  $1 \times 10^{-7}$  e  $1 \times 10^{-8}$  m/s, meno frequentemente tendenti  $1 \times 10^{-6}$  m/s, come evidenziato dal diagramma di Figura 6.

Il grafico evidenzia altresì valori per la conducibilità fino a  $1 \times 10^{-10}$  m/s, che possono essere riconducibili a situazioni locali in cui la frazione fillosilicatica, essendo predominante, abbassa ulteriormente i valori di conducibilità dell’ammasso roccioso.

Dall’osservazione dei sondaggi è stato possibile inserire nel diagramma di Figura 6 una serie di dati che rappresentano la permeabilità dell’ammasso roccioso detensionato nei primi metri al di sotto della superficie (indicativamente da 5 fino a 20 m); tali dati mostrano conducibilità molto più elevate, comprese tra  $1 \times 10^{-5}$  e  $1 \times 10^{-7}$  m/s.

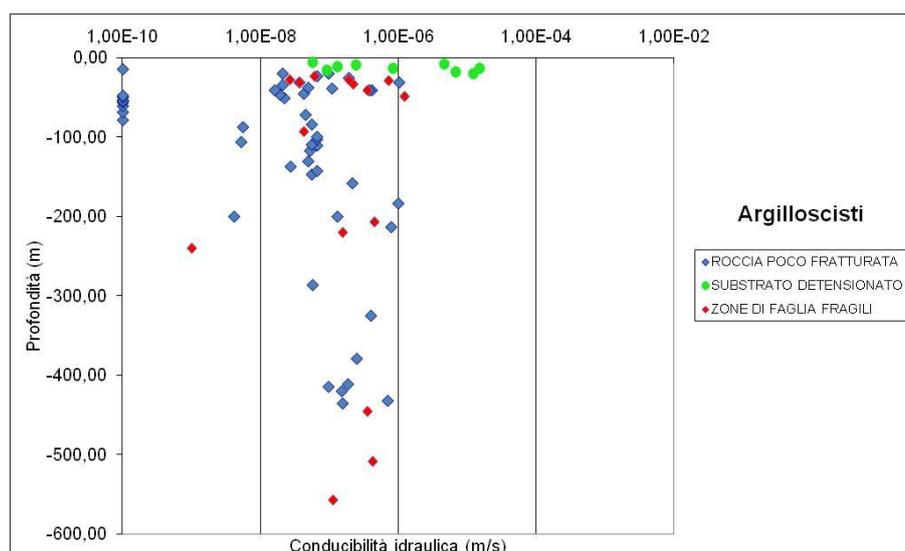


Figura 13. Grafico delle conducibilità idrauliche per gli argilloscisti da prove in foro

Dall’analisi dei sondaggi e dal confronto con i dati di terreno sono state individuate delle zone di faglia ove sono state eseguite delle prove di tipo idraulico. Il grafico (Figura 6) mostra una certa dispersione dei valori, anche se si può osservare che la conducibilità nelle faglie è distribuita in un intervallo tra  $10^{-6}$  e  $10^{-7}$  m/s nelle prove eseguite a profondità più basse (fino a 100 m), mentre

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 24 di 99</span>

l'intervallo si sposta tra  $10^{-7}$  e  $10^{-9}$  m/s man mano che la profondità aumenta. Dalle osservazioni di terreno si può ipotizzare che lungo le faglie di questo complesso le permeabilità maggiori siano relative alle zone di danneggiamento, mentre le zone di nucleo possono presentare un effetto di compartimentazione per lo sviluppo di rocce di faglia a granulometria fine e con componente argillosa (gouge di faglia) generalmente impermeabile.

### 5.2.2 *Condizioni idrogeologiche attese in corrispondenza dell'opera*

Gli argilloscisti attraversati sono caratterizzati da permeabilità per fratturazione da bassa a molto bassa e non costituiscono quindi un acquifero significativo, salvo possibili condizioni di maggiore permeabilità legate alla presenza delle zone di faglia.

Nel camerone in esame quindi, negli argilloscisti della formazione aP con o senza "palombini", si attendono in assenza di faglie, condizioni generalizzate di umidità e solo localmente stillicidi da deboli a diffusi.

La permeabilità all'interno delle zone di faglia minori non differisce di molto rispetto a quella dell'ammasso in normale stato di fratturazione, poiché la tessitura fortemente scistosa e la dominante componente fillosilicatica degli argilloscisti prevengono lo sviluppo di larghe fasce di fratturazione, accomodando parte della deformazione attraverso scorrimenti intra-scistosità.

Nel complesso quindi lo scavo dell'opera in esame non presenta problematiche particolari dal punto di vista idrogeologico, considerata la bassa permeabilità dei litotipi interessati, l'assenza di un acquifero profondo significativo e l'assenza di un bacino di alimentazione esteso.

Le prove Lugeon eseguite nei fori più prossimi alla WBS hanno fornito valori di conducibilità dell'ordine di  $1E-08$ ÷ $1E-09$ .

Il carico idraulico in regime imperturbato è valutato in base alle indicazioni fornite dai piezometri collocati in diversi sondaggi e in particolare, per l'area di interesse, dai piezometri dei fori AA301G045 e AA301G049, attrezzati con cella Casagrande, che indicano un livello di falda in roccia superficiale, oscillante tra -1 m e -7 m dal p.c., a seconda del foro e delle oscillazioni stagionali.

Con riferimento alle classi di portata indicate nella tabella sottostante e riportate nel profilo geologico-idrogeologico previsionale, gli afflussi idrici stimati per questa tratta, in fase di scavo (regime transitorio), rientrano nella classe 1 (tra 0 e 0.16 l/s per 10 m di galleria).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG5105ECVROGN14BX002A00		Foglio 25 di 99

classe	da	a	unità di misura
1	0	0.16	
2	0.16	0.4	l/s per 10 m di galleria
3	0.4	2	
4	> 2		

**Tabella 1. Classi di portata delle venute d'acqua in galleria utilizzate nel profilo geologico-idrogeologico previsionale.**

I risultati ottenuti per il regime stabilizzato, in l/s, sono riportati nell'ultima colonna (Qs) di Tabella 2. I dati presentati in tabella si riferiscono a una singola canna (binario pari), per una portata totale, nel tratto interessato dalla WBS in esame, pari a circa 0,3 l/s.

pk (km)		lunghezza	Qt <sub>1g</sub>	Qs
da	a	(m)	l/s/10 m	l/s
2,180	2,300	120	0,04	0,10
2,300	2,400	100	0,04	0,10
2,400	2,500	100	0,03	0,08

**Tabella 2 – Portate drenate dalla galleria in regime transitorio a 1 giorno dallo scavo (Qt<sub>1g</sub>, in l/s/10 m) e in regime stabilizzato nella tratta di camerone a binario doppio (Qs, in l/s), in cui si colloca la WBS in progetto. (F): zone di faglia.**

Per quanto riguarda invece l'interferenza con le sorgenti presenti in sito, tra tutti i punti d'acqua localizzati nella zona di influenza dello scavo della galleria di linea in prossimità della WBS si rimanda alle relazioni specifiche.

### 5.3 Inquadramento Geotecnico

La Formazione delle Argilliti a Palombini sarà quella che interagirà maggiormente con l'opera. Per la sua caratterizzazione si sono presi a riferimento i dati e le considerazioni già svolte nel corso degli studi precedenti, 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 gruppi geomeccanici (gruppi 1, 2 e 3).

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)

- 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).

In sintesi 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.); il **Gruppo 1**, al contrario, può essere considerato rappresentativo delle condizioni migliori d'ammasso roccioso.

Si riportano di seguito le caratteristiche geomeccaniche delle formazioni, rimandando alla relazione geotecnica per una descrizione adeguata sui criteri di caratterizzazione.

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. Per un maggiore approfondimento sui parametri si rimanda alla relazione geomeccanica relativa all'opera in oggetto.

I parametri di calcolo utilizzati sono presentati nella seguente tabella assumendo i valori sotto riportati in base al criterio di rottura di Hoek e Brown. Laddove non sarà impiegato direttamente tale modello costitutivo verranno utilizzati i parametri secondo il modello di Mohr Coulomb, ottenuti mediante linearizzazione dei valori di Hoek e Brown alle differenti coperture. In ogni caso i parametri puntuali verranno presentati per le singole analisi.

Formazione	$\gamma$	$\nu$	$E_{op}$	$\sigma_c$	$m_i$	GSI	a	$m_{bp}$	$s_p$	$m_{br}$	$s_r$
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[GPa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
GR1	27	0,3	5,4	35	17,5	50	0,506	2,93	0,0039	2,14	0,0021
GR2a	27	0,3	1,75	12	20	42	0,510	2,52	0,0016	1,75	0,0008
GR2b	27	0,3	1,25	10	17,5	37	0,514	1,84	0,0009	1,24	0,0004
GR3a	26	0,3	1,1	7	19	33	0,518	1,74	0,0006	1,14	0,0003
GR3b	26	0,3	0,9	5		28	0,526	1,45	0,0003	0,92	0,0001

**Tabella 3. Parametri geotecnici/geomeccanici di calcolo, criterio di rottura di Hoek-Brown**

Nelle analisi di stabilità del fronte secondo il metodo di Tamez-Cornejo, per le quali era necessario impiegare un criterio di rottura di tipo Mohr-Coulomb, si sono ottenuti i valori sotto riportati linearizzando i parametri di Hoek e Brown per le coperture esaminate.

Argille a Palombini - Parametri di calcolo (Linearizzazione Modello Mohr-Coulomb)								
Formazione	Profondità	$\phi_p$	$\phi_r$	$c_p$	$c_r$	$\gamma$	$\nu$	$E_{op}$
	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[MPa]
GR1	125	40	32	700	620	27	0,3	5400
	150	40	32	770	690			
GR2a	125	38	30	420	350	27	0,3	1750
	150	38	30	450	400			
GR2b	125	33	26	350	300	27	0,3	1250
	150	33	26	390	340			
GR3a	125	30	24	280	250	26	0,3	1100
	150	30	24	320	270			
GR3b	125	28	22	230	200	26	0,3	900
	150	27	22	250	200			

**Tabella 4: Parametri geotecnici utilizzati per il calcolo (linearizzazione modello Mohr – Coulomb)**

Per quanto riguarda le portate indicate dall'inquadramento idrogeologico e valutate all'interno della relazione geologica ed idrogeologica, esse risultano piuttosto limitate già in fase di scavo nonostante le cautelative ipotesi di calcolo: verranno quindi adottati drenaggi in avanzamento capaci di captare tali portate consentendo in ultimo di limitare le pressioni idrostatiche al fronte.

Vista la sostanziale impermeabilità della formazione pertanto, in fase definitiva tali afflussi risulteranno ancora inferiori provvedendo inoltre ad inserire opportuni elementi atti a convogliare le acque captate. Le analisi sono state condotte in assenza di carico idraulico agente sui rivestimenti definitivi: la galleria in esame è stata infatti considerata, in conformità alla fase di Progetto Definitivo, drenante.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 28 di 99

## 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 osservabili sono di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente. In questo caso anche il

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 29 di 99</span>

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 del Camerone tipo B2 della Galleria Naturale di Valico è stato determinato il comportamento dell'ammasso allo scavo in considerazione della stratigrafia presente in sito ed in funzione dei carichi litostatici dovuti alle differenti coperture riscontrate lungo il tracciato della galleria in oggetto.

È stato così possibile ottenere diverse classi di comportamento allo scavo in funzione delle diverse coperture in esame. Nella successiva fase di terapia, sono stati invece definiti gli interventi necessari per l'avanzamento nelle diverse classi di comportamento osservando che, ad una stessa classe di comportamento, potranno corrispondere diverse sezioni tipo, adeguate alle caratteristiche geologiche e fisiche di ogni formazione.

Nella fase di diagnosi, sulla base degli elementi raccolti nella fase conoscitiva, si sono 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5105ECVROGN14BX002A00</p>	<p>Foglio 30 di 99</p>

Per la determinazione del comportamento dell'ammasso allo scavo sono state effettuate analisi di stabilità del fronte (metodi di analisi empirici in forma chiusa) e analisi con il metodo delle linee caratteristiche.

Si rimanda alla Relazione Geotecnica e di Calcolo 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 	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 31 di 99

## 7 LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO

Come ampiamente illustrato nei precedenti capitoli, il progetto del camerone 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 di avanzamento 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:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5105ECVROGN14BX002A00

Foglio  
32 di 99

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 	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 33 di 99

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 	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 34 di 99

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.  $c'$ ,  $\varphi'$ ,  $E'$ ); 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
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 35 di 99</span>

- 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<sup>a</sup> 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 diametrica 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:

$\delta_o$  = deformazione iniziale al fronte e non misurabile in galleria

$\delta_f$  = 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 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 36 di 99</span>

- 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).

All'interno di ciascuna tratta, in sede di progetto, sono state definite nel profilo geomeccanico le sezioni tipo di avanzamento, in funzione delle dimensioni del camerone previste a progetto, delle

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 37 di 99</span>

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 B0 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 geostrutturali dell'ammasso,
- caratteristiche geomeccaniche e idrogeologiche dell'ammasso,

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 38 di 99

- 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	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 39 di 99

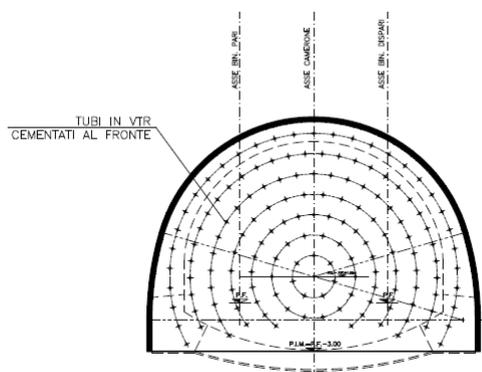
## 8 DESCRIZIONE DELLE FASI ESECUTIVE E DELLE SEZIONI TIPO DI SCAVO

### 8.1 Fasi esecutive

Nel seguito si riportano le principali fasi esecutive dello scavo del camerone tipo B2 della galleria di Valico in funzione delle sezioni tipo di avanzamento previste, per la cui descrizione dettagliata si rimanda alle relative tavole. Nello specifico il camerone è costituito da tre sezioni (Sezione 1, Sezione 2 e Sezione 3), a partire dalla WBS precedente (WBS GN14C), in cui viene eseguito uno scavo a sezione piena con dimensioni in aumento. Le successive sezioni "4" e "5", aventi area di scavo maggiori, verranno realizzate parzializzando lo scavo mediante l'uso di due cunicoli laterali, procedendo secondo le fasi esposte in seguito. Sono inoltre presenti cinque sezioni di raccordo, rispettivamente prima della sezione "1", tra la sezione "1"- "2", "2"- "3" "3"- "4" e "4"- "5", denominate rispettivamente T1, T2, T3, T4 e T5. Tali sezioni di transizione vengono applicate per una lunghezza di 9m ad eccezione della sezione denominata "T4" che presenta uno sviluppo di 18m. L'impiego di tali sezioni viene adottato al fine di consentire il cambiamento di sagoma.

Fasi esecutive dalla pk 2+501.53 (B.P.) alla pk 2+179.03 (B.P.) (sezione 1, sezione 2 e sezione 3)

Fase I: Si esegue, in funzione della sezione tipo applicata, l'eventuale consolidamento del fronte di scavo e l'eventuale consolidamento al contorno mediante VTR cementati.



Fase II: Si procede con lo scavo a piena sezione con campi d'avanzamento pari a 12m.

Fase III: Si realizzano dunque i priverstimenti mediante la posa di centine metalliche e spritz – beton nel rispetto delle sezioni e degli spessori previsti.

Fase IV: Si gettano le murette e l'arco rovescio in cemento armato ad una distanza massima pari a 3 diametri dal fronte di scavo.

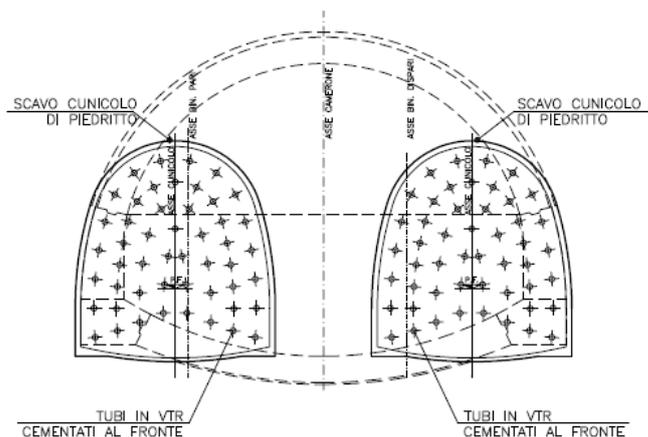
GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 40 di 99</span>

Fase V: Si eseguono le operazioni necessarie alla posa dell'impermeabilizzazione.

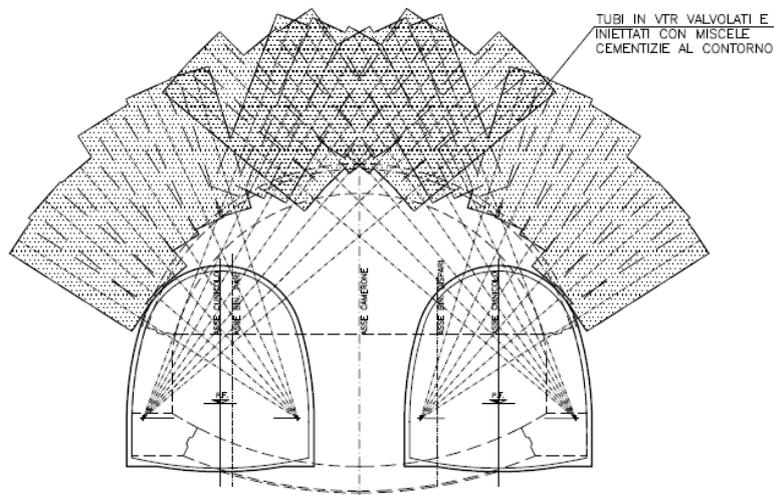
Fase IV: Si procede con il getto del rivestimento definitivo in cemento armato della calotta ad una distanza massima dal fronte di scavo pari a 5 diametri.

Fasi esecutive dalla pk 2+179.03 (B.P.) alla pk 2+080.03 (B.P.) (sezione 4 e sezione 5)

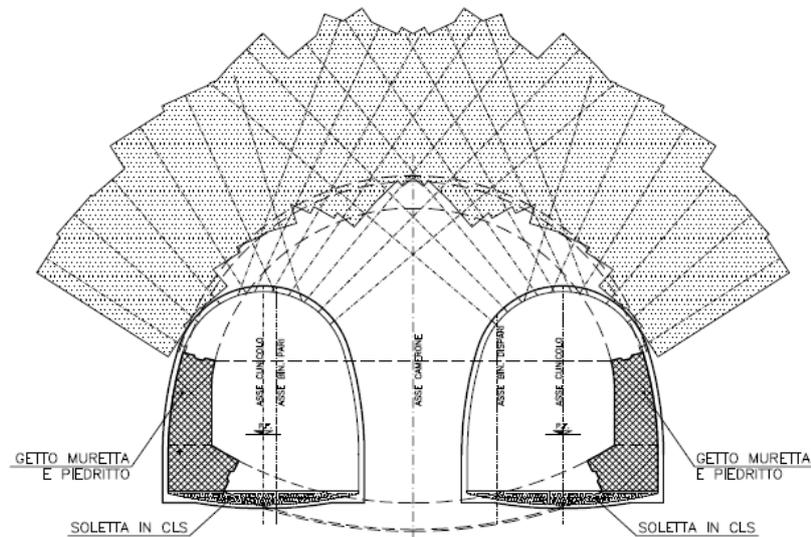
Fase I\*: Si esegue l'eventuale preconsolidamento del fronte dei cunicoli mediante tubi in VTR cementati. Si procede con lo scavo dei cunicoli con campi d'avanzamento massimi pari a 9m. Si posano le centine metalliche nel rispetto delle sezioni previste e lo spritz beton armato con rete elettrosaldata o in alternativa fibrorinforzato. Durante la fase di scavo i cunicoli potranno procedere parallelamente ad una distanza tra loro non inferiore ai 30m.



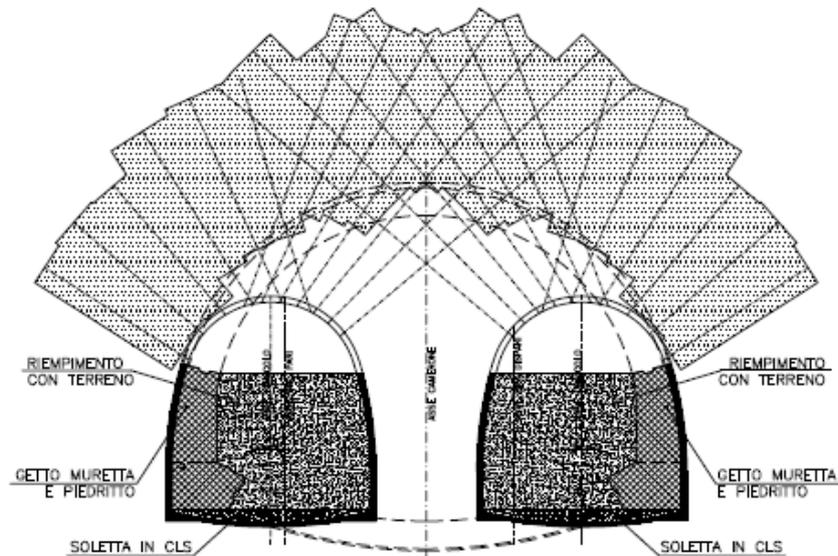
Fase II: Si eseguono gli interventi di consolidamento al contorno della calotta del camerone dall'interno dei cunicoli di piedritto. Si realizza tale consolidamento mediante tubi in VTR valvolati le cui lunghezze sono riportate negli elaborati previsti.



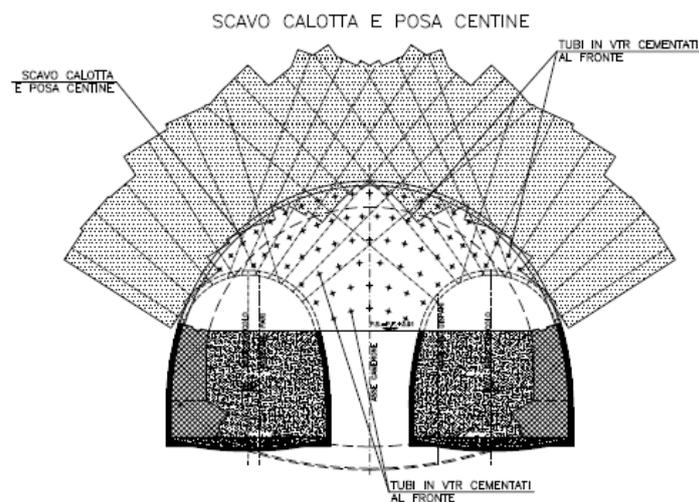
Fase III: Si completano gli scavi e gli interventi di consolidamento dei cunicoli di piedritto e si effettua il completamento di armatura e cassetatura. Si gettano murette e piedritti ad una distanza massima pari a 9 diametri al fronte di scavo.



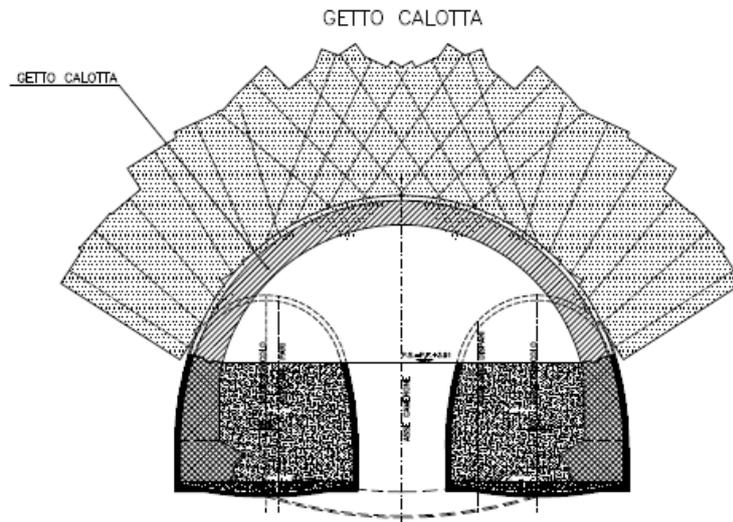
Fase IV: Si esegue il riempimento dei cunicoli con terreno



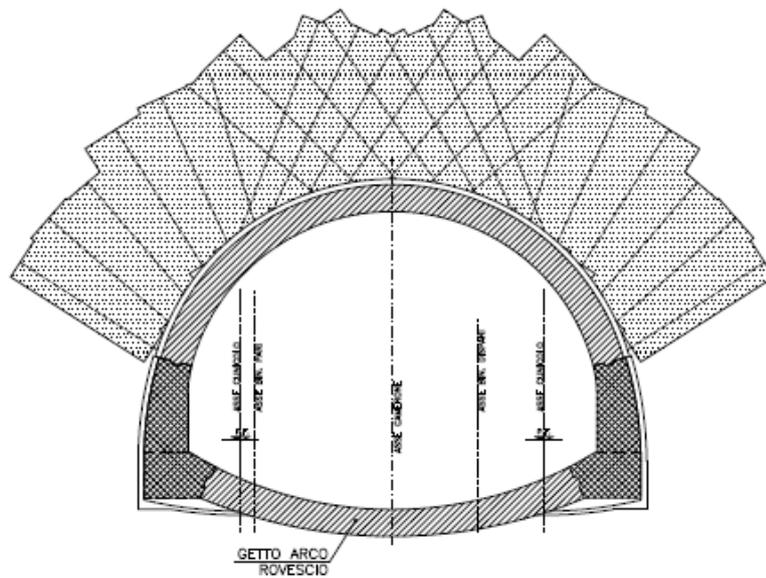
**Fase V:** Si consolida tramite VTR cementati il fronte di scavo del camerone e si scava la calotta del camerone con campi d'avanzamento di 9m. Si esegue il taglio della parte superiore delle centine dei cunicoli di piedritto e si applica uno strato di spritz beton sul profilo di calotta superiore del camerone. Si effettuano le operazioni di posa delle centine nel rispetto della sezione prevista previa esecuzione di uno strato di spritz fibro rinforzato di spessore minimo 10 cm al fronte qualora se ne verificasse la necessità durante le operazioni di scavo. Al termine di ogni sfondo si applica uno strato di spritz beton di 5cm.



**Fase VI:** Si procede con la posa in opera del sistema di impermeabilizzazione seguita dall'armatura, dalla casseratura e dal getto della calotta del camerone in cemento armato. Si quantifica in 30m la distanza massima tra il fronte d'allargo e la calotta in cemento armato. Si esegue lo scavo di ribasso dei piedritti per campi pari a 30m. Si prosegue con l'armatura e con il getto di tale arco. Il getto dell'arco rovescio verrà eseguito ad una distanza massima di 30m dal fronte di scavo.



Fase VII: Si completano le operazioni di getto dell'arco rovescio.



\*Qualora durante gli scavi si incontrassero terreni appartenenti al Gruppo Geomeccanico 3 lo scavo del secondo cunicolo dovrà avvenire solo dopo che il primo sia stato riempito di terreno e al suo interno siano stati gettati murette e piedritto a distanza di  $9\Phi$  dal fronte. Si nota pertanto che gli interventi radiali di consolidamento dall'interno dei due cunicoli dovranno essere eseguiti in fasi differenti.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 44 di 99</span>

## 8.2 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 di alterazione
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
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.

## 8.3 Analisi dei rischi lungo il tracciato del camerone tipo B2

Il camerone in oggetto si sviluppa interamente nella Formazione delle Argille a Palombini la quale risulta costituita da argilloscisti di colore grigio-scuro appartenenti all'Unità tettonometamorfica Figogna. Le due facies che appartengono a tale formazione si distinguono tra loro per la presenza (Argilloscisti di Costaggiutta) o l'assenza (Argilloscisti di Murta) di calcari cristallini (Palombini).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5105ECVROGN14BX002A00
	Foglio 45 di 99

Le condizioni di rischio presenti lungo lo sviluppo del camerone sono imputabili essenzialmente alla possibile presenza di ammassi alterati a causa delle coperture presenti.

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 tettonizzati. In tali contesti le analisi compiute hanno evidenziato un comportamento di tipo “C”, ovvero instabile, e sono quindi stati previsti specifici interventi di consolidamento.

Carico idraulico: in base a quanto riportato nell’inquadramento idrogeologico ed evidenziato nel profilo geomeccanico, per le coperture in esame grazie alla messa in opera di un opportuno sistema di drenaggio al contorno non si ritiene in linea generale possa essere presente un carico idraulico agente sui rivestimenti definitivi.

Venute d’acqua concentrate: Per quanto riguarda l’assetto idrogeologico, si prevede la possibilità di venute d’acqua concentrate in corrispondenza di ammassi tettonizzati che, se non adeguatamente gestite possono portare anche a fenomeni di instabilità diffusa del cavo.

Fenomeni di squeezing: non si prevedono fenomeni di squeezing.

Deformazioni d’ammasso: in virtù delle coperture presenti potranno verificarsi deformazioni del cavo per le quali sarà necessario provvedere oltre ai corretti interventi da applicarsi (corretta scelta della sezione tipo) anche sovrascavi.

## 8.4 Sezioni tipo di avanzamento

Si descrivono di seguito le sezioni tipo in funzione dei campi di avanzamento e della precedente analisi del rischio. Viene inoltre indicato il campo di applicazione e la variabilità che caratterizza ciascuna sezione tipo.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 46 di 99

#### 8.4.1 Sezione tipo 1

Per la sezione tipo 1 sono previste tre tipologie di intervento definite nel seguito come B0, B2 e C2.

##### Intervento tipo B0:

La sezione in fase costruttiva è costituita da:

- 2+2 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati in PVC di diametro esterno Ø 60 mm e sp. 5 mm (eventuali) di cui i primi 10 m da bocca foro dovranno essere cechi;
- priverivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldada, e centine metalliche tipo HEB 240 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 minimo di 110 cm in arco rovescio e 100 cm in calotta

##### Intervento tipo B2:

La sezione in fase costruttiva è costituita da:

- 2+2 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati in PVC di diametro esterno Ø 60 mm e sp. 5 mm (eventuali) di cui i primi 10 m da bocca foro dovranno essere cechi;
- preconsolidamento del fronte dello scavo di calotta realizzato mediante la posa in opera di n° 80 tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie ,  $L \geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 12$  m ;
- priverivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldada, e centine metalliche tipo HEB 240 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 minimo di 110 cm in arco rovescio e 100 cm in calotta.

##### Intervento tipo C2:

La sezione in fase costruttiva è costituita da:

- 2+2 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati in PVC di diametro esterno Ø 60 mm e sp. 5 mm (eventuali) di cui i primi 10 m da bocca foro dovranno essere cechi;
- preconsolidamento al contorno realizzato mediante 69 tubi in VTR valvolati,  $L \geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 12.0$  m;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 47 di 99</span>

- preconsolidamento al piede centina realizzato con 6 + 6 tubi in VTR valvolati  $L \geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 12.0$  m ;
- preconsolidamento del fronte dello scavo di calotta realizzato mediante la posa in opera di n° 80 tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie ,  $L \geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 12$  m ;
- prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, e centine metalliche tipo HEB 240 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 minimo di 110 cm in arco rovescio e 100 cm in calotta.

#### 8.4.1.1 Campo di applicazione

##### Intervento tipo B0

La sezione di tipo B0 si applica nella formazione delle Argilliti a Palombini 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.

In queste condizioni il fronte di scavo si presenta stabile o stabile a breve termine e l'avanzamento con mezzi meccanici può risultare difficoltoso (possibile impiego di esplosivo).

##### Intervento tipo B2

La sezione di tipo B2 si applica nella formazione delle Argilliti a Palombini qualora l'ammasso risulti caratterizzato da valori di resistenza e deformabilità attribuibili alle fasce mediamente alterate del gruppo geomeccanico 2 della formazione. Nel dettaglio tale sezione può considerarsi applicabile nei gruppi geomeccanici 2A e 2B.

L'ammasso mostra scadenti proprietà geomeccaniche. 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 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 ed alterati.

In queste condizioni il fronte di scavo si presenta stabile a breve termine ma le condizioni di giacitura delle superfici di foliazione e l'intensità della fratturazione, possono portare al verificarsi di

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 48 di 99</span>

fenomeni di distacco che impongono l'uso di consolidamenti al fronte. L'avanzamento avviene regolarmente a piena sezione con mezzi meccanici.

#### Intervento tipo C2

La sezione di tipo C2 si applica nella formazione delle Argilliti a Palombini qualora l'ammasso risulti caratterizzato da valori di resistenza e deformabilità attribuibili alle fasce meno alterate del gruppo geomeccanico 3 della formazione (parametri prossimi al limite superiore del range stabilito). L'ammasso che ricade in questo gruppo appartiene a zone particolarmente tettonizzate o alterate e mostra proprietà geomeccaniche molto scadenti. L'RQD è inferiore 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 10-15%), risultano intensamente fratturati ed alterati.

In queste condizioni descritte il fronte di scavo si presenta instabile risultando necessario eseguire sistematici interventi di consolidamento in avanzamento. L'avanzamento avviene regolarmente a piena sezione con mezzi meccanici.

#### 8.4.1.2 Variabilità

##### Intervento tipo B0

Qualora, in corrispondenza delle tratte dove si prevede l'applicazione della SEZIONE TIPO 1 – B0, dai rilievi geostrutturali del fronte di scavo la Formazione delle Argille a Palombini fosse assimilabile alla parte meno alterata del gruppo geomeccanico con 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, aumentando il passo centine a 1.20 m.

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 ci si posizionerà nella zona superiore della fascia di variabilità prevista; in tali condizioni potranno essere previsti interventi di supporto di prima fase di maggiore rigidezza (diminuzione del passo centine a 0.80m).

##### Intervento tipo B2

Qualora, in corrispondenza delle tratte dove si prevede l'applicazione della SEZIONE TIPO 1 –B2, dai rilievi geostrutturali del fronte di scavo la Formazione delle Argille a Palombini fosse assimilabile alla parte meno alterata del gruppo geomeccanico (GSI prossimo a 45), è possibile variare l'intensità degli interventi, prevedendo l'adozione di un numero di interventi al fronte pari a n°65 e un passo centine di 1.20 m.

Nel caso opposto, cioè con un ammasso che risulta con parametri geomeccanici pari ai valori minimi del range fornito nella caratterizzazione geomeccanica (GSI prossimo a 35), potranno

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 49 di 99</span>

essere previsti interventi di supporto di prima fase di maggiore rigidità (diminuzione del passo centine a 0.80m) e un numero maggiore di consolidamenti al fronte pari a 95 VTR cementati.

### Intervento tipo C2

Qualora, in corrispondenza delle tratte dove si prevede l'applicazione della SEZIONE TIPO 1 –C2, dai rilievi geostrukturali del fronte di scavo la Formazione delle Argille a Palombini fosse assimilabile alla parte meno alterata del gruppo geomeccanico (GSI inferiore a 35), è possibile variare l'intensità degli interventi, prevedendo l'adozione di un numero di interventi al fronte pari a n°65 e un passo centine di 1.20 m.

Nel caso opposto, cioè con un ammasso che risulta con parametri geomeccanici pari ai valori minimi del range fornito nella caratterizzazione geomeccanica (GSI prossimo a 25), potranno essere previsti interventi di supporto di prima fase di maggiore rigidità (diminuzione del passo centine a 0.80m) e un numero maggiore di consolidamenti al fronte pari a 95 VTR cementati.

#### 8.4.1.3 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° 2+2 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: consolidamento del fronte (per sezione B2 e C2)

Dal fronte di scavo si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa in opera di tubi n°80 VTR cementati, aventi lunghezza 24 m e sovrapposizione 12 m.

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 50 di 99</span>

### FASE 3: preconsolidamento al contorno del cavo (per sezione C2)

Dal fronte di scavo, si realizza un arco di terreno consolidato mediante la posa in opera di n°69 tubi in VTR valvolati, aventi lunghezza minima di 24.00 m e sovrapposizione  $\geq 12$  m al contorno della futura sezione di scavo ed eventualmente si realizzano gli interventi previsti in prossimità del piede della centina, attraverso perforazioni inclinate rispetto all'orizzontale secondo quanto indicato negli elaborati di progetto.

Esecuzione del preconsolidamento al contorno con le seguenti modalità:

- perforazione eseguita a secco  $\varnothing \geq 100$  mm;
- inserimento del tubo valvolato;
- formazione della "guaina" al contorno dell'elemento valvolato, ogni 4-5 fori.
- Iniezioni in pressione, valvola per valvola

### FASE 4: esecuzione scavo a piena sezione

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per una lunghezza massima funzione del campo, per singoli sfondi max. di 1.0 m eseguendo lo spritz-beton fibrorinforzato, sp.5 cm.

### FASE 5: posa in opera del rivestimento di prima fase

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

### FASE 6: Getto delle murette e dell'arco rovescio:

Il getto delle murette in c.a. e dell'arco rovescio del camerone dovrà avvenire entro ad una distanza massima dal fronte di  $3\phi$ . La distanza di getto dovrà essere regolata in funzione della risposta deformativa del cavo.

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <div style="float: right;">Foglio 51 di 99</div>

comunque valutare la possibilità di variare la metodologia di perforazione indicata (a secco) utilizzando un opportuno fluido di perforazione (miscela 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.

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 rivestimento definitivo di calotta

Il getto del rivestimento definitivo di calotta dovrà avvenire entro 5Ø dal fronte di scavo dopo aver eseguito il preconsolidamento 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 52 di 99

#### 8.4.2 Sezione tipo 2

Per la sezione tipo 2 sono previste tre tipologie di intervento definite nel seguito come B0, B2 e C2.

##### Intervento tipo B0:

La sezione in fase costruttiva è costituita da:

- 2+2 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati in PVC di diametro esterno  $\varnothing$  60 mm e sp. 5 mm (eventuali) di cui i primi 10 m da bocca foro dovranno essere cechi;
- prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, e centine metalliche tipo HEB 240 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 minimo di 120 cm in arco rovescio e 110 cm in calotta.

##### Intervento tipo B2:

La sezione in fase costruttiva è costituita da:

- 2+2 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati in PVC di diametro esterno  $\varnothing$  60 mm e sp. 5 mm (eventuali) di cui i primi 10 m da bocca foro dovranno essere cechi;
- preconsolidamento del fronte dello scavo di calotta realizzato mediante la posa in opera di n° 105 tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie ,  $L \geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 12$  m ;
- prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, e centine metalliche tipo HEB 240 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 minimo di 120 cm in arco rovescio e 110 cm in calotta.

##### Intervento tipo C2:

La sezione in fase costruttiva è costituita da:

- 2+2 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati in PVC di diametro esterno  $\varnothing$  60 mm e sp. 5 mm (eventuali) di cui i primi 10 m da bocca foro dovranno essere cechi;
- preconsolidamento al contorno realizzato mediante 77 tubi in VTR valvolati,  $L \geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 12.0$  m;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 53 di 99</span>

- preconsolidamento al piede centina (eventuale) realizzato con 6 + 6 tubi in VTR valvolati  $L \geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 12.0$  m ;
- preconsolidamento del fronte dello scavo di calotta realizzato mediante la posa in opera di n° 105 tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie ,  $L \geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 12$  m ;
- prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, e centine metalliche tipo HEB 240 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 minimo di 120 cm in arco rovescio e 110 cm in calotta.

#### 8.4.2.1 Campo di applicazione

##### Intervento tipo B0

La sezione di tipo B0 si applica nella formazione delle Argilliti a Palombini 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.

In queste condizioni il fronte di scavo si presenta stabile o stabile a breve termine e l'avanzamento con mezzi meccanici può risultare difficoltoso (possibile impiego di esplosivo).

##### Intervento tipo B2

La sezione di tipo B2 si applica nella formazione delle Argilliti a Palombini qualora l'ammasso risulti caratterizzato da valori di resistenza e deformabilità attribuibili alle fasce mediamente alterate del gruppo geomeccanico 2 della formazione. Nel dettaglio tale sezione può considerarsi applicabile ai gruppi geomeccanici 2A e 2B.

L'ammasso mostra scadenti proprietà geomeccaniche. 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 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 ed alterati.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 54 di 99</span>

In queste condizioni il fronte di scavo si presenta stabile a breve termine 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 a piena sezione con mezzi meccanici.

#### Intervento tipo C2

La sezione di tipo C2 si applica nella formazione delle Argilliti a Palombini qualora l'ammasso risulti caratterizzato da valori di resistenza e deformabilità attribuibili alle fasce meno alterate del gruppo geomeccanico 3 della formazione (parametri prossimi al limite superiore del range stabilito). L'ammasso che ricade in questo gruppo appartiene a zone particolarmente tettonizzate o alterate e mostra proprietà geomeccaniche molto scadenti. L'RQD è inferiore 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 10-15%), risultano intensamente fratturati ed alterati.

In queste condizioni descritte il fronte di scavo si presenta instabile risultando necessario eseguire sistematici interventi di consolidamento in avanzamento. L'avanzamento avviene regolarmente a piena sezione con mezzi meccanici.

#### 8.4.2.2 Variabilità

##### Intervento tipo B0

Qualora, in corrispondenza delle tratte dove si prevede l'applicazione della SEZIONE TIPO 2 – B0, dai rilievi geostrutturali del fronte di scavo la Formazione delle Argille a Palombini fosse assimilabile alla parte meno alterata del gruppo geomeccanico con 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, aumentando il passo centine a 1.20 m.

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 ci si posizionerà nella zona superiore della fascia di variabilità prevista; in tali condizioni potranno essere previsti interventi di supporto di prima fase di maggiore rigidità (diminuzione del passo centine a 0.80m).

##### Intervento tipo B2

Qualora, in corrispondenza delle tratte dove si prevede l'applicazione della SEZIONE TIPO 2 –B2, dai rilievi geostrutturali del fronte di scavo la Formazione delle Argille a Palombini fosse assimilabile alla parte meno alterata del gruppo geomeccanico (GSI prossimo a 45), è possibile variare l'intensità degli interventi, prevedendo l'adozione di un numero di interventi al fronte pari a n°87 e un passo centine di 1.20 m.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 55 di 99

Nel caso opposto, cioè con un ammasso che risulta con parametri geomeccanici pari ai valori minimi del range fornito nella caratterizzazione geomeccanica (GSI prossimo a 35), potranno essere previsti interventi di supporto di prima fase di maggiore rigidità (diminuzione del passo centine a 0.80m) e un numero maggiore di consolidamenti al fronte pari a 125 VTR cementati.

### Intervento tipo C2

Qualora, in corrispondenza delle tratte dove si prevede l'applicazione della SEZIONE TIPO 2 –C2, dai rilievi geostrukturali del fronte di scavo la Formazione delle Argille a Palombini fosse assimilabile alla parte meno alterata del gruppo geomeccanico (GSI inferiore a 35), è possibile variare l'intensità degli interventi, prevedendo l'adozione di un numero di interventi al fronte pari a n°87 e un passo centine di 1.20 m.

Nel caso opposto, cioè con un ammasso che risulta con parametri geomeccanici pari ai valori minimi del range fornito nella caratterizzazione geomeccanica (GSI prossimo a 25), potranno essere previsti interventi di supporto di prima fase di maggiore rigidità (diminuzione del passo centine a 0.80m) e un numero maggiore di consolidamenti al fronte pari a 125 VTR cementati.

#### 8.4.2.3 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° 2+2 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: consolidamento del fronte (per sezioni B2 e C2)

Dal fronte di scavo si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa in opera di tubi n°105 VTR cementati, aventi lunghezza 24 m e sovrapposizione 12 m.

Le fasi costruttive sono le seguenti:

- esecuzione sul fronte dello strato di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldato, avente spessore di 10 cm;
- perforazione eseguita a secco  $\varnothing \geq 100\text{ mm}$ ;
- inserimento del tubo in VTR;

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG5105ECVROGN14BX002A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 56 di 99</p>

- esecuzione della cementazione mediante miscele cementizie a ritiro controllato ogni 4÷5 fori;

#### FASE 3: preconsolidamento al contorno del cavo (per sezione C2)

Dal fronte di scavo, si realizza un arco di terreno consolidato mediante la posa in opera di n°77 tubi in VTR valvolati, aventi lunghezza minima di 24.00 m e sovrapposizione  $\geq 12$  m al contorno della futura sezione di scavo ed eventualmente si realizzano gli interventi previsti in prossimità del piede della centina, attraverso perforazioni inclinate rispetto all'orizzontale secondo quanto indicato negli elaborati di progetto.

Esecuzione del preconsolidamento al contorno con le seguenti modalità:

- perforazione eseguita a secco  $\varnothing \geq 100$  mm;
- inserimento del tubo valvolato;
- formazione della "guaina" al contorno dell'elemento valvolato, ogni 4-5 fori.
- Iniezioni in pressione, valvola per valvola

#### FASE 4: esecuzione scavo a piena sezione

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per una lunghezza massima funzione del campo, per singoli sfondi max. di 1.0 m eseguendo lo spritz-beton fibrorinforzato, sp.5 cm.

#### FASE 5: posa in opera del rivestimento di prima fase

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

#### FASE 6: Getto delle murette e dell'arco rovescio:

Il getto delle murette in c.a. e dell'arco rovescio del camerone dovrà avvenire entro ad una distanza massima dal fronte di  $3\phi$ . La distanza di getto dovrà essere regolata in funzione della risposta deformativa del cavo.

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 57 di 99</span>

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.

#### 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 rivestimento definitivo di calotta

Il getto del rivestimento definitivo di calotta dovrà avvenire entro 5Ø dal fronte di scavo dopo aver eseguito il preconsolidamento 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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 58 di 99

### 8.4.3 Sezione tipo 3

Per la sezione tipo 3 sono previste tre tipologie di intervento definite nel seguito come B0, B2 e C2.

#### Intervento tipo B0:

La sezione in fase costruttiva è costituita da:

- 2+2 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati in PVC di diametro esterno  $\varnothing$  60 mm e sp. 5 mm (eventuali) di cui i primi 10 m da bocca foro dovranno essere cechi;
- prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, e centine metalliche tipo HEB 260 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 minimo di 120 cm in arco rovescio e 120 cm in calotta.

#### Intervento tipo B2:

La sezione in fase costruttiva è costituita da:

- 2+2 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati in PVC di diametro esterno  $\varnothing$  60 mm e sp. 5 mm (eventuali) di cui i primi 10 m da bocca foro dovranno essere cechi;
- preconsolidamento del fronte dello scavo di calotta realizzato mediante la posa in opera di n° 130 tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie ,  $L \geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 12$  m ;
- prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, e centine metalliche tipo HEB 260 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 minimo di 120 cm in arco rovescio e 120 cm in calotta.

#### Intervento tipo C2:

La sezione in fase costruttiva è costituita da:

- 2+2 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati in PVC di diametro esterno  $\varnothing$  60 mm e sp. 5 mm (eventuali) di cui i primi 10 m da bocca foro dovranno essere cechi;
- preconsolidamento al contorno realizzato mediante 91 tubi in VTR valvolati,  $L \geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 12.0$  m;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 59 di 99</span>

- preconsolidamento al piede centina (eventuale) realizzato con 6 + 6 tubi in VTR valvolati  $L \geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 12.0$  m ;
- preconsolidamento del fronte dello scavo di calotta realizzato mediante la posa in opera di n° 130 tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie ,  $L \geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 12$  m ;
- prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, e centine metalliche tipo HEB 260 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 minimo di 120 cm in arco rovescio e 120 cm in calotta.

#### 8.4.3.1 Campo di applicazione

##### Intervento tipo B0

La sezione di tipo B0 si applica nella formazione delle Argilliti a Palombini 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.

In queste condizioni il fronte di scavo si presenta stabile o stabile a breve termine e l'avanzamento con mezzi meccanici può risultare difficoltoso (possibile impiego di esplosivo).

##### Intervento tipo B2

La sezione di tipo B2 si applica nella formazione delle Argilliti a Palombini qualora l'ammasso risulti caratterizzato da valori di resistenza e deformabilità attribuibili alle fasce mediamente alterate del gruppo geomeccanico 2 della formazione. Nel dettaglio tale sezione può considerarsi applicabile ai gruppi geomeccanici 2A e 2B.

L'ammasso mostra scadenti proprietà geomeccaniche. 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 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 ed alterati.

In queste condizioni il fronte di scavo si presenta stabile a breve termine ma le condizioni di giacitura delle superfici di foliazione e l'intensità della fratturazione, possono portare al verificarsi di

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 60 di 99</span>

fenomeni di distacco che impongono l'uso di consolidamenti al fronte. L'avanzamento avviene regolarmente a piena sezione con mezzi meccanici.

#### Intervento tipo C2

La sezione di tipo C2 si applica nella formazione delle Argilliti a Palombini qualora l'ammasso risulti caratterizzato da valori di resistenza e deformabilità attribuibili alle fasce meno alterate del gruppo geomeccanico 3 della formazione (parametri prossimi al limite superiore del range stabilito). L'ammasso che ricade in questo gruppo appartiene a zone particolarmente tettonizzate o alterate e mostra proprietà geomeccaniche molto scadenti. L'RQD è inferiore 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 10-15%), risultano intensamente fratturati ed alterati.

In queste condizioni descritte il fronte di scavo si presenta instabile risultando necessario eseguire sistematici interventi di consolidamento in avanzamento. L'avanzamento avviene regolarmente a piena sezione con mezzi meccanici.

#### 8.4.3.2 Variabilità

##### Intervento tipo B0

Qualora, in corrispondenza delle tratte dove si prevede l'applicazione della SEZIONE TIPO 3 – B0, dai rilievi geostrutturali del fronte di scavo la Formazione delle Argille a Palombini fosse assimilabile alla parte meno alterata del gruppo geomeccanico con 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, aumentando il passo centine a 1.20 m.

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 ci si posizionerà nella zona superiore della fascia di variabilità prevista; in tali condizioni potranno essere previsti interventi di supporto di prima fase di maggiore rigidità (diminuzione del passo centine a 0.80m).

##### Intervento tipo B2

Qualora, in corrispondenza delle tratte dove si prevede l'applicazione della SEZIONE TIPO 3 –B2, dai rilievi geostrutturali del fronte di scavo la Formazione delle Argille a Palombini fosse assimilabile alla parte meno alterata del gruppo geomeccanico (GSI prossimo a 45), è possibile variare l'intensità degli interventi, prevedendo l'adozione di un numero di interventi al fronte pari a n°108 e un passo centine di 1.20 m.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 61 di 99</span>

Nel caso opposto, cioè con un ammasso che risulta con parametri geomeccanici pari ai valori minimi del range fornito nella caratterizzazione geomeccanica (GSI prossimo a 35), potranno essere previsti interventi di supporto di prima fase di maggiore rigidità (diminuzione del passo centine a 0.80m) e un numero maggiore di consolidamenti al fronte pari a 156 VTR cementati.

#### Intervento tipo C2

Qualora, in corrispondenza delle tratte dove si prevede l'applicazione della SEZIONE TIPO 3 –C2, dai rilievi geostrutturali del fronte di scavo la Formazione delle Argille a Palombini fosse assimilabile alla parte meno alterata del gruppo geomeccanico (GSI inferiore a 35), è possibile variare l'intensità degli interventi, prevedendo l'adozione di un numero di interventi al fronte pari a n°108 e un passo centine di 1.20 m.

Nel caso opposto, cioè con un ammasso che risulta con parametri geomeccanici pari ai valori minimi del range fornito nella caratterizzazione geomeccanica (GSI prossimo a 25), potranno essere previsti interventi di supporto di prima fase di maggiore rigidità (diminuzione del passo centine a 0.80m) e un numero maggiore di consolidamenti al fronte pari a 156 VTR cementati.

#### 8.4.3.3 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° 2+2 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: consolidamento del fronte (per sezioni B2 e C2)

Dal fronte di scavo si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa in opera di tubi n°130 VTR cementati, aventi lunghezza 24 m e sovrapposizione 12 m.

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 62 di 99</span>

### FASE 3: preconsolidamento al contorno del cavo (per sezione C2)

Dal fronte di scavo, si realizza un arco di terreno consolidato mediante la posa in opera di n°91 tubi in VTR valvolati, aventi lunghezza minima di 24.00 m e sovrapposizione  $\geq 12$  m al contorno della futura sezione di scavo ed eventualmente si realizzano gli interventi previsti in prossimità del piede della centina, attraverso perforazioni inclinate rispetto all'orizzontale secondo quanto indicato negli elaborati di progetto.

Esecuzione del preconsolidamento al contorno con le seguenti modalità:

- perforazione eseguita a secco  $\varnothing \geq 100$  mm;
- inserimento del tubo valvolato;
- formazione della "guaina" al contorno dell'elemento valvolato, ogni 4-5 fori.
- Iniezioni in pressione, valvola per valvola

### FASE 4: esecuzione scavo a piena sezione

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per una lunghezza massima funzione del campo, per singoli sfondi max. di 1.0 m eseguendo lo spritz-beton fibrorinforzato, sp.5 cm.

### FASE 5: posa in opera del rivestimento di prima fase

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1<sup>a</sup> fase costituito da centine metalliche HEB 260 passo 1.00 m e da uno strato di spritz-beton, di spessore pari a 30 cm. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

### FASE 6: Getto delle murette e dell'arco rovescio:

Il getto delle murette in c.a. e dell'arco rovescio del camerone dovrà avvenire entro ad una distanza massima dal fronte di  $3\phi$ . La distanza di getto dovrà essere regolata in funzione della risposta deformativa del cavo.

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 63 di 99</span>

comunque valutare la possibilità di variare la metodologia di perforazione indicata (a secco) utilizzando un opportuno fluido di perforazione (miscela 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.

#### 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 rivestimento definitivo di calotta

Il getto del rivestimento definitivo di calotta dovrà avvenire entro 5Ø dal fronte di scavo dopo aver eseguito il preconsolidamento 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 64 di 99</span>

#### 8.4.4 Sezione tipo 4

La sezione in fase costruttiva è costituita da:

- 2+2 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati in PVC di diametro esterno  $\varnothing$  60 mm e sp. 5 mm (eventuali) di cui i primi 10 m da bocca foro dovranno essere cechi;
- preconsolidamento del fronte dei cunicoli di piedritto realizzato mediante la posa in opera di n° 50 tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie ,  $L \geq 15$  m, sovrapp.  $\geq 6$  m (eventuali);
- prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, e centine metalliche tipo HEB 200 a passo 1 m oltre ad eventuale puntone;
- consolidamento radiale del contorno dello scavo di calotta realizzato dai cunicoli di piedritto mediante la posa in opera da ciascun cunicolo di n° 7+6 tubi in VTR valvolati 1vlv/m, di lunghezza variabile secondo quanto riportato negli elaborati grafici di riferimento;
- preconsolidamento del fronte dello scavo di calotta realizzato mediante la posa in opera di n° 70 tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie,  $L \geq 18$  m, sovrapp.  $\geq 9.0$  m;
- prerivestimento composto da uno strato di 35 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, e centine metalliche tipo 2HEA 300 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 minimo di 200 cm in arco rovescio e 200 cm in calotta.

##### 8.4.4.1 Campo di applicazione

La sezione 4 ricade interamente all'interno della formazione delle Argille a Palombini. In queste condizioni al fine di contenere le deformazioni del fronte in corrispondenza delle zone di faglia sarà necessario inserire sistematici interventi di consolidamento per i cunicoli. Si sottolinea che, date le dimensioni del cavo la sua realizzazione richiede fasi e modalità costruttive del tutto particolari, che non hanno alcun riscontro con quelle comunemente adottate per le gallerie di linea secondo quanto descritto in dettaglio nel seguito.

##### 8.4.4.2 Variabilità

Qualora, in corrispondenza delle tratte ove si prevede l'applicazione della SEZIONE TIPO 4, dai rilievi geostrutturali del fronte di scavo risultasse che la formazione fosse assimilabile alla parte meno alterata della formazione (GSI prossimo a 50-55), è possibile variare l'intensità degli interventi, prevedendo l'adozione di un profilato più leggero e un numero inferiore di consolidamenti

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 65 di 99</span>

al fronte secondo quanto previsto nel seguito. Laddove la formazione si presentasse ancor più compatta, ovvero in condizioni da garantire la stabilità del fronte anche in assenza di interventi, lo scavo potrà procedere mediante mezzi meccanici senza mettere in opera alcun intervento di preconsolidamento del fronte dei cunicoli.

#### Cunicoli di piedritto:

- Adozione centine HEB 180;
- N°40 VTR cementati.

#### Calotta camerone:

- Adozione centine HEA 280;
- N° 58 VTR cementati.

Nel caso opposto, cioè di un ammasso che risulta con parametri geomeccanici prossimi ai valori minimi del range fornito per la caratterizzazione geomeccanica (GSI inferiore a 35), potranno essere previsti interventi di supporto di prima fase di maggiore rigidità (aumento delle centine e del rivestimento in spritz beton, diminuzione del passo centine a 0.80m) e un numero maggiore di consolidamenti al fronte pari a 60 VTR nello scavo dei cunicoli di piedritto e 84 VTR in corrispondenza dello scavo di calotta.

#### *8.4.4.3 Fasi esecutive*

Nel seguito si illustreranno le fasi esecutive per lo scavo a sezione parzializzata. Nel caso si incontrasse durante gli scavi un terreno appartenente al Gruppo Geomeccanico 3 tali fasi dovranno subire leggere variazioni. Maggiori informazioni saranno fornite alla fine del presente paragrafo.

FASE 1: preconsolidamento al fronte dei cunicoli di piedritto (eventuale)

Dal fronte di scavo, sagomato a forma concava, si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa in opera di tubi n°50 VTR, aventi lunghezza 15 m e sovrapposizione 6 m.

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 2: esecuzione scavo dei cunicoli di piedritto

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 66 di 99</span>

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per una lunghezza massima funzione del campo, per singoli sfondi massimi 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<sup>a</sup> fase costituito da centine metalliche HEB 200 passo 1.00 m e da uno strato di spritz-beton, di spessore pari a 30 cm e da profilati HEB 200 passo 1.00 m con funzione di puntone in arco rovescio. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

#### FASE 4: Esecuzione dei preconsolidamenti radiali:

Parallelamente alla prosecuzione dello scavo dei cunicoli di piedritto dall'interno degli stessi si procede con l'esecuzione di interventi di preconsolidamento della calotta del camerone mediante N°7+6 tubi in VTR valvolati.

#### FASE 5 Getto delle murette e dei piedritti:

Si completano gli scavi e gli interventi di consolidamento dei cunicoli di piedritto e si effettua il completamento di armatura e cassetatura. Si effettua il getto di piedritti e murette in c.a. del camerone che dovrà avvenire entro ad una distanza massima dal fronte di  $9\phi$ .

#### FASE 6: Riempimento dei cunicoli di piedritto:

Vengono riempiti i cunicoli di piedritto con terreno.

#### FASE 7: esecuzione eventuali drenaggi in avanzamento

In caso di presenza d'acqua dovranno essere eseguiti drenaggi in avanzamento per lo scavo di calotta. Si prevede la realizzazione di n° 2+2 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 8: preconsolidamento al fronte

Dal fronte di scavo, sagomato a forma concava, si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa in opera di n° 70 tubi in VTR, aventi lunghezza 18 m e sovrapposizione 9 m.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 67 di 99

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 9: esecuzione scavo

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per una lunghezza massima funzione del campo, per singoli sfondi massimi di 1.0 m operando il taglio della parte superiore delle centine dei cunicoli di piedritto, 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 10: posa in opera del rivestimento di prima fase

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1<sup>a</sup> fase costituito da centine metalliche 2HEA 300 passo 1.00 m e da uno strato di spritz-beton, di spessore pari a 35 cm. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

#### FASE 11: 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 12: Getto rivestimento definitivo di calotta

Il getto del rivestimento definitivo di calotta dovrà avvenire entro una distanza compresa tra i 10m e i 30m dal fronte di scavo dopo aver eseguito il preconsolidamento 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.

#### FASE 13: scavo di ribasso

A seguito della posa del rivestimento definitivo di calotta si procede con lo scavo di ribasso fino al piano di scavo dei piedritti per campi di 30.00m. Successivamente, si opera lo scavo e la

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 68 di 99</span>

demolizione parziale del magrone di livellamento e si esegue lo scavo di ribasso per l'arco rovescio del camerone per campi di 10m seguito dalla messa in opera dell'arco rovescio stesso.

#### FASE 14: getto dell'arco rovescio

Il getto dell'arco rovescio dovrà avvenire entro 20-30m dal fronte di scavo. La distanza di getto dovrà essere regolata in funzione della risposta deformativa del cavo e sarà comunque inferiore a 30m 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.

Come anticipato le fasi esecutive appena illustrate dovranno subire leggere variazioni nel caso si incontrassero materiali appartenenti al Gruppo Geomeccanico 3. In particolare le fasi 2-3-4-5-6 riguarderanno lo scavo di un solo cunicolo. Il secondo verrà realizzato (con le stesse fasi esecutive) solo dopo aver riempito di terreno il primo.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 69 di 99

#### 8.4.5 Sezione tipo 5

La sezione in fase costruttiva è costituita da:

- 2+2 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati in PVC di diametro esterno  $\varnothing$  60 mm e sp. 5 mm (eventuali) di cui i primi 10 m da bocca foro dovranno essere cechi;
- preconsolidamento del fronte dei cunicoli di piedritto realizzato mediante la posa in opera di n° 50 tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie ,  $L \geq 15$  m, sovrapp.  $\geq 6$  m (eventuali);
- prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, e centine metalliche tipo HEB 200 a passo 1 m oltre ad eventuale puntone;
- consolidamento radiale del contorno dello scavo di calotta realizzato dai cunicoli di piedritto mediante la posa in opera da ciascun cunicolo di n° 7+6 tubi in VTR valvolati 1vlv/m, di lunghezza variabile secondo quanto riportato negli elaborati grafici di riferimento;
- preconsolidamento del fronte dello scavo di calotta realizzato mediante la posa in opera di n° 125 tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie,  $L \geq 18$  m, sovrapp.  $\geq 9.0$  m;
- prerivestimento composto da uno strato di 35 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, e centine metalliche tipo 2HEA 300 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 minimo di 200 cm in arco rovescio e 200 cm in calotta.

##### 8.4.5.1 Campo di applicazione

La sezione 5 ricade interamente all'interno della formazione delle Argille a Palombini. In queste condizioni al fine di contenere le deformazioni del fronte in corrispondenza delle zone di faglia sarà necessario inserire sistematici interventi di consolidamento per i cunicoli. Si sottolinea che, date le dimensioni del cavo la sua realizzazione richiede fasi e modalità costruttive del tutto particolari, che non hanno alcun riscontro con quelle comunemente adottate per le gallerie di linea secondo quanto descritto in dettaglio nel seguito.

##### 8.4.5.2 Variabilità

Qualora, in corrispondenza delle tratte ove si prevede l'applicazione della SEZIONE TIPO 5, dai rilievi geostrutturali del fronte di scavo risultasse che la formazione fosse assimilabile alla parte meno alterata della formazione (GSI prossimo a 50-55), è possibile variare l'intensità degli interventi, prevedendo l'adozione di un profilato più leggero e un numero inferiore di consolidamenti

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 70 di 99</span>

al fronte secondo quanto previsto nel seguito. Laddove la formazione si presentasse ancor più compatta, ovvero in condizioni da garantire la stabilità del fronte anche in assenza di interventi, lo scavo potrà procedere mediante mezzi meccanici senza mettere in opera alcun intervento di preconsolidamento del fronte dei cunicoli.

#### Cunicoli di piedritto:

- Adozione centine HEB 180;
- N°40 VTR cementati.

#### Calotta camerone:

- Adozione centine HEA 280;
- N° 105 VTR cementati.

Nel caso opposto, cioè di un ammasso che risulta con parametri geomeccanici prossimi ai valori minimi del range fornito per la caratterizzazione geomeccanica (GSI inferiore a 35), potranno essere previsti interventi di supporto di prima fase di maggiore rigidità (aumento delle centine e del rivestimento in spritz beton, diminuzione del passo centine a 0.80m) e un numero maggiore di consolidamenti al fronte pari a 60 VTR nello scavo dei cunicoli di piedritto e 150 VTR in corrispondenza dello scavo di calotta.

#### *8.4.5.3 Fasi esecutive*

Nel seguito si illustreranno le fasi esecutive per lo scavo a sezione parzializzata. Nel caso si incontrasse durante gli scavi un terreno appartenente al Gruppo Geomeccanico 3 tali fasi dovranno subire leggere variazioni. Maggiori informazioni saranno fornite alla fine del presente paragrafo.

FASE 1: preconsolidamento al fronte dei cunicoli di piedritto (eventuale)

Dal fronte di scavo, sagomato a forma concava, si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa in opera di tubi n°50 VTR, aventi lunghezza 15 m e sovrapposizione 6 m.

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 2: esecuzione scavo dei cunicoli di piedritto

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <table border="1" data-bbox="1369 232 1476 286"> <tr> <td>Foglio 71 di 99</td> </tr> </table>	Foglio 71 di 99
Foglio 71 di 99		

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per una lunghezza massima funzione del campo, per singoli sfondi massimi 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<sup>a</sup> fase costituito da centine metalliche HEB 200 passo 1.00 m e da uno strato di spritz-beton, di spessore pari a 30 cm e da profilati HEB 200 passo 1.00 m con funzione di puntone in arco rovescio. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

#### FASE 4: Esecuzione dei preconsolidamenti radiali:

Parallelamente alla prosecuzione dello scavo dei cunicoli di piedritto dall'interno degli stessi si procede con l'esecuzione di interventi di preconsolidamento della calotta del camerone mediante N°7+6 tubi in VTR valvolati.

#### FASE 5 Getto delle murette e dei piedritti:

Si completano gli scavi e gli interventi di consolidamento dei cunicoli di piedritto e si effettua il completamento di armatura e cassetatura. Si effettua il getto di piedritti e murette in c.a. del camerone che dovrà avvenire entro ad una distanza massima dal fronte di  $9\phi$ .

#### FASE 6: Riempimento dei cunicoli di piedritto:

Vengono riempiti i cunicoli di piedritto con terreno.

#### FASE 7: esecuzione eventuali drenaggi in avanzamento

In caso di presenza d'acqua dovranno essere eseguiti drenaggi in avanzamento per lo scavo di calotta. Si prevede la realizzazione di n° 2+2 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 8: preconsolidamento al fronte

Dal fronte di scavo, sagomato a forma concava, si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa in opera di n° 125 tubi in VTR, aventi lunghezza 18 m e sovrapposizione 9 m.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 72 di 99

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 9: esecuzione scavo

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per una lunghezza massima funzione del campo, per singoli sfondi massimi di 1.0 m operando il taglio della parte superiore delle centine dei cunicoli di piedritto, 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 10: posa in opera del rivestimento di prima fase

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1<sup>a</sup> fase costituito da centine metalliche 2HEA 300 passo 1.00 m e da uno strato di spritz-beton, di spessore pari a 35 cm. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

#### FASE 11: 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 12: Getto rivestimento definitivo di calotta

Il getto del rivestimento definitivo di calotta dovrà avvenire entro una distanza compresa tra i 10m e i 30m dal fronte di scavo dopo aver eseguito il preconsolidamento 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.

#### FASE 13: scavo di ribasso

A seguito della posa del rivestimento definitivo di calotta si procede con lo scavo di ribasso fino al piano di scavo dei piedritti per campi di 30.00m. Successivamente, si opera lo scavo e la

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 73 di 99</span>

demolizione parziale del magrone di livellamento e si esegue lo scavo di ribasso per l'arco rovescio del camerone per campi di 10m seguito dalla messa in opera dell'arco rovescio stesso.

#### FASE 14: getto dell'arco rovescio

Il getto dell'arco rovescio dovrà avvenire entro 20-30m dal fronte di scavo. La distanza di getto dovrà essere regolata in funzione della risposta deformativa del cavo e sarà comunque inferiore a 30m 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.

Come anticipato le fasi esecutive appena illustrate dovranno subire leggere variazioni nel caso si incontrassero materiali appartenenti al Gruppo Geomeccanico 3. In particolare le fasi 2-3-4-5-6 riguarderanno lo scavo di un solo cunicolo. Il secondo verrà realizzato (con le stesse fasi esecutive) solo dopo aver riempito di terreno il primo.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 74 di 99

## 8.5 Soglie di attenzione e allarme

Si riportano in Tabella 8-1 le soglie di attenzione e allarme relative alle differenti sezioni tipo.

CAMERONE TIPO C - GALLERIA DI VALICO - SOGLIE DI ATTENZIONE E ALLARME				
CARATT. GALLERIA	SOGLIA ATTENZIONE	SOGLIA ALLARME	SOGLIA ATTENZIONE	SOGLIA ALLARME
SEZ.TIPO	CONV. DIAMETRALE (cm)	CONV. DIAMETRALE (cm)	ESTRUSIONE (cm)	ESTRUSIONE (cm)
1	3 - 5	5 - 8	<3	<5
2	4 - 5	5 - 9	<5	<7
3	4 - 5	5 - 9	<5	<7
4	4 - 7	7 - 10	<5	<7
5	4 - 7	7 - 10	<5	<7

Per i cunicoli si faccia riferimento ai limiti indicato per la sezione 1

**Tabella 8-1**

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

## 8.6 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.

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  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 75 di 99</span>

## 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  $f_{cm}=25\text{MPa}$  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 lungo tutta la tratta del camerone.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 76 di 99</span>

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.

Inoltre, 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 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 relativamente allo scavo a piena sezione e piedritti-murette, calotta e arco rovescio nelle sezioni con scavo parzializzato. 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 per la sezione scavata a piena sezione, e del solo arco rovescio per le sezioni con scavo parzializzato, 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, per ogni sezione tipo di avanzamento, sarà anch'essa funzione delle condizioni generali d'ammasso. 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 riducendo del 20% la distanza prevista a progetto (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, 20% in più di quanto previsto a progetto, all'interno del range di variabilità di detta sezione tipo (variabilità massima); infine se l'ammasso si presenta in condizioni simili a quelle previste in progetto, si procederà ad utilizzare la distanza prevista a progetto.

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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5105ECVROGN14BX002A00
	Foglio 77 di 99

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.

Per quanto concerne i valori numerici delle distanze di getto relativamente ad ogni sezione tipo si vedano i relativi paragrafi.

### **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 e di consolidamento radiale al contorno**

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 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 effettuati in situ.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 78 di 99</span>

Al fine di velocizzare la realizzazione del camerone, il consolidamento radiale al contorno eseguito dai cunicoli di piedritto potrà invece essere sostituito da consolidamenti in avanzamento previo mantenimento delle geometrie minime da progetto.

## 9.7 Soglie d'attenzione e d'allarme

In corso d'opera è prevista la possibilità di ritarare 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 sottoaversamenti 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 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 79 di 99</span>

## 10 INTRODUZIONE MONITORAGGIO

Lo scopo del monitoraggio, in accordo con il metodo ADECO-RS adottato in progettazione è quello di mantenere 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:

- strumentazione impiegata per il monitoraggio della fase di scavo e del terreno:
  - indagini in avanzamento;
  - prelievo di campioni e prove di laboratorio;
  - estensimetri multibase;
  - rilievo del fronte di scavo;
  - misure di convergenza a cinque punti;
  - misure di estrusione topografiche;
  - misure di estrusione incrementale.
  
- strumentazione impiegata per il monitoraggio del privervestimento:
  - stazioni di misura dello stato tensionale del privervestimento con celle di carico e barrette estensimetriche.
  
- strumentazione impiegata per il monitoraggio del rivestimento definitivo:
  - barrette estensimetriche a corda vibrante del rivestimento definitivo;
  - mire e prismi ottici sul rivestimento definitivo.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 80 di 99</span>

- strumentazione impiegata per il monitoraggio degli edifici e della paratia:
  - mire topografiche sugli edifici;
  - capisaldi topografici sulla paratia.

Il monitoraggio mediante piezometri radiali risulta essere oggetto di tale relazione ed analizzato in apposito paragrafo.

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.

<b>Descrizione</b>	<b>Frequenza (m)</b>	<b>Totale n°</b>
Indagini in avanzamento con prelievo di campioni e prove di laboratorio	-	1
Stazioni di misura dello stato tensionale nel prerinvestimento	In corrispondenza di ogni cambio di sezione	5
Barrette estensimetriche nel rivestimento definitivo	In corrispondenza di ogni cambio di sezione	5
Estensimetri multibase e/o incrementali	In corrispondenza di ogni cambio di sezione	5
Mire e prismi ottici sul rivestimento definitivo	In corrispondenza di ogni cambio di sezione	5
Rilievi del fronte	In funzione della sezione tipo	Vedi tabella relativa
Misure di convergenza a cinque punti	In funzione della sezione tipo	Vedi tabella relativa
Misure di estrusione topografica	In funzione della sezione tipo	Vedi tabella relativa
Misure di estrusione incrementale/estensimetrica	In corrispondenza di ogni cambio di sezione	5

**Tabella 10-1**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 81 di 99

## 11 STRUMENTAZIONE FONDAMENTALE PER IL MONITORAGGIO DEL FRONTE 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 con le seguenti cadenze, alternando i diversi tipi di rilievo:

SEZIONE TIPO	SCAVO	FREQUENZA
1, 2, 3, T1, T2, T3	piena sezione	1 stazione ogni 25 m
T4, 4, T5, 5	cunicoli	1 stazione ogni 25 m
	calotta	1 stazione ogni 25 m
	ribasso A.R.	1 stazione ogni 25 m

**Tabella 11-1**

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 è previsto il prelievo di campioni per lo svolgimento di prove di laboratorio in corrispondenza della zona diaglia come indicato nel profilo geomeccanico.

### 11.1 Rilievi

#### 11.1.1 Rilievi di tipo analitico

Con questo tipo di rilievi sono determinate:

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG5105ECVROGN14BX002A00</p> <p>Foglio 82 di 99</p>

### 11.1.1.1 *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
  - 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.).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 83 di 99

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 compositazionale 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.
- 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5105ECVROGN14BX002A00</p>	<p>Foglio 84 di 99</p>

- 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.
  - 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.).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5105ECVROGN14BX002A00
	Foglio 85 di 99

### 11.1.1.2 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 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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <table border="1" data-bbox="1356 224 1477 288"> <tr> <td>Foglio 86 di 99</td> </tr> </table>	Foglio 86 di 99
Foglio 86 di 99		

### 11.1.2 Rilievo di tipo speditivo

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

1. 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:

relativamente al punto a)

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

### 11.1.3 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.

### 11.1.4 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;

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 87 di 99</span>

- caratteristiche di discontinuità;
- osservazioni.

## 11.2 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 tali indagini eseguite mediante sondaggi di lunghezza pari a 30-50m dal fronte di scavo, comunque definiti in funzione delle reali necessità; sul profilo è stato riportato un possibile punto di indagine nella zona dove sono presenti le sezioni realizzate con scavo parzializzato.

## 11.3 Estensimetri multibase da piano campagna e radiali

L'estensimetro multibase da foro è costituito da una o più aste di vetroresina alla cui estremità è posizionato il punto di misura costituito da una barra in acciaio a aderenza migliorata, ancorata in profondità all'interno di perforazioni e libera di scorrere all'interno di una guaina in nylon rilsan. Le aste trasmettono rigidamente il movimento degli ancoraggi profondi rispetto alla testa. Tali spostamenti relativi sono misurabili utilizzando un semplice calibro oppure possono essere acquisiti utilizzando trasduttori elettrici di spostamento lineare remotizzabili.

Questo strumento consente di rilevare lungo lo stesso asse spostamenti a profondità diverse rispetto alla bocca foro.

L'estensimetro multibase viene largamente impiegato per la misura del bulbo di deformazione in galleria, se eseguito radialmente, o per il calcolo dei cedimenti dovuti allo scavo della galleria se installati a piano campagna.

### 11.3.1 Installazione

Si differenziano gli estensimetri multibase in radiali e da piano campagna. A causa delle coperture presenti nella tratta in esame, si prevede l'utilizzo di estensimetri radiali di lunghezza pari a 15 m e 3 basi poste a 3m, 9m e 15 m.

Si prevede l'installazione di 5 stazioni di misura strumentate con estensimetri multibase radiali alle PK:

- km 2+100.00 circa
- km 2+160.00 circa
- km 2+225.00 circa
- km 2+290.00 circa
- km 2+490.00 circa

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 88 di 99</span>

### 11.3.2 Frequenza di lettura e restituzione finale dei dati

La frequenza delle letture rispetterà le seguenti cadenze:

- 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.

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.

## 11.4 Misure di convergenza a cinque punti

### 11.4.1 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).

### 11.4.2 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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 89 di 99</span>

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.

#### 11.4.3 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 le seguenti frequenze:

SEZIONE TIPO	SCAVO	FREQUENZA
T1, 1, T2, 2, T3, 3	piena sezione	ogni campo d'avanzamento
T4, 4, T5, 5	cunicoli	ogni campo d'avanzamento
	calotta	ogni campo d'avanzamento
	ribasso A.R.	-

**Tabella 11-2**

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.

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.

#### 11.4.4 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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 90 di 99</span>

riferimento tridimensionale costituito da caposaldi siti in galleria. La misura permette di risalire alle coordinate spaziali delle basi con tolleranza  $\pm 2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$ .

#### 11.4.5 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.

### 11.5 Misure di estrusione topografiche

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.

#### 11.5.1 Installazione

Le basi di misura sono costituite da 5-9 supporti di dimensioni adeguate, vincolati alla superficie del fronte, ai quali devono essere fissati i target riflettenti.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 91 di 99</span>

La frequenza di esecuzione di tali misure è di massima pari a:

SEZIONE TIPO	SCAVO	FREQUENZA
T1, 1, T2, 2, T3, 3	piena sezione	1 stazione ogni 25 m
T4, 4, T5, 5	cunicoli	1 stazione ogni 25 m
	calotta	1 stazione ogni 25 m
	ribasso A.R.	1 stazione ogni 50 m

**Tabella 11-3**

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

#### 11.5.2 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.

#### 11.5.3 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  $\pm 2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$ .

#### 11.5.4 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 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 92 di 99</span>

## 11.6 Misure di estrusione estensimetriche

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 posta all'interno di un foro di sondaggio sub-orizzontale. Il tubo sarà attrezzato con anelli magnetici o di ottone posizionati ad una distanza di 1m gli uni dagli altri.

### 11.6.1 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  $\geq 30$  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. Per facilitare l'installazione dell'estensimetro può essere previsto la sostituzione della perforazione di 30 m in unica soluzione con due perforazioni consecutive purchè sia garantita una sovrapposizione di circa 10m.

E' prevista l'installazione di n°5 colonne estensimetriche, alla seguenti PK:

- km 2+100.00 circa
- km 2+160.00 circa
- km 2+225.00 circa
- km 2+290.00 circa
- km 2+490.00 circa

La tubazione permette la lettura degli spostamenti lungo l'asse del tubo attraverso l'inserimento all'interno del tubo di una sonda e degli spostamenti secondo il piano perpendicolare all'asse attraverso l'inserimento di un in clinometro removibile. Si effettua una misura di riferimento e si è così in seguito in grado di misurare le deformazioni nel tempo del mezzo all'interno del quale è installato il tubo.

### 11.6.2 Frequenza delle letture, acquisizione e restituzione dati

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:

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5105ECVROGN14BX002A00</p>	<p>Foglio 93 di 99</p>

- 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.

Il sistema di acquisizione dati è composto da:

- 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.

Si richiede la restituzione grafica e numerica degli spostamenti relativi delle coppie di ancoraggi in funzione della profondità e la sommatoria degli spostamenti differenziali rispetto alla base più profonda ipotizzata fissa.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 94 di 99</span>

## **12 STRUMENTAZIONE FONDAMENTALE DEL MONITORAGGIO DEL PRERIVESTIMENTO**

Si riporta la strumentazione fondamentale utilizzata durante il monitoraggio del prerivestimento evidenziando la tipologia d'intervento e la sua frequenza.

### **12.1 Misura dello stato tensionale del prerivestimento con celle di carico e barrette estensimetriche**

Si prevede l'utilizzo di barrette estensimetriche a corda vibrante a saldare per la determinazione della deformazione nei prerivestimenti. Si ingloba nel corpo strumentale un termistore per la misura della temperatura. Si prevede la presenza di un filo di acciaio tra due estremità sul supporto da monitorare del quale si misurano le deformazioni ottenute in seguito ad una eccitazione del cavo causata da un input elettrico. Si prevede l'utilizzo di celle di carico installate tra le piastre di giunzione delle centine al fine di misurare il grado di carico al quale è sottoposto il profilo metallico.

#### *12.1.1 Installazione delle barrette estensimetriche a corda vibrante a saldare*

Si prevede l'installazione di 3 coppie di barrette estensimetriche posizionate nel prerivestimento.

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 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.

#### *12.1.2 Installazione delle celle di carico*

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 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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5105ECVROGN14BX002A00 <span style="float: right;">Foglio 95 di 99</span>

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

Le celle di carico vengono impiegate fra le piastre di giunzione della centina e sulle reni del piatto d'unione per valutare il carico che esse trasmettono al loro piede e quindi la pressione a cui esse sono sottoposte. Si prevede di suddividere le centine in due sottoinsiemi con differenti soglie di carico come riportato di seguito:

<b>Profilo centine</b>	<b>Soglia di carico</b>	<b>Sezione</b>
1xHEB 200	0 – 200 ton	Cunicoli di piedritto
1xHEB 240	0 – 200 ton	Camerone sezione 1, sezione 2
1xHEB 260	0 – 200 ton	Camerone sezione 3
2xHEA 300	2 x 0 – 200 ton	Camerone sezione 4 e sezione 5

- Frequenza dei rilevamenti e restituzione dei dati

Il numero minimo di rilevamenti da eseguire per ogni cella di carico e per ogni barretta estensimetrica relativamente alla fase di monitoraggio del prerivestimento è il seguente:

- n. 1 stazione in corrispondenza dell'inizio delle sezioni 1, 2, 3, 4 e 5 ovvero 5 stazioni di misura adottate lungo tutto il tracciato alle PK:
  - km 2+100.00 circa
  - km 2+160.00 circa
  - km 2+225.00 circa
  - km 2+290.00 circa
  - km 2+490.00 circa

come risulta indicato nel profilo geomeccanico.

Il sistema di elaborazione dati richiede i seguenti diagrammi e tabulati numerici dell'andamento del carico e delle tensioni in funzione del tempo ed in funzione della distanza dal fronte di scavo.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 96 di 99

## 13 STRUMENTAZIONE FONDAMENTALE PER IL MONITORAGGIO DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO

Si riporta la strumentazione fondamentale utilizzata durante il monitoraggio del rivestimento definitivo evidenziando la tipologia d'intervento e la sua frequenza. Tale strumentazione sarà prevista per il monitoraggio del rivestimento definitivo del camerone.

### 13.1 Barrette estensimetriche a corda vibrante entro il rivestimento definitivo

Si prevede l'utilizzo di estensimetri a corda vibrante per determinare le deformazioni del calcestruzzo. Queste barrette estensimetriche verranno posizionate all'estradosso e all'intradosso del rivestimento definitivo.

#### 13.1.1 Installazione

Si prevede l'installazione di 4 coppie di barrette estensimetriche a corda vibrante all'interno del rivestimento definitivo e si prevede inoltre l'adozione di barrette supplementari al fine di determinare la variazione della temperatura all'interno del rivestimento e gli effetti del ritiro.

E' previsto un filo d'acciaio tensionato tra due estremità fisse sul supporto da monitorare, le deformazioni del supporto modificheranno le tensioni presenti e tramite la misura della tensione si ottiene la deformazione alla quale è soggetto il supporto.

La frequenza d'installazione di tale strumentazione è:

- n. 1 stazione in corrispondenza dell'inizio delle sezioni 1, 2, 3, 4 e 5 ovvero 5 stazioni di misura adottate lungo tutto il tracciato alle PK:
  - km 2+100.00 circa
  - km 2+160.00 circa
  - km 2+225.00 circa
  - km 2+290.00 circa
  - km 2+490.00 circa

come risulta indicato nel profilo geomeccanico.

#### 13.1.2 Rilevamento, acquisizione e restituzione dati

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 barretta estensimetrica a corda vibrante è il seguente:

- n. 1 lettura ogni giorno con il fronte distante fino 10 m.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5105ECVROGN14BX002A00
	Foglio 97 di 99

- 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.

### 13.2 Mire e prismi ottici sul rivestimento definitivo

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 ed attrezzati con mire ottiche rilevabili mediante strumento topografico di precisione.

#### 13.2.1 Installazione

Si riportano indicativamente le progressive alle quali verranno installati gli strumenti di monitoraggio.

- km 2+100.00 circa
- km 2+160.00 circa
- km 2+225.00 circa
- km 2+290.00 circa
- km 2+490.00 circa

come risulta indicato nel profilo geomeccanico

#### 13.2.2 Rilevamento, acquisizione e restituzione dati

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

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  $\pm 2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$ .

Il sistema di elaborazione dati deve offrire i diagrammi e tabulati numerici in funzione del tempo degli spostamenti verticali e trasversali, dell'andamento della deformata, della velocità di convergenza e delle fasi esecutive principali. I dati elaborati per ciascuna misura di ciascuna stazione vanno forniti entro la giornata in cui è stato eseguito il rilievo. Si richiede una copia di tali dati anche su supporto magnetico.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 98 di 99

## 1 4 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, 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 per quanto riguarda le sezioni tipo previste si rimanda al paragrafo 8.5.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5105ECVROGN14BX002A00	Foglio 99 di 99

## 15 CONCLUSIONI

Nella prima parte della presente Relazione si sono forniti i chiarimenti atti a dimostrare la rispondenza del progetto alle finalità dell'intervento e le indicazioni circa l'applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità previste per il camerone tipo B2 – GN14B – Della galleria di Valico.

Nella seconda parte è stato descritto il programma di monitoraggio previsto per l'opera in esame. Tale programma, finalizzato alla valutazione delle caratteristiche dell'ammasso e del suo comportamento tenso-deformativo durante lo scavo, si articola in tre fasi finalizzate al monitoraggio del fronte di scavo, dei pririvestimenti e dei rivestimenti definitivi. Al fine di ottenere una corretta procedura di monitoraggio si è descritta la strumentazione da adottare e si sono definiti per ciascuna fase i criteri di rilevamento, acquisizione e restituzione dei dati ottenuti.