

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



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

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

**GALLERIA NATURALE DI VALICO  
GALLERIA A SINGOLO BINARIO**

**Tratta 6 – WBS GN15X**

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

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

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

Progettazione :								
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Revisione per aggiornamento cartiglio	COCIV	25/05/2017	Di Salvo	25/05/2017	A. Mancarella	25/05/2017	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R

n. Elab.:	File: IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00
-----------	---------------------------------------



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 62</p>

## INDICE

INDICE.....		3
1. INTRODUZIONE.....		5
2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI.....		6
3. MATERIALI IMPIEGATI.....		9
3.1 Gallerie naturali.....		9
4. INQUADRAMENTO DELL'OPERA.....		12
4.1 Note generali.....		12
4.2 Inquadramento geologico-geomorfologico.....		13
4.2.1 Caratteristiche stratigrafico-sedimentologiche delle unità del Bacino Terziario Piemontese interessate dall'opera in progetto.....		16
4.2.2 Formazione di Costa Areama.....		16
4.2.3 Depositi quaternari.....		17
4.3 Condizioni geologiche attese in corrispondenza dell'opera.....		17
4.3.1 Note sulle problematiche superficiali legate alla geomorfologia del Quaternario.....		17
4.4 Inquadramento idrogeologico.....		18
4.4.1 Considerazioni generali.....		18
4.5 Condizioni idrogeologiche attese in corrispondenza dell'opera.....		19
4.6 Sintesi delle problematiche di scavo.....		20
4.7 Inquadramento geotecnico.....		21
4.7.1 Depositi colluviali – Unità L/S.....		25
4.7.2 Marne alterate – Unità FC_alt.....		25
4.7.3 Formazione di Costa Areama.....		26
5. PREVISIONI SUL COMPORTAMENTO DEGLI AMMASSI ROCCIOSI E CRITERI DI CALCOLO.....		27
5.1 Calcolo e determinazione delle categorie di comportamento allo scavo.....		28
6. LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO.....		30
6.1 Definizione delle caratteristiche geologiche-geomeccaniche dell'ammasso.....		32
6.2 Risposta deformativa del fronte e del cavo.....		34
6.3 Fasi esecutive e cadenze di avanzamento.....		35
6.4 Procedura di applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità.....		35
7. DESCRIZIONE DELLE SEZIONI TIPO DI SCAVO E DELLE FASI COSTRUTTIVE		38
7.1 Sezioni tipo B0sb - r.....		38
7.2 Sezione tipo B2sb-r.....		39
7.3 Sezione tipo C2sb-r.....		42

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 4 di 62</span>

7.4	Pre-spritz al fronte e contorno durante la fase di scavo – Funzione e sua applicazione .....	46
8.	<b>ANALISI DEL RISCHIO .....</b>	<b>47</b>
8.1	Analisi dei rischi lungo il tracciato della Galleria di Valico – Tratta 6 .....	48
8.2	Soglie di attenzione e allarme .....	49
8.2.1	Sezione tipo B0sb-r.....	49
8.2.2	Sezione tipo B2sb-r.....	50
8.2.3	Sezione tipo C2sb-r .....	51
8.2.4	Applicazione di una diversa sezione tipo .....	52
9.	<b>TECNOLOGIE ALTERNATIVE E PRESCRIZIONI .....</b>	<b>53</b>
9.1	Campo prova iniezioni al contorno.....	53
9.1.1	Controlli preliminari .....	55
9.1.2	Controlli durante il campo prova .....	56
9.1.3	Controlli finali .....	57
9.1.4	Esame del consolidamento.....	58
9.2	Tecnologie alternative di perforazione .....	58
9.3	Tecnologie alternative per l'armatura dello spritz-beton .....	58
9.4	Armatura del rivestimento definitivo.....	59
9.5	Distanze di getto dei rivestimenti definitivi .....	60
9.6	Caratteristiche minime di resistenza del calcestruzzo in relazione alle fasi operative .....	61
9.7	Tecniche di consolidamento dei fronti di scavo .....	61
9.8	Soglie d'attenzione e d'allarme .....	62
9.9	Criticità .....	62

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00	Foglio 5 di 62

## 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 ferroviaria di Valico a singolo binario - Tratta 6 (WBS GN15X).

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 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 6 di 62</span>

## 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 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 7 di 62</span>

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	
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00	Foglio 8 di 62

### 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
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 9 di 62</span>

### 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> </ul> <p>* 30MPa per sezione tipo C2r sb</p>
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. <math>2 \pm 0.5</math> 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 = <math>\pm 20\%</math> max allungamento</li> <li>- Comportamento al fuoco B2</li> <li>- Resistenza alla pressione dell'acqua a 1 MPa per 10 ore : impermeabile</li> </ul>

<p>Tubi in VTR (caratteristiche del composito)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diametro esterno = 60 mm ad aderenza migliorata</li> <li>- Diametro di perforazione = 100-120 mm</li> <li>- Spessore medio = 10 mm</li> <li>- Densità <math>\geq 1.8</math> t/mc</li> <li>- Res. a trazione <math>\geq 600</math> MPa</li> <li>- Res. a taglio <math>\geq 100</math> MPa</li> <li>- Modulo elastico <math>\geq 30000</math> MPa</li> <li>- Contenuto in vetro <math>\geq 50</math> %</li> <li>- Resistenza a flessione <math>\geq 600</math> MPa</li> <li>- Resistenza allo scoppio <math>\geq 8</math> MPa</li> <li>- Perforazione eseguita a secco</li> </ul>
<p>Miscele cementizie per cementazione a bassa pressione</p>	<p>Cemento 42.5R</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapporto a/c = 0.5-0.7</li> <li>- Fluidificante = 4 % di peso sul cemento</li> <li>- Resistenza a compressione a 48 ore <math>&gt; 5</math> MPa</li> </ul>
<p>Iniezioni di guaina</p>	<p>Cemento R32.5 – R42.5</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapporto a/c <math>\approx 1.5-2</math></li> <li>- Bentonite <math>\approx 5-8</math> % sul peso di cemento</li> <li>- Densità <math>\approx 1.3</math> t/m<sup>3</sup></li> <li>- Rendimento volumetrico <math>\geq 95</math> %</li> <li>- Viscosità Marsh (ugello 4.7 mm) 30-35 sec.</li> </ul>
<p>Iniezione di consolidamento</p>	<p>Cemento R42.5</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cemento a finezza di macinazione non inferiore a 4500 cm/g Blaine</li> <li>- Rapporto a/c <math>\approx 0.4-0.7</math></li> <li>- Bentonite <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
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 11 di 62</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, Tipo CEM III-V, XC2, S4
Calcestruzzo strutturale arco rovescio	C25/30, Tipo CEM III-V, XC2, S3
Magrone di pulizia di sottofondo	Rm ≥ 15 MPa, Tipo CEM I-V

Per le sezioni non armate la classe di esposizione del calcestruzzo è X0.

### 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 Rck 30 Mpa	$\sigma_{amm} = 9.75 \text{ Mpa}$ $\tau_{c0} = 0.60 \text{ Mpa}$ $\tau_{c1} = 1.80 \text{ Mpa}$
Calcestruzzo strutturale non armato Rck 30 Mpa	$\sigma_{amm} = 7.5 \text{ Mpa}$ $\tau_{c0} = 0.60 \text{ Mpa}$

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

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

## 4. INQUADRAMENTO DELL'OPERA

### 4.1 Note generali

L'opera in oggetto rientra nella realizzazione della Linea AV/AC Milano- Genova III Valico ed in particolare della tratta 6 della galleria di Valico; tale tratta si sviluppa tra le progressive pk 27+579 e pk 27+668 circa per una lunghezza di circa 76 m, con coperture che variano da 6 m a 23 m, ed è realizzata mediante scavo tradizionale impiegando una canna a singolo binario di sezione policentrica. In particolare lo scavo collega il pozzo fesa di Cascina Radimero (WBS GA1U) e il Camerone tipo "D" (WBS GN16). Nelle stesse progressive il binario pari è scavato mediante sistema meccanizzato (cfr. WBS GN14V), con interasse tra le canne variabile (da 16m a 20m). In corrispondenza del Camerone tipo D le due gallerie di linea confluiscono in un'unica galleria, prima di uscire in corrispondenza dell'imbocco nord di valico.

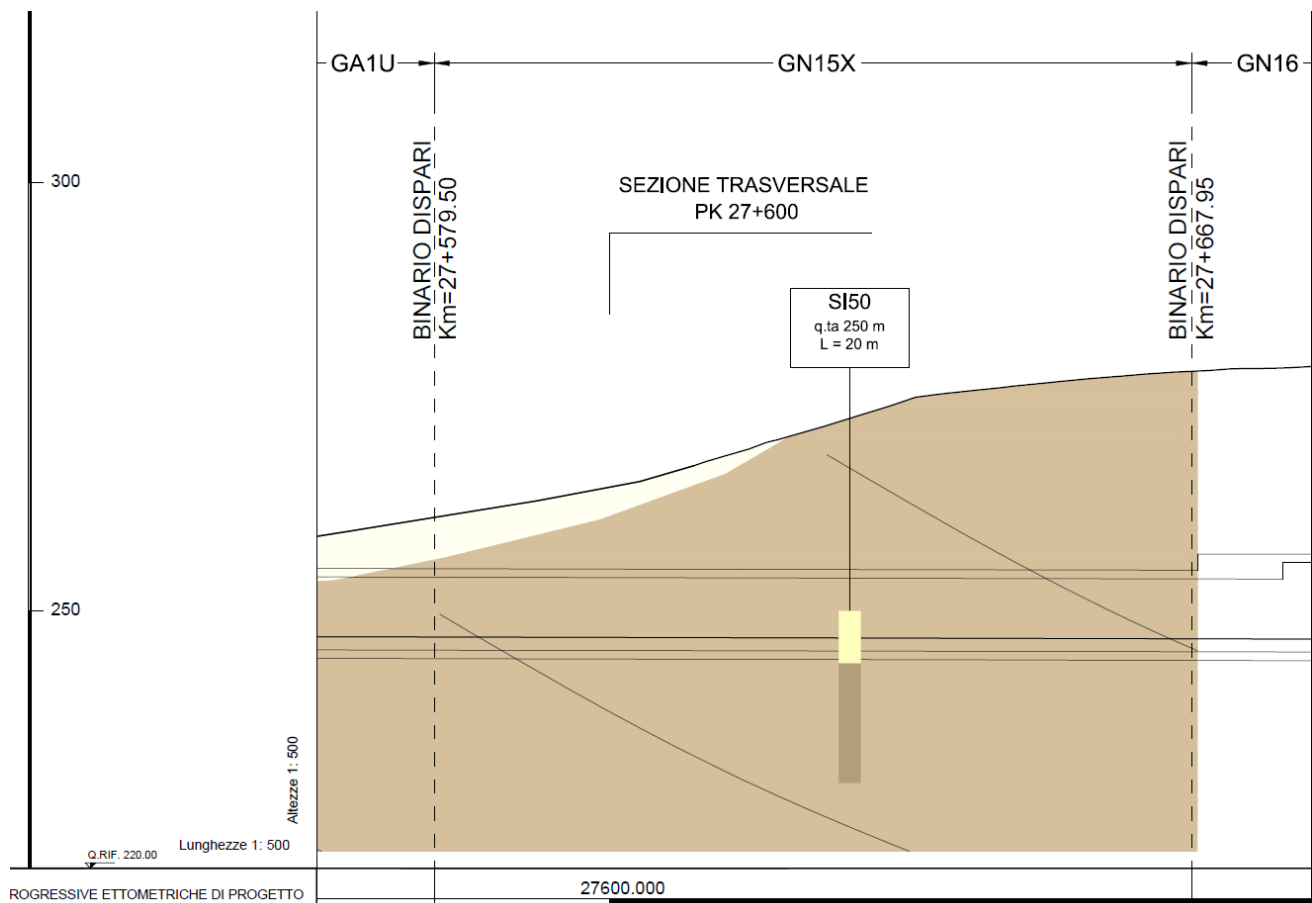


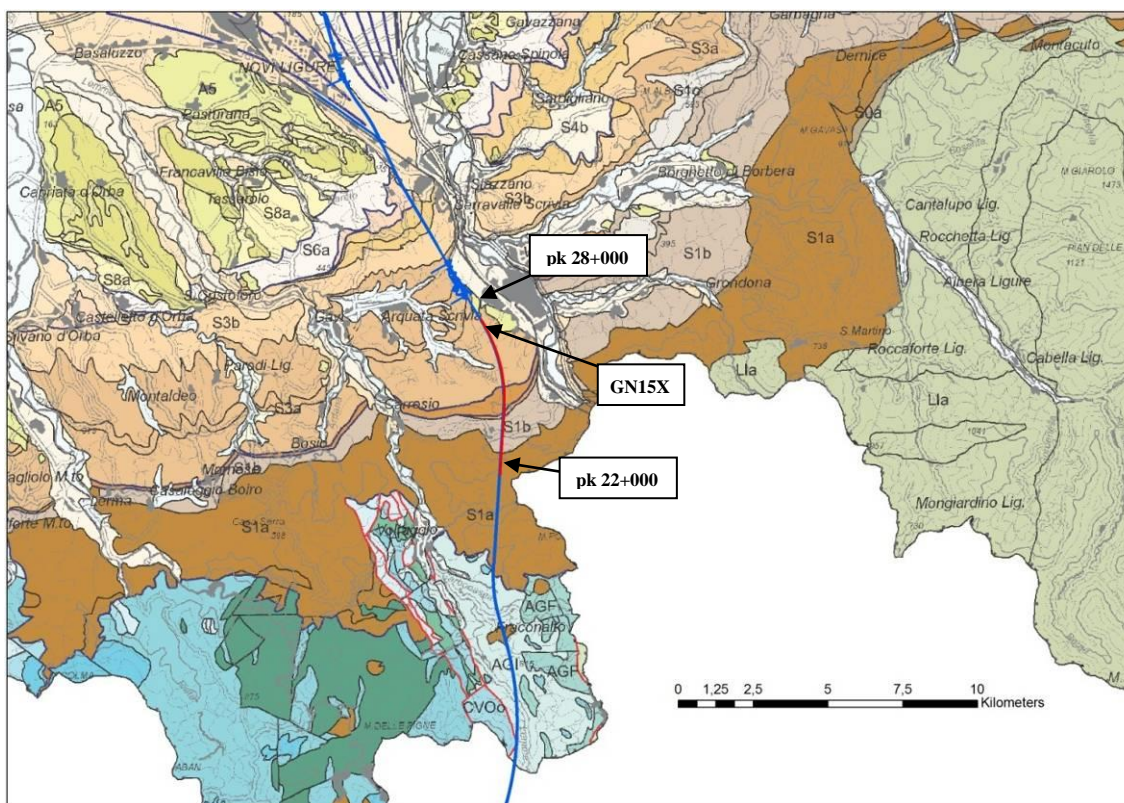
Figura 4-1. Profilo longitudinale

La sezione corrente adottata, per consentire il traffico ferroviario, è caratterizzata da un raggio interno in chiave calotta di 3.75m e da una larghezza massima misurata in intradosso pari a 8.40m.



del “Gruppo di Voltri” Auct. (unità tettonometamorfiche Figogna e Cravasco-Voltaggio; cfr. Foglio 213-230 “Genova” della Carta Geologica d’Italia), mentre a nord, verso la pianura alessandrina, esse sono sormontate dai depositi post-messiniani (Argille di Lugagnano/Argille Azzurre, Sabbie di Asti l.s. e “Villafranchiano” Auct.) e dai depositi alluvionali pleistocenico-olocenici del bacino di Alessandria, rappresentati in questo settore dai depositi del T. Scrivia (Figura 4-3).

Nel seguito verranno descritte le principali caratteristiche geologiche del tratto interessato dallo scavo, funzionali alla caratterizzazione geotecnica in oggetto. Si rimanda alla specifica relazione geologica per un quadro sull’argomento.



**LEGENDA**

**Depositi alluvionali**

A1/A6 depositi fluviali del bacino alessandrino (Pleistocene medio - Attuale)

**Bacino Terziario Piemontese**

S8a Successioni marnoso-siltose zanclane; S6a Successioni terrigene messiniane; S4c Evaporiti e successioni euxiniche messiniane; S4b Corpi arenaceo-conglomeratici tortoniano-messiniani; S4a Successioni marnose tortoniano-messiniane; S3b Successioni arenaceo-pelitiche ed arenacee serravalliano-tortoniane; S3a Successioni arenaceo-pelitiche e marnose burdigaliano-langhiane; S2a Successioni prevalentemente carbonatiche burdigaliane; S1d Depositi silicei aquitaniano-burdigaliani; S1b Successioni marnose rupeliano-aquitaniense; S1c Corpi lenticolari arenaceo-conglomeratici rupeliano-aquitaniense; S1a Successioni arenacee e arenaceo-pelitiche rupeliane.

**Dominio Ligure-Piemontese (unità non metamorfiche) - Flysch ad Helminthoides dell'Appennino**

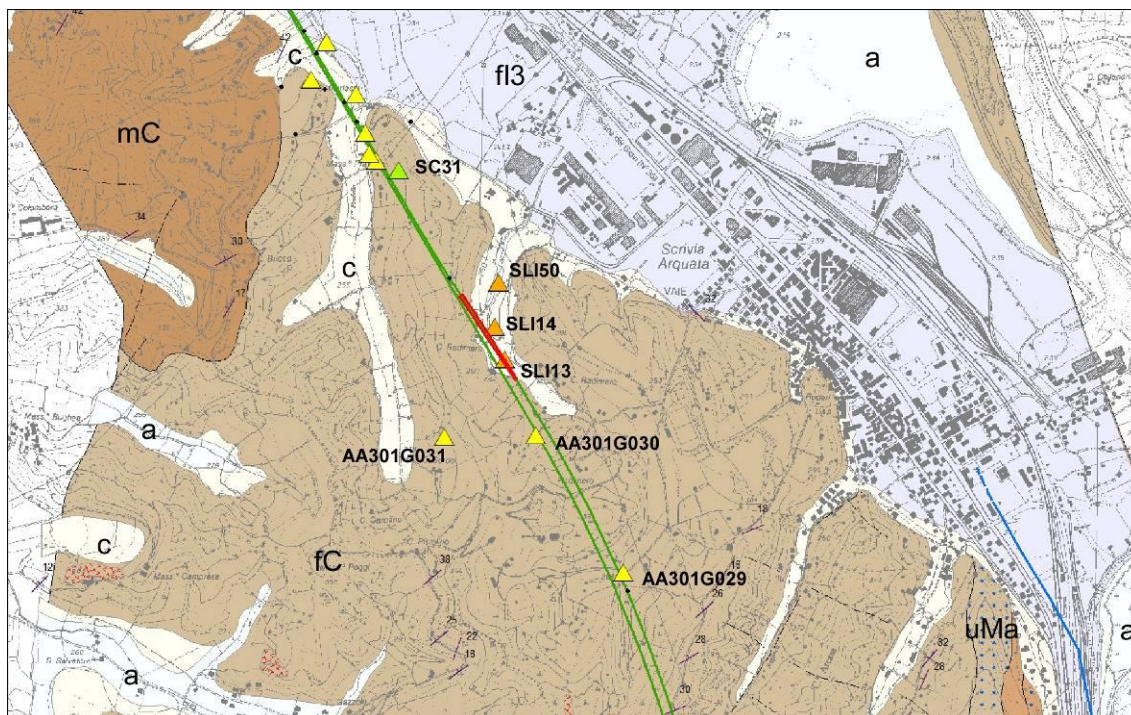
L1a Formazione del M. Antola, Formazione di Bruggi-Selvapiana, Argilliti di Pagliaro (Campaniano-Maastrichtiano p.p.); L1c Flysch di Monte Cassio (Cretacico sup.-Eocene inf.?).

**Zona a scaglie tettoniche - Zona Sestri-Voltaggio**

Unità Figogna: AGI Argilloscisti di Costagiutta (Cretacico inf.); AGF Argilloscisti di Murta (Cretacico inf.).

Unità Cravasco-Voltaggio: CVOo metabasalti e metagabbri (Giurassico medio? - sup.).

**Figura 4-3. Estratto della nuova Carta Geologica del Piemonte in scala 1:250.000 (Piana et al., in prep.) con l'ubicazione del tracciato della linea AV/AC (in blu) e delle tratte in esame**



**Figura 4-4. Carta geologica interpretativa del settore interessato dalla WBS in esame, con ubicazione dei sondaggi ad oggi eseguiti (giallo: sondaggi PP; arancione: sondaggi PE).**

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 16 di 62</span>

#### 4.2.1 *Caratteristiche stratigrafico-sedimentologiche delle unità del Bacino Terziario Piemontese interessate dall'opera in progetto*

Il tratto di linea oggetto del presente rapporto attraversa le successioni rupeliano-langhiane del Bacino Terziario Piemontese; in particolare, dal basso verso l'alto stratigrafico si trovano:

- la formazione di Molare,
- la formazione di Rigoroso,
- la formazione di Costa Montada,
- la formazione di Costa Areasa.

La WBS in progetto attraversa la formazione di Costa Areasa, la cui descrizione, di seguito riportata, è il risultato degli studi di dettaglio condotti in fase di Progetto Esecutivo, nelle aree oggetto d'intervento, implementati con informazioni provenienti dal Progetto Definitivo nonché dai dati presenti in letteratura.

#### 4.2.2 *Formazione di Costa Areasa*

La formazione di Costa Areasa (fC) è costituita da alternanze di strati arenaceo-pelitici, torbiditici e livelli di emipelagiti. Il rapporto arenaria/pelite è  $< 1$ . Le arenarie sono da medie a fini. Gli strati arenacei decimetrici sono interamente laminati con lamine parallele e subordinatamente lamine oblique a piccola scala. Gli strati metrici mostrano gradazione normale alla base e lamine parallele, lamine convolute e/o lamine oblique a piccola scala al tetto; alla base degli strati arenacei sono spesso presenti strutture da carico e gallerie di bioturbazione.

La facies marnoso-calcareo, in livelli spessi da pochi cm a qualche decina di cm, si trova intercalata agli strati pelitico-arenacei sopra descritti. Si tratta di marne calcaree debolmente siltose, compatte, omogenee e con frattura concoide.

La parte superiore della formazione (circa 200 m) è invece essenzialmente costituita da marne e peliti siltose con rare e sottili intercalazioni di arenarie.

La formazione è stata deposta in un ambiente di piana sottomarina, mentre la parte superiore, essenzialmente pelitica, potrebbe rappresentare un ambiente di scarpata non attiva (Ghibaudo et al., 1985).

La formazione, nel complesso raggiunge una potenza di oltre 1000 m e, verso l'alto, diventa sempre più marnosa, passando transizionalmente alle Marne di Cessole. Rispetto alle osservazioni fatte in fase di Progetto Definitivo, nel corso degli approfondimenti condotti in fase esecutiva, all'interno della formazione di Costa Areasa, nella parte basale, è stata ulteriormente distinta un'unità arenitica (fCa).

In base ai dati strutturali raccolti sul terreno in corrispondenza di rari affioramenti, la stratificazione immerge verso NNW di circa  $25^{\circ} \div 45^{\circ}$ . Il substrato è caratterizzato da un grado di fatturazione piuttosto ridotto, come testimoniato dalle stratigrafie di diversi sondaggi a carotaggio eseguiti lungo il tracciato di linea nell'ambito del Progetto Preliminare.



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00</p> <p>Foglio 17 di 62</p>

### 4.2.3 Depositi quaternari

Alla base del versante modellato nella formazione di Costa Areasa sub affiorante, si trovano accumuli di depositi misti detritico-alluvionali, cui si possono localmente associare, lungo l'asse del fondovalle minore su cui si colloca il pozzo fresa di cascina Radimero, dei depositi alluvionali sottili, riferibili al fluviale recente e non distinguibili cartograficamente con precisione.

Si tratta di terreni sciolti a granulometria prevalentemente argilloso-limosa  $\pm$  sabbiosa, formanti accumuli di spessore variabile, generalmente dell'ordine di pochi metri; la potenza massima al piede del versante nell'area considerata è di circa 4-5 m, mentre verso monte lungo il pendio, dove subaffiora il substrato marnoso, arriva a circa 0.5-1 m.

La porzione superficiale del substrato è alterata e parzialmente pedogenizzata a costituire un livello di alterazione di spessore variabile da 1 a 2 m ca. Al di sopra dei depositi quaternari e del substrato subaffiorante è infine presente uno strato di terreno vegetale e agricolo di potenza mediamente inferiore a 0,5 m.

## 4.3 Condizioni geologiche attese in corrispondenza dell'opera

In coerenza con quanto riportato nel profilo geomeccanico, l'intero tratto di scavo della WBS oggetto del presente rapporto attraversa presumibilmente la formazione di Costa Areasa (fC).

Dal punto di vista geologico la criticità principale è rappresentata dalla bassa copertura al di sopra della calotta del tunnel, inoltre dalla possibilità che nella tratta a minore copertura in marne, possa eventualmente essere intercettato il limite di appoggio basale dei depositi detritico-colluviali superficiali, con conseguenti problemi legati alla stabilità della volta e a possibili subsidenze in superficie.

Nel settore di indagine, a causa della diffusa coltre detritico-colluviale, della densa copertura vegetale e delle rielaborazioni agricole, non vi è evidenza diretta della presenza di faglie, anche per l'assenza di marker stratigrafici che permettano di evidenziare eventuali incongruenze geometriche all'interno della formazione. Non si può escludere del tutto la presenza di alcune faglie minori di spessore centimetrico-decimetrico, la cui densità e posizione non è tuttavia definibile.

Il grado di fratturazione può variare da medio a basso, con sviluppo di fratture più nette all'interno dei livelli cementati (arenarie e marne carbonatiche) e di clivaggi di fratturazione pervasivi nei livelli marnosi meno cementati.

### 4.3.1 Note sulle problematiche superficiali legate alla geomorfologia del Quaternario

Dal punto di vista geomorfologico, l'area di studio si colloca al raccordo tra la piana alluvionale terrazzata del T. Scrivia e il versante collinare impostato nel substrato marnoso sub-affiorante del fianco sinistro della Valle Scrivia.

Il raccordo tra il versante e il terrazzo alluvionale principale è caratterizzato dalla presenza di numerosi piccoli conoidi detritico-alluvionali alimentati dal reticolato idrografico secondario, poggianti sulla superficie sub pianeggiante del terrazzo.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 18 di 62</span>

La dinamica di versante è legata prevalentemente all'innescò di piccole frane per colamento dei terreni della coltre detritica superficiale, derivante da un substrato marnoso e caratterizzata quindi da granulometria fine, bassa permeabilità, limitata capacità di drenaggio delle acque di infiltrazione e suscettibilità al dissesto relativamente alta. Sui versanti possono innescarsi limitati fenomeni di soliflusso, colamento lento o, al limite, piccole frane di scivolamento a carico della coltre, innescate da precipitazioni intense e prolungate.

Alla luce delle caratteristiche sopra descritte e data la posizione dell'opera prevista, che si colloca interamente nel sottosuolo, sul lato settentrionale della piccola valle laterale di Cascina Radimero, l'influenza di fenomeni geomorfologici superficiali è da ritenersi di scarsa rilevanza. Il settore considerato è caratterizzato da una morfologia dolce e poco acclive e dall'assenza di fenomeni di instabilità gravitativa profonda che possano andare a interessare la quota del tunnel.

L'area adiacente allo scavo della galleria sarà interamente cantierizzata per la realizzazione del pozzo di C. Radimero, per l'imbocco della fresa; pertanto, l'attuale assetto geomorfologico verrà comunque completamente modificato in fase di esecuzione, su un'area piuttosto ampia; a tutela delle zone di cantiere inerenti la WBS in oggetto, si dovranno quindi adottare soluzioni integrate con quelle prescritte a livello progettuale per l'area del pozzo fresa.

## 4.4 Inquadramento idrogeologico

### 4.4.1 Considerazioni generali

L'opera in progetto è interamente realizzata all'interno del substrato prequaternario, che rappresenta un acquifero dalla produttività e dalla connettività idraulica estremamente limitate.

L'acquifero residente nei depositi quaternari superficiali è confinato, alla base, all'orizzonte superiore del substrato prequaternario più alterato e detensionato, che ha una permeabilità più elevata del substrato indisturbato.

Le differenze a livello litologico tra i depositi fluviali recenti e/o attuali, i terreni della coltre detritica e le marne del substrato permettono di individuare due tipologie di acquiferi:

- acquifero superficiale
- acquifero profondo

L'alimentazione degli acquiferi superficiali e, indirettamente, dell'acquifero del substrato, avviene principalmente per il contributo delle precipitazioni dirette e in minor misura per i flussi idrici orientati da SE a NW all'interno dei terrazzi alluvionali più antichi. Le formazioni del substrato subaffioranti lungo i versanti collinari non possono contribuire se non in minima parte all'alimentazione di questi acquiferi ospitati nei depositi alluvionali, poiché come già sottolineato si tratta di terreni essenzialmente impermeabili.

Le misure piezometriche eseguite nei sondaggi realizzati per il Progetto Esecutivo danno un'idea dell'entità delle oscillazioni piezometriche su scala stagionale: per quanto riguarda il foro SLI13, si

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00
	Foglio 19 di 62

va da una soggiacenza di -4/-5 m dal p.c. nell'autunno 2012, a -2 m ca. nell'inverno 2012/2013, con un'escursione di 2-3 m.

All'assenza totale di falda nel sondaggio SL114 nell'autunno, fa riscontro una falda prossima al p.c. nel periodo invernale.

Si rimanda alla specifica relazione idrogeologica per approfondimenti sulle tipologie di acquiferi menzionate e le caratteristiche dei complessi idrogeologici presenti.

#### 4.5 Condizioni idrogeologiche attese in corrispondenza dell'opera

Data la permeabilità ridotta delle marne della formazione di Costa Areea, non si dovrebbero avere criticità particolari legate a venute d'acqua direttamente provenienti dal substrato prequaternario, in cui si prevedono condizioni di assenza di acqua o, al limite, di umidità.

Tuttavia, un aspetto potenzialmente critico è rappresentato dalla bassa copertura topografica al di sopra della galleria, in particolare tra l'inizio della WBS e la pk 27+610; in questo tratto, la copertura in marne sopra alla calotta è compresa tra 1 e 10 m; le marne sono in contatto con uno strato superficiale di depositi misti detritico-colluviali-alluvionali, che, pur non ospitando una falda di elevato spessore ed estesa arealmente, sono verosimilmente saturi per buona parte dell'anno.

La creazione, al contorno della galleria, di una zona di detensionamento dell'ammasso marnoso, legata allo scavo, potrebbe determinare un incremento sia dello stato di fratturazione, sia dell'apertura delle discontinuità preesistenti (stratificazione o giunti) e la conseguente creazione di un collegamento idraulico tra le marne e i depositi superficiali parzialmente saturi, in particolare nel tratto dove lo spessore in marne sopra alla volta è più ridotto.

Inoltre, la possibilità che la calotta del tunnel intercetti il limite coltre/substrato e che, quindi, la galleria entri parzialmente nei depositi superficiali, per variazioni della morfologia della loro superficie di appoggio basale, costituisce un ulteriore fattore di criticità dal punto di vista sia geologico, sia idrogeologico.

Manifestazioni idriche costituite da stillicidi diffusi e intensi e/o da venute concentrate, potenzialmente associate ad afflusso in galleria di materiale detritico sciolto, potrebbero quindi verificarsi, in assenza di interventi appropriati, soprattutto in corrispondenza del settore a minore copertura e dove i depositi detritici hanno spessore maggiore.

Nella restante parte della tratta considerata, con il progressivo aumento della copertura in marne sopra alla calotta, le manifestazioni idriche andranno progressivamente attenuandosi, dato il basso grado di conducibilità testimoniato dalle prove eseguite in sondaggio.

Il carico idraulico per la tratta in questione, sulla base delle misure eseguite nei piezometri installati nei sondaggi appare legato essenzialmente alla circolazione all'interno dei depositi detritico-colluviali superficiali, che colmano il fondo della piccola valle laterale di Cascina Radimero, attraversata dall'asse di linea.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 20 di 62</span>

In base ai dati di sondaggio si stima che il carico idraulico riferito alla quota dell'arco rovescio possa arrivare a 20 m ca. (10 m ca. dalla calotta). All'interno della formazione marnosa il carico idraulico è virtualmente assente, data la sua permeabilità molto bassa; in presenza di discontinuità idraulicamente conduttive che mettano in connessione la galleria con i depositi quaternari, il carico può essere stimato nell'ordine di 20-25 m.

In dettaglio, i carichi idraulici attesi sono:

- da 0 a 10 m, tra la pk 27+579.51 (inizio WBS) e la pk 27+610;
- da 10 a 30 m, , tra la pk 27+610 e la pk 27+668.60 (termine WBS)

Per quanto riguarda gli afflussi attesi in galleria, le portate massime transitorie stimate sono ipotizzate inferiori a 0.16 l/s/10 m, con un possibile aumento fino a 0.4 l/s/10 m in presenza di livelli meno cementati e/o fratturati.

Data la presenza di una copertura topografica molto bassa, si ipotizza la possibilità di afflussi elevati in presenza di eventuali settori detensionati generati dalla zona di plasticizzazione al contorno dello scavo. Non si escludono quindi portate localmente fino a 2 l/s/10 m, nel caso che si instauri una connessione idraulica significativa tra galleria e alluvioni quaternarie lungo la zona plastica al contorno del cavo, o nel caso in cui dovesse venire intercettata dallo scavo la superficie di appoggio basale dei depositi alluvionali.

Per quanto riguarda le interferenze con le risorse idriche, dalla relazione idrogeologica si evince che, data la distanza e la posizione dei pozzi censiti rispetto all'opera, è poco probabile un'interferenza significativa tra questa e le captazioni domestiche esistenti, a meno che non si instauri una comunicazione idraulica diffusa tra depositi quaternari e zona detensionata al contorno della galleria. Si ritiene peraltro di poter escludere la presenza nel substrato di una circolazione idrogeologica profonda.

#### 4.6 Sintesi delle problematiche di scavo

Le problematiche di scavo saranno legate essenzialmente alle condizioni di stabilità a breve termine nei tratti a minore copertura e al potenziale innesco di fenomeni di subsidenza della superficie, con possibile ingresso di acqua in galleria proveniente dai depositi quaternari che colmano la vallecchia di Cascina Radimero.

I problemi di stabilità in calotta potrebbero ulteriormente aggravarsi qualora dovesse essere intercettata l'interfaccia tra substrato e depositi detritico-colluviali saturi.

I potenziali problemi di stabilità si accompagnano ad analoghe criticità dal punto di vista idrogeologico, determinate dagli stessi fenomeni sopra citati.

Per la fase costruttiva è quindi opportuno prevedere la presenza di una falda idrica all'interno dei depositi superficiali, che dovrebbe avere come base l'interfaccia con il substrato marnoso, o al limite con la base dello strato di alterazione delle marne stesse.

Gli scavi dovranno quindi essere drenati e/o impermeabilizzati per tutta la parte impostata nei terreni alluvionali e detritici e per i primi metri del substrato prequaternario più alterato. È da

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 21 di 62</span>

prevedere inoltre che nel periodo invernale la falda possa portarsi fino in prossimità della superficie topografica.

#### 4.7 Inquadramento geotecnico

Per la descrizione geotecnica dei terreni interagenti con le opere in esame lungo il tracciato si sono presi a riferimento tutti i dati della campagna di indagine geognostica riportati in Tabella 4-1. In particolare sono stati presi in esame i risultati delle indagini riguardanti tutti i dati in possesso sulle formazioni in esame, per poi particolarizzare la caratterizzazione focalizzandosi sui sondaggi eseguiti nella sola area di progetto. Si riportano di seguito il profilo stratigrafico della zona di interesse e la pianta con l'ubicazione delle indagini.

Come descritto in precedenza, il sottosuolo nella zona di progetto è composto da un substrato marnoso (Formazione di Costa Areasa), ricoperto da un deposito detritico-colluviale lungo il pendio.

Nella zona di interesse lo spessore dei depositi, presente sul substrato roccioso e visibile nei sondaggi SI50, SLI13 e SLI14 presenta uno spessore variabile fino a circa 8 m, ed è principalmente formata da terreno torboso di ricoprimento e limo, generalmente sabbioso/argilloso.

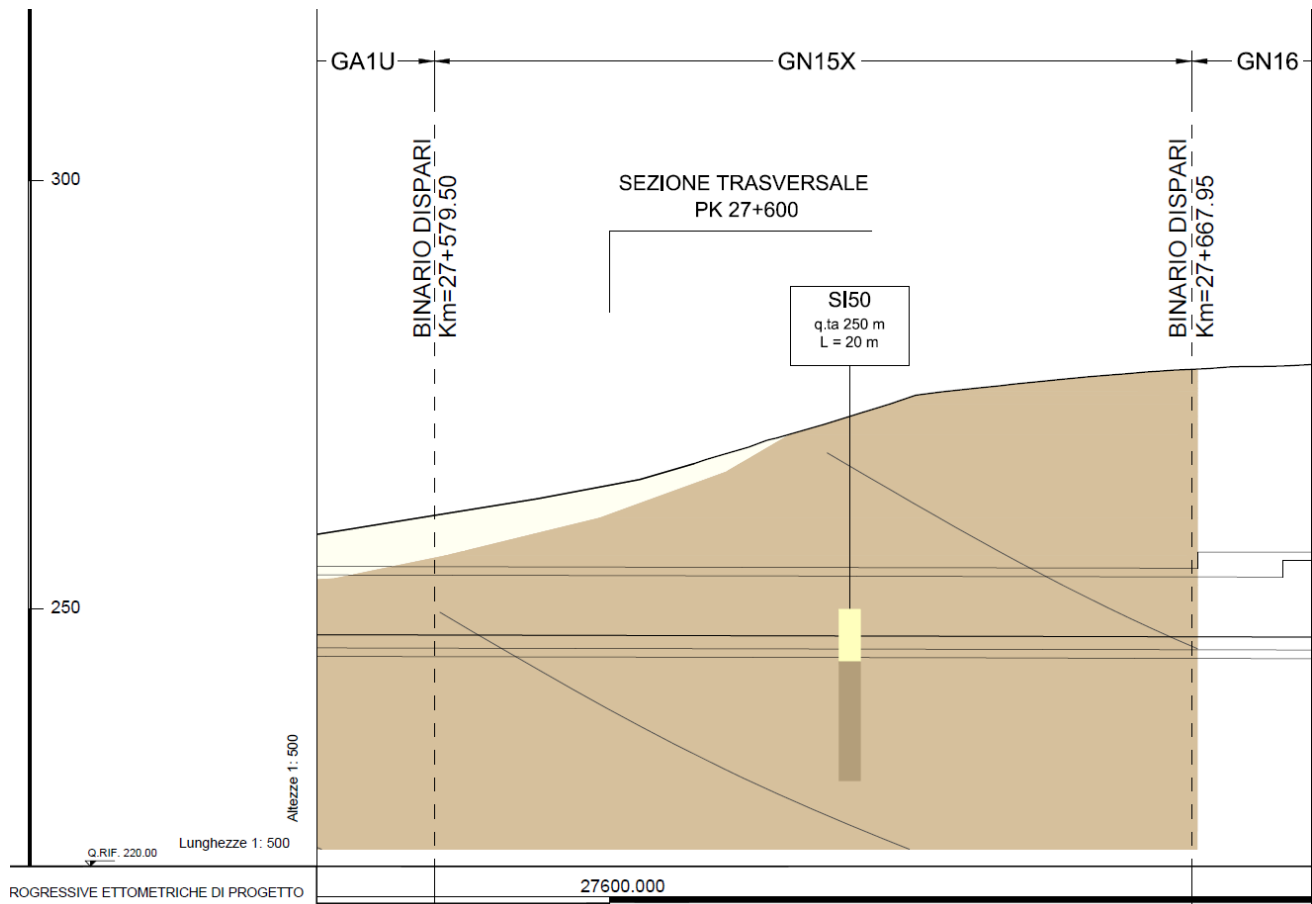
Il substrato è composto dalle Marne di Costa Areasa e presenta una prima fascia alterata, con caratteristiche meccaniche più scadenti, per poi diventare più compatto e strutturato. In particolare, si può considerare un miglioramento delle caratteristiche della roccia dai 15÷20 m di profondità da piano campagna.


La determinazione della posizione e della potenza degli strati lungo la tratta è stata valutata correlando i sondaggi stratigrafici con i risultati delle prove geofisiche, per le quali si rimanda alla relazione geotecnica.


Le unità geotecniche interessate dall'opera in esame sono pertanto distinte in:

- Unità L/S (deposito detritico-colluviale): deposito in prevalenza sabbioso/limoso; unità geotecnica di tipo incoerente.
- Unità FC (Formazione di Costa Areasa): substrato marnoso, inizialmente alterato.


Sono di seguito descritte dette unità in conformità a quanto definito in relazione geotecnica, alla quale si rimanda per la definizione dei range di parametri caratterizzanti.

**LEGENDA****DEPOSITI QUATERNARI**

 Coltre detritico-colluviale (c).

 Depositi alluvionali attuali e recenti indifferenziati (fi), localmente interdigitati, al piede dei versanti, con depositi detritico-alluvionali.  
*Limi sabbiosi e sabbioso-argillosi con ciottoli.*


**BASAMENTO PREQUATERNARIO****Bacino Terziario Piemontese**

 Formazione di Costa Aresaa (fC) (Burdigaliano-Langhiano).  
*Alternanze regolari di strati torbiditici pelitico-arenacei con prevalenza della frazione pelitica (spessore medio 1,5 m) e di marne calcaree, debolmente siltose, in strati di spessore centimetrico-decimetrico (probabili depositi di piana sottomarina).*

**Altri simboli**

 Limiti litostratigrafici.

 Traccia della stratificazione.  
*(nota: la sezione ha un rapporto di scala verticale/orizzontale 2/1; la giacitura della stratificazione appare quindi più inclinata del valore reale)*

 Fascia di alterazione/fratturazione superficiale, all'interfaccia substrato-copertura.

**Figura 4-5 – Stralcio del profilo stratigrafico**

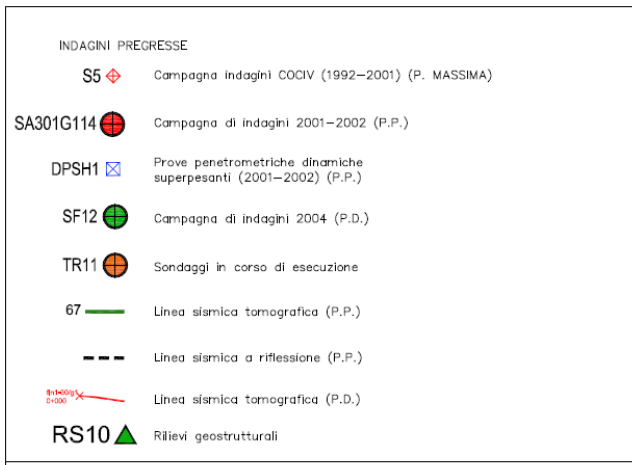
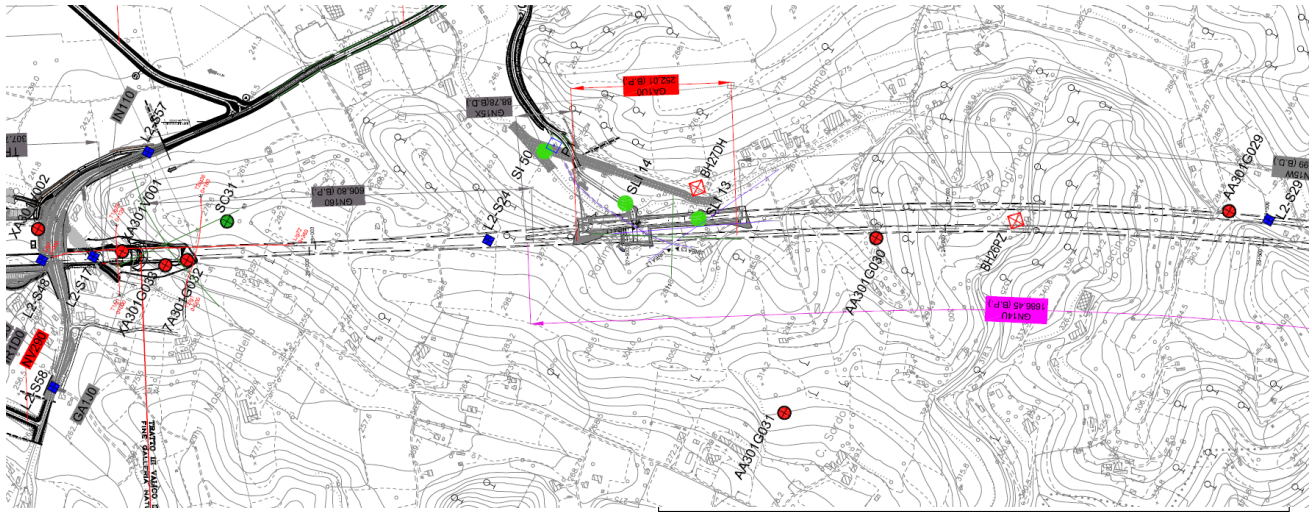


Figura 4-6 – Stralcio planimetria indagini

FASE	SONDAGGI	PROVE DI LABORATORIO		PROVE DI LABORATORIO ROCCE		PROVE IN SITO		
		TERRE	ROCCE	Prop. fisiche	Compress. monoassiale	NSPT	DILATOM.	PERMEABILITA'
PP	XA301V001			X	X			X
PP	XA301V002			X	X			X
PP	7A301G032			X	X			
PP	AA301G029			X	X			
PP	AA301G030			X	X			
PP	AA301G031			X	X			
PP	SA301G028			X	X			
PP	XA301G033			X	X			
PD	SC31					X	X	X
PE	SLI13			X	X	X	X	X
PE	SLI14			X	X		X	X
PE	SI50			X	X			

Tabella 4-1 – Indagini eseguite nelle diverse fasi progettuali sulle marne di Costa Aresa



Figura 4-7. Materiale di deposito SLI13



Figura 4-8 – Passaggio di versante depositi-substrato alterato – SLI13



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00	Foglio 25 di 62



**Figura 4-9 – Substrato marnoso – SLI13**

#### 4.7.1 Depositi colluviali – Unità L/S

Per la coltre colluviale presente sul versante non si dispone di prove, pertanto, considerando anche l'esiguo spessore del deposito, si prendono in considerazione i parametri di caratterizzazione in terreni simili nella zona di Serravalle.

Le stratigrafie (SI43, AA301G034, 7A301G035, SI42) e le prove penetrometriche PP8S e PP9S mostrano come i terreni che formano il deposito colluviale ai piedi dei versanti sono per lo più sabbie fini limose poco addensate e limi sabbiosi, inorganici e di media compressibilità e plasticità.

I parametri di resistenza e di deformabilità per questa unità sono stati ricavati dalle correlazioni con i risultati delle prove penetrometriche, mostrando una variabilità minima negli strati superficiali e un aumento discreto a profondità maggiori, dove il materiale inizia ad essere maggiormente addensato.

Per i terreni caratterizzanti l'area in esame non si considerano validi i risultati di prove a profondità maggiori di 5 m.

#### 4.7.2 Marne alterate – Unità FC\_alt

L'evidenza delle cassette stratigrafiche, comprovata dalle velocità più basse nei primi metri di substrato misurate con le indagini geofisiche, mostra la presenza di uno strato alterato della formazione di Costa Areasa. Nel passaggio tra deposito e substrato roccioso sono anche disponibili alcuni valori di numero di colpi, che mostrano come si passi da valori relativamente bassi a valori di rifiuto, il che porta a definire la presenza di uno strato di materiale certamente consistente ma che si

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 26 di 62</span>

presenta in generale molto alterato. Non si ritiene però affidabile la caratterizzazione di questo strato attraverso le correlazioni con le prove penetrometriche, oltretutto non proprio in prossimità dell'opera in esame e certamente non in numero consistente; si ritiene più corretto prendere, come valori di progetto per lo strato più alterato del substrato roccioso, i valori minimi negli intervalli riportati nella successiva caratterizzazione delle marne.

#### 4.7.3 Formazione di Costa Areea

La formazione di Costa Areea è costituita in prevalenza da argilliti e marne; per la suddivisione tra la parte più profonda, compatta e litoide, e gli strati superficiali, mediamente e molto alterati, si è fatto riferimento non solo ai sondaggi e alla visione delle cassette, ma anche all'interpretazione degli stendimenti geofisici. Dai risultati di quest'ultime, riportate e descritte in relazione geotecnica, si notano velocità delle onde di compressione che caratterizzano substrati rocciosi ( $V_P > 2000 \text{ m/s}$ ) solamente dopo 15-20 m di profondità dal piano campagna, mentre le velocità degli strati più superficiali, che i sondaggi indicano come già substrato marnoso, si attestano tra i 1000 e i 1500 m/s, indicando un'alterazione dell'ammasso che peraltro era da attendersi. Tutto ciò trova riscontro dalle prove di laboratorio, dai log stratigrafici e dalle parametrizzazioni riportate nelle relazioni di Progetto Definitivo.

Sulla base dei sondaggi stratigrafici, della visione delle cassette catalogatrici e dei risultati di laboratorio, si riconoscono per il substrato in esame tre differenti livelli con caratteristiche geotecniche differenti:

- sotto-unità FC1: substrato compatto (fC)
- sotto-unità FC2: substrato moderatamente alterato
- sotto-unità FC3: substrato significativamente alterato

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 27 di 62</span>

## 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)

In presenza di fronte di scavo stabile lo stato tensionale al contorno della cavità in prossimità del fronte si mantiene in campo prevalentemente elastico e i fenomeni deformativi osservabili sono di

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00
	Foglio 28 di 62

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 l'effetto arco capace di far evolvere la situazione verso configurazioni di equilibrio stabile nel breve termine e, con l'aggiunta del rivestimento definitivo, anche nel lungo termine.

## **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 la variabilità dei ricoprimenti e della sezione di scavo.

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00</p>	<p>Foglio 29 di 62</p>

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

- Analisi di stabilità del fronte (metodi di analisi empirici in forma chiusa);
- Analisi agli elementi finiti 2D

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 30 di 62</span>

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

Come illustrato nei precedenti capitoli, il progetto della galleria naturale, è stato sviluppato attraverso:

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

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

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

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 31 di 62</p>

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 32 di 62</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 poichè le scelte progettuali sono state fatte tenendo conto di un insieme di elementi, illustrati nello sviluppo di tutto il progetto, più significativi del solo parametro deformativo; codesti valori servono soltanto a fornire indicazioni sul campo dei valori deformativi più probabili per le sezioni già indicate in progetto.

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

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

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

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

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

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

## 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



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 33 di 62</p>

di suddividere in gruppi i parametri geotecnici/geomeccanici ove possibile e/o significativo. Ciò consente di ipotizzare un susseguirsi discontinuo di comportamento allo scavo legato ad una serie di fattori difficilmente correlabili tra loro.

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

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

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

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 34 di 62</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, 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:

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

dove:

$\delta_0$  = deformazione iniziale al fronte e non misurabile in galleria;

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 35 di 62</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 dove 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. Tale procedura viene effettuata al fine di correlare l'andamento delle deformazioni con le fasi lavorative.

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

### 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).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 36 di 62</span>

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

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

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

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

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

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

- caratteristiche geologiche e geostrutturali dell'ammasso,
- caratteristiche geomeccaniche e idrogeologiche dell'ammasso,
- stato tensionale agente,

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <div style="float: right;">Foglio 37 di 62</div>

- possibili disturbi di natura tettonica

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 38 di 62</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 di Valico – Tratta 6 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 B0sb - r

La sezione tipo B0sb - r, 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 metallici accoppiati di tipo IPN 160 passo  $p = 1.4$  m;
- impermeabilizzazione tipo "0" o "1" o "2"
- 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 al § 8.

#### 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 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00
	Foglio 39 di 62

### 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 accoppiate IPN160 passo 1.40m e da uno strato di spritz-beton di spessore 20 cm, armato con rete elettrosaldada ( $\varnothing 6$  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;

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 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 Sezione tipo B2sb-r

La sezione tipo B2sb-r, 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° 45 tubi in VTR,  $L \geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 9$  m;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 40 di 62</span>

- prerivestimento composto da uno spessore di 25 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine metalliche accoppiate di tipo IPN180 con passo  $p = 1.20$  m;
- impermeabilizzazione tipo "0" o "1" o "2"
- 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 al § 8.

### 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.

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° 45 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  $\phi \geq 100$  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.



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 41 di 62</span>

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 1.20m, 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 accoppiate di tipo IPN180 passo 1.20m e da uno strato di spritz-beton di spessore 25 cm, armato con rete elettrosaldata 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 42 di 62</span>

## FASE 7: getto rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo di calotta seguirà il fronte ad una distanza non superiore a  $9 \varnothing$ . 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;
- 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.

### 7.3 Sezione tipo C2sb-r

Interventi previsti

La sezione tipo C2sb-r 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) ;
- prerinvestimento composto da uno strato di 25 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, e centine metalliche accoppiate tipo IPN 200, a passo 1 m;
- preconsolidamento al contorno realizzato mediante 40 tubi in VTR valvolati,  $L \geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 9.0$  m ;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 43 di 62</span>

- preconsolidamento al piede centina mediante 6+6 tubi in VTR valvolati,  $L \geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 9.0$  m ;
- preconsolidamento del fronte realizzato mediante la posa in opera di n° 40 tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie ,  $L \geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 9$  m ;
- impermeabilizzazione tipo “0” o “1” o “2”
- 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 al § 8.

### 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.

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 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 40 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;

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 44 di 62</span>

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: preconsolidamento al contorno del cavo

Dal fronte di scavo, si realizza un arco di terreno consolidato mediante la posa in opera di n° 40 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 verrà eseguito attraverso la posa in opera di n° 6 + 6 tubi in VTR valvolati, aventi lunghezza minima di 24.00 m e sovrapposizione  $\geq 9$  m.

Esecuzione del preconsolidamento al contorno con le seguenti modalità:

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

### FASE 4: esecuzione scavo

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 accoppiate IPN 200 passo 1.00 m e da uno strato di spritz-beton, di spessore pari a 25 cm fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 45 di 62</span>

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

Il getto dell'arco rovescio e delle murette dovrà avvenire entro  $3\emptyset$  dal fronte di scavo. Tale operazione dovrà essere eseguita in seguito al 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 (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 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 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 46 di 62</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.

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 47 di 62</span>

## 8. 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 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 48 di 62</span>

## 8.1 Analisi dei rischi lungo il tracciato della Galleria di Valico – Tratta 6

La galleria naturale in oggetto si sviluppa all'interno della Formazione di Costa Areea (fC) dove sono presenti alternanze di strati arenaceo-pellitici e di marne calcaree. La presenza di condizioni di forte asimmetria, a causa dell'inclinazione del pendio in particolare nella prima tratta verso il Pozzo Radimero, di basse coperture e di terreni con scarse caratteristiche meccaniche sono le cause principali dei rischi per lo scavo della Galleria di Valico- tratta 6.

In particolare:

Instabilità del fronte e/o del cavo: i fenomeni di instabilità del fronte dello scavo sono legati, oltre che alle scarse caratteristiche meccaniche dei terreni in sito, alle basse coperture presenti sulla tratta: da ricoprimenti dell'ordine del metro con presenza di coltre superficiale si passa nella zona terminale (pk 27+667 circa) a coperture di un paio di diametri. Le analisi con i metodi empirici hanno mostrato che solo la presenza alle massime coperture di terreni classificabili come fC2, dotati di caratteristiche meccaniche ricadenti nella fascia superiore del range indicato nella caratterizzazione geomeccanica, possono assicurare accettabili condizioni di stabilità.

Carico idraulico: sulla base di quanto riportato nell'inquadramento idrogeologico e nel profilo geomeccanico si ritiene per il contesto maggiormente alterato (FC3) che le permeabilità siano tali da consentire circolazioni d'acqua e perciò è necessario adottare appositi drenaggi e considerare il carico idraulico agente a lungo termine; all'interno del materiale meno alterato, laddove le permeabilità sono più ridotte, si ritiene invece plausibile un comportamento non drenato allo scavo ma comunque la possibilità di avere un carico idraulico agente sui rivestimenti a lungo termine.

Venute d'acqua concentrate: si prevede la possibilità di venute d'acqua concentrate nella parte iniziale della tratta che, se non adeguatamente gestite, possono portare anche a fenomeni di instabilità diffusa del cavo.

Fronte misto: nella prima parte della tratta, dove le coperture in calotta si aggirano tra i 5 e i 10 m, si ritiene possibile l'intercettazione dei depositi superficiali in calotta;

Deformazioni d'ammasso: a causa delle condizioni di simmetria e delle modeste proprietà del mezzo attraversato (probabile intercettazione del tetto tra substrato alterato e deposito terrigeno) potranno verificarsi deformazioni del cavo di entità non trascurabile Tali fattori concorreranno a generare una distribuzione degli spostamenti al contorno del cavo non uniforme e sarà necessario realizzare sovrascavi, oltre ad appositi interventi da applicarsi (ponderata scelta della sezione tipo).



## 8.2 Soglie di attenzione e allarme

GALLERIA VALICO SINGOLO BINARIO - 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)
FC2	B0sb-r	2-4	4-6	-	-
FC2-FC3	B2sb-r	3-5	5-7	<3	<5
FC3	C2sb-r	5-6	<8	3-5	5-7

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

### 8.2.1 Sezione tipo B0sb-r

#### Campo di applicazione

La sezione di tipo B0sb-r si applica nelle formazioni di Costa Aresca con terreni dotati delle caratteristiche meccaniche ricadenti nei valori massimi del range indicato per la FC2 e coperture di almeno 2 diametri.

La risposta deformativa del cavo evolve verso convergenze che si attestano sui valori minimi registrati (< 3 cm).

#### Variabilità

		MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
B0sb-R	CENTINE (ZIPN)	160	160	160						
	PASSO CENTINE (M)	1,5	1,4	1,2						
	SPESSORE SB (CM)	15	20	25						
	DISTANZA MAX GETTO MURETTE	7Ø	5Ø	3Ø						
	DISTANZA MAX GETTO A.R.	12Ø	9Ø	6Ø						
	DISTANZA MAX GETTO CALOTTA	15Ø	12Ø	9Ø						

La variabilità della sezione è descritta in tabella.

Qualora, in corrispondenza delle tratte ove si prevede l'applicazione della sezione tipo B0sb-r dai rilievi geostrukturali del fronte di scavo risultasse un ammasso caratterizzato da valori delle caratteristiche meccaniche che si collocano attorno ai valori massimi nel range individuato, è

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 50 di 62</span>

possibile variare l'intensità degli interventi posizionandosi nella zona inferiore della fascia di variabilità prevista (vedi Tabella), prevedendo l'aumento del passo centine a 1.40m.

Nel caso opposto, ci si posizionerà nella zona superiore della fascia di variabilità prevista. In tali contesti dovranno essere previsti interventi di supporto di prima fase di maggiore rigidità (aumento delle centine e del rivestimento in spritz beton) al fine di limitare l'estensione della fascia plastica.

### 8.2.2 Sezione tipo B2sb-r

#### Campo di applicazione

La sezione di tipo B2sb-r si applica nella formazione di Costa Areaa nelle zone in cui si riscontri la presenza di terreni con caratteristiche di resistenza e deformabilità prossime ai valori medi di quelli indicati per la formazione tipo fC2 e coperture comprese tra 1 e 2 diametri.

Le analisi con i metodi empirici hanno evidenziato in queste condizioni un comportamento del fronte di tipo instabile e pertanto saranno predisposti opportuni interventi di consolidamento. L'avanzamento avviene regolarmente con mezzi meccanici. La risposta deformativa del cavo evolve verso convergenze che si attestano sui 4 cm.

#### Variabilità

		MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
B2sb-R	CENTINE (21PN)				180	180	180			
	PASSO CENTINE (M)				1,4	1,2	1			
	SPESORE SB (CM)				20	25	30			
	CONSOLIDAMENTO FRONTE (N°)				30	45	60			
	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				

La variabilità della sezione è descritta in tabella.

L'intensità del consolidamento al fronte è direttamente collegabile al grado di cementazione mostrato dalla formazione. La variazione degli interventi potrà essere effettuata spostandosi rispettivamente verso i valori minimi o massimi a seconda che si incontrino durante gli scavi terreni con caratteristiche meccaniche ricadenti nella fascia superiore o inferiore del range indicato per la formazione di Costa Areaa – fC2.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 51 di 62</span>

### 8.2.3 Sezione tipo C2sb-r

#### Campo di applicazione

La sezione di tipo C2sb-r si applica nella formazione di Costa Areea nelle zone in cui si riscontri la presenza di terreni con caratteristiche di resistenza e deformabilità indicati per la formazione tipo fC3 e coperture di circa 1 diametro (o inferiori al diametro).

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 e sistematici interventi di consolidamento al fronte. Lo scavo avviene con mezzi meccanici. La risposta deformativa del cavo è strettamente connessa alla forte asimmetria, che porta il cavo a deformarsi molto dal lato di monte e lievemente al lato di valle; le convergenze pertanto si attestano a valori massimi di circa 7 cm, e si ritiene necessaria 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

		MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
C2SB-R	CENTINE (2IPN)							200	200	200
	PASSO CENTINE (M)							1,2	1	0,8
	SPESSORE SB (CM)							20	25	30
	CONSOLIDAMENTO FRONTE (N°)							30	40	60
	CONSOLIDAMENTO FRONTE L (M)							24	24	24
	CONSOLIDAMENTO FRONTE SOVR. (M)							6	9	12
	CONSOLIDAMENTO CONTORNO (N°)							30	40	60
	CONSOLIDAMENTO CONTORNO L (M)							24	24	24
	CONSOLIDAMENTO CONTORNO SOVR. (M)							6	9	12
	DISTANZA MAX GETTO MURETTE							30	30	20
	DISTANZA MAX GETTO A.R.							50	50	30
	DISTANZA MAX GETTO CALOTTA							90	90	50

La variabilità della sezione è riportata in tabella.

L'intensità del consolidamento al fronte è direttamente collegabile al grado di cementazione mostrato dalla formazione. La variazione degli interventi potrà essere effettuata spostandosi rispettivamente verso i valori minimi o massimi a seconda che si incontrino durante gli scavi terreni con caratteristiche meccaniche ricadenti nella fascia superiore o inferiore del range indicato per la formazione di Costa Areea - fC3.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <div style="float: right;">Foglio 52 di 62</div>

#### 8.2.4 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.

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

In generale il passaggio da una sezione tipo ad un'altra potrà avvenire in modo graduale: il progettista potrà adottare dei criteri flessibili di variazione della specifica sezione, ottimizzando gli elementi previsti, al fine di garantire sia la continuità e la sicurezza delle lavorazioni in cantiere sia il mantenimento del livello prestazionale dell' opera.

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

## 9. TECNOLOGIE ALTERNATIVE E PRESCRIZIONI

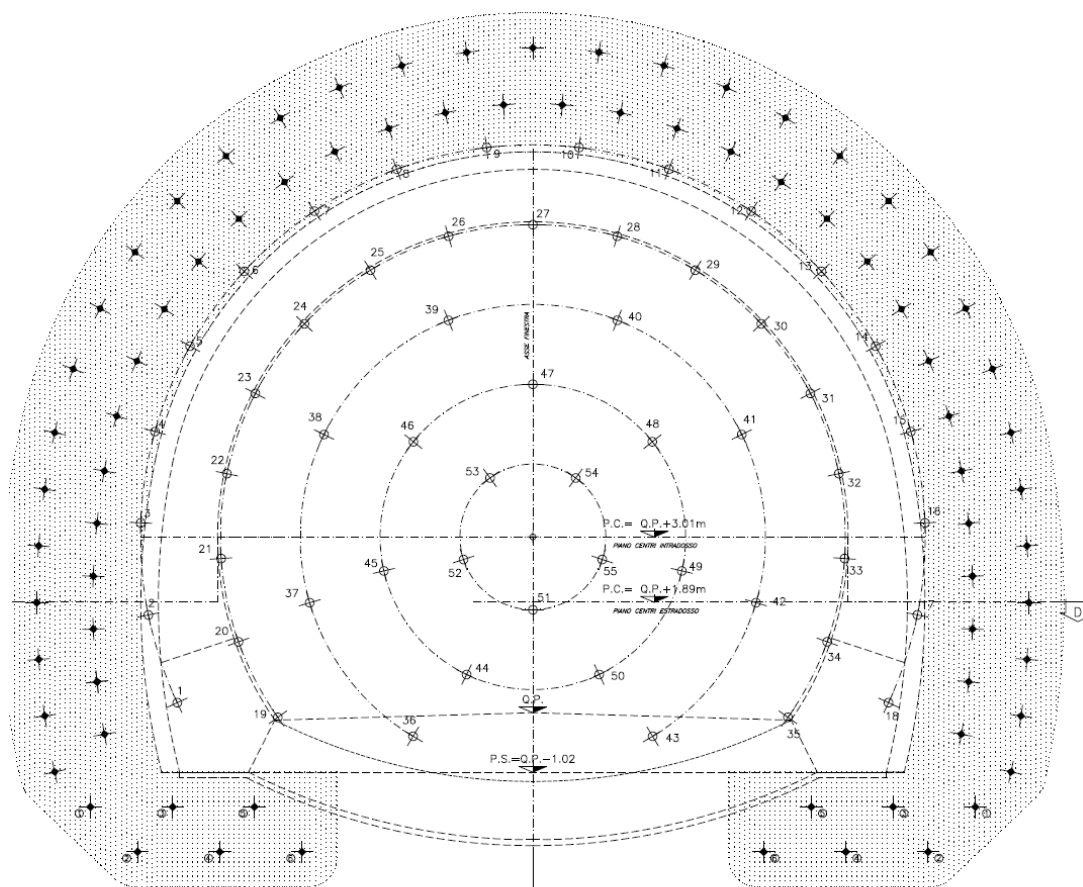
### 9.1 Campo prova iniezioni al contorno

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 evidenzi anomalie geologiche e/o geostrutturali rispetto alla condizione iniziale di prova.



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 54 di 62</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 si riportano le condizioni presenti lungo il tracciato.

Con riferimento all'applicazione della sezione tipo C2sb-r si considera la Formazioni di Costa Areaa relativa alle zone alterate, attese nei primi metri al di sotto dei depositi, contraddistinti da RQD inferiori al 40%; è molto probabile che le stesse consolidazioni intercettino la parte basale dei depositi superficiali.

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

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

Il programma di controllo prevede sinteticamente:

Controlli preliminari; da condursi prima dell'intervento di consolidamento che riguardano in particolare le caratteristiche minime delle miscele da impiegare.

Controlli durante il campo prova: da eseguire all'interno dell'area da consolidare con lo scopo di tarare i parametri pre-definiti e calibrare l'esatta entità del volume da consolidare oltre all'efficacia dell'intervento di consolidamento.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 55 di 62</span>

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>

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:  $1.45 \div 1.61 \text{ g/cm}^3$ );

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 56 di 62</span>

- 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:  $R_{ck} > 2.5$  MPa a 28gg).

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

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

Circa la prova di pressofiltrazione, essa è volta alla verifica della stabilità della miscela costituendo quindi un ulteriore controllo della resa volumetrica. In genere la prova viene condotta su fanghi bentonitici mentre risulta essere meno frequente su miscele binarie. Si propone, come effettuato dagli Scriventi in altri Cantieri, di eseguire la prova “una tantum” durante lo svolgimento dei lavori (ad esempio durante l’esecuzione del campo prova) su campioni scelti dalla D.L., così da verificare che i controlli effettuati mediante resa volumetrica garantiscano l’impiego di una miscela stabile.

La prova consiste nel misurare, mediante pressofiltra standard posta alla pressione normalizzata di 700 kPa (7 atm), il volume d’acqua filtrata dopo un tempo prestabilito; nel caso di miscela “non stabile” si osserva che la quasi totalità dell’acqua presente nella miscela filtra dopo pochi minuti. Diversamente il volume filtrato dopo 30 minuti risulta dell’ordine del 35-45% del volume testato (da verificare in funzione della composizione della miscela).

### 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
- acqua libera

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

- viscosità
- peso specifico
- tempo di presa



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00	Foglio 57 di 62

- 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 confrontarle con quelle dei terreni adiacenti non interessati dal consolidamento. La determinazione avverrà per via indiretta mediante indagine tomografica con metodo sismico.

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 58 di 62</span>

#### 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.

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).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 59 di 62</span>

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 che prevedono l'intervento di consolidamento al contorno (C2sb-r), dove è richiesto 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. Generalmente tali condizioni si possono verificare:

- 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);
- Nelle zone dove si verifica generalmente la concomitanza di parietalità e basse coperture;

Nello specifico all'interno della tratta in esame si verificano situazioni di basse coperture in presenza di versante inclinato. Inoltre, in corrispondenza di tale contesto geologico, la formazione superficiale interessata dallo scavo presenta modeste caratteristiche geomeccaniche.

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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00
	Foglio 60 di 62

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.

A generare condizioni sfavorevoli in termini di stato di sforzo nei rivestimenti sarà anche lo scavo della canna del binario pari che avverrà in fresa e passerà a pochi metri di distanza dalla canna della tratta in esame (distanza in asse binario variabile lungo la tratta tra i 16 ed i 20m).

Alla luce tutte le considerazioni esposte si è deciso di disporre una specifica armatura longitudinale per tutte le sezioni tipo (C2sb-r B2sb-r e B0sb-r) impiegate lungo la tratta.

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 da consentirne un’ottimizzazione in funzione delle diverse condizioni di carico del rivestimento definitivo e della sua risposta strutturale nell’interazione con l’ammasso nelle diverse fasi realizzative.

In conclusione, ove si dovesse procedere con l’adeguamento dell’armatura necessaria, così come nel caso si dovesse procedere ad adottare sezioni tipo differenti che implicino una diversa distribuzione dei rivestimenti definitivi, l’applicazione di tali diverse ipotesi dovrà essere ordinata a mezzo di apposito ordine di servizio dalla Direzione Lavori. Tale modifica assume 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 getto separato di arco rovescio e murette avendo comunque cura di realizzare le murette il più vicino possibile al fronte di scavo al fine di 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 tenso/deformativi sarà necessario portare il getto della calotta il più possibile vicino al fronte (variabilità minima); in ammassi che presentino discrete caratteristiche geomeccaniche o bassi

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00
	Foglio 61 di 62

valori tenso/deformativi si potrà invece utilizzare come distanza di getto la distanza massima prevista all' interno del range di variabilità di detta sezione tipo (variabilità massima); 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 si raggiunge una resistenza minima di 4 MPa a compressione, ferma restando la resistenza caratteristica richiesta da progetto.

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

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

## **9.7 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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN00-00-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 62 di 62</span>

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 ritarare i valori numerici delle "soglie" di attenzione e di allarme previsti per i diversi litotipi. In questa fase le soglie risultano necessariamente derivate da parametrizzazioni geomeccaniche, schemi e modelli di calcolo basati sui dati ad oggi disponibili.

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