

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

**NUOVA VIABILITÀ TRATTA VIA ERZELLI - VIA BORZOLI
Galleria naturale Lato Borzoli e Lato Erzelli
Relazione tecnica e linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio Cociv Ing. G. Guagnozzi	

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

Progettazione :								
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	Rocksoil 	25/06/12	Ing.F. Colla 	27/06/12	E. Pagani 	29/06/12	Ing. E. Ghislandi

n. Elab.:	File: IG5101ECVRHGNSA00001A00
-----------	-------------------------------

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG5101ECVRHGNSA00001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 61</p>

INDICE

INDICE.....		3
1. INTRODUZIONE.....		5
2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI.....		6
3. MATERIALI IMPIEGATI.....		9
3.1 Gallerie naturali.....		9
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO.....		12
4.1 Inquadramento Geologico - Geomorfologico.....		14
5. PREVISIONI SUL COMPORTAMENTO DEGLI AMMASSI ROCCIOSI E CRITERI DI CALCOLO.....		18
5.1 Calcolo delle categorie di comportamento allo scavo.....		19
5.2 Metodo delle curve caratteristiche.....		22
5.2.1 Aspetti generali.....		22
5.2.2 Consolidamento del fronte di scavo.....		25
5.3 Calcolo della stabilità dei cunei – Unwedge.....		26
5.4 Valutazione del rischio di danno – Metodo empirico.....		28
6. LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO.....		36
6.1 Definizione delle caratteristiche geologiche-geomeccaniche dell'ammasso.....		38
6.2 Risposta deformativa del fronte e del cavo.....		40
6.3 Fasi esecutive e cadenze di avanzamento.....		41
6.4 Procedura di applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità.....		41
7. DESCRIZIONE DELLE SEZIONI TIPO DI SCAVO E DELLE FASI COSTRUTTIVE		44
7.1 Sezioni tipo A-s.....		44
7.2 Sezioni tipo B0-s.....		45
7.3 Sezione tipo B0V-s.....		47
7.4 Sezioni tipo B0-s - Piazzola.....		49
8. GALLERIA NV01.....		51
8.1 Analisi del Rischio.....		51
8.2 Analisi dei rischi lungo il tracciato della galleria NV01.....		52
8.3 Soglie di attenzione e allarme.....		52
8.3.1 Sezione tipo A-s.....		52
8.3.2 Sezione tipo B0-s.....		54
8.3.3 Sezione tipo B0-s Piazzola.....		55
8.3.4 Sezione tipo B0V-s.....		56

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG5101ECVRHGNSA00001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 4 di 61</p>

8.4	Applicazione di una diversa sezione tipo	57
9.	TECNOLOGIE ALTERNATIVE E PRESCRIZIONI	58
9.1	Tecnologie alternative di perforazione	58
9.2	Tecnologie alternative per l'armatura dello spritz-beton	58
9.3	Armatura del rivestimento definitivo	58
9.4	Distanze di getto dei rivestimenti definitivi	60
9.5	Caratteristiche minime di resistenza del calcestruzzo in relazione alle fasi operative	60
9.6	Soglie d'attenzione e d'allarme	61
9.7	Criticità	61

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG5101ECVRHGNSA00001A00</p> <p>Foglio 5 di 61</p>

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 appartenente alla Nuova Viabilità nella tratta compresa tra Via Erzelli e Via Borzoli.

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 
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 6 di 61

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 
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 7 di 61

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

- Decreto Ministeriale 14/09/2005

Norme Tecniche per le Costruzioni (ex "Testo Unico" delle Norme Tecniche per le Costruzioni).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5101ECVRHGNSA00001A00	Foglio 8 di 61

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	
	IG5101ECVRHGNSA00001A00	Foglio 9 di 61

3. MATERIALI IMPIEGATI

3.1 Gallerie naturali

Consolidamenti e rivestimenti provvisori

Spritz beton fibrorinforzato	<ul style="list-style-type: none"> - Resistenza media su carote $h/\phi = 1$ a 48 ore ≥ 13 MPa, a 28 gg ≥ 25 MPa - dosaggio per fibre in acciaio ≥ 35 kg/m³
Acciaio per centine, piastre e collegamenti:	Fe430
Acciaio per catene	FeB32K
Acciaio per infilaggi:	Fe510
Acciaio per armatura e rete elettrosaldata:	FeB44K controllato
Acciaio bulloni ad ancoraggio puntuale	FeB44K controllato
Drenaggi	Tubi microfessurati in PVC <ul style="list-style-type: none"> - $\phi_{est} > 60$ mm, sp. 5 mm - Resistenza alla trazione 4.5 MPa, perforo 80 mm rivestiti con TNT - I primi 10m da boccaforo devono essere ciechi
Impermeabilizzazione in PVC	<ul style="list-style-type: none"> - teli sp. 2+/-0.5 mm, - Resistenza a trazione ≥ 15 MPa - Allungamento a rottura $\geq 250\%$ - Resistenza alla lacerazione ≥ 100N/mm - Resistenza alla giunzione ≥ 10.5 MPa - Stabilità al calore = 70°C - Flessibilità a freddo = -30°C - Resistenza alle soluzioni acide alcaline = +/-20% max allungamento - Comportamento al fuoco B2 - Resistenza alla pressione dell'acqua a 1 MPa per 10 ore : impermeabile

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 10 di 61

Infilaggi metallici	<ul style="list-style-type: none"> - Diametro esterno = 88.9 mm - Spessore = 10 mm - Diametro di perforazione = 120-130 mm - Valvolati 1Vlv/m
Miscela di guaina per infilaggi metallici valvolati ed iniettati	Cemento R32.5 - R42.5 <ul style="list-style-type: none"> - Rapporto a/c \approx 1.5-2 - Bentonite \approx 5- 8 % sul peso di cemento - Densità \approx 1.3 t/m³ - Rendimento volumetrico \geq 95% - Viscosità Marsh (ugello 4.7 mm) 30-35 sec.
Miscela di iniezione per infilaggi metallici valvolati ed iniettati	Cemento R42.5 <ul style="list-style-type: none"> - Rapporto a/c \approx 0.4-0.7 - Bentonite < 2 % - Additivo fluidificante (Flowcable o simili) \approx 4 % in peso - Viscosità Marsh (ugello 4.7 mm) 35-45 sec. - Densità \approx 1.8 t/m³ - Finezza \geq 4500 blaine - Rendimento volumetrico > 95%

Rivestimenti definitivi

Acciaio per armatura:	FeB44K controllato
Calcestruzzo strutturale calotta e piedritti	C25/30, Tipo CEM III-V, XC2, S4
Calcestruzzo strutturale arco rovescio	C25/30, Tipo CEM III-V, XC2, S3
Magrone di pulizia di sottofondo	Rm \geq 15 MPa, Tipo CEM I-V

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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	Foglio 11 di 61
IG5101ECVRHGNSA00001A00		

Acciaio Fe 430	$\sigma_{amm} = 190 \text{ MPa}$
Acciaio tubi Fe 510	$\sigma_{amm} = 240 \text{ MPa}$
Acciaio FeB 44K	$\sigma_{amm} = 160 \text{ MPa (*)}$
Calcestruzzo proiettato $F_{cm} \geq 25 \text{ Mpa}$	$\sigma_{amm} = 25/1.3 = 19.2 \text{ MPa}$
Calcestruzzo strutturale armato $R_{ck} 30 \text{ Mpa}$	$\sigma_{amm} = 9.75 \text{ Mpa}$ $\tau_{c0} = 0.60 \text{ Mpa}$ $\tau_{c1} = 1.80 \text{ Mpa}$

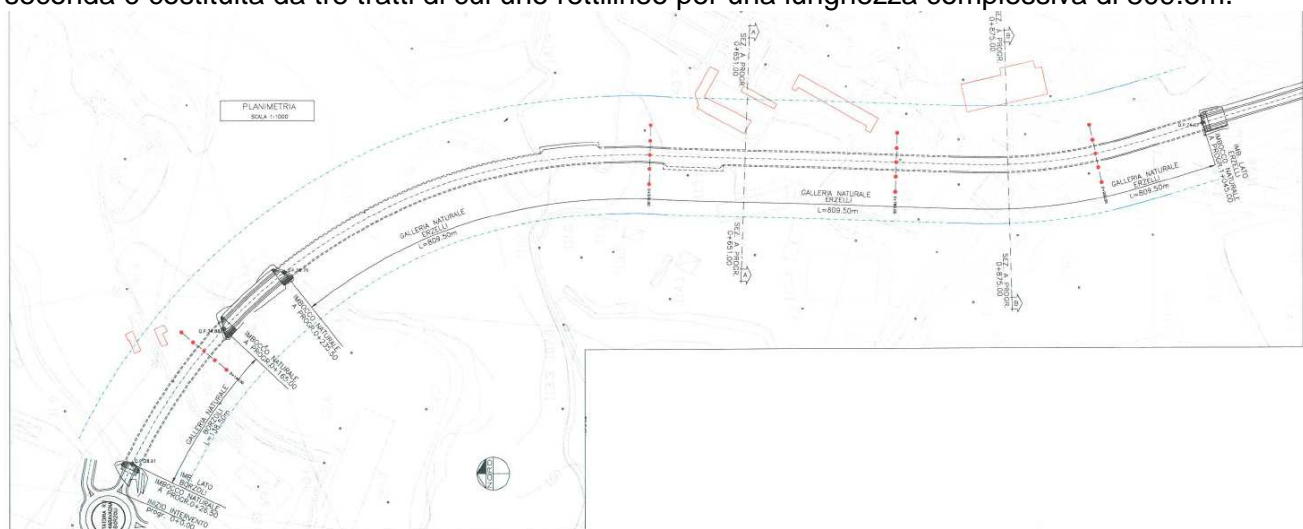
(*) In condizioni sismiche o in condizioni di esercizio con verifica a fessurazione $\sigma_{amm} = 255 \text{ Mpa}$

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO

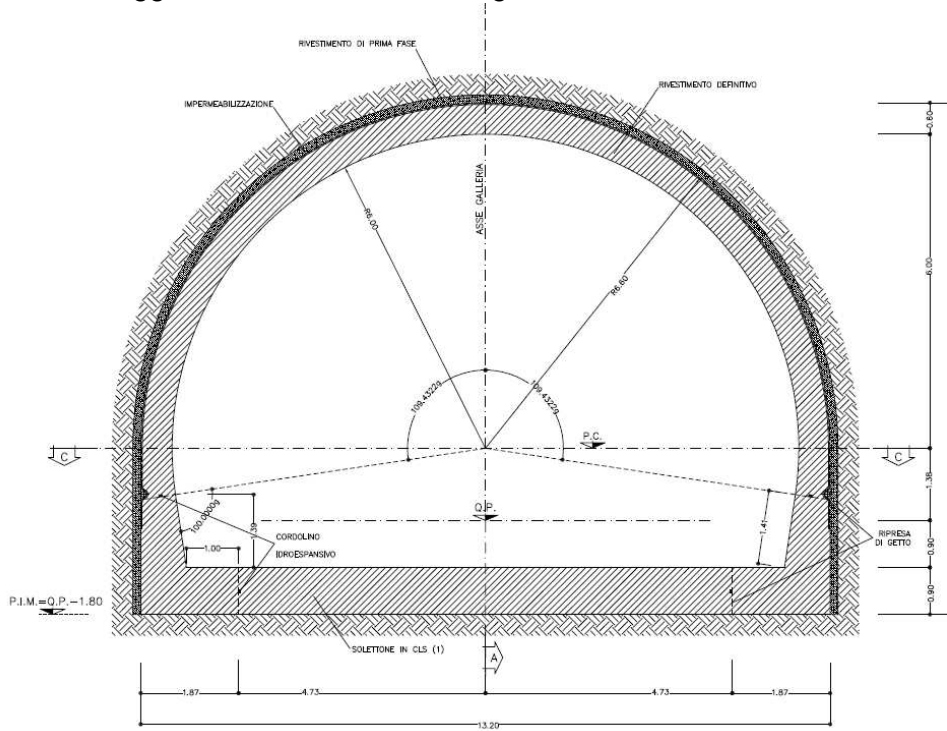
L'opera rientra nella realizzazione di un collegamento tra la viabilità presente in località Borzoli, nei pressi del campo sportivo comunale, con quella della località Erzelli, dopo aver attraversato la galleria presente dell'autostrada A10.



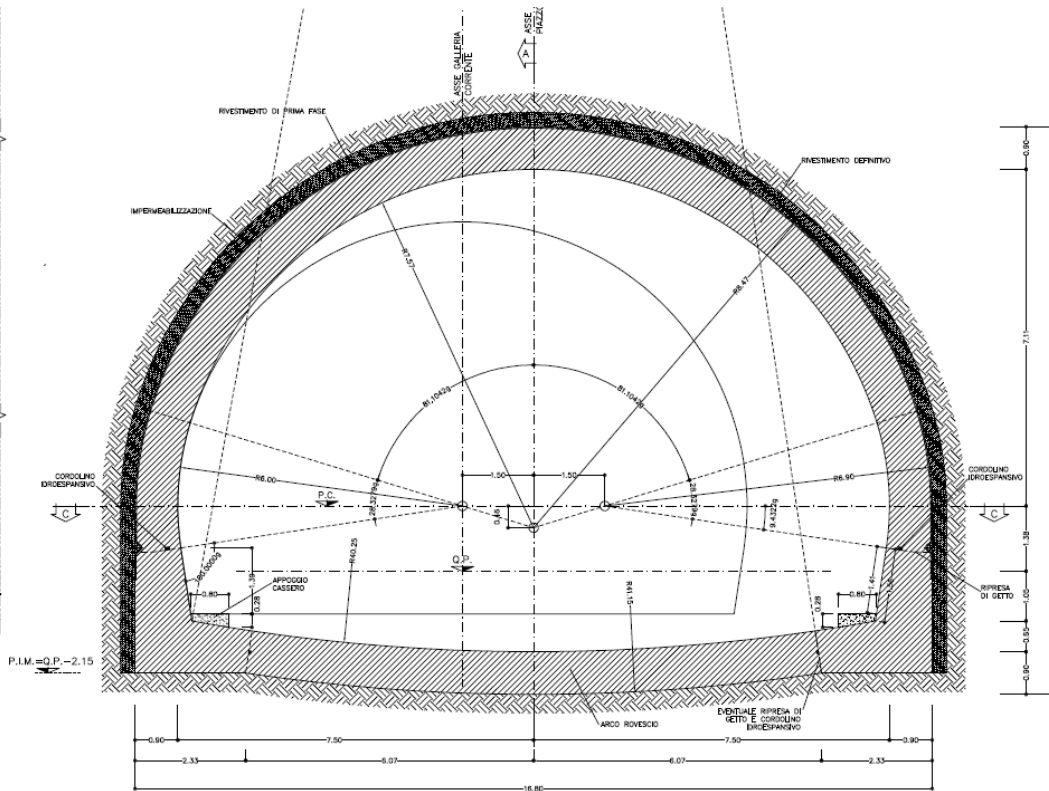
In particolare le opere oggetto della seguente relazione sono le due gallerie naturali Lato Borzoli e Lato Erzelli: la prima ha una lunghezza di 138.5 m e si sviluppa in unica tratta curva, mentre la seconda è costituita da tre tratti di cui uno rettilineo per una lunghezza complessiva di 809.5m.



La sezione stradale tipo è costituita da 2 carreggiate di larghezza 3.50m e due banchine di larghezza 1.25m. Il raggio interno di calotta della galleria è di 6.0m.



Esistono poi due area di piazzola aventi la sezione sotto riportata con un raggio interno in calotta pari a 7.57m.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5101ECVRHGNSA00001A00	Foglio 14 di 61

4.1 Inquadramento Geologico - Geomorfologico

INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

L'area in esame rientra dal punto di vista geologico nella cosiddetta "Zona Sestri-Voltaggio" che comprende alcune unità strutturali mostranti tra loro complessi rapporti tettonici, limitate ad ovest dalle unità di metaofioliti del "Gruppo di Voltri" e ad est dall'Unità dei Flysch ad Helminoidi del M.Antola.

Dal punto di vista delle Unità costituenti l'area in esame sono state prese a riferimento quelle riportate nelle due carte geologiche che, dal punto di vista bibliografico, sono ritenute ad oggi quelle più rappresentative della Zona sopra citata:

- "Carta geologica della Val Polcevera" (M.Marini – 1987)
- "Carta geologica della zona Sestri-Voltaggio" (L.Cortesogno, D.Haccard – 1984).

Più in particolare, considerata la buona affidabilità riscontrata con il rilevamento di superficie della carta di Marini, sono state assunte le suddivisioni di unità e formazionali di questa carta riportando comunque, come riferimento bibliografico, anche i corrispondenti nomi delle unità tettoniche della carta di Cortesogno-Haccard.

Tale Zona è quindi costituita dalle tre seguenti unità tettoniche sovrapposte, distinguibili per pertinenza paleogeografica e caratteri metamorfici:

- **Unità Gazzo-Isoverde** di M.Marini 1987 (Unità Triassico-Liassica di L.Cortesogno-D.Haccard 1984), di età triassico superiore-liassica, tipica successione di margine continentale in annessamento prevalentemente carbonatica, ad affinità prepiemontese. Fanno parte di questa Unità le seguenti formazioni:

- **Dolomie del M.te Gazzo:** dolomie e calcari dolomitici grigi, da cristallini a saccaroidi, ben stratificati; orizzonti di brecce intraclastiche e rari strati marnosi verso l'alto (Norico-Carnico Sup.?)
- **Depositi gessosi, brecce evaporitiche, carniole:** lenti di gesso compaiono associate alle dolomie triassiche sia in posizione molto incerta (Isoverde) sia al passaggio tra formazioni triassiche e quelle retico-liassiche (Retico-Norico Sup?)
- **Calcari di Gallaneto:** calcari bioclastici, calcari marnosi neri e marne scistose; calcari puri e dolomie verso l'alto (Hettangiano/Retico-Norico sup?)
- **Calcari di Lencisa:** calcari cristallini grigi con liste e noduli di selce (Sinemuriano)
- **Metargilliti nere** con intercalazioni di calcari cristallini straterellati (Giurassico medio-superiore)

- **Unità Cravasco-Voltaggio** di M.Marini 1987 e L.Cortesogno-D.Haccard 1984, di età giurassica superiore-cretacea inferiore, costituita da una successione ofiolitica e sopraofiolitica completa ad affinità ligure interna con metamorfismo in scisti blu. Fanno parte di questa Unità le seguenti formazioni:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 15 di 61

- **Serpentiniti** per lo più cataclastiche (Giurassico sup.medio?)
- **Metagabbri** frequentemente laminati (Giurassico sup.-medio?)
- **Metabasalti a cuscini** spesso scistosi (Giurassico sup.medio?)
- **Diaspri**: scisti silicei e radiolariti scistose fortemente ricristallizzate (Giurassico sup.)
- **Calcari di Voltaggio**: calcari cristallini foliati spesso a grana grossa in strati decimetrici (Neocomiano-Titoniano sup?)
- **Metargilliti filladiche** nere con sporadiche intercalazioni di calcari cristallini

- **Unità Timone-Bric Teiolo** di M.Marini 1987 (Unità di Monte Figogna di L.Cortesogno-D.Haccard 1984), di età giurassica superiore-cretacea inferiore, ofiolitica ma priva di termini gabbri con metamorfismo in scisti blu. Fanno parte di questa Unità le seguenti formazioni:

- **Serpentiniti** per lo più cataclastiche (Giurassico sup.medio?)
- **Oficalciti**: brecce serpentinitiche di varia pezzatura con cemento calcitico, colorazione d'insieme verde (Giurassico medio-sup?)
- **Basalti a cuscini, basalti massicci e brecce basaltiche, metabasalti talora scistosi e dicchi basaltici e dioritici entro serpentiniti** (Giurassico sup.-medio?)
- **Diaspri**: scisti argillosi rossi e verdi (Giurassico sup.)
- **Calcari di Erselli**: calcari microcristallini, spesso budinati, talora foliati con giunti pelitici (Neocomiano-Titoniano?)
- **Argille a Palombini del Passo della Bocchetta**: metargilliti filladiche con intercalazioni di strati isolati di calcari microcristallini per lo più scistosi (Cretaceo inferiore)
- **Unità della Val Polcevera** di M.Marini 1987 (Flysch di Busalla di L.Cortesogno-D.Haccard 1984), di età cretacea superiore, costituita da due elementi strutturali addossati (*Elemento di Mignanego* e *Elemento di Ronco*), ciascuno composto da una porzione inferiore a dominante emipelagitica e da una porzione superiore a dominante torbiditica (marnoso-calcarenea l'uno e siltoso-arenacea l'altro).

Nell'area in esame a copertura delle formazioni di basamento prima elencate sono presenti i sedimenti recenti ricollegabili al Pliocene Ligure ed al Quaternario (Alluvioni del Torrente Ruscarolo, coperture di versante, riporti antropici).

Il **Pliocene Ligure** è rappresentato in zona dal *Lembo di Borzoli* (Pliocene medio?-inferiore) costituito da due facies tipiche:

- **Argille di Ortovero**: argille marnose e marne grigio azzurre più o meno siltose con stratificazione poco evidente
- **Conglomerati e brecce basali**: i conglomerati possono intercalarsi localmente alle argille ma in genere risultano basali con spessori da pochi decimetri a non più di 10-15 m; si associano spesso a depositi grossolani molto immaturi riferibili ad accumuli di frana.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 16 di 61

TETTONICA

Le unità sopra elencate, costituenti la Zona Sestri-Voltaggio, mostrano tra loro complessi rapporti tettonici e risultano limitate ad ovest dalle unità metaofiolitiche del Gruppo di Voltri, su cui sono sovrascorse, e a est dall'Unità del Flysch dell'Antola, sotto cui immergono. Ne deriva quindi una struttura a falde sovrapposte la cui evoluzione tetto-genetica è stata riscontrata polifasica e sincrona.

Più in particolare la complessa strutturazione tettonica della Zona Sestri-Voltaggio è dovuta alla sovrapposizione di tre fasi plicative sviluppate, sia pur a diverse condizioni metamorfiche, in tutte le unità.

Alle fasi di corrugamento alpino è seguito, nel Pliocene-Quaternario, un'attività neotettonica di natura fragile in ambiente distensivo, correlata alla formazione e sviluppo di sistemi di faglie probabilmente già impostati con le fasi di piegamento alpino-appenninico.

Tali sistemi di faglie hanno smembrato l'edificio alpino secondo blocchi in movimento relativo tra loro con fenomeni importanti di basculamento; questi eventi hanno condizionato e guidato i fenomeni geologici del ponente ligure, dalla trasgressione e sedimentazioni plioceniche fino al raggiungimento dell'assetto strutturale odierno dal quale è derivato la posizione della costa e del reticolo idrografico più recente.

Per la zona in esame, caratterizzata dalla presenza del Lembo pliocenico di Borzoli, sono stati riconosciuti sistemi di faglie in direzione circa E-W che hanno generato le depressioni di origine tettonica (graben) entro le quali si sono sedimentati i terreni pliocenici stessi.

GEOMORFOLOGIA

Dal punto di vista geomorfologico il tratto di strada da realizzare attraversa un contesto collinare sostanzialmente modificato dall'intervento dell'uomo.

Infatti, a seguito della coltivazione di alcune cave in basalti, la parte alta del rilievo è stata rimodellata con formazione di estesi piazzali sub-pianeggianti ad oggi adibiti a deposito containers o occupati da insediamenti di baracche e/o strutture più o meno fatiscenti.

Sempre probabilmente nell'ambito della coltivazione, è stato accumulato e spianato su questi piazzali il materiale di risulta dell'attività di cava che ad oggi forma potenti riporti sia nelle aree soprastanti le gallerie in progetto sia nelle aree a monte e all'interno del nuovo raccordo studiato.

Come aspetti geomorfologici caratteristici della zona rilevata, si evidenzia quanto segue (vedi "Carta geologica-geomorfologica"):

- i versanti in basalto sono in generale da acclivi a molto acclivi e risultano caratterizzati da roccia affiorante o sub-affiorante in uno stato di conservazione
- medio-buono con situazioni locali più scadenti a causa della elevata fratturazione; nei settori di faglia riconosciuti si presentano con aspetto brecciato

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 17 di 61

- il versante in Calcari di Erselli sul lato svincolo è invece caratterizzato da acclività media e dalla presenza di coperture detritiche eluvio-colluviali, la natura di tale copertura è sostanzialmente limoso-argillosa con scaglie calcaree e marnose
- infine, si segnala che, nella situazione descritta di materiali tettonizzati ed in presenza di circolazioni d'acqua importanti, i Calcari di Erselli nella facies più laminata e gli scisti diasprigni hanno subito, nel tempo geologico, processi di alterazione spinta sino in profondità.

Per la caratterizzazione dei materiali sono stati presi a riferimento dati relativi a esperienze pregresse nella stessa formazione e i dati delle prove di laboratorio. L'analisi di dettaglio dei dati ha fornito un range di parametri analogo rispetto a quanto previsto nel P.D.

Nella tabella seguente, per ciascuna formazione affiorante nell'area, sono riportati i range delle caratteristiche fisiche e dei parametri di resistenza e deformabilità.

PARAMETRI PE GALLERIA

LITOLOGIA	γ (KN/m ³)	c' (Mpa)	ϕ	E (Gpa)	v
Basalti - RMR 55 -70	27-28	0.8-2.0	34-40	7-20	0.25
Basalti tettonizzati - RMR 40 - 45	24-26	0.4-0.6	30-35	2-5	0.3

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5101ECVRHGNSA00001A00</p>	<p>Foglio 18 di 61</p>

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

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

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

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

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

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

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

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

Gallerie a fronte stabile (CASO A)

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 19 di 61

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

Gallerie a fronte stabile a breve termine (CASO B)

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

Gallerie a fronte instabile (CASO C)

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

5.1 Calcolo delle categorie di comportamento allo scavo

Il comportamento dell'ammasso allo scavo, per ognuno dei gruppi a caratteristiche geomeccaniche omogenee individuati, può essere determinato in funzione dei carichi litostatici dovuti alle differenti coperture riscontrate lungo il tracciato.

Per ogni singolo gruppo sarà quindi possibile ottenere diverse classi di comportamento allo scavo in funzione delle diverse coperture in gioco (Fase di diagnosi).

E' di tutta evidenza che si dovrà tenere conto e valutare, nel corso dello scavo delle gallerie naturali, dell'extrascavo/extraprofilo e dello sfrido di spritz-beton come diretta conseguenza sia delle caratteristiche geostrutturali e geomeccaniche delle formazioni presenti che della metodologia di avanzamento adottata.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG5101ECVRHGNSA00001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 20 di 61</p>

Nella fase successiva di terapia, in cui si definiscono gli interventi necessari per l'avanzamento nelle diverse classi di comportamento, è necessario considerare le condizioni geologiche puntuali: quindi ad una stessa classe di comportamento corrispondono diverse sezioni tipo, adeguate alle caratteristiche geologiche e fisiche di ogni formazione.

Per la determinazione del comportamento dell'ammasso allo scavo è stato utilizzato il "metodo delle linee caratteristiche" (per i risultati e i dettagli sul metodo vedi "Relazione di calcolo").

Per i passaggi singolari e per le sezioni di scavo maggiormente significative sono state condotte analisi numeriche agli elementi finiti, per i cui dettagli si rimanda alla Relazione di Calcolo.

Sono stati definiti tre tipi di comportamento dell'ammasso allo scavo, che prevedono l'impiego di opportuni interventi scelti in base alle caratteristiche geologiche e fisiche dei terreni interessati dagli scavi, determinando così la scelta delle sezioni tipo più adatte:

CASO A) fronte stabile:

I fenomeni deformativi avvengono in campo elastico; il materiale ha comportamento di tipo lapideo per cui si possono ipotizzare locali fenomeni di instabilità al contorno riconducibili per lo più al distacco gravitativo di blocchi o volumi rocciosi, individuati dall'intreccio di superfici di discontinuità preesistenti nell'ammasso oppure create dai fenomeni di distensione prodotti dalle modalità di scavo. Il probabile comportamento allo scavo tipo A, "a fronte stabile", consente di prevedere, quali interventi di prima fase, interventi di solo contenimento del cavo, quale la realizzazione di uno strato di spritz-beton a seguito della messa in opera di bulloni radiali o centine, in funzione del grado di discontinuità dell'ammasso. I carichi gravanti sulla struttura in questi contesti geomeccanici sono prevalentemente di tipo gravitativo, funzione della frequenza dei giunti e delle fratture ed in particolare modo della resistenza al taglio delle superfici di discontinuità. Il rilascio di tali solidi di carico, in categorie di comportamento tipo A, non avviene generalmente all'apertura del cavo, bensì in un secondo tempo quale conseguenza del richiamo di umidità al contorno dello scavo, della circolazione d'acqua nelle fratture, dall'alterazione della roccia a contatto con gli agenti atmosferici, nonché dalle sollecitazioni dinamiche conseguenti alle vibrazioni prodotte durante le operazioni di scavo con esplosivo.

E' pertanto opportuno stabilizzare i suddetti cunei mediante la messa in opera di bulloni metallici radiali di tipo passivo, ad ancoraggio puntuale in presenza di modesti gradi di separazione d'ammasso, o ad ancoraggio continuo per gradi di separazione maggiori, e realizzare un guscio di spritz-beton a protezione della superficie di scavo ed a contenimento del cavo.

CASO B) fronte stabile a breve termine:

Si possono ipotizzare fenomeni di instabilità più o meno diffusi al contorno del cavo, dovuti alla plasticizzazione dell'ammasso roccioso e conseguenti fenomeni deformativi (convergenze radiali) di ordine centimetrico.

Tali deformazioni, se non regimate mediante opportuni e tempestivi interventi di preconsolidamento e/o di consolidamento, possono innescare decompressioni progressivamente crescenti all'interno

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 21 di 61

dell'ammasso roccioso, sviluppando di conseguenza carichi maggiori sia nel breve termine che nel lungo termine.

Come interventi di preconsolidamento si possono utilizzare:

- chiodi in vetroresina al fronte per aumentare le caratteristiche di resistenza del nucleo;
- drenaggi al contorno in caso di presenza d'acqua per lo scarico delle pressioni interstiziali.

Gli interventi di consolidamento lungo la cavità consistono principalmente in:

- prerivestimento costituito da spritz-beton;
- centine metalliche.

Questi interventi di preconsolidamento e consolidamento concorreranno a formare diverse sezioni tipo (descritti in seguito) che si differenziano tra di loro in funzione delle formazioni geologiche incontrate.

CASO C) fronte instabile:

I fenomeni deformativi, in assenza di interventi, sono di entità maggiore rispetto al caso precedente, fino ad arrivare alla rottura e al collasso del cavo, legata all'instabilità del fronte di scavo. Perché si possa realizzare l'avanzamento in galleria, senza innescare fenomeni deformativi incontrollabili, è indispensabile operare "preconsolidamenti" lanciati oltre il fronte di scavo, che garantiscano sia la tenuta del fronte stesso che quella della fascia di terreno perimetrale al cavo.

Questi preconsolidamenti possono essere di diversa natura, in funzione delle differenti caratteristiche geologiche delle formazioni attraversate lungo il tracciato:

- jet-grouting sub-orizzontale;
- anello consolidato da iniezioni cementizie;
- chiodi in vetroresina al fronte;
- drenaggi
-

Sono inoltre necessari interventi di consolidamento al contorno del cavo in modo da fornire il necessario contenimento nel breve termine. Questi interventi possono essere: rivestimento di 1^a fase con spritz-beton e centine metalliche.

In previsione di un comportamento tipo C, al fine di effettuare un controllo dello stato deformativo al fronte, appare consigliabile l'esecuzione di un preconsolidamento sistematico del fronte mediante elementi strutturali o tubi in vetroresina ad aderenza migliorata, tali da irrigidire il nucleo di scavo e ridurre i valori di estrusione del fronte e conseguentemente di preconvergenza del cavo. Tale operazione consentirebbe di mantenere le proprietà del materiale prossime alle condizioni di picco, o al limite di ridurre il decadimento. Le deformazioni al fronte si traducono infatti in decompressione

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 22 di 61

al contorno del cavo con decremento della resistenza d'ammasso e incremento delle spinte sui priverivestimenti.

In presenza di comportamento tipo C si renderà inoltre necessaria la messa in opera di consolidamenti anche al contorno della sezione di scavo, sempre in elementi o tubi in vetroresina, 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.

In zone con significative presenze d'acqua, il trattamento al contorno è preferibile venga realizzato con iniezioni in pressione, così da impermeabilizzare la sezione, evitare fenomeni di filtrazione e ridurre il decadimento dell'ammasso prossimo agli scavi.

Andrà inoltre prevista la realizzazione dei priverivestimenti a seguito di ogni singolo sfondo di avanzamento, mediante posa in opera di centine metalliche ed un congruo strato di spritz-beton. Sempre per la categoria di comportamento C occorre inoltre prevedere la possibilità di stabilizzare, a breve distanza dal fronte, il piede della centina, mediante il getto contemporaneo di arco rovescio e murette a 1-2 diametri dal fronte di scavo.

5.2 Metodo delle curve caratteristiche

5.2.1 Aspetti generali

Le curve caratteristiche consistono nel simulare lo scavo di una galleria nell'ipotesi di simmetria assiale e di stato di deformazione piana.

Per curve caratteristiche di una cavità si intendono delle curve che legano le pressioni di contenimento, esercitate in senso radiale sul bordo della galleria dalle opere di stabilizzazione e di rivestimento, agli spostamenti radiali al suo contorno (convergenze).

Lo scavo è rappresentato come una graduale riduzione di una pressione fittizia "p" applicata alle pareti della galleria, tramite cui si simula il progressivo deconfinamento della roccia prodotto dall'avvicinarsi del fronte di scavo alla sezione di calcolo e al successivo avanzamento del fronte stesso, cui corrisponde una convergenza radiale "u" crescente in funzione delle caratteristiche dell'ammasso.

Esse possono quindi essere utilizzate, oltre che per valutare il comportamento dell'ammasso allo scavo, anche per determinare lo stato di sollecitazione sui diversi interventi costituenti la galleria, mediante la sovrapposizione degli effetti delle curve caratteristiche della cavità e dei singoli interventi che la costituiscono.

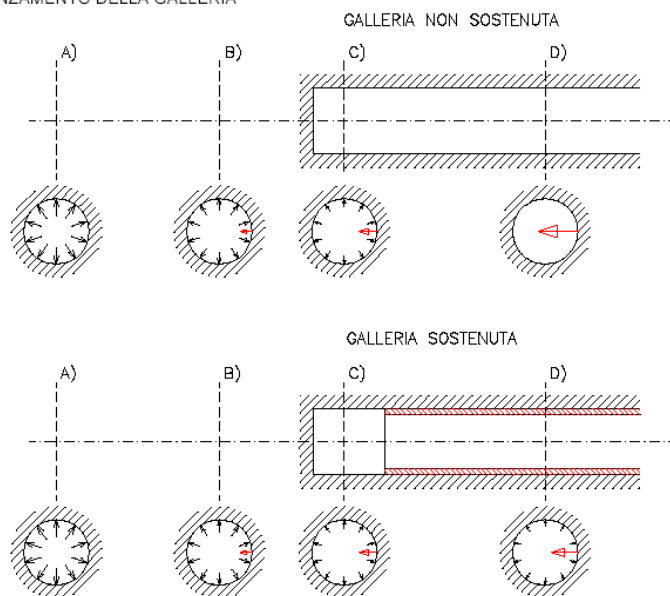
Per ogni galleria è possibile costruire due curve caratteristiche principali:

- quella valida presso il fronte di scavo, detta curva caratteristica del fronte, che tiene conto dell'effetto tridimensionale delle tensioni vicino ad esso e che permette di risalire, mediante considerazioni sulla resistenza del nucleo, all'entità della convergenza già subita dalla galleria nella sezione in corrispondenza al fronte di scavo,

- quella valida per qualsiasi sezione sufficientemente lontana dal fronte, detta curva caratteristica della cavità, per la quale lo stato di tensione può considerarsi piano.

In generale, ove la curva caratteristica non intersechi in un valore finito l'asse delle deformazioni radiali, la galleria risulta instabile senza adeguati interventi di stabilizzazione.

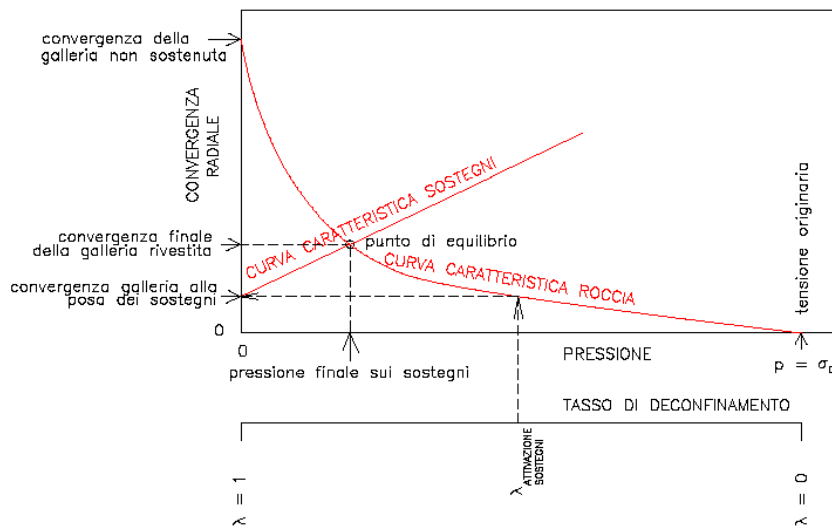
FIGURA 11. PROGRESSIVO DECONFINAMENTO DEL BORDO DI SCAVO PER SIMULARE L'AVANZAMENTO DELLA GALLERIA



Se la galleria è scavata in assenza di sostegni, il valore finale della pressione di confinamento è pari a 0; in caso contrario allo stato finale è presente una pressione di confinamento > 0 che rappresenta la pressione di equilibrio del cavo ottenuta dall'intersezione della curva caratteristica della cavità e dei rivestimenti impiegati. Quest'ultima curva, a sua volta, dipende dalle proprietà dei materiali impiegati e dalle deformazioni subite dall'ammasso prima della posa in opera dei sostegni provvisori e quindi, in ultima analisi, è legata al comportamento del fronte di scavo e al tipo di interventi previsti in avanzamento.

Mediante la sovrapposizione degli effetti delle curve "caratteristiche" della galleria, dei sostegni provvisori e definitivi e del fronte è possibile ridurre il problema tridimensionale in prossimità del fronte di scavo ad un problema bidimensionale; l'intersezione delle varie curve permette di determinare graficamente il comportamento della galleria allo scavo.

FIGURA 12. CURVE CARATTERISTICHE



La **curva caratteristica del rivestimento**, o curva di confinamento, è individuata dalla rigidità della struttura K_{st} e dallo spostamento radiale U_{d0} che si è già generato nell'intorno del cavo prima dell'installazione del supporto, messo in opera a distanza d_0 dal fronte di avanzamento della galleria.

Il valore della convergenza alla distanza di posa in opera del rivestimento, u_{d0} , viene determinato simulando l'effetto di deconfinamento dovuto allo scavo e all'allontanamento del fronte per mezzo di una pressione fittizia applicata alla parete della galleria. Tale pressione, inizialmente pari allo stato di sforzo originario, viene ridotta fino ad un valore P^* definito da un tasso di rilascio λ :

$$P^* = (1 - \lambda) \cdot \sigma_0$$

In tutti i casi è necessario valutare lo spostamento al fronte "uf" per risalire allo spostamento radiale alla distanza d_0 .

Tracciando la **curva caratteristica del fronte**, non solo si ricava il valore "uf", tenendo conto del tipo di preconsolidamento eventualmente effettuato in avanzamento dal fronte stesso, ma è anche possibile individuare a priori il comportamento della galleria, distinguendo tra fronte stabile (A), stabile a breve termine (B) ed instabile (C), secondo la classificazione A.De.Co.Rs già presentata nei paragrafi precedenti.

Noto lo spostamento al fronte e determinato l'andamento della curva di convergenza longitudinale della galleria tramite la funzione che fornisce il tasso di deconfinamento λ , si calcola il valore della convergenza radiale già subita dal cavo, prima della posa in opera del rivestimento; la curva di confinamento risulta a questo punto completamente definita.

La condizione di equilibrio, individuata dallo spostamento radiale u_{re} o dalla pressione radiale $P = P_e$, è determinata dall'intersezione della curva caratteristica del terreno e di quella del rivestimento. Tale

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 25 di 61

condizione risulta verificata se la pressione di equilibrio è inferiore alla resistenza massima propria del rivestimento.

In virtù dei sistemi di avanzamento proposti, volti a conservare le caratteristiche meccaniche del terreno indisturbato, limitando al minimo il rimaneggiamento e l'alterazione dello stesso conseguente alle operazioni di scavo, diviene estremamente importante sapere quanto il terreno è effettivamente in grado di incassare nelle sue condizioni naturali e indisturbate, prima di giungere alla rottura. La conoscenza delle caratteristiche di resistenza al taglio del terreno nelle sue condizioni naturali è indispensabile per determinare con discreta accuratezza il contributo al contenimento del cavo che i vari interventi adottati saranno in grado di fornire.

Il discorso così impostato sulla sensibilità del terreno dovrà essere poi allargato per mettere in conto anche l'eterogeneità strutturale dell'ammasso, che in rapporto alle coperture in gioco, è determinante nella parametrizzazione geotecnica dell'ammasso. Non essendo realmente praticabile l'ipotesi di una perfetta conoscenza delle condizioni del terreno ad ogni avanzamento sarà necessario individuare, anche facendo ipotesi di lavoro sulla base di esperienze maturate in casi analoghi, condizioni geotecniche standard in base alle quali svolgere i calcoli.

Si precisa inoltre che i calcoli svolti fanno riferimento a condizioni puramente statiche, considerando il consolidamento del fronte come un irrigidimento del nucleo e non come uno strumento di stabilizzazione del paramento, che pertanto rimane pur sempre una fonte di pericolo da tenere costantemente sotto controllo, evitando che le maestranze permangano entro il suo raggio di azione in particolare durante le operazioni di scavo.

Infatti quando il fronte è assoggettato all'opera di demolizione mediante utensili quali la sega dentata del pretaglio, il ripper, ecc. si vanno a modificare le condizioni iniziali, che quindi in tale contesto perdono la loro validità anche a prescindere dalla stabilità dimostrata dal fronte prima della sua demolizione.

5.2.2 Consolidamento del fronte di scavo

Nel caso di presenza di trattamenti di rinforzo del fronte (VTR, Jet-grouting ecc.) posti in opera in avanzamento, il loro effetto stabilizzante può utilmente essere tenuto in conto incrementando la resistenza coesiva dell'ammasso.

Infatti la chiodatura esercita un'azione di contenimento passivo del fronte, rappresentabile, nel caso di impiego di elementi strutturali in VTR, da una tensione di confinamento σ_3^{VTR} fittizia, funzione dei parametri tecnici del trattamento secondo le equazioni:

$$\sigma_3^{VTR_A} = \frac{\tau_A \cdot L_A \cdot 2p_A}{A_i}$$

$$\sigma_3^{VTR_B} = \frac{\sigma_T \cdot A_T}{A_i}$$

$$\sigma_3^{VTR} = \text{minimo} (\sigma_3^{VTR_A}, \sigma_3^{VTR_B})$$

dove:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRRHGNSA00001A00 Foglio 26 di 61

τ_a = tensione di aderenza ammasso-fondazione

L_A = semi-lunghezza dell'elemento di rinforzo (si assume che mezzo elemento costituisca la fondazione)

$2p_A$ = perimetro della sezione reagente a sfilamento

σ_t = resistenza a trazione dell'elemento di rinforzo

A_i = area di influenza di un elemento strutturale

A_t = sezione dell'elemento resistente a trazione

L'effetto di σ_3^{VTR} può essere considerato come incremento di coesione dell'ammasso:

$$\Delta\sigma_C^{Fronte} = \frac{\sigma_3^{VTR}}{2} * \sqrt{K_p}$$

Se il fronte di scavo è rinforzato con trattamenti colonnari in jet-grouting, allora i parametri di coesione sono migliorati specificando un incremento della coesione di picco pari alla differenza tra la coesione dell'ammasso non trattato e quella dell'ammasso trattato; quest'ultima è valutata come media pesata della coesione originaria del terreno e di quella del trattamento:

$$\Delta C = C_{ammasso\ trattato} - C_{ammasso} = \frac{c_{jet} \cdot A_{jet} + c_{ammasso} \cdot A_{ammasso}}{A_{tot}} - c_{ammasso}$$

dove:

c_{jet} = coesione dei trattamenti colonnari in jet grouting

$c_{ammasso}$ = coesione dell'ammasso senza trattamenti

A_{jet} , $A_{ammasso}$, A_{tot} = sono le aree, rispettivamente, dei trattamenti colonnari, della sezione di scavo al netto dei trattamenti e della sezione di scavo.

5.3 Calcolo della stabilità dei cunei – Unwedge

E' stata eseguita la valutazione della stabilità dei cunei di roccia che potrebbero formarsi intorno alla sagoma della galleria, prodotti dall'intersezione della stessa con l'ammasso roccioso ed i relativi piani di discontinuità principali.

L'analisi è stata eseguita con il programma di calcolo UNWEDGE edito dal Rock Engineering Group dell'Università di Toronto, che permette:

- l'identificazione e la visualizzazione dei cunei rocciosi formati a seguito dello scavo
- la determinazione tridimensionale delle geometrie dei cunei e la valutazione del coefficiente di sicurezza in base alle caratteristiche geomeccaniche dei giunti, inserite come dati di input.

In questo modo è possibile determinare tridimensionalmente le geometrie dei vari blocchi e valutarne il fattore di sicurezza considerando sia le caratteristiche geomeccaniche dei giunti che l'effetto prodotto dall'intervento di chiodatura.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVRRHGNSA00001A00 <div style="float: right;">Foglio 27 di 61</div>

I dati utilizzati per le analisi provengono da dei rilievi geostrutturali di superficie che permettono di eseguire, conformemente agli obiettivi del presente studio, verifiche strutturali sui cunei potenzialmente instabili.

L'analisi è stata eseguita nelle seguenti ipotesi:

- ubiquarietà delle discontinuità;
- planarità e persistenza delle discontinuità;
- esame della stabilità di tetraedri rocciosi isolati dai tre sistemi di discontinuità considerati e sottoposti alla sola azione della gravità;
- analisi all'equilibrio limite dei tetraedri con parametri di resistenza al taglio secondo la teoria di Barton

Il calcolo eseguito ha le seguenti caratteristiche:

- vengono individuate le geometrie e dei volumi principali di distacco dei tetraedri rocciosi all'interno del cavo;
- non viene preso in considerazione il regime tensionale al contorno della cavità; poiché questo esercita un'azione stabilizzante sui solidi particolarmente estesi in profondità rispetto alle pareti del cavo, attraverso azioni normali e conseguenti azioni tangenziali sulle facce del cuneo, tali solidi non sono stati considerati suscettibili a movimento;
- non sono prese in considerazione le pressioni idrauliche;
- viene individuata l'estensione della fascia al contorno del cavo interessata dai potenziali crolli gravitativi (questa analisi risulta particolarmente importante per il dimensionamento della lunghezza degli interventi di consolidamento).

Il programma di calcolo utilizzato individua tutti i cunei di roccia potenzialmente instabili per caduta e scivolamento e rotazione lungo un piano o due piani di discontinuità;

Nel seguito si riportano i risultati delle verifiche eseguite per le condizioni che sono state individuate come soggette a potenziali distacchi.

I risultati ottenuti forniscono il coefficiente di sicurezza ed i parametri geometrici dei cunei di roccia maggiormente critici.

I dati caratteristici relativi ai singoli tetraedri instabili sono:

- peso (t)
- altezza del tetraedro inteso come solido pseudopiramidale, con base coincidente con l'area di intersezione con la superficie della cavità (m)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 28 di 61

Tra i parametri dimensionali riportati, l'altezza del cuneo, è indubbiamente quello maggiormente significativo ai fini di una valutazione, in prima approssimazione, dei volumi di roccia instabile ed il conseguente dimensionamento geometrico dell'intervento di bullonatura.

In assenza di prove dirette di taglio su giunto, ed avendo a disposizione, per ogni famiglia di discontinuità, i dati del coefficiente di rugosità del giunto (JRC) e del coefficiente di resistenza del giunto (JCS), si è ritenuto più opportuno utilizzare, per l'analisi all'equilibrio limite dei tetraedri, l'equazione di resistenza al taglio su giunto proposta da Barton.

$$\tau = \sigma_n \tan \left(\phi_b + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right)$$

Equazione di Barton

Dove con ϕ_b si è indicato l'angolo di attrito di base.

Resta comunque inteso che le indicazioni sopra riportate rappresentano un'analisi di stabilità geomeccanica di tipo strutturale e geometrico.

5.4 Valutazione del rischio di danno – Metodo empirico

La finalità dell'analisi è rivolta ad individuare gli edifici da monitorare, tramite un idoneo sistema di monitoraggio costituito da capisaldi topografici, che permetterà di riscontrare in corso d'opera l'evolversi dei cedimenti a piano campagna.

Considerando il contesto geomeccanico attraversato caratterizzato da materiali lapidei, non si è ritenuta necessaria un'analisi di classificazione del danno sui fabbricati, prevedendo convergenze e di conseguenza volumi persi di entità ininfluente per questo tipo di analisi.

Nelle seguenti figure, vengono riportate le viste planimetriche dell'area interessata dagli scavi, al fine di rendere più chiara la lettura dei risultati ottenuti. Gli edifici sono identificati da linee perimetrali rosse.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5101ECVRHGNSA00001A00	Foglio 30 di 61

Figura 2 – Planimetria tratta via Erzelli – via Borzoli – 2/2

Nel seguito, ad inquadramento dell'area, viene riportata un'immagine tratta da Google in cui viene mostrata la vista aerea della zona in esame.



Figura 3 – Inquadramento tratta via Erzelli – via Borzoli – 1/2



Figura 4 – Inquadramento tratta via Erzelli – via Borzoli – 2/2

Con riferimento ai fabbricati, lungo il tracciato sono state identificate due sezioni ritenute significative per una corretta comprensione delle geometrie di interesse.

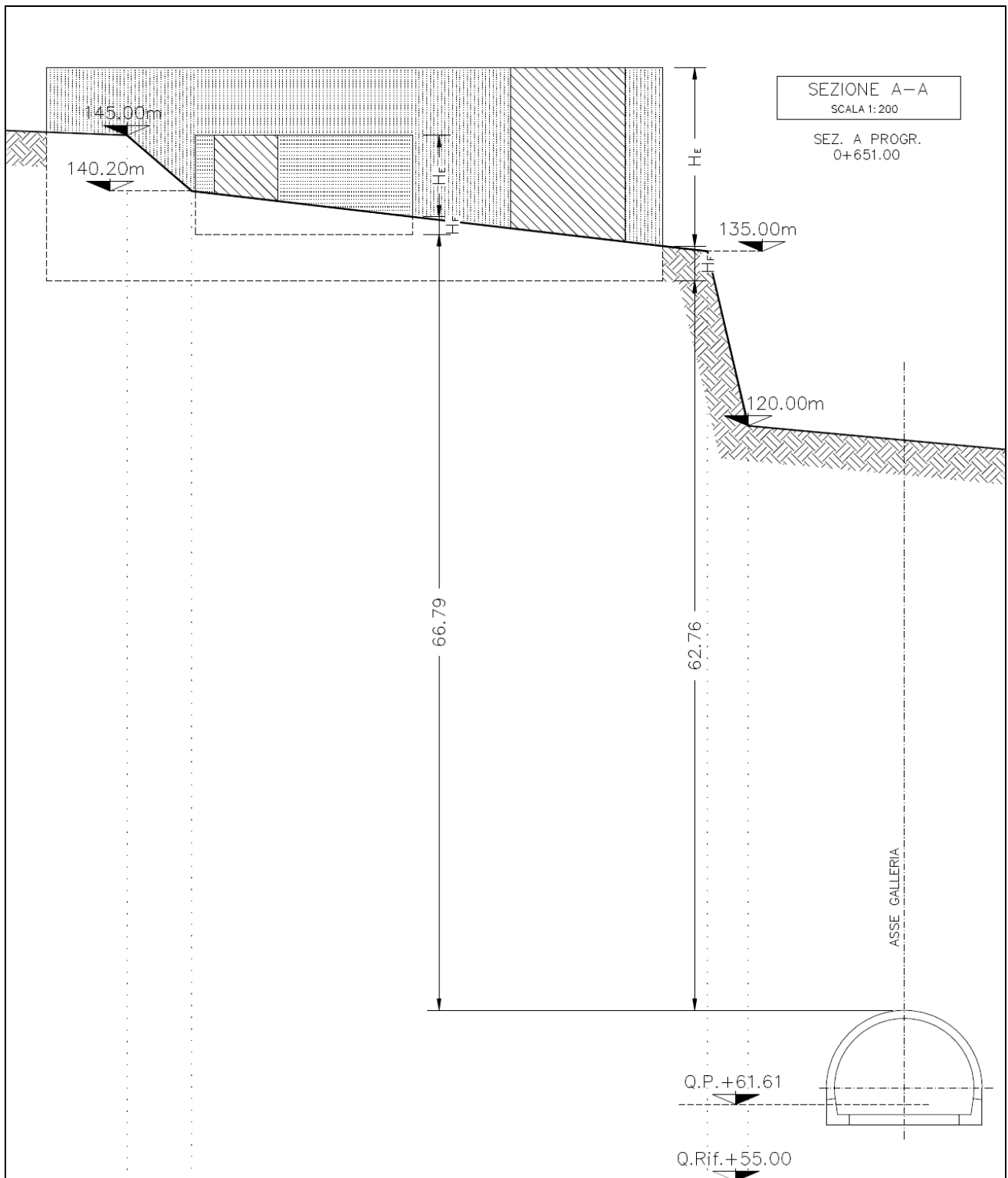


Figura 5 – Sezione A – A

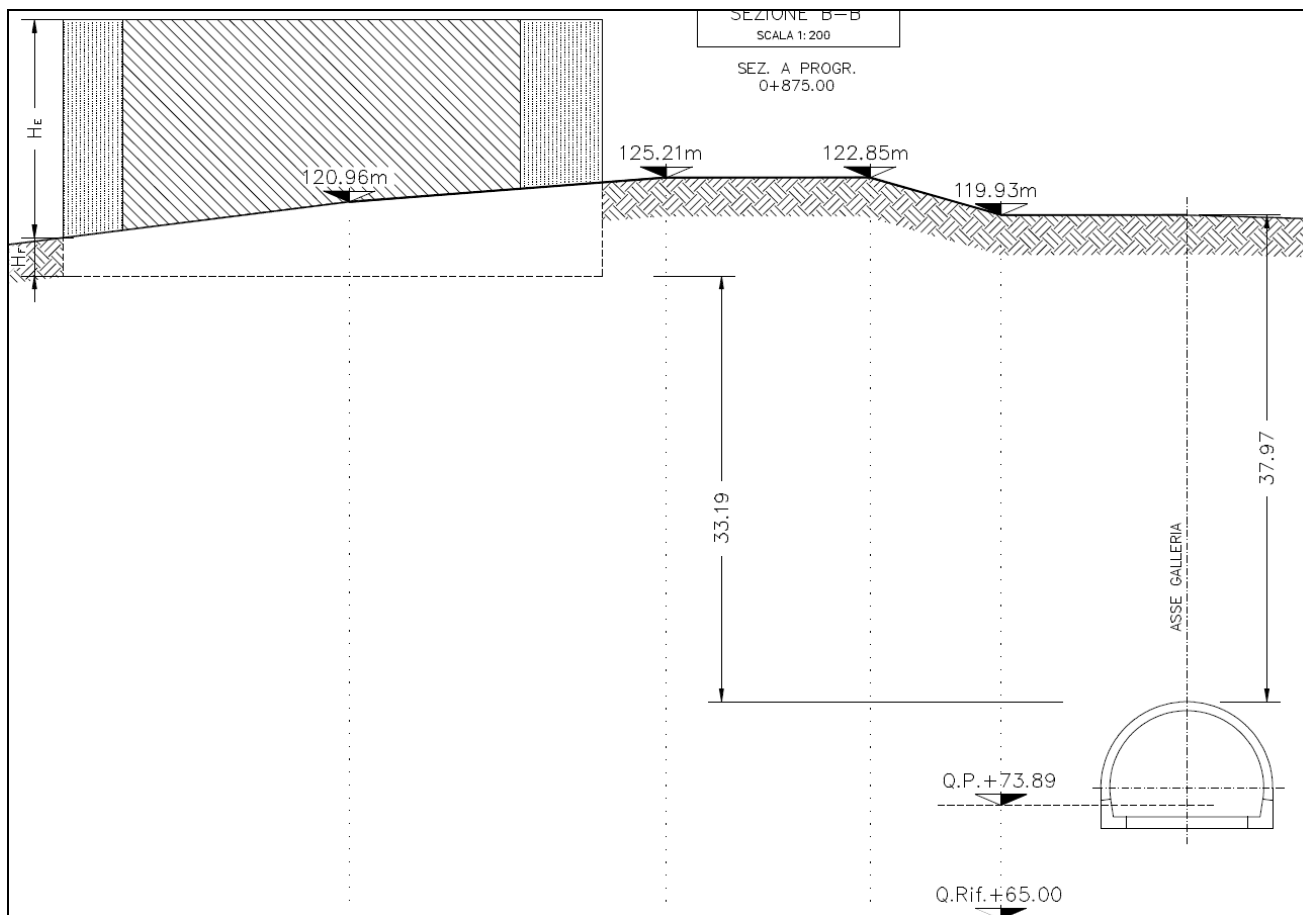


Figura 6 – Sezione B – B

Sui riportano infine le immagini dei prospetti degli edifici ritenuti di interesse.



Figura 7 – Prospetto edifici



Figura 8 – Prospetto edifici



Figura 9 – Prospetto edifici

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5101ECVRHGNSA00001A00	Foglio 36 di 61

6. LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO

Come ampiamente illustrato nel Capitolo precedente, il progetto delle gallerie naturali, è stato sviluppato attraverso:

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

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

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

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG5101ECVRRHGNSA00001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 37 di 61</p>

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 38 di 61

E' evidente che tali valori di deformazioni ipotizzati non vanno intesi come l'unica informazione che possa incidere sulle scelte già adottate per una determinata tratta, in quanto le scelte progettuali sono state fatte tenendo conto di un complesso di elementi più significativi del solo parametro deformativo ed illustrati nello sviluppo di tutto il progetto; essi servono soltanto a fornire indicazioni sul campo dei valori deformativi più probabili per le sezioni già indicate in progetto.

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

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

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

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

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

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

6.1 Definizione delle caratteristiche geologiche-geomeccaniche dell'ammasso

Gli ammassi rocciosi e i terreni incontrati lungo il tracciato sono descritti sulla base delle caratteristiche geologiche e geomeccaniche individuate in progetto.

Per comodità di rappresentazione gli ammassi incontrati lungo il tracciato sono raggruppati in "gruppi geomeccanici". Ciò è legato alla variabilità delle caratteristiche di resistenza e deformabilità di alcune formazioni geologiche. Tale variabilità può essere legata alla stessa natura geologica (cicli di deposizione/erosione) alle coperture in esame, alla presenza o meno di acqua, alla vicinanza di altre formazioni geologiche. In linea generale, l'ammasso interessato da uno scavo in sotterraneo può comportarsi in modo differente anche alle stesse coperture in esame. Da qui nasce la necessità di suddividere in gruppi i parametri geotecnici/geomeccanici, ove possibile e/o significativo. Ciò

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRHGNSA00001A00
	Foglio 39 di 61

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 (c' , φ' , E'); tali campi tengono conto sia delle diverse configurazioni che una formazione può presentare nell'ambito dello stesso gruppo che delle coperture in esame.

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

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

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

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

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

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG5101ECVRHGNSA00001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 40 di 61</p>

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

6.2 Risposta deformativa del fronte e del cavo

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

- tipologia ed intensità degli interventi di 1^a fase
- fasi esecutive e cadenze di avanzamento

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

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

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

dove:

δ_o = deformazione iniziale al fronte e non misurabile in galleria

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5101ECVRHGNSA00001A00	Foglio 41 di 61

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

6.3 Fasi esecutive e cadenze di avanzamento

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

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

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

6.4 Procedura di applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5101ECVRHGNSA00001A00	Foglio 42 di 61

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

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

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

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

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG5101ECVRHGNSA00001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 43 di 61</p>

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 44 di 61

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 Nuova Viabilità tratta via Erzelli – via Borzoli. Per quanto concerne la variabilità di ciascuna sezione tipo, nonché il relativo campo di applicazione, si rimanda ai paragrafi successivi.

7.1 Sezioni tipo A-s

La sezione tipo A-s, in fase costruttiva è costituita da:

- 3+3 drenaggi in avanzamento L=30m microfessurati per 20m e cichi per 10m verso bocca foro, eventuali in presenza d'acqua;
- Prerivestimento composto da uno spessore di 15 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldato o fibrorinforzato;
- N° 13-14 bulloni radiali ad ancoraggio puntuale costituiti da barre d=24mm, aventi lunghezza L=6.0m, e maglia 1.50mx1.50m
- impermeabilizzazione tipo "0" costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc;
- rivestimento definitivo in cls semplice dello spessore di 90 cm in arco rovescio (soletta) e di 60 cm in calotta.

Campo di applicazione

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

Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: scavo

Lo scavo della sezione si articola nelle seguenti fasi:

- Carico della volata
- Brillamento della volata
- Smarino

Lo sfondo potrà avere lunghezza massima di 4.50m, compreso il disaggio, eseguendo lo scavo a piena sezione. Al termine della volata e prima di porre in opera gli interventi di prima fase, dovrà essere eseguito un accurato disaggio dei blocchi instabili.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 45 di 61

FASE 2: posa in opera del primo strato di spritz-beton

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera uno strato di spritz-beton di regolarizzazione di spessore 5 cm.

FASE 3: completamento del rivestimento di prima fase e installazione dei bulloni radiali

Completamento dello spritz beton realizzando lo spessore totale di progetto pari a 15cm in corrispondenza del tratto già bullonato.

Perforazione dei bulloni radiali in modo che la distanza tra l'ultima raggiera di bulloni e il fronte di scavo non sia superiore a $\Phi/2$ e successiva messa in opera delle barre ad ancoraggio puntuale.

FASE 3: getto di murette e arco rovescio

Il getto delle murette e dell'arco rovescio dovrà essere regolato in funzione della risposta deformativa dell'ammasso e in relazione alle condizioni geomeccaniche incontrate.

FASE 4: impermeabilizzazione

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

FASE 5: getto del rivestimento definitivo

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

Qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un tempo di circa 24 ore, è necessario porre in opera uno strato di spritz-beton di 10 cm al fronte. Se il fermo delle lavorazioni risultasse superiore a 48 h (festività o altro) il ciclo delle lavorazioni dovrà necessariamente terminare con la sagomatura del fronte a forma concava e la posa in opera delle centine e dello spritz-beton a ridosso del fronte stesso.

7.2 Sezioni tipo B0-s

La sezione tipo B0-s, in fase costruttiva è costituita da:

- 3+3 drenaggi in avanzamento L=30m microfessurati per 20m e cichi per 10m verso bocca foro, eventuali in presenza d'acqua;
- Prerivestimento composto da uno spessore di 20 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldato o fibrorinforzato e centine costituite da due profilati accoppiati di tipo IPN 160 passo $p = 1.2$ m;
- impermeabilizzazione tipo "0" costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc;

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 <table border="1" style="float: right; margin-left: auto;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Foglio 46 di 61</td> </tr> </table>	Foglio 46 di 61
Foglio 46 di 61		

- rivestimento definitivo in cls semplice dello spessore di 90 cm in arco rovescio (soletta) e di 70 cm in calotta.

Campo di applicazione

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

Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: scavo

Esecuzione scavo di avanzamento con sfondi di lunghezza massima pari a 2.40 m compreso il disaggio, eseguendo lo scavo a piena sezione e sagomando il fronte a forma concava ad ogni sfondo parziale. Al termine dello sfondo e prima di porre in opera gli interventi di prima fase va eseguito un accurato disaggio di tutti i blocchi instabili.

FASE 2: posa in opera delle centine e dello spritz-beton

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1a fase costituito da centine metalliche IPN160 passo 1.20m e da uno strato di spritz-beton di spessore 20 cm, armato con rete elettrosaldada ($\varnothing 6$ 15x15) o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

FASE 3: getto di murette e arco rovescio

Il getto delle murette dovrà essere effettuato entro una distanza di $6\varnothing$ dal fronte di scavo. Il getto dell'arco rovescio dovrà avvenire entro $6\varnothing$ dal fronte di scavo o entro $9\varnothing$ nel caso di getto contemporaneo alle murette; in particolari contesti geomeccanici tale distanza potrà essere portata a $15\varnothing$.

FASE 4: impermeabilizzazione

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

FASE 5: 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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 47 di 61

sagomatura del fronte a forma concava e la posa in opera delle centine e dello spritz-beton a ridosso del fronte stesso.

7.3 Sezione tipo B0V-s

La sezione tipo B0V-s, in fase costruttiva è costituita da:

- Una coronella do n°41 tubi metallici Fe510 Ø 88.9 Sp. 10 mm L ≥ 15.00 m, sovrapposizione minima s ≥ 5.00 m;
- 3+3 drenaggi in avanzamento L=30m microfessurati per 20m da fondo foro e cichi per 10m verso bocca foro, eventuali in presenza d'acqua;
- prerivestimento composto da uno spessore di 20 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrinforzato e centine accoppiate di tipo IPN 180 con passo p = 1.00 m;
- impermeabilizzazione tipo "0" costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc;
- rivestimento definitivo in cls dello spessore di 90 cm in arco rovescio e variabile tra 50 e 110 cm in calotta. Il getto dell'arco rovescio, delle murette e del rivestimento definitivo di calotta sarà eseguito ad una distanza dal fronte che dipenderà dal comportamento deformativo del cavo.

Campo di applicazione

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

Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: posa in opera e cementazione dei tubi metallici al contorno

Perforazione e posa in opera di n°41 tubi valvolati e iniettati (1 VLV/m) Ø 88.9 dello spessore di 10 mm L ≥ 15.00 m secondo le geometrie di progetto; la sovrapposizione tra una serie di tubi e la successiva sarà pari a 5.00 m.

Le fasi costruttive sono le seguenti :

- perforazione eseguita a secco $\phi = 120-130$ mm;
- inserimento del tubo in acciaio valvolato;
- formazione della guaina al contorno dell'elemento valvolati;
- iniezione in pressione di miscela cementizia a ritiro controllato, valvola per valvola.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5101ECVRHGNSA00001A00	Foglio 48 di 61

La sequenza operativa sopra descritta andrà adattata alle caratteristiche dell'ammasso, ma dovrà in ogni caso garantire l'inghisaggio del tubo in acciaio al terreno mediante il completo riempimento dell'intercapedine con le pareti del foro. In linea generale, si dovrà avere cura di non perforare fori adiacenti, ma di lasciare almeno 3-4 fori di distanza tra perforazioni successive, procedendo alla immediata posa in opera del tubo di armatura. La fase di cementazione potrà avvenire di massima ogni 4-5 perforazioni armate e comunque il prima possibile per evitare possibili franamenti del foro, con conseguente perdita di efficacia dell'intervento. Di norma una volta realizzata la cementazione del tubo, si dovrà eseguire l'iniezione dalle singole valvole, con modalità da definire compiutamente in funzione delle reali situazioni riscontrate.

In condizioni geomeccaniche che lo consentano sarà possibile evitare l'iniezione selettiva e considerare l'intervento completo con la sola iniezione di cementazione, tale decisione dovrà essere a cura del progettista in funzione delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso riscontrate.

FASE 2: esecuzione eventuali drenaggi in avanzamento

In caso di presenza d'acqua dovranno essere eseguiti drenaggi in avanzamento.

FASE 3: esecuzione scavo

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per campi pari a 10 m (preconsolidamento del nucleo $L \geq 15m$ sovrapposizione $s \geq 5m$), per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1.00m, sagomando il fronte a forma concava ad ogni sfondo.

FASE 4: posa in opera del rivestimento di prima fase

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1a fase costituito da centine metalliche accoppiate di tipo IPN 180 passo 1.00m e da uno strato di spritz-beton di spessore 30 cm, armato con rete elettrosaldato ($\emptyset 6$ 15x15) o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

FASE 5: getto arco rovescio e murette

Il getto dell'arco rovescio e delle murette dovrà avvenire entro $4\emptyset$ dal fronte nel caso di un loro getto contemporaneo, o rispettivamente entro $4\emptyset$ e $6\emptyset$ 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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 49 di 61

FASE 6: impermeabilizzazione

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

FASE 7: getto rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo di calotta seguirà il fronte ad una distanza non superiore a $12 \varnothing$. 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 uno strato di spritz-beton armato 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 del fronte appena eseguito, previa sagomatura a forma concava ed esecuzione dello strato di spritz-beton armato $sp=10$ cm, e con l'arco rovescio e le murette (eventualmente la calotta) portati a ridosso del fronte stesso.

7.4 Sezioni tipo B0-s - Piazzola

La sezione tipo B0-s Piazzola, in fase costruttiva è costituita da:

- 3+3 drenaggi in avanzamento $L=30$ m microfessurati per 20m e cichi per 10m verso bocca foro, eventuali in presenza d'acqua;
- Prerivestimento composto da uno spessore di 30 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine costituite da due profilati accoppiati di tipo IPN 220 passo $p = 1.0$ m;
- impermeabilizzazione tipo "0" costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc;
- rivestimento definitivo in cls semplice dello spessore di 90 cm in arco rovescio e di 90 cm in calotta.

Campo di applicazione

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

Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 50 di 61

FASE 1: scavo

Esecuzione scavo di avanzamento con sfondi di lunghezza massima pari a 2.00 m compreso il disaggio, eseguendo lo scavo a piena sezione e sagomando il fronte a forma concava ad ogni sfondo parziale. Al termine dello sfondo e prima di porre in opera gli interventi di prima fase va eseguito un accurato disaggio di tutti i blocchi instabili.

FASE 2: 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 IPN220 passo 1.00m e da uno strato di spritz-beton di spessore 30 cm, armato con rete elettrosaldata ($\emptyset 6$ 15x15) o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

FASE 3: getto di murette e arco rovescio

Il getto delle murette dovrà essere effettuato entro una distanza di $6\emptyset$ dal fronte di scavo. Il getto dell'arco rovescio dovrà avvenire entro $6\emptyset$ dal fronte di scavo o entro $9\emptyset$ nel caso di getto contemporaneo alle murette; in particolari contesti geomeccanici tale distanza potrà essere portata a $15\emptyset$.

FASE 4: impermeabilizzazione

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

FASE 5: 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 $12\emptyset$.

Qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un tempo di circa 24 ore, è necessario porre in opera uno strato di spritz-beton di 10 cm al fronte. Se il fermo delle lavorazioni risultasse superiore a 48 h (festività o altro) il ciclo delle lavorazioni dovrà necessariamente terminare con la sagomatura del fronte a forma concava e la posa in opera delle centine e dello spritz-beton a ridosso del fronte stesso.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 51 di 61

8. GALLERIA NV01

8.1 Analisi del Rischio

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

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

rischi collegati alle caratteristiche dell’ammasso

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

rischi collegati alla presenza d’acqua

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 52 di 61

8.2 Analisi dei rischi lungo il tracciato della galleria NV01

La galleria naturale in oggetto si sviluppa interamente nei basalti dell'unità di Timone-Teiolo, caratterizzabili, da un punto di vista geotecnico, come rocce e brecce basaltiche da poco fratturate ad alterate e tettonizzate nelle zone di faglia.

La presenza di zone di faglia rappresenta il fattore di rischio maggiore per l'opera in oggetto.

In particolare:

Instabilità del fronte e/o del cavo: fenomeni di instabilità del fronte e/o del cavo sono poco probabili data la natura dell'ammasso e sono legati principalmente alla presenza di zone fortemente tettonizzate e/o instabilità locali di cunei di roccia.

Venute d'acqua concentrate: Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico, si prevede la possibilità di venute concentrate d'acqua nelle zone ad alto grado di fratturazione.

8.3 Soglie di attenzione e allarme

NV01 - 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)
BAS – RMR 55-70	A-s	2	3	-	-
BAS – RMR 55-70	B0-s	3	4	-	-
BAS – RMR 55-70	B0-s Piazzola	4	5	-	-
BAS – RMR 40-45	B0V-s	3	4	-	-

Come indicato nel profilo geomeccanico, è necessario tenere in considerazione la presenza di extra profili probabili durante le fasi di scavo.

8.3.1 Sezione tipo A-s

Campo di applicazione

La sezione di tipo A-s si applica nella formazione dei Basalti, indipendentemente dalle coperture, qualora l'ammasso risulti poco fratturato e caratterizzato da valori RMR compresi tra 55 e 70.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG5101ECVRRHGNSA00001A00		Foglio 53 di 61

Sulla base dei dati a disposizione si può ipotizzare che tale situazione, sia la prevalente al di fuori delle zone di faglia.

Variabilità

FORMAZIONE		BASALTI DELL'UNITA' TIMONE-TEIOLO					
SEZIONE TIPO		A-S					
		RMR 55-75 - POCO FRATTURATI			RMR 40-45 - MOLTO FRATTURATI		
COPERTURA	H < 50 M	60%			NP		
	H < 100 M	60%			NP		
	-	-			-		
PARAMETRI CARATTERISTICI	c' (KPA)		800-2000			400-600	
	φ (°)		34-40			30-35	
	E' (MPA)		7000-20000			2000-5000	
	v (-)		0,25			0,3	
		MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
A-S	BULLONI RADIALI Φ24MM (N°)	10/11	13/14	13/14			
	BULLONI RADIALI LUNG. (M)	4,5	6,0	8,0			
	BULLONI RADIALI MAGLIA (M)	2x2	1,5x1,5	1,5x1,5			
	SPESSORE SB (CM)	15	15	20			
	DISTANZA MAX GETTO MURETTE	-	-	6Ø			
	DISTANZA MAX GETTO A.R.	-	-	6Ø			
	DISTANZA MAX GETTO CALOTTA	15Ø	15Ø	12Ø			

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5101ECVRHGNSA00001A00	Foglio 54 di 61

8.3.2 Sezione tipo B0-s

Campo di applicazione

La sezione di tipo B0-s si applica nella formazione dei Basalti, indipendentemente dalle coperture, qualora l'ammasso risulti da poco a mediamente fratturato e caratterizzato da valori RMR compresi tra 55 e 70.

Sulla base dei dati a disposizione si può ipotizzare che tale situazione, limite tra la categoria di comportamento A e la B, possa essere frequente al di fuori delle zone di faglia, seppur non prevalente.

Variabilità

FORMAZIONE		BASALTI DELL'UNITA' TIMONE-TEIOLO					
SEZIONE TIPO		B0-s					
		RMR 55-75 - Poco FRATTURATI			RMR 40-45 - MOLTO FRATTURATI		
COPERTURA	H < 50 M	40%			NP		
	H < 100 M	40%			NP		
	-	-			-		
PARAMETRI CARATTERISTICI	c' (KPA)	800-2000		400-600			
	φ (°)	34-40		30-35			
	E' (MPA)	7000-20000		2000-5000			
	v (-)	0,25		0,3			
		MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
B0-s	CENTINE (2IPN)	160	160	180			
	PASSO CENTINE (M)	1,4	1,2	1,0			
	SPESSORE SB (CM)	20	20	25			
	DISTANZA MAX GETTO MURETTE	6Ø	6Ø	4Ø			
	DISTANZA MAX GETTO A.R.	9Ø	9Ø	4Ø			
	DISTANZA MAX GETTO CALOTTA	15Ø	15Ø	9Ø			

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 55 di 61

8.3.3 Sezione tipo B0-s Piazzola

Campo di applicazione

La sezione di tipo B0-s piazzola si applica nella formazione dei Basalti, indipendentemente dalle coperture, qualora l'ammasso risulti da poco a mediamente fratturato e caratterizzato da valori RMR compresi tra 55 e 70, in corrispondenza delle 2 piazzole previste in progetto.

Variabilità

FORMAZIONE		BASALTI DELL'UNITA' TIMONE-TEIOLO					
SEZIONE TIPO		B0-s PIAZZOLA					
		RMR 55-75 - POCO FRATTURATI			RMR 40-45 - MOLTO FRATTURATI		
COPERTURA	H < 50 M	100%			NP		
	H < 100 M	100%			NP		
	-	-			-		
PARAMETRI CARATTERISTICI	c' (KPA)	800-2000			400-600		
	φ (°)	34-40			30-35		
	E' (MPa)	7000-20000			2000-5000		
	v (-)	0,25			0,3		
		MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
B0-s	CENTINE (2IPN)	180	220	220			
	PASSO CENTINE (M)	1,0	1,0	0,8			
	SPESSORE SB (CM)	25	30	30			
	DISTANZA MAX GETTO MURETTE	6∅	6∅	4∅			
	DISTANZA MAX GETTO A.R.	9∅	9∅	4∅			
	DISTANZA MAX GETTO CALOTTA	15∅	12∅	9∅			

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 56 di 61

8.3.4 Sezione tipo B0V-s

La sezione di tipo B0V-s si applica nella formazione dei Basalti, indipendentemente dalle coperture, qualora l'ammasso risulti molto fratturato e caratterizzato da valori RMR compresi tra 40 e 45. In tali contesti, caratteristici delle zone di faglia, si prevede l'utilizzo di un presostegno in avanzamento in relazione all'elevato grado di separazione strutturale, e la realizzazione immediata di un prriverstimento costituito da centine e spritz beton.

Variabilità

FORMAZIONE		BASALTI DELL'UNITA' TIMONE-TEIOLO					
SEZIONE TIPO		B0V-s					
		RMR 55-75 - Poco FRATTURATI			RMR 40-45 - MOLTO FRATTURATI		
COPERTURA	H < 50 M	NP			100%		
	H < 100 M	NP			100%		
	-	-			-		
PARAMETRI CARATTERISTICI	c' (KPA)	800-2000		400-600			
	φ (°)	34-40		30-35			
	E' (MPa)	7000-20000		2000-5000			
	v (-)	0,25		0,3			
		MIN.	MEDI	MAX.	MIN.	MEDI	MAX.
B0V-s	CENTINE (2IPN)				160	180	180
	PASSO CENTINE (M)				1,2	1,0	1,0
	SPESSORE SB (CM)				20	20	25
	CONSOLIDAMENTO CONTORNO (N°)				35	41	41
	CONSOLIDAMENTO CONTORNO L (M)				15	15	18
	CONSOLIDAMENTO CONTORNO SOVR. (M)				5	5	8
	DISTANZA MAX GETTO MURETTE				6Ø	4Ø	4Ø
	DISTANZA MAX GETTO A.R.				9Ø	6Ø	4Ø
	DISTANZA MAX GETTO CALOTTA				15Ø	12Ø	9Ø

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG5101ECVRHGNSA00001A00</p> <p>Foglio 57 di 61</p>

8.4 Applicazione di una diversa sezione tipo

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRRHGNSA00001A00 Foglio 58 di 61

9. TECNOLOGIE ALTERNATIVE E PRESCRIZIONI

9.1 Tecnologie alternative di perforazione

In corso d'opera si potrà valutare la possibilità di variare la metodologia di perforazione (a secco) utilizzando un opportuno fluido di perforazione (miscela cementizia, acqua additivata con agente schiumogeno, ...) in funzione delle caratteristiche dell'ammasso e previa esecuzione di adeguate prove in sito, atte a garantire:

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

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

9.2 Tecnologie alternative per l'armatura dello spritz-beton

Nell'ambito delle tecnologie da applicare per la realizzazione delle gallerie naturali è previsto per l'esecuzione del priverivestimento l'impiego di calcestruzzo proiettato, armato con centine metalliche e rete oppure con centine metalliche e fibre in acciaio.

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

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

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

Per quanto concerne le caratteristiche di resistenza dello spritz-beton, è previsto l'impiego di un $f_{cm}=25\text{MPa}$.

9.3 Armatura del rivestimento definitivo

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 59 di 61

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

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

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

- In presenza di passaggi intraformazionali o zone di faglia, 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);
- Nelle zone di interferenza con le preesistenze (zona di intersezione con la galleria dell'autostrada A10).

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVRHGNSA00001A00 Foglio 60 di 61

9.4 Distanze di getto dei rivestimenti definitivi

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

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

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 massima); in ammassi che presentino discrete caratteristiche geomeccaniche o bassi valori tenso/deformativi si potrà invece utilizzare come distanza di getto la distanza massima prevista all'interno del range di variabilità di detta sezione tipo (variabilità minima); 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.

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRHGNSA00001A00
	Foglio 61 di 61

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

9.6 Soglie d'attenzione e d'allarme

In corso d'opera è prevista la possibilità di ritardare i valori numerici delle "soglie" di attenzione e di allarme previsti per i diversi litotipi. In questa fase le soglie risultano necessariamente derivate da parametrizzazioni geomeccaniche, schemi e modelli di calcolo basati sui dati ad oggi disponibili; si pensi anche alla ben nota "difficoltà", in campo geotecnico - geomeccanico, di stimare correttamente i valori rappresentativi dei parametri di deformabilità dei terreni e di ottenerne previsioni accurate di deformazioni.

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; non si esclude la possibilità di avere valori di soglia differenti.

9.7 Criticità

Qualora in corso d'opera si evidenzino determinate criticità che rendano difficoltoso l'avanzamento degli scavi (splaccaggi del fronte e/o della calotta, situazioni geologiche puntuali, etc.), oltre ad intensificare gli interventi di consolidamento della sezione tipo è prevista anche l'alternativa di utilizzare degli infilaggi al contorno, ovvero di utilizzare infilaggi di inerzia maggiore rispetto a quanto riportato sulle tavole di progetto (qualora si applichi la sezione tipo B0V). Detta scelta sarà compiuta dal progettista in funzione di quanto registrato nel corso degli scavi.

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.