

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



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

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

**GALLERIA NATURALE  
FINESTRA CRAVASCO**

**Relazione tecnica e linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo**

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

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

Progettazione :

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

n. Elab.:	File: IG5102ECVROGN14HX002A00
-----------	-------------------------------



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>IG5102ECVROGN14HX002A00</p>	<p>Foglio 3 di 94</p>

## INDICE

INDICE.....		3
1. INTRODUZIONE.....		7
2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI.....		8
3. MATERIALI IMPIEGATI.....		11
3.1 Gallerie naturali.....		11
4. INQUADRAMENTO DELL'OPERA.....		14
4.1 Inquadramento generale.....		14
4.2 Inquadramento geologico-geomorfologico .....		16
4.3 Unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde .....		18
4.3.1 Dolomie del Monte Gazzo.....		18
4.3.2 Gessi del Rio Riasso ("Gessi, anidriti e carniole" nella cartografia PE).....		19
4.3.3 Serie di Gallaneto-Lencisa.....		21
4.3.4 Meta-argilliti di Bessega ("Argilloscisti neri" nella cartografia PE).....		21
4.4 Unità tettonometamorfica Cravasco-Voltaggio .....		21
4.4.1 Scisti filladici del Monte Larvego ("Argilloscisti filladici" nella cartografia PE).....		22
4.4.2 Calcarei di Voltaggio .....		22
4.4.3 Metasedimenti silicei dell'Osteria dello zucchero.....		22
4.4.4 Metabasalti di Cravasco.....		23
4.4.5 Serpentiniti di Case Bardane ("Serpentiniti e serpentinoscisti e oficalci" nella cartografia PE) ....		23
4.5 Unità tettonometamorfica Figogna.....		24
4.5.1 Serpentiniti del Bric dei Corvi ("Serpentiniti, serpentinoscisti e oficalci" nella cartografia PE).....		24
4.5.2 Metabasalti del Monte Figogna ("Metabasalti" nella cartografia PE) .....		25
4.5.3 Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia.....		25
4.5.4 Metacalcarei di Erzelli .....		25
4.5.5 Metaoficalciti di Pietralavezzara.....		26
4.5.6 Argilloscisti di Costagiutta .....		26
4.5.7 Argilloscisti di Murta .....		26
4.6 Depositi pliocenico-quadernari.....		27
4.6.1 Coltri superficiali di versante .....		27
4.6.2 Accumuli di frana .....		28
4.6.3 Depositi alluvionali .....		28
4.7 Inquadramento Idrogeologico .....		28
4.8 Inquadramento Geotecnico .....		29
4.8.1 Caratterizzazione degli ammassi rocciosi.....		29

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5102ECVROGN14HX002A00	Foglio 4 di 94

5.	PREVISIONI SUL COMPORTAMENTO DEGLI AMMASSI ROCCIOSI E CRITERI DI CALCOLO .....	31
5.1	Calcolo e determinazione delle categorie di comportamento allo scavo .....	32
6.	LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO .....	34
6.1	Definizione delle caratteristiche geologiche-geomeccaniche dell'ammasso .....	36
6.2	Risposta deformativa del fronte e del cavo .....	38
6.3	Fasi esecutive e cadenze di avanzamento .....	39
6.4	Procedura di applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità .....	39
7.	DESCRIZIONE DELLE SEZIONI TIPO DI SCAVO E DELLE FASI COSTRUTTIVE	42
7.1	Sezioni tipo B0L .....	42
7.2	Sezioni tipo B0r .....	43
7.3	Sezioni tipo B0Vr .....	45
7.4	Sezione tipo B1 .....	47
7.5	Sezione tipo B2r .....	49
7.6	Sezione tipo B2/1 .....	52
7.7	Sezione tipo B4/1 .....	55
7.8	Sezione tipo C2 .....	58
7.9	Sezione tipo C4 e C4 con puntone .....	61
7.10	Sezione tipo B1 - allargata .....	64
8.	FINESTRA CRAVASCO .....	67
8.1	Analisi del Rischio .....	67
8.2	Analisi dei rischi lungo il tracciato della Finestra Cravasco .....	68
8.3	Soglie di attenzione e allarme .....	69
8.3.1	Sezione tipo B0r .....	70
8.3.2	Sezione tipo B0Vr .....	71
8.3.3	Sezione tipo B2r .....	72
8.3.4	Sezione tipo B0L .....	73
8.3.5	Sezione tipo B1 .....	74
8.3.6	Sezione tipo B2/1 .....	75
8.3.7	Sezione tipo B4/1 .....	76
8.3.8	Sezione tipo C2 .....	78
8.3.9	Sezione tipo C4 .....	80
8.3.10	Messa in opera del puntone in arco rovescio .....	81
8.3.11	Sezione tipo B1- allargata .....	82
8.4	Applicazione di una diversa sezione tipo .....	84
9.	TECNOLOGIE ALTERNATIVE E PRESCRIZIONI .....	85

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">IG5102ECVROGN14HX002A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 5 di 94</p>

9.1	Campo prova iniezioni al contorno.....	85
9.1.1	Controlli preliminari .....	87
9.1.2	Controlli durante il campo prova .....	88
9.1.3	Controlli finali .....	89
9.1.4	Esame del consolidamento.....	90
9.2	Tecnologie alternative di perforazione .....	90
9.3	Tecnologie alternative per l'armatura dello spritz-beton .....	90
9.4	Armatura del rivestimento definitivo.....	91
9.5	Distanze di getto dei rivestimenti definitivi .....	92
9.6	Caratteristiche minime di resistenza del calcestruzzo in relazione alle fasi operative.....	93
9.7	Tecniche di consolidamento dei fronti di scavo .....	94
9.8	Soglie d'attenzione e d'allarme .....	94
9.9	Criticità .....	94

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG5102ECVROGN14HX002A00

Foglio  
6 di 94

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00
	Foglio 7 di 94

## 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 nella galleria naturale di accesso alla galleria di linea denominata "Finestra Cravasco".

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

La relazione è articolata nei seguenti punti principali:

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5102ECVROGN14HX002A00	Foglio 8 di 94

## 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**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00
	Foglio 9 di 94

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.

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

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

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

Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche

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

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

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

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

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

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

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

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

**- D.P.R. 6 Giugno 2001, n°380**

Testo unico delle disposizioni legislative e regolamenti in materia edilizia

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5102ECVROGN14HX002A00	Foglio 10 di 94

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	
	IG5102ECVROGN14HX002A00	Foglio 11 di 94

### 3. MATERIALI IMPIEGATI

#### 3.1 Gallerie naturali

##### Consolidamenti e rivestimenti provvisori

Spritz beton fibrorinforzato	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistenza media su carote <math>h/\phi = 1</math> a 48 ore <math>\geq 13</math> MPa, a 28 gg <math>\geq 25/30^*</math> MPa</li> <li>- dosaggio per fibre in acciaio <math>\geq 30</math> kg/m<sup>3</sup></li> <li>* 30MPa per sezioni tipo C2 e C4</li> </ul>
Acciaio per centine, piastre e collegamenti:	S275
Acciaio per catene	S275
Acciaio per armatura e rete elettrosaldata:	B450 C
Acciaio bulloni ad ancoraggio continuo	B450 C
Drenaggi	Tubi microfessurati in PVC <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>\phi_{est} &gt; 60</math> mm, sp. 5 mm</li> <li>- Resistenza alla trazione 4.5 MPa, perforo 80 mm rivestiti con TNT</li> <li>- I primi 10m da boccaforo devono essere ciechi</li> </ul>
Impermeabilizzazione in PVC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- teli sp. 2+/-0.5 mm,</li> <li>- Resistenza a trazione <math>\geq 15</math> MPa</li> <li>- Allungamento a rottura <math>\geq 250\%</math></li> <li>- Resistenza alla lacerazione <math>\geq 100</math>N/mm</li> <li>- Resistenza alla giunzione <math>\geq 10.5</math> MPa</li> <li>- Stabilità al calore = 70°C</li> <li>- Flessibilità a freddo = -30°C</li> <li>- Resistenza alle soluzioni acide alcaline = +/-20% max allungamento</li> <li>- Comportamento al fuoco B2</li> <li>- Resistenza alla pressione dell'acqua a 1 MPa per 10 ore : impermeabile</li> </ul>

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 13 di 94</span>

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

### Rivestimenti definitivi

Acciaio per armatura:	B450 C
Calcestruzzo strutturale calotta e piedritti	C25/30, XC2, S4
Calcestruzzo strutturale arco rovescio	C25/30, XC2, S3
Magrone di pulizia di sottofondo	$R_m \geq 15 \text{ MPa}$ cemento 150kg/mc min

Per le sezioni non armate la classe di esposizione del calcestruzzo è X0. Nel caso di ambiente aggressivo si impiegherà calcestruzzo C30/37, XA1

### Valori di verifica

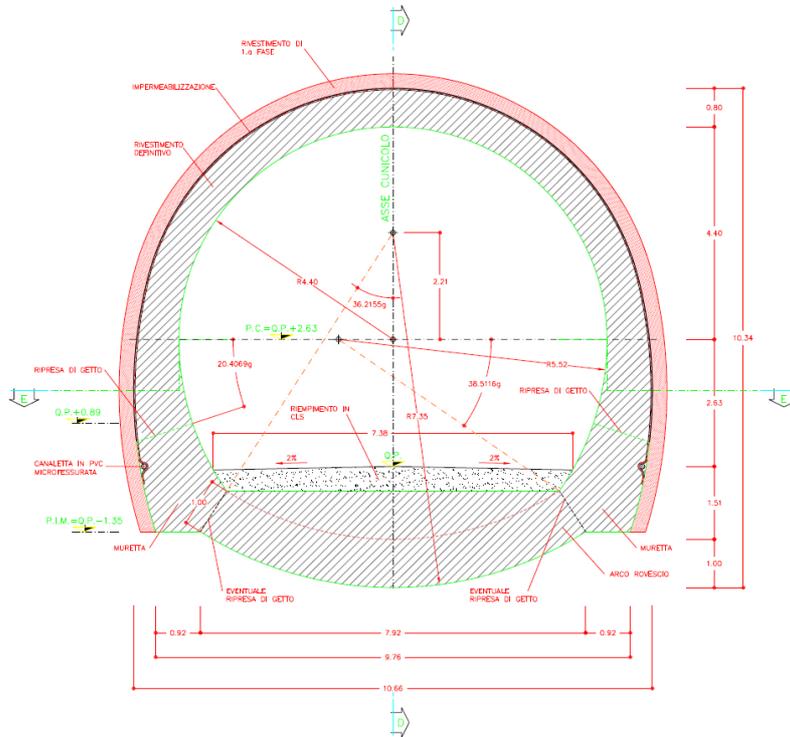
Le verifiche strutturali sono condotte mediante il metodo delle tensioni ammissibili; nel seguito si indicano i valori di resistenza di progetto per i vari materiali.

Acciaio S275	$\sigma_{amm} = 190 \text{ MPa}$
Acciaio tubi S355	$\sigma_{amm} = 240 \text{ MPa}$
Acciaio B450 C	$\sigma_{amm} = 160 \text{ MPa (*)}$
Calcestruzzo proiettato $f_{cm} \geq 25 \text{ Mpa}$	$\sigma_{amm} = 25/1.3 = 19.2 \text{ MPa(**)}$
Calcestruzzo proiettato $f_{cm} \geq 30 \text{ Mpa}$	$\sigma_{amm} = 30/1.3 = 23.1 \text{ MPa(**)}$
Calcestruzzo strutturale armato $R_{ck} 30 \text{ Mpa}$	$\sigma_{amm} = 9.75 \text{ Mpa}$ $\tau_{c0} = 0.60 \text{ Mpa}$ $\tau_{c1} = 1.80 \text{ Mpa}$
Calcestruzzo strutturale non armato $R_{ck} 30 \text{ Mpa}$	$\sigma_{amm} = 7.5 \text{ Mpa}$ $\tau_{c0} = 0.60 \text{ Mpa}$

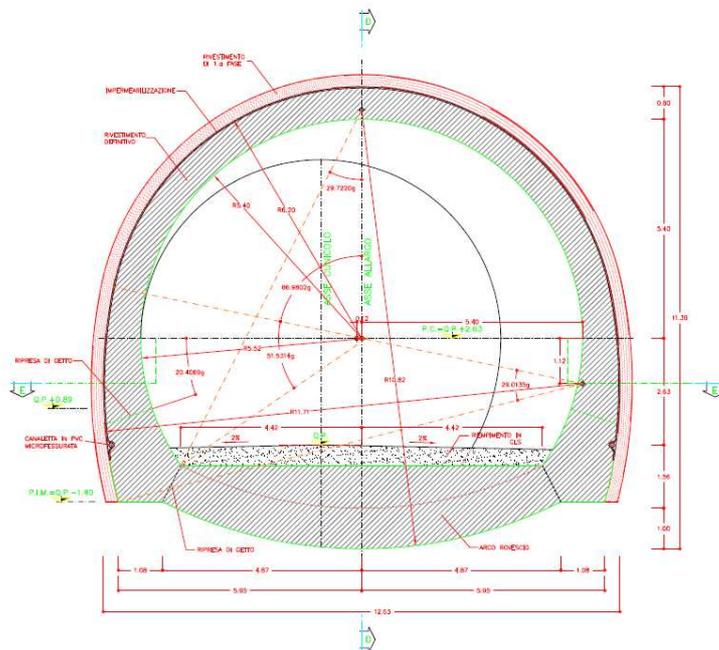
(\*) In condizioni sismiche o in condizioni di esercizio con verifica a fessurazione  $\sigma_{amm} = 255 \text{ Mpa}$

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





Sezione corrente



Sezione allargata

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5102ECVROGN14HX002A00	Foglio 16 di 94

## 4.2 Inquadramento geologico-geomorfologico

L'area di studio si colloca nella zona di giustapposizione tra i domini orogenici alpino e appenninico (Figura 1), nota in letteratura come "nodo collisionale ligure" (Laubscher et al., 1992); questo settore ad elevata complessità strutturale è stato recentemente oggetto di una dettagliata revisione cartografica con la realizzazione del nuovo foglio CARG n° 213-230 "Genova" in scala 1:50.000 (Capponi et al., 2009).

Nell'area del Foglio Genova è possibile distinguere, da ovest verso est, tre settori caratterizzati dall'associazione di unità di crosta oceanica e di mantello, unità di margine continentale e unità costituite da flysch (Figura 1):

1. le **unità tettonometamorfiche<sup>1</sup> Voltri e Palmaro-Caffarella** ("*Gruppo di Voltri*" *auct.*): sono costituite dalle associazioni pre-cenomaniane di ofioliti e metasedimenti carbonatici del dominio oceanico ligure-piemontese.

I litotipi dell'Unità Voltri hanno registrato un picco metamorfico eclogitico mentre la riequilibrio metamorfica delle rocce dell'Unità Palmaro-Caffarella è limitata alla facies scisti-blu (Federico et al. 2004). La distinzione sicura tra i litotipi delle due unità è in genere possibile solo a scala microscopica, in base ai caratteri mineralogico-petrografici.

2. la **Zona Sestri-Voltaggio** *auct.* (nel seguito ZSV): è costituita da tre unità tettonometamorfiche, di cui due ofiolitiche (Cravasco-Voltaggio e Figogna) e una di margine continentale (Gazzo-Isoverde).

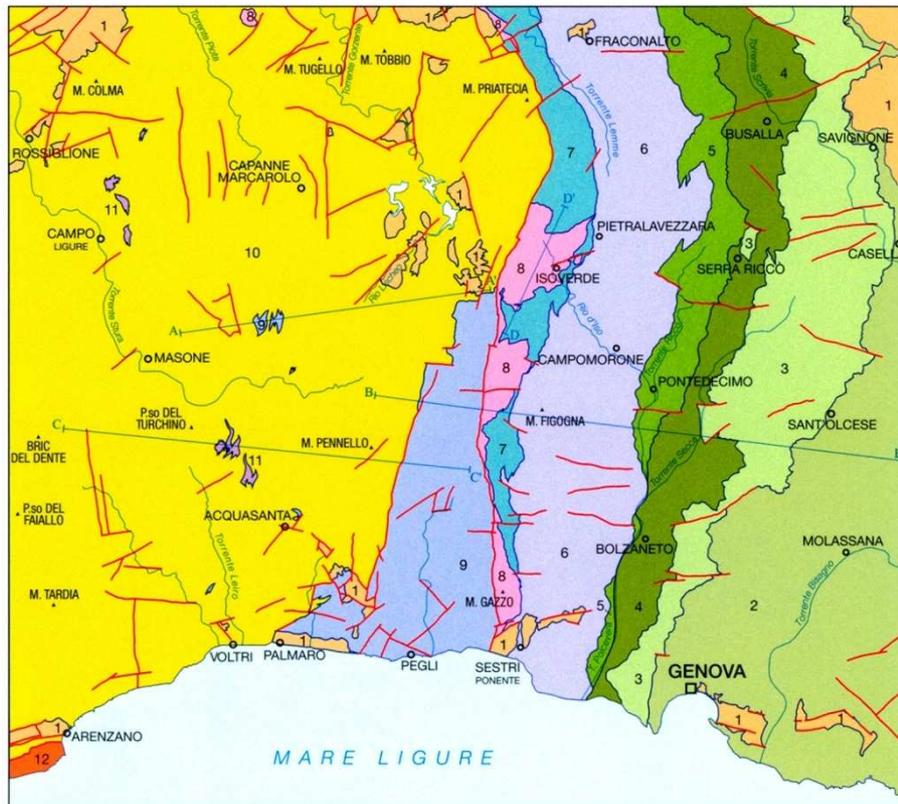
Il livello del metamorfismo è progressivamente decrescente passando dalle unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde (facies scisti blu) all'Unità Figogna (facies pumpellyite-actinolite).

3. Il **dominio dei Flysch Appenninici**: è rappresentato dalle quattro unità tettoniche Mignanego, Montanesi, Ronco e Antola, sovrapposte con vergenza europea.

Procedendo verso est, il grado metamorfico decresce da basso a bassissimo nelle prime tre unità fino ad arrivare a condizioni di diagenesi per l'Unità Antola.

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

## SCHEMA TETTONICO



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

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

La ZSV è in contatto a W con le unità tettonometamorfiche Voltri e Palmaro-Caffarella lungo una discontinuità regionale con direzione N-S, nota in bibliografia come *Linea Sestri-Voltaggio*; questo lineamento strutturale è classicamente ritenuto il limite fisico tra la catena alpina e quella appenninica, anche se le interpretazioni sulla sua natura sono spesso discordanti: faglia trasforme

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 18 di 94</span>

(Elter & Pertusati, 1973), sovrascorrimento (Cortesogno & Haccard, 1984) o faglia estensionale (Hoogerduijn Strating, 1994).

Questa zona di deformazione regionale è attualmente ritenuta un canale di concentrazione preferenziale della deformazione che, lungo di essa, si è ripetutamente scaricata, in momenti diversi della storia evolutiva della catena e in regimi tettonici corrispondenti a livelli strutturali differenti (Capponi et al. 2009).

Ad E, la Zona Sestri-Voltaggio è in contatto con le unità tettoniche di basso grado che compongono il dominio dei Flysch Appenninici.

Il tracciato della linea AC/AV Milano-Genova si sviluppa, in territorio ligure, a cavallo delle unità tettonometamorfiche Palmaro-Caffarella e Sestri-Voltaggio. A scala locale, il territorio in cui si collocano il sito di intervento e le zone limitrofe, è ubicato nell'areale di affioramento della (ZSV); verranno quindi di seguito brevemente descritti i litotipi delle tre unità tettonometamorfiche che la compongono e cioè Cravasco-Voltaggio, Figogna e Gazzo-Isoverde.

Le sigle e le età geologiche riportate a fianco dei nomi delle formazioni descritte fanno riferimento alla legenda CARG.

### 4.3 Unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde

L'Unità Gazzo-Isoverde è costituita da un nucleo di dolomie di età norica (Dolomie del M.Gazzo), equivalenti alla Dolomia Principale del sudalpino, con al tetto lembi preservati di unità bacinali a sedimentazione mista carbonatica/silicoclastica (Serie di Gallaneto-Lencisa e meta-argilliti di Bessega).

#### 4.3.1 Dolomie del Monte Gazzo

*MDG, Carnico sup.–Norico (dG nella cartografia di PE)*

Dolomie e calcari dolomitici, di colore da grigio chiaro a nerastro, ricristallizzati, spesso saccaroidi. Tessitura grossolanamente stratificata, con spessore degli strati variabile in media tra 0.5 e 2 m, ma con banchi potenti fino a 10 m ca., costituiti da strati decimetrici rinsaldati. Sono frequenti le intercalazioni di metapeliti e di calcari marnosi giallastri. La stratificazione non è sempre facilmente riconoscibile anche a causa della deformazione tettonica. Verso l'alto stratigrafico sono presenti filoni sedimentari e brecce intraformazionali ad intraclasti dolomitici scuri fino a nerastri. Raramente sono conservate strutture sedimentarie (tappeti algali, oospariti, intramicrospariti e fossili). La porzione superiore della serie è costituita da dolomicriti nerastre e facies di breccia.

I sistemi di fratture presenti sono sede di frequenti fenomeni carsici, associati a condotti di dimensioni metriche, impostati lungo le discontinuità e particolarmente sviluppati nel settore centro-meridionale dell'unità. Il sistema carsico della Dolomia del Gazzo costituiva un acquifero significativo, che presumibilmente è stato modificato dalla perforazione del tunnel ferroviario di Borzoli, diretto al porto di Voltri. Tuttavia sul versante della Val Chiaravagna vi sono sorgenti ancora attive. Sono inoltre presenti diverse cavità carsiche oggetto di esplorazione, segnalate nel database "Gestionale Speleologico Ligure" (<http://www.catastogrotte.net>).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 19 di 94</span>

#### 4.3.2 Gessi del Rio Riasso (“Gessi, anidriti e carniole” nella cartografia PE)

GSR, Norico (gc nella cartografia di PE)

Si tratta di gessi saccaroidi associati a calcari vacuolari, brecce dolomitiche e anidriti, osservabili solo in alcuni limitatissimi affioramenti lungo il Rio Riasso e tra Cravasco e Isoverde.

Le note illustrative del foglio Genova riportano non meglio precisate “fonti storiche” da cui risulta che i gessi siano stati oggetto di coltivazione in sottosuolo nell’area tra Cravasco e il Passo della Bocchetta; nella zona di Isoverde sono riportati problemi di instabilità, a causa sia di fenomeni di dissoluzione, sia del probabile collasso di gallerie realizzate all’epoca della coltivazione.

Da una ricerca più approfondita sono emerse ulteriori informazioni di interesse, di cui si darà una descrizione più precisa nel successivo par. 0.

Non sono noti in superficie affioramenti di anidriti, la cui presenza in profondità è però attestata da alcuni carotaggi profondi realizzati nell’area. È probabile che le anidriti esposte in superficie si siano idratate in gesso, mentre in profondità esse si siano mantenute inalterate.

L’associazione di questi litotipi suggerisce un ambiente costiero di transizione, con locali emersioni. La posizione stratigrafica di questa formazione è ambigua: per alcuni autori alla base della successione stratigrafica triassico-liassica, per altri al *top* delle dolomie e calcari dolomitici e al *bottom* dei Calcari di Gallaneto. Al *top* delle dolomie e dei calcari dolomitici sarebbe stato riconosciuto, nell’evoluzione del bacino deposizionale, un progressivo avvicinamento a condizioni evaporitiche. Le note illustrative del CARG propendono per questa seconda interpretazione.

##### Cenni sui fenomeni di instabilità legati alla presenza di gessi nell’area di Isoverde

L’area circostante l’abitato di Isoverde (Comune di Campomorone, GE) è stata interessata, in passato, da un’attività estrattiva relativamente diffusa in relazione alla presenza di lenti di gessi, riferibili alla formazione dei Gessi del Rio Riasso (cfr. § 4.3.2).

Le notizie bibliografiche più antiche risalgono alla prima metà dell’800 (Fusinieri, 1831; Barelli, 1835), da cui risulta che i gessi coltivati venivano già allora ampiamente impiegati nella produzione di calce; i gessi lavorati nelle fabbriche di Isoverde, di ottima qualità (almeno per l’epoca) provvedevano “... non solamente alla consumazione di Genova e suo circondario, ma ben anche ad altri paesi” (Barelli, 1835).

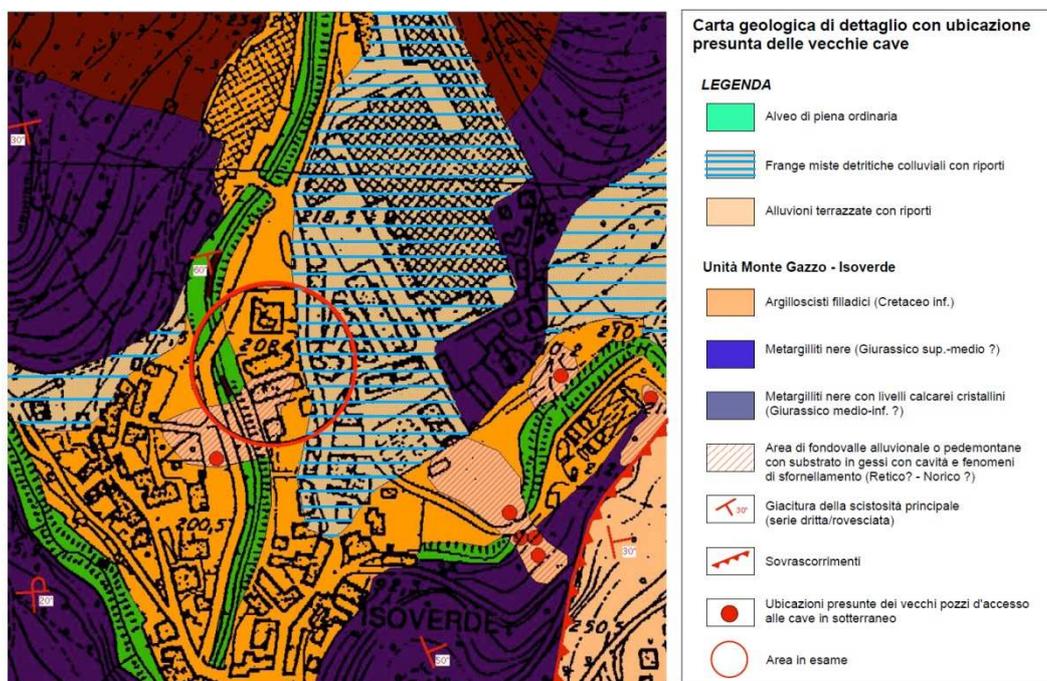
Di parte di queste coltivazioni, alcune delle quali anche effettuate in sotterraneo tramite la realizzazione di cunicoli di accesso, si è persa traccia nel tempo, cosicché lo sviluppo urbanistico del centro abitato ha portato a locali interferenze con le cavità sotterranee, il cui cedimento ha talora dato origine a fenomeni di dissesto a carico di edifici e infrastrutture (Vezzolla, 2006)

Secondo una relazione edita dalla società S.G.G. di Savona per la sistemazione del versante in prossimità della chiesa di Isoverde, in relazione alla presenza sprofondamenti superficiali legati al collasso di cavità nei gessi (Vezzolla, 2006), le coltivazioni a Isoverde avvenivano attraverso pozzi e gallerie suborizzontali, spinte fin sotto all’alveo del torrente e furono in gran parte abbandonate a causa di difficoltà nel contenimento delle piene, di fenomeni di dissoluzione di tipo carsico e

dell'eccessiva vicinanza ad alcune case già costruite. Le ricerche storiche condotte dall'autore citano tra l'altro un verbale di sopralluogo dell'aprile 1908 in cui "... si fa riferimento ad alcune cave nella zona dei Piani di Iso ove esistevano cinque aree estrattive"; e poco oltre: "... già nel 1873 il Prefetto di Genova emetteva ordinanze di sospensione di alcune attività per gli effetti destabilizzanti indotti alla superficie".

Sempre secondo Vezzolla (2006) "... le cave aperte in zona dovrebbero essere almeno sei, di cui cinque nell'area del cimitero-campo sportivo e la sesta corrispondente all'alveo del Torrente Verde". I vecchi pozzi ad oggi non risultano più localizzabili direttamente né ispezionabili.

Diversi fornelli verificatisi nel tempo a Isoverde sono stati colmati periodicamente con inerte; tali vuoti interesserebbero principalmente il settore a monte del cimitero, il piazzale a valle della chiesa, il campo sportivo e la zona d'imbocco della prima tombinatura del rio Rizzolo.



**Figura 2 – Localizzazione dei principali pozzi (punti rossi) di accesso alle coltivazioni sotterranee nell'area urbanizzata di Isoverde (da Briano et al., 2009?).**

Altri lavori di consolidamento, sempre a Isoverde, hanno riguardato il consolidamento del substrato di fondazione di alcuni edifici localizzati in Via Reborà, interessati da lesioni per progressiva accentuazione dei vuoti da dissoluzione nei gessi, legati principalmente a carsismo (Briano et al., 2011). Come riportato nel sito della società S.G.G. che è stata incaricata dell'intervento (<http://www.sggconsult.it>), "... il consolidamento è consistito nella creazione di un setto a bassa permeabilità in sponda sinistra del T. Verde, spinto fino alla profondità di circa 16 m al di sotto dell'alveo, e delle cavità individuate in fase d'indagine", nella realizzazione di alcuni setti secondari e nella ricostruzione del muro d'argine.

In una seconda fase sono state realizzate iniezioni di intasamento dei vuoti presenti intorno agli edifici e opere di impermeabilizzazione e risistemazione dell'alveo del torrente, finalizzate a

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 21 di 94</span>

“... ridurre gli afflussi nelle vecchie gallerie estrattive e, pertanto, a rallentare i processi di dissoluzione accelerata della formazione gessosa ...”.

#### 4.3.3 Serie di Gallaneto-Lencisa

Le Formazioni dei Calcari di Lencisa e dei Calcari di Gallaneto sono difficilmente distinguibili sul terreno, se non in base all'analisi del contenuto paleontologico. Affiorano sul fianco nord-orientale e sul fianco meridionale dell'unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde.

##### Calcari di Lencisa

*LEN, Sinemuriano-Pliensbachiano (eN nella cartografia di PE)*

Metacalcari grigi, grigio-neri e nocciola, con intercalazioni di livelli metapelitici, liste e noduli di selce. La stratificazione è solitamente riconoscibile, anche se appare trasposta, mentre a seconda dei litotipi considerati può essere presente anche un clivaggio più o meno evidente. Lo spessore degli strati varia da centimetrico a decimetrico.

##### Calcari di Gallaneto

*GLL, Norico-Hettangiano (cG nella cartografia di PE)*

Metacalcari grigi più o meno micacei, alternati a scisti pelitici e marnosi; verso l'alto stratigrafico si rinvengono calcari cristallini puri. La stratificazione è generalmente ben riconoscibile, mentre lo sviluppo del clivaggio è poco pervasivo. Lo spessore degli strati varia da decimetrico a metrico.

#### 4.3.4 Meta-argilliti di Bessega (“Argilloscisti neri” nella cartografia PE)

*MBG, Lias Sup.-Dogger (Mn nella cartografia di PE)*

Meta-argilliti scistose grigio-scure e nere, più o meno siltose, organizzate in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, con intercalazioni di calcari cristallini in strati da millimetrici a centimetrici. A tale unità sono state attribuite anche facies chiaramente scistose, a basso tenore in carbonati, organizzate in strati centimetrici talora filladici di colore bruno-grigiastro, che affiorano in modo discontinuo in sinistra idrografica della Val Bianchetta.

Le meta-argilliti di Bessega sono interpretate come depositi bacinali distali, disposti al tetto della successione Norica.

### 4.4 Unità tettonometamorfica Cravasco-Voltaggio

L'unità tettonometamorfica Cravasco-Voltaggio affiora con maggiore continuità a nord di Pietralavezzara, mentre verso sud essa si chiude lateralmente, restando compresa tra le unità tettonometamorfiche Figogna e Gazzo-Isoverde. Le linee strutturali che delimitano l'unità a tetto e a letto immergono verso ENE con una giacitura che delinea una struttura regionale “a fiore”, tipica di

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 22 di 94</span>

zone di taglio transpressive; in posizione intermedia tra le due unità si rileva un piano di possibile sovrascorrimento che porta a contatto gli scisti filladici di Larvego con le serpentiniti di Case Bardane.

#### 4.4.1 Scisti filladici del Monte Larvego (“Argiloscisti filladici” nella cartografia PE)

*LRV, Cretaceo inf. (f nella cartografia di PE)*

Scisti filladici grigio-verdastri, fittamente laminati, con scistosità a spaziatura da millimetrica a centimetrica e superfici untuose al tatto e di aspetto sericeo, che in alterazione prendono un colore nocciola. Locali livelli di metasiltiti e metaareniti bruno scuro di spessore centimetrico e lenti di silice microcristallina biancastra, di spessore centimetrico. La scistosità principale descrive localmente pieghe da aperte a serrate.

Le filladi sono caratterizzate da diverse generazioni di scistosità, con fasce tettonizzate piuttosto ampie; gli affioramenti, a causa dell’alterazione, risultano di estensione ridotta, mascherati da una coltre detritica di alterazione piuttosto continua.

#### 4.4.2 Calcari di Voltaggio

*VOL, Malm? – Cretaceo Inf.? (cV nella cartografia di PE)*

La formazione dei calcari di Voltaggio, nota anche con il termine di "calcaires pointillés" (Cortesogno & Haccard, 1979), affiora in forma di sottili scaglie essenzialmente a N di Cravasco; è costituita da calcari cristallini grigi, spesso a grana grossa, con livelli sottili ricchi in fillosilicati, che presentano almeno due scistosità sovrapposte (Marini, 1998). Generalmente questi litotipi presentano un’abbondante frazione quarzosa e micacea, indicante un’origine detritica.

Verso la parte basale della sequenza, al contatto con un orizzonte di diaspri, si possono incontrare alcuni metri di calcari cristallini bianchi, ricchi in quarzo microcristallino. Il limite stratigrafico inferiore è determinato dai diaspri o, in loro assenza, direttamente dall’unità basaltica di Cravasco; il limite stratigrafico superiore è rappresentato dal passaggio graduale agli scisti filladici.

L’ambiente di deposizione delle originarie sequenze calcareo-silicee e calcareo-marnose era presumibilmente di tipo pelagico. I calcari di Voltaggio presentano inoltre una spiccata analogia di facies con i calcari a Calpionella dell’Appennino settentrionale (Cortesogno & Haccard, 1984).

#### 4.4.3 Metasedimenti silicei dell’Osteria dello zucchero

*MHC, Malm? (d” nella cartografia di PE)*

Si tratta di scisti silicei fortemente ricristallizzati di colore generalmente rossiccio, con contenuto variabile di fillosilicati e carbonati, nonché di metasedimenti silicei ematitici più o meno pelitici (ftaniti) a colorazione rosso-bruna, talora con livelli verdastri o grigi. Sono localmente presenti relitti di radiolari non determinabili. Alla base sono caratterizzati da livelli verdi, spesso a componente detritica, passanti a più rare metaareniti ofiolitiche; seguono in successione livelli prevalentemente

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <table border="1" data-bbox="1364 235 1476 286"> <tr> <td>Foglio 23 di 94</td> </tr> </table>	Foglio 23 di 94
Foglio 23 di 94		

rossi o neri, raramente verdi. Sono caratterizzate da diverse superfici di foliazione e nei livelli metarenitici sono presenti degli anfiboli sodici. Gli spessori sono sempre ridotti e vanno da pochi metri e pochi centimetri, sia per una loro modesta potenza originaria, sia per fenomeni di elisione tettonica.

#### 4.4.4 Metabasalti di Cravasco

*CVS, Malm? (B" nella cartografia di PE)*

I metabasalti di Cravasco sono litotipi spesso foliati, con metamorfismo in facies scisti blu. Il protolite era rappresentato da basalti oceanici, anche a grana grossa, sia massicci che con tessitura a pillow, brecciate o a pillow-breccia. Affiorano essenzialmente in corrispondenza dell'area di Cravasco, nel settore di Fraconalto e in alcuni lembi più sottili sul versante W del M. Figogna.

#### 4.4.5 Serpentiniti di Case Bardane ("Serpentiniti e serpentinoscisti e oficalci" nella cartografia PE)

*SPV, Dogger – Malm (Se" nella cartografia di PE)*

Si tratta di serpentiniti a crisotilo e antigorite con frequenti relitti mineralogici e tessiturali di lherzolite.

Le serpentiniti, di colore da verdastro a grigio-verde chiaro, hanno tessitura da scistosa e intensamente laminata, con sviluppo di piani di clivaggio pervasivi, a spaziatura submillimetrica, con superficie liscia o untuosa al tatto; la tessitura può localmente divenire cataclastica, fino a ultracataclastica, in particolare in corrispondenza della zona di deformazione tettonica di Timone, un importante piano di taglio duttile-fragile che fa parte del più esteso sistema di deformazione della linea Sestri-Voltaggio.

All'interno delle serpentiniti si riconoscono pieghe disarmoniche a scala da centimetrica a plurimetrica, riferibili a pieghe di trascinamento di una foliazione preesistente, sviluppatasi nell'ambito di zone di taglio. Le facies deformate (brecce, cataclasiti, ultracataclasiti e gouge) possono avvolgere litoni di forma amigdalare, meno deformati ma comunque intensamente fratturati e brecciati, da centimetrici a metrici. Localmente si osservano fasce brecciate con litoni allungati metrici o plurimetrici, circondati da zone di taglio cataclastico da decimetriche a metriche, percentualmente subordinate, che definiscono un pattern anastomosato.

Sono spesso presenti minerali asbestiformi visibili ad occhio nudo, concentrati lungo piani di frattura o in vene estensionali.

Le serpentiniti affiorano in lembi isolati tra gli scisti di Larvego (§ 4.4.1) e le argilliti di Bessega (§ 4.3.4), a sud e a est di Isoverde e Paravanico e non interessano il sito di intervento.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5102ECVROGN14HX002A00	Foglio 24 di 94

## 4.5 Unità tettonometamorfica Figogna

Include le formazioni degli argilloscisti di Murta, degli argilloscisti di Costagiutta, dei metacalcari di Erzelli, dei metasedimenti silicei della Madonna della Guardia, dei metabasalti del M. Figogna e delle serpentiniti del Bric dei Corvi (zona di deformazione di Scarpino). Di queste, solo le prime due interessano direttamente il settore in cui si situa l'intervento in progetto.

I metabasalti, relativamente indisturbati da Borzoli al M. Figogna, sono interessati, nel settore occidentale, da numerose faglie transpressive dirette N-S e a vergenza W, che delincono dei *duplex* della sequenza serpentiniti-metabasalti.

Queste strutture sono associate a tessiture cataclastiche, soprattutto nelle serpentiniti, che nella sequenza serpentinite/basalto sembrano agire da orizzonte plastico, assorbendo la maggior parte della deformazione. A ridosso del limite occidentale dell'unità si osservano nuovamente scaglie dei termini bacinali sedimentari, pinzate tra le metabasiti e le unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo.

Nel Foglio Genova del progetto CARG l'unità Figogna è interpretata come una serie ofiolitifera rovescia (fianco rovescio di una piega plurichilometrica coricata), successivamente ripiegata a formare una struttura regionale sinforme; le fasi deformative più recenti riattiverebbero i contatti tra le singole formazioni, costituendo superfici di scollamento principali lungo cui si determina un *thrusting* vero e proprio interno all'unità.

Secondo un'ipotesi alternativa, più coerente con osservazioni inedite di terreno (dati non pubblicati), la parte occidentale dell'unità Figogna ricade all'interno di una potente fascia di deformazione tettonica, che arriva a comprendere le dolomie del Gazzo, ed è caratterizzata da due piani di deformazione cataclastica di estensione regionale, riferibili a un regime deformativo di tipo transpressivo (*zona di deformazione di Timone*, coincidente con le serpentiniti di Case Bardane e *zona di deformazione di Scarpino*, coincidente con le serpentiniti del Bric dei Corvi).

Sulla base della ricostruzione dell'andamento regionale di queste zone di taglio, appare verosimile che la presunta struttura a piega rovesciata sia in realtà una zona a scaglie dove la sequenza dei litotipi è ripetuta per sovrascorrimento in un contesto regionale transpressivo, come del resto già messo in evidenza dalle note illustrative del CARG.

### 4.5.1 Serpentiniti del Bric dei Corvi ("*Serpentiniti, serpentinoscisti e oficalci*" nella cartografia PE)

*SPF, Dogger-Malm (Se' nella cartografia di PE)*

Serpentiniti a crisotilo, antigorite e lizardite, a tessitura cataclastica con fenomeni di deformazione duttile legati a pieghe di trascinamento disarmoniche e a strutture di flusso cataclastico sviluppate attorno a litoni di relitti lherzolitici, serpentinitici o di oficalci. Sono localmente presenti filoni di metabasalti rodingitizzati.

Sono distribuite sul fianco occidentale del M. Figogna e allungate in direzione N-S a definire una fascia di taglio cataclastico di potenza pluriettometrica, immergente verso E con inclinazioni medie comprese tra 45° e 65°.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 25 di 94</span>

#### 4.5.2 Metabasalti del Monte Figogna ("Metabasalti" nella cartografia PE)

##### *MBF, Malm (B' nella cartografia di PE)*

Metabasalti massivi e a pillow, con orizzonti di brecce basaltiche a tessitura fluidale, più raramente in filoni massicci a tessitura doleritica. Localmente sono presenti metadioriti in filoni di spessore da decimetrico a metrico, a tessitura granulare, con fenomeni di autoclastesi ai bordi. I metabasalti si presentano poco deformati; un accenno di scistosità è più evidente dove si osserva lo stiramento dei pillow, che raramente è accentuato.

Nelle parti centrali della formazione si osservano brecce basaltiche non deformate, con matrice a tessitura fluidale evidenziata da tessiture vacuolari primarie preservate. Presso la cresta spartiacque del M. Figogna sono osservabili facies ialoclastitiche vere e proprie. Più a S, nella cava di Borzoli, ubicata nella parte bassa in asse alla struttura, sono presenti orizzonti di oficalci, interessati da campi di fratture tensionali suturate da calcite.

A N della dorsale del M. Figogna, i metabasalti affiorano in lembi allungati e discontinui, all'interno della formazione degli argilloscisti di Costagiutta (4.5.6), dove sono frequentemente associati a lembi di metasedimenti silicei (4.5.3), metacalcari (4.5.4) e metaoficalciti (4.5.5).

#### 4.5.3 Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia

##### *MHF, Malm? (dM nella cartografia di PE)*

Formano lembi sottilissimi e discontinui, sempre in associazione con i basalti nella caratteristica posizione stratigrafica che questi depositi conservano nelle successioni ofiolitifere. Possono essere rappresentati da scisti silicei, rossi o più raramente verdi e da ftaniti zonate con sporadici livelli radiolaritici, oppure da scisti quarzosi rosso-rosati, fittamente foliati e con giunti e vene. Il loro spessore medio non supera di solito i pochi metri (Marini, 1998). Localmente sono intercalati a peliti grigie e possono presentare livelli inquinati da prodotti vulcanoclastici (zona ad ovest del M. Figogna; Cortesogno & Haccard, 1984). Differiscono dai diaspri appartenenti alle serie Liguridi, in quanto queste ultime mostrano caratteri marcatamente propri di radiolariti e selci.

#### 4.5.4 Metacalcari di Erzelli

##### *ERZ, Malm? – Cretacico Inf.? (cE nella cartografia di PE)*

Calcari microcristallini finemente arenacei di spessore fino a pluridecimetrico, talora foliati, con giunti pelitici; in alcuni strati sono osservabili tracce di gradazione torbiditica (Marini, 1998). Questa formazione è stata definita anche come "calcareniti" (Cortesogno & Haccard, 1984), e "calcaires en bancs" (Haccard, 1976).

La formazione è costituita da una sequenza serrata di strati deformati di calcari grigi a patina d'alterazione bianco-cinerina; sono riferibili a calcari micritici, spesso impuri per una più o meno abbondante frazione terrigena silicoclastica (soprattutto argilla e quarzo detritico) e con giunti di emipelagiti argillose nere; nelle zone ove questi sono più importanti, gli strati calcarei si presentano

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 26 di 94</span>

spesso boudinati. Accentuati processi di ricristallizzazione sono evidenziati dalla presenza di strati foliati con livelli di fillosilicati concentrati nell'intervallo pelitico maggiormente marnoso.

Gli strati calcarei maggiormente arenacei conservano alla base evidenti laminazioni sedimentarie e mostrano le caratteristiche di originarie torbiditi; la non trascurabile componente terrigena torbiditica farebbe presumere ambienti di deposizione pericontinentali (Marini, 1998).

La potenza è stimata in poche decine di metri, non superando i 50-60 metri nelle zone di migliore affioramento (Est di Erselli; M. Figogna).

#### 4.5.5 *Metaoficalciti di Pietralavezzara*

*PLV, Dogger? – Malm? (of' nella cartografia di PE)*

Brecce tettoniche di fondo oceanico, talvolta rimaneggiate, a clasti prevalentemente serpentinitici e a cemento carbonatico, in corpi di dimensioni da decametriche a chilometriche affioranti principalmente tra Pietralavezzara e il Passo della Bocchetta.

#### 4.5.6 *Argiloscisti di Costagiutta*

*AGI, Cretacico inf. (AGI quando distinti nella cartografia di PE, aP quando indifferenziati)*

Alternanze di argiloscisti e di calcari cristallini, metapeliti scistose grigio-nerastre, più o meno siltose, metasiltiti e metaareniti in strati centimetrici, con intercalazioni di metacalcilutiti siltose più o meno marnose, di colore grigio o grigio-bruno in strati e banchi, più frequenti alla base della sequenza.

Lo spessore degli strati è generalmente centimetrico, ma nella parte alta della sequenza si osserva stratificazione più irregolare con stati decimetrici ed interstrati pelitici foliati. Sono frequenti noduli allungati e liste di quarzo microcristallino biancastro. Le giaciture individuate sono frequentemente la media di una stratificazione disturbata da serie di pieghe più o meno frammentate; la scistosità descrive pieghe ad "S" decimetriche e pieghe strizzate centimetriche. Nel settore verso la Val Polcevera, la formazione mantiene una vergenza analoga alle altre unità riconosciute nella valle. L'unità affiora diffusamente ad E della dorsale del M. Figogna e in misura minore sul suo lato occidentale, dove il limite tettonico inferiore è il contatto con le unità Gazzo e Cravasco-Voltaggio. Nel settore meridionale affiora soprattutto lungo il T. Chiaravagna ed è segnalata in scavi di fondazione e sondaggi. Nel settore settentrionale si estende diffusamente fin oltre il confine regionale, da Pietralavezzara fin oltre Fraconalto.

#### 4.5.7 *Argiloscisti di Murta*

*AGF, Cretacico inf. (AGF quando distinti nella cartografia di PE, aP quando indifferenziati)*

Alternanza di argiloscisti filladici grigio scuro e grigio argenteo, a patina sericitica, con intercalazioni di sottili straterelli calcarei di spessore centimetrico (1-2 cm), di metasiltiti e metaareniti fini di colore grigio chiaro, nocciola in alterazione, con laminazioni piano-parallele localmente convolute. Gli strati

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 27 di 94</span>

hanno generalmente spessore da centimetrico a decimetrico; sono presenti orizzonti con strati fino a 30 centimetri di argilliti e metasiltiti.

Il rapporto stratimetrico metaareniti/metapeliti è di 1:2. Le superfici di strato su roccia fresca sono normalmente lucide, con veli di sericite talcosa al tatto; presentano talvolta tracce di scivolamento ed aspetto vetrificato (fenomeni di dinamometamorfismo).

Possono essere presenti noduli allungati e liste di quarzo microcristallino biancastro. I limiti con le Unità sopra e sottostanti sono di tipo tettonico.

Al suo interno l'unità presenta giaciture vergenti ad E, presso il limite con il Flysch di Mignanego; spostandosi verso W le giaciture seguono l'andamento delle pieghe alla macroscale, ma sono raramente significative, poiché la stratificazione è disturbata da fitte sequenze di pieghe strizzate a piccolo raggio con assi orientati circa NNE-SSW.

L'unità mostra intensi fenomeni di alterazione, infatti l'orizzonte pedogenizzato può superare i 4 m di spessore, senza contare l'accumulo di detrito di versante. I processi pedogenetici conferiscono alle superfici sericitiche un tipico aspetto di color nocciola grigiastro chiaro.

L'unità affiora in una fascia allungata N-S, da Sampierdarena a Campomorone e oltre, in territorio piemontese, separando verso est gli argilloscisti di Costagiutta dall'unità flyschoidi di Mignanego (dominio dei Flysch Appenninici).

#### 4.6 Depositi pliocenico-quadernari

L'area di studio presenta caratteristiche differenti a seconda dei litotipi che costituiscono il substrato. Non essendo mai stata soggetta a glaciazioni, i meccanismi evolutivi predominanti sono guidati dalla pedogenesi, dalla gravità e dalle acque superficiali.

##### 4.6.1 Coltri superficiali di versante

Hanno caratteri differenti a seconda della litologia del substrato:

- in generale metabasalti, lherzoliti e serpentiniti sono caratterizzati da coltri di detrito di versante di spessore esiguo, a granulometria grossolana, con affioramenti frequenti e di buon rilievo morfologico;
- serpentiniti tettonizzate, calcescisti e metagabbri sono invece marcatamente soggetti ai fenomeni pedogenetici; spesso in affioramento si osserva l'orizzonte C del suolo - denudato dall'erosione - in cui si riconoscono ancora i principali caratteri tessiturali (foliazione, pieghe) e il litotipo originario si presenta argillificato. In queste condizioni sulle parti basse dei versanti si accumulano depositi medio-fini con spessori anche superiori ai 3-4 m.
- I litotipi argillitici e flyschoidi della Val Polcevera sono molto sensibili alla pedogenesi; e in tutta l'area l'orizzonte di decarbonatazione si spinge nel substrato fino a 3-4 m di profondità ad eccezione delle aree di cresta, maggiormente soggette all'erosione, dove è possibile individuare affioramenti più estesi; la parte bassa dei versanti presenta coperture di detrito di

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 28 di 94</span>

versante (tipicamente un diamicton a supporto di matrice limoso-sabbioso-argillosa) che superano generalmente i 3 m di spessore.

#### 4.6.2 Accumuli di frana

Nell'area di studio è presente un numero relativamente esiguo di depositi di frana. Sulle successioni flyschoidi della Val Polcevera i depositi di frana sono generalmente poco potenti, impostati nei depositi di versante a granulometria fine e costituiti da una frazione limoso-argillosa non trascurabile, quindi almeno parzialmente coesivi; si attivano per lo più come colate, ma perdono rapidamente evidenza morfologica a causa della densa vegetazione.

Modesti corpi franosi interessano i versanti impostati nelle metabasiti e metaultrabasiti, dove sono solitamente costituiti da accumuli caotici di ciottoli e blocchi in matrice ghiaioso-sabbiosa localmente scarsa o assente.

Locali depositi di frana di crollo sono presenti alla base delle pareti rocciose e sono costituiti da blocchi di pezzatura da decimetrica a plurimetrica in scarsa o assente matrice ghiaioso-sabbiosa, non coesiva.

#### 4.6.3 Depositi alluvionali

Sono costituiti principalmente da ghiaie medie e grossolane a matrice sabbiosa e da ghiaie e sabbie limose.

I torrenti minori dell'area, tributari del Polcevera (che è il principale corso d'acqua dell'area e quello in cui i depositi alluvionali sono più sviluppati), presentano sempre materassi alluvionali costituiti da ghiaie sabbiose di spessore per lo più inferiore a 1-2 m lungo i tratti d'asta montani, che aumenta rapidamente allo sbocco sulla stretta fascia costiera.

La Val Polcevera è occupata in buona parte da depositi alluvionali grossolani, con spessori che variano da pochi metri fino a decine di metri di profondità. Dati di sondaggi mettono in evidenza anche settori con matrice a forte componente limosa e subordinatamente argillosa. Verso lo sbocco a mare tali livelli raggiungono un notevole spessore (pluridecamentrico). Lo spessore dei depositi alluvionali (Pliocene inferiore) è per lo più irregolare poiché essi colmano una superficie erosionale che, verso il settore a mare, può raggiungere i - 30/- 35 m rispetto all'attuale livello marino.

### 4.7 Inquadramento Idrogeologico

Per quanto riguarda l'inquadramento idrogeologico si rimanda alla Relazione Idrogeologica relativa all'opera in oggetto (IG51-02-E-CV-CL-GN14-H0-001)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5102ECVROGN14HX002A00	Foglio 29 di 94

## 4.8 Inquadramento Geotecnico

I criteri di interpretazione delle indagini geotecniche, descritti nei successivi paragrafi, tengono conto del fatto che lungo il tracciato in esame sono stati rinvenuti fondamentalmente formazioni rocciose. Per la ricostruzione geologica/geotecnica sono stati effettuati:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati;
- prove di permeabilità Lefranc e Lugeon in foro;
- prove dilatometriche in foro con dilatometro da roccia;
- prove down hole
- prove di laboratorio su provini di roccia prelevati nei fori di sondaggio;
- stendimenti di sismica a rifrazione;
- rilievi in situ

Lungo il tracciato della galleria in esame sono state caratterizzate le seguenti formazioni principali:

- Dolomie del Monte Gazzo
- Calcari di Gallaneto
- Metargilliti Nere
- Fasce milionitiche e Argilloscisti Filladici

### 4.8.1 Caratterizzazione degli ammassi rocciosi

La caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi verrà effettuata facendo riferimento, oltre che alle prove in sito eseguite (prove dilatometriche e prove down-hole), alla classificazione dell'ammasso roccioso proposta da Bieniawski (1989), allo schema concettuale di mezzo continuo (omogeneo o stratificato) e ai criteri di rottura proposti e aggiornati da Hoek & Brown a partire dal 1980.

Nel seguito si riporta il range di valori relativi alle formazioni sopra citate. Si indicherà con MYL il complesso delle Fasce Milionitiche e degli Argilloscisti Filladici, mentre con dG le Dolomie del Monte Gazzo e con cG i calcari di Gallaneto. Si è inoltre inserita la caratterizzazione relativa ad una fascia disturbata in corrispondenza nei passaggi litologici.

Parametri di Hoek & Brown					
Litologia	$\sigma_c$ (MPa)	GSI (-)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$m_i$	E (MPa)
Dolomie del Monte Gazzo	40-65	35-55	27-28	9±3	700-11000
Calcari di Gallaneto	40-50	35-45	26-27	8±3	3000-10000
Argilloscisti neri (Mn)	35-45	30-40	26-27	10±3	1000-50000



Zona di contatto CG/dG e cG/Mn	15-25	25-35	26-28	20±2	250-700
MYL –GR1	30-40	45-55	27	15-20	3000-7800
MYL –GR2a	10-12	40-45	27	20-25	1500-2000
MYL –GR2b	10-12	35-40	27	15-20	1000-1500
MYL –GR3a	5-7	30-35	26	19	600-1200
MYL –GR3b	5-7	25-30	26	19	600-1200

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5102ECVROGN14HX002A00	Foglio 31 di 94

## 5. PREVISIONI SUL COMPORTAMENTO DEGLI AMMASSI ROCCIOSI E CRITERI DI CALCOLO

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

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

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

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

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

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

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

### Gallerie a fronte stabile (CASO A)

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 32 di 94</span>

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

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

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

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

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

## **5.1 Calcolo e determinazione delle categorie di comportamento allo scavo**

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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5102ECVROGN14HX002A00	Foglio 33 di 94

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 34 di 94</span>

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

Come ampiamente illustrato nei precedenti capitoli, il progetto delle gallerie naturali, è stato sviluppato attraverso:

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 35 di 94</span>

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 36 di 94</span>

E' 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, in quanto le scelte progettuali sono state fatte tenendo conto di un complesso di elementi più significativi del solo parametro deformativo ed illustrati nello sviluppo di tutto il progetto; essi servono soltanto a fornire indicazioni sul campo dei valori deformativi più probabili per le sezioni già indicate in progetto.

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

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

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

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

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

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

## 6.1 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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG5102ECVROGN14HX002A00</p> <p>Foglio 37 di 94</p>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 38 di 94</span>

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

## 6.2 Risposta deformativa del fronte e del cavo

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

- tipologia ed intensità degli interventi di 1<sup>a</sup> fase
- fasi esecutive e cadenze di avanzamento

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

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

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

dove:

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

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 39 di 94</span>

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

### 6.3 Fasi esecutive e cadenze di avanzamento

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

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

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

### 6.4 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00
	Foglio 40 di 94

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

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

1. Se le condizioni geologiche e geomeccaniche rilevabili al fronte e la risposta deformativa si mantengono all'interno dei valori previsti, si prosegue con l'applicazione della sezione in corso di esecuzione.
2. Se la risposta deformativa manifesta la tendenza a miglioramento o, viceversa al raggiungimento della soglia di attenzione del campo ipotizzato, tendenza confermata dall'evidenza dei precedenti rilievi geologici/geotecnici/geomeccanici, il progettista definirà se procedere alla modifica della distanza dal fronte entro cui eseguire il getto dell'arco rovescio, delle murette, del rivestimento definitivo e/o alla modifica dell'intensità degli interventi, nell'ambito dei range di variabilità previsti per la sezione adottata.
3. Se le condizioni geologiche e geomeccaniche rilevate al fronte di avanzamento manifestano un miglioramento ovvero un peggioramento rispetto al rilievo precedente (pur rimanendo nell'ambito dei parametri caratterizzanti la tratta) il progettista, valuta la possibilità di procedere alla modifica dell'intensità degli interventi nell'ambito dei ranges di variabilità previsti per quella sezione e di seguito descritti, anche con modeste variazioni dei parametri deformativi (ad esempio in categoria di comportamento B0 la struttura dell'ammasso gioca un ruolo determinante ai fini della definizione dell'intensità degli interventi di 1a fase, anche a fronte di deformazioni trascurabili).

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

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG5102ECVROGN14HX002A00</p> <p>Foglio 41 di 94</p>

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 42 di 94</span>

## 7. DESCRIZIONE DELLE SEZIONI TIPO DI SCAVO E DELLE FASI COSTRUTTIVE

Vengono di seguito descritte le sezioni tipo previste per l'avanzamento degli scavi nella galleria naturale della Finestra Cravasco, con riferimento alla variabilità media. Per quanto concerne la variabilità di ciascuna sezione tipo, nonché il relativo campo di applicazione, si rimanda ai paragrafi successivi.

### 7.1 Sezioni tipo B0L

La sezione tipo B0L, in fase costruttiva è costituita da:

- 3+3 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati per 20 m da fondo foro e ciechi per 10 m verso boccaforo  $\varnothing$  60 mm e sp. 5 mm ( eventuali);
- Prerivestimento composto da uno spessore di 20 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine costituite da due profilati accoppiati di tipo IPN 160 passo  $p = 1.4$  m;
- impermeabilizzazione tipo "0" costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc (impermeabilizzazione "full round" in presenza di acque aggressive sui rivestimenti);
- rivestimento definitivo in cls semplice avente spessore minimo di 80 cm in arco rovescio e 60 cm in calotta.

#### Campo di applicazione

Per quanto concerne il campo di applicazione si veda la tabella riepilogativa riportata alla fine del paragrafo.

#### Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

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

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

#### FASE 2: scavo

Esecuzione scavo di avanzamento con sfondi di lunghezza massima pari a 4.20 m compreso il disaggio, eseguendo lo scavo a piena sezione e sagomando il fronte a forma concava ad ogni

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5102ECVROGN14HX002A00	Foglio 43 di 94

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 IPN160 passo 1.40m e da uno strato di spritz-beton di spessore 20 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: 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 5: impermeabilizzazione

La posa in opera dell'impermeabilizzazione sarà eseguita prima del getto del rivestimento definitivo.

FASE 6: getto del rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo sarà eseguito ad una distanza dal fronte che dipenderà dal comportamento deformativo del cavo, tale distanza sarà comunque inferiore ai  $15\varnothing$ .

Qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un tempo di circa 24 ore, è necessario porre in opera uno strato di spritz-beton di 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 la sagomatura del fronte a forma concava e la posa in opera delle centine e dello spritz-beton a ridosso del fronte stesso.

## 7.2 Sezioni tipo B0r

La sezione tipo B0r, in fase costruttiva è costituita da:

- 3+3 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati per 20 m da fondo foro e ciechi per 10 m verso boccaforo  $\varnothing 60$  mm e sp. 5 mm (eventuali);
- Prerivestimento composto da uno spessore di 20 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine costituite da due profilati accoppiati di tipo IPN 160 passo  $p = 1.2$  m;
- impermeabilizzazione tipo "0" costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc (impermeabilizzazione "full round" in presenza di acque aggressive sui rivestimenti);

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <table border="1" data-bbox="1364 235 1476 286"> <tr> <td>Foglio 44 di 94</td> </tr> </table>	Foglio 44 di 94
Foglio 44 di 94		

- rivestimento definitivo in cls semplice avente spessore minimo di 100 cm in arco rovescio e 60 cm in calotta.

### Campo di applicazione

Per quanto concerne il campo di applicazione si veda la tabella riepilogativa riportata alla fine del paragrafo.

### Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

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

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

#### FASE 2: scavo

Esecuzione scavo di 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 IPN160 passo 1.20m e da uno strato di spritz-beton di spessore 20 cm, armato con rete elettrosaldada ( $\phi 6$  15x15) o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

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

Il getto delle murette dovrà essere effettuato entro una distanza di  $9\phi$  dal fronte di scavo. Il getto dell'arco rovescio dovrà avvenire entro  $12\phi$  dal fronte di scavo o entro  $9\phi$  nel caso di getto contemporaneo alle murette;

#### FASE 5: impermeabilizzazione

La posa in opera dell'impermeabilizzazione sarà eseguita prima del getto del rivestimento definitivo.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 45 di 94</span>

## FASE 6: getto del rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo sarà eseguito ad una distanza dal fronte che dipenderà dal comportamento deformativo del cavo, tale distanza sarà comunque inferiore ai 15 $\phi$ .

Qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un tempo di circa 24 ore, è necessario porre in opera uno strato di spritz-beton di 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 la sagomatura del fronte a forma concava e la posa in opera delle centine e dello spritz-beton a ridosso del fronte stesso.

### 7.3 Sezioni tipo B0Vr

La sezione tipo B0Vr, in fase costruttiva è costituita da:

- 3+3 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati per 20 m da fondo foro e ciechi per 10 m verso boccaforo  $\phi$  60 mm e sp. 5 mm (eventuali);
- Prerivestimento composto da uno spessore di 20 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine costituite da due profilati accoppiati di tipo IPN 160 passo  $p = 1.2$  m;
- Presostegno in calotta realizzato mediante n° 27 infilaggi metallici  $\phi 88.9$  sp.10mm cementati.
- impermeabilizzazione tipo "0" costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc (impermeabilizzazione "full round" in presenza di acque aggressive sui rivestimenti);
- rivestimento definitivo in cls semplice avente spessore minimo di 100 cm in arco rovescio e variabile tra 50 e 120 cm in calotta.

#### Campo di applicazione

Per quanto concerne il campo di applicazione si veda la tabella riepilogativa riportata alla fine del paragrafo.

#### Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 46 di 94</span>

#### FASE 2: Esecuzione presostegno in calotta

Il presostegno in calotta verrà eseguito secondo le geometrie di progetto impiegando n°27 tubi metallici  $\Phi 88.9$  sp.10mm, rispettando le seguenti fasi operative

- a) Perforazione eseguita a secco  $\Phi \geq 130$ mm
- b) Inserimento del tubo in acciaio
- c) Cementazione del tubo in acciaio

#### FASE 3: scavo

Esecuzione scavo di avanzamento con sfondi di lunghezza massima pari a 2.40 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 4: 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 IPN160 passo 1.20m e da uno strato di spritz-beton di spessore 20 cm, armato con rete elettrosaldata ( $\Phi 6$  15x15) o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

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

Il getto delle murette dovrà essere effettuato entro una distanza di  $9\emptyset$  dal fronte di scavo. Il getto dell'arco rovescio dovrà avvenire entro  $12\emptyset$  dal fronte di scavo o entro  $9\emptyset$  nel caso di getto contemporaneo alle murette;

#### FASE 6: impermeabilizzazione

La posa in opera dell'impermeabilizzazione sarà eseguita prima del getto del rivestimento definitivo.

#### FASE 7: getto del rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo sarà eseguito ad una distanza dal fronte che dipenderà dal comportamento deformativo del cavo, tale distanza sarà comunque inferiore ai  $15\emptyset$ .

Qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un tempo di circa 24 ore, è necessario porre in opera uno strato di spritz-beton di 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 la sagomatura del fronte a forma concava e la posa in opera delle centine e dello spritz-beton a ridosso del fronte stesso. In relazione al comportamento deformativo del fronte e del cavo l'arco

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG5102ECVROGN14HX002A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 47 di 94</p>

rovescio e le murette (eventualmente la calotta) dovranno essere opportunamente avvicinate al fronte.

In corso d'opera si potrà comunque valutare la possibilità di variare la metodologia di perforazione indicata (a secco) utilizzando un opportuno fluido di perforazione (miscele cementizie, acqua additivata con agenti schiumogeni, etc) in funzione delle caratteristiche dell'ammasso e previa esecuzione di adeguate prove in sito, atte a garantire:

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

#### 7.4 Sezione tipo B1

La sezione tipo B1, in fase costruttiva è costituita da:

- 3+3 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati per 20 m da fondo foro e ciechi per 10 m verso boccaforo Ø 60 mm e sp. 5 mm (eventuali) ;
- prerivestimento composto da centine 2IPN220 con passo  $p = 1.20$  m e da uno strato di 30 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato;
- n° 10-11 bulloni radiali ad ancoraggio continuo,  $L = 6.00$  m, passo longitudinale 1.20 m, passo trasversale 2.00 m. Tali bulloni, dotati di testa ad espansione meccanica, saranno in acciaio Ø 24 mm in acciaio B450C ad ancoraggio continuo cementati mediante iniezioni cementizie o resina epossidica;
- impermeabilizzazione tipo "0" costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc (impermeabilizzazione "full round" in presenza di acque aggressive sui rivestimenti);
- rivestimento definitivo in cls semplice avente spessore minimo di 100 cm in arco rovescio e 80 cm in calotta.

#### Campo di applicazione

Per quanto concerne il campo di applicazione si veda la tabella riepilogativa riportata alla fine del paragrafo.

#### Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: esecuzione eventuali drenaggi in avanzamento

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 48 di 94</span>

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

#### FASE 2: scavo

Esecuzione scavo di avanzamento con sfondi di lunghezza massima pari a 1.20 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 (prima fase)

Appena posate le centine metalliche, esse devono essere collegate alle altre attraverso le apposite catene. Lo spritz beton di prima posa deve essere armato con rete elettrosaldata ( $\phi 6 \ 15 \times 15$ ) o fibrorinforzato.

#### FASE 4: Posa in opera dei bulloni e completamento spritz-beton

Esecuzione dei bulloni radiali ad ancoraggio continuo ad una distanza massima pari a  $\Phi/2$  tra il fronte di scavo e l'ultima raggiera eseguita; i bulloni dovranno essere dotati di testa ad espansione meccanica al fine di permettere la messa in opera durante la fase di cementazione; completamento dello spritz beton sino a raggiungere lo spessore di 30 cm; i bulloni saranno installati con passo trasversale pari a 2.00m e passo longitudinale pari ad 1.20m

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

Il getto delle murette dovrà essere effettuato entro una distanza di  $9\phi$  dal fronte di scavo. Il getto dell'arco rovescio dovrà avvenire entro  $12\phi$  dal fronte di scavo o entro  $9\phi$  nel caso di getto contemporaneo alle murette;

#### FASE 6: impermeabilizzazione

La posa in opera dell'impermeabilizzazione sarà eseguita prima del getto del rivestimento definitivo.

#### FASE 7: getto del rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo sarà eseguito ad una distanza dal fronte che dipenderà dal comportamento deformativo del cavo, tale distanza sarà comunque inferiore ai  $15\phi$ .

Qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un tempo di circa 24 ore, è necessario porre in opera uno strato di spritz-beton di 10 cm al fronte, opportunamente sagomato a forma concava. Se il fermo delle lavorazioni risulta superiore a 48 h (festività o altro) il ciclo delle lavorazioni dovrà

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5102ECVROGN14HX002A00	Foglio 49 di 94

necessariamente terminare con la posa delle centine e dello spritz-beton a ridosso del fronte stesso, la sagomatura a forma concava del fronte e la realizzazione di uno strato spritz-beton armato sp. 10 cm. In relazione al comportamento deformativo del fronte e del cavo l'arco rovescio e le murette (eventualmente la calotta) dovranno essere opportunamente avvicinate al fronte.

In corso d'opera si potrà comunque valutare la possibilità di variare la metodologia di perforazione indicata (a secco) utilizzando un opportuno fluido di perforazione (miscele cementizie, acqua additivata con agenti schiumogeni, etc) in funzione delle caratteristiche dell'ammasso e previa esecuzione di adeguate prove in sito, atte a garantire:

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

## 7.5 Sezione tipo B2r

La sezione tipo B2r, in fase costruttiva è costituita da:

- 3+3 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati per 20 m da fondo foro e ciechi per 10 m verso boccaforo Ø 60 mm e sp. 5 mm (eventuali) ;
- preconsolidamento del fronte realizzato mediante la posa in opera di n° 60 tubi in VTR, L ≥ 24 m, sovrapp. ≥ 9 m;
- prerivestimento composto da uno spessore di 25 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e due centine di tipo IPN180 accoppiate con passo p = 1.0m;
- impermeabilizzazione tipo "0" costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc (impermeabilizzazione "full round" in presenza di acque aggressive sui rivestimenti);
- rivestimento definitivo in cls semplice avente spessore minimo di 100 cm in arco rovescio e 80 cm in calotta.

### Campo di applicazione

Per quanto concerne il campo di applicazione si veda la tabella riepilogativa riportata alla fine del paragrafo.

### Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: esecuzione eventuali drenaggi in avanzamento

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 50 di 94</span>

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

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

FASE 2: esecuzione del preconsolidamento del fronte.

Dal fronte di scavo, sagomato a forma concava con freccia di circa 1.5 m, si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa di n° 60 tubi in VTR cementati, aventi lunghezza minima di 24.00 m e sovrapposizione  $\geq 9$  m. Le fasi costruttive sono le seguenti:

- esecuzione sul fronte dello strato di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldato, avente spessore di 10 cm;
- perforazione eseguita a secco  $\phi \geq 100$  mm;
- posa dell'elemento strutturale in VTR, munito dell'opportuna attrezzatura per la cementazione ed esecuzione di cianfrinatura a boccaforo;
- esecuzione della cementazione mediante malte a ritiro controllato ogni 4÷5 fori.

Le sequenze operative andranno adattate alle caratteristiche dell'ammasso ma dovranno comunque essere tali da garantire l'inghisaggio dell'elemento strutturale al terreno mediante il completo riempimento dell'intercapedine tra elemento e pareti del foro.

La fase di cementazione potrà avvenire di massima ogni 4-5 elementi già posati 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.

FASE 3: esecuzione scavo

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per campi pari a 15 m (preconsolidamento del nucleo L  $\geq 24\text{m}$  sovrapposizione s  $\geq 9\text{m}$ ), per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1.00m, sagomando il fronte a forma concava ad ogni sfondo parziale ed eseguendo uno strato di spritz-beton armato di 5cm su ognuno di tali fronti.

FASE 4: posa in opera del rivestimento di prima fase

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1a fase costituito da centine metalliche di tipo IPN180 accoppiate a passo 1.00m e da uno strato di spritz-beton di spessore 25

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00
	Foglio 51 di 94

cm, armato con rete elettrosaldada ( $\emptyset$  15x15) o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

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

Il getto dell'arco rovescio e delle murette dovrà avvenire entro  $3\emptyset$  dal fronte nel caso di un loro getto contemporaneo, o rispettivamente entro  $5\emptyset$  e  $3\emptyset$  nel caso di getto differito. Le misure di estrusione del fronte e di convergenza del cavo potranno indicare:

- la necessità di effettuare tale getto entro distanze più restrittive (al limite realizzando il campo di avanzamento in due fasi distinte, alternandole al getto dell'arco rovescio);
- la lunghezza dei campioni di arco rovescio da realizzare;
- la necessità di realizzare il consolidamento del fronte del successivo campo di avanzamento prima del getto di arco rovescio e murette.

#### FASE 6: impermeabilizzazione

Posa in opera dell'impermeabilizzazione, eseguita prima del getto del rivestimento definitivo di calotta.

#### FASE 7: getto rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo di calotta seguirà il fronte ad una distanza non superiore a  $9\emptyset$ . Anche in questo caso in funzione dell'andamento delle misure di convergenza si potranno eventualmente stabilire distanze ancora più restrittive (cioè inferiori) entro cui eseguire il getto del rivestimento definitivo.

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 52 di 94</span>

con agenti schiumogeni, etc) in funzione delle caratteristiche dell'ammasso e previa esecuzione di adeguate prove in sito, atte a garantire:

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

## 7.6 Sezione tipo B2/1

La sezione tipo B2/1, in fase costruttiva è costituita da:

- 3+3 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati per 20 m da fondo foro e ciechi per 10 m verso boccaforo  $\varnothing$  60 mm e sp. 5 mm ( eventuali ) ;
- preconsolidamento del fronte realizzato mediante la posa in opera di n° 60 tubi in VTR, L  $\geq$  24 m, sovrapp.  $\geq$  9 m;
- prerivestimento composto da uno spessore di 30 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine di tipo HEB200 con passo p = 1.00 m;
- impermeabilizzazione tipo "0" costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc (impermeabilizzazione "full round" in presenza di acque aggressive sui rivestimenti);
- rivestimento definitivo in cls semplice avente spessore minimo di 100 cm in arco rovescio e 80 cm in calotta.

### Campo di applicazione

Per quanto concerne il campo di applicazione si veda la tabella riepilogativa riportata alla fine del paragrafo.

### Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 53 di 94</span>

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

FASE 2: esecuzione del preconsolidamento del fronte.

Dal fronte di scavo, sagomato a forma concava con freccia di circa 1.5 m, si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa di n° 60 tubi in VTR cementati, aventi lunghezza minima di 24.00 m e sovrapposizione  $\geq 9$  m. Le fasi costruttive sono le seguenti:

- esecuzione sul fronte dello strato di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, avente spessore di 10 cm;
- perforazione eseguita a secco  $\varnothing \geq 100$  mm;
- posa dell'elemento strutturale in VTR, munito dell'opportuna attrezzatura per la cementazione ed esecuzione di cianfrinatura a boccaforo;
- esecuzione della cementazione mediante malte a ritiro controllato ogni 4÷5 fori.

Le sequenze operative andranno adattate alle caratteristiche dell'ammasso ma dovranno comunque essere tali da garantire l'inghisaggio dell'elemento strutturale al terreno mediante il completo riempimento dell'intercapedine tra elemento e pareti del foro.

La fase di cementazione potrà avvenire di massima ogni 4-5 elementi già posati 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.

FASE 3: esecuzione scavo

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per campi pari a 15 m (preconsolidamento del nucleo  $L \geq 24$ m sovrapposizione  $s \geq 9$ m), per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1.00m, sagomando il fronte a forma concava ad ogni sfondo parziale ed eseguendo uno strato di spritz-beton armato di 5cm su ognuno di tali fronti.

FASE 4: posa in opera del rivestimento di prima fase

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1a fase costituito da centine metalliche di tipo HEB 200 passo 1.00m 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 5: getto arco rovescio e murette

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 54 di 94</span>

Il getto dell'arco rovescio e delle murette dovrà avvenire entro  $3\emptyset$  dal fronte nel caso di un loro getto contemporaneo, o rispettivamente entro  $5\emptyset$  e  $3\emptyset$  nel caso di getto differito. Le misure di estrusione del fronte e di convergenza del cavo potranno indicare:

- la necessità di effettuare tale getto entro distanze più restrittive (al limite realizzando il campo di avanzamento in due fasi distinte, alternandole al getto dell'arco rovescio);
- la lunghezza dei campioni di arco rovescio da realizzare;
- la necessità di realizzare il consolidamento del fronte del successivo campo di avanzamento prima del getto di arco rovescio e murette.

#### FASE 6: impermeabilizzazione

Posa in opera dell'impermeabilizzazione, eseguita prima del getto del rivestimento definitivo di calotta.

#### FASE 7: getto rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo di calotta seguirà il fronte ad una distanza non superiore a  $9\emptyset$ . Anche in questo caso in funzione dell'andamento delle misure di convergenza si potranno eventualmente stabilire distanze ancora più restrittive (cioè inferiori) entro cui eseguire il getto del rivestimento definitivo.

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

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

- caratteristiche di resistenza e funzionali ai fini del consolidamento del terreno non inferiori a quanto fornito seguendo le attuali prescrizioni;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 55 di 94</span>

- l'assenza di problemi connessi alla "sensibilità" dei terreni interessati dalle perforazioni (minerali rigonfianti, frazioni argillose attive, etc)
- condizioni di inghisaggio analoghe a quelle ottenute con la perforazione a secco.

## 7.7 Sezione tipo B4/1

La sezione tipo B4/1 è costituita da:

- 3+3 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati per 20 m da fondo foro e ciechi per 10 m verso boccaforo Ø 60 mm e sp. 5 mm (eventuali) ;
- preconsolidamento del fronte realizzato mediante la posa in opera di n° 60 tubi in VTR, lunghezza ≥ 24 m, sovrapp. ≥ 9 m, cementati;
- n°10-11 bulloni radiali ad ancoraggio continuo, L = 6.0 m, passo longitudinale 1.00 m, passo trasversale 2.00 m. Tali bulloni , dotati di testa ad espansione meccanica, saranno in acciaio Ø 28 mm in acciaio B450C ad ancoraggio continuo cementati mediante iniezioni cementizie o resina epossidica;
- prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine 2IPN240 con passo p = 1.00;
- impermeabilizzazione tipo "0" costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc (impermeabilizzazione "full round" in presenza di acque aggressive sui rivestimenti);
- rivestimento definitivo in cls semplice avente spessore minimo di 100 cm in arco rovescio e 80 cm in calotta.

### Campo di applicazione

Per quanto concerne il campo di applicazione si veda la tabella riepilogativa riportata alla fine del paragrafo.

### Interventi previsti

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: esecuzione eventuali drenaggi in avanzamento

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

FASE 2: esecuzione del preconsolidamento del fronte.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5102ECVROGN14HX002A00	Foglio 56 di 94

Dal fronte di scavo, sagomato a forma concava, si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa di 60 tubi in VTR cementati, aventi sovrapposizione  $\geq 9$  m. Le fasi costruttive sono le seguenti:

- esecuzione sul fronte dello strato di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, avente spessore di 10 cm;
- perforazione eseguita a secco  $\varnothing \geq 100$  mm;
- posa del tubo in VTR ad aderenza migliorata, munito dell'opportuna attrezzatura per la cementazione ed esecuzione di cianfrinatura a boccaforo;
- esecuzione della cementazione mediante miscele cementizie a ritiro controllato ogni 4-5 fori;

Le sequenze operative andranno adattate alle caratteristiche dell'ammasso ma dovranno comunque essere tali da garantire l'inghisaggio dell'elemento strutturale mediante il completo riempimento dell'intercapedine tra elemento e pareti del foro, nonché delle parti costituenti l'elemento strutturale.

La fase di cementazione potrà avvenire di massima ogni 4-5 elementi già posati e comunque il prima possibile per evitare possibili franamenti del foro con conseguente perdita di efficacia dell'intervento. Le caratteristiche della miscela da impiegare sono riportate nella tabella materiali riportate nel relativo elaborato grafico.

#### FASE 3: esecuzione scavo

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per campi pari a 15 m (preconsolidamento del nucleo  $L \geq 24$ m sovrapposizione  $s \geq 9$ m), per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1.00m, sagomando il fronte a forma concava ad ogni sfondo parziale ed eseguendo uno strato di spritz-beton armato di 5cm su ognuno di tali fronti.

#### FASE 4: posa in opera delle centine e dello spritz-beton (prima fase)

Appena posate le centine metalliche, esse devono essere collegate alle altre attraverso le apposite catene. Lo spritz beton di prima posa deve essere armato con rete elettrosaldata ( $\varnothing 6$  15x15) o fibrorinforzato.

#### FASE 5: Posa in opera dei bulloni e completamento spritz-beton

Esecuzione dei bulloni radiali ad ancoraggio continuo ad una distanza massima pari a  $\Phi/2$  tra il fronte di scavo e l'ultima raggiera eseguita; i bulloni dovranno essere dotati di testa ad espansione meccanica al fine di permettere la messa in opera durante la fase di cementazione; completamento dello spritz beton sino a raggiungere lo spessore di 30 cm; i bulloni saranno installati con passo trasversale pari a 2.00m e passo longitudinale pari ad 1.00m

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <table border="1" style="float: right; margin-left: auto;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Foglio 57 di 94</td> </tr> </table>	Foglio 57 di 94
Foglio 57 di 94		

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

Il getto dell'arco rovescio e delle murette dovrà avvenire entro  $3\emptyset$  dal fronte nel caso di un loro getto contemporaneo, o rispettivamente entro  $5\emptyset$  e  $3\emptyset$  nel caso di getto differito. Le misure di estrusione del fronte e di convergenza del cavo potranno indicare:

- la necessità di effettuare tale getto entro distanze più restrittive (al limite realizzando il campo di avanzamento in due fasi distinte, alternandole al getto dell'arco rovescio);
- la lunghezza dei campioni di arco rovescio da realizzare;
- la necessità di realizzare il consolidamento del fronte del successivo campo di avanzamento prima del getto di arco rovescio e murette.

#### FASE 7: impermeabilizzazione

Posa in opera dell'impermeabilizzazione, eseguita prima del getto del rivestimento definitivo.

#### FASE 8: getto rivestimento definitivo

Tale operazione seguirà il fronte ad una distanza non superiore a  $9\emptyset$ . Anche in questo caso in funzione dell'andamento delle misure di convergenza si potranno eventualmente stabilire distanze ancora più restrittive (cioè inferiori) entro cui eseguire il getto del rivestimento definitivo.

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG5102ECVROGN14HX002A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 58 di 94</p>

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

## 7.8 Sezione tipo C2

Interventi previsti

La sezione tipo C2 è costituita da:

- 3+3 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati per 20 m da fondo foro e ciechi per 10 m verso boccaforo  $\varnothing$  60 mm e sp. 5 mm ( eventuali ) ;
- prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, e centine metalliche tipo HEB 240, a passo 1 m;
- Coronella di terreno consolidato al contorno mediante 55 tubi in VTR valvolati,  $L \geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 9.0$  m ;
- Consolidamenti al piede centina mediante 6+6 tubi in VTR valvolati ( $L_{totale} \geq 24m$ ).
- preconsolidamento del fronte realizzato mediante la posa in opera di n° 55 tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie ,  $L \geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 9$  m ;
- impermeabilizzazione tipo "0" costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc (impermeabilizzazione "full round" in presenza di acque aggressive sui rivestimenti);
- rivestimento definitivo in cls semplice avente spessore minimo di 100 cm in arco rovescio e 90 cm in calotta.

### Campo di applicazione

Per quanto concerne il campo di applicazione si veda la tabella riepilogativa riportata alla fine del paragrafo.

### Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5102ECVROGN14HX002A00	Foglio 59 di 94

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

#### FASE 2: preconsolidamento al fronte

Dal fronte di scavo, sagomato a forma concava con freccia di circa 1.5 m, si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa in opera di 55 tubi in VTR, aventi lunghezza minima di 24.00 m e sovrapposizione  $\geq 9.00$  m.

Le fasi costruttive sono le seguenti:

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

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

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

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

#### FASE 4: esecuzione scavo

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per una lunghezza massima di 15.00 m (consolidamenti  $L=24.00$  m, sovr. = 9.00 m), per singoli sfondi max. di 1.0 m, sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale ed eseguendo lo spritz-beton fibrorinforzato, sp.5 cm, anche su ognuno di tali fronti.

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00
	Foglio 60 di 94

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

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

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

#### FASE 7: impermeabilizzazione

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

#### FASE 8: getto del rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo di calotta dovrà avvenire entro  $9\emptyset$  dal fronte di scavo.

La distanza di getto dovrà essere regolata in funzione della risposta deformativa del cavo e sarà comunque inferiore a  $9\emptyset$  dal fronte.

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 61 di 94</span>

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

## 7.9 Sezione tipo C4 e C4 con puntone

La sezione tipo C4, in fase costruttiva è costituita da:

- 3+3 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati per 20 m da fondo foro e ciechi per 10 m verso boccaforo Ø 60 mm e sp. 5 mm ( eventuali ) ;
- preconsolidamento del fronte realizzato mediante la posa in opera di n° 70 tubi in VTR L ≥ 24.00 m, sovrapp. ≥ 9 m, cementati con miscele cementizie a ritiro controllato;
- preconsolidamento al contorno della futura sezione di scavo mediante n° 69 tubi in VTR, L ≥ 24.00 m, sovrapp. ≥ 9 m cementati con miscele cementizie a ritiro controllato;
- eventuale preconsolidamento al piede delle centine mediante 6+6 tubi in VTR, L ≥ 18.00 m e sovrapposizione 3m, da eseguirsi qualora non venga utilizzato il puntone in arco rovescio;
- prerivestimento composto da centine HEB240 passo p = 1.00 m e da uno strato di 30 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato;
- impermeabilizzazione tipo "0" costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc (impermeabilizzazione "full round" in presenza di acque aggressive sui rivestimenti);
- rivestimento definitivo in cls semplice avente spessore minimo di 100 cm in arco rovescio e 90 cm in calotta.

### Campo di applicazione

Per quanto concerne il campo di applicazione si veda la tabella riepilogativa riportata alla fine del paragrafo.

### Interventi previsti

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: esecuzione eventuali drenaggi in avanzamento

In caso di presenza d'acqua dovranno essere eseguiti drenaggi in avanzamento. Si prevede la realizzazione di n° 3+3 drenaggi costituiti da tubi in PVC L = 30 m, microfessurati per 20 m a partire

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 62 di 94</span>

da fondo foro e “ciechi” per 10 m verso bocca foro, del diametro  $\phi \approx 60\text{mm}$  spessore 5mm e protezione in TNT.

#### FASE 2: esecuzione del preconsolidamento del fronte

Dal fronte di scavo, sagomato a forma concava con freccia di circa 1.5 m, si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa di n° 70 tubi in VTR cementati con miscele a ritiro controllato, aventi lunghezza minima di 24.00 m e sovrapposizione  $\geq 9$  m. Le fasi costruttive sono le seguenti:

- esecuzione sul fronte dello strato di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, avente spessore di 10 cm;
- perforazione eseguita a secco  $\phi \geq 100$  mm;
- posa dell'elemento strutturale in VTR, munito dell'opportuna attrezzatura per la cementazione ed esecuzione di cianfrinatura a boccaforo;
- esecuzione della cementazione mediante miscele cementizie a ritiro controllato ogni 4÷5 fori;

Le sequenze operative andranno adattate alle caratteristiche dell'ammasso ma dovranno comunque essere tali da garantire l'inghisaggio dell'elemento strutturale al terreno mediante il completo riempimento dell'intercapedine tra elemento e pareti del foro.

La fase di cementazione potrà avvenire di massima ogni 4-5 elementi già posati 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: consolidamento al contorno della sezione e del piede centina (eventuale)

Dal fronte di scavo, si realizza 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  $\geq 9$  m al contorno della futura sezione di scavo ed eventualmente si realizzano gli interventi previsti in prossimità del piede della centina (il consolidamento al piede non verrà eseguito in presenza di sezione con puntone), attraverso perforazioni inclinate rispetto all'orizzontale secondo quanto indicato negli elaborati di progetto.

#### FASE 4: esecuzione scavo

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per una lunghezza massima di 15 m (consolidamenti  $L = 24.00\text{m}$ , sovrapposizione  $\geq 9$  m), 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00
	Foglio 63 di 94

#### 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 (più eventuale puntone) 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.

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

Il getto dell'arco rovescio e delle murette dovrà avvenire entro  $3\emptyset$  dal fronte. Le misure di estrusione del fronte e di convergenza del cavo potranno indicare:

- la necessità di effettuare tale getto entro distanze più restrittive (al limite realizzando il campo di avanzamento in due fasi distinte, alternandole al getto dell'arco rovescio);
- la lunghezza dei campioni di arco rovescio da realizzare;
- la possibilità di realizzare il consolidamento del fronte del successivo campo di avanzamento prima del getto di arco rovescio e murette.

#### FASE 7: impermeabilizzazione

Posa in opera dell'impermeabilizzazione, eseguita prima del getto del rivestimento definitivo.

#### FASE 8: getto rivestimento definitivo

Tale operazione seguirà il fronte ad una distanza non superiore a  $9\emptyset$ . Anche in questo caso in funzione dell'andamento delle misure di convergenza si potranno eventualmente stabilire distanze ancora più restrittive (cioè inferiori) entro cui eseguire il getto del rivestimento definitivo.

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 64 di 94</span>

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

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

### 7.10 Sezione tipo B1 - allargata

La sezione tipo B1- allargata, prevista per le piazzole di manovra in fase costruttiva è costituita da:

- 3+3 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati per 20 m da fondo foro e ciechi per 10 m verso boccaforo Ø 60 mm e sp. 5 mm (eventuali) ;
- prerivestimento composto da centine 2IPN220 con passo  $p = 1.00$  m e da uno strato di 30 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldato o fibrorinforzato;
- n°12-13 bulloni radiali ad ancoraggio continuo,  $L = 8.0$  m, passo longitudinale 1.00 m, passo trasversale 2.00 m. Tali bulloni, dotati di testa ad espansione meccanica, saranno in acciaio Ø 24 mm in acciaio B450C ad ancoraggio continuo cementati mediante iniezioni cementizie o resina epossidica;
- impermeabilizzazione tipo "0" costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc (impermeabilizzazione "full round" in presenza di acque aggressive sui rivestimenti);
- rivestimento definitivo in cls semplice dello spessore minimo di 100 cm in arco rovescio e di 90 cm in calotta.

#### Campo di applicazione

Per quanto concerne il campo di applicazione si veda la tabella riepilogativa riportata alla fine del paragrafo.

#### Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: esecuzione eventuali drenaggi in avanzamento

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00
	Foglio 65 di 94

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

#### FASE 2: scavo

Esecuzione scavo di avanzamento con sfondi di lunghezza massima pari a 1.50 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 (prima fase)

Appena posate le centine metalliche, esse devono essere collegate alle altre attraverso le apposite catene. Lo spritz beton di prima posa deve essere armato con rete elettrosaldata ( $\phi 6 \text{ } 15 \times 15$ ) o fibrorinforzato.

#### FASE 4: Posa in opera dei bulloni e completamento spritz-beton

Esecuzione dei bulloni radiali ad ancoraggio continuo ad una distanza massima pari a  $\Phi/2$  tra il fronte di scavo e l'ultima raggiera eseguita; i bulloni dovranno essere dotati di testa ad espansione meccanica al fine di permettere la messa in opera durante la fase di cementazione; completamento dello spritz beton sino a raggiungere lo spessore di 30 cm; i bulloni saranno installati con passo trasversale pari a 2.00m e passo longitudinale pari ad 1.00m

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

Il getto delle murette dovrà essere effettuato entro una distanza di  $9\phi$  dal fronte di scavo. Il getto dell'arco rovescio dovrà avvenire entro  $12\phi$  dal fronte di scavo o entro  $9\phi$  nel caso di getto contemporaneo alle murette;

#### FASE 6: impermeabilizzazione

La posa in opera dell'impermeabilizzazione sarà eseguita prima del getto del rivestimento definitivo.

#### FASE 7: getto del rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo sarà eseguito ad una distanza dal fronte che dipenderà dal comportamento deformativo del cavo, tale distanza sarà comunque inferiore ai  $15\phi$ .

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5102ECVROGN14HX002A00	Foglio 66 di 94

Qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un tempo di circa 24 ore, è necessario porre in opera uno strato di spritz-beton di 10 cm al fronte, opportunamente sagomato a forma concava. Se il fermo delle lavorazioni risulta superiore a 48 h (festività o altro) il ciclo delle lavorazioni dovrà necessariamente terminare con la posa delle centine e dello spritz-beton a ridosso del fronte stesso, la sagomatura a forma concava del fronte e la realizzazione di uno strato spritz-beton armato sp. 10 cm. In relazione al comportamento deformativo del fronte e del cavo l'arco rovescio e le murette (eventualmente la calotta) dovranno essere opportunamente avvicinate al fronte.

In corso d'opera si potrà comunque valutare la possibilità di variare la metodologia di perforazione indicata (a secco) utilizzando un opportuno fluido di perforazione (miscele cementizie, acqua additivata con agenti schiumogeni, etc) in funzione delle caratteristiche dell'ammasso e previa esecuzione di adeguate prove in sito, atte a garantire:

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5102ECVROGN14HX002A00	Foglio 67 di 94

## 8. FINESTRA CRAVASCO

### 8.1 Analisi del Rischio

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

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

#### rischi collegati alle caratteristiche dell’ammasso

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5102ECVROGN14HX002A00	Foglio 68 di 94

## 8.2 Analisi dei rischi lungo il tracciato della Finestra Cravasco

La galleria naturale in oggetto si sviluppa nelle seguenti formazioni:

- Dolomie del Monte Gazzo
- Calcari di Gallaneto
- Argilloscisti neri
- Fasce milionitiche

Nella prima parte di galleria i passaggi litologici tra le varie formazioni, la presenza di acque aggressive ed il tratto a coperture limitate (PK0+650 circa) rappresentano le maggiori criticità per lo scavo della Finestra Cravasco. Nel secondo tratto, che si sviluppa quasi interamente nella Fascia Milionitica, le criticità sono rappresentate dalle zone di faglia caratterizzate da materiale tettonizzato abbinate alle massime coperture.

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 di faglia e nei contesti tettonizzati o nelle zone di contatto tra le differenti formazioni. In tali contesti le analisi compiute hanno evidenziato un comportamento di tipo “C”, ovvero instabile, e sono quindi stati previsti specifici interventi di consolidamento.

Fenomeni di squeezing: i fenomeni di squeezing potrebbero presentarsi, date le formazioni attraversate e le coperture presenti, in corrispondenza della Fascia Milionitica; in particolare i rischi più elevati si ritiene possano presentarsi in corrispondenza della faglia situata circa alla progressiva PK. 1+240. In tale contesto, infatti, si presentano le condizioni più sfavorevoli (massime coperture e presenza di materiale alterato).

Stress tettonici: Sono possibili durante lo scavo nella Fascia Milionitica elevati stress di natura tettonica che possono portare spinte orizzontali maggiori delle verticali, con necessità di intervenire mediante bullonature radiali per limitare i carichi agenti sui rivestimenti di prima fase.

Carico idraulico: In base a quanto riportato nell'inquadramento idrogeologico ed evidenziato nel profilo geomeccanico, per le coperture in esame non si ritiene in linea generale presente un carico idraulico agente sui rivestimenti definitivi.

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

Fenomeni carsici/acque aggressive: Lungo lo sviluppo del tracciato si prevede, in particolar modo in corrispondenza dei Calcari di Gallaneto e delle Dolomie del Monte Gazzo, la presenza di possibili condotti carsici e fenomeni di microcarsismo. In tali settori si sono

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 69 di 94</span>

previsti calcestruzzi resistenti a tali agenti e/o impermeabilizzazione di tipo full round per il rivestimento definitivo.

### 8.3 Soglie di attenzione e allarme

FINESTRA CRAVASCO - SOGLIE DI ATTENZIONE E ALLARME					
CARATT. GALLERIA		SOGLIA ATTENZIONE	SOGLIA ALLARME	SOGLIA ATTENZIONE	SOGLIA ALLARME
FORMAZIONE	SEZ.TIPO	CONV. DIAMETRALE (cm)	CONV. DIAMETRALE (cm)	ESTRUSIONE (cm)	ESTRUSIONE (cm)
dG	B0r-B0Vr	4-6	6-8	-	-
Fascia contatto	B2r	6-8	8-10	<5	<8
Myl – GR1	B0L	4-6	6-8	-	-
Myl – GR2a	B1 - B2/1	6-8	8-10	<5	<8
Myl – GR2b	B4/1	8-9	9-10	<7	<10
Myl – GR3a	C4	10-12	<15	<10	<15
Myl – GR3b	C2	10-12	<15	<10	<15

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 70 di 94</span>

### 8.3.1 Sezione tipo B0r

#### Campo di applicazione

La sezione di tipo B0r si applica nelle formazioni presenti nella prima metà del tracciato (dolomie del Monte Gazzo, calcari di Gallaneto, Argilloscisti neri), indipendentemente dalle coperture, qualora l'ammasso risulti caratterizzato da valori di resistenza e deformabilità almeno attribuibili al range minimo definito per le Dolomie del Monte Gazzo. L'ammasso mostra, in tale contesto, proprietà geomeccaniche da medie a buone. L'RQD è mediamente superiore al 50%, mentre la resistenza a compressione monoassiale supera i 40 MPa; Le superfici dei giunti sono da poco a mediamente alterate .

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).

Sulla base dei dati a disposizione si può ipotizzare che tale situazione sia la preminente nella prima parte del tracciato.

#### Variabilità

FORMAZIONE		DOLOMIE M.TE GAZZO - CALCARI DI GALLANETO - ARGILLOSCISTI NERI															
SEZIONE TIPO		B0r															
COPERTURA	H < 300 M	GRUPPO I			FASCIA DI CONTATTO												
		-	100%			NP											
		-	-			-											
PARAMETRI CARATTERISTICI	$\sigma_c$ (MPa)		40-65			15-25											
	GSI		35-55			25-35											
	$m_i$		9			20											
	E' (GPa)		0.7-11			0.25-0.7											
B0r		MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	
	CENTINE (ZIPN)	160	160	160													
	PASSO CENTINE (M)	1.5	1.2	1.0													
	SPessore SB (CM)	15	20	25													
	DISTANZA MAX GETTO MURETTE	120	90	60													
	DISTANZA MAX GETTO A.R.	150	120	90													
DISTANZA MAX GETTO CALOTTA	180	150	120														

Qualora, in corrispondenza delle tratte ove si prevede l'applicazione della SEZIONE TIPO B0r 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 1.50m.

Nel caso opposto, cioè con un ammasso maggiormente allentato e fratturato (GSI prossimo a 40), in situazioni che tendono ad abbassare i valori dei parametri geomeccanici verso la parte inferiore della fascia intrinseca ci si posizionerà nella zona superiore della 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
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 71 di 94</span>

### 8.3.2 Sezione tipo B0Vr

La sezione di tipo B0Vr si applica nel medesimo contesto geomeccanico descritto per la sezione B0r, a cui si rimanda. La sezione B0Vr, per la quale è previsto un intervento di presostegno in calotta, verrà applicata qualora si verifichi una orientazione delle giaciture sfavorevole (a reggi poggio o a franapoggio) con spaziature con aperte, anche associata a condotti carsici o la presenza di materiale maggiormente alterato in corrispondenza della calotta.

#### Variabilità

FORMAZIONE		DOLOMIE M.TE GAZZO - CALCARI DI GALLANETO - ARGILLOSCISTI NERI														
SEZIONE TIPO		B0Vr														
COPERTURA	H < 300 M	GRUPPO I			FASCIA DI CONTATTO											
	-	100%			NP											
	-	-			-											
PARAMETRI CARATTERISTICI	$\sigma_c$ (MPa)		40-65			15-25										
	GSI		35-55			25-35										
	$m_i$		9			20										
	E' (GPa)		0.7-11			0.25-0.7										
		MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
B0Vr	CENTINE (ZIPN)	160	160	160												
	PASSO CENTINE (M)	1.5	1.2	1.0												
	SPESORE SB (CM)	15	20	25												
	PRESOSTEGNI IN CALOTTA (N°)	27	27	27												
	PRESOSTEGNI SOVRAP (M)	3	3	3												
	DISTANZA MAX GETTO MURETTE	120	90	60												
	DISTANZA MAX GETTO A.R.	150	120	90												
DISTANZA MAX GETTO CALOTTA	180	150	120													

Qualora, in corrispondenza delle tratte ove si prevede l'applicazione della SEZIONE TIPO B0r 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 1.50m.

Nel caso opposto, cioè con un ammasso maggiormente allentato e fratturato (GSI prossimo a 40), in situazioni che tendono ad abbassare i valori dei parametri geomeccanici verso la parte inferiore della fascia intrinseca ci si posizionerà nella zona superiore della 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
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 72 di 94</span>

### 8.3.3 Sezione tipo B2r

#### Campo di applicazione

La sezione di tipo B2r si applica nelle formazioni presenti nella prima metà del tracciato (dolomie del Monte Gazzo, calcari di Gallaneto, Argilloscisti neri) in corrispondenza dei contatti litologici e nelle zone molto alterate delle stesse, indipendentemente dalle coperture. In tali contesti si è supposta la presenza di materiale avente valori di resistenza e deformabilità inferiori a quelli descritti per le formazioni sopra indicate. L'ammasso mostra, in tale contesto, proprietà geomeccaniche piuttosto scarse. L'RQD è inferiore al 50%, mentre la resistenza a compressione monoassiale non supera i 25 MPa; le superfici dei giunti sono da molto a mediamente alterate.

In queste condizioni il fronte di scavo si presenta stabile a breve termine. L'avanzamento avviene regolarmente con mezzi meccanici. La risposta deformativa del cavo evolve verso convergenze che si attestano sui valori medi registrati (5-8 cm).

Tale sezione andrà inoltre adottata laddove si presentino strati ad inclinazione subverticale con spaziature intense al fine di contrastare instabilità locali del fronte dovute a meccanismi di ribaltamento di porzioni d'ammasso in fase di scavo eventualmente associati a presenza d'acqua.

#### Variabilità

FORMAZIONE		DOLOMIE M. TE GAZZO - CALCARI DI GALLANETO - ARGILLOSCISTI NERI														
SEZIONE TIPO		B2r														
COPERTURA	H < 300 M	GRUPPO I			FASCIA DI CONTATTO											
	-	100%			NP											
	-															
PARAMETRI CARATTERISTICI	$\sigma_c$ (MPa)		40-65			15-25										
	GSI		35-55			25-35										
	$m_i$		9			20										
	E' (GPa)		0.7-11			0.25-0.7										
		MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
B2r	CENTINE (ZIFN)				180	180	180									
	PASSO CENTINE (M)				1.2	1.0	0.8									
	SPessore SB (CM)				20	25	30									
	CONSOLIDAMENTO FRONTE (N°)				40	60	80									
	CONSOLIDAMENTO FRONTE L. (M)				24	24	24									
	CONSOLIDAMENTO FRONTE SOVR. (M)				6	9	12									
	DISTANZA MAX GETTO MURETTE				40	30	20									
DISTANZA MAX GETTO A.R.				60	50	30										
DISTANZA MAX GETTO CALOTTA				110	90	70										

Se la risposta deformativa del fronte e del cavo evidenzia valori prossimi ai minimi previsti e l'ammasso si presenta poco alterato, è possibile variare l'intensità degli interventi posizionandosi nella zona inferiore del range di variabilità previsto. Sarà infatti probabile, in tali contesti, la riduzione della fascia plastica al contorno con conseguente diminuzione dei carichi sui rivestimenti di prima fase e definitivi.

Qualora si verificasse il caso opposto al precedente ci si posizionerà nella zona superiore del range di variabilità previsto. Tali contesti sono caratterizzate da superfici dei giunti alterate ed il GSI associato alla formazione è prossimo ai valori minimi del gruppo (25-30).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 73 di 94</span>

### 8.3.4 Sezione tipo B0L

#### Campo di applicazione

La sezione di tipo B0L si applica nella fascia milionitica indipendentemente dalle coperture, qualora l'ammasso risulti caratterizzato da valori di resistenza e deformabilità attribuibili al gruppo geomeccanico 1 della formazione (parametri prossimi al limite superiore del range stabilito).

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.

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).

Sulla base dei dati a disposizione si può ipotizzare che tale situazione sia la preminente nella seconda parte del tracciato.

#### Variabilità

FORMAZIONE		FASCIA MILIONITICA (GRI)														
SEZIONE TIPO		B0L														
		GRUPPO 1			GRUPPO 2A			GRUPPO 2B			GRUPPO 3A			GRUPPO 3B		
COPERTURA	H < 300 M	100%			NP			NP			NP			NP		
	-	-			-			-			-			-		
	-	-			-			-			-			-		
PARAMETRI CARATTERISTICI	$\sigma_{ci}$ (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		
		MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
B0L	CENTINE (ZIPN)	160	160	160												
	PASSO CENTINE (M)	1.5	1.4	1.2												
	SPESORE SB (CM)	15	20	25												
	DISTANZA MAX GETTO MURETTE	120	90	60												
	DISTANZA MAX GETTO A.R.	150	120	90												
DISTANZA MAX GETTO CALOTTA	180	150	120													

Qualora, in corrispondenza delle tratte ove si prevede l'applicazione della SEZIONE TIPO B0L 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 1.50m.

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 ci si posizionerà nella zona superiore della 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	
IG5102ECVROGN14HX002A00		Foglio 74 di 94

### 8.3.5 Sezione tipo B1

#### Campo di applicazione

La sezione di tipo B1 si applica nella fascia milionitica, indipendentemente dalle coperture, qualora l'ammasso risulti caratterizzato da valori di resistenza e deformabilità attribuibili alle fasce meno alterate rientranti nel gruppo geomeccanico 2 della formazione (ammasso caratterizzato da parametri prossimi al limite superiore del range stabilito).

L'ammasso mostra, in tale contesto, proprietà geomeccaniche da medie a scadenti. L'RQD è variabile tra il 35% e il 50%; si individua ancora chiaramente la foliazione regolarmente e fittamente spaziata ma con struttura più intensamente piegata, fino alla microscala. Le superfici dei giunti sono poco alterate e la circolazione idrica è scarsa.

In queste condizioni il fronte di scavo si presenta stabile a breve termine. L'avanzamento avviene regolarmente con mezzi meccanici. La risposta deformativa del cavo evolve verso convergenze che si attestano sui valori medi registrati (5-8 cm). I probabili stress tettonici in tali contesti possono essere efficacemente contrastati dall'installazione di bulloni radiali a cementazione continua.

#### Variabilità

FORMAZIONE		FASCIA MILIONITICA (GR2A)														
SEZIONE TIPO		B1														
COPERTURA	H < 300 M	GRUPPO 1			GRUPPO 2A			GRUPPO 2B			GRUPPO 3A			GRUPPO 3B		
	-	NP			100%			NP			NP			NP		
	-	-			-			-			-			-		
PARAMETRI CARATTERISTICI	$\sigma_{ci}$ (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		
		MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
B1	CENTINE (ZIPN)				220	220	220									
	PASSO CENTINE (M)				1.4	1.2	1									
	SPessore SB (CM)				25	30	35									
	BULLONATURE DIAMETRO (MM)				24	24	24									
	LUNGHEZZA BULLONI (M)				5.5	6	6.5									
	MAGLIA (M X M)				1.2 X 2.5	1.2 X 2.0	1.2 X 1.5									
	DISTANZA INSTALLAZIONE BULLONATURE				0.5Ø	0.5Ø	0.5Ø									
	DISTANZA MAX GETTO MURETTE				12Ø	9Ø	6Ø									
	DISTANZA MAX GETTO A.R.				15Ø	12Ø	9Ø									
	DISTANZA MAX GETTO CALOTTA				18Ø	15Ø	12Ø									

La variabilità della sezione è descritta in tabella.

Se la risposta deformativa del fronte e del cavo evidenzia valori prossimi ai minimi previsti e l'ammasso si presenta poco alterato, è possibile variare l'intensità degli interventi posizionandosi nella zona inferiore del range di variabilità previsto. Sarà infatti probabile, in tali contesti, la riduzione della fascia plastica al contorno con conseguente diminuzione dei carichi sui rivestimenti di prima fase e definitivi.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG5102ECVROGN14HX002A00		Foglio 75 di 94

Qualora si verificasse il caso opposto al precedente ci si posizionerà nella zona superiore del range di variabilità previsto. Tali contesti sono caratterizzate da superfici dei giunti alterate ed il GSI associato alla formazione è prossimo ai valori minimi del gruppo 2A (39-40).

### 8.3.6 Sezione tipo B2/1

#### Campo di applicazione

La sezione di tipo B2/1 si applica nella fascia milionitica indipendentemente dalle coperture qualora l'ammasso risulti caratterizzato da valori di resistenza e deformabilità attribuibili alle fasce mediamente alterate del gruppo geomeccanico 2 della formazione. Nel dettaglio tale sezione può considerarsi applicabile come transizione tra il gruppo geomeccanico 2A e 2B.

L'ammasso mostra scadenti proprietà geomeccaniche. L'RQD è variabile tra il 35 e il 50%; si individua ancora chiaramente la foliazione regolarmente e fittamente spaziata ma con struttura più intensamente piegata, fino alla microscala. Le superfici dei giunti sono da poco alterate ad alterate e la circolazione idrica è scarsa.

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

#### Variabilità

FORMAZIONE		FASCIA MILIONITICA (GR2A)														
SEZIONE TIPO		B2/1														
		GRUPPO 1			GRUPPO 2A			GRUPPO 2b			GRUPPO 3A			GRUPPO 3b		
COPERTURA	H < 300 M	NP			100%			NP			NP			NP		
	-	-			-			-			-			-		
	-	-			-			-			-			-		
PARAMETRI CARATTERISTICI	$\sigma_c$ (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.
B2/1	CENTINE (HEB)				200	200	200									
	PASSO CENTINE (M)				1,2	1,0	0,8									
	SPESSORE SB (CM)				25	30	35									
	CONSOLIDAMENTO FRONTE (N°)				40	60	80									
	CONSOLIDAMENTO FRONTE L (M)				24	24	24									
	CONSOLIDAMENTO FRONTE SOVR. (M)				6	9	12									
	DISTANZA MAX GETTO MURETTE				4Ø	3Ø	2Ø									
	DISTANZA MAX GETTO A.R.				6Ø	5Ø	3Ø									
	DISTANZA MAX GETTO CALOTTA				11Ø	9Ø	7Ø									

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5102ECVROGN14HX002A00	Foglio 76 di 94

La variabilità della sezione è descritta in tabella. L'intensità del consolidamento al fronte è direttamente collegabile al grado di fratturazione dell'ammasso e alla giacitura delle superfici di distacco. 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.

Tali contesti sono correlati a

1. materiale roccioso interessato da numerose pieghe di varia dimensione ed attraversato da diverse famiglie di faglie che inducono una diminuzione locale della resistenza. Il GSI associato alla formazione è prossimo ai valori minimi dell'ambito di applicazione (prossimi a 39).
2. Orientazione delle giaciture sfavorevole con alterazione evidente dei giunti, anche associata a stillicidi diffusi.

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.

In accordo con quanto già previsto in Progetto Definitivo si ritiene che la sezione media per coperture inferiori ai 300m potrà probabilmente essere eseguita in modo sistematico con variabilità minima dei campi di avanzamento, ovvero con scavo massimo pari a 18m, fermo restando tutti gli interventi di consolidamento e supporto previsti per la sezione media.

### 8.3.7 Sezione tipo B4/1

#### Campo di applicazione

La sezione di tipo B4/1 si applica nella fascia milionitica indipendentemente dalle coperture qualora l'ammasso risulti caratterizzato da valori di resistenza e deformabilità attribuibili alle fasce maggiormente alterate del gruppo geomeccanico 2 della formazione, ovvero con parametri prossimi al limite inferiore del range.

L'ammasso mostra scadenti proprietà geomeccaniche. L'RQD è variabile tra il 20 e il 35%; si individua ancora chiaramente la foliazione regolarmente e fittamente spaziata ma con struttura più intensamente piegata, fino alla microscala. Le superfici dei giunti sono alterate e la circolazione idrica è scarsa. Sono possibili elevati stress di natura tettonica che possono portare spinte orizzontali maggiori delle verticali, con necessità di intervenire mediante bullonature radiali.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG5102ECVROGN14HX002A00		Foglio 77 di 94

In queste condizioni il fronte di scavo si presenta stabile a breve termine e con condizioni di giacitura delle superfici di foliazione tali da instaurare fenomeni di distacchi che impongono l'uso di consolidamenti al fronte. L'avanzamento avviene regolarmente con mezzi meccanici. La risposta deformativa del cavo evolve verso convergenze che si attestano sui valori medi registrati anche superiori ai 10cm, necessitando la presenza dell'arco rovescio a breve distanza dal fronte per la loro completa stabilizzazione nel tempo.

### Variabilità

FORMAZIONE		FASCIA MILIONITICA (GR2B)														
SEZIONE TIPO		B4/I														
		GRUPPO 1			GRUPPO 2A			GRUPPO 2b			GRUPPO 3A			GRUPPO 3b		
COPERTURA	H < 500 M	NP			NP			100%			NP			NP		
	-	-			-			-			-			-		
	-	-			-			-			-			-		
PARAMETRI CARATTERISTICI	$\sigma_{cr}$ (MPa)	30-40			10-12			10-12			5-7			5-7		
	GSI	45-55			40-45			35-40			30-35			25-30		
	$m_i$	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.
B4/I	CENTINE (ZIPN)							24.0	24.0	24.0						
	PASSO CENTINE (M)							1.2	1.0	0.8						
	SPESSORE SB (CM)							25	30	35						
	CONSOLIDAMENTO FRONTE (N°)							40	60	80						
	CONSOLIDAMENTO FRONTE L (M)							24	24	24						
	CONSOLIDAMENTO FRONTE SOVR. (M)							6	9	12						
	BULLONATURE DIAMETRO (MM)							28	28	28						
	LUNGHEZZA BULLONI (M)							5.5	6	6.5						
	MAGLIA (M X M)							1.0 x 2.5	1.0 x 2.0	1.0 x 1.5						
	DISTANZA INSTALLAZIONE BULLONATURE							0.5Ø	0.5Ø	0.5Ø						
	DISTANZA MAX GETTO MURETTE							4Ø	3Ø	2Ø						
	DISTANZA MAX GETTO A.R.							6Ø	5Ø	3Ø						
	DISTANZA MAX GETTO CALOTTA							11Ø	9Ø	7Ø						

La variabilità della sezione è descritta in tabella. L'intensità del consolidamento al fronte è direttamente collegabile al grado di fratturazione dell'ammasso e alla giacitura delle superfici di distacco. 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 moderatamente alterati.

Qualora si verificasse il caso opposto al precedente ci si posizionerà nella zona superiore del range di variabilità previsto.

Tali contesti sono correlati a

1. Materiale roccioso interessato da numerose pieghe di varia dimensione ed attraversato da diverse famiglie di faglie che inducono una diminuzione locale della resistenza. Il GSI associato alla formazione è prossimo ai valori minimi del gruppo 2B (34-37).
2. Orientazione delle giaciture sfavorevole con alterazione evidente dei giunti, anche associata a stillicidi diffusi.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00
	Foglio 78 di 94

### 3. Evidenza di elevati sforzi orizzontali dovuti a stress di natura tettonica.

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.

In accordo con quanto già previsto in Progetto Definitivo si ritiene che la sezione media per coperture inferiori ai 300m potrà probabilmente essere eseguita in modo sistematico con variabilità minima dei campi di avanzamento, ovvero con scavo massimo pari a 18m, fermo restando tutti gli interventi di consolidamento e supporto previsti per la sezione media.

#### 8.3.8 Sezione tipo C2

##### Campo di applicazione

La sezione di tipo C2 si applica nella fascia Milionitica, indipendentemente dalle coperture, qualora l'ammasso risulti caratterizzato da valori di resistenza e deformabilità attribuibili alle zone tettonizzate appartenenti al gruppo geomeccanico 3 della formazione (parametri prossimi al limite inferiore del range stabilito). La medesima sezione tipo verrà inoltre applicata alle basse coperture laddove si presuppone la presenza di caratteristiche geomeccaniche scadenti (ad esempio in corrispondenza dei contatti litologici con gli argilloscisti neri).

L'ammasso che ricade in questo gruppo appartiene a zone particolarmente tettonizzate o alterate e mostra proprietà geomeccaniche molto scadenti. L'RQD è inferiore al 20%; la foliazione è talmente intensa ed irregolarmente e fittamente spaziata che può non essere più riconoscibile (ammasso destrutturato con perdita di coesione); la struttura, quando riconoscibile, è intensamente piegata fino alla microscala. Le superfici dei giunti sono da alterate a molto alterate e la circolazione idrica può essere significativa. In queste condizioni il fronte di scavo si presenta instabile risultando necessario eseguire sistematici interventi di consolidamento in avanzamento, con l'ausilio di iniezioni cementizie da valvole. Rispetto alla sezione precedente (C4) l'elevato grado di fratturazione dell'ammasso, che comporta una maggiore permeabilità degli strati alterati, può portare a venute d'acqua concentrate nelle zone di faglia e in corrispondenza di ammassi tettonizzati che se non adeguatamente gestite possono portare anche a fenomeni di instabilità diffusa del cavo.

Lo scavo avviene con mezzi meccanici. La risposta deformativa del cavo evolve verso convergenze che si attestano sui valori massimi registrati (>10-12 cm), 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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG5102ECVROGN14HX002A00		Foglio 79 di 94

FORMAZIONE		FASCIA MILIONITICA (GR3b)														
SEZIONE TIPO		C2														
		GRUPPO 1			GRUPPO 2A			GRUPPO 2B			GRUPPO 3A			GRUPPO 3B		
COPERTURA	H < 300 m	NP			NP			NP			NP			100%		
	-	-			-			-			-			-		
	-	-			-			-			-			-		
PARAMETRI CARATTERISTICI	$\sigma_{ci}$ (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		
C2	CENTINE (HEB)	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
	PASSO CENTINE (M)													24.0	24.0	24.0
	SPessore SB (CM)													1.2	1	0.8
	CONSOLIDAMENTO FRONTE (N°)													25	30	35
	CONSOLIDAMENTO FRONTE L (M)													4.0	5.5	8.0
	CONSOLIDAMENTO FRONTE SOVR. (M)													24	24	24
	CONSOLIDAMENTO CONTORNO (N°)													6	9	12
	CONSOLIDAMENTO CONTORNO L (M)													4.0	5.5	7.0
	CONSOLIDAMENTO CONTORNO SOVR. (M)													24	24	24
	DISTANZA MAX GETTO MURETTE													6	9	12
	DISTANZA MAX GETTO A.R.													30	30	1.50
	DISTANZA MAX GETTO CALOTTA													30	30	1.50
														90	90	50

La variabilità della sezione è riportata in tabella.

Qualora, in corrispondenza delle tratte ove si prevede l'applicazione della sezione tipo C2 dai rilievi geostrukturali del fronte di scavo risultasse un ammasso caratterizzato da valori di GSI prossimi a 30, associati comunque alla presenza di condizioni di ammasso fratturato e giunti alterati, è possibile variare l'intensità degli interventi posizionandosi nella zona inferiore della fascia di variabilità prevista (vedi Tabella), 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 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) e l'esecuzione di importanti interventi avanti il fronte al fine di limitare i fenomeni deformativi e 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.

In accordo con quanto già previsto in Progetto Definitivo si ritiene che la sezione media per coperture inferiori ai 300m potrà probabilmente essere eseguita in modo sistematico con variabilità minima dei campi di avanzamento, ovvero con scavo massimo pari a 18m, fermo restando tutti gli interventi di consolidamento e supporto previsti per la sezione media.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG5102ECVROGN14HX002A00		Foglio 80 di 94

### 8.3.9 Sezione tipo C4

#### Campo di applicazione

La sezione di tipo C4 si applica nella fascia milionitica, 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 (parametri prossimi al limite superiore del range stabilito). Alle basse coperture si potrà estendere l'impiego di tale sezione tipo anche in corrispondenza di ammasso avente parametri prossimi a quelli del gruppo geomeccanico 3b (GSI  $\approx$  30).

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

In queste condizioni il fronte di scavo si presenta instabile risultando necessario eseguire sistematici interventi di consolidamento in avanzamento. Lo scavo avviene con mezzi meccanici. La risposta deformativa del cavo evolve verso convergenze che si attestano sui valori massimi registrati (>10 cm), 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		FASCIA MILIONITICA (GR5A)														
SEZIONE TIPO		C4														
		GRUPPO 1			GRUPPO 2A			GRUPPO 2B			GRUPPO 3A			GRUPPO 3B		
COPERTURA	H < 300 M	NP			NP			NP			100%			NP		
	-	-			-			-			-			-		
	-	-			-			-			-			-		
PARAMETRI CARATTERISTICI	$\sigma_{cr}$ (MPa)	30-40			10-12			10-12			5-7			5-7		
	GSI	45-55			40-45			35-40			30-35			25-30		
	$m_i$	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.
C4	CENTINE (HEB)										240	240	240			
	PASSO CENTINE (M)										1.2	1	0.8			
	PUNTO										EVENTUALE	EVENTUALE	EVENTUALE			
	SPESSORE SB (CM)										25	30	35			
	CONSOLIDAMENTO FRONTE (N°)										55	70	90			
	CONSOLIDAMENTO FRONTE L (M)										24	24	24			
	CONSOLIDAMENTO FRONTE SOVR. (M)										6	9	12			
	CONSOLIDAMENTO CONTORNO (N°)										55	69	85			
	CONSOLIDAMENTO CONTORNO L (M)										24	24	24			
	CONSOLIDAMENTO CONTORNO SOVR. (M)										6	9	12			
	DISTANZA MAX GETTO MURETTE										30	30	1.50			
	DISTANZA MAX GETTO A.R.										30	30	1.50			
	DISTANZA MAX GETTO CALOTTA										90	90	50			

La variabilità della sezione è riportata in tabella.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 81 di 94</span>

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, è possibile variare l'intensità degli interventi posizionandosi nella zona inferiore della fascia di variabilità prevista (vedi Tabella), 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 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 avanti il fronte al fine di limitare i fenomeni deformativi e 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.

In accordo con quanto già previsto in Progetto Definitivo si ritiene che la sezione media per coperture inferiori ai 300m potrà probabilmente essere eseguita in modo sistematico con variabilità minima dei campi di avanzamento, ovvero con scavo massimo pari a 18m, fermo restando tutti gli interventi di consolidamento e supporto previsti per la sezione media.

### *8.3.10 Messa in opera del puntone in arco rovescio*

La sezione tipo C4 prevede la possibilità di utilizzare il puntone in arco rovescio. Nel contesto di applicazione della sezione l'instabilità complessiva del fronte di scavo è attribuibile ad un accentuarsi dei fenomeni deformativi in campo plastico, che possono manifestarsi ancora prima che avvenga lo scavo, oltre il fronte stesso.

Le deformazioni portano ad un progressivo decadimento delle caratteristiche geomeccaniche del materiale. Le deformazioni devono essere contenute prima dell'arrivo del fronte di scavo mediante interventi di preconsolidamento sistematici in avanzamento, che consentano di creare artificialmente l'effetto arco capace di far evolvere la situazione verso configurazioni di equilibrio stabile.

L'importanza dei fenomeni deformativi associati allo scavo della sezione comporta, al fine del controllo deformativo, inoltre, la necessità di prevedere un'immediata chiusura del cavo mediante rivestimenti di prima fase installati immediatamente a ridosso del fronte stesso e dotati di sufficiente rigidità.

In tali contesti geomeccanici, l'utilizzo del puntone in arco rovescio assume validità differenti in relazione principalmente alle coperture presenti.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 82 di 94</span>

**1 – Basse coperture:** in tali condizioni l'immediata installazione (massimo 2 centine dal fronte di scavo) del puntone in arco rovescio permette la chiusura immediata dell'arco, contrastando in modo efficace i cedimenti verticali del piede della centina e diminuendo al superficie di estrusione. L'intervento deve essere applicato in caso di:

- Sotto passo di preesistenze, edifici in superficie o condizioni puntuali: il collegamento della centina di prima fase al puntone metallico fornisce garanzie maggiori sul controllo delle deformazioni del cavo, realizzando di fatto una struttura chiusa ad elevata rigidità e con maggiore stabilità del fronte di scavo.
- L'intervento fornisce un contrasto ad eventuali carichi laterali dovuti a spinte dissimmetriche (parietalità delle sezioni) o a deviazioni dello stato tensionale per stress tettonici.

**2 – Alte coperture:** le problematiche che comportano l'installazione del puntone nelle sezioni tipo C in arco rovescio per le alte coperture sono sostanzialmente differenti da quanto riportato al punto 1. Gli elevati stati di sforzo presenti nell'ammasso comportano carichi importanti nei priverestimenti con conseguente necessità di stabilizzare le deformazioni con la chiusura del cavo mediante l'esecuzione dei getti di murette e arco rovescio al ridosso del fronte di scavo. In tali situazioni la fase di apertura dell'arco rovescio per campi di 12m per i tempi necessari all'armatura 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.

Risulta quindi necessario, laddove si evidenzino tali problematiche, procedere all'installazione dei puntoni in arco rovescio, per campi massimo di 3-4m, in anticipo rispetto all'apertura degli scavi per la realizzazione dei getti, così da permettere l'esecuzione delle lavorazioni successive in sicurezza e nel contempo diminuire la superficie di estrusione.

Per l'opera in oggetto, dato che non sono presenti interferenze lungo il tracciato, il puntone in arco rovescio dovrà essere installato nei seguenti casi:

- 1 – Elevate deformazioni orizzontali dovute all'attraversamento di materiali spingenti e/o a stress orizzontali elevati (K0 maggiore dell'unità);
- 2 – Elevati stati di sforzo nei priverestimenti in corrispondenza di alte coperture con conseguente necessità di stabilizzare le deformazioni

Per la sezione C4, nel caso di applicazione del puntone non vengono eseguiti i consolidamenti previsti al piede della centina.

### 8.3.11 Sezione tipo B1- allargata

#### Campo di applicazione

La sezione di tipo B1- allargata è stata sviluppata per le piazzole di manovra previste circa ogni 400m, da posizionarsi in funzione delle esigenze di cantiere e nel rispetto del più idoneo contesto geomeccanico. Essa è stata valutata con coperture massime pari a 180m nella formazione delle



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>IG5102ECVROGN14HX002A00</p>	<p>Foglio 84 di 94</p>

#### 8.4 Applicazione di una diversa sezione tipo

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

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

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

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

## 9. TECNOLOGIE ALTERNATIVE E PRESCRIZIONI

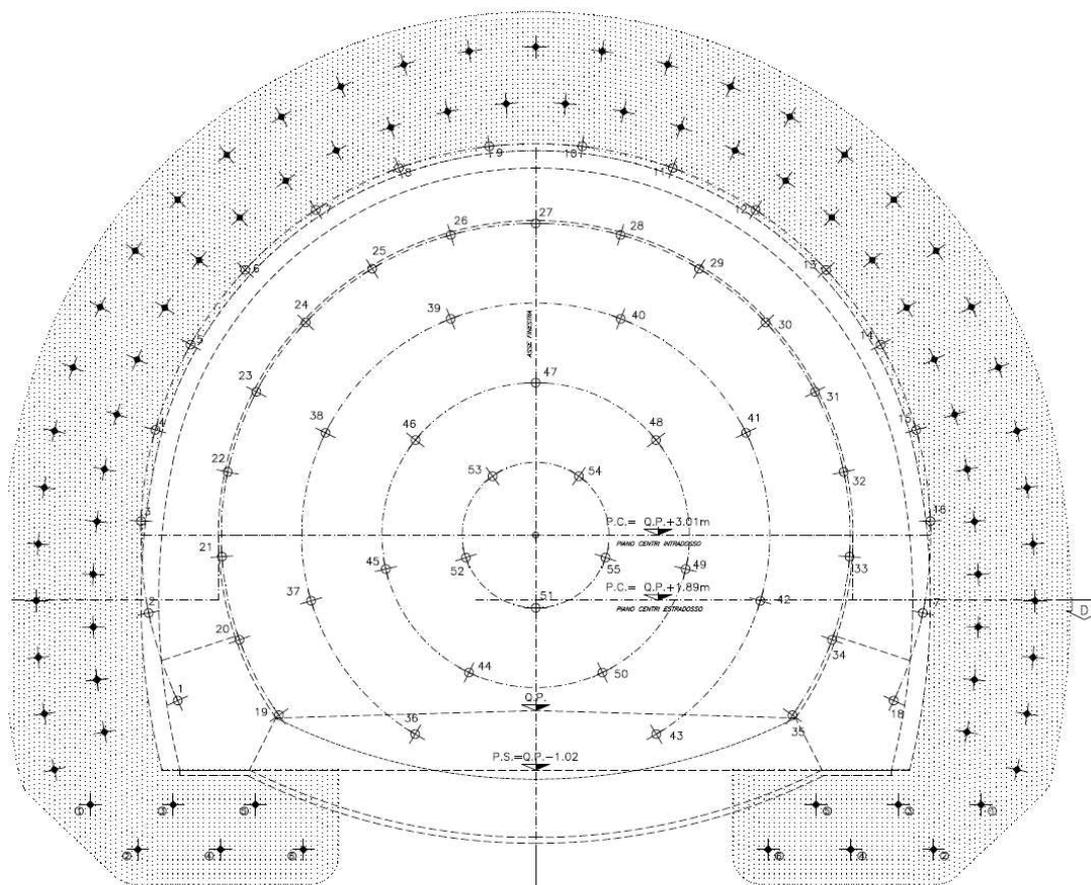
### 9.1 Campo prova iniezioni al contorno

Il campo prova, eseguito secondo le geometrie descritte, avrà 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 al contorno verrà 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.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 86 di 94</span>

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 =  $1.5 \div 2.0$ ;
- Rapporto bentonite/acqua =  $0.05/0.08$ ;
- Densità =  $1.28 \div 1.32 \text{ g/cm}^3$ .

*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 =  $1.6 \div 1.8 \text{ g/cm}^3$ ;
- Viscosità Marsh  $\cong 35-45''$
- Additivo fluidificante 3-4% sul peso del cemento
- Eventuale bentonite ( $b/a < 0.02$ )

Relativamente ai terreni da trattare, con riferimento all'applicazione della sezione tipo C2, appartiene a zone particolarmente tettonizzate o alterate e mostra proprietà geomeccaniche molto scadenti. L'RQD è inferiore mediamente al 20%; la foliazione è talmente intensa ed irregolarmente e fittamente spaziata che può non essere più riconoscibile (ammasso destrutturato con perdita di coesione); la struttura, quando riconoscibile, è intensamente piegata fino alla microscala. Le superfici dei giunti sono da alterate a molto alterate e la circolazione idrica può essere significativa. In tale contesto ci si può attendere, in modo discontinuo, un'alternanza di fasce più "aperte", specie negli strati calcarei, dove sarà possibile operare una permeazione del terreno, ed una zona di intensa alterazione delle argilliti, laddove si opererà principalmente l'intasamento dei sistemi di fratturazione e di discontinuità dell'ammasso.

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:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 87 di 94</span>

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, se necessario, i parametri pre-definiti e, soprattutto, calibrare l'esatta entità del volume da consolidare e l'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.

### 9.1.1 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 t/m<sup>3</sup>;
- 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>

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5102ECVROGN14HX002A00	Foglio 88 di 94

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. Impiegando, nell'intervento in questione, 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, più approfondito, della resa volumetrica. In genere la prova viene condotta su fanghi bentonitici; risulta 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).

### 9.1.2 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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 89 di 94</span>

- 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).

### 9.1.3 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 confrontarlo con quello dei terreni adiacenti non interessati dal consolidamento. La determinazione avverrà per via indiretta mediante indagine tomografica con metodo sismico.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 90 di 94</span>

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.

#### 9.1.4 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.

### 9.2 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 sito, atte a garantire:

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

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

### 9.3 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 priverivestimento l'impiego di calcestruzzo proiettato, armato con centine metalliche e rete oppure con centine metalliche e fibre in acciaio.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5102ECVROGN14HX002A00	Foglio 91 di 94

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

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

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

Per quanto concerne le caratteristiche di resistenza dello spritz-beton, è previsto l'impiego di una miscela caratterizzata da  $f_{cm}=25\text{MPa}$  per tutte le sezioni ad eccezione delle sezioni tipo C2/C4, dove è previsto uno spritz beton caratterizzato da un  $f_{cm}$  pari a 30MPa.

#### 9.4 Armatura del rivestimento definitivo

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

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

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

Attualmente, tali armature sono state utilizzate in tutti i casi in cui, sulla base dei dati raccolti, siano risultate presenti o siano state previste le condizioni per il determinarsi di sollecitazioni flessionali elevate sui rivestimenti, ovvero:

- In presenza di elementi indicanti formazioni o loro parti con basse caratteristiche geomeccaniche;
- In presenza di passaggi intraformazionali, ove le differenti caratteristiche geomeccaniche delle due formazioni rocciose possono provocare degli stati di tensione non uniformi al contorno della galleria, o in presenza di ammassi anisotropi o più fortemente eterogenei (anche in tal caso la distribuzione delle spinte al contorno del cavo risulta asimmetrica);
- Nel sottoattraversamento di preesistenze con basse coperture (inferiori a 25-30 m) o di altre zone con criticità singolari (in ammassi disturbati o in presenza di spinte dovute a movimenti di versante);
- Nelle zone soggette a rischio sismico (basse coperture, zone di contatto stratigrafico, zone di faglia);

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 92 di 94</span>

- In corrispondenza degli, ossia nelle zone ove si verifica generalmente la concomitanza di parietalità e basse coperture;

In presenza di parietalità della galleria rispetto al piano campagna (tipicamente 1-2  $\phi$ ), le spinte di ammasso risultano infatti di lieve entità, ma la loro distribuzione asimmetrica sul contorno del cavo genera nel rivestimento definitivo una forte asimmetria tensionale con elevati momenti flettenti e ridotti sforzi normali.

Analogamente, nei tratti “superficiali” di galleria naturale, la scarsa potenza dello strato di terreno presente sopra l’opera talvolta non permette la formazione dell’effetto arco; in tal caso, tutta la massa di terreno superiore grava per intero sul rivestimento definitivo, che risulta soggetto prevalentemente a carichi di tipo gravitativo.

In queste situazioni si ha lo sviluppo di elevati sforzi normali ed elevati momenti flettenti.

Più in generale, in corso d’opera l’armatura di rivestimento definitivo sarà applicata su qualunque sezione tipo nel caso in cui, in funzione dei riscontri degli scavi e del monitoraggio, si dovessero evidenziare difformità rispetto alle ipotesi e condizioni di progetto, e quindi, onde non incorrere in una fessurazione del rivestimento definitivo, anche per tratte ad oggi non prevedibili come armate, in quanto non ricomprese con evidenza nelle situazioni di cui ai punti precedenti.

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

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

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

## 9.5 Distanze di getto dei rivestimenti definitivi

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

In linea generale, il getto dell’arco rovescio e delle murette dovrà avvenire contemporaneamente solo in casi particolari, da valutarsi in corso d’opera; sempre in linea generale, si potrà effettuare un

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 93 di 94</span>

getto separato di arco rovescio e murette, avendo comunque cura di realizzare le murette il più vicino possibile al fronte di scavo, onde ottenere una più rapida stabilizzazione delle convergenze.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN14HX002A00 <span style="float: right;">Foglio 94 di 94</span>

## 9.7 Tecniche di consolidamento dei fronti di scavo

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

## 9.8 Soglie d'attenzione e d'allarme

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

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

## 9.9 Criticità

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

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