

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**

**GALLERIA NATURALE DI VALICO**

**VAR0008 – Specifiche Tecniche di Interoperabilità**

**GN91A – Galleria di Sfollamento – Binario Pari – Tratto A (Fermata Val Lemme) Zona Area Sicura Val Lemme - Relazione di monitoraggio e linee guida**

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

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
A 3 0 1	0 X	D	C V	R O	G N 9 1 A 0	0 0 2	B

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	Revisione generale	Rocksoil 	15/06/2020	Rocksoil 	17/06/2020	A.Mancarella 	19/06/2020	
B00	Revisione per istruttoria A3010XD07ISGN0000015A	Rocksoil 	13/10/2020	Rocksoil 	13/10/2020	A.Mancarella 	14/10/2020	

n. Elab.:	File: A3010XD07ISGN0000015A
-----------	-----------------------------

CUP: F81H92000000008



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 3 di 64

## INDICE

INDICE.....		3
1	INTRODUZIONE.....	6
2	NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI.....	7
3	MATERIALI IMPIEGATI.....	9
3.1	Consolidamenti e rivestimenti provvisori.....	9
3.2	Rivestimenti definitivi.....	10
4	CRITERI DI DEFINIZIONE DELLE SEZIONI TIPO IN FASE PROGETTUALE ..	12
4.1	Definizione delle categorie di comportamento e delle soluzioni progettuali.....	13
5	LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO IN FASE OPERATIVA .....	14
5.1	Definizione delle caratteristiche geologiche-geomeccaniche dell'ammasso.....	16
5.2	Risposta deformativa del fronte e del cavo .....	18
5.3	Fasi esecutive e cadenze di avanzamento.....	19
5.4	Procedura di applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità.....	19
6	DESCRIZIONE DELLE SEZIONI TIPO E DELLE FASI COSTRUTTIVE.....	21
6.1	Introduzione .....	21
6.2	Criteri di omogeneizzazione nella scelta dei rivestimenti .....	21
6.3	Sezione tipo B0pr .....	23
6.4	Sezione tipo B0pr con puntone .....	24
6.5	Sezione tipo B2pr .....	26
6.6	Sezione tipo B2pr con puntone .....	27
6.7	Sezione tipo C4pr .....	27
6.8	Sezione tipo C4pr con puntone .....	29
6.9	Pre-spritz al fronte e contorno durante la fase di scavo – Funzione e sua applicazione .....	29
7	ANALISI DEL RISCHIO .....	30
7.1	Analisi dei rischi lungo il tracciato.....	30
7.2	Soglie di attenzione e allarme .....	31
7.3	Varibilità e campo di applicazione delle sezioni tipo .....	32
7.3.1	Sezione tipo B0pr .....	33
7.3.2	Sezione tipo B0pr con puntone .....	34
7.3.3	Sezione tipo B2pr .....	34
7.3.4	Sezione tipo B2pr con puntone .....	35
7.3.5	Sezione tipo C4pr .....	35
7.3.6	Sezione tipo C4pr con puntone .....	37

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>A3010XDCVROGN91A00002B00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 4 di 64</p>

8	TECNOLOGIE ALTERNATIVE E PRESCRIZIONI .....	38
8.1	Campo prova iniezioni ad alta pressione.....	38
8.1.1	Controlli preliminari .....	39
8.1.2	Controlli durante il campo prova.....	41
8.1.3	Controlli finali .....	42
8.1.4	Esame del consolidamento.....	42
8.2	Tecnologie alternative di perforazione.....	42
8.3	Tecnologie alternative per l'armatura dello spritz-beton.....	43
8.4	Tecnologie alternative di impermeabilizzazione .....	43
8.5	Interventi di stabilizzazione in caso di fermo fronte prolungato.....	43
8.6	Armatura del rivestimento definitivo .....	44
8.7	Distanze di getto dei rivestimenti definitivi.....	44
8.8	Resistenza minima del calcestruzzo in relazione alle fasi operative.....	45
8.9	Tecniche di consolidamento al fronte .....	45
8.10	Applicazione di una diversa sezione tipo.....	46
8.11	Criticità .....	46
9	PROGRAMMA DI MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA .....	47
9.1	Rilievi del fronte .....	48
9.1.1	Rilievi di tipo analitico .....	48
9.1.2	Rilievo di tipo speditivo .....	52
9.1.3	Rilievo di tipo speditivo-pittorico .....	53
9.1.4	Archiviazione dei dati geologici .....	53
9.2	Indagini in avanzamento.....	54
9.3	Misure di estrusione topografiche.....	54
9.3.1	Installazione .....	54
9.3.2	Frequenza delle letture, acquisizione e restituzione dati.....	54
9.4	Misure di estrusione estensimetriche .....	55
9.4.1	Installazione .....	55
9.4.2	Frequenza delle letture, acquisizione e restituzione dati.....	56
9.5	Misure di convergenza del priverestimento .....	57
9.5.1	Installazione .....	57
9.5.2	Rilevamenti e restituzione risultati .....	58
9.6	Misura dello stato tensionale del priverestimento con barrette estensimetriche e celle di carico	59
9.6.1	Installazione delle barrette estensimetriche a corda vibrante a saldare .....	59
9.6.2	Installazione delle celle di carico .....	60
9.6.3	Frequenza dei rilevamenti e restituzione dei dati .....	61
9.7	Misura dello stato tensionale nel rivestimento definitivo .....	62

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>A3010XDCVROGN91A00002B00</p>	<p>Foglio 5 di 64</p>

10 CONCLUSIONI .....64

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN91A00002B00	Foglio 6 di 64

## 1 INTRODUZIONE

Finalità della presente relazione è fornire i chiarimenti atti a dimostrare la rispondenza del progetto alle finalità dell'intervento e fornire indicazioni circa l'applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità previste per la realizzazione delle opere afferenti alla WBS GN91A, poste tra la pk 17+290 ca. e la pk 17+740 ca. (Camerone di innesto Finestra Val Lemme) del binario pari della galleria Valico, compresa nel Progetto della Linea AV/AC Milano Genova - Terzo Valico dei Giovi.

L'opera rientra nella Variante di progettazione dell'area Val Lemme per effetto dell'applicazione delle Specifiche Tecniche di Interoperabilità (STI).

La presente relazione va letta in unità con la Relazione Geotecnica e di calcolo, in cui vengono definite:

- le caratteristiche principali dell'opera, l'inquadramento geologico, idrogeologico e geomeccanico e l'analisi delle principali criticità;
- le modalità di risoluzione di tali criticità, le ipotesi alla base della progettazione e i calcoli dell'opera.

La prima parte della relazione è articolata nei seguenti punti principali:

- 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.

La seconda parte della relazione è dedicata alla definizione del piano di monitoraggio da prevedere in corso d'opera.

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 7 di 64

## 2 NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI

Per il calcolo e per le verifiche delle opere strutturali si è fatto riferimento alle seguenti norme:

**- 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.

**- 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN91A00002B00	Foglio 8 di 64

**- 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

**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
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 9 di 64</span>

### 3 MATERIALI IMPIEGATI

Nei paragrafi seguenti sono elencate le caratteristiche dei materiali previsti per la realizzazione delle opere in progetto. Per il dettaglio dei materiali impiegati si rimanda agli elaborati grafici di riferimento.

#### 3.1 Consolidamenti e rivestimenti provvisori

Spritz beton fibrorinforzato	Resistenza media su carote $h/\phi = 1$ : - a 48 ore $\geq 13$ MPa - a 28 gg $\geq 25$ MPa Dosaggio per fibre in acciaio* $\geq 30$ kg/m <sup>3</sup> *in alternativa alle fibre in acciaio potranno essere impiegate fibre sintetiche
Acciaio per centine, piastre e collegamenti:	- S275
Acciaio per catene	- S275
Acciaio per armatura e rete elettrosaldata:	- B450 C
Drenaggi	Tubi microfessurati in PVC: - $\phi_{est} > 60$ mm, sp. 5 mm - Resistenza alla trazione 4.5 MPa, perforo 80 mm rivestiti con TNT - I primi 10m da boccaforo devono essere ciechi.
Impermeabilizzazione in PVC	- teli sp. 2+/-0.5 mm, - Resistenza a trazione $> 15$ MPa - Allungamento a rottura $> 250\%$ - Resistenza alla lacerazione $> 100$ N/mm - Resistenza alla giunzione $> 10.5$ MPa - Stabilità al calore = 70°C - Flessibilità a freddo = -30°C - Resistenza alle soluzioni acide alcaline = +/-20% max allungamento - Comportamento al fuoco B2 - Resistenza alla pressione dell'acqua a 1 MPa per 10 ore: impermeabile
Impermeabilizzazione con membrana a spruzzo	- Peso specifico (g/ml a 20°C) 0.5-0.7 - Resistenza a pressione idraulica $> 20$ bar - Spessore di applicazione 2-10mm - Resistenza a rottura a 20°C, 28gg $> 1.5-4$ MPa - Allungamento a rottura a 20°C, 28gg $> 100\%$ - Adesione su calcestruzzo, 28gg $1\pm 0.2$ MPa
Pannelli drenanti in polipropilene	- Resistenza a compressione $\geq 150$ KN /m <sup>2</sup> - Allungamento a rottura $\geq 60$ % - Modulo di elasticità $\geq 1500$ N /mm <sup>2</sup>

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 10 di 64</span>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistenza alla temperatura -30/80°C</li> </ul>
Tubi in VTR (caratteristiche del composito)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diametro esterno = 60 mm ad aderenza migliorata</li> <li>- Diametro di perforazione = 100-120 mm</li> <li>- Spessore medio = 10 mm</li> <li>- Densità <math>\geq 1.8</math> t/mc</li> <li>- Res. a trazione <math>\geq 600</math> MPa</li> <li>- Res. a taglio <math>\geq 100</math> MPa</li> <li>- Modulo elastico <math>\geq 30000</math> MPa</li> <li>- Contenuto in vetro <math>\geq 50</math> %</li> <li>- Resistenza a flessione <math>\geq 600</math> MPa</li> <li>- Resistenza allo scoppio <math>\geq 8</math> MPa</li> <li>- Perforazione eseguita a secco</li> </ul>
Miscele cementizie per cementazione a bassa pressione	Cemento 42.5R <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapporto a/c = 0.5-0.7</li> <li>- Fluidificante = 4 % di peso sul cemento</li> <li>- Resistenza a compressione a 48 ore <math>&gt; 5</math> MPa</li> </ul>
Iniezioni di guaina	Cemento R32.5 – R42.5 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapporto a/c <math>\approx 1.5-2</math></li> <li>- Bentonite <math>\approx 5-8</math> % sul peso di cemento</li> <li>- Densità <math>\approx 1.3</math> t/m<sup>3</sup></li> <li>- Rendimento volumetrico <math>\geq 95</math> %</li> <li>- Viscosità Marsh (ugello 4.7 mm) 30-35 sec.</li> </ul>
Iniezione di consolidamento	Cemento R42.5 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cemento a finezza di macinazione non inferiore a 4500 cm/g Blaine</li> <li>- Rapporto a/c <math>\approx 0.4-0.7</math></li> <li>- Bentonite <math>&lt; 2</math> %</li> <li>- Additivo fluidificante (Flowcable o simili) <math>\approx 4</math> % di peso del cemento</li> <li>- Viscosità Marsh (ugello 4.7 mm) 35-45 sec.</li> <li>- Densità <math>\approx 1.8</math> t/m<sup>3</sup></li> <li>- Rendimento volumetrico <math>&gt; 95</math> %</li> </ul>
Parametri minimi del terreno consolidato	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistenza a compressione 48h <math>&gt; 1.0</math> MPa</li> <li>- Resistenza a compressione 7gg <math>&gt; 1.5</math> MPa</li> <li>- R.Q.D. 48h <math>&gt; 50</math> %</li> <li>- R.Q.D. 7gg <math>&gt; 70</math> %</li> </ul>

### 3.2 Rivestimenti definitivi

Acciaio per armatura:	B450 C
-----------------------	--------

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>A3010XDCVROGN91A00002B00</p>	<p>Foglio 11 di 64</p>

<p>Calcestruzzo strutturale calotta e piedritti</p>	<p>C25/30, Tipo CEM III-V, XC2, S4</p>
<p>Calcestruzzo strutturale arco rovescio</p>	<p>C25/30, Tipo CEM III-V, XC2, S3</p>
<p>Magrone di pulizia di sottofondo</p>	<p>Rm <math>\geq</math>15 MPa, Tipo CEM I-V</p>

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 12 di 64

#### 4 CRITERI DI DEFINIZIONE DELLE SEZIONI TIPO IN FASE PROGETTUALE

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 redistribuzione 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 dell'ammasso attraversato dalla galleria, 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)**

In presenza di fronte di scavo stabile lo stato tensionale al contorno della cavità in prossimità del fronte si mantiene in campo prevalentemente elastico e i fenomeni deformativi osservabili sono di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente. In questo caso anche il 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 13 di 64

### **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 l'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.

## **4.1 Definizione delle categorie di comportamento e delle soluzioni progettuali**

Nella Relazione di Calcolo relativa alla galleria in oggetto 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. 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

Si rimanda alla Relazione di Calcolo per la completa definizione delle fasi di diagnosi e terapia e per i risultati in termini numerici delle analisi effettuate per l'opera in esame.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 14 di 64</span>

## 5 LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO IN FASE OPERATIVA

Come illustrato nei precedenti capitoli, il progetto della galleria di sfollamento, 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 delle sezioni tipo prevalenti (quelle che appaiono in percentuale maggiore sui profili geomeccanici delle gallerie naturali) in ogni tratta definita omogenea ed eventualmente anche di altre sezioni subordinate alle precedenti e previste lungo la tratta per situazioni differenti dalle precedenti: 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:

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 alterare 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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A3010XDCVROGN91A00002B00	Foglio 15 di 64

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 inoltre contenere le informazioni geostrutturali e di carattere qualitativo che risultino essere necessarie a completare la descrizione ai fini progettuali e a comprendere il 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. Si valuta il comportamento dell'ammasso precedentemente descritto sottoposto ai reali stati tensionali e all'azione combinata delle operazioni di scavo e di messa in opera degli interventi di stabilizzazione previsti dalla sezione tipo adottata;
- registrazione attraverso osservazioni dirette di tutte le reali fasi di avanzamento tra le quali è opportuno evidenziare: distanza dal fronte di messa in opera dei rivestimenti e la successione delle fasi di consolidamento etc...;
- 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.

È evidente che tali valori di deformazioni ipotizzati non vanno intesi come l'unica informazione che possa incidere sulle scelte già adottate per una determinata tratta poichè le scelte progettuali sono state fatte tenendo conto di un insieme di elementi, illustrati nello sviluppo di tutto il progetto, più significativi del solo parametro deformativo; codesti valori 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



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 16 di 64

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 può essere applicata, 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 qualora il contesto sia analogo ad altri presenti lungo il tracciato e descritti nei profili geomeccanici del progetto esecutivo.

Il caso in cui la situazione riscontrata sia del tutto imprevista, qualora non vi siano analogie possibili lungo il tracciato e qualora la situazione in analisi esuli dalle presenti linee guida, potranno essere applicate sezioni tipo non previste dal presente progetto la cui tipologia dovrà essere concordata con l’ente appaltante.

## 5.1 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 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 sia delle diverse coperture in esame.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 17 di 64

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 (prove in situ e/o di laboratorio) e rilievi speditivi.

In riguardo alla parametrizzazione dell'ammasso al fronte, ossia 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 tramite l'impiego di 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 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 ma soprattutto in presenza di litologie ricche di minerali argillosi, si riscontrano valori dei parametri geomeccanici più prossimi alla curva intrinseca inferiore;
- 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, 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 18 di 64

## 5.2 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:

$$\delta = \delta_f - \delta_0$$

dove:

$\delta_0$  = 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 ma sempre presenti in natura, agiscono sul comportamento del cavo previsto in via teorica nel progetto.

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

- 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 dove gli stati tensionali sono funzione della morfologia dell'area;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 19 di 64

- 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.

### 5.3 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. Tale procedura viene effettuata 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).

### 5.4 Procedura di applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità

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

All'interno di ciascuna tratta, in sede di progetto, sono state definite nel profilo geomeccanico le sezioni tipo 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 agli 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.

In conformità con i criteri indicati nei paragrafi precedenti verranno raccolti durante gli avanzamenti i dati 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 a procedere di conseguenza alla gestione del progetto secondo i punti di seguito indicati.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A3010XDCVROGN91A00002B00	Foglio 20 di 64

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 al miglioramento o 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 mantenendosi 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 degli intervalli di variabilità previsti per quella sezione e di seguito descritti, anche con modeste variazioni dei parametri deformativi (ad esempio in categoria di comportamento B0 la struttura dell'ammasso gioca un ruolo determinante ai fini della definizione dell'intensità degli interventi di 1a fase, anche a fronte di deformazioni trascurabili).

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

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

- caratteristiche geologiche e geostrutturali dell'ammasso;
- caratteristiche geomeccaniche e idrogeologiche dell'ammasso;
- 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, 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, possibilmente in modo graduale, in modo da evitare la perdita della continuità operativa del cantiere. In questa ottica, nell'ambito del progetto costruttivo si adotteranno quei criteri di flessibilità esecutiva che consentano la massima velocità di avanzamento e quindi tali da ridurre al minimo lo sviluppo reologico temporale del processo di detensionamento e rilassamento dell'ammasso al contorno e sul fronte.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 21 di 64</span>

## 6 DESCRIZIONE DELLE SEZIONI TIPO E DELLE FASI COSTRUTTIVE

### 6.1 Introduzione

Nel seguito sono elencate le principali fasi costruttive per la realizzazione della galleria di sfollamento. Lo scavo è previsto a piena sezione con applicazione di diverse sezioni tipo in funzione delle caratteristiche geomeccaniche e della copertura attraversata. La variabilità di ciascuna sezione tipo e il relativo campo di applicazione sono definitivi ai § 7.2 e 7.3.

Si rimanda al profilo geomeccanico per la definizione della percentuale di applicazione delle sezioni tipo riferite a tratte omogenee univocamente definite dal loro sviluppo. Si fa presente che qualora la caratterizzazione della formazione attraversata abbia individuato diversi range di parametri identificando più gruppi geomeccanici (vedi per esempio la formazione delle aP), il profilo riporterà nella sintesi geotecnica i parametri relativi al gruppo geomeccanico ritenuto prevalente in quella tratta.

### 6.2 Criteri di omogeneizzazione nella scelta dei rivestimenti

Tenuto conto del particolare contesto in cui si andrà ad operare ovvero in adiacenza ad opere esistenti ed in una formazione geologica caratterizzata da possibili comportamenti di origine tettonica, si ritiene prioritario **limitare al massimo fenomeni deformativi**, anche ad elevata distanza dal fronte, per non ingenerare movimenti alle strutture adiacenti con possibili danni alle stesse.

Analogo approccio era stato seguito nella definizione delle sezioni tipo nella precedente fase progettuale, che prevedeva una lunghezza di scavo del cunicolo di circa 700m, ed aveva portato all'applicazione delle seguenti sezioni tipo, in accordo con le sezioni presenti sulla linea.

B0L	24%
B0	16%
B0V	10%
B1	10%
B2	18%
B2V	8%
B4	14%

Il set di sezioni tipo previsto permetteva dunque di operare il controllo deformativo attraverso l'utilizzo di interventi di presostegno, consolidamento e supporto differenti e specifici per i diversi contesti attraversati ed, inoltre, prevedeva l'adeguamento delle distanze di getto in funzione della risposta deformativa.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 22 di 64

Nell'attuale fase progettuale, al fine del rispetto dei tempi realizzativi delle opere di Variante, nello spirito del metodo Adeco-RS, si è messo a punto un approccio per il controllo deformativo per il tramite del sistema nucleo di scavo/prerivestimenti, limitando al massimo la realizzazione dei rivestimenti definitivi di calotta durante i cicli di scavo in quanto, questi ultimi, sono causa di rallentamenti produttivi. In sostanza si è di spostata la regimentazione deformazionale dal sistema **nucleo di scavo/prerivestimenti/rivestimenti definitivi** al sistema **nucleo di scavo/prerivestimenti/puntone/arco rovescio**. Cio' non toglie che, se dovessero ravvisarsi situazioni con superamenti delle soglie di deformazione senza tendenza alla stabilizzazione, possa essere necessaria la chiusura immediata del cavo mediante il getto di calotta utilizzando sistemi di "predalles" di migliore gestione nel posizionamento nonché velocità di azione.

Tale impostazione, perfettamente in linea con la filosofia progettuale, permette il rispetto dei tempi costruttivi difficilmente raggiungibili; il sistema presentato mira ad un'elevata industrializzazione del sistema di scavo, omogeneizzando, per quanto possibile, gli interventi necessari al superamento dei contesti da scavare.

Per tali ragioni, nel rispetto comunque dei criteri di assegnazione delle sezioni tipo già previsti in sede di PE e validi in generale per tutto il Progetto del Terzo Valico, si è proceduto ad una omogeneizzazione delle sezioni prevedendo per ciascuna categoria di comportamento atteso una sola sezione tipo caratterizzata sempre da un prerivestimento molto rigido e dotato di predisposizione per l'eventuale installazione del puntone in arco rovescio.

Lo schema di seguito evidenzia il confronto tra la soluzione di PE precedente e la soluzione proposta in sede di Variante.

		GR1 - Sezioni non consolidate	GR2 - Sezioni consolidate Fronte	GR3 - Sezioni consolidate fronte e contorno
GN91A	PE	60% (B0I-B0/1-B0V-B1)	40% (B2V-B2/1-B4/1)	0% (C4 - C2)
	PD STI	40% (B0pr)	40% (B2pr)	20% (C4pr)

Come si può evincere da quanto sopra la sostanziale differenza riguarda l'introduzione di una percentuale ridotta di sezione consolidata al fronte e al contorno. Tale scelta è dovuta all'evidenza ormai confermata dallo scavo di tutti i campi di innesto delle altre finestre, ovvero che in prossimità dell'uscita dalla zona di innesto si manifesti con una certa costanza la presenza di fronti di scavo in condizioni difficili che hanno richiesto l'utilizzo di consolidamenti al fronte e al contorno, a parità di condizioni geomeccaniche attese che restano analoghe alla precedente fase progettuale.

In conclusione, le sezioni tipo proposte limitatamente all'attuale opera, sono state denominate integrando il pedice "pr" al fine di effettuare una netta distinzione con le sezioni tipo di progetto.

La percentuale di applicazione del puntone in arco rovescio è stata assunta pari al 40% di cui il 25% risulta come soluzione ai contesti in cui in PE erano previste le sezioni bullonate e il restante 15% è da intendersi come soluzione di contrasto delle deformazioni in prima fase considerando non



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 23 di 64</span>

efficiente, in termini operativi, l'utilizzo del getto di arco rovescio. Come già accennato in precedenza il puntone non è da considerarsi come sostitutivo del getto di rivestimento definitivo, e qualora anche a valle della chiusura del prerivestimento si evidenziassero movimenti e/o segni di sofferenza si dovrà procedere alla realizzazione del rivestimento definitivo.

### 6.3 Sezione tipo B0pr

Gli interventi previsti per la sezione tipo B0pr sono:

- 2+2 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 spessore di 30 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine costituite da profilati tipo HEB240 passo  $p = 1.2$  m;
- impermeabilizzazione tipo "0" o "1". La prima costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc, la seconda caratterizzata dalla presenza di pannelli drenanti;
- rivestimento definitivo in calcestruzzo armato avente spessore minimo di 100 cm in arco rovescio e 90 cm in calotta.

Le fasi costruttive relative alla sezione tipo B0pr sono le seguenti:

**FASE 1:** esecuzione di drenaggi in avanzamento (eventuali).

**FASE 2:** scavo. Esecuzione scavo in avanzamento con sfondi di lunghezza massima pari a 3.60 m compreso il disaggio, eseguendo lo scavo a piena sezione e sagomando il fronte a forma concava ad ogni sfondo parziale. Al termine dello sfondo e prima di porre in opera gli interventi di prima fase va eseguito un accurato disaggio di tutti i blocchi instabili.

**FASE 3:** posa in opera delle centine e dello spritz-beton. Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1a fase costituito da centine metalliche tipo HEB240 passo 1.20m e da uno strato di spritz-beton di spessore 30 cm, armato con rete elettrosaldata ( $\varnothing 6$  15x15) o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

**FASE 4:** posa in opera del sistema di drenaggio a tergo della muretta. Messa in opera del tubo in PVC/Pead microfessurato con le predisposizioni dei tubi di scarico e di ispezione ove previsti, dello strato protettivo di geotessuto e del telo di impermeabilizzazione in PVC, prevedendo apposita ripresa per futuro collegamento all'impermeabilizzazione di calotta.

**FASE 5:** getto di murette e arco rovescio. Il getto delle murette dovrà essere effettuato entro una distanza di  $9\varnothing$  dal fronte di scavo. Il getto dell'arco rovescio dovrà avvenire entro  $12\varnothing$  dal fronte di scavo o entro  $9\varnothing$  nel caso di getto contemporaneo alle murette.

**FASE 6:** posa in opera della impermeabilizzazione del rivestimento definitivo di calotta. Posa in opera dello strato protettivo di geotessuto e del telo di impermeabilizzazione in PVC a tergo calotta.

**FASE 7:** getto rivestimento definitivo. Il getto del rivestimento in calotta dovrà avvenire ad una distanza dal fronte non superiore a  $15 \varnothing$  dal fronte di scavo.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 24 di 64

## 6.4 Sezione tipo B0pr con puntone

La sezione ha gli stessi interventi e fasi esecutive della sezione B0pr, con l'aggiunta dell'installazione del puntone in arco rovescio, in profilo HEB240 con passo equivalente a quello delle centine di calotta.

Come già descritto nel documento di PE relativo alle Specifiche integrative per l'applicazione del puntone (IG5100ECVROGN00029B00), le modalità e le distanze di installazione previste dipendono dal contesto applicativo dell'intervento. La messa in opera del puntone ha infatti le seguenti principali finalità:

1. Contrastare nell'immediata vicinanza del fronte gli elevati gradienti deformativi che si possono manifestare anche in presenza di fronte lapideo. Per gradiente di convergenza si intende il valore di convergenza per ogni metro di avanzamento di galleria. Tale valore, in condizioni di rilascio tettonico, risulta essere notevolmente più alto di quello che si esplicherebbe normalmente. Dall'analisi dei dati di monitoraggio già disponibili per gli scavi in contesti simili emerge che tali condizioni possono essere identificabili assumendo a riferimento valori medi maggiori di 2cm di deformazione per metro di avanzamento nella zona prossima al fronte di scavo (distanza minore di mezzo diametro);
2. Contrastare in caso di condizioni di ammasso spiccatamente anisotrope le conseguenti asimmetrie di carico che possono portare ad un comportamento non omogeneo della sezione; per fenomeni deformativi fortemente asimmetrici si intende, come riferimento, dove il rapporto fra il differenziale di spostamento ed il valore massimo di spostamento fra i punti 1-5 sia maggiore di 0,4.
3. Contrastare trend di deformazione attiva, anche a distanza dal fronte, nel caso in cui i valori registarti raggiungano o evolvano rapidamente verso i valori di soglia.
4. Garantire, in caso di condizioni di ammasso sfavorevoli, la sicurezza delle operazioni di scavo dell'arco rovescio. In questi contesti, infatti, gli elevati stati di sforzo presenti nell'ammasso comportano carichi importanti nei priverestimenti. In tali situazioni la fase di apertura dell'arco rovescio per campi di 12m per i tempi necessari all'armatura (dove prevista) e al getto dei rivestimenti, può portare all'instabilità del piede centina sia per eccessivi cedimenti verticali, sia per deformazioni laterali in caso di ammassi spingenti e/o elevati stress orizzontali di origine tettonica.

Come valori limite al fine di individuare la necessità di mettere in opere il puntone in arco rovescio si devono assumere i valori di soglia di attenzione definiti nel presente documento, sia in termini di convergenza media sia in termini di spostamento della singola mira e comunque quanto definito in merito a gradiente di convergenza e asimmetria di carico.

Quanto sopra identifica comunque due possibili scenari.

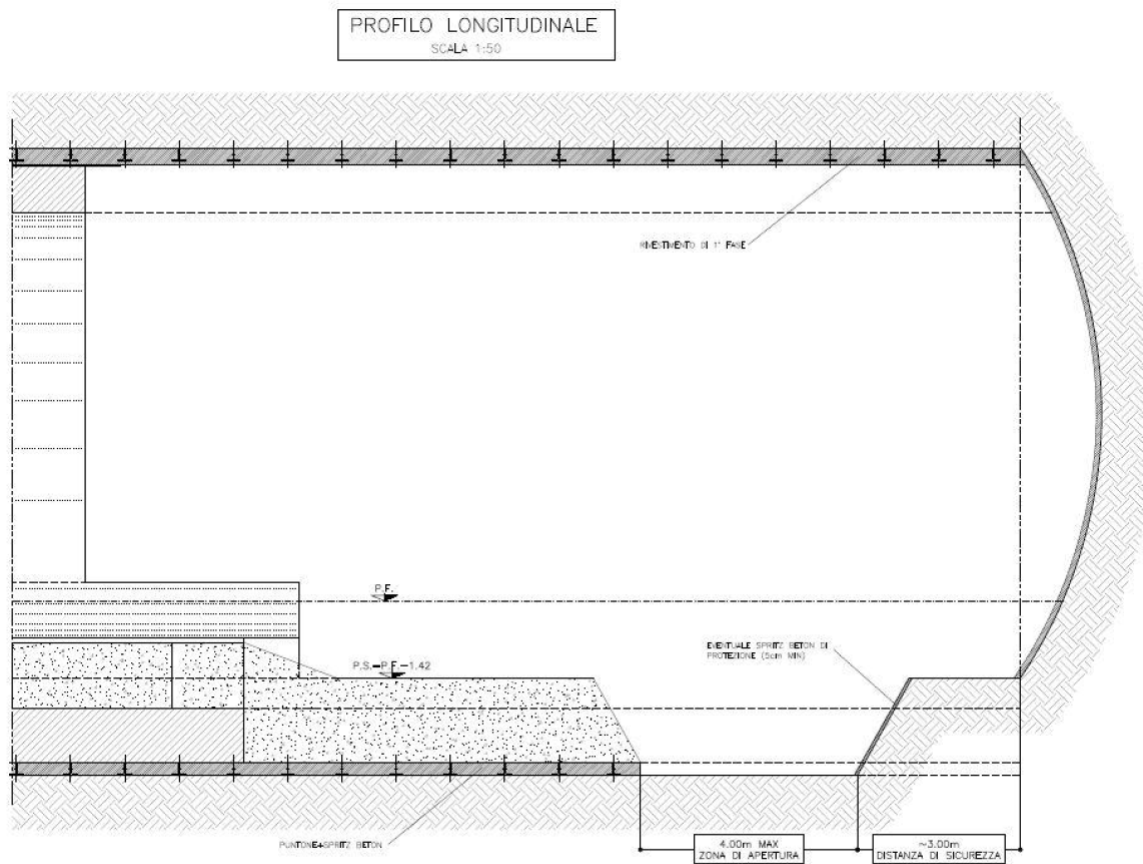
Nei primi due casi il puntone deve essere installato alla minima distanza possibile dal fronte di scavo compatibilmente con la sicurezza del personale e con lo stato tensio-deformativo sostenibile dal rivestimento di prima fase.



Il puntone dovrà quindi essere montato in accordo con i seguenti principi:

- Ad una distanza minima di 3 metri dal fronte di scavo;
- Per porzioni di apertura massima dell'arco rovescio di 4 metri a partire dall'ultimo puntone montato.

Di seguito si allega lo schema esplicativo.



Negli altri casi, il puntone è da intendersi come intervento di controllo deformativo, anche lontano dal fronte, sia nei casi in cui si evidenzi l'attivazione di deformazioni non prevedibili durante lo scavo (punto 3), sia nel caso sia necessario uno strumento di mitigazione del rischio preventivamente all'apertura dell'arco rovescio, con lo scopo principale di limitare e contenere le deformazioni dovuto alla fase di realizzazione del getto stesso e permettere l'apertura parziale dei campi di getto (punto 4).

In questi casi la distanza non è prevedibile a priori, ma dipende dalle condizioni realmente riscontrate. Le modalità di installazione invece dovranno seguire quelle definite per i casi precedenti.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 26 di 64</span>

## 6.5 Sezione tipo B2pr

Gli interventi previsti per la sezione tipo B2pr sono:

- 2+2 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 n° 70 tubi in VTR,  $L \geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 12$  m;
- prerivestimento composto da uno spessore di 30 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine di tipo HEB 240 con passo  $p = 1.20$  m;
- impermeabilizzazione tipo "0" o "1". La prima costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc, la seconda caratterizzata dalla presenza di pannelli drenanti;
- rivestimento definitivo in calcestruzzo armato, avente spessore minimo di 100 cm in arco rovescio e 90 cm in calotta.

Le fasi costruttive relative alla sezione tipo B2pr sono le seguenti:

**FASE 1:** esecuzione dei consolidamenti del fronte. Dal fronte di scavo, sagomato a forma concava con freccia di circa 1.5 m, reazlizzazione dell'intervento di precontenimento mediante la posa in opera di 70 tubi in VTR, aventi lunghezza minima di 24.00 m e sovrapposizione  $\geq 12.00$  m. Nel dettaglio fasi costruttive sono le seguenti:

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

La sequenza operativa andrà adattata alle caratteristiche dell'ammasso, ma dovrà comunque essere tale da garantire l'inghisaggio del tubo in VTR, mediante il completo riempimento dell'intercapedine tra elemento e pareti del foro. L'inserimento del tubo in VTR e la successiva cementazione potrà avvenire al massimo ogni 5 perforazioni realizzate e comunque il prima possibile, per evitare possibili franamenti del foro con conseguente perdita di efficacia dell'intervento. Il riempimento del foro avverrà dal fondo verso il paramento del fronte. Le caratteristiche della miscela da impiegare sono riportate nella tabella materiali del relativo elaborato grafico.

**FASE 2:** esecuzione di drenaggi in avanzamento (eventuali).

**FASE 3:** scavo. Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione, per campi pari a 12 m (precontenimento del nucleo  $L \geq 24$ m, sovrapposizione  $s \geq 12$ m) e per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1.00 m, sagomando il fronte a forma concava ad ogni sfondo.

**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 di tipo HEB 240 passo 1.20m e da

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 27 di 64</span>

uno strato di spritz-beton di spessore 30 cm, armato con rete elettrosaldada ( $\varnothing 6$  15x15) o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

**FASE 5:** posa in opera del sistema di drenaggio a tergo della muretta. Messa in opera del tubo in PVC/Pead microfessurato con le predisposizioni dei tubi di scarico e di ispezione ove previsti, dellos tarto protettivo di geotessuto e del telo di impermeabilizzazione in PVC, prevedendo apposita ripresa per futuro collegamento all'impermeabilizzazione di calotta.

**FASE 6:** getto arco rovescio e murette. Il getto delle murette dovrà essere effettuato entro una distanza di  $3\varnothing$  dal fronte di scavo. Il getto dell'arco rovescio dovrà avvenire entro  $5\varnothing$  dal fronte di scavo o entro  $3\varnothing$  nel caso di getto contemporaneo alle murette.

**FASE 7:** posa in opera della impermeabilizzazione del rivestimento definitivo di calotta. Posa in opera dello strato protettivo di geotessuto e del telo di impermeabilizzazione in PVC a tergo calotta.

**FASE 8:** getto rivestimento definitivo. Il getto del rivestimento in calotta dovrà avvenire ad una distanza dal fronte non superiore a  $9\varnothing$  dal fronte di scavo.

## 6.6 Sezione tipo B2pr con puntone

La sezione ha gli stessi interventi e fasi esecutive della sezione B2pr, con l'aggiunta dell'installazione del puntone in arco rovescio, in profilo HEB240 con passo equivalente a quello delle centine di calotta. Per la distanza e le modalità si rimanda a quanto già espresso per la sezione tipo B0pr.

## 6.7 Sezione tipo C4pr

Gli interventi previsti per la sezione tipo C4pr sono:

- 2+2 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;
- preconsolidamento del fronte realizzato mediante la posa in opera di n° 70 tubi in VTR  $L \geq 24.00$  m, sovrapp.  $\geq 12.00$  m, cementati con miscele cementizie a ritiro controllato;
- preconsolidamento al contorno della futura sezione di scavo mediante n° 69 tubi in VTR,  $L \geq 24.00$  m, sovrapp.  $\geq 12.00$  m cementati con miscele cementizie a ritiro controllato;
- preconsolidamento al piede centina realizzato con 6 + 6 tubi in VTR cementati  $L \geq 18.00$  m, sovrapp.  $\geq 6.0$  m (eventuali).
- prerivestimento composto da centine HEB240 passo  $p = 1.00$  m e da uno strato di 30 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldada o fibrorinforzato;
- impermeabilizzazione tipo "0" o "1". La prima costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc, la seconda caratterizzata dalla presenza di pannelli drenanti;
- rivestimento definitivo in calcestruzzo armato, avente spessore minimo di 100 cm in arco rovescio e 90 cm in calotta.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 28 di 64</span>

Le fasi costruttive relative alla sezione tipo C4pr sono le seguenti:

**FASE 1:** esecuzione intervento di precontenimento al fronte. Dal fronte di scavo, sagomato a forma concava con freccia di circa 1.5 m, realizzazione dell'intervento di precontenimento mediante la posa in opera di 70 tubi in VTR, aventi lunghezza minima di 24.00 m e sovrapposizione  $\geq 12.00$  m. Nel dettaglio fasi costruttive sono le seguenti:

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

**FASE 2:** consolidamento al contorno della sezione e del piede centina (eventuale). Dal fronte di scavo, realizzazione di un arco di terreno consolidato, mediante la posa in opera di n° 69 tubi in VTR cementati, aventi lunghezza minima di 24.00 m e sovrapposizione  $\geq 12.00$  m al contorno della futura sezione di scavo. Eventuale realizzazione dei interventi di precontenimento al piede centina, attraverso perforazioni inclinate rispetto all'orizzontale, secondo quanto indicato negli elaborati grafici di progetto. Nel dettaglio fasi costruttive sono le seguenti:

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

La sequenza operativa di FASE 1 e FASE 2 andrà adattata alle caratteristiche dell'ammasso, ma dovrà comunque essere tale da garantire l'inghisaggio del tubo in VTR, mediante il completo riempimento dell'intercapedine tra elemento e pareti del foro. L'inserimento del tubo in VTR e la successiva cementazione potrà avvenire al massimo ogni 5 perforazioni realizzate e comunque il prima possibile, per evitare possibili franamenti del foro con conseguente perdita di efficacia dell'intervento. Il riempimento del foro avverrà dal fondo verso il paramento del fronte. Le caratteristiche della miscela da impiegare sono riportate nella tabella materiali del relativo elaborato grafico.

**FASE 3:** esecuzione di drenaggi in avanzamento.

**FASE 4:** scavo. Esecuzione scavo in avanzamento a piena sezione, per una lunghezza massima di 12.00 m (consolidamenti  $L = 24.00$ m, sovrapposizione  $\geq 12.00$  m) e per singoli sfondi max. di 1.00 m, sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale ed eseguendo uno strato di spritz-beton armato, sp.5 cm, su ognuno di tali fronti.

**FASE 5:** 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 HEB240 passo 1.00 m e da uno strato di spritz-beton, di spessore pari a 30 cm, armato o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 29 di 64

**FASE 6:** posa in opera del sistema di drenaggio a tergo della muretta. Messa in opera del tubo in PVC/Pead microfessurato con le predisposizioni dei tubi di scarico e di ispezione ove previsti, dello strato protettivo di geotessuto e del telo di impermeabilizzazione in PVC, prevedendo apposita ripresa per futuro collegamento all'impermeabilizzazione di calotta.

**FASE 7:** getto arco rovescio e murette. Il getto dell'arco rovescio e delle murette dovrà avvenire entro  $3\varnothing$  dal fronte.

**FASE 8:** posa in opera della impermeabilizzazione del rivestimento definitivo di calotta. Posa in opera dello strato protettivo di geotessuto e del telo di impermeabilizzazione in PVC a tergo calotta.

**FASE 9:** getto rivestimento definitivo in calotta. Il getto del rivestimento in calotta dovrà avvenire ad una distanza dal fronte non superiore a  $9\varnothing$ .

## 6.8 Sezione tipo C4pr con puntone

La sezione ha gli stessi interventi e fasi esecutive della sezione C4pr, con l'aggiunta dell'installazione del puntone in arco rovescio, in profilo HEB240 con passo equivalente a quello delle centine di calotta.. Per la distanza e le modalità si rimanda a quanto già espresso per la sezione tipo B0pr.

## 6.9 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 preinvestimento progettuale.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 30 di 64</span>

## 7 ANALISI DEL RISCHIO

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

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

### Rischi collegati alle caratteristiche dell'ammasso

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

### Rischi collegati alla presenza d'acqua

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

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

### 7.1 Analisi dei rischi lungo il tracciato

La galleria di sfollamento attraversa gli argilloscisti della Formazioni delle Argille a Palombini.

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 nelle zone caratterizzate da contesti tettonizzati o in presenza di faglie. In tali contesti le analisi compiute hanno evidenziato un comportamento di tipo “B”,



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 31 di 64</span>

ovvero stabile a breve termine e di tipo “C” (condizione limite inferiore), ovvero a fronte instabile; sono quindi stati previsti specifici interventi di consolidamento.

- Carico idraulico: in base a quanto riportato nell’inquadramento idrogeologico ed evidenziato nel profilo geomeccanico, per le coperture in esame grazie alla messa in opera di un opportuno sistema di drenaggio al contorno non si ritiene in linea generale possa essere presente un carico idraulico agente sui rivestimenti definitivi.
- Fenomeni di squeezing: i fenomeni di squeezing potrebbero presentarsi, data la formazione attraversata e le alte coperture presenti lungo la tratta scavata nelle Argilliti a Palombini, sebbene i rischi più elevati si ritiene possano presentarsi in corrispondenza delle faglie. In tale contesto, infatti, si presentano le condizioni più sfavorevoli (alte coperture e presenza di materiale alterato).
- Stress tettonici: Sono possibili elevati stress di natura tettonica che possono portare spinte orizzontali maggiori delle verticali, in particolar modo nelle Argilliti a Palombini. Per poter contrastare tale eventualità sono state previste sezioni tipo dotate di puntone in arco rovescio in chiusura del priverivestimento;
- Deformazioni d’ammasso: in virtù delle coperture presenti potranno verificarsi deformazioni del cavo per le quali sarà necessario provvedere oltre ai corretti interventi da applicarsi (corretta scelta della sezione tipo) anche sovrascavi.
- Interferenza opere in sottoterraneo: la galleria di sfollamento è certamente un’interferenza per la vicina galleria di linea, e l’effetto dello scavo verra trattato nella relazione relativa

## 7.2 Soglie di attenzione e allarme

I dati ottenuti dal monitoraggio dello stato tenso-deformativo tramite strumentazione topografica (vedi § 9), sono confrontati con valori di soglie delle grandezze monitorate, così da evidenziare l’instaurarsi di situazioni deformative e/o tensionale non previste in progetto. Sulla base dei valori raggiunti dai parametri di controllo, in funzione dei valori di soglia definiti, sono attuate azioni e contromisure, valutando ad esempio l’opportunità di proseguire con la sezione applicata o la messa in opera del puntone in arco rovescio, secondo i criteri preindicati nel progetto. I valori di soglia 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 risultare incontrollabili; specificatamente alle opere in esame il raggiungimento di tale soglia prevede l’immediata messa in opera del puntone in arco rovescio indipendentemente dalla sezione tipo utilizzata;
- *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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 32 di 64</span>

Le tabelle seguenti definiscono, per ciascuna opera afferente alla WBS GN91A, le soglie di attenzione e di allarme relative alla risposta deformativa allo scavo dell'ammasso e del priverivestimento. Si vuole far notare come, rispetto alle soglie definite nel PE queste sono state ridotte con particolare riferimento alle soglie di attenzione, che sostituiscono il livello di prevenzione richiesta per l'inserimento del puntone.

CUNICOLO DI SFOLLAMENTO - SOGLIE DI ATTENZIONE E ALLARME						
SEZ.TIPO (-)	CONV. DIAMETRALE (cm)		ESTRUSIONE (cm)		SPOST. SINGOLA MIRA (cm)	
	SOGLIA ATTENZIONE	SOGLIA ALLARME	SOGLIA ATTENZIONE	SOGLIA ALLARME	SOGLIA ATTENZIONE	SOGLIA ALLARME
B0	5	8	-	-	5	8
B2	6	9	6	8	5	8
C4	7	12	7	10	7	12

Come indicato nel profilo geomeccanico, è necessario prevedere extra-scavi (e conseguenti extra raggi sulle centine del priverivestimento) durante l'avanzamento al fine di ridurre eventuali sottospessori dovuti alle convergenze attese.

### 7.3 Varibilità e campo di applicazione delle sezioni tipo

La gestione del rischio è attuata tramite la definizione di variabilità nella intensità degli interventi previsti per ogni sezione tipo, come indicato ai paragrafi seguenti, e dalla possibilità di mettere in opera il puntone in arco rovescio.

Lo scavo del cunicolo di sfollamento avviene su di un tratto geologicamente incerto, rappresentativamente in Argille a Palombini, ma lungo il quale si ritiene possibile avere dei passaggi nella formazione dei Metabasalti del Monte Figogna; si ritiene possibile che tali fronti possano presentare una fratturazione intensa, soprattutto nella zona di passaggio tra le due formazioni. In tale contesto, le caratteristiche geomeccaniche dei Metabasalti possono essere del tutto riconducibili a quelle delle Argille a Palombini caratterizzate tramite il gruppo geomeccanico GR1 e GR2.

In ragione delle caratteristiche meccaniche assimilabili tra argilloscisti e metabasalti intensamente fratturati ed essendo al contempo estremamente incerta la zona di passaggio tra le due formazioni, si ritiene opportuno applicare le sezioni tipologiche previste per la formazione delle Argille a Palombini anche nel caso in cui dovessero essere intercettati i Metabasalti del Monte Figogna.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
A3010XDCVROGN91A00002B00		Foglio 33 di 64

### 7.3.1 Sezione tipo B0pr

#### Campo di applicazione

La sezione di tipo B0 si applica nella formazione delle Argilliti a Palombini qualora l'ammasso risulti caratterizzato da valori di resistenza e deformabilità attribuibili al gruppo geomeccanico 1 della formazione. L'ammasso presenta discrete proprietà geomeccaniche. L'RQD è maggiore del 50-60%; si individua chiaramente la foliazione regolarmente spaziata ma la struttura non è intensamente piegata fino alla microscala. Le superfici dei giunti non sono alterate e la circolazione idrica è scarsa o assente. La presenza dei palombini può superare il 50% fino a condizionare il comportamento generale dell'ammasso; gli strati calcarei sono però poco fratturati e poco alterati. In queste condizioni il fronte di scavo si presenta stabile a breve termine e l'avanzamento con mezzi meccanici può risultare difficoltoso (possibile impiego di esplosivo). La risposta deformativa del cavo evolve verso convergenze che si attestano sui valori minimi registrati (< 5 cm).

#### Variabilità

FORMAZIONE		ARGILLITI A PALOMBINI (GRI)														
SEZIONE TIPO		B0														
		GRUPPO 1			GRUPPO 2A			GRUPPO 2B			GRUPPO 3A			GRUPPO 3B		
COPERTURA	H < 300 M	100%			NP			NP			NP			NP		
	300 < H < 500 M	100%			NP			NP			NP			NP		
	-	-			-			-			-			-		
PARAMETRI	$\sigma_{cr}$ (MPa)	30-40			10-12			10-12			5-7			5-7		
	GSI	45-55			40-45			35-40			30-35			25-30		
	m	15-20			20-25			15-20			19			19		
	E' (GPa)	3-7.8			1.5-2			1-1.5			0.6-1.2			0.6-1.2		
		MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
B0	CENTINE (HEB) ##	240	240	240												
	PASSO CENTINE (M)	1,4	1,2	1,0												
	SPESSORE SB (CM)	30	30	30												
	DISTANZA MAX GETTO MURETTE	12Ø	9Ø	6Ø												
	DISTANZA MAX GETTO A.R.	15Ø	12Ø	9Ø												
	DISTANZA MAX GETTO CALOTTA	18Ø	15Ø	12Ø												

## 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 DELLE SEZIONI

Qualora, in corrispondenza delle tratte ove si prevede l'applicazione della sezione tipo B0 dai rilievi geostrutturali del fronte di scavo risultasse un ammasso caratterizzato da valori di GSI maggiori di 50, associati alla presenza di condizioni di ammasso generali poco fratturato e giunti con alterazione assente, è possibile variare l'intensità degli interventi posizionandosi nella zona inferiore della fascia di variabilità prevista (vedi Tabella), prevedendo l'aumento del passo centine a 1.60m. In tali contesti la condizione di ammasso può essere localmente migliorata dalla presenza di Palombini non alterati ed estremamente compatti. Nel caso opposto, cioè con un ammasso maggiormente allentato e fratturato, in situazioni che tendono ad abbassare i valori dei parametri geomeccanici verso la parte inferiore della fascia intrinseca e in corrispondenza di alte percentuali di Palombini alterati ci si posizionerà nella zona superiore della fascia di variabilità prevista. In tali contesti dovranno essere previsti interventi di supporto di prima fase di maggiore rigidità (aumento delle centine e del rivestimento in spritz beton) al fine di limitare l'estensione della fascia plastica.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 34 di 64</span>

### 7.3.2 Sezione tipo B0pr con puntone

#### Campo di applicazione

L'utilizzo del puntone dovrà essere previsto qualora, anche in condizioni al fronte analoghe a quelle previste nel caso di applicazione della sezione B0pr, si verificano comportamenti deformativi anomali, non coerenti con le condizioni al fronte, in caso di condizioni di carico asimmetriche anche a distanze dal fronte significative o di evidenti stati tensionali anisotropi anche evolutivi.

Nel dettaglio si prevede che al raggiungimento della soglia di attenzione definita in precedenza per la sezione tipo con trend ancora attivo si proceda alla messa in opera del puntone al fine di limitare al massimo gli effetti deformativi potenzialmente dannosi considerando l'adiacenza alle altre opere di linea già realizzate.

Inoltre il puntone verrà previsto in caso si evidenzino gradienti di convergenza significativi ( $>2\text{cm/m}$ ) e asimmetrie di carico. Per la definizione dei limiti si veda quanto riportato nel capitolo specifico.

#### Variabilità

Si adotta la medesima variabilità della sezione B0pr.

### 7.3.3 Sezione tipo B2pr

#### Campo di applicazione

La sezione di tipo B2pr si applica nella formazione delle Argilliti a Palombini per tutte le coperture in esame qualora l'ammasso risulti caratterizzato da valori di resistenza e deformabilità attribuibili alle fasce mediamente alterate del gruppo geomeccanico 2 della formazione. L'ammasso mostra scadenti proprietà geomeccaniche. L'RQD è variabile tra il 35 e il 50%; si individua ancora chiaramente la foliazione regolarmente e fittamente spaziata ma con struttura più intensamente piegata, fino alla microscala. Le superfici dei giunti sono da poco alterate ad alterate e la circolazione idrica è scarsa. I palombini, quando presenti (non oltre il 50%), risultano da fratturati a molto fratturati ed alterati. In queste condizioni il fronte di scavo si presenta stabile a breve termine ma le condizioni di giacitura delle superfici di foliazione e l'intensità della fratturazione, possono portare al verificarsi di fenomeni di distacco che impongono l'uso di consolidamenti al fronte. L'avanzamento avviene regolarmente con mezzi meccanici.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
A3010XDCVROGN91A00002B00		Foglio 35 di 64

## Variabilità

FORMAZIONE		ARGILLITI A PALOMBINI (GR2A)														
SEZIONE TIPO		B2														
COPERTURA	H < 300 M	GRUPPO I			GRUPPO 2A			GRUPPO 2B			GRUPPO 3A			GRUPPO 3B		
	300 < H < 500 M	NP			100%			NP			NP			NP		
PARAMETRI	$\sigma_c$ (MPa)	30-40			10-12			10-12			5-7			5-7		
	GSI	45-55			40-45			35-40			30-35			25-30		
	$m_i$	15-20			20-25			15-20			19			19		
	E' (GPa)	3-7.8			1.5-2			1-1.5			0.6-1.2			0.6-1.2		
		MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
B2	CENTINE (HEB) ##				240	240	240									
	PASSO CENTINE (M)				1.4	1.2	1.0									
	SPESSORE SB (CM)				30	30	30									
	CONSOLIDAMENTO FRONTE (N°)				55	70	90									
	CONSOLIDAMENTO FRONTE L (M) **				24	24	24									
	CONSOLIDAMENTO FRONTE SOVR. (M)				6	12	12									
	DISTANZA MAX GETTO MURETTE				4Ø	3Ø	2Ø									
	DISTANZA MAX GETTO A.R.				6Ø	5Ø	3Ø									
DISTANZA MAX GETTO CALOTTA				11Ø	9Ø	7Ø										

\*\* 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

## 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 DELLE SEZIONI

L'intensità del consolidamento al fronte è direttamente collegabile al grado di fratturazione dell'ammasso e alla giacitura delle superfici di distacco, nonché alla presenza di Palombini. Lo stato dei giunti risulta un elemento significativo ai fini della stabilità del fronte. Sarà quindi possibile variare l'intensità degli interventi posizionandosi nella zona inferiore del range di variabilità previsto laddove il fronte di scavo si caratterizza da giaciture chiaramente individuabili e costanti prevalentemente a reggi poggio o sub-orizzontali, con giunti da poco a moderatamente alterati. Qualora si verificasse il caso opposto al precedente ci si posizionerà nella zona superiore del range di variabilità previsto.

### 7.3.4 Sezione tipo B2pr con puntone

#### Campo di applicazione

L'utilizzo del puntone potrà essere previsto qualora, anche in condizioni al fronte simili a quelle previste nel caso di applicazione della sezione B2pr, si verificano comportamenti deformativi anomali, non coerenti con le condizioni al fronte, in caso di condizioni di carico asimmetriche anche a distanze dal fronte significative o di evidenti stati tensionali anisotropi anche evolutivi. La logica di applicazione del puntone rispecchia pienamente quanto già descritto per la sezione B0pr.

#### Variabilità

Si adotta la medesima variabilità della sezione B2pr.

### 7.3.5 Sezione tipo C4pr

#### Campo di applicazione

La sezione di tipo C4 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 3 della formazione. L'ammasso che ricade in

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
A3010XDCVROGN91A00002B00		Foglio 36 di 64

questo gruppo appartiene a zone particolarmente tettonizzate o alterate e mostra proprietà geomeccaniche molto scadenti. L'RQD è inferiore al 20%; la foliazione è talmente intensa ed irregolarmente e fittamente spaziata che può non essere più riconoscibile (ammasso destrutturato con perdita di coesione); la struttura, quando riconoscibile, è intensamente piegata fino alla microscala. Le superfici dei giunti sono da alterate a molto alterate e la circolazione idrica può essere significativa. I palombini, quando presenti (non oltre il 10-15%), risultano intensamente fratturati ed alterati.

In queste condizioni il fronte di scavo si presenta instabile risultando necessario eseguire sistematici interventi di consolidamento in avanzamento. L'avanzamento avviene regolarmente con mezzi meccanici. La risposta deformativa del cavo evolve verso convergenze che si attestano sui valori massimi registrati (>10 cm), con valori ancora superiori alle coperture massime, necessitando la presenza dell'arco rovescio a ridosso del fronte ed il getto della calotta a breve distanza per la loro completa stabilizzazione nel tempo.

### Variabilità

FORMAZIONE SEZIONE TIPO		ARGILLITI A PALOMBINI (GR3A) C4														
		GRUPPO 1			GRUPPO 2A			GRUPPO 2B			GRUPPO 3A			GRUPPO 3B		
COPERTURA	H < 300 M	NP			NP			NP			100%			NP		
	300 < H < 500 M	NP			NP			NP			100%			NP		
	H > 500 M	NP			NP			NP			100%			NP		
PARAMETRI	$\sigma_{ci}$ (MPa)	30-40			10-12			10-12			5-7			5-7		
	GSI	45-55			40-45			35-40			30-35			25-30		
	$m_i$	15-20			20-25			15-20			19			19		
	E' (GPa)	3-7.8			1.5-2			1-1.5			0.6-1.2			0.6-1.2		
C4	CFNTINF (HFR) ##	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
	PASSO CENTINE (M)										240	240	240			
	SPESSORE SB (CM)										1.2	1	0.8			
	CONSOLIDAMENTO FRONTE (N°)										25	30	35			
	CONSOLIDAMENTO FRONTE L (M) **										55	70	90			
	CONSOLIDAMENTO FRONTE SOVR. (M)										24	24	24			
	CONSOLIDAMENTO CONTORNO (N°)										6	12	12			
	CONSOLIDAMENTO CONTORNO L (M) **										55	69	85			
	CONSOLIDAMENTO CONTORNO SOVR. (M)										24	24	24			
	DISTANZA MAX GETTO MURETTE										6	12	12			
	DISTANZA MAX GETTO A.R.										30	30	1.50			
	DISTANZA MAX GETTO CALOTTA										30	30	1.50			
										90	90	50				

\*\* LA LUNGHEZZA DEI CONSOLIDAMENTI POTRÀ ESSERE VARIABILE TRA 15M E 24M IN RAGIONE DELLE ESIGENZE COSTRUTTIVE, RIMANENDO VALIDE LE LUNGHEZZE MINIME DI SOVRAPPORZIONE DELLE DIVERSE VARIABILITÀ

## 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 DELLE SEZIONI

Qualora in corrispondenza delle tratte ove si prevede l'applicazione della sezione tipo C4 dai rilievi geostrutturali del fronte di scavo risultasse un ammasso caratterizzato da valori di GSI prossimi a 35, associati comunque alla presenza di condizioni di ammasso fratturato e giunti alterati, contestualmente a coperture limitate, è possibile variare l'intensità degli interventi posizionandosi nella zona inferiore della fascia di variabilità prevista, prevedendo l'aumento del passo centine e la riduzione dei consolidamenti al fronte e al contorno. Rimane in ogni caso necessaria un'azione di precontenimento delle deformazioni al fine di limitare il detensionamento dell'ammasso già interessato da uno stato di fratturazione intensa. Nel caso opposto, in situazioni che tendono ad abbassare i valori dei parametri geomeccanici verso la parte inferiore della fascia intrinseca specie se abbinate alle massime coperture, ci si posizionerà nella zona superiore della fascia di variabilità prevista. In tali contesti dovranno essere previsti interventi di supporto di prima fase di maggiore rigidità (diminuzione del passo per le centine e aumento di spessore del rivestimento in spritz beton) e l'esecuzione di importanti interventi davanti il fronte al fine di limitare i fenomeni deformativi e

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <div style="float: right;">Foglio 37 di 64</div>

l'estensione della fascia plastica. Inoltre, per la sezione tipo in esame, la variabilità degli interventi di consolidamento può essere funzione anche delle coperture presenti, a meno di zone localizzate e problematiche. In particolare la lunghezza minima di sovrapposizione, quindi la lunghezza del campo di avanzamento, è legata ai fenomeni estrusivi che risultano influenzati direttamente dallo stato tensionale presente.

### *7.3.6 Sezione tipo C4pr con puntone*

#### Campo di applicazione

L'utilizzo del puntone andrà previsto in caso di trend deformativi anomali, sia in termini di valori assoluti sia in termini di campo deformativo (stati tensionali anisotropi, marcate asimmetrie di carico, etc.). Il puntone andrà tempestivamente messo in opera per contenere l'evoluzione deformativa in modo da chiudere il pririvestimento e distribuire l'asimmetria delle spinte.

La logica di applicazione del puntone rispecchia pienamente quanto già descritto per la sezione B0pr.

#### Variabilità

Si adotta la medesima variabilità della sezione C4pr.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 38 di 64

## 8 TECNOLOGIE ALTERNATIVE E PRESCRIZIONI

Nei seguenti paragrafi sono affrontati specifici temi di carattere tecnologico e costruttivo e precisa le prescrizioni e i criteri per la risoluzione delle eventuali criticità che dovessero verificarsi in fase di scavo.

### 8.1 Campo prova iniezioni ad alta pressione

Il campo prova iniezioni ad alta pressione ha lo scopo di valutare da subito l'efficacia del trattamento ed eventualmente adeguare e tarare i parametri di progetto sulla base dei risultati ottenuti.

Il campo prova per le iniezioni ad alta pressione è eseguito direttamente al contorno del cavo realizzando 4 trattamenti, due sui reni e due in calotta, tra quelli già previsti nelle geometrie della sezione tipo. Il numero di valvole e le caratteristiche della perforazione saranno analoghe a quanto previsto in Progetto. Tali trattamenti preliminari fungeranno da "fori pilota" al fine di tarare i parametri operativi di iniezione previsti per il trattamento.

Eseguito il primo campo prova, al procedere degli scavi, le iniezioni preliminari dovranno essere ripetute ogni qual volta il fronte evidenzia anomalie geologiche e/o geostrutturali rispetto alla condizione iniziale di prova.

La geometria dell'intervento consentirà di realizzare un trattamento sufficientemente diffuso dell'ammasso al contorno del cavo, così da determinare un arco di scarico che faciliti l'incanalamento degli sforzi ai lati del cavo e che nel contempo ne riduca l'entità. Le iniezioni avverranno a volume e pressione controllate. La miscela cementizia avrà le seguenti specifiche tecniche.

*Miscela di guaina* (composizione media eventualmente da tarare in corso d'opera):

- Cemento tipo 32.5-42.5;
- Rapporto acqua/cemento = 1.5÷2.0;
- Rapporto bentonite/acqua = 0.05/0.08;
- Densità = 1.28÷1.32 g/cm<sup>3</sup>.

*Miscela per iniezioni* (composizione media eventualmente da tarare in corso d'opera):

- Cemento tipo 42.5-52.5;
- Rapporto acqua/cemento = 0.7;
- Rapporto bentonite/acqua = 0.02;
- Densità = 1.6÷1.8 g/cm<sup>3</sup>;
- Viscosità Marsh  $\cong$  35-45''
- Additivo fluidificante 3-4% sul peso del cemento
- Eventuale bentonite (b/a<0.02)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 39 di 64</span>

Relativamente ai terreni da trattare si riportano le condizioni presenti lungo il tracciato.

Si considerano le Argilliti a Palombini appartenenti a zone caratterizzate da fronte misto, anisotropia, possibili distacchi.

Una valutazione diretta della iniettabilità dei terreni da trattare, sarà operata nell'ambito delle iniezioni preliminari previste, dove si procederà a registrare i volumi di miscela assorbiti per ciascuna valvola di iniezione. A seguito delle evidenze del campo prova si potrà operare una calibrazione di maggiore dettaglio circa la composizione della miscela.

Allo scopo di verificare i parametri operativi sopra descritti, si individuano di seguito le prescrizioni relative alla realizzazione del campo prova costituito dalle 4 perforazioni preliminari.

Il programma di controllo prevede sinteticamente:

- Controlli preliminari; da condursi prima dell'intervento di consolidamento che riguardano in particolare le caratteristiche minime delle miscele da impiegare.
- Controlli durante il campo prova: da eseguire all'interno dell'area da consolidare con lo scopo di tarare i parametri pre-definiti e calibrare l'esatta entità del volume da consolidare oltre all'efficacia dell'intervento di consolidamento.
- Controlli finali (necessità da valutare in funzione degli assorbimenti registrati): Verranno eseguite prove in situ di tipo sismico per la valutazione delle caratteristiche del terreno a seguito dell'intervento stesso. La tipologia dell'opera che si andrà a realizzare richiede in particolare la formazione di volumi di terreno consolidato di geometria e caratteristiche meccaniche predeterminate in progetto. Risulta necessaria la valutazione delle caratteristiche del terreno consolidato, attraverso prove sia in situ (tomografie sismiche) sia in laboratorio. In funzione degli esiti dei primi controlli eseguiti, tali indagini potranno essere eseguite anche successivamente all'inizio degli scavi.

### 8.1.1 Controlli preliminari

In fase preliminare andranno valutate le caratteristiche delle miscele da impiegare per la cementazione dei fori (guaina) e per l'iniezione delle valvole.

Dovranno essere garantiti i seguenti requisiti minimi.

La *miscela di guaina* del foro dovrà avere le seguenti caratteristiche minime:

- resa volumetrica > 95 %;
- resistenza a compressione  $\approx 10 \text{ kg/cm}^2$  (a 28 gg);

La *miscela di iniezione*, ad alta penetrabilità, dovrà avere le seguenti caratteristiche minime:

- resa volumetrica > 95 %;
- resistenza a compressione >  $30 \text{ kg/cm}^2$ .
- peso specifico 1.5 -  $1.8 \text{ t/m}^3$ ;



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 40 di 64</span>

- viscosità Marsh iniziale 35 - 45 sec;
- pressofiltrazione a 7 atm:
 

a 30''	<10 cm <sup>3</sup>
a 1'	<15 cm <sup>3</sup>
a 2'	<22 cm <sup>3</sup>
a 4'	<32 cm <sup>3</sup>
a 8'	<48 cm <sup>3</sup>
a 15'	<65 cm <sup>3</sup>
a 30'	<100 cm <sup>3</sup>

La composizione della miscela dovrà rispettare quando previsto nei paragrafi precedenti.

Circa le prove da eseguire per il controllo delle miscele cementizie da impiegare, si ritiene che debbano essere condotte giornalmente, come previsto anche dal Capitolato Italferr, le seguenti prove:

- Massa volumica (per il controllo della densità:  $1.45 \div 1.61 \text{ g/cm}^3$ );
- Viscosità Marsh (per il controllo della viscosità: 38'');
- Resa volumetrica (per il controllo della stabilità della miscela: >95%);
- Prelievo di campioni per prove di compressione (per il controllo della resistenza:  $R_{ck} > 2.5 \text{ MPa}$  a 28gg).

Per le prove di viscosità apparente (con viscosimetro Rheometer) e presso filtrazione, previste dal Capitolato Italferr, si riportano le seguenti considerazioni.

La prova di viscosità apparente, mediante l'impiego di viscosimetro rotazionale (ad esempio coassiale di tipo "Rheometer") viene generalmente eseguita per miscele chimiche dove è forte la dipendenza della viscosità della miscela (ovvero della resistenza a taglio alla rotazione del viscosimetro) in funzione del tempo; la prova consente soprattutto di verificare la lavorabilità della miscela e di testare le proprietà reologiche della miscela. Prevedendo l'impiego di miscele di tipo binario acqua/cemento, si ritiene che il controllo della viscosità della miscela possa essere più semplicemente effettuato mediante il cono di Marsh, attuando la prova già prevista.

Circa la prova di pressofiltrazione, essa è volta alla verifica della stabilità della miscela costituendo quindi un ulteriore controllo della resa volumetrica. In genere la prova viene condotta su fanghi bentonitici mentre risulta essere meno frequente su miscele binarie. Si propone, come effettuato dagli Scriventi in altri Cantieri, di eseguire la prova "una tantum" durante lo svolgimento dei lavori (ad esempio durante l'esecuzione del campo prova) su campioni scelti dalla D.L., così da verificare che i controlli effettuati mediante resa volumetrica garantiscano l'impiego di una miscela stabile. La prova consiste nel misurare, mediante pressofiltra standard posta alla pressione normalizzata di 700 kPa (7 atm), il volume d'acqua filtrata dopo un tempo prestabilito; nel caso di miscela "non stabile" si osserva che la quasi totalità dell'acqua presente nella miscela filtra dopo pochi minuti. Diversamente il volume filtrato dopo 30 minuti risulta dell'ordine del 35-45% del volume testato (da verificare in funzione della composizione della miscela).



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 41 di 64</span>

### 8.1.2 Controlli durante il campo prova

Dovranno essere identificate e segnalate per ogni trattamento eventuali refluenti del materiale iniettato sul fronte.

#### controlli sulla sospensione di iniezione

- peso specifico
- viscosità Marsh
- acqua libera

le iniezioni valvolate verranno controllate con prelievi e determinazioni per ogni iniezione di:

- viscosità
- peso specifico
- tempo di presa
- decantazione (bleeding)

Per ogni foro verrà preparato un rapporto di perforazione nel quale saranno indicati:

- Numero e tipo di foro;
- Data, ora di inizio e fine perforazione;
- Sistema e fluido di perforazione adottati;
- Profondità raggiunta;
- Profondità della falda acquifera;
- Note di eventuali difficoltà di perforazione o franamenti. Per ogni trattamento del campo prova verrà compilata una scheda contenente le seguenti informazioni:
- parametri operativi di progetto e reali (quota, errore di centramento sul picchetto, inclinazione dell'asta di perforazione)
- parametri di perforazione (lunghezza della perforazione, lunghezza perforazione a vuoto, diametro utensile, tipo di utensile);
- parametri di iniezione (numero valvole, pressione della miscela, portata della miscela, volume della miscela);
- caratteristiche della miscela (rapporto acqua/cemento, quantità di miscela utilizzata, densità della miscela, viscosità della miscela, decantazione o resa volumetrica, tempo di presa, prelievo dei campioni per prove a rottura);
- caratteristiche del singolo consolidamento (diametro efficace, quota testa).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 42 di 64</span>

### 8.1.3 Controlli finali

Sono previste alcune prove geofisiche in situ allo scopo di verificare attraverso l'analisi delle velocità sismiche le caratteristiche di elasticità medie dei materiali consolidati e di confrontarle con quelle dei terreni adiacenti non interessati dal consolidamento. La determinazione avverrà per via indiretta mediante indagine tomografica con metodo sismico.

I valori medi delle velocità sismiche ottenuti dalla prospezione (**onde P ed S**) saranno poi utilizzati per determinare le caratteristiche geotecniche medie dei terreni e l'incremento del modulo elastico medio dei materiali trattati mediante iniezioni cementizie con tubi valvolati.

L'elaborazione grafica computerizzata dell'indagine tomografica si concretizza attraverso la restituzione di "immagini" con zonature a varie tonalità di colori che vengono associati ai diversi gradi d'intensità delle velocità sismiche rilevati all'interno del volume di terreno esaminato. Tale elaborazione permette quindi una restituzione bidimensionale continua delle caratteristiche elastiche dei terreni consolidati lungo direttrici d'indagine predefinite.

### 8.1.4 Esame del consolidamento

Per i trattamenti verrà eseguito il prelievo di campioni mediante carotaggio meccanico utilizzando una carotatrice elettrica da sottoporre a prove di laboratorio (prove di compressione ed analisi microsismica delle velocità delle onde elastiche) per determinare:

- resistenza alla compressione semplice a 3, 7 e 28 gg.
- densità
- modulo elastico.

## 8.2 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 situ, 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 43 di 64

### 8.3 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 prerivestimento 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.

Per quanto concerne le caratteristiche di resistenza dello spritz-beton, è previsto l'impiego di una miscela caratterizzata da  $f_{cm}=25 \div 30$  MPa.

In alternativa alle fibre in acciaio potranno essere adottate fibre sintetiche, nei rispetti del capitolato e della Norma UNI 10834 Appendice E. La quantità di dosaggio, generalmente prevista tra 2.5 e 4 kg/mc di calcestruzzo, andrà valuta in funzione delle miscele utilizzate e delle curve di maturazione, in modo da garantire un valore di energia assorbita, da prove di punzonamento su piastra, maggiore o uguale a 500 Joule.

### 8.4 Tecnologie alternative di impermeabilizzazione

L'impermeabilizzazione di progetto prevede la messa in opera di uno strato di compensazione di tessuto non tessuto e di una guaina in PVC, adeguatamente sovrapposta e saldata nelle zone di giunzione secondo le indicazioni progettuali (cfr. tavole di impermeabilizzazione).

Tuttavia l'esperienza ha palesato come possa mostrarsi critica l'applicazione dei teli particolarmente nelle zone di collegamento fra gallerie differenti, innesti, risparmi di particolari geometrie e uscite di by-pass/cunicli/cabine. Pertanto in tutti i concetti di risparmio l'impermeabilizzazione potrà essere realizzata mediante una membrana spruzzabile, applicata mediante proiezione per via secca, per garantire la continuità dell'impermeabilizzazione tra sezione corrente e sezione in uscita.

### 8.5 Interventi di stabilizzazione in caso di fermo fronte prolungato

Qualora le operazioni di scavo siano interrotte per un tempo di circa 24 ore, è necessario porre in opera uno strato di spritz-beton sp. 10 cm al fronte. Se il fermo delle lavorazioni risultasse superiore a 48 h (festività o altro) il ciclo delle lavorazioni dovrà necessariamente terminare con il rivestimento di prima fase a ridosso del fronte, previa sagomatura a forma concava del fronte stesso ed esecuzione dello strato di spritz beton armato o fibrorinforzato sp. >10 cm al fronte. In relazione al comportamento deformativo del fronte e del cavo, l'arco rovescio e le murette dovranno essere opportunamente avvicinate al fronte.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 44 di 64

## 8.6 Armatura del rivestimento definitivo

In corrispondenza delle criticità ad oggi riscontrate è risultato necessario l'utilizzo di rivestimenti definitivi opportunamente armati lungo tutta la tratta del cunicolo di sfollamento in esame.

In corso d'opera è prevista la possibilità di utilizzare in calotta e piedritti sia armature tralicciate, sia quelle standard. Analogamente, in arco rovescio possono essere utilizzate gabbie prefabbricate o armatura tradizionale.

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

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

## 8.7 Distanze di getto dei rivestimenti definitivi

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

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

La distanza di getto della calotta, per ogni sezione tipo di avanzamento, sarà anch'essa funzione delle condizioni generali d'ammasso. Per ammassi che si trovino in condizioni geomeccaniche scadenti o per situazioni che evidenzino elevati valori tenso/deformativi sarà necessario portare il getto della calotta il più possibile vicino al fronte riducendo del 20% la distanza prevista a progetto (variabilità minima); in ammassi che presentino discrete caratteristiche geomeccaniche o bassi valori tenso/deformativi si potrà invece utilizzare come distanza di getto la distanza massima, 20% in più di quanto previsto a progetto, all'interno del range di variabilità di detta sezione tipo (variabilità massima); infine se l'ammasso si presenta in condizioni simili a quelle previste in progetto, si procederà ad utilizzare la distanza prevista a progetto.

Le distanze di getto sono funzione della tipologia d'ammasso nonché delle convergenze misurate in galleria o all'esterno, e dei valori di estrusione al fronte; in linea generale dovrà essere applicata la distanza minima qualora le deformazioni misurate risultino comprese tra la soglia di attenzione e la

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 45 di 64

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.

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

### 8.8 Resistenza minima 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).

### 8.9 Tecniche di consolidamento al fronte

Le geometrie di consolidamento presentate negli elaborati grafici di progetto devono intendersi come geometrie "medie"; in presenza di anomalie localizzate su parte del fronte, o per esigenze locali di messa in sicurezza, non è esclusa la possibilità di una variazione "puntuale" delle quantità o delle geometrie dei consolidamenti. Pur rimanendo invariato il numero totale degli interventi, nello specifico potranno aversi zone del fronte con differenti densità di intervento in funzione delle caratteristiche geomeccaniche "puntuali" di ciascuna zona; gli interventi di consolidamento precedentemente elencati dovranno essere dimensionati in modo da "cucire" la superficie di contatto tra le diverse formazioni, ovvero si dovrà prestare particolare attenzione nella definizione degli angoli di perforazione e delle lunghezze degli elementi. Detta operazione verrà definita nel dettaglio in corso d'opera, sulla base delle conoscenze geologiche ed idrogeologiche acquisite nel corso dello scavo, nonché in base ai rilievi effettuati in situ.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 46 di 64

## 8.10 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.

Se a seguito dei rilievi condotti nel corso degli avanzamenti si evidenzia nella tratta in scavo una situazione geologica-geomeccanica attraverso la quale vengono chiaramente riscontrate caratteristiche geomeccaniche al di fuori di quelle previste nel contesto di progetto, il progettista valuterà se adottare una diversa sezione tipo tra quelle previste in progetto esecutivo nell' ambito della stessa galleria.

In generale 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, al fine di garantire sia la continuità e la sicurezza delle lavorazioni in cantiere sia il mantenimento del 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 la riduzione al minimo dello sviluppo reologico temporale del processo di detensionamento e rilassamento dell' ammasso al contorno e sul fronte.

## 8.11 Criticità

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 47 di 64</span>

## 9 PROGRAMMA DI MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA

In accordo con i principi del ADECO-RS, lo scopo del monitoraggio è quello di controllare l'evolversi della risposta tenso-deformativa dell'ammasso allo scavo e di verificarne la rispondenza con le previsioni progettuali. I risultati del monitoraggio permettono quindi a progettista e Direzione Lavori da un lato di garantire la sicurezza degli scavi e dall'altro di controllare l'adeguatezza del progetto e la sua ottimizzazione, in rapporto alle condizioni realmente incontrate, valutando l'opportunità di proseguire con la sezione applicata o eventualmente modificarla, secondo i criteri preindicati nel progetto.

Il piano di monitoraggio della galleria di sfollamento prevede il ricorso a rilevamenti / indagini in situ e a strumentazione topografica / elettrica, disposta a formare stazioni di misura distribuite lungo il tracciato. L'ubicazione delle stazioni di monitoraggio è funzione delle condizioni geomeccaniche definite in fase progettuale, mentre la frequenza di lettura è correlata principalmente alla successione delle fasi lavorative.

In galleria naturale la strumentazione impiegata per il monitoraggio del priverivestimento consiste in:

- misura dello stato tensionale agente, tramite celle di carico e barrette estensimetriche;
- mire topografiche per misure di convergenza.

In analogia, la strumentazione impiegata per il monitoraggio del rivestimento definitivo consiste in:

- barrette estensimetriche a corda vibrante annegate nel getto di calcestruzzo;
- mire topografiche per misure di convergenza.

Le condizioni dell'ammasso al fronte di scavo sono oggetto di specifici rilevamenti, indagini in avanzamento e misure di estrusione, al fine di prevederne la risposta nei successivi campi di scavo.

Relativamente al piano di monitoraggio, la tabella seguente ne contiene la sintesi; nei paragrafi che seguono sono invece indicate le specifiche tecniche e le modalità operative.

Strumentazione	Frequenza (m)	stazioni
misura stato tensionale del priverivestimento - celle di carico (2) e barrette estensimetriche (3 coppie)	-	n° 1 ca.
misura stato tensionale del rivestimento - barrette estensimetriche (4 coppie) -	-	n° 1 ca.
Rilievi geomeccanici del fronte	ogni 25 m, B0 ogni campo, B2, C4	-
Misure di convergenza a 5 punti del priverivestimento	ogni 15 m, B0 ogni campo, B2, C4	-
Indagini in avanzamento	vedi descrizione	1
Misure di estrusione topografiche	In caso di fermo fronte prolungato, o in caso di comportamento deformativo anomalo	-
Misure di estrusione estensimetriche	vedi descrizione	1

**Tabella 9-1. Sintesi monitoraggio**



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 48 di 64

## 9.1 Rilievi del fronte

I rilievi del fronte consistono nella restituzione grafica e numerica delle caratteristiche geologiche, geostrutturali e geomeccaniche del fronte di scavo durante l'avanzamento, e possono distinguersi secondo le modalità di esecuzione:

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

Le cadenze di rilievo di massima sono riportate in Tabella 9-1.

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

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

Durante lo svolgimento di tali rilievi è previsto il prelievo di campioni per lo svolgimento di prove di laboratorio ogni 400 m circa.

### 9.1.1 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 ;
- 6) colore;
- 7) assetto generale dell'ammasso individuabile a scala del fronte:
  - A. stratificazione
  - B. scistosità

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 49 di 64

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

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

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

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

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

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

Con riferimento al punto a):

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 50 di 64</span>

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

Con riferimento al punto b):

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

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

Le caratteristiche da rilevare sono descritte al punto b):

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 51 di 64</span>

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

Con riferimento al punto c):

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

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

Caratteristiche geotecniche-geomeccaniche

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

Per le prove in situ si prevede:

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 52 di 64

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

- Le operazioni da eseguirsi con lo strumento 2) saranno sostanzialmente le stesse, potendo limitare la profondità dei fori a circa 2-2.5 metri.
- Il pressiometro autoperforante, 1), il cui impiego è ovviamente limitato a terreni soffici, non richiede l'esecuzione di fori al fronte.
- Nella prova dilatometrica, 3), andranno ricercati in particolare le indicazioni sullo stato tensionale in situ e sul modulo di deformabilità del terreno e/o roccia.

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

1. Prove di classificazione (granulometrie, limiti, ecc.)
  2. Prove di compressione ad espansione laterale libera
  3. Prove triassiali
  4. Prove di taglio su giunto
  5. Prove di estrusione triassiale.
- I campioni estratti devono essere indisturbati, in particolar modo se destinati alle determinazioni delle caratteristiche meccaniche e di estrusione d'ammasso.
  - Il trasporto e la conservazione dei campioni deve essere effettuato in modo da minimizzare eventuali modificazioni (temperatura, umidità).

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

### 9.1.2 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;
- la spaziatura delle discontinuità potrà venire valutata anche qualitativamente;
- il parametro JRC verrà valutato qualitativamente;

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A3010XDCVROGN91A00002B00	Foglio 53 di 64

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

### 9.1.3 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.

### 9.1.4 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <table border="1" data-bbox="1369 230 1476 282"> <tr> <td>Foglio 54 di 64</td> </tr> </table>	Foglio 54 di 64
Foglio 54 di 64		

## 9.2 Indagini in avanzamento

Qualora si renda necessario, in corso d'opera possono essere predisposte indagini geognostiche in avanzamento, in zone non coperte da indagini di superficie. In linea generale, tali indagini, eseguite mediante sondaggi di lunghezza pari a 30 ÷ 60m dal fronte di scavo, avranno una frequenza media di 1 sondaggio ogni 400 m di galleria. Le indagini sono previste, in particolare nelle zone di contatto tra diverse litologie.

Durante l'esecuzione delle indagini in avanzamento, si può prevedere il prelievo di un campione ogni 5 m di carotaggio e comunque in corrispondenza di passaggi litologici significativi. Su ciascun campione prelevato possono essere eseguite almeno le seguenti prove di laboratorio:

- 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, in funzione dell'osservazione diretta del progettista.

## 9.3 Misure di estrusione topografiche

Le misure di estrusione topografiche 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.

### 9.3.1 Installazione

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

Le cadenze di misura di massima sono riportate in Tabella 9-1.

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

Si precisa che l'utilità di tale strumentazione è da correlarsi alla misura delle estrusioni differite nel tempo, pertanto l'applicazione della sezione dipende dalle fasi di scavo, getto e consolidamento applicate nella tratta. E' chiaro, infatti, che l'installazione della strumentazione risulta utile a cogliere il comportamento nel tempo solo nel caso di fronte fermo per un periodo superiore alle 36-48h in assenza di lavorazioni che possano disturbare le letture (consolidamento).

### 9.3.2 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;



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 55 di 64</span>

- n. 1 lettura al termine degli interventi di consolidamento;
- n.1 lettura al giorno
- 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 tutti gli spostamenti per ogni punto situato lungo l'asse della galleria e di tutti gli spostamenti integrati nelle due direzioni principali x ed y. Tutti i dati elaborati sono da fornire in tempo reale.

#### 9.4 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.

##### 9.4.1 Installazione

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

Eseguito il foro di sondaggio della lunghezza  $\geq 30 \text{ m}$  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.

Le caratteristiche tecniche degli estensimetri risultano essere le seguenti:



Particolare anello ottone.



Particolare anello magnetico

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TUBO**

materiale	ABS	
tipo	70	
A (Diametro interno mm)	60,0	
B (diametro esterno guide mm)	70,0	
C (diametro interno guida mm)	64,0	
lunghezza spezzone (m)	3,00	
spessore (mm)	5,0	
manicotto (diametro esterno mm)	76,0	
peso	1,6 Kg / m	

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ANELLI**

	ottone	PVC
Diametro interno anello mm	72,5	72,5
Diametro esterno anello mm	85	92
altezza anello mm	35	50
peso gr	362	250

Le cadenze di misura di massima sono riportate in Tabella 9-1.

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.

**9.4.2 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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 57 di 64

vecchio. Durante le lavorazioni che comportano fermi del fronte (consolidamento, arco rovescio ecc.) sarà necessario eseguire una lettura appena terminato lo scavo e una appena prima di riprenderlo.

Il sistema di acquisizione dati è composto da:

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

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

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

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

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

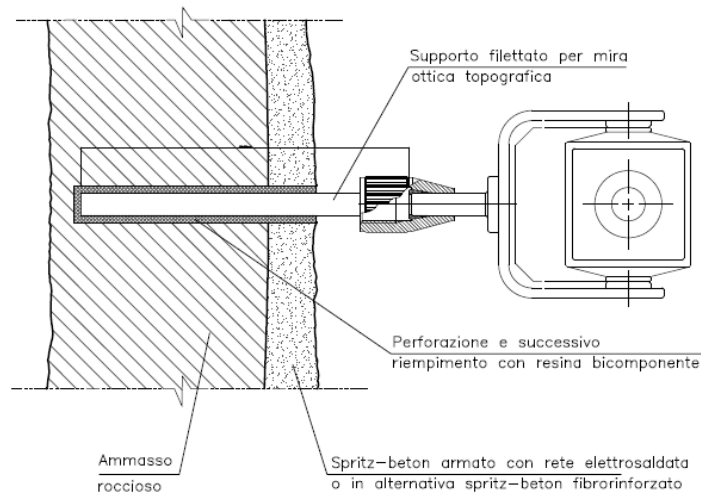
## 9.5 Misure di convergenza del priverivestimento

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.

### 9.5.1 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN91A00002B00	Foglio 58 di 64



**Figura 9-1. Particolare mira topografica per misure di convergenza del prerivestimento**

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.

### 9.5.2 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 9-1.

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00
	Foglio 59 di 64

Il sistema di elaborazione ha come scopo quello di fornire i diagrammi in funzione del tempo dei seguenti dati:

- 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.

## **9.6 Misura dello stato tensionale del priverivestimento 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 priverivestimenti. 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 ottenuto 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.

Si rimanda al profilo geomeccanico per la frequenza di applicazione delle sezioni di monitoraggio, fermo restando che l'effettiva distribuzione delle stazioni potrà essere modulata in funzione del reale comportamento dell'ammasso.

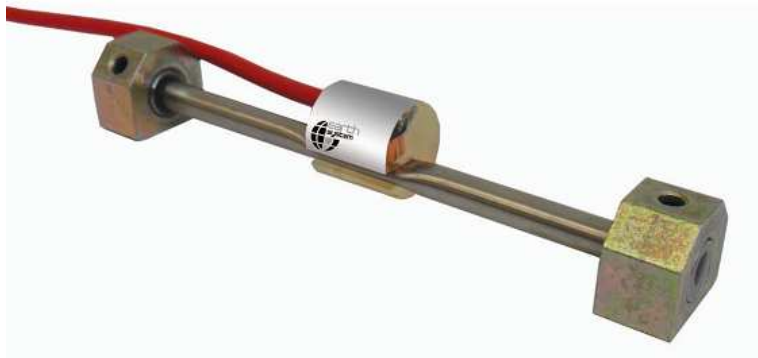
### *9.6.1 Installazione delle barrette estensimetriche a corda vibrante a saldare*

Si prevede l'installazione di 3 coppie di barrette estensimetriche (1 in calotta e 2 sui piedritti) posizionate nel priverivestimento (sull'anima delle centine) con le caratteristiche in seguito riportate:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 60 di 64</span>

#### CARATTERISTICHE TECNICHE BARRETTA A SALDARE

- ✓ Tipo di trasduttore: corda vibrante
- ✓ Range di misura nominale: 3.000 µε
- ✓ Sensibilità: 0,1 µε
- ✓ Accuratezza: 0,1% F.S.
- ✓ Non linearità: migliore dello 0,5% F.S.
- ✓ Range di temperatura  
funzionamento: -30°C fino a +90°C
- ✓ Sensore di temperatura:  
integrato NTC 3 kΩ
- ✓ Resistenza della bobina: 150Ω
- ✓ Frequenza tipica: 800 Hz
- ✓ Segnale di uscita: Hz
- ✓ Coefficiente di dilatazione termico:  
12,2µε/°C



**Figura 2. Caratteristiche tecniche e dettaglio delle barrette estensimetriche per profilati metallici**

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

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

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

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

#### 9.6.2 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. Le caratteristiche tecniche risulano essere le seguenti:



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 61 di 64</span>

#### CARATTERISTICHE TECNICHE

- ✓ Campo di misura: 1.900-3.000 kN
- ✓ Sensibilità nominale: 2,0 mV/V +/-0,1%
- ✓ Piatto cella: sensibilizzata  
con n. 16 strain gauges
- ✓ Ripetibilità: > +/- 0,02% F.S.
- ✓ Carico ammesso: 150% F.S.
- ✓ Carico di rottura: 300% F.S.
- ✓ Grado di protezione: IP 67
- ✓ Alimentazione elettrica: 5-10 Vcc
- ✓ Materiale: acciaio inox
- ✓ Temperatura di funzionamento: -20°C/+70°C
- ✓ Freccia massima a carico: 0,4 mm
- ✓ Isolamento: > 5.000 mΩ
- ✓ Compensazione in temperatura: -10°C/+60°C
- ✓ Effetto della temperatura sullo 0 (5°C): <± 0,02% F.S.
- ✓ Effetto della temperatura sulla sensibilità: (5°C) <± 0,005% F.S.



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. Nel seguito vengono indicate le soglie di carico per ogni centina adoperata:

Sezione tipo	Profilo centine	Soglia di carico
B0, B2, C4	HEB 240	0 – 200 ton

#### 9.6.3 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.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 62 di 64</span>

- 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.

### 9.7 Misura dello stato tensionale nel rivestimento definitivo

Si prevede l'installazione di quattro coppie di barrette estensimetriche a corda vibrante annegate nel getto del rivestimento definitivo ed aventi le caratteristiche tecniche indicate in figura seguente.



#### CARATTERISTICHE BARRETTA P

- ✓ Tipo di trasduttore: corda vibrante
- ✓ Range di misura nominale: 0-10000 µε
- ✓ Sensibilità: 1,0 µε
- ✓ Accuratezza: 0,1% F.S.
- ✓ Non linearità: migliore di 0,1%
- ✓ Range di temperatura di lavoro: -30°C fino a +90°C
- ✓ Sensore di temperatura integrato NTC 3KΩ
- ✓ Resistenza della bobina: 100Ω
- ✓ Frequenza tipica: 800 Hz
- ✓ Segnale di uscita: Hz
- ✓ Coefficiente di dilatazione: 12,2µε/°C

**Figura 3. Caratteristiche tecniche e dettaglio delle barrette estensimetriche per calcestruzzo**

L'estensimetro a corda vibrante è largamente utilizzato per la determinazione delle deformazioni del calcestruzzo, garantendo precisione e stabilità a lungo termine della misura. Il principio di funzionamento della corda vibrante è descritto al paragrafo precedente. Poiché grandi variazioni di temperatura sono frequenti durante la maturazione del calcestruzzo, è necessario misurare la temperatura insieme alle misure di deformazione. In questo modo è possibile in fase di interpretazione applicare una correzione termica e verificare la grandezza delle deformazioni causate dai delta di temperatura; nella bobina dell'estensimetro è presente quindi un termistore che permette la rilevazione della temperatura.

In alternativa alle barrette estensimetriche per calcestruzzo, si prevede l'utilizzo di quattro (4) coppie di barrette estensimetriche a corda vibrante da saldare alle armature, in intradosso ed estradosso, del rivestimento definitivo. Le caratteristiche degli estensimetri a corda vibrante a saldare sull'acciaio per cemento armato sono indicati in figura seguente.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00002B00 <span style="float: right;">Foglio 63 di 64</span>

- ✓ Tipo di trasduttore: corda vibrante
- ✓ Range di misura nominale: 3.000  $\mu\epsilon$
- ✓ Sensibilità: 1,0  $\mu\epsilon$
- ✓ Accuratezza: 0,1% F.S.
- ✓ Non linearità: migliore dello 0,5% F.S.
- ✓ Range di temperatura funzionamento:  
-30°C fino a +90°C
- ✓ Sensore di temperatura:  
integrato NTC 3K $\Omega$
- ✓ Resistenza della bobina: 162 +/-5 $\Omega$
- ✓ Frequenza tipica: 800 Hz
- ✓ Segnale di uscita: Hz
- ✓ Coefficiente di dilatazione termico:  
12,2 $\mu\epsilon$ /°C



**Figura 4. Caratteristiche tecniche e dettaglio delle barrette estensimetriche da acciaio per cemento armato**

Si rimanda al profilo geomeccanico per la frequenza di applicazione delle sezioni di monitoraggio, fermo restando che l'effettiva distribuzione delle stazioni potrà essere modulata in funzione del reale comportamento dell'ammasso.

### ***Frequenza di rilevamento***

Il numero minimo di rilevamenti per ogni barretta estensimetrica a corda vibrante 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;
- n. 1 lettura alla settimana con il fronte a distanza maggiore di 30 m fino al getto del rivestimento definitivo.

Le letture indicate sono successive alla lettura 0, da eseguirsi prima della maturazione dello calcestruzzo.

La frequenza delle letture successive sarà tarata in corso d'opera. Il sistema di elaborazione dati richiede il diagramma e il tabulato numerico dei carichi e delle tensioni in funzione del tempo e in funzione della distanza del fronte di scavo.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A3010XDCVROGN91A00002B00	Foglio 64 di 64

## 10 CONCLUSIONI

Nella prima parte della presente relazione sono stati forniti i chiarimenti atti a dimostrare la rispondenza del progetto alle finalità dell'intervento e le indicazioni circa l'applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità previste per il cunicolo di sfollamento della galleria di Valico, identificato con la WBS GN91A.

Nella seconda parte è stato descritto il programma di monitoraggio previsto per l'opera in esame. Tale programma, finalizzato alla valutazione delle caratteristiche dell'ammasso e del suo comportamento tenso-deformativo durante lo scavo, si articola in tre fasi, finalizzate al monitoraggio del fronte di scavo, dei priverstimenti 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.