

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 DEFINITIVO**

**VAR0008 – Specifiche Tecniche di Interoperabilità  
GN14P - Galleria Naturale di Valico Binario Pari - Camerone di innesto  
Finestra Val Lemme - Binario Pari - Zona Area Sicura Val Lemme  
Relazione di monitoraggio e Linee guida per l'applicazione delle sezioni  
tipo**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing. N.Meistro	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
A 3 0 1	0 X	D	C V	R O	G N 1 4 P 0	0 0 2	A

Progettazione :								
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	Rocksoil 	24/02/2020	Rocksoil 	26/02/2020	A.Mancarella 	28/02/2020	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R
A01	Emissione	Rocksoil 	25/05/2020	Rocksoil 	26/05/2020	A.Mancarella 	27/05/2020	

n. Elab.:	File: A3010XDCVROGN14P0002A01
-----------	-------------------------------



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>A3010XDCVROGN14P0002A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 81</p>

## INDICE

INDICE.....		3
1. INTRODUZIONE.....		6
2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI.....		8
2.1. Raccomandazioni .....		10
3. MATERIALI IMPIEGATI.....		11
3.1. Gallerie naturali.....		11
3.1.1. Consolidamenti e rivestimenti provvisori.....		11
3.1.2. Rivestimenti definitivi .....		13
3.1.3. Valori di verifica.....		13
4. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'OPERA .....		14
4.1. Fasi esecutive e azioni sulla tratta Area Sicura .....		16
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO.....		17
5.1.1. Parametri geomeccanici di calcolo .....		17
6. PREVISIONI SUL COMPORTAMENTO DEGLI AMMASSI ALLO SCAVO (FASE DI DIAGNOSI) .....		19
6.1. Calcolo e determinazione delle categorie di comportamento allo scavo .....		20
7. LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO .....		22
7.1. Definizione delle caratteristiche geologiche-geomeccaniche dell'ammasso .....		24
7.2. Risposta deformativa del fronte e del cavo.....		26
7.3. Fasi esecutive e cadenze di avanzamento .....		27
7.4. Procedura di applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità .....		27
8. DESCRIZIONE DELLE FASI ESECUTIVE E DELLE SEZIONI TIPO DI SCAVO30		
8.1. Introduzione .....		30
8.2. Fasi esecutive .....		31
8.3. Analisi del Rischio.....		33
8.4. Analisi dei rischi lungo il tracciato dell' innesto .....		33
8.5. Sezioni tipo.....		34
8.5.1. Sezione tipo n: non consolidata .....		35
8.5.2. Sezione tipo f: consolidata al fronte .....		37
8.5.3. Sezione tipo fc: consolidata al fronte e al contorno .....		40
8.5.4. Pre-spritz al fronte e contorno durante la fase di scavo – Funzione e sua applicazione .....		44
8.6. Variabilità delle sezioni tipo.....		44
8.7. Soglie di attenzione e allarme.....		47
8.8. Applicazione di una diversa sezione tipo .....		47

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>A3010XDCVROGN14P0002A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 4 di 81</p>

9.	TECNOLOGIE ALTERNATIVE E PRESCRIZIONI .....	49
9.1.	Tecnologie alternative di perforazione .....	49
9.2.	Tecnologie alternative per l'armatura dello spritz-beton .....	49
9.3.	Armatura del rivestimento definitivo .....	49
9.4.	Distanze di getto dei rivestimenti definitivi .....	50
9.5.	Caratteristiche minime di resistenza del calcestruzzo in relazione alle fasi operative .....	51
9.6.	Tecniche di consolidamento dei fronti di scavo .....	51
9.7.	Soglie d'attenzione e d'allarme .....	52
9.8.	Criticità .....	52
10.	MONITORAGGIO .....	53
11.	STRUMENTAZIONE FONDAMENTALE PER IL MONITORAGGIO DEL FRONTE DI SCAVO.....	55
11.1.	Rilievi.....	55
11.1.1.	Rilievi di tipo analitico.....	55
11.1.2.	Rilievo di tipo speditivo .....	59
11.1.3.	Rilievo di tipo speditivo-pittorico .....	60
11.1.4.	Archiviazione dei dati geologici.....	60
11.2.	Indagini geognostiche in avanzamento.....	60
11.3.	Estensimetri multibase radiali .....	61
11.3.1.	Installazione .....	61
11.4.	Misure di convergenza a cinque punti .....	62
11.4.1.	Installazione .....	62
11.4.2.	Rilevamenti e restituzione risultati .....	62
11.5.	Misure di estrusione topografiche .....	63
11.5.1.	Installazione .....	64
11.5.2.	Frequenza delle letture, acquisizione e restituzione dati .....	64
11.6.	Misure di estrusione estensimetriche .....	64
11.6.1.	Installazione .....	64
11.6.2.	Frequenza delle letture, acquisizione e restituzione dati .....	65
12.	STRUMENTAZIONE FONDAMENTALE PER IL MONITORAGGIO DEL PRERIVESTIMENTO .....	67
12.1.	Misura dello stato tensionale del prerivestimento con barrette estensimetriche e celle di carico.....	67
12.1.1.	Installazione delle barrette estensimetriche a corda vibrante a saldare .....	67
12.1.2.	Installazione delle celle di carico .....	68
12.1.3.	Frequenza dei rilevamenti e restituzione dei dati .....	68
12.2.	Celle di carico sui bulloni di ancoraggio.....	69

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN14P0002A01
	Foglio 5 di 81

13.	STRUMENTAZIONE FONDAMENTALE PER IL MONITORAGGIO DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO.....	70
13.1.	Barrette estensimetriche a corda vibrante entro il rivestimento definitivo.....	70
13.1.1.	Installazione.....	70
13.1.2.	Acquisizione e restituzione dei dati.....	72
13.2.	Mire e prismi ottici sul rivestimento definitivo.....	72
13.2.1.	Installazione.....	72
13.2.2.	Rilevamento, acquisizione e restituzione dati.....	72
14.	DEFINIZIONE DELLE SOGLIE DI ATTENZIONE E DI ALLARME.....	74
15.	CONCLUSIONI .....	75

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A3010XDCVROGN14P0002A01	Foglio 6 di 81

## 1. INTRODUZIONE

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

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

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

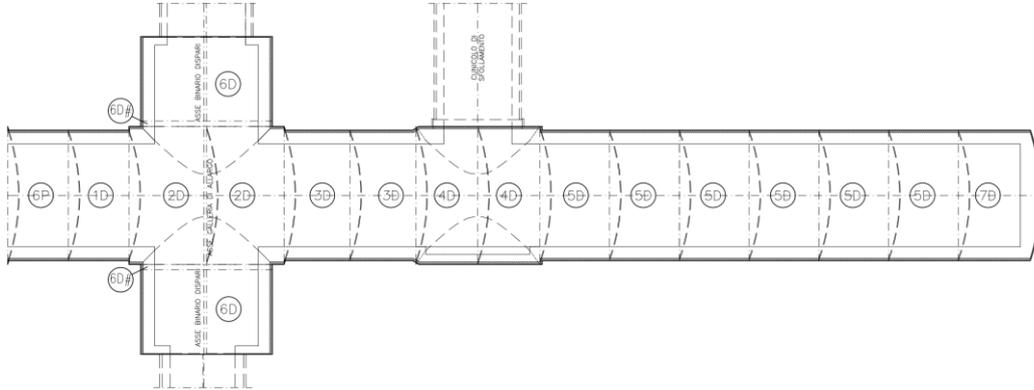
A tale scopo verrà fornito un inquadramento delle opere nel contesto territoriale ed una descrizione delle stesse, i dati ed i requisiti di base nel rispetto dei quali è stata sviluppata la progettazione, le caratteristiche prestazionali e descrittive dei materiali prescelti, le ipotesi progettuali adottate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

La relazione è articolata nei seguenti punti principali:

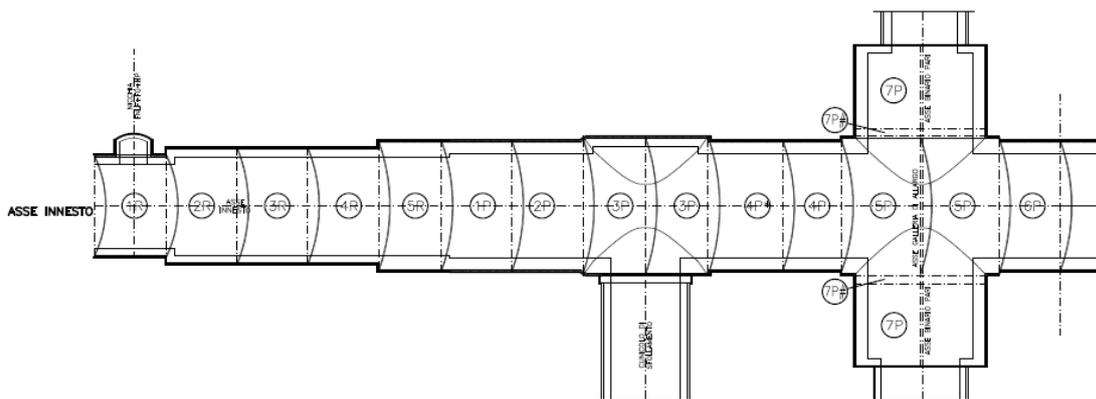
- Inquadramento generale dell'opera: il lavoro comprende la localizzazione geografica dell'opera, l'individuazione delle eventuali interferenze con manufatti preesistenti presenti lungo il tracciato e l'inquadramento geologico e geotecnico generale dell'area;
- Individuazione del comportamento allo scavo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

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

Data l'unicità dell'opera in esame, in quanto a geometria, esecuzione e criticità, la presente relazione comprende le linee guida e il piano di monitoraggio sia per la WBS GN15Q che per la WBS GN14P, relative rispettivamente alla parte d'opera dell'innesto con il binario dispari (Figura 1-1) e pari (Figura 1-2). In funzione di quanto detto, nel seguito della relazione si tratterà l'innesto come opera unica, non facendo più riferimento alla singola WBS.



**Figura 1-1. Pianta del camerone di innesto: binario dispari, WBS GN15Q**



**Figura 1-2. Pianta del camerone di innesto: binario pari, WBS GN14P**

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>A3010XDCVROGN14P0002A01</p> <p>Foglio 8 di 81</p>

## 2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI

### - Legge 5/11/1971 n. 1086

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

### - Legge n° 64 del 2 febbraio 1974

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

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

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

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

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

### - Istruzioni C.N.R. 10012-81

Azioni sulle costruzioni.

### - Decreto Ministero Lavori Pubblici 11/3/1988

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

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

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

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

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

### - Decreto Ministero Lavori Pubblici 14/02/1992

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

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>A3010XDCVROGN14P0002A01</p> <p>Foglio 9 di 81</p>

**- Decreto Ministero Lavori Pubblici 9/01/1996**

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

**- Decreto Ministero Lavori Pubblici 16/01/1996**

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

**- Decreto Ministero Lavori Pubblici 16/01/1996**

Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche

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

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

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

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

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

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

**- Decreto Ministero Lavori Pubblici 5/08/1999**

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

**- D.P.R. 6 Giugno 2001, n°380**

Testo unico delle disposizioni legislative e regolamenti in materia edilizia

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN14P0002A01	Foglio 10 di 81

## 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
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 11 di 81</span>

### 3. MATERIALI IMPIEGATI

#### 3.1. Gallerie naturali

##### 3.1.1. 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 30</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, perforo 80 mm rivestiti con TNT</li> <li>- I primi 10m da boccaforo devono essere ciechi</li> </ul>
Impermeabilizzazione in PVC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- teli sp. 2+/-0.5 mm,</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>

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>A3010XDCVROGN14P0002A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 12 di 81</p>

<p>Tubi in VTR (caratteristiche del composito)</p>	<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>
<p>Miscela cementizie per cementazione a bassa pressione</p>	<p>Cemento 42.5R</p> <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 &gt; 5 MPa</li> </ul>
<p>Iniezioni di guaina</p>	<p>Cemento R32.5 – R42.5</p> <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>
<p>Iniezione di consolidamento</p>	<p>Cemento R42.5</p> <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 &lt;2 %</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 &gt; 95%</li> </ul>

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 13 di 81</span>

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>
--	--

### 3.1.2. Rivestimenti definitivi

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

### 3.1.3. Valori di verifica

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

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

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

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

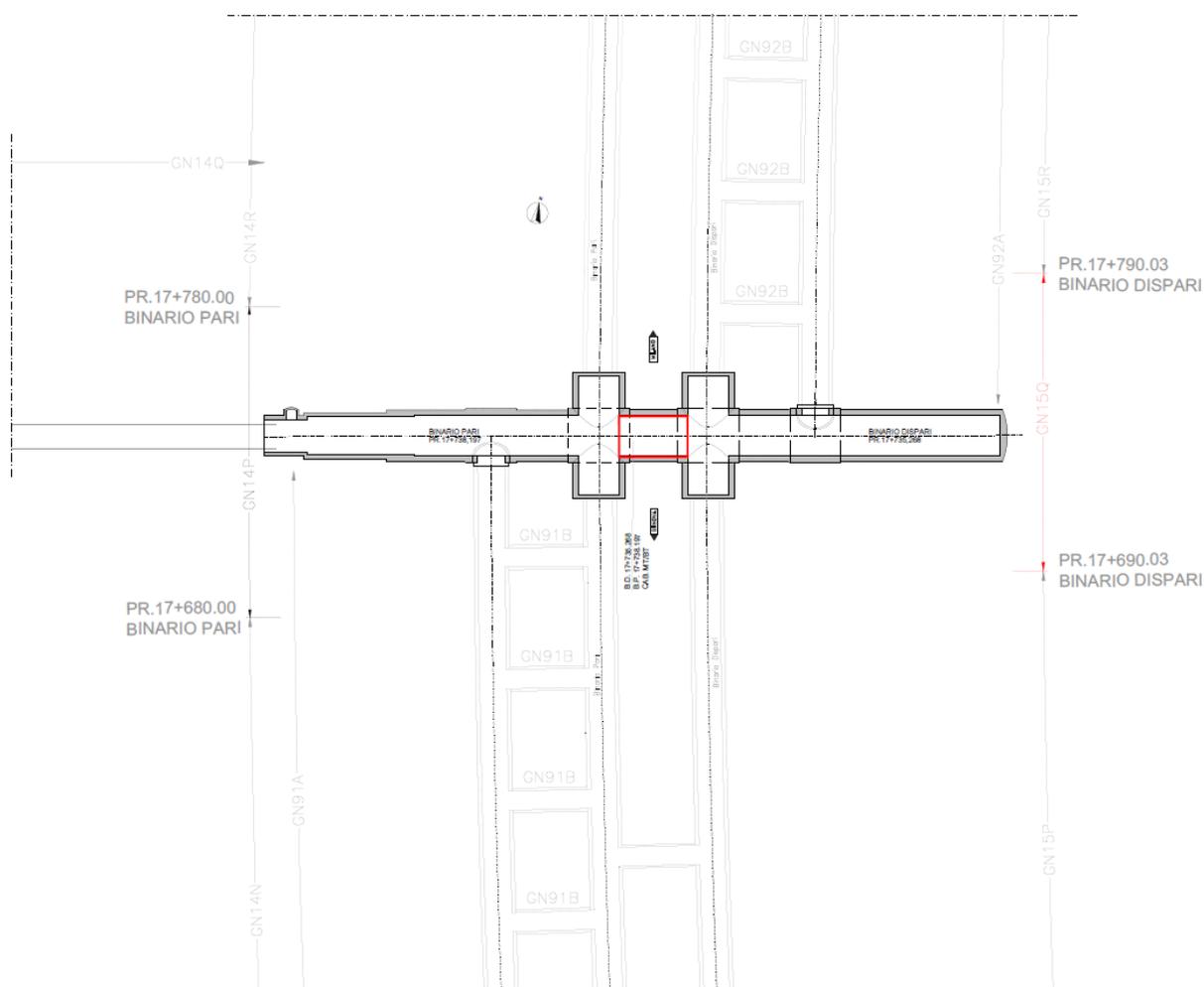
GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 14 di 81</span>

#### 4. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'OPERA

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

In particolare si tratta della realizzazione dell'innesto tra la finestra di accesso Val Lemme e la galleria di linea compreso tra le progressive di linea PK 17+717.524e PK 17+758.870 (binario dispari), con coperture pari a di 200-240m.

Dal camerone, oltre all'accesso alle gallerie di linea, verrà eseguito lo scavo dei cunicoli di sfollamento GN91A e GN92A adiacenti al tratto di linea definito "Area sicura" e collegati mediante by-pass, come riportato nelle planimetrie nelle figure seguenti.

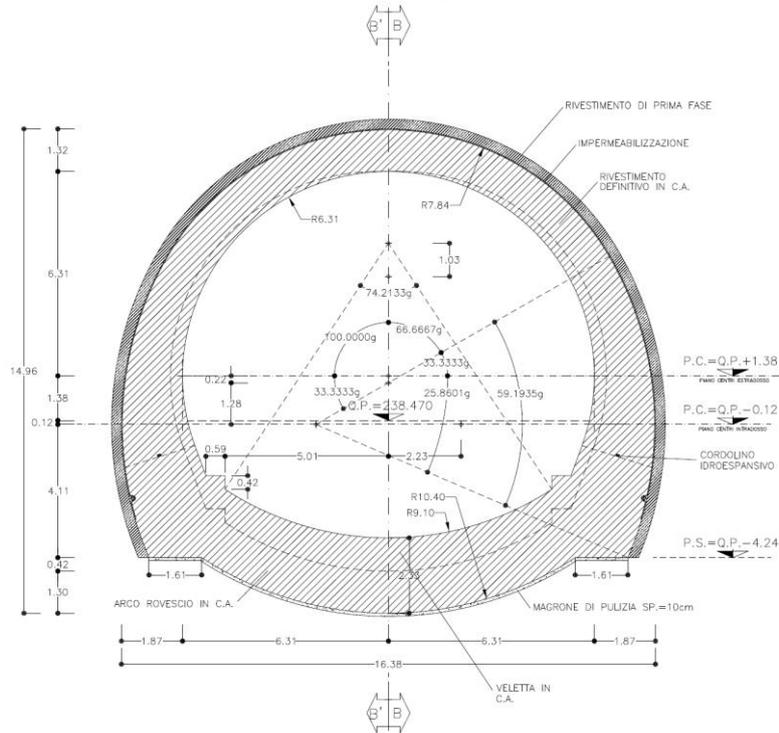


**Figura 4-1. Planimetrie innesto Camerone – Gallerie di linea – Cunicoli di sfollamento**

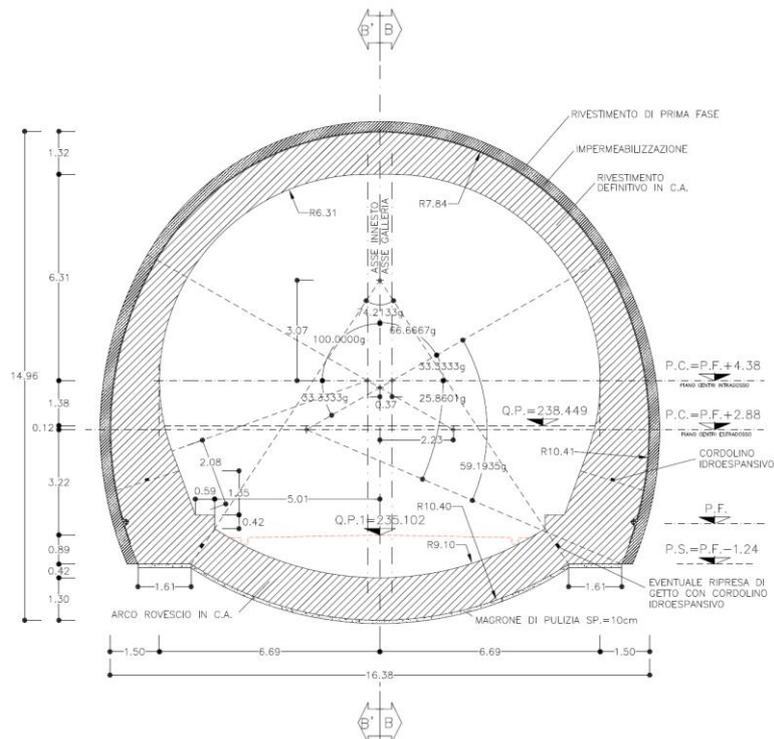
Il camerone è composto da una zona di raccordo a sezione variabile (Figura 4-2), che collega la finestra d'accesso all'inizio dell'innesto, poi si alternano sezioni correnti e di allargamento per gli innesti con i cunicoli e per gli innesti con le gallerie di linea. La sezione corrente tipologica ha raggio interno in chiave calotta di 6.31 m e larghezza massima interna pari a 16.38 m all'altezza del piano dei centri. La zona d'innesto ha una sezione più grande, con area di scavo pari a circa 255 m<sup>2</sup>, con

uguale sagoma interna ma spessori dei rivestimenti maggiori. Le dimensioni delle sezioni sono tali da garantire il passaggio dei mezzi di scavo e smarino necessari allo scavo della galleria di linea.

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



**Figura 4-2. Sezione di raccordo**



**Figura 4-3. Sezione corrente**

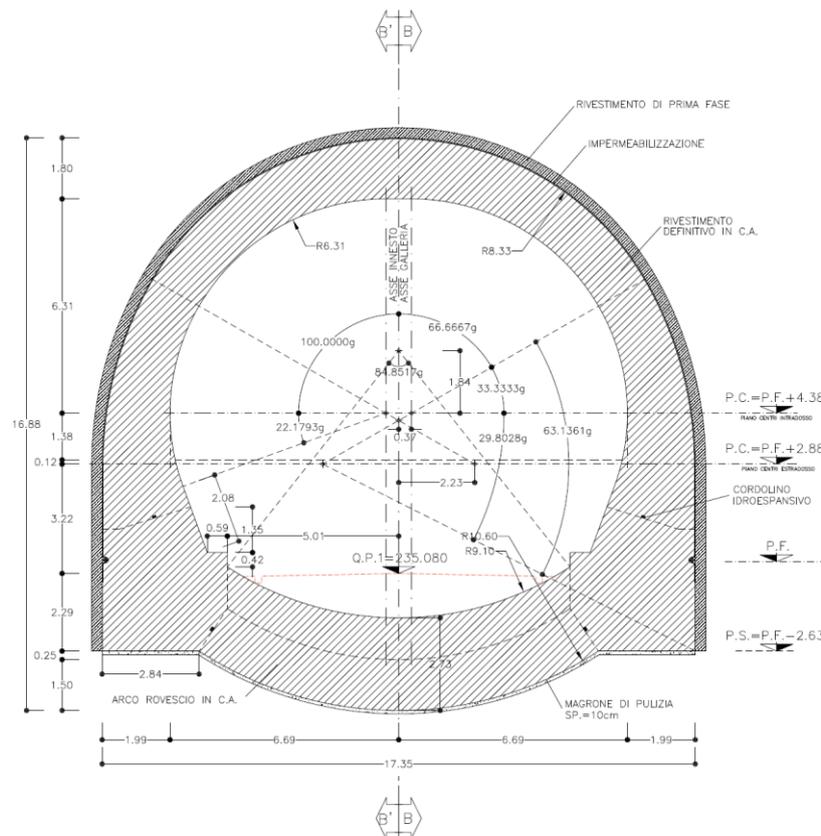


Figura 4-4. Sezione d'innesto

#### 4.1. Fasi esecutive e azioni sulla tratta Area Sicura

Al fine di limitare le interferenze tra le canne si prevede, successivamente alla realizzazione delle carpenterie del camerone di innesto, in prima fase lo scavo delle gallerie GN141 e GN15P, in seconda fase le gallerie di area sicura GN14N e GN151, successivamente i cunicoli di esodo rapido GN91A e GN92A ed infine i bypass di collegamento GN91B e GN92B. Il tratto di galleria in Area sicura verrà previsto armato per effetto dello scavo ravvicinato dei by-pass di collegamento.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
A3010XDCVROGN14P0002A01		Foglio 17 di 81

## 5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO

Per un inquadramento generale geologico e geotecnico dell'area di interesse si rimanda alla Relazione geotecnica, mentre l'argomento verrà trattato in maniera esaustiva in relazione geologica, rimandando alle relative relazioni e tavole per ulteriori dettagli.

### 5.1.1. Parametri geomeccanici di calcolo

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

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

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

Formazione	$\gamma$	$\nu$	$E_{op}$	$\sigma_c$	$m_i$	GSI
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[GPa]	[MPa]	[-]	[-]
GR1	27	0,25-0,3	3.0÷7.8	30÷40	15÷20	45÷55
GR2a	27	0,25-0,3	1.5÷2.0	10÷12	20÷25	40÷45
GR2b	27	0,25-0,3	1.0÷1.5		15÷20	35÷40

Tabella 5-1. Quadro di sintesi di caratterizzazione geomeccanica per i 3 gruppi geomeccanici

Si sono definiti quindi i parametri geotecnici/geomeccanici di calcolo propri di ogni gruppo geomeccanico individuato, determinati in condizioni di picco ed in condizioni residue ( $D=0.3$ ) come sintetizzato nella tabella che segue.

Argille a Palombini - Parametri di calcolo (Modello Hoek-Brown)											
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	5.40	35	17.5	50	0.506	2.93	0.0039	2.14	0.0021
GR2a	27	0.3	1.75	12	20.0	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

Tabella 5-2. Argille a Palombini: parametri Modello Hoek-Brown

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 18 di 81</span>

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

In particolare le linearizzazioni per i parametri di resistenza secondo il modello di Mohr-Coulomb sono state effettuate considerando gli intervalli di tensione relativi alle profondità delle opere in esame (200 – 240 m).

Si riportano nella i risultati delle linearizzazioni, espresse in relazione agli intervalli tensionali sopra menzionati e riferiti, rispettivamente al comportamento "disturbed" (valori residui) e "undisturbed" (valori di picco).

Si evidenzia che la linearizzazione, in quanto operazione matematica, in corrispondenza di livelli tensionali significativamente modesti, tende a sopravvalutare i valori di angolo di attrito e sottovalutare le coesioni; sono stati pertanto effettuati dei "tagli" qualora i valori di angolo di attrito siano troppo elevati per poter caratterizzare in maniera realistica il comportamento di un materiale secondo il modello di Mohr-Coulomb, mentre cautelativamente si è scelto di non intervenire nei range di coesione.

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	200÷250	44÷45 ( <u>38</u> ÷40)	41÷43 (30÷32)	920÷ <u>1050</u>	820÷940	27	0.3	5400
GR2a	200÷250	<u>34</u> ÷36 (36÷38)	31÷33 (28÷30)	570÷ <u>650</u>	500÷570	27	0.3	1750
GR2b	200÷250	<u>31</u> ÷33 (30÷33)	28÷30 (24÷26)	500÷ <u>570</u>	430÷500	27	0.3	1250

**NOTA:** in parentesi sono riportati i parametri cautelativi da adottare per i calcoli

Tabella 5-3. Argille a Palombini: linearizzazione modello Mohr-Coulomb

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 19 di 81</span>

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

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

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

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

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

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

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

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

### Gallerie a fronte stabile (CASO A)

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN14P0002A01
	Foglio 20 di 81

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

### **Gallerie a fronte stabile a breve termine (CASO B)**

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

### **Gallerie a fronte instabile (CASO C)**

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

## **6.1. Calcolo e determinazione delle categorie di comportamento allo scavo**

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

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>A3010XDCVROGN14P0002A01</p>	<p>Foglio 21 di 81</p>

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

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

Si rimanda alla Relazione Geotecnica e di Calcolo - Camerone di innesto Finestra Val Lemme - IG5102ECVROGN14PX001A00 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 	
	A3010XDCVROGN14P0002A01	Foglio 22 di 81

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

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

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

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

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

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>A3010XDCVROGN14P0002A01</p>	<p>Foglio 23 di 81</p>

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <div style="float: right;">Foglio 24 di 81</div>

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 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 25 di 81</span>

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.  $c'$ ,  $\phi'$ ,  $E'$ ); 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
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 26 di 81</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 diametrale e di estrusione attesi per ogni sezione tipo.

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

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

dove:

$\delta_o$  = 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  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 27 di 81</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).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <div style="float: right;">Foglio 28 di 81</div>

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

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

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

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

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

Nell'ambito di una stessa intertratta 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 	
	A3010XDCVROGN14P0002A01	Foglio 29 di 81

- 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.

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

### 8.1. Introduzione

Come riportato al §1, la relazione è valida per tutto il camerone di innesto, senza distinzione tra le due WBS in cui è diviso. Per chiarezza si riporta la distinzione dei campi di avanzamento dell'innesto relativamente alle WBS di appartenenza nella tabella sottostante.

WBS	CAMPO	SEZIONE
GN14P (bin. Pari)	1R, 2R, 3R,4R,5R	raccordo
	1P-2P-4P-6P	corrente
	3P	innesto cunicolo
	5P	innesto galleria
	7P/7P#	Corrente (linea)
GN15Q (bin. Dispari)	1D-3D-5D-7D	corrente
	2D	innesto galleria
	4D	innesto cunicolo
	6D/6D#	Corrente (linea)

Tabella 8-1. Campi di avanzamento relativi alla WBS GN15Q e GN14P

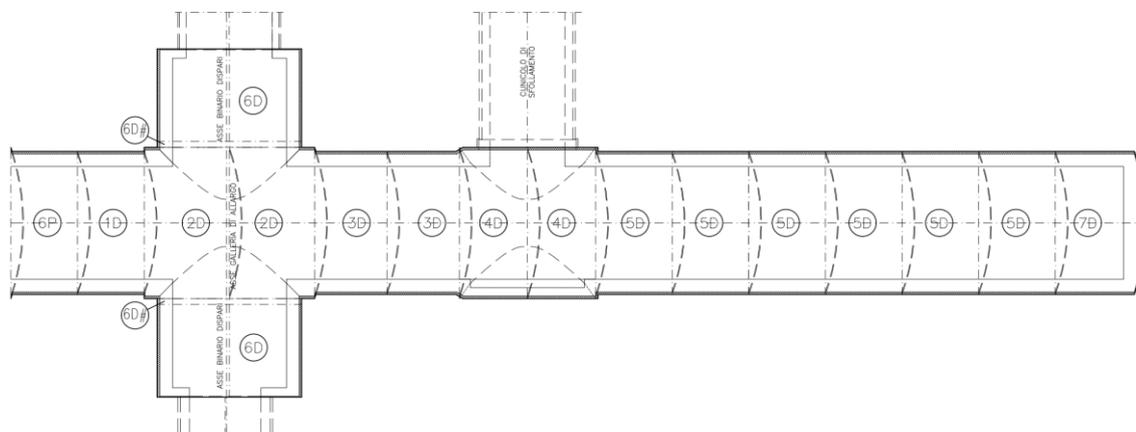


Figura 8-1. Pianta del camerone di innesto e campi di avanzamento: binario dispari, WBS GN15Q

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Foglio 31 di 81
A3010XDCVROGN14P0002A01		

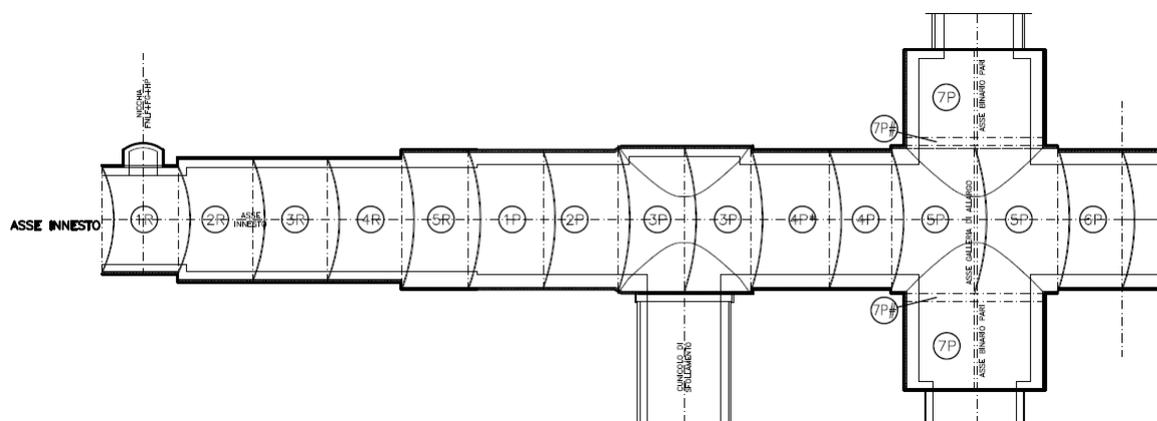


Figura 8-2. Pianta del camerone di innesto e campi di avanzamento: binario pari, WBS GN14P

## 8.2. Fasi esecutive

Si riportano di seguito, in riferimento alla Figura 8-1 e Figura 8-2, le principali fasi esecutive dell'innesto previsto tra la Finestra Val Lemme e la galleria di Valico, per la cui descrizione dettagliata si rimanda alla relativa tavola.

**Fase iniziale:** inizio scavo alla progressiva d'inizio raccordo (pr 1585.00) dei campi fino alla progressiva di inizio innesto (pr. 1629.195); lo scavo prosegue nella sezione di allargo (innesto cunicolo di sfollamento) fino al campo 4P. Il getto di murette e arco rovescio dovrà essere realizzato fino alla sezione di inizio innesto, il rivestimento definitivo deve avere una distanza massima di 6 diametri.

**Fase di scavo innesti:** scavo in allargo dell'innesto 1 (binario pari, campi 5P), scavo di avanzamento in sezione corrente (campi 6P e 1D) e scavo in allargo dell'innesto 2 (binario dispari, campi 2D). Il getto di murette e arco rovescio segue l'avanzamento dello scavo, con distanze relative alla sezione tipologica di progetto, fino ad arrivare all'inizio del primo innesto e viene completato il rivestimento definitivo del raccordo e della prima parte dell'innesto fino all'incrocio con il cunicolo di sfollamento.

**Fase di fine scavo camerone innesto:** lo scavo prosegue in sezione corrente (campi 3D), sezione in allargo per l'innesto con il cunicolo di sfollamento (campi 4D), ed infine sezione corrente fino alla fine del camerone (pk 1+830.867, nei campi 5D e 7D). Il getto di murette e arco rovescio è realizzato fino alla fine del secondo innesto, il rivestimento definitivo deve raggiungere il campo 6P, prevedendo gli opportuni risparmi nella sezione d'innesto con la galleria di linea e il cunicolo. Si comincia il consolidamento dei fronti di scavo della linea al binario pari a partire dall'innesto 1, prima che venga gettata la calotta.

**Fase di scavo di linea binario pari:** a partire dall'innesto 1 si esegue lo scavo di innesto della galleria di linea pari in direzione (sezione di allargo), alternando fasi di scavo a fasi di consolidamento sui due fronti. Si completa la realizzazione di murette e arco rovescio del camerone e in seguito del rivestimento definitivo con opportuni risparmi nei campi dell'innesto 2 e del cunicolo di sfollamento (pr. 1762.867). Si esegue il tampone di fondo e si comincia il consolidamento dei

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>A3010XDCVROGN14P0002A01</p>	<p>Foglio 32 di 81</p>

fronti di scavo della linea al binario pari. Si procede allo scavo secondo linee guida della galleria binario pari direzione Genova.

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

**Fase finale:** prosegue lo scavo della galleria di linea binario pari in direzione Genova, e inizia lo scavo della galleria di linea binario dispari direzione Milano. Si completa il getto dei rivestimenti del camerone compresi i campi di innesto delle gallerie e si cominciano i getti in entrambi i binari, mantenendo le distanze di getto previste dal progetto. Si comincia il consolidamento dei fronti dei cunicoli di sfollamento. Una volta eseguito lo scavo delle due gallerie di linea si può procedere allo scavo sui due binari delle tratte in area sicura. Lo scavo dei cunicoli di sfollamento GN91A e GN92A potrà partire una volta completati i getti delle linee in area sicura.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 33 di 81</span>

### 8.3. Analisi del Rischio

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

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

#### rischi collegati alle caratteristiche dell’ammasso

1. instabilità del fronte e/o del cavo per la presenza di zone tettonizzate
2. instabilità del fronte e/o del cavo in presenza di basse coperture
3. Presenza di trovanti
4. Fenomeni di “swelling”/”squeezing”
5. Anisotropia dell’ammasso
6. Deformazioni d’ammasso
7. Fenomeni di subsidenza e interferenza con altre strutture

#### rischi collegati alla presenza d’acqua

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

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

### 8.4. Analisi dei rischi lungo il tracciato dell’ innesto

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 34 di 81</span>

ma con struttura più intensamente piegata, fino alla microscala. Le superfici dei giunti sono da poco alterate ad alterate e la circolazione idrica è scarsa.

In particolare:

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

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

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

Fenomeni di squeezing: non sono previsti rischi legati a possibili fenomeni di squeezing

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

## 8.5. Sezioni tipo

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 35 di 81</span>

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

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

#### 8.5.1. Sezione tipo n: non consolidata

La sezione in fase costruttiva è costituita da:

- 3+3 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati per 20 m da fondo foro e ciechi per 10 m verso boccaforo Ø 60 mm e sp. 5 mm (eventuali);
- prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, e centine metalliche tipo HEB 220 (HEB 240 nelle sezioni di innesto), a passo 1 m;
- impermeabilizzazione composta da uno strato protettivo di tessuto non tessuto e da un telo impermeabilizzante di PVC;
- rivestimento definitivo in cls semplice avente spessore variabile in funzione della geometria relativa allo specifico campo di avanzamento.

#### Campo di applicazione

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A3010XDCVROGN14P0002A01	Foglio 36 di 81

### Variabilità

Per la variabilità degli interventi si rimanda al paragrafo 8.6 e relative tabelle.

### Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

#### FASE 1: esecuzione eventuali drenaggi in avanzamento

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

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

#### FASE 2: esecuzione scavo

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

#### FASE 3: posa in opera del rivestimento di prima fase

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

#### FASE 4: getto di murette e arco rovescio

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 37 di 81</span>

#### FASE 5: impermeabilizzazione

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

#### FASE 6: getto del rivestimento definitivo

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

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

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

#### 8.5.2. Sezione tipo f: consolidata al fronte

La sezione in fase costruttiva è costituita da:

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 38 di 81</span>

### Campo di applicazione

La sezione consolidata al fronte si applica nella formazione delle Argilliti a Palombini, indipendentemente dalle coperture, qualora l'ammasso risulti caratterizzato da valori di resistenza e deformabilità attribuibili alle fasce meno alterate del gruppo geomeccanico 2 della formazione (parametri prossimi al limite superiore del range stabilito, GR2a).

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

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

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

### Variabilità

Per la variabilità degli interventi si rimanda al paragrafo 8.6 e relative tabelle.

### Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

#### FASE 1: esecuzione eventuali drenaggi in avanzamento

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

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

#### FASE 2: preconsolidamento al fronte

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

Le fasi costruttive sono le seguenti:

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>A3010XDCVROGN14P0002A01</p>	<p>Foglio 39 di 81</p>

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

#### FASE 3: esecuzione scavo

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

#### FASE 4: posa in opera del rivestimento di prima fase

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

#### FASE 5: getto di murette e arco rovescio

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

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

#### FASE 6: impermeabilizzazione

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 40 di 81</span>

### FASE 7: getto del rivestimento definitivo

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

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

La sezione in fase costruttiva è costituita da:

- 3+3 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati per 20 m da fondo foro e ciechi per 10 m verso boccaforo  $\varnothing$  60 mm e sp. 5 mm (eventuali) ;
- prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, e centine metalliche tipo HEB 220 (HEB 240 nelle sezioni di innesto), a passo 1 m;

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 41 di 81</span>

- chiodature in VTR cementati alla base del piedritto, in numero 2 al metro disposti longitudinalmente a quinconce (previste per le sezioni di innesto)
- consolidamento al contorno mediante tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie (numero, lunghezza e sovrapposizione riportate nelle specifiche tavole)
- consolidamenti al piede centina mediante tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie (numero, lunghezza e sovrapposizione riportate nelle specifiche tavole).
- preconsolidamento del fronte realizzato mediante la posa in opera di tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie (numero, lunghezza e sovrapposizione riportate nelle specifiche tavole);
- impermeabilizzazione composta da uno strato protettivo di tessuto non tessuto e da un telo impermeabilizzante di PVC.
- rivestimento definitivo in cls semplice avente spessore variabile in funzione della geometria relativa allo specifico campo di avanzamento.

### Campo di applicazione

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

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

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

In queste condizioni il fronte di scavo si presenta generalmente a cavallo tra le classificazioni B e C (stabile a breve termine/ instabile), risultando necessario eseguire sistematici interventi di consolidamento in avanzamento. Lo scavo avviene con mezzi meccanici. La risposta deformativa del cavo evolve verso convergenze che si attestano sui valori medi registrati anche superiori ai 10cm, necessitando la presenza dell'arco rovescio a breve distanza dal fronte per la loro completa stabilizzazione nel tempo.

### Variabilità

Per la variabilità degli interventi si rimanda al paragrafo 8.6 e relative tabelle.

### Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 42 di 81</span>

#### FASE 1: esecuzione eventuali drenaggi in avanzamento

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

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

#### FASE 2: preconsolidamento al fronte

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

Le fasi costruttive sono le seguenti:

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

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

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

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

#### FASE 4: esecuzione scavo

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 43 di 81</span>

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

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

#### FASE 6: getto di murette e arco rovescio

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

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

#### FASE 7: impermeabilizzazione

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

#### FASE 8: getto del rivestimento definitivo

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

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

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

La sequenza operativa di perforazione, inserimento del tubo o dell'elemento strutturale in VTR e cementazione indicata precedentemente, andrà adattata alle caratteristiche dell'ammasso,

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 44 di 81</span>

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.

#### *8.5.4. Pre-spritz al fronte e contorno durante la fase di scavo – Funzione e sua applicazione*

Per tutte le sezioni tipo di scavo, al termine dello sfondo e prima di porre in opera gli interventi di prima fase dovrà essere eseguito un accurato disaggio di tutte le porzioni instabili e si dovrà procedere alla posa in opera dello spritz beton di protezione fibrorinforzato sulle superfici fresche di scavo (fronte e contorno del cavo).

L'applicazione dello spritz beton fibrorinforzato di protezione ad ogni sfondo è deputato a svolgere la funzione di protezione del fronte e del contorno dall'umidità dell'aria e di trattenuta del materiale minuto (non ha funzione strutturale e quindi non è dimensionabile lo spessore).

L'applicazione dello strato di pre-spritz è da porsi a carico dell'impresa esecutrice dei lavori. Il pre-spritz dovrà essere inglobato e far parte integrante del prerivestimento progettuale.

#### **8.6. Variabilità delle sezioni tipo**

Si riportano in tabella le variabilità previste per ogni sezione. Non sono riportati i consolidamenti al piede, per i quali si rimanda alle specifiche tavole di consolidamento così come per le geometrie.

FORMAZIONE		Formazione delle aP								
SEZIONE TIPO		SEZIONE CORRENTE								
		Tipo n			Tipo f			Tipo fc		
		MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
CAMPI 1P-2P-4P-6P-1D-3D-5D	Centine (HEB)*	220	220	220	220	220	220	220	220	220
	Passo centine (m)	1.2	1.0	0.8	1.2	1.0	0.8	1.2	1.0	0.8
	Spessore sb (cm)	25	30	35	25	30	35	25	30	35
	Consolidamento fronte (n°)	-	-	-	70	92	110	75	92	110
	Consolidamento fronte L (m) **	-	-	-	18	18	18	18	18	18
	Consolidamento fronte Sovr. (m) ***	-	-	-	6	9	12	6	9	12
	Consolidamento Contorno (n°)	-	-	-	-	-	-	68	85	100
	Consolidamento Contorno L (m) **	-	-	-	-	-	-	18	18	18
	Consolidamento Contorno Sovr. (m) ***	-	-	-	-	-	-	6	9	12
	Distanza max getto murette	5Ø	4Ø	1,5Ø	5Ø	4Ø	1,5Ø	5Ø	4Ø	1,5Ø
	distanza max getto a.r.	5Ø	4Ø	3Ø	5Ø	4Ø	3Ø	5Ø	4Ø	3Ø
distanza max getto calotta	10Ø	6Ø	5Ø	10Ø	6Ø	5Ø	10Ø	6Ø	5Ø	

FORMAZIONE		Formazione delle aP								
SEZIONE TIPO		SEZIONE RISPARMIO CUNICOLO								
		Tipo n			Tipo f			Tipo fc		
		MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
CAMPI 3P-4D	Centine (HEB)*	240	240	240	240	240	240	240	240	240
	Passo centine (m)	1.2	1.0	0.8	1.2	1.0	0.8	1.2	1.0	0.8
	Spessore sb (cm)	25	30	35	25	30	35	25	30	35
	Consolidamento fronte (n°)	-	-	-	95	120	145	95	120	145
	Consolidamento fronte L (m) **	-	-	-	18	18	18	18	18	18
	Consolidamento fronte Sovr. (m) ***	-	-	-	6	9	12	6	9	12
	Consolidamento Contorno (n°)	-	-	-	-	-	-	70	90	110
	Consolidamento Contorno L (m) **	-	-	-	-	-	-	18	18	18
	Consolidamento Contorno Sovr. (m) ***	-	-	-	-	-	-	6	9	12
	Distanza max getto murette	5Ø	4Ø	1,5Ø	5Ø	4Ø	1,5Ø	5Ø	4Ø	1,5Ø
	distanza max getto a.r.	5Ø	4Ø	3Ø	5Ø	4Ø	3Ø	5Ø	4Ø	3Ø
distanza max getto calotta	10Ø	6Ø	5Ø	10Ø	6Ø	5Ø	10Ø	6Ø	5Ø	

FORMAZIONE		Formazione delle aP								
SEZIONE TIPO		SEZIONE INNESTO								
		Tipo n			Tipo f			Tipo fc		
		MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
CAMPI 5P-2D	Centine (HEB)*	240	240	240	240	240	240	240	240	240
	Passo centine (m)	1,2	1,0	0,8	1,2	1,0	0,8	1,2	1,0	0,8
	Spessore sb (cm)	25	30	35	25	30	35	25	30	35
	Consolidamento fronte (n°)	-	-	-	105	133	160	105	133	160
	Consolidamento fronte L (m) **	-	-	-	21	21	21	21	21	21
	Consolidamento fronte Sovr. (m) ***	-	-	-	6	9	12	6	9	12
	Consolidamento Contorno (n°)	-	-	-	-	-	-	80	100	120
	Consolidamento Contorno L (m) **	-	-	-	-	-	-	21	21	21
	Consolidamento Contorno Sovr. (m) ***	-	-	-	-	-	-	6	9	12
	Bullonature diametro (mm)	-	-	-	-	-	-	32	32	32
	Lunghezza Bulloni (m)	-	-	-	-	-	-	8	8	8
	Maglia a quinconce (m x m)	-	-	-	-	-	-	1+1/1,0m	2+2/1,0m	4+4/1,0m
	Distanza installazione bullonature	-	-	-	-	-	-	0.5Ø	0.5Ø	0.5Ø
	Distanza max getto murette	5Ø	4Ø	1,5Ø	5Ø	4Ø	1,5Ø	5Ø	4Ø	1,5Ø
	distanza max getto a.r.	5Ø	4Ø	3Ø	5Ø	4Ø	3Ø	5Ø	4Ø	3Ø
distanza max getto calotta	10Ø	6Ø	5Ø	10Ø	6Ø	5Ø	10Ø	6Ø	5Ø	

FORMAZIONE		Formazione delle aP								
SEZIONE TIPO		SEZIONE USCITA LINEA								
		Tipo n			Tipo f			Tipo fc		
		MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
CAMPI 7P-6D	Centine (HEB)*	240	240	240	240	240	240	240	240	240
	Passo centine (m)	1,2	1,0	0,8	1,2	1,0	0,8	1,2	1,0	0,8
	Spessore sb (cm)	25	30	35	25	30	35	25	30	35
	Consolidamento fronte (n°)	-	-	-	80	101	120	80	101	120
	Consolidamento fronte L (m) **	-	-	-	21	21	21	21	21	21
	Consolidamento fronte Sovr. (m) ***	-	-	-	6	9	12	6	9	12
	Consolidamento Contorno (n°)	-	-	-	-	-	-	65	83	100
	Consolidamento Contorno L (m) **	-	-	-	-	-	-	21	21	21
	Consolidamento Contorno Sovr. (m) ***	-	-	-	-	-	-	6	9	12
	Distanza max getto murette	5Ø	4Ø	1,5Ø	5Ø	4Ø	1,5Ø	5Ø	4Ø	1,5Ø
	distanza max getto a.r.	5Ø	4Ø	3Ø	5Ø	4Ø	3Ø	5Ø	4Ø	3Ø
	distanza max getto calotta	10Ø	6Ø	5Ø	10Ø	6Ø	5Ø	10Ø	6Ø	5Ø

FORMAZIONE		Formazione delle aP								
SEZIONE TIPO		SEZIONE FINALE								
		Tipo n			Tipo f			Tipo fc		
		MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
CAMPO 7D	Centine (HEB)*	220	220	220	220	220	220	220	220	220
	Passo centine (m)	1.2	1.0	0.8	1.2	1.0	0.8	1.2	1.0	0.8
	Spessore sb (cm)	25	30	35	25	30	35	25	30	35
	Consolidamento fronte (n°)	-	-	-	70	92	110	75	92	110
	Consolidamento fronte L (m) **	-	-	-	18	18	18	18	18	18
	Consolidamento fronte Sovr. (m) ***	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Consolidamento Contorno (n°)	-	-	-	-	-	-	68	85	100
	Consolidamento Contorno L (m) **	-	-	-	-	-	-	18	18	18
	Consolidamento Contorno Sovr. (m) ***	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Distanza max getto murette	5Ø	4Ø	1,5Ø	5Ø	4Ø	1,5Ø	5Ø	4Ø	1,5Ø
	distanza max getto a.r.	5Ø	4Ø	3Ø	5Ø	4Ø	3Ø	5Ø	4Ø	3Ø
	distanza max getto calotta	10Ø	6Ø	5Ø	10Ø	6Ø	5Ø	10Ø	6Ø	5Ø

\*In corso d'opera, per ragioni di continuità di cantiere, sarà possibile utilizzare centine differenti rispetto alla tipologia riportata in tabella, purché sia garantita l'equiprestazionalità

\*\*La lunghezza dei consolidamenti potrà essere variabile tra 15m e 24m in ragione delle esigenze costruttive, rimanendo valide le lunghezze minime di sovrapposizione delle diverse variabilità

\*\*\*La lunghezza di sovrapposizione media di calcolo è riportata in tabella; eventuali differenze con le tavole di progetto sono dovute a particolari condizioni geometriche legate alle dimensioni medie del campo e della scelta delle lunghezze di consolidamento

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 47 di 81</span>

## 8.7. Soglie di attenzione e allarme

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

INNESTO VAL LEMME - SOGLIE DI ATTENZIONE E ALLARME						
CARATT. GALLERIA		SOGLIA ATTENZIONE	SOGLIA ALLARME	SOGLIA ATTENZIONE	SOGLIA ALLARME	
FORMAZIONE	SEZ.TIPO	CONV. DIAMETRALE (cm)	CONV. DIAMETRALE (cm)	ESTRUSIONE (cm)	ESTRUSIONE (cm)	
Ap – GR1	Non consolidata	Sez. d'innesto e di allargo galleria	3÷5	6÷7	-	-
		Sezioni correnti e di raccordo	3÷4	5÷6	-	-
Ap – GR2a	Consolidata al fronte	Sez. d'innesto e di allargo galleria	5÷6	>8	>4	>7
		Sezioni correnti e di raccordo	4÷5	>7	>3	>5
Ap – GR2b	Consolidata al fronte e al contorno	Sez. d'innesto e di allargo galleria	9÷11	>13	>7	>10
		Sezioni correnti e di raccordo	6÷8	>10	>5	>8

Tabella 8-2

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

## 8.8. 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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A3010XDCVROGN14P0002A01	Foglio 48 di 81

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 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 49 di 81</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  $f_{cm}=30\text{MPa}$  per tutte le sezioni.

### 9.3. Armatura del rivestimento definitivo

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 50 di 81</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. Dette opzioni risultano valide anche per le tratte di gallerie artificiali.

In corrispondenza delle sezioni correnti longitudinali alla finestra, nei tratti esterni alla zona d'innesto con la linea, le armature di arco rovescio potranno eventualmente non essere passanti nelle riprese di getto (*da decidersi in corso d'opera, in funzione delle condizioni d'ammasso e quindi degli stati tensionali indotti nel rivestimento definitivo*).

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

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

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

#### **9.4. Distanze di getto dei rivestimenti definitivi**

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 51 di 81</span>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## **9.6. Tecniche di consolidamento dei fronti di scavo**

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A3010XDCVROGN14P0002A01	Foglio 52 di 81

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

### 9.7. Soglie d’attenzione e d’allarme

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

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

### 9.8. Criticità

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>A3010XDCVROGN14P0002A01</p> <p>Foglio 53 di 81</p>

## 10. MONITORAGGIO

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

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

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

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

- strumentazione impiegata per il monitoraggio della fase di scavo e del terreno:
  - indagini in avanzamento con prelievo di campioni e prove di laboratorio;
  - estensimetri multibase radiali;
  - 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 priverivestimento:
  - stazioni di misura dello stato tensionale del priverivestimento con celle di carico e barrette estensimetriche;
  - celle di carico sui bulloni di ancoraggi.
- 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 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 54 di 81</span>

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.

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

**Tabella 10-1. Riepilogo Monitoraggi**

Il posizionamento della strumentazione di monitoraggio sopra indicata è riportata indicativamente sul profilo geomeccanico e di monitoraggio. Il posizionamento preciso dovrà essere valutato in corso d'opera in funzione delle condizioni riscontrate durante la realizzazione dell'opera.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 55 di 81</span>

## 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 ad ogni campo di avanzamento, indipendentemente dalla sezione tipo di applicazione, alternando i diversi tipi di rilievo.

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

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

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

### 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.

#### 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 ;

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>A3010XDCVROGN14P0002A01</p>	<p>Foglio 56 di 81</p>

- 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.).

Con riferimento al punto a):

- nella descrizione delle caratteristiche di cui al punto 2, eseguita visivamente, si dovrà dare precedenza alle dimensioni ad affinità genetica o composizionale relegando ai soli casi di necessità la scelta del criterio granulometrico tessiturale. Tale considerazione risulta importante ai fini della comprensibilità delle caratteristiche primarie del materiale da cui discendono tutte le altre. Dovranno pertanto evitarsi classificazioni litologiche puramente granulometriche avulse dalle caratteristiche petrografico-composizionali.
- Il punto 3 dovrà essere descritto individuando il grado ed il tipo di cementazione e riferendosi ad una scala riconosciuta internazionale nella descrizione della compattezza.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 57 di 81</span>

- 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.
- 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:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 58 di 81</span>

- 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.).

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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>A3010XDCVROGN14P0002A01</p>	<p>Foglio 59 di 81</p>

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 pressimetro Menard. Le prove saranno suborizzontali, di lunghezza superiore a 3 metri con diametro nominale adatto per accogliere lo strumento pressimetrico. 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 pressimetro 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.

### 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:
  - l'assetto generale dell'ammasso individuato alla scala del fronte, potrà venire valutato anche qualitativamente;

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 60 di 81</span>

- 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;
- 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 saranno eseguite mediante sondaggi di lunghezza pari a 30-50m dal fronte di scavo, comunque definiti in funzione delle reali necessità.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <table border="1" data-bbox="1364 235 1476 288"> <tr> <td>Foglio 61 di 81</td> </tr> </table>	Foglio 61 di 81
Foglio 61 di 81		

In corrispondenza di tali indagini si predispongono il prelievo di un campione ogni 5m e comunque in corrispondenza di passaggi litologici significativi.

Su ciascun campione saranno eseguite le seguenti prove:

- Classificazione ( $\gamma - w - \gamma_s$ );
- Analisi mineralogiche e diffrattometriche (almeno su 2 campioni);
- Prove di compressione monoassiale in controllo di deformazione;
- Prova di trazione brasiliana.

Eventuali prove specialistiche saranno definite in corso d'opera sulla base dell'osservazione diretta del progettista.

Il profilo geomeccanico di riferimento indica la progressiva dove si intende eseguire tali indagini.

### 11.3. Estensimetri multibase 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 decide di differenziare la lunghezza degli estensimetri e il numero delle basi in funzione dell'altezza di copertura. Si impostano estensimetri radiali di lunghezza pari a 15m e 3 basi poste a 3m, 9m e 15m.

E' prevista l'installazione di n°1 sezione strumentata radiale alla sezione di scavo con n°3 estensimetri posizionati rispettivamente sui due paramenti della galleria e in mezzeria, alla progressiva indicata nel profilo geomeccanico.

#### 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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 62 di 81</span>

- 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**

Tali misure consistono nel rilevare la posizione piano – altimetrica di una serie di 5 punti per ogni sezione. L'obiettivo di questi rilievi è la verifica dei cedimenti degli scavi e il controllo delle deformazioni. La misurazione avviene tramite l'impiego di bulloni di convergenza e distometri meccanici. In alternativa possono essere utilizzati target riflettenti.

##### *11.4.1. Installazione*

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

##### *11.4.2. Rilevamenti e restituzione risultati*

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A3010XDCVROGN14P0002A01	Foglio 63 di 81

In particolare si posizionano le seguenti stazioni di misura:

- n°1 stazione di misura ogni campo di avanzamento

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

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

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.

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 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>A3010XDCVROGN14P0002A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 64 di 81</p>

### 11.5.1. Installazione

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

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

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

### 11.5.2. Frequenza delle letture, acquisizione e restituzione dati

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.

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

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.

## 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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 65 di 81</span>

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°1 stazione di misura alla pk indicata nel profilo geomeccanico di riferimento.

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 inclinometro 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:

- 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN14P0002A01	Foglio 66 di 81

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  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN14P0002A01	Foglio 67 di 81

## 12. STRUMENTAZIONE FONDAMENTALE PER IL 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 barrette estensimetriche e celle di carico

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 (1 in calotta e 2 sui piedritti) posizionate nel prerivestimento; in particolare la stazione dovrà essere installate in una zona del prerivestimento che non dovrà essere interessata dall'apertura laterale per lo scavo della galleria di linea (cfr. Figura 12-1).

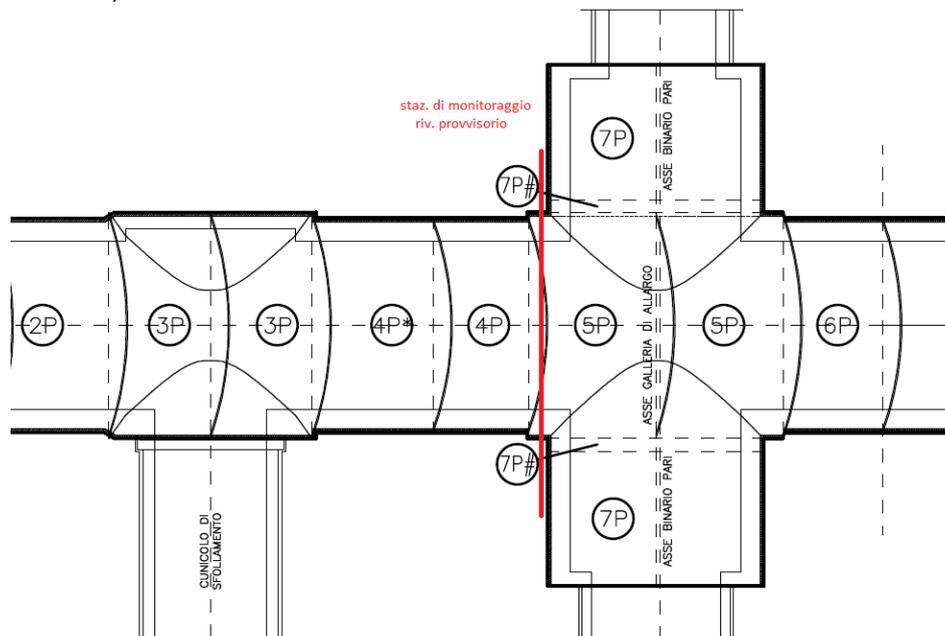


Figura 12-1. Posizionamento stazione di monitoraggio nel rivestimento provvisorio

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 68 di 81</span>

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.

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 adottano le seguenti soglie di carico:

<b>Profilo centine</b>	<b>Soglia di carico</b>
HEB 240	0 – 200 ton

La frequenza di installazione è di 2 stazioni di misura poste in corrispondenza della sezione d'innesto.

### 12.1.3. 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 lettura ogni giorno con il fronte distante fino 10 m.
- n. 1 lettura ogni 3 giorni con il fronte distante fino 30 m.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>A3010XDCVROGN14P0002A01</p>	<p>Foglio 69 di 81</p>

- n. 1 lettura alla settimana con il fronte a distanza maggiore di 30 m fino al getto del rivestimento definitivo.

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

## 12.2. Celle di carico sui bulloni di ancoraggio

Tali misure consistono nel rilevamento dei livelli di tensione all'interno dei bulloni radiali di ancoraggio al contorno eventualmente previsti nel caso di sezioni di innesto consolidate al fronte e al contorno (Sezione fc), mediante l'installazione di celle di carico tra il priverestimento e la piastra di ancoraggio. L'installazione di stazioni di misura è prevista in modo eventuale in funzione delle situazioni verificatesi in corso d'opera. Si prevede l'impiego di tale strumentazione in corrispondenza delle sezioni d'innesto come riportato nel profilo geomeccanico.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 70 di 81</span>

## 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.

### 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.

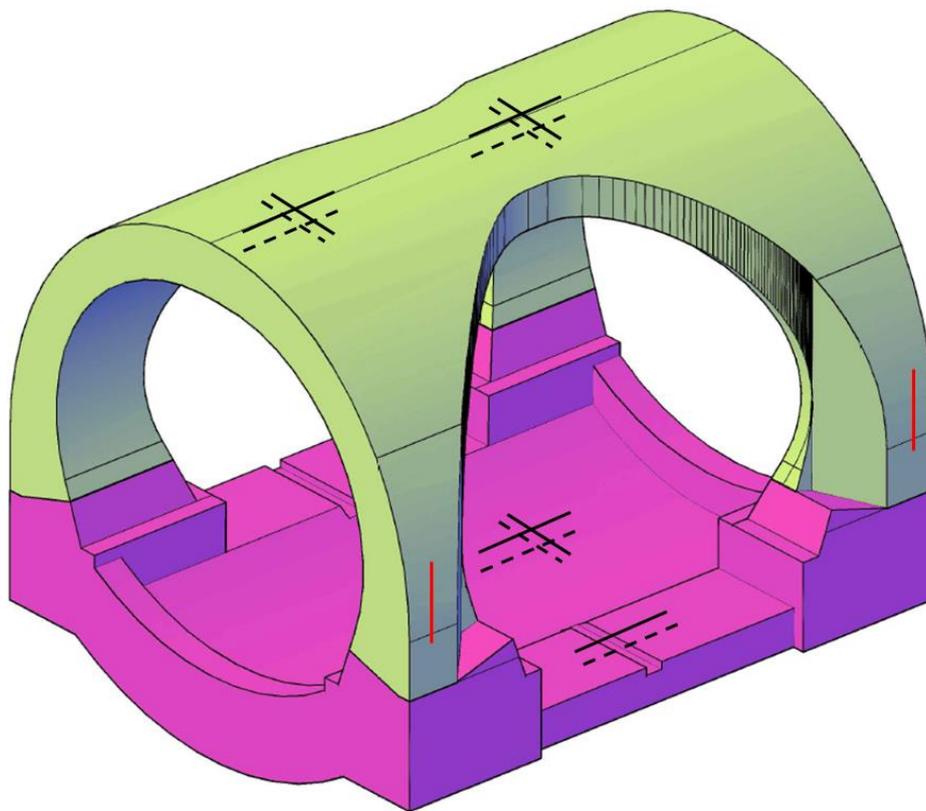
#### 13.1.1. Installazione

Si prevede l'installazione di 9 coppie di barrette estensimetriche a corda vibrante all'interno del rivestimento definitivo di ciascun innesto 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.

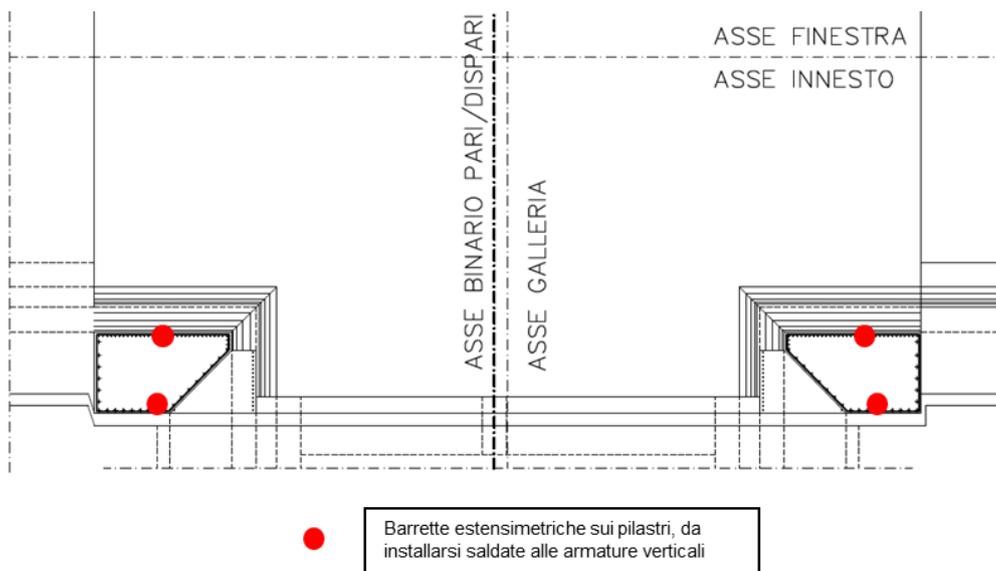
Le barrette estensimetriche a corda vibrante saranno da saldare alle armature, in intradosso ed estradosso, del rivestimento definitivo. Le barrette in oggetto consistono in fili d'acciaio tensionati tra due estremità fisse sul supporto da monitorare, le deformazioni del supporto modificheranno le tensioni presenti e tramite la misura della tensione si ottiene la deformazione alla quale è soggetto il supporto.

Si prevede l'installazione di numero 2 stazioni strumentate in corrispondenza delle sezioni d'innesto come indicato nel profilo geomeccanico. Lo schema indicativo di installazione è riportato nelle figure di seguito, in particolare andranno considerate:

- calotta:
  - 2 coppie nella zona centrale installate sulle armature longitudinali e trasversali
  - 2 coppie nella zona iniziale installate sulle armature longitudinali e trasversali
- piedritto:
  - 1 coppia per piedritto nella zona bassa del piedritto installate sulle armature verticali
- arco rovescio:
  - 2 coppie nella zona centrale installate sulle armature longitudinali e trasversali
- Trave di muretta:
  - 1 coppia nella zona centrale installata sulle armature longitudinali



**Figura 13-1. Schema di installazione delle sezioni di misura tensionale nel rivestimento definitivo in zona di innesto**



**Figura 13-2. Dettaglio barrette estensimetriche sui pilastri**

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <span style="float: right;">Foglio 72 di 81</span>

### 13.1.2. *Acquisizione e restituzione dei dati*

Per tutti gli strumenti di cui sopra si prevede un'acquisizione delle misure sia in manuale che in automatico.

La lettura di "zero" dovrà essere eseguita per ogni strumento dopo l'installazione, tenendo conto degli effetti reologici successivi al getto del calcestruzzo.

La frequenza delle letture per le misure **in corso d'opera**, dopo la lettura di "zero", sarà orientativamente la seguente:

- n. 1 misura al giorno durante la prima settimana dall'installazione;
- n. 1 misure alla settimana fino ad un mese dall'installazione;
- n. 1 misura al mese fino al getto del rivestimento definitivo.

Il sistema di elaborazione dati richiede il diagramma e il tabulato numerico dei carichi e della tensione in funzione del tempo e in funzione della distanza del fronte di scavo.

## 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*

Relativamente alla WBS analizzata è prevista l'installazione di n°2 stazioni di misura in corrispondenza dell'innesto come 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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A3010XDCVROGN14P0002A01	Foglio 73 di 81

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 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <div style="float: right;">Foglio 74 di 81</div>

## 14. DEFINIZIONE DELLE SOGLIE DI ATTENZIONE E DI ALLARME

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

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

Questi limiti sono definiti come:

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN14P0002A01 <div style="float: right;">Foglio 75 di 81</div>

## 15. CONCLUSIONI

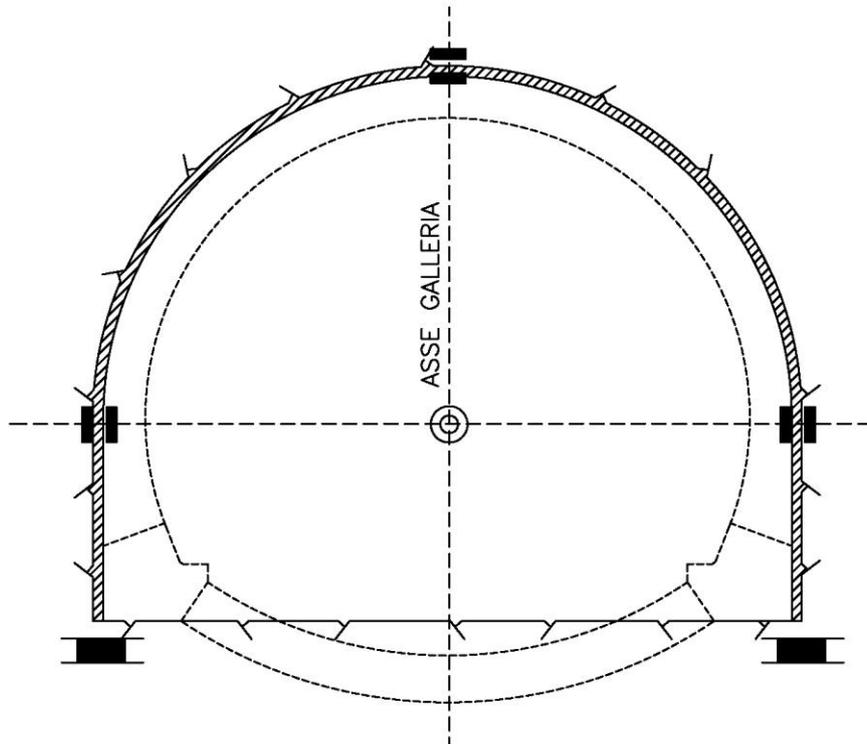
Nella presente relazione sono state descritte le linee guida per l'esecuzione dell'opera e il programma di monitoraggio previsto per l'opera in esame.

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

Si presenta in seguito il programma di monitoraggio previsto. 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 priverimenti 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.

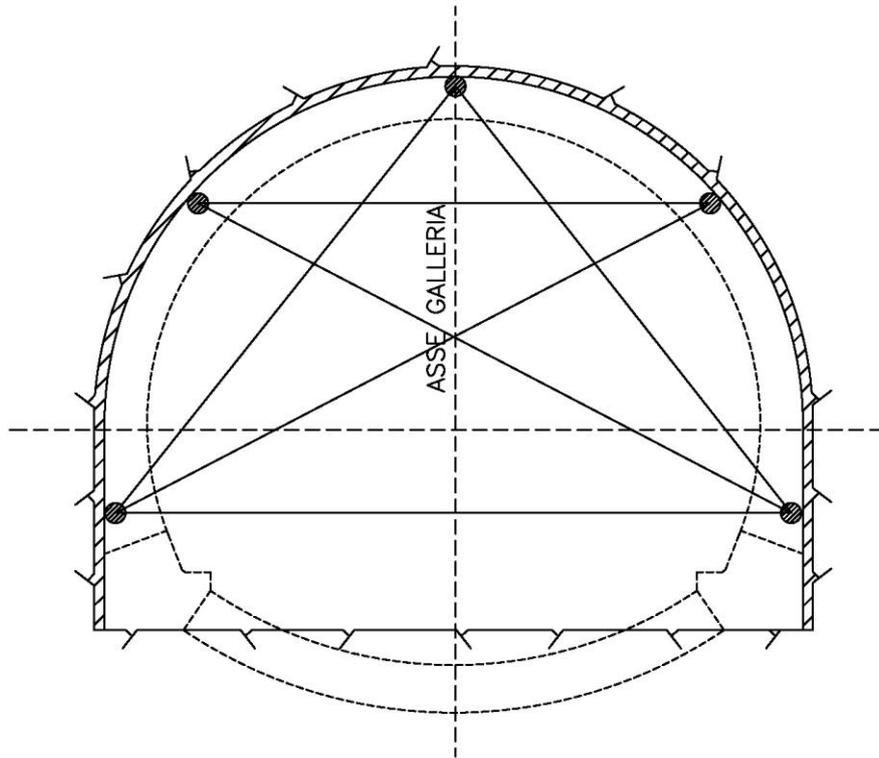
## ALLEGATO – SCHEMI DI MONITORAGGIO TIPOLOGICI

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



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

Scavo in tradizionale  
Disposizione punti di misura  
per convergenze



Punto di misura per convergenze

FASE DI VERIFICA  
IN CORSO D'OPERA

RILIEVO GEOLOGICO-STRUTTURALE DEL FRONTE

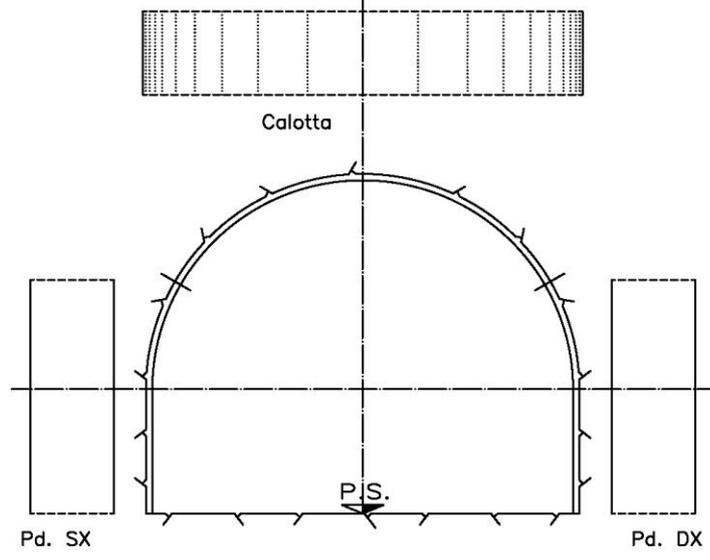
GALLERIA: .....  
Imbocco:.....

Progr. Ass.: .....  
Sez. applicata: .....

RILIEVO GEO-STRUTTURALE

RILIEVO PITTORICO DEL FRONTE

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



LEGENDA GEOLOGICA:

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

DESCRIZIONE:

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....





