

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



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

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

**VAR0008 – SPECIFICHE TECNICHE INTEROPERABILITÀ  
GN00 – ZONA AREA SICURA POLCEVERA  
Elaborati generali – Galleria a singolo binario  
Relazione Tecnica Generale**

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

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
A 3 0 1	0 X	D	C V	R O	G N 0 0 0 0	0 0 7	B

Progettazione:

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima emissione	Rocksoil 	15/06/2020	Rocksoil 	17/06/2020	A. Mancarella 	19/06/2020	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R
B00	Revisione per istruttoria A3010XD07ISGN0000014A	Rocksoil 	21/10/2020	Rocksoil 	23/10/2020	A. Mancarella 	27/10/2020	

n. Elab.:	File: A3010XDCVROGN0000007B00
-----------	-------------------------------



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN0000007B00
	Foglio 3 di 80

## INDICE

INDICE.....	3
1. INTRODUZIONE.....	5
2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI.....	6
3. MATERIALI IMPIEGATI.....	9
3.1. Gallerie naturali.....	9
3.1.1. Consolidamenti e rivestimenti provvisori.....	9
3.1.2. Rivestimenti definitivi.....	11
3.2. Concio di attacco.....	11
3.3. Rivestimenti definitivi.....	13
3.4. Valori di verifica.....	13
4. DESCRIZIONE DEI METODI DI CALCOLO UTILIZZATI.....	14
5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO DELLE OPERE.....	15
5.1. Area di imbocco.....	15
5.2. Galleria di ventilazione e area sicura.....	26
5.3. Parametri geotecnici.....	31
5.3.1. Coltre e strati superficiali.....	31
5.3.2. Argillite a Palombini.....	32
5.4. Considerazioni sul fenomeno di squeezing.....	34
6. SINTESI DELLE ESPERIENZE DI SCAVO.....	43
6.1. Scavo della TBM Polcevera.....	43
6.1.1. Settore Iniziale a basse coperture.....	44
6.1.2. Settore Centrale.....	52
6.1.3. Settore terminale della finestra.....	55
6.2. Evidenze durante lo scavo della Linea.....	57
6.2.1. Scavo della linea binario dispari lato Milano (GN15F).....	59
6.2.2. Scavo della linea binario pari lato Genova (GN14C).....	62
7. PROBLEMATICHE GEOLOGICHE IN FASE DI SCAVO.....	63
7.1. Galleria di ventilazione.....	63
7.1.1. Tratta 1 (da pk di imbocco fino a pk 0+450.000 circa).....	63
7.1.2. Tratta 2 (da pk 0+450.000 a fine tracciato).....	64
7.2. Cunicoli di esodo e by-pass.....	65
8. INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO.....	66
8.1. Modifiche generali dell'opera.....	66
8.2. Fasi esecutive e azioni sulla tratta Area Sicura.....	69

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



A3010XDCVROGN0000007B00

Foglio  
4 di 80

9. CONCLUSIONI .....	70
ALLEGATO 1 – SCHEMA SINOTTICO AS BUILT GN15F .....	71
ALLEGATO 2 - SCHEMA SINOTTICO AS BUILT GN14C .....	76

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN0000007B00 <span style="float: right;">Foglio 5 di 80</span>

## 1. INTRODUZIONE

Oggetto della presente relazione è la descrizione del progetto dell'area Polcevera a seguito dell'applicazione delle Specifiche Tecniche di Interoperabilità (STI). Tali specifiche richiedono un adeguamento dell'intera zona di innesto con la linea e contemplano anche l'inserimento di una galleria di ventilazione, collegamenti con la finestra Polcevera già realizzata e cameroni tecnologici.

Si riportano in questo documento le principali tematiche in termini di

- inquadramento geologico-geotecnico dell'area;
- sintesi delle evidenze raccolte in fase di scavo durante gli avanzamenti della TBM Polcevera e delle Gallerie di Linea;
- inquadramento dell'opera nel suo complesso, con la descrizione delle criticità progettuali ed esecutive e la scelta delle soluzioni tecniche relative;
- descrizione delle fasi esecutive globali della soluzione progettuale adottata;
- definizione delle singole WBS in cui è suddivisa l'opera.

La relazione tratta il progetto di adeguamento dell'area nella sua globalità, dal punto di vista delle opere di sostegno, gallerie artificiali e naturali, in modo che risultino chiare le scelte e il processo logico che ha portato alla nuova configurazione delle strutture; si rimanderà poi agli elaborati tecnici delle singole WBS per il dettaglio, grafico e di calcolo, delle opere nella loro unicità.

Si rimanda agli elaborati specifici per quanto riguarda i seguenti punti:

- layout architettonici e funzionali delle singole opere e dell'intera area<sup>1</sup>
- sistemazioni definitive architettoniche e ambientali

---

<sup>1</sup> Le scelte geometriche di layout che hanno portato alla configurazione presentata non sono oggetto delle relazioni tecniche delle strutture.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN0000007B00 <span style="float: right;">Foglio 6 di 80</span>

## 2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI

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

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

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

**- Legge n° 64 del 2 febbraio 1974**

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

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

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

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

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

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

Azioni sulle costruzioni.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A3010XDCVROGN0000007B00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 293"> <tr> <td>Foglio 7 di 80</td> </tr> </table>	Foglio 7 di 80
Foglio 7 di 80		

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>A3010XDCVROGN0000007B00</p> <p>Foglio 8 di 80</p>

**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

### 3. MATERIALI IMPIEGATI

#### 3.1. Gallerie naturali

##### 3.1.1. Consolidamenti e rivestimenti provvisori

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN0000007B00 <span style="float: right;">Foglio 11 di 80</span>

Parametri minimi del terreno consolidato	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistenza a compressione 48h &gt; 1.0 MPa</li> <li>- Resistenza a compressione 7gg &gt; 1.5 MPa</li> <li>- R.Q.D. 48h &gt; 50%</li> <li>- R.Q.D. 7gg &gt; 70%</li> </ul>
Impermeabilizzazione con membrana a spruzzo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peso specifico (g/ml a 20°C) 0.5-0.7</li> <li>- Resistenza a pressione idraulica &gt; 20 bar</li> <li>- Spessore di applicazione 2-10mm</li> <li>- Resistenza a rottura a 20°C, 28gg &gt; 1.5-4 MPa</li> <li>- Allungamento a rottura a 20°C, 28gg &gt; 100%</li> <li>- Adesione su calcestruzzo 28gg &gt; 1.0-2 MPa</li> </ul>

### 3.1.2. Rivestimenti definitivi

Acciaio per armatura:	B450 C
Calcestruzzo strutturale calotta e piedritti	C25/30, XC2, S4
Calcestruzzo strutturale arco rovescio	C25/30, XC2, S3
Magrone di pulizia di sottofondo	Rm ≥ 15 MPa

### 3.2. Concio di attacco

Spritz beton fibrorinforzato	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistenza media su carote h/φ = 1 a 48 ore ≥ 13 MPa, a 28 gg ≥ 30 MPa</li> <li>- dosaggio per fibre in acciaio ≥ 35 kg/m<sup>3</sup></li> </ul>
Acciaio per centine, piastre e collegamenti:	S275
Acciaio per catene	B450C
Acciaio per infilaggi:	S355
Acciaio per armatura e rete elettrosaldata:	B450C controllato
Drenaggi	Tubi microfessurati in PVC <ul style="list-style-type: none"> <li>- φest &gt; 60 mm, sp. 5 mm</li> <li>- Resistenza alla trazione 4.5 MPa, perforo 80 mm rivestiti con TNT</li> <li>- I primi 10m da boccaforo devono essere ciechi</li> </ul>

Impermeabilizzazione in PVC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- teli sp. 2+/-0.5 mm,</li> <li>- Resistenza a trazione <math>\geq 15</math> MPa</li> <li>- Allungamento a rottura <math>\geq 250\%</math></li> <li>- Resistenza alla lacerazione <math>\geq 100</math>N/mm</li> <li>- Resistenza alla giunzione <math>\geq 10.5</math> MPa</li> <li>- Stabilità al calore = 70°C</li> <li>- Flessibilità a freddo = -30°C</li> <li>- Resistenza alle soluzioni acide alcaline = +/-20% max allungamento</li> <li>- Comportamento al fuoco B2</li> <li>- Resistenza alla pressione dell'acqua a 1 MPa per 10 ore : impermeabile</li> </ul>
Tubi in VTR (caratteristiche del composito)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diametro esterno = 60 mm ad aderenza migliorata</li> <li>- Diametro di perforazione =100-120 mm</li> <li>- Spessore medio = 10 mm</li> <li>- Densità <math>\geq 1.8</math> t/mc</li> <li>- Res. a trazione <math>\geq 600</math> MPa</li> <li>- Res. a taglio <math>\geq 100</math> MPa</li> <li>- Modulo elastico <math>\geq 30000</math> MPa</li> <li>- Contenuto in vetro <math>\geq 50</math> %</li> <li>- Resistenza a flessione <math>\geq 600</math> MPa</li> <li>- Resistenza allo scoppio <math>\geq 8</math>MPa</li> <li>- Perforazione eseguita a secco</li> </ul>
Infilaggi metallici	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diametro esterno = 88.9 mm</li> <li>- Spessore = 10 mm</li> <li>- Diametro di perforazione = 120-130 mm</li> <li>- Perforazione eseguita a secco</li> </ul>
Miscele cementizie per cementazione a bassa pressione	<p>Cemento 42.5R</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapporto a/c = 0.5-0.7</li> <li>- Fluidificante = 4 % di peso sul cemento</li> <li>- Resistenza a compressione a 48 ore &gt; 5 MPa</li> </ul>

Miscele di guaina per infilaggi metallici valvolati ed iniettati	Cemento R32.5 - R42.5 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapporto a/c <math>\approx</math> 1.5-2</li> <li>- Bentonite <math>\approx</math> 5- 8 % sul peso di cemento</li> <li>- Densità <math>\approx</math> 1.3 t/m<sup>3</sup></li> <li>- Rendimento volumetrico <math>\geq</math> 95%</li> <li>- Viscosità Marsh (ugello 4.7 mm) 30-35 sec.</li> </ul>
Miscele di iniezione per infilaggi metallici valvolati ed iniettati	Cemento R42.5 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapporto a/c <math>\approx</math> 0.4-0.7</li> <li>- Bentonite <math>&lt;</math> 2 %</li> <li>- Additivo fluidificante (Flowcable o simili) <math>\approx</math> 4 % in peso</li> <li>- Viscosità Marsh (ugello 4.7 mm) 35-45 sec.</li> <li>- Densità <math>\approx</math> 1.8 t/m<sup>3</sup></li> <li>- Finezza <math>\geq</math> 4500 blaine</li> <li>- Rendimento volumetrico <math>&gt;</math> 95%</li> </ul>

### 3.3. Rivestimenti definitivi

Acciaio per armatura:	B450C 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

### 3.4. Valori di verifica

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

Acciaio S275	$\sigma_{amm} = 190$ MPa
Acciaio B450 C	$\sigma_{amm} = 160$ MPa (*)
Calcestruzzo proiettato $F_{cm} \geq 25$ Mpa	$\sigma_{amm} = 25/1.3 = 19.2$ MPa
Calcestruzzo strutturale armato C25/30 Mpa	$\sigma_{amm} = 9.75$ Mpa $\tau_{c0} = 0.60$ Mpa $\tau_{c1} = 1.80$ Mpa

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">A3010XDCVROGN0000007B00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 14 di 80</p>

#### 4. DESCRIZIONE DEI METODI DI CALCOLO UTILIZZATI

Per quanto riguarda i metodi di calcolo adottati, la descrizione dei dettagli delle singole opere, la scelta delle sezioni e degli schemi di calcolo si rimanda alle relazioni specifiche delle opere.

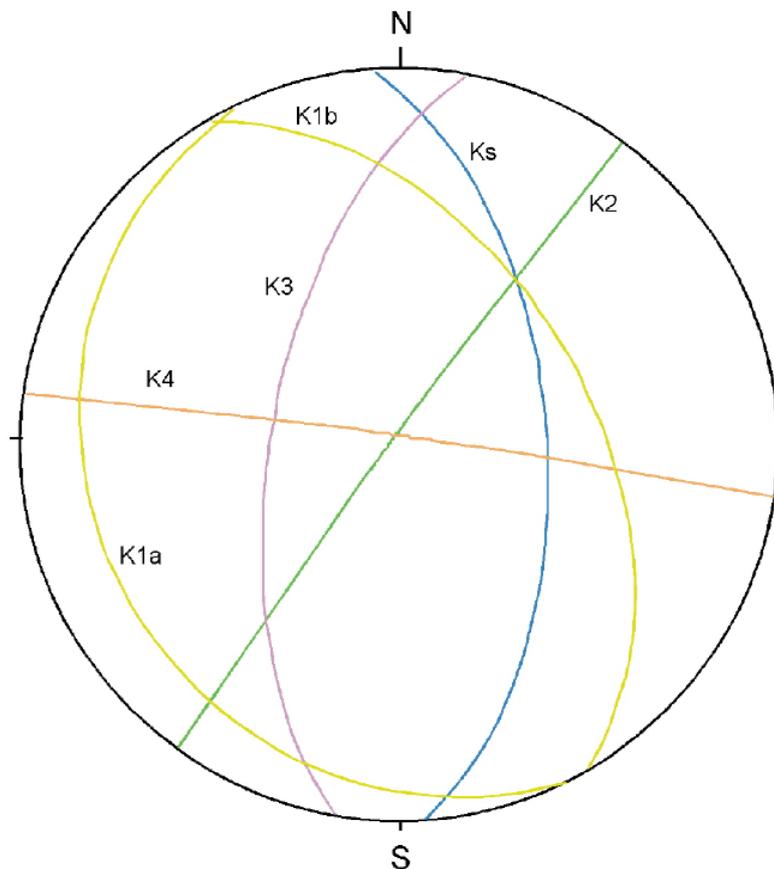
## 5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO DELLE OPERE

Nel seguito verranno riassunte le evidenze in merito all'inquadramento geologico e geotecnico partendo dai dati disponibili nella fase di Progettazione Esecutiva, mentre nel capitolo successivo verranno esaminati gli elementi conoscitivi desumibili dalle esperienze di scavo delle WBS in oggetto con particolare riferimento alla TBM Polcevera e alle gallerie di Linea.

Nel dettaglio, per l'area di imbocco della galleria di ventilazione viene riportata la ricostruzione geotecnica relativa all'imbocco della finestra Polcevera di PE. Per quanto riguarda la galleria di ventilazione si considera la ricostruzione della finestra Polcevera mentre per l'area sicura nella zona di innesto si considera la ricostruzione geotecnica delle WBS GN14D e GN15D, e dei tratti interessati dallo scavo della galleria di linea.

### 5.1. Area di imbocco

Lo studio geomeccanico degli argilloscisti si basa sulle caratteristiche rilevate in un affioramento ubicato a quota 175 m s.l.m. a nord-ovest del tracciato e riportate in Figura 4.3.



Set	Dip dir	Dip	JRC	Planarità	Scabrezza	Persistenza (m)	Spaziatura (m)	Apertura (mm)	Riempimento
Ks	086	58	8	ondulating	smooth	5.00	0.02	0.5	no
K2	306	88	6	planar	smooth	0.50	0.04	1.00	No
K3	280	62	6	planar	smooth	0.20	0.08	1.00	no
K4	008	88	6	planar	smooth	0.50	0.10	0.50	No
K1a	244	18	6	planar	smooth	0.60	0.12	0.50	No
K1b	060	48	6	planar	smooth	0.20	0.04	1.00	No

**Fig. 4.3 –** Proiezione stereografica (Reticolo di Schmidt, emisfero inferiore) e tabella utilizzata per il rilevamento dei dati strutturali rilevati nelle Argille a Palombini in corrispondenza di un affioramento a nord-ovest dell’imbocco

Questi dati hanno permesso di caratterizzare dal punto di vista geomeccanico degli argilloscisti, come di seguito riportato.

	RMR - BIENIAWSKI				Q SYSTEM BARTON		
	RMR corretto	Direzione di scavo	Classe	Descrizione	Q	Classe	Descrizione
Argilliti	45	N71E	III	Mediocre	1.17	VI	Poor

**Qualità geomeccanica delle argilliti secondo le classificazioni di Bieniawski e di Barton**

Gli argilloscisti sono coperti in modo pressoché continuo da depositi di origine eluvio–colluviale, di spessore variabile, generalmente compreso tra 0,5 e circa 10 m. Tali depositi sono costituiti da clasti spigolosi centimetrici in matrice sabbioso–limosa (Figura 4.4a) e, localmente, da clasti arrotondati che derivano dalle rielaborazione di originari depositi fluvio-torrentizi (Figura 4.4b). Questi ultimi originariamente costituivano le superfici terrazzate, ora elevate rispetto al fondovalle di circa 100 m.



**Fig. 4.4.** Sinistra: clasti arrotondati di probabile origine fluviali presenti nei depositi colluviali. Destra: tipico aspetto della coltre colluviale. La freccia bianca indica clasti arrotondati

L’analisi di dettaglio dei dati a disposizione ha fornito un quadro geotecnico differente rispetto a quanto previsto nel P.D. In particolare, facendo riferimento al sondaggio SF13 (fig. 4.5) si è potuto individuare per l’area in esame una stratigrafia di dettaglio rispetto a quanto presentato in PD.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>A3010XDCVROGN0000007B00</p>	<p>Foglio 17 di 80</p>

Le indagini presenti nell'area di interesse sono riportate in figura 4.1.

Per l'individuazione della stratigrafia geotecnica media dei terreni interessanti le opere di imbocco sono state incrociate le seguenti informazioni:

- osservazioni in sito, come descritto al precedente paragrafo, in base alle quali è stato stimato uno spessore di depositi eluvio – colluviali variabili da 1 a 10 metri circa, un substrato costituito da argilloscisti, dei quali i livelli più superficiali, sono molto alterati, tanto che spesso risulta difficile definirne il limite con la soprastante coltre eluvio–colluviale.
- sondaggio SF13: il sondaggio mostra un primo strato di coltre superficiale dello spessore di circa 2.0 m, successivamente si evidenzia la presenza di argille assimilabili alle argille a palombini: alterate fino ai primi 10.0 m di profondità e di consistenza lapidea per profondità superiori a 10 metri;



## STRATIGRAFIA - SF13

SCALA 1 : 150

Pagina 1/1

Riferimento: COCIV - LINEA AV/AC MI-GE 3° VALICO DEI GIOVI	Sondaggio: SF13
Località: Finestra Polcevera	Quota: 115,57 m/slm
Impresa esecutrice: SO.RI.GE s.r.l	Data: 09/03/05
Coordinate: X = 53910.7700 Y = 154971.4440	Redattore: Dott. Delsoldato
Perforazione: a rotazione a carotaggio continuo	

Prof. m	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	Standard Penetration Test		N	RP	prove in filo	Campioni	Prel. % 0 --- 100	metri bat.	Cass.	R.Q.D. % 0 --- 100
			m	S.P.T.								
2.3		Limo sabbioso con argilla, colore marrone, secco, consistente, con vegetali, con clasti poligenici e ciottoli (probabilmente di materiale riportato presente a monte) e clasti calcarei e quarzosi angolari alterati con patine giallastre.	2,0	5-10-6	16							
		Argilla con limo debolmente sabbioso, scagliosa, molto consistente e secca, colore marrone, con clasti angolari eterometrici (dimensioni variabili da pochi millimetri ad alcuni centimetri) prevalentemente calcarei, subordinatamente quarzosi, alterati. Noduli puricentimetrici di argillite grigio scura-marrone, scagliettata, alterata.	5,5	8-10-11	21		C.1.1	4,00 4,90				
			8,0	5-8-10	18		C.R. 3	8,50 8,90				
10,0		Argillite da marrone a grigio scura nerastra, in scaglie, umida-bagnata, con clasti angolari calcarei biancastri.	10,0	12-13-15	28		C.R. 2	10,80 10,90				
11,4		Argillite grigio-scuro nerastra, scagliettata, consistenza da semilapidea a lapidea, con clasti e noduli sia calcarei che quarzosi biancastri.	11,5	50/4cm	Rif		C.R. 4	12,20 12,40				
12,4		Argillite scistosa colore grigio scuro nerastra, consistenza lapidea, durezza soffice, con noduli calcarei e quarzosi biancastri. Da mt. 13,70 a mt. 14,00 livello arenaceo fine-siltoso colore grigio chiaro, media durezza, con abbondanti venature di calcite biancastra. Da mt. 15,10 a mt. 15,90 e da mt. 17,10 a mt. 17,90 livelli di calciquarziti, formate da noduli sia calcarei a media durezza, che quarzosi più duri. Nel complesso la roccia tranne nei livelli di calciquarzite, si presenta poco compatta, in scaglie. Fratture lungo la scistosità piano ondulato, chiuse-benati, ad inclinazione anche subverticale. Da mt. 18,50 a mt. 19,00 livello alterato e destrutturato con patine giallastre diffuse e riempimenti limosi giallastri.					C.R. 5	15,45 15,65				
21,4							C.R. 6	17,35 17,55				
25,0		Argillite grigio scuro nerastra, consistenza da semilapidea a più tenera (coesiva), scagliosa, con clasti e noduli calcarei e quarzosi biancastri.					C.R. 3	22,40 22,90				

DATA INIZIO: 28/02/05 DATA ULTIMAZIONE: 09/03/05

TIPO DI ATREZZATURA: Puntel PX600

METODO DI PERFORAZIONE: a rotazione a carotaggio continuo

ATTREZZO DI PERFORAZIONE: carotiere semplice, diametro 101 mm, da mt. 0,00 a mt. 11,50 e da mt. 21,40 a mt. 2,00

carotiere doppio tipo T6, diametro 101 mm, da mt. 11,50 a mt. 21,40 con corona diamantata

RIVESTIMENTO: da mt. 0,00 a mt. 12,50 diametro 127 mm.

NOTE: installato tubo chiuso in pvc diam. 3 pollici a mt. 21,00

Profondità delle battute (m): 0,80 ÷ 1,60 ÷ 3,00 ÷ 4,00 ÷ 5,50 ÷ 7,00 ÷ 8,00 ÷ 9,00 ÷ 9,45 ÷ 10,00 ÷ 10,80 ÷ 11,50 ÷ 12,40 ÷ 13,00 ÷ 13,55 ÷ 15,40 ÷ 16,00 ÷ 16,50 ÷ 18,00 ÷ 18,40 ÷ 19,20 ÷ 20,40 ÷ 21,40 ÷ 22,30 ÷ 23,20 ÷ 24,00 ÷ 25,00



## documentazione fotografica casse catalogatrici - SF13

Fotografie - Pagina 1/3

Riferimento: COCIV - LINEA AV/AC MI-GE 3° VALICO DEI GIOVI	Sondaggio: SF13
Località: Finestra Polcevera	Quota: 115.70 m/slm
Impresa esecutrice: SO.RI.GE s.r.l.	Data: 09/03/05
Coordinate: X = 53910.7700 Y = 154971.4440	Redattore: Dott. Delsoldato
Perforazione: a rotazione a carotaggio continuo	



cassa 1 da mt. 0.00 a mt. 5.00



cassa 2 da mt. 5.00 a mt. 10.00

Figura 5-1. Cassette stratigrafiche SF13 – coltre e strati superficiali alterati



## documentazione fotografica cassette catalogatrici - SF13

Fotografie - Pagina 2/3

Riferimento: COCIV - LINEA AV/AC MI-GE 3° VALICO DEI GIOVI	Sondaggio: SF13
Località: Finestra Polcevera	Quota: 115.70 m/slm
Impresa esecutrice: SO.RI.GE s.r.l	Data: 09/03/05
Coordinate: X = 53910.7700 Y = 154971.4440	Redattore: Dott. Delsoldato
Perforazione: a rotazione a carotaggio continuo	



cassa 3 da mt. 10.00 a mt. 15.00



cassa 4 da mt. 15.00 a mt. 20.00

Figura 5-2. Cassette stratigrafiche SF13 – Alternanza di substrato roccioso e materiali terrigeni



## documentazione fotografica casse catalogatrici - SF13

Fotografie - Pagina 3/3

Riferimento: COCIV - LINEA AV/AC MI-GE 3° VALICO DEI GIOVI	Sondaggio: SF13
Località: Finestra Polcevera	Quota: 115.70 m/slm
Impresa esecutrice: SO.RI.GE s.r.l.	Data: 09/03/05
Coordinate: X = 53910.7700 Y = 154971.4440	Redattore: Dott. Delsoldato
Perforazione: a rotazione a carotaggio continuo	



Figura 5-3. Cassette stratigrafiche SF13 – Alternanza di substrato roccioso e materiali terrigeni

Fig. 4.5 – Stratigrafia del sondaggio SF13

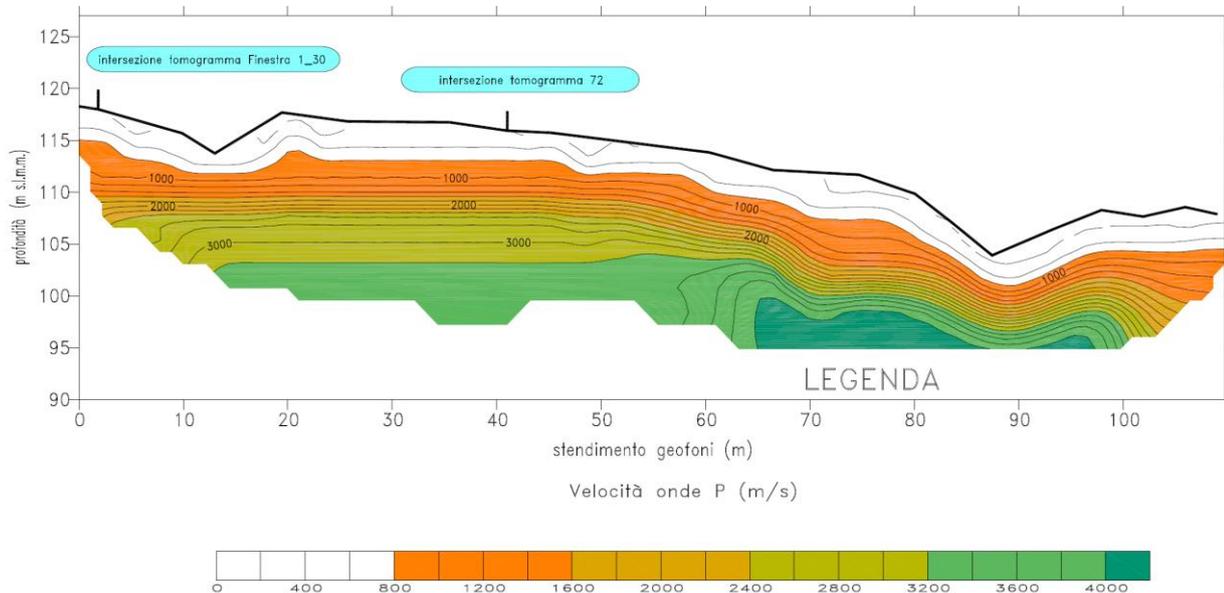
- prove penetrometriche statiche: le prove SPT confermano quanto ritrovato nel sondaggio. Nei primi 10.0 m infatti si ritrova un terreno di scadenti caratteristiche meccaniche in cui la prova fornisce un numero relativamente basso di colpi NSPT, mentre si arriva a rifiuto a profondità 11.5 m. Sotto è riportata una tabella riassuntiva delle prove eseguite

SONDAGGIO	PROFONDITA' SONDAGGIO	PROFONDITA' SPT	VALORE SPT	VALORE N <sub>spt</sub>
SF 13	25,00 mt	2,00 mt	5, 10, 6	16
		5,50 mt	8, 10, 11	21
		8,00 mt	5, 8, 10	18
		10,00 mt	12, 13, 15	28
		11,50 mt	RIF 4cm	100

- tomografie sismiche e elettriche di PD: le prove forniscono velocità variabili e che crescono con la profondità a confermare il miglioramento delle caratteristiche meccaniche. In particolare si individua uno strato superficiale con  $V_p < 800$  m/s per poi passare ad uno

intermedio con velocità comprese tra gli 800 m/s e 1800m/s. Questo range è tipico dei terreni da poco a mediamente consistenti. Infine negli strati più profondi le velocità raggiungono i 3000 m/s. La prova infine conferma che lungo tutto lo sviluppo della paratia la stratificazione dei terreni è pressappoco costante. Un esempio dei risultati, per i dettagli dei quali si rimanda ai documenti relativi alle indagini geofisiche presentati in Progetto Definitivo, è riportato in Figura 4.6.

## POLCEVERA–S.QUIRICO 76–59dx



**Figura 4.6 – Tomografia zona Polcevera**

- tomografie sismiche, elettriche e sismica a riflessione di PE (cfr. fig. 4.7): anche in questo caso, l'analisi delle prove eseguite rileva velocità variabili, che crescono con la profondità a confermare il miglioramento delle caratteristiche meccaniche dell'ammasso roccioso. In particolare nella sezione L1-GA1D (cfr. fig. 4.8) si individua uno strato superficiale con  $V_p < 1200$  m/s (compreso tra il piano campagna e spessori variabili tra 1 e 6 metri), associabile ad una coltre detritica, per poi passare ad uno strato intermedio, con velocità comprese tra 1200 m/s e 2500m/s (all'incirca a profondità comprese tra la profondità di 1 e 6 metri di profondità e tra 6 e 12 metri di profondità, con spessori all'incirca costanti e pari a circa 6 – 7 metri circa). Questo range è tipico dei terreni da poco a mediamente consistenti ed associabile ad un ammasso alterato e fratturato. Infine negli strati più profondi le velocità raggiungono e superano i 3400 m/, a confermare il miglioramento delle caratteristiche di consistenza dell'ammasso roccioso con la profondità.

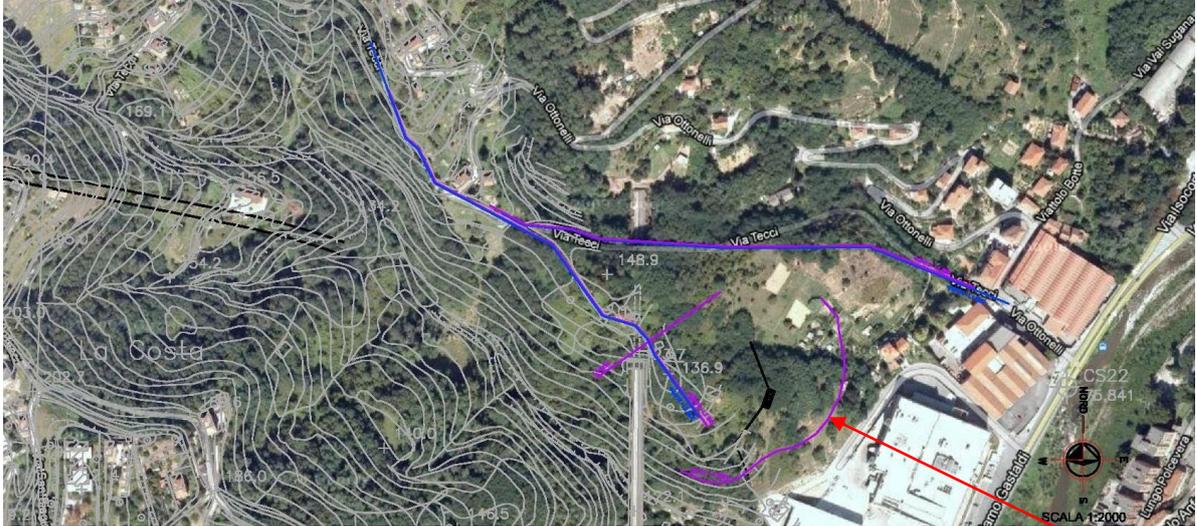


Figura 4.7 – Indagini sismiche di PE - zona Polcevera

L1 – GA1D

WBS GA1D - LINEA L1

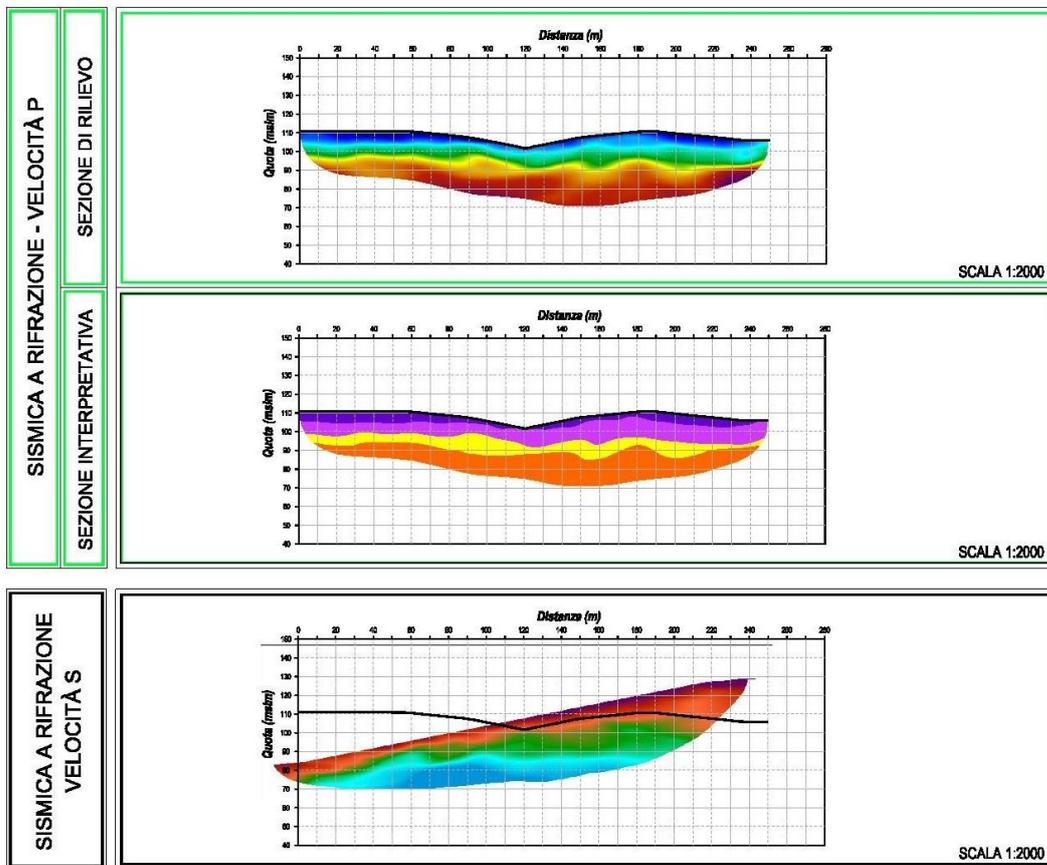


Figura 4.8 – Linea sismica L1-GA1D - zona imbocco Polcevera

- Le prove analizzate infine confermano che lungo tutto lo sviluppo della paratia la stratificazione dei terreni è pressappoco costante. Un esempio dei risultati, per i dettagli dei quali si rimanda ai documenti relativi alle indagini geofisiche presentati in Progetto Definitivo ed in Progetto Esecutivo, è riportato nelle figure 4.6, 4.7, 4.8.

Di seguito si riporta la ricostruzione stratigrafica schematica in corrispondenza della sezione trasversale dell'imbocco (fig. 4.9), in asse paratia, ed in corrispondenza del profilo longitudinale (fig. 4.10).

In base all'analisi delle indagini sismiche e del sondaggio SF13, precedentemente descritti, si è ipotizzato la seguente ricostruzione stratigrafica schematica con la profondità:

- un primo strato di coltre superficiale detritica dello spessore di circa 2.0 m,
- un secondo strato costituito da argille assimilabili alle argille a palombini, molto alterate fino ai primi 10.0 m di profondità circa,
- per profondità superiori a 10 metri si osserva la presenza di terreni a consistenza lapidea, attribuibili al substrato roccioso (Argille a Palombini).

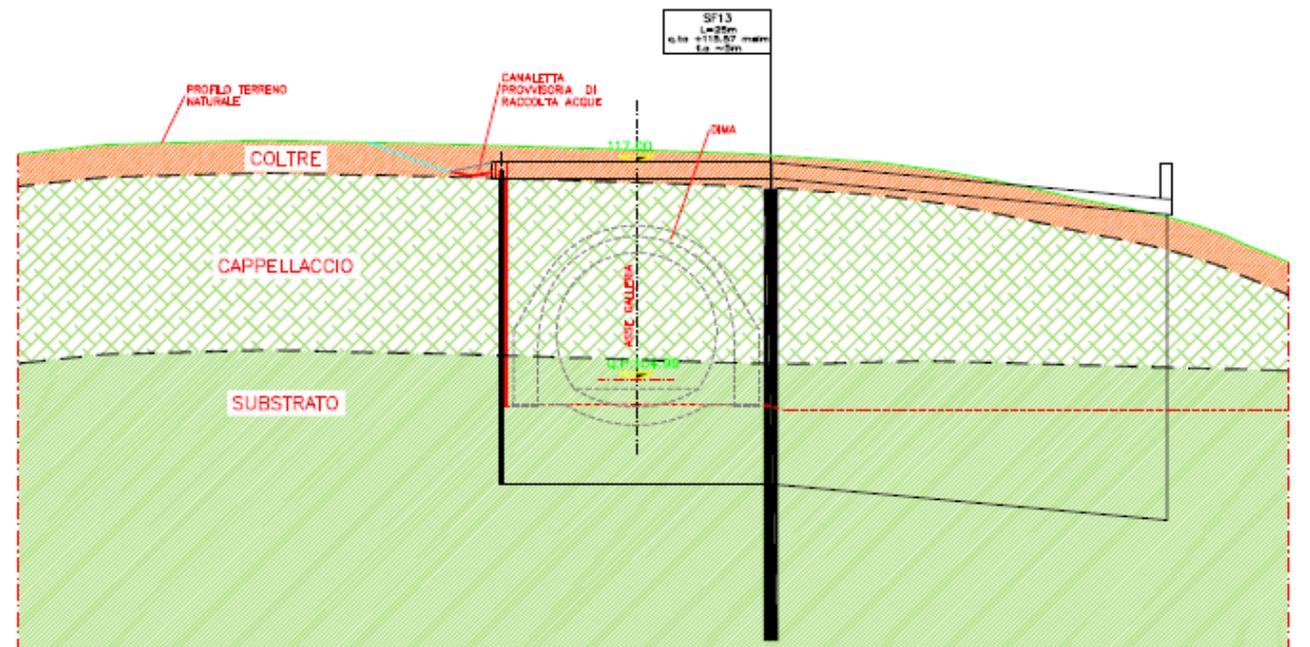
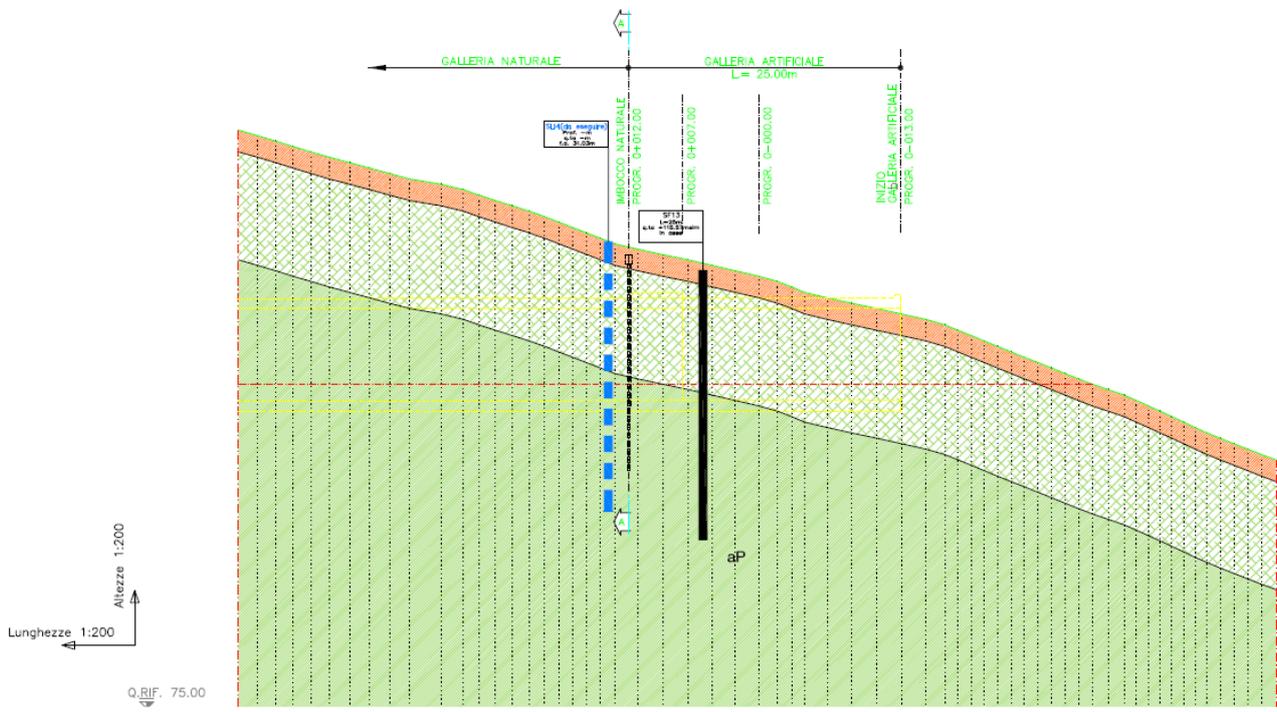


Figura 4.9 – Stralcio della sezione stratigrafica trasversale alla zona di imbocco della GN15E in asse paratia



**Figura 4.10 – Stralcio della sezione stratigrafica in asse al profilo longitudinale**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN0000007B00 <span style="float: right;">Foglio 26 di 80</span>

## 5.2. Galleria di ventilazione e area sicura

La galleria attraversa la formazione delle Argille a Palombini: all'interno di questa formazione, inizialmente lo scavo interessa strati per lo più da alterati a molto alterati, intercalati e a tratti in alternanza a strati a chiara conformazione terrigena, per poi inoltrarsi nella parte di substrato più compatto con caratteristiche meccaniche che migliorano con l'aumentare delle coperture in gioco (cfr. Relazione Geotecnica Finestra Polcevera di PE). In particolare per l'analisi delle problematiche inerenti allo scavo si definiscono due tratte, con differenti criticità, che verranno descritte nel dettaglio nei successivi paragrafi:

- a) Tratta 1: dall'imbocco (pk0+012.000) alla pk 0+450.000 circa, caratterizzata dalla successione di depositi superficiali e alternanza di materiali terrigeni e argilloscisti molto alterati, poggianti sul substrato destrutturato delle Argilliti a Palombini
- b) Tratta 2: dalla pk0+450.000 all'innesto con la galleria di linea (pk1.768.813), caratterizzata dall'ammasso roccioso delle Argilliti a Palombini

Sulla base di quanto riportato nell'area di imbocco e alla relazione geotecnica della Finestra Polcevera, i sondaggi ad oggi disponibili inerenti all'area di interesse mostrano una copertura pressoché continua di depositi di origine eluvio-colluviale, di spessore variabile, generalmente compreso tra 0,5m e 10 m circa. Tali depositi sono costituiti da clasti spigolosi centimetrici in matrice sabbioso-limosa (Figura 4.4a) e, localmente, da clasti arrotondati che derivano dalle rielaborazione di originari depositi fluvio-torrentizi (Figura 4.4b). Questi ultimi originariamente costituivano le superfici terrazzate, ora elevate rispetto al fondovalle di circa 100 m.



**Figura 5-4. Sinistra: clasti arrotondati di probabile origine fluviali presenti nei depositi colluviali. Destra: tipico aspetto della coltre colluviale. La freccia bianca indica clasti arrotondati**

Al di sotto di questa coltre i sondaggi mostrano strati di argilloscisti molto fratturati, in alternanza a strati completamente destrutturati e alterati della stessa matrice, composti da argille o scaglie lapidee argillitiche e ciottoli in matrice limoso-sabbiosa. La potenza di questi strati in alternanza, che interessano tutta la parte della galleria a basse coperture, può raggiungere anche i 20-25 m, come

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A3010XDCVROGN0000007B00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 291"> <tr> <td>Foglio 27 di 80</td> </tr> </table>	Foglio 27 di 80
Foglio 27 di 80		

mostrano le foto di cassette stratigrafiche (cfr. immagini successive) e i risultati delle prove geofisiche, che attestano un inizio del substrato roccioso, benché comunque alterato, solamente dopo i primi 25 m. In particolare, le prove geofisiche di P.D. e di P.E. che interessano la parte iniziale e, dal punto di vista stratigrafico, più caotica della tratta, confermano il miglioramento delle caratteristiche meccaniche con la profondità: si individua uno strato superficiale con  $V_p < 800-1200$  m/s per poi passare ad uno intermedio con velocità massime di 1800-2000 m/s. Questo range è tipico dei terreni da poco a mediamente consistenti. Infine dove le velocità raggiungono i 3000 m/s, si incontrano gli strati più profondi e lapidei.

L'unico sondaggio ad oggi presente nella parte finale del tracciato (SLI07, cfr Figura 5-6, Figura 5-7, Figura 5-8, Figura 5-9), mostra spessori simili alla tratta iniziale degli strati superficiali terrigeni, ed inoltre una presenza anche a profondità dell'ordine dei 60-80m di strati alterati di argilliti filladiche fittamente foliate.



Figura 5-5. Cassette stratigrafiche SLI04 – Substrato molto alterato di ap



Figura 5-6. Cassette stratigrafiche SLI07 – Coltre



Figura 5-7. Cassette stratigrafiche SLI07 – Alternanze di argilliti destrutturate e materiali terrigeni



### 5.3. Parametri geotecnici

#### 5.3.1. Coltre e strati superficiali

Per la caratterizzazione geotecnica si è fatto riferimento ai dati ottenuti a partire dai sondaggi effettuati su tutta la linea oltre che dai sondaggio nella zona di imbocco e dalle prove eseguite.

In analogia con quanto descritto in precedenza e riportato in esteso nelle relazioni geotecniche relative all'imbocco e alla finestra Polcevera, nel seguito della relazione gli strati superficiali verranno schematizzati come:

- Dep. Superficiale 1: stato di coltre, formato da depositi di detriti eluvio colluviali, con comportamento prettamente incoerente;
- Dep. Superficiale 2: strato di scaglie argillitiche e ciottoli in matrice limoso sabbiosa e presenza di argille consistenti, a comportamento incoerente con bassi valori di coesione
- Alternanze dep/aP\_alt: alternanze di substrato roccioso alterato e depositi superficiali composti da argille, scaglie argillitiche e ciottoli, caratterizzati da valori più elevati di coesione e da modesti angoli di attrito

Terreno	Stratigrafia da Piano campagna (m)	Peso di volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Coesione c' (kPa)	Angolo di attrito $\varphi$ (°)	Modulo def. E (MPa)
Dep superficiale 1	0÷2	19	0 - 10	27	10÷20
Dep superficiale 2	2÷10	18 – 23	10 - 30	27 - 28	10÷30
Alternanze dep/aP_alt	10÷25	18 – 23	30 - 60	21 - 22	30÷55

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN0000007B00 <span style="float: right;">Foglio 32 di 80</span>

### 5.3.2. Argillite a Palombini

A coperture più elevate, mediamente dai 25÷30 m da p.c., inizia il substrato roccioso delle Argillite a Palombini, inizialmente molto alterato e foliato, infine più compatto e litoide. Si riporta di seguito una breve descrizione delle caratteristiche d'ammasso, riportate in maniera completa nella Relazione Geotecnica della Finestra Polcevera.

#### Gruppi geomeccanici

##### **Gruppo geomeccanico 1**

L'ammasso presenta discrete proprietà geomeccaniche. L'RQD è mediamente maggiore del 50-60%; si individua chiaramente la foliazione regolarmente spaziata anche se la struttura non è intensamente piegata fino alla microscala. Le superfici dei giunti sono prive di alterazione e la circolazione idrica è scarsa o assente. La presenza dei palombini può superare il 50% fino a condizionare completamente il comportamento generale dell'ammasso; gli strati calcarei sono però poco fratturati e poco alterati. Si ritrova prevalentemente nella tratta 1 e probabilmente nelle basse coperture della tratta 2

##### **Gruppo geomeccanico 2**

L'ammasso mostra scadenti proprietà geomeccaniche. L'RQD è variabile mediamente tra il 20 e il 50%; si individua ancora chiaramente la foliazione regolarmente e fittamente spaziata ma con struttura più intensamente piegata, fino alla microscala. Le superfici dei giunti sono da poco alterate ad alterate e la circolazione idrica è scarsa. I palombini, quando presenti (non oltre il 50%), risultano da fratturati a molto fratturati e localmente alterati. Si ritrova prevalentemente nella tratta 2.

##### **Gruppo geomeccanico 3**

L'ammasso che ricade in questo gruppo appartiene a zone particolarmente tettonizzate o alterate e mostra proprietà geomeccaniche molto scadenti. L'RQD è inferiore mediamente al 20%; la foliazione è talmente intensa ed irregolarmente e fittamente spaziata che può non essere più riconoscibile (ammasso destrutturato con perdita di coesione); la struttura, quando riconoscibile, è intensamente piegata fino alla microscala. Le superfici dei giunti sono da alterate a molto alterate e la circolazione idrica può essere significativa. I palombini, quando presenti (non oltre il 30%), risultano intensamente fratturati ed alterati. Si ritrova prevalentemente nella tratta 2.

#### Parametri ed ipotesi di calcolo

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

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

Si riportano nel seguito:

- Quadro di sintesi di caratterizzazione geomeccanica per i 3 gruppi individuati, con ulteriore partizione dei gruppi G2 e G3 a vantaggio della versatilità della classificazione rispetto alle esigenze progettuali e costruttive;
- Parametri geotecnici/geomeccanici di calcolo propri di ogni gruppo geomeccanico individuato.

Formazione	$\gamma$	$\nu$	$E_{op}$	$\sigma_c$	$m_i$	GSI
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[GPa]	[MPa]	[-]	[-]
GR1	27	0,25-0,3	3.0÷7.8	30÷40	15÷20	45÷55
GR2a	27	0,25-0,3	1.5÷2.0	10÷12	20÷25	40÷45
GR2b	27	0,25-0,3	1.0÷1.5		15÷20	35÷40
GR3a	26	0,3	0.6÷1.2	5÷7	19	30÷35
GR3b	26	0,3			19	25÷30

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

Formazione	$\gamma$	$\nu$	$E_{op}$	$\sigma_c$	$m_i$	GSI
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[GPa]	[MPa]	[-]	[-]
GR1	27	0,3	5,4	35	17,5	50
GR2a	27	0,3	1,75	12	20	42
GR2b	27	0,3	1,25	10	17,5	37
GR3a	26	0,3	1,1	7	19	33
GR3b	26	0,3	0,9	5		28

Tabella 5-2. Parametri geotecnici/geomeccanici di calcolo.

Formazione	$\gamma$	$\nu$	$E_{op}$	$\sigma_c$	$m_i$	GSI	$a$	$m_{bp}$	$s_p$	$m_{br}$	$s_r$
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[GPa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
GR1	27	0.3	5.40	35	17.5	50	0.506	2.93	0.0039	2.14	0.0021
GR2a	27	0.3	1.75	12	20.0	42	0.510	2.52	0.0016	1.75	0.0008
GR2b	27	0.3	1.25	10	17.5	37	0.514	1.84	0.0009	1.24	0.0004
GR3a	26	0.3	1.10	7	19.0	33	0.518	1.74	0.0006	1.14	0.0003
GR3b	26	0.3	0.90	5		28	0.526	1.45	0.0003	0.92	0.0001

Tabella 5-3. Argille a Palombini: parametri Modello Hoek-Brown

Una volta definiti i parametri per poter caratterizzare la roccia secondo il modello di Hoek - Brown, è possibile “linearizzare” la curva trovata e ricondursi al modello di Mohr-Coulomb, determinando l’equivalente angolo di attrito e coesione efficace.

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

#### 5.4. Considerazioni sul fenomeno di squeezing

Oggetto del presente paragrafo è la *valutazione del rischio* associato all’insorgere del fenomeno di *squeezing* durante lo scavo delle gallerie per la nuova linea AC Genova-Milano all’interno della formazione degli argilloscisti filladici, in special modo sotto le alte coperture previste.

Con la denominazione di *squeezing* si identifica il fenomeno di intensa deformazione, dipendente dal tempo, che si manifesta all’intorno di una cavità sotterranea ed è principalmente connessa con l’instaurarsi di un fenomeno di “creep” per valori di tensioni che superano la resistenza al taglio del mezzo. La deformazione può terminare durante la fase di costruzione o continuare anche per molto tempo dopo (“International Society for Rock Mechanics”, ISRM, Barla, 1995). Il fenomeno implica pertanto una lenta deformazione di tipo plastico e/o viscoso a carico di una fascia più o meno ampia di ammasso roccioso a diretto contatto con il tunnel o la cavità sotterranea in generale.

La valutazione dell’intensità dello *squeezing* potenzialmente connesso con le operazioni di scavo condotte in un determinato ammasso, è stata condotta ricorrendo alle metodologie di natura empirica derivanti dall’analisi di esperienze raccolte su una vasta gamma di contesti geo-meccanici.

I paragrafi che seguono forniscono una rapida illustrazione dei seguenti criteri adottati nella presente analisi del potenziale rischio di *squeezing*:

- Criterio di GOEL (1994)
- Criterio di BARLA (1995)
- Criterio di HOEK & MARINOS (2000)

Contestualmente alla trattazione teorica delle metodologie di analisi, per ogni criterio di valutazione, saranno presentati in forma grafica i limiti associati ai differenti livelli di rischio, derivati in funzione

delle caratteristiche fisico-meccaniche proprie dei gruppi geo-meccanici rappresentativi della formazione degli argilloscisti filladici.

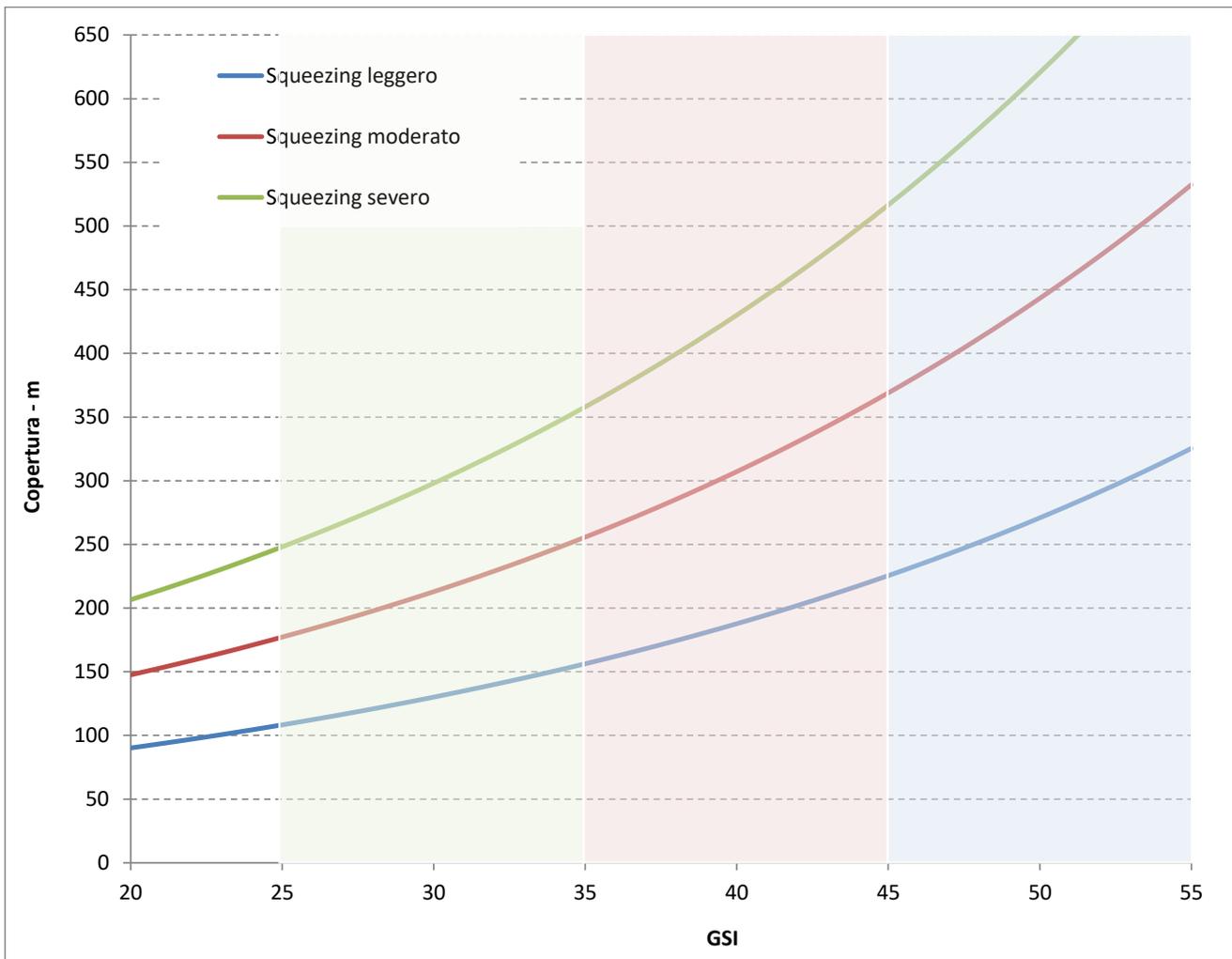
Criterio di GOEL (1994)

L'autore propone un criterio per la determinazione dello *squeezing* basato sulla stima dell'indice Q di Barton relativo all'ammasso roccioso sulla base di una casistica di circa un centinaio di opere in sotterraneo scavate in Scandinavia, Regno Unito e India. Goel definisce tre gradi/intensità di *squeezing* che chiama leggero, moderato e severo. La determinazione empirica di questi gradi richiede solo la conoscenza della copertura H, delle dimensioni del tunnel B e dell'indice Q di Barton secondo gli intervalli espressi nella seguente tabella.

Squeezing Assente	$H < 275 * Q^{0,33} * B^{-0,1}$
Squeezing Leggero	$275 * Q^{0,33} * B^{-0,1} < H < 450 * Q^{0,33} * B^{-0,1}$
Squeezing Moderato	$450 * Q^{0,33} * B^{-0,1} < H < 630 * Q^{0,33} * B^{-0,1}$
Squeezing Severo	$630 * Q^{0,33} * B^{-0,1} < H$

**Tabella 5-4. Potenziale di *squeezing* secondo Goel (1994)**

Si è pertanto derivato l'indice Q, attraverso l'indice RMR, secondo la nota relazione di Bieniawski, dal valore medio di GSI identificativo di ogni gruppo geo-meccanico, ottenendo le curve di potenziale di *squeezing* in funzione della copertura della galleria e dello stesso GSI identificativo dell'ammasso. Nelle determinazioni si è assunto il diametro equivalente di scavo pari a 10/11 m.



**Figura 5-10. Curve Potenziale di squeezing secondo Goel (1994)**

Nel grafico sono campite le fasce corrispondenti ai range di variazione di GSI per i tre gruppi geo-meccanici G1, G2, G3. Le curve rappresentano il limite inferiore associato all'intensità del fenomeno dichiarata.

Si evince che solamente in presenza di un ammasso roccioso riferibile al gruppo geo-meccanico G1, l'insorgenza di fenomeni di *squeezing* risulta comunque di intensità moderata fin quasi alle massime coperture previste (630 m). In tutti gli altri casi l'ammasso, in presenza di coperture medio-alte, variabili nel range da 250 m a 500 m, in relazione al gruppo geo-meccanico coinvolto, mostrerà invece fenomeni di *squeezing* severo.

#### Critério di BARLA (1995)

L'autore propone una stima del fenomeno sulla base del calcolo del rapporto:

$$\sigma_{c\text{ amm}} / \gamma \cdot z$$

dove  $\sigma_{c\text{ amm}}$  è la resistenza a compressione dell'ammasso roccioso, calcolata nel caso in esame tramite la relazione di Hoek (2000) – si veda paragrafo successivo -,  $\gamma$  il peso di volume naturale della roccia soprastante e  $z$  è la copertura sopra la galleria.

Anche in questo caso si definiscono tre gradi di *squeezing* in funzione del valore assunto dal precedente rapporto, secondo quanto espresso nella tabella seguente:

Grado di squeezing	Rapporto $\sigma_{c\text{ amm}} / \gamma \cdot z$
Assente	>1,0
Leggero	0,4 – 1,0
Moderato	0,2 – 0,4
Alto	< 0,2

**Tabella 5-5. Potenziale di squeezing secondo Barla (1995)**

Il diagramma che segue mostra graficamente i limiti associati alle intensità del fenomeno in oggetto, espressi come metri copertura in funzione della resistenza a compressione dell'ammasso  $\sigma_{c\text{ amm}}$ . Le linee rappresentano il limite inferiore associato all'intensità del fenomeno dichiarata. Nel grafico sono campite le fasce corrispondenti ai range di variazione di resistenza a compressione dell'ammasso roccioso, calcolata per i tre gruppi geo-meccanici G1, G2, G3.

Emerge che il gruppo geo-meccanico G1, anche in presenza delle massime coperture previste, risulta essere interessato da fenomeni di squeezing da leggero a moderato; di contro l'insorgere di episodi di intensità elevata è potenzialmente riscontrabile già a partire da profondità di 100 m, in presenza del gruppo geo-meccanico G3: la corrispondente soglia, riferita al gruppo G2 è posta sui 200 m circa.

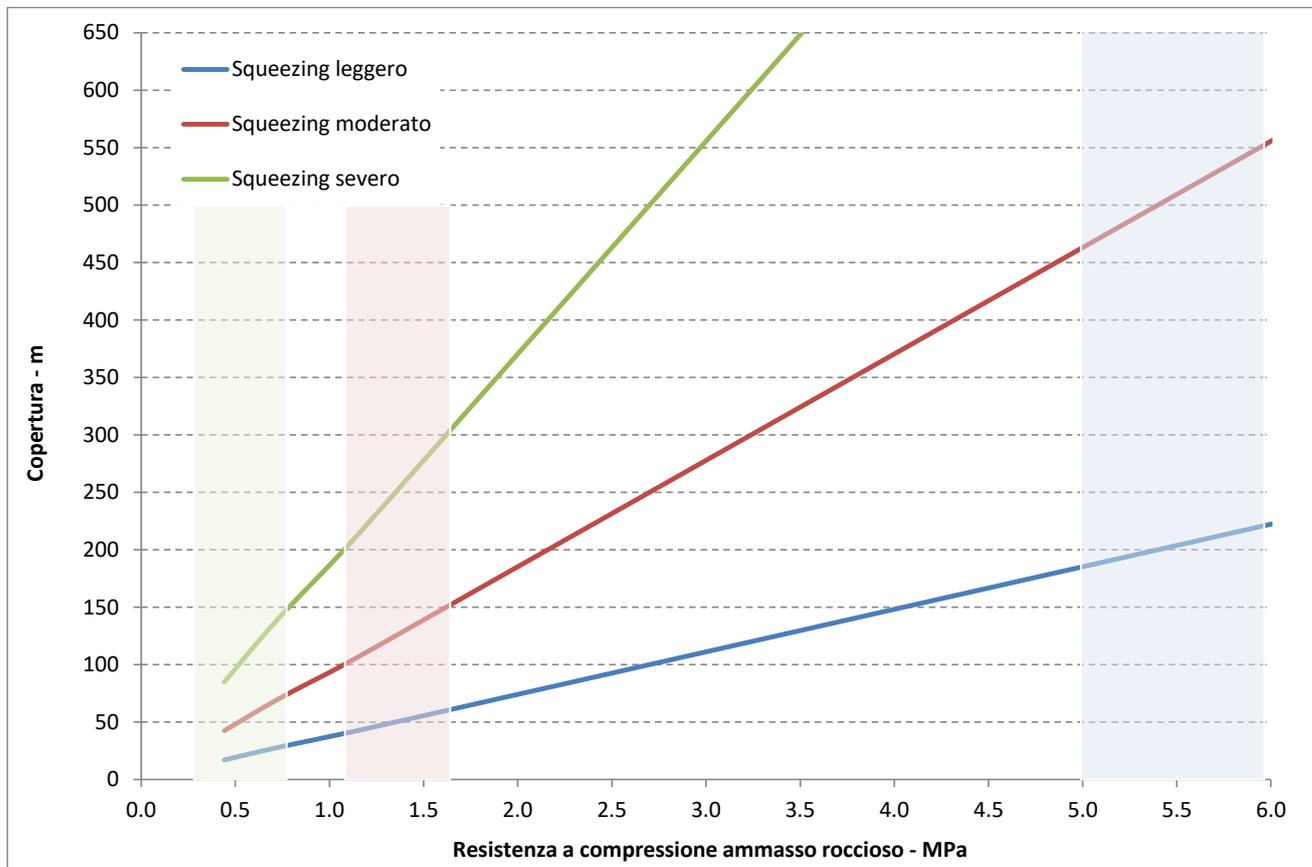


Figura 5-11. Potenziale di squeezing secondo Barla (1995)

### Criteria di HOEK & MARINOS (2000)

Il grado di *squeezing* è determinato sulla base del rapporto  $\sigma_{c\text{ amm}} / p_0$ , dove  $\sigma_{c\text{ amm}}$  è la resistenza a compressione dell'ammasso roccioso e  $p_0$  è, in senso più generale, il valore della tensione principale in situ. I parametri citati sono stati determinati in accordo alle seguenti espressioni:

$$\sigma_{c\text{ amm}} = (0,0034m_i^{0,8})\sigma_c[1,029+0,025e^{(-0,1m_i)}]^{\text{GSI}} \quad p_0 = \gamma z$$

dove  $\sigma_c$  è la resistenza a compressione semplice della matrice rocciosa;  $m_i$  è la costante del Criterio di rottura di Hoek & Brown; GSI è il Geological Strength Index dell'ammasso roccioso;  $\gamma$  è il peso specifico della roccia e  $z$  è la copertura della galleria.

La stima della convergenza attesa all'interno della galleria, espressa in termini di deformazione percentuale  $\varepsilon$ (%) rispetto al diametro, discende dalla seguente espressione di natura empirica.

$$\varepsilon = 0,2(\sigma_{c\text{ amm}} / p_0)^2$$

L'intensità del fenomeno di squeezing è dunque tarata sulla deformazione % diametrale, come espresso nella seguente tabella.

Classe	Convergenza $\varepsilon(\%)$	Grado di squeezing
A	< 1,0%	Assente
B	1,0% - 2,5%	Leggero
C	2,5% - 5,0%	Moderato
D	5,0% - 10,0%	Severo
E	> 10,0%	Estremo

Tabella 5-6. Potenziale di squeezing secondo Hoek-Marinos (2000)

Il diagramma che segue mostra graficamente i limiti associati alle intensità del fenomeno in oggetto, espressi come metri copertura in funzione della resistenza a compressione dell'ammasso  $\sigma_c amm.$  Le linee rappresentano il limite inferiore associato all'intensità del fenomeno dichiarata. Nel grafico sono inoltre campite le fasce corrispondenti ai range di variazione di resistenza a compressione dell'ammasso roccioso, calcolata per i tre gruppi geo-meccanici G1, G2, G3.

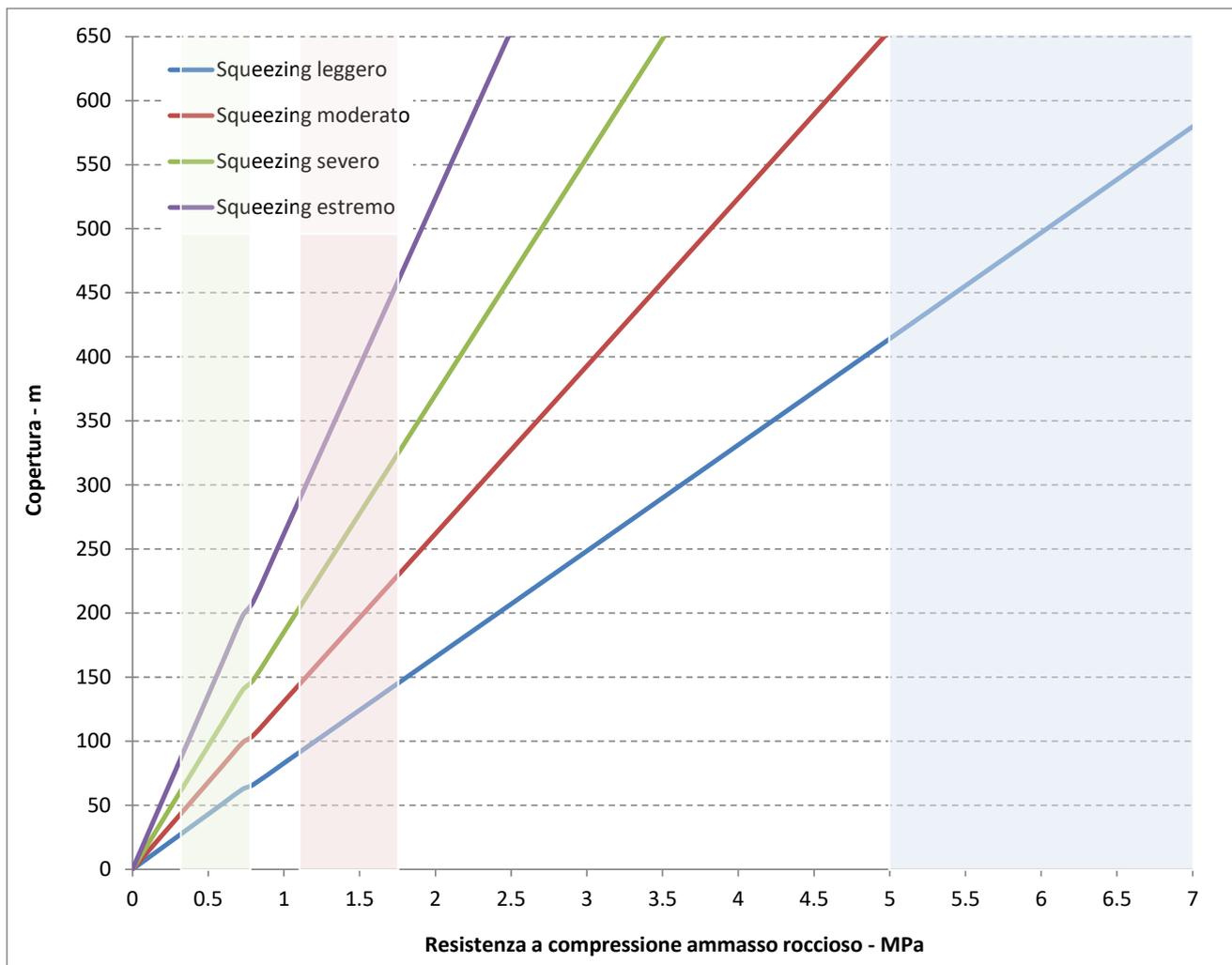


Figura 5-12. Potenziale di squeezing secondo Hoek-Marinos (2000)

Si evince che il gruppo geo-meccanico G1, anche in presenza delle massime coperture previste, è potenzialmente interessato da fenomeni di squeezing di intensità comunque da leggera a moderata. Al contrario, si rileva il rischio di fenomeni di natura severa se non estrema, già a partire da profondità di rispettivamente 75-100 m, in presenza del gruppo geo-meccanico G3, e di 200-300 m per il gruppo G2.

### Analisi comparata dei risultati

Il prospetto che segue costituisce il quadro di sintesi delle determinazioni ottenute ai paragrafi precedenti, in merito ai limiti di copertura connessi con l'insorgere potenziale del fenomeno di squeezing, nelle varie intensità previste dai criteri di valutazione di Goel, Barla e Hoek-Marinos.

Gruppo Geomeccanico		G1	G2a	G2b	G3a	G3b
<b>Squeezing assente</b> (copertura massima in metri)	Goel	270	200	170	145	120
	Barla	225	65	40	30	15
	Hoek-Marinos	500	140	90	60	40
<b>Squeezing leggero</b> (copertura massima in metri)	Goel	440	330	275	240	200
	Barla	560	160	105	70	40
	Hoek-Marinos	795	225	150	100	60
<b>Squeezing moderato</b> (copertura massima in metri)	Goel	620	465	385	330	280
	Barla	1120	320	210	140	85
	Hoek-Marinos	1120	320	210	140	85
<b>Squeezing severo</b> (copertura massima in metri)	Goel	--	--	--	--	--
	Barla	--	--	--	--	--
	Hoek-Marinos	1590	450	300	200	120

**Tabella 5-7. Quadro di sintesi dei limiti di copertura connessi con l'insorgere potenziale del fenomeno di squeezing, nelle varie intensità previste dai criteri di valutazione di Goel, Barla e Hoek-Marinos.**

Dall'analisi comparata dei limiti di copertura ottenuti secondo i differenti criteri di valutazione, emerge quanto segue:

- il criterio di Goel determina limiti più conservativi – mediamente inferiori del 45%, rispetto alla formulazione di Hoek-Marinos, in condizioni buone/elevate di ammasso proprie del gruppo G1;
- i criteri di Hoek-Marinos e Barla, in linea comune nella definizione dei limiti di comportamento, esprimono risultati più cautelativi per condizioni di ammasso medio/basse – gruppi G2-G3, con livelli di copertura mediamente inferiori di un 55-60% rispetto ai limiti secondo Goel in corrispondenza di intensità leggere del fenomeno di squeezing, fino a valori

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">A3010XDCVROGN0000007B00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 41 di 80</p>

inferiori del 30 - 70%, più spiccatamente con il decadimento delle caratteristiche geo-meccaniche dell'ammasso (G2a→G3b).

In linea generale si delinea pertanto un quadro del potenziale di squeezing così strutturato:

- Gruppi geo-meccanici G1 – G2a: l'attività di scavo sotto coperture comunque elevate non è associabile, all'attuale livello conoscitivo, a fenomeni di squeezing severo. Limitatamente al gruppo G2a si delinea un livello di attenzione collocato intorno ai 400 m di copertura oltre il quale è possibile attendersi l'insorgere di squeezing di intensità notevole.
- Gruppi geo-meccanici G2b – G3a: la formazione degli argilloscisti in tale condizione di ammasso può essere suscettibile a fenomeni di squeezing con avviamento per range di copertura di 200-300 MPa:
- Gruppo geo-meccanico G3b: lo scavo in condizioni di ammasso fortemente tettonizzato ed alterato è correlabile con probabili fenomeni di squeezing severo, anche per coperture inferiori e comunque nell'ordine dei 100 m (stima ottimistica secondo Goel  $\cong$  250 m).

Tale rischio potenziale connesso all'insorgenza del fenomeno potrà determinare l'adozione, nell'ambito delle previste sezioni di scavo ed avanzamento, dei limiti superiori indicati nel campo di variabilità degli interventi.

In conclusione delle analisi svolte, appare evidente che, in determinate situazioni geo-meccaniche e di copertura, la formazione degli Argilloscisti risulta potenzialmente suscettibile al fenomeno dello squeezing, anche con manifestazioni localmente molto importanti e pertanto non trascurabili, pur sussistendo le seguenti limitazioni riguardo la completa rappresentatività dei risultati ottenuti:

- la determinazione del potenziale di squeezing è discesa dall'assunzione, nelle formulazioni empiriche, di una tensione principale massima pari al carico geostatico, eludendo pertanto l'eventualità di tensioni orizzontali superiori alla verticale geostatica, peraltro emersa localmente dall'esito delle prove di fratturazione idraulica in foro di sondaggio;
- i dati acquisiti nelle campagne di indagine di PP, PD e PE sono limitati ad una profondità massima di indagine di circa 400 m, con significativa concentrazione del campione di rilevazioni entro profondità di 200 m.

In relazione dunque alle coperture identificate quali potenziali soglie per l'insorgenza dello squeezing, superiori ai 250 m, la valutazione del potenziale di squeezing, derivata estrapolando le caratteristiche geo-meccaniche disponibili, è da considerarsi non priva di margini di incertezza.

Si sottolinea comunque che, sulla base delle distribuzioni attualmente note di GSI e UCS, non è determinabile alcuna forma di correlazione delle stesse con la profondità dal p.c. e pertanto non è possibile allo stato attuale estrapolare un'eventuale aumento con la profondità del valore medio della  $\sigma_{c,amm}$ .

- i dati disponibili non consentono di determinare l'ampiezza della fascia plasticizzata al contorno della galleria né di poter tentare una stima, seppur grossolana, dei tempi in cui tale fenomeno si potrà evolvere;

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN0000007B00 <div style="float: right;">Foglio 42 di 80</div>

il carattere indicativo delle risultanze delle precedenti formulazioni è legato all'esperienza diretta dello scavo dei cunicoli Vallemme e Castagnola, nell'ambito del quale, pur essendo state incontrate zone con gruppo geomeccanico pari a 3, il monitoraggio tenso-deformativo dei rivestimenti nel tempo non ha evidenziato alcuna anomalia.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN0000007B00	Foglio 43 di 80

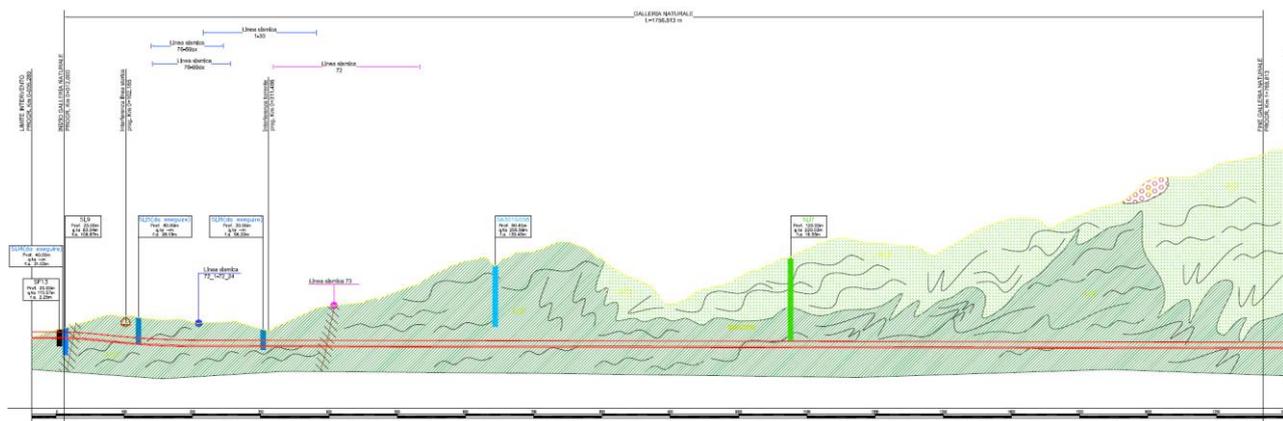
## 6. SINTESI DELLE ESPERIENZE DI SCAVO

Questa sezione del lavoro si pone l'obiettivo di sintetizzare le evidenze geologiche, geotecniche e idrogeologiche emerse durante la realizzazione della TBM e durante gli scavi della linea, al fine di poter individuare eventuali elementi di criticità non disponibili in sede di Progettazione Esecutiva (si veda capitolo precedente). La parametrizzazione geotecnica degli ammassi, la quale si basa su una visione complessiva dell'ammasso attraversato, anche in relazione alla complessità della formazione, non è oggetto di revisione e si assumono validi i parametri attribuiti ai diversi gruppi geomeccanici in sede di PE.

### 6.1. Scavo della TBM Polcevera

Il presente paragrafo propone in maniera organica le principali risultanze dell'attività di monitoraggio ed assistenza tecnica condotte durante lo scavo con fresa TBM-EPB della Finestra Polcevera, compresa nelle opere della Linea A.V./A.C. Milano-Genova.

Lo scavo in meccanizzato è stato effettuato con la TBM EPB S914 (Herrenknecht). L'opera presenta una lunghezza complessiva di circa 1800 m, di cui i primi campi di avanzamento sono stati scavati in tradizionale (sezioni consolidate al fronte e contorno) per ragioni logistiche connesse al montaggio della macchina.



L'avanzamento della fresa TBM, in termini di modalità operative e prestazioni ottenute, si presta alla seguente articolazione dell'analisi:

- scavo del settore iniziale (primi 500 m ca), caratterizzato dalle minori coperture e da condizioni diffuse di alterazione dell'argilloscisto (unità AGF), nonché dalla presenza di interferenze con le pre-esistenze, in primis il sotto-attraversamento della Galleria Lauro appartenente alla linea storica RFI Torino-Genova; tale settore rappresenta inoltre il contesto di avvio dello scavo meccanizzato, condotto prevalentemente in modalità closed (mantenimento della contro-pressione di terra al fronte) e comprendente dalla cosiddetta fase di apprendimento (TBM learning / launching phase);

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN0000007B00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 291"> <tr> <td>Foglio 44 di 80</td> </tr> </table>	Foglio 44 di 80
Foglio 44 di 80		

- scavo del settore centrale, di estensione pari a ca 925 m, con coperture variabili dai 55 ai 170-180 m e condizioni geomeccaniche dell'ammasso (unità AGF) variabili entro un ampio range e con una certa periodicità;
- scavo del settore terminale, con sviluppo prossimo ai 500 m, con copertura progressivamente crescente sino ad un massimo di ca 290 m, in corrispondenza dell'innesto con la futura canna ospitante il binario Milano – Genova della galleria di Valico. Tale settore è risultato essere caratterizzato altresì per l'attraversamento di settori di ammasso riconducibili all'unità AGI, con ripercussioni sulla scavabilità del materiale e sulla produttività. Si precisa infine come lo scavo del settore in oggetto sia stato eseguito a seguito di una riconfigurazione della fascia periferica della testa di scavo, consistente nell'installazione di gauge cutters di diametro maggiorato (dischi 19" in luogo dei 17") unitamente a piastre di spessoramento per consentire l'incremento del diametro nominale di scavo di ulteriori 25 mm.

L'elaborazione dei parametri macchina è stata condotta, in fase di scavo, contestualmente all'avanzamento della fresa secondo una procedura operativa comune per i citati settori della Finestra, favorendo in tal modo l'interpretazione e la valutazione comparata della prestazione della macchina nel corso dello scavo e della risposta dell'ammasso allo scavo.

#### 6.1.1. *Settore Iniziale a basse coperture*

Il presente paragrafo ha come oggetto l'analisi dei parametri macchina raccolti dall'inizio dello scavo con sistema meccanizzato (anello 18) alla progressiva 0+500 (anello 350 ca): il settore considerato costituisce il primo tratto della Finestra Polcevera, caratterizzato dalle minori coperture (inferiori a 50 m) e, di conseguenza, dalle maggiori interferenze con le pre-esistenze in superficie, quale, innanzitutto, il sotto-attraversamento della Galleria Lauro (Linea storica Torino-Genova).

L'avanzamento della fresa, sino all'anello 263, è avvenuto in modalità chiusa (Closed Mode); nello specifico, sino all'anello 256 il materiale scavato è stato oggetto di condizionamento operato a mezzo schiume additivate con polimero, mentre, dall'anello 257 all'anello 263, si è attuata la semplice iniezione di acqua dalle linee installate sulla testa di scavo (cutterhead) e sul diaframma (bulkhead).

Stanti le buone condizioni geomeccaniche dell'ammasso, connesse al raggiungimento di coperture in calotta superiori ai 30 m, le spinte riferite agli anelli 264 - 270 sono state condotte in modalità aperta (Open Mode). Considerate le subentrate criticità in termini di guidabilità della macchina (steering), si è reso necessario stabilire una modalità di avanzamento propriamente semi-chiusa (Semi-Closed Mode). A seguito di una prima fase di taratura dei parametri connessi a quest'ultima modalità (con particolare riguardo al quantitativo di acqua iniettato in camera di scavo ed alla pressione conferita alla bolla d'aria in calotta), l'avanzamento è proseguito, pertanto, in Semi-Closed Mode, con la sola iniezione di acqua in camera di scavo.

L'analisi dei principali parametri macchina ha evidenziato:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN0000007B00 <span style="float: right;">Foglio 45 di 80</span>

- La spinta totale impartita dal sistema costituito dalle 14 coppie di cilindri principali mostra un andamento uniforme lungo la tratta oggetto di analisi: contestualmente all'avanzamento in modalità chiusa la spinta si è attestata attorno ai 20000 kN mentre, nell'attuale modalità semi-chiusa, la spinta totale oscilla attorno ai 16000 kN.
- Le pressioni in calotta (sensore di pressione 1, posto a 0.73 m dalla sommità del diaframma), a partire dall'anello 40 si sono mantenute nel range 1.3 – 1.7 bar (con valori massimali imposti durante il sotto-attraversamento della Galleria Lauro), per collocarsi poi attorno ai 1.3-1.4 bar sino all'anello 257 (eliminazione condizionamento del muck).
- La forza di appoggio netta è compresa fra 1500 kN e 7000 kN. I dati hanno evidenziato la diminuzione attorno all'anello 150 che, se rapportata con l'andamento della coppia applicata al Main Drive, suggerisce la presenza di un settore di ammasso con caratteristiche geomeccaniche più scadenti (anelli 145-155).
- La pressione sullo scudo (parametro ricavato indirettamente dalla valutazione delle spinte attritive) ha evidenziato quanto segue
  - dall'anello 50 all'anello 140 (ovvero superata la fase iniziale di operatività della fresa) la pressione stimata dell'ammasso sullo scudo è mediamente di 0.5 bar;
  - dall'anello 140 all'anello 160, l'elaborazione restituisce un aumento della pressione sullo scudo, sino a 0.8/0.9 bar, elemento questo che pare confermare il decadimento locale della qualità dell'ammasso evidenziato nel medesimo settore dalla forza di appoggio netta e dalla coppia;
  - la pressione si assesta nuovamente attorno a 0.5 bar sino all'anello 220, per poi crescere, nella media, nel tratto che va dall'anello 220 al 240 e dal 290 al 340 (proporzionalmente all'aumento della copertura).

In sintesi si è evidenziato una prima tratta caratterizzata da parametri geomeccanici mediamente bassi che progressivamente hanno registrato un miglioramento delle condizioni generali di ammasso, sino alla tratta compresa tra gli anelli 140-160 (pk 300 circa) che mostra una probabile zona detensionata o comunque caratterizzata da caratteristiche peggiori.

Intorno alla pk 0+102.2 ca è stata attraversata l'interferenza con la linea ferroviaria "Succursale dei Giovi". In particolare, il tracciato della Finestra Polcevera sottopassa in direzione sub-perpendicolare la Galleria Lauro preesistente con una copertura minima (distanza tra calotta della Finestra e intradosso dell'arco rovescio della galleria Lauro) pari a circa 16m. Il sotto-attraversamento avviene esattamente in corrispondenza dell'imbocco sud della Galleria Lauro. Nelle seguenti immagini viene riportata sinteticamente l'interferenza in esame.

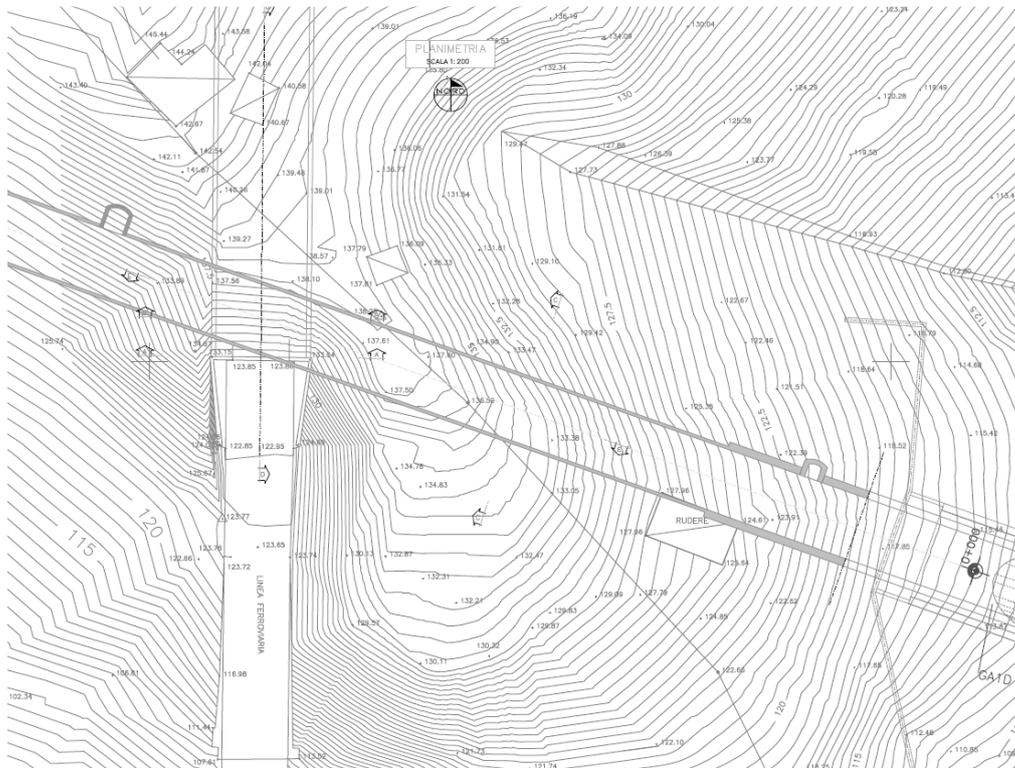


Figure 1 - Stralcio planimetrico del passaggio della Finestra Polcevera al di sotto della Galleria Lauro

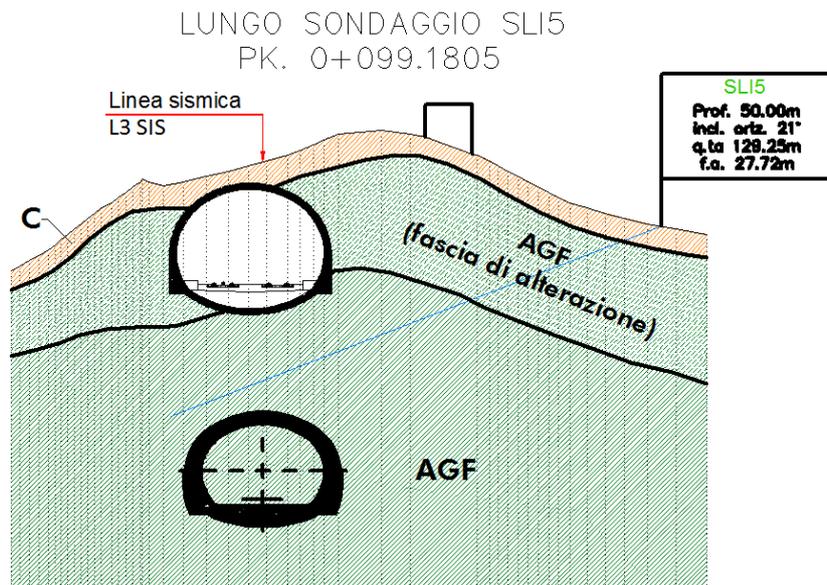


Figure 2 - Sezione Geologica in corrispondenza dell'interferenza Finestra Polcevera - Galleria Lauro

Per controllare il fenomeno deformativo indotto sulla preesistenza a causa dello scavo della Finestra, è stata predisposta la seguente strumentazione di monitoraggio disposta all'interno della galleria Lauro:

- Mire topografiche installate sia sul paramento della galleria che lungo i marciapiedi per il controllo delle deformazioni in fase di scavo della Finestra Polcevera;

- Mire topografiche installate sui paramenti del portale di imbocco;
- Elettrolivelle sia trasversali che longitudinali installate lungo i binary
- n.3 estensimetri multibase di lunghezza pari a 30m per quelli laterali e 25 m per il centrale

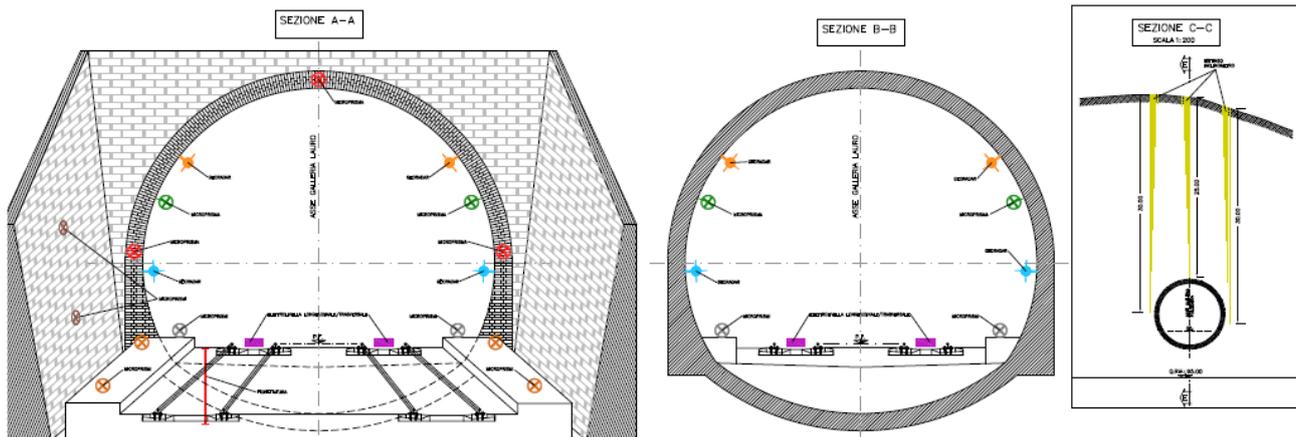
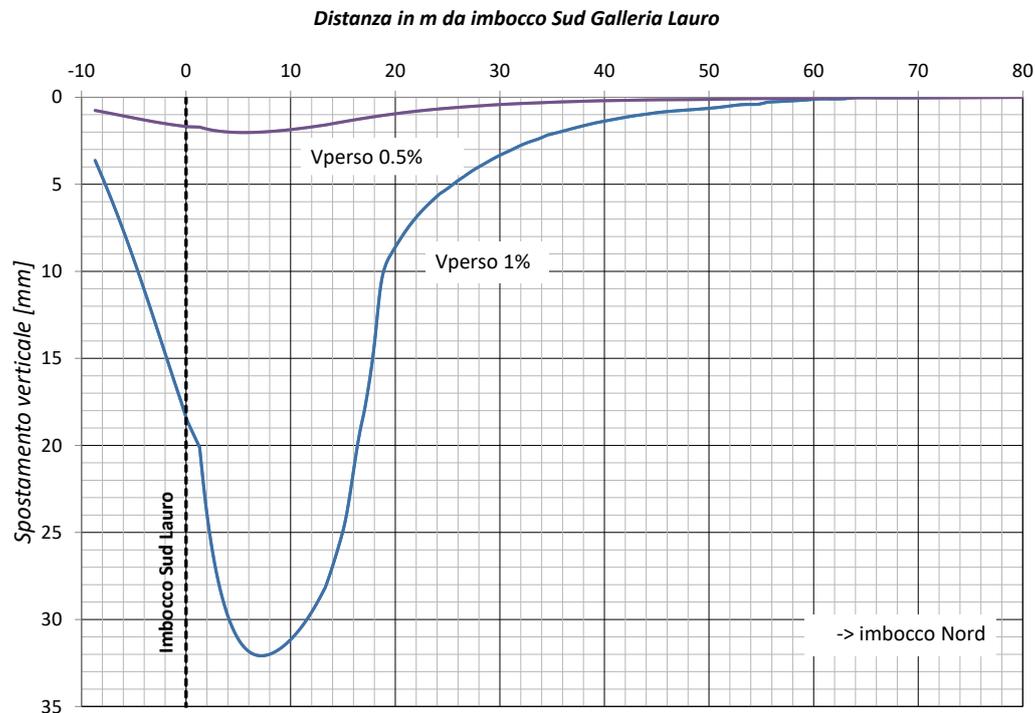


Figure 3 – Strumentazione di monitoraggio prevista

Inoltre, per il monitoraggio da piano campagna si è previsto il controllo deformativo mediante n.4 sezioni di controllo trasversale all'asse della galleria Polcevera da installarsi tra la sezione di attacco e l'interferenza con la galleria "Lauro". Le sezioni sono costituite ognuna da 5 capisaldi di misura dei cedimenti mediante strumento topografico di precisione, disposti trasversalmente al tracciato della galleria, ad una distanza reciproca di 5.0-10.0 m in funzione degli spazi disponibili in superficie.

Per lo studio dell'interferenza in fase di progetto è stato sviluppato un apposito modello numerico rappresentante lo scavo della Finestra al di sotto della galleria Lauro secondo le reali geometrie e condizioni di ammasso presenti. I principali risultati forniti dal calcolo, hanno permesso di identificare il bacino di subsidenza indotto dalla realizzazione della Finestra nelle due ipotesi di volume perso ( $V_p=0.5\%$  in condizioni di normale funzionamento della TBM,  $V_p=1\%$  per condizioni anomale presenti durante lo scavo).



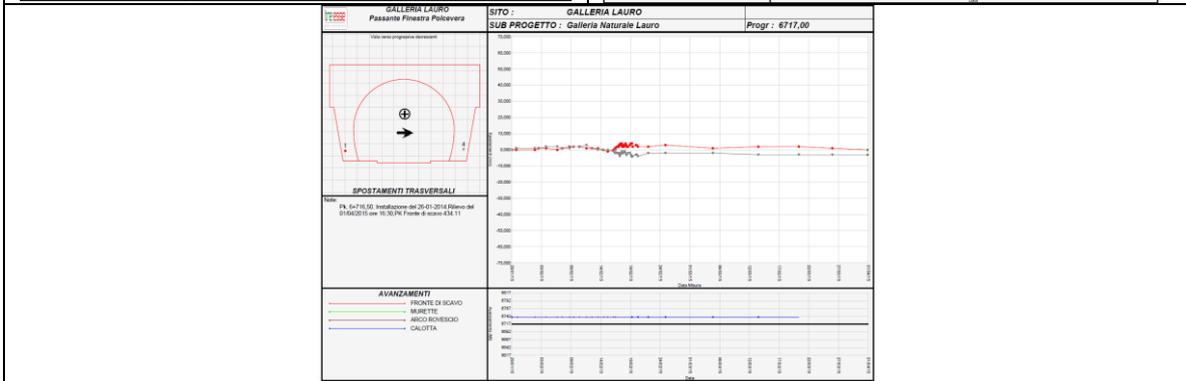
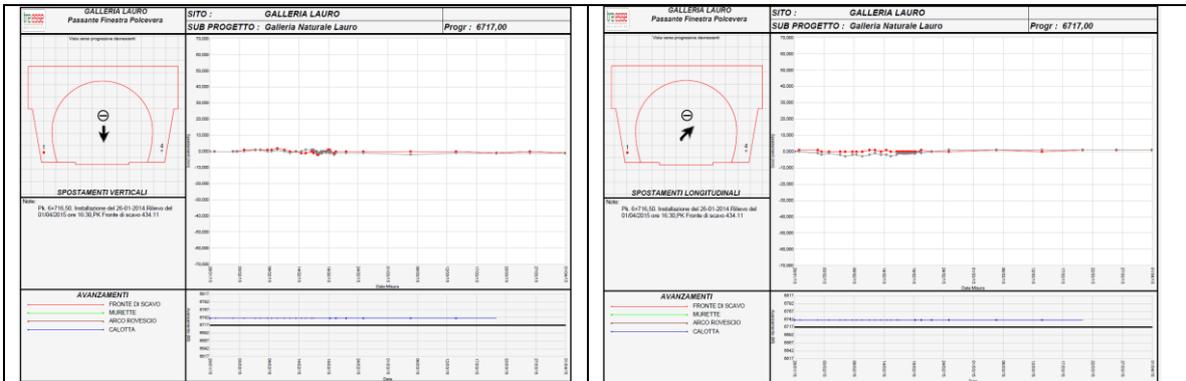
**Figure 4 - Profili spostamento verticale livello piattaforma Galleria Lauro (Vp 0.5% - 1.0%)**

Come risulta evidente, in condizioni di normale esercizio si sono previsti cedimenti inferiori ai 2 mm mentre in condizioni anomale tali valori diventano di ordine centimetrico (superiori ai 3 cm).

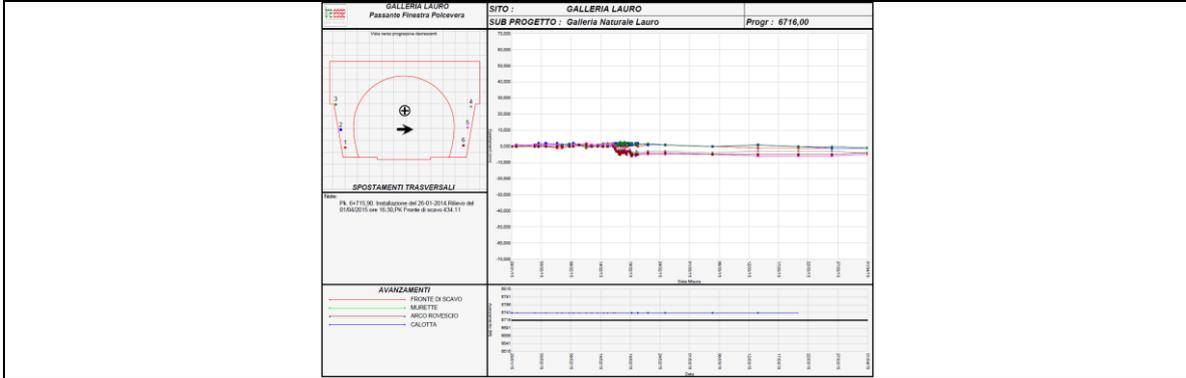
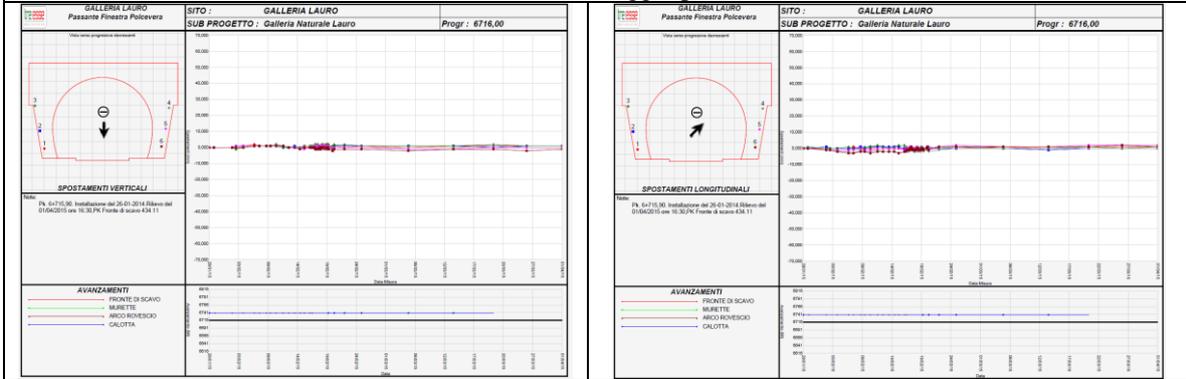
I principali risultati forniti dalla strumentazione di monitoraggio sono costituiti dalle misure topografiche realizzate all'interno della galleria Lauro. In particolare sono state monitorate 7 sezioni i cui principali risultati vengono riepilogati nella seguente tabella.

sezione	spostamento verticale max (mm)	spostamento longitudinale max (mm)	spostamento trasversale max (mm)
pk 6+717	2	3	4
pk 6+716	2	3	6
pk 6+712	2	3	6
pk 6+710	2-3	2	7
pk 6+708	5	3	8
pk 6+704	6	4	6
pk 6+694	7	3-4	8

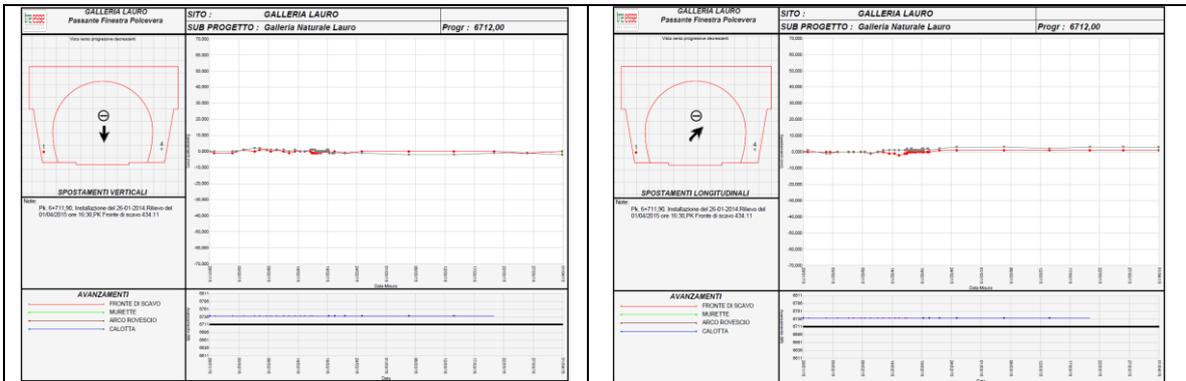
Come si nota, lo spostamento massimo registrato risulta inferiore al centimetro nella peggiore delle condizioni analizzate, confermando quindi il trend deformativo previsto in fase di progetto mediante modellazione numerica. A titolo di completezza, si riportano di seguito le immagini rappresentative dell'evoluzione deformativa registrata per ogni sezione tipo.



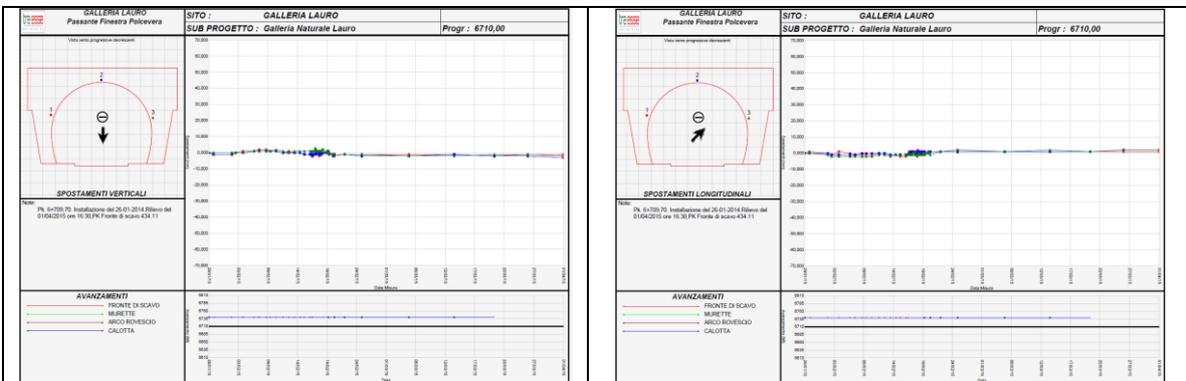
Sezione di monitoraggio pk 6+717



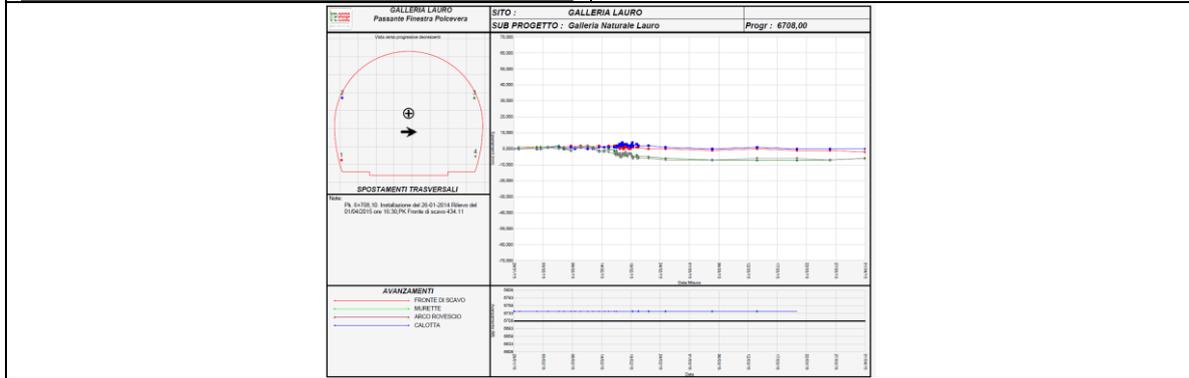
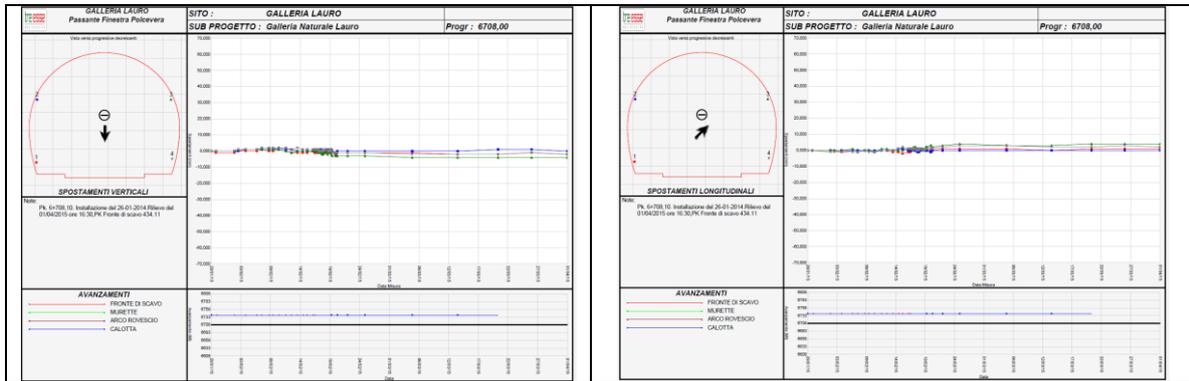
Sezione di monitoraggio pk 6+716



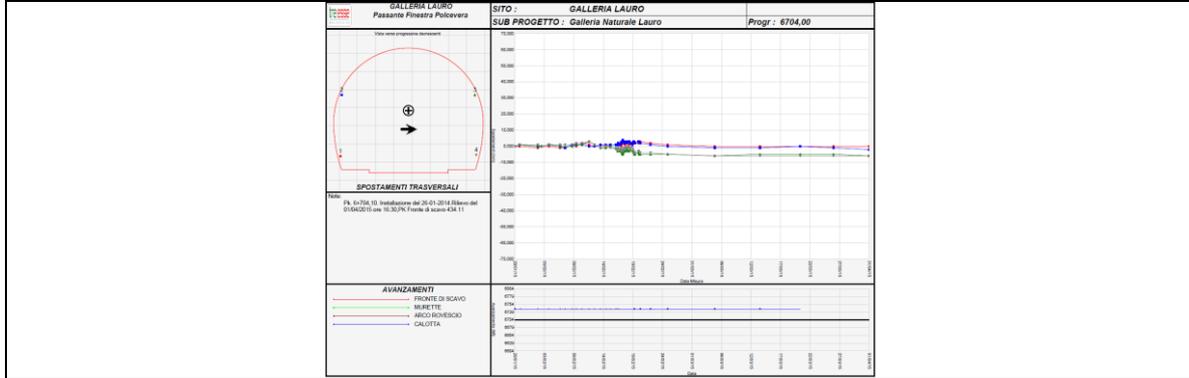
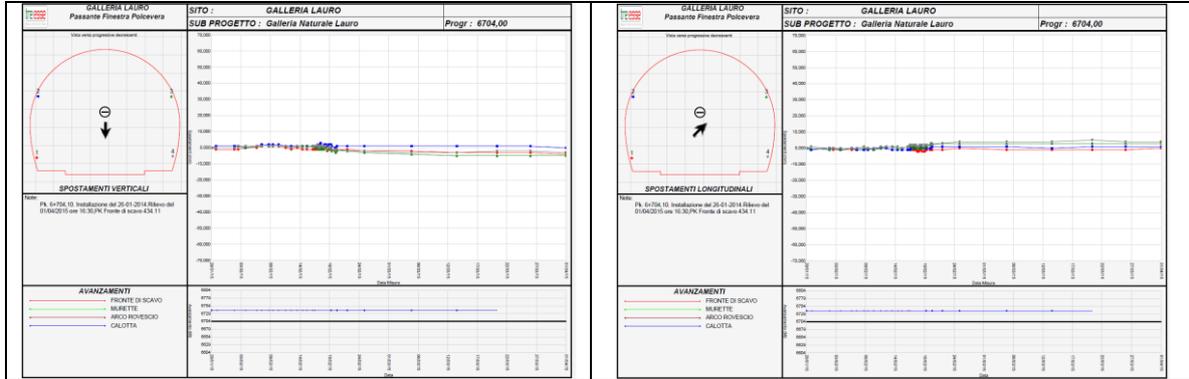
Sezione di monitoraggio pk 6+712



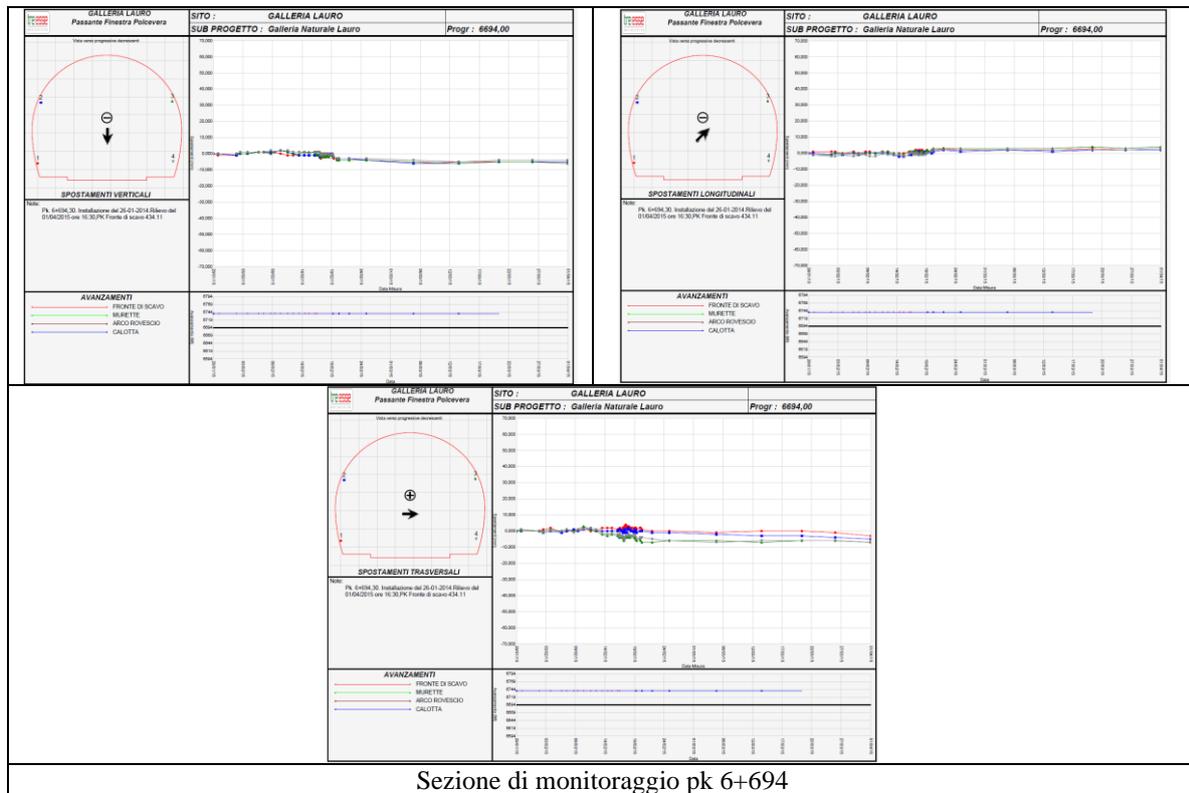
Sezione di monitoraggio pk 6+710



Sezione di monitoraggio pk 6+708



Sezione di monitoraggio pk 6+704



### 6.1.2. Settore Centrale

Nell'ambito del settore centrale scavato nella sotto-unità degli argilloscisti di Murta (AGF), l'elaborazione dei parametri di scavo, e localmente, dalle condizioni rilevate direttamente al fronte, ha restituito (fatto salvo i passaggi entro i lineamenti/discontinuità tettoniche) una generale alternanza di settori di ammasso caratterizzati da una marcata variazione, spesso improvvisa, della qualità geomeccanica, intervallati con buona regolarità.

Per i settori caratterizzati dalla diminuzione della qualità meccanica è stato generalmente rilevato uno spessore dell'ordine dei 15-25 m. Mediamente l'attraversamento di tali passaggi a più marcata tettonizzazione (cui è corrisposta una forza di appoggio netta del cutter-head nell'ordine dei 2000 – 4000 kN) si è ripetuto con cadenza uniforme, in generale ogni 50 m circa. La qualità geomeccanica dell'ammasso esterno alle suddette fasce è risultata essere chiaramente superiore: la forza di appoggio netta della testa di scavo, assunta come parametro di riferimento relativo della competenza dell'ammasso e della resistenza allo scavo offerta dal materiale al fronte, si è collocata su valori sino a 2.5 volte superiori rispetto alle determinazioni riferite ai citati passaggi a maggior disturbo tettonico. In prima analisi, questi ultimi sono stati ricondotti a bande di taglio cataclastico di potenza decimetrico-metrica, associate ai piani assiali del sistema di pieghe originatesi durante l'evento deformativo identificato come D3 nell'ambito della deformazione duttile nell'unità tettono-metamorfica Figogna. In particolare, si può ritenere che l'ammasso caratterizzato da qualità

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN0000007B00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1546 295"> <tr> <td>Foglio 53 di 80</td> </tr> </table>	Foglio 53 di 80
Foglio 53 di 80		

geomeccanica più scadente potesse corrispondere alle zone di cerniera e ai fianchi rovesci delle strutture plicative stesse.

Nel corso dello scavo del settore centrale della Finestra si sono intercettati passaggi caratterizzati da un ammasso dotato di qualità meccanica particolarmente scadente, con forza di appoggio netta al di sotto dei 1000 kN (condizione sintomatica di un ammasso fortemente disturbato, sfaldabile e molto facilmente aggredibile dagli utensili installati sulla testa di scavo). Nell'ambito di tali contesti si è registrato il raggiungimento di significative azioni spingenti sullo scudo ed il conseguente subentrare di notevoli resistenze all'avanzamento (effetti attritivi). Tale condizione ha determinato in particolare l'intrappolamento della fresa a seguito della spinta 920 (impossibilità di avanzare all'avvio della spinta 921, successivamente ad un fermo tecnico di circa 18 ore).



I passaggi sopra menzionati, evidentemente riconducibili a discontinuità tettoniche, si sono incontrati nel settore iniziale della dorsale di San Biagio di Val Polcevera (spinte 390-410, 425-435, 480-490),

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN0000007B00
	Foglio 54 di 80

all'altezza del sotto-attraaversamento della vallecola sul fianco occidentale della dorsale stessa (erosione del corso d'acqua impostasi sulla fascia di debolezza corrispondente al lineamento – spinte 645-660) ed in corrispondenza del sistema di faglie ubicato attorno alla pk 1+300 (conformemente a quanto riportato nel profilo geologico di previsione), costituito in particolare da due bande successive caratterizzate da un ammasso stato di marcata tettonizzazione (spinte 910-920 e 990-1000).

L'interpretazione dalla serie dei parametri macchina restituiti dal PLC ha consentito di apprezzare in termini quantitativi la variabilità della prestazione della fresa in relazione alle citate condizioni dell'ammasso attraversato, evidenziando altresì la sostanziale correlazione fra la prestazione stessa e l'attuazione, o meno, del condizionamento del materiale in camera di scavo (iniezione di schiume, in aggiunta alla semplice acqua). Per ragioni insite allo smaltimento dello smarino, il condizionamento con schiume (e periodicamente anche con acqua) è stato interrotto a partire dalla spinta 256, contestualmente al subentro della modalità semi-closed/open mode all'avanzamento sino ad allora condotto in closed-mode. Il condizionamento è stato quindi ripreso dall'anello 921 in poi, ovvero al ripristino della contropressione di terra in camera di scavo (closed mode), successivo all'episodio di intrappolamento fresa entro l'ammasso fortemente tettonizzato.

Considerato il quadro generale sopra delineato, è possibile fornire la seguente lettura della prestazione offerta dalla fresa TBM-EPB nell'ambito del settore centrale della Finestra Polcevera (estensione prossima ai 925 m) scavato nella sotto unità AGF degli Argilloscisti Filladici (AGF), in presenza di coperture comprese da 55 a 170-180 m.

- Le velocità di avanzamento si sono mantenute generalmente attorno al valor medio dei 25 mm/min, con picchi prossimi ai 35 mm e minimi attorno ai 10-15 mm/min, in corrispondenza, rispettivamente delle bande tettonizzate e dei passaggi entro l'ammasso di maggior competenza, alternati secondo la ricostruzione geomeccanica descritta in precedenza.
- La coppia impartita dal Main Drive, in modalità semi-closed/open, si è collocata mediamente nel range 8000-12000 kNm (a fronte di una coppia massima disponibile di 22620 kN ca e di un valore di sbloccaggio pari a 28.270 kN); la variazione della coppia nell'intervallo menzionato è risultata coerente con l'alternanza dei settori di ammasso a differente grado di competenza / tettonizzazione.
- Un drastico calo della coppia, pur nella medesima variabilità delle condizioni geomeccaniche del fronte, è stato registrato al ripristino del condizionamento del materiale in camera di scavo: il range di oscillazione si è infatti riportato entro i valori limite di 4000 e 8000 kNm.
- L'andamento della spinta totale impartita dalle 14 coppie di cilindri è risultato essere, come atteso, principalmente correlato alla variabilità delle condizioni geomeccaniche, con intensità modulata dall'entità delle coperture in calotta. Più marginale è apparso il contributo connesso al mantenimento o meno della pressione in camera di scavo, essendosi attestata, comunque, quest'ultima attorno a 1.0 – 1.2 bar (valore di riferimento preso alla quota del sensore di calotta).

In sintesi si evince che:

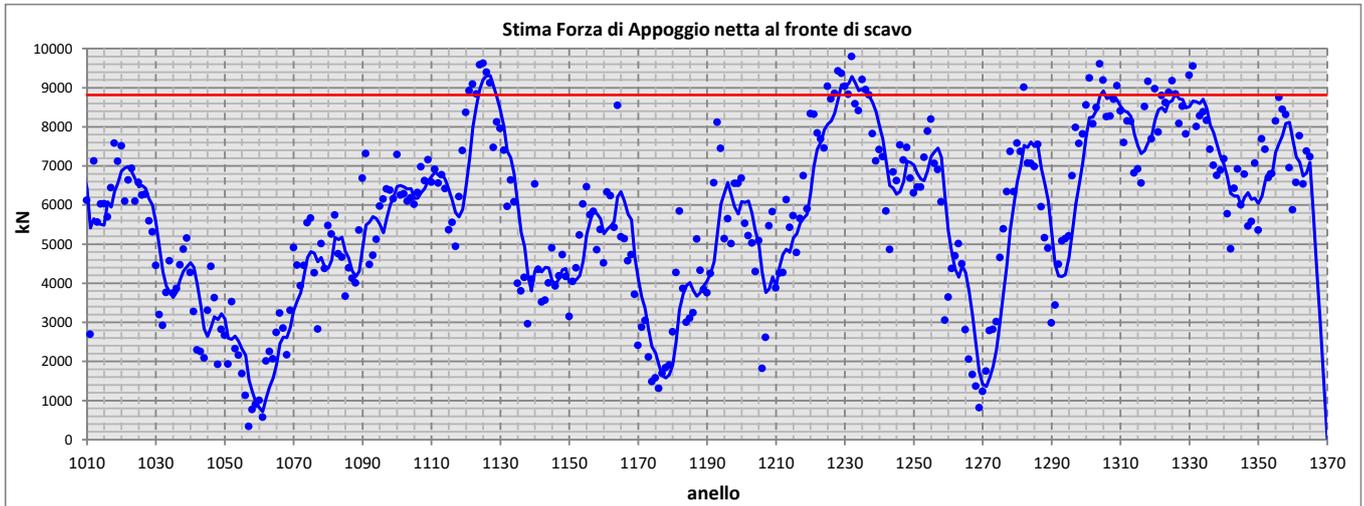
GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN0000007B00 <span style="float: right;">Foglio 55 di 80</span>

- Durante lo scavo della galleria al di sotto della dorsale di San Biagio di Val Polcevera (copertura sino a 140 m), la spinta totale ha esibito un andamento grossomodo costante nei due settori geomeccanici ben distinti, propri della dorsale, compreso nel range 15.000-20000 kN lungo il primo tratto entro l'ammasso più disturbato (locali picchi di 25.000 -30.000 kN in corrispondenza del lineamento tettonico presente alle maggiori coperture – anelli 480-490) e nell'intervallo 10.000 -15.000 kN lungo il secondo tratto, caratterizzato da condizioni dell'ammasso globalmente migliori (pur nella già descritta alternanza di passaggi).
- Nel successivo tratto, oltre la dorsale di San Biagio, la spinta totale è oscillata fra i 10.000-15.000 kN, ad eccezione del sotto-attraversamento del settore vallivo ad ovest della dorsale, laddove la minore copertura in calotta è risultata essere elemento dominante, rispetto alla tettonizzazione dell'ammasso, registrandosi spinte sensibilmente inferiori (8.000 – 10.000 kN).
- Un notevole incremento di spinta è stato registrato contestualmente all'attraversamento della discontinuità tettonica intercettata attorno alla pk 1+300 (con intrappolamento della fresa nel corso delle spinte 920-921). Lo stato di tettonizzazione spinta dell'ammasso, unitamente alla copertura dell'ordine dei 130 m, hanno indotto, in avvicinamento progressivo al piano di taglio, una crescita della spinta richiesta per l'avanzamento sino a 48.000 kN. I fenomeni di rilascio tensionale interessanti l'ammasso nel breve – medio termine (contestualmente al fermo tecnico di 18 ore) hanno quindi determinato la condizione di intrappolamento della fresa, alla ripartenza dopo il fermo. Corrispondentemente alla massima capacità di spinta esplicabile (90.000 kN), si sono stimate pressioni radiali, esercitate dall'ammasso sullo scudo, nell'ordine dei 5-6 bar.
- Alla ripresa degli scavi, nella medesima condizione geomeccanica (alternanza di fasce a differente competenza ed intercettazione del lineamento tettonico attorno agli avanzamenti 990-1000), si sono registrate spinte dell'ordine dei 15.000-25.000 kN. Lo scatto di ca 10.000 kN, rispetto al settore immediatamente precedente il blocco della fresa, è stato correlato sia all'aumento delle coperture (sino a 170-180 m), sia al ripristino della modalità di scavo al chiuso (contropressione di terra in camera sino a 1.0 – 1.2 bar in calotta).

### 6.1.3. Settore terminale della finestra

Il settore terminale della Finestra Polcevera, con coperture in calotta variabili da 180 m a 290 m, si è contraddistinto dal precedente, in termini geologici, per il venir meno della configurazione dell'ammasso a bande caratterizzate da minore/maggiore grado di tettonizzazione, alternate con cadenza tendenzialmente regolare (come descritto per il settore centrale della Finestra) ed il subentrare (restituita dall'elaborazione dei parametri – in primis la forza di appoggio netta - e dalla visione diretta dei fronti di scavo) di strutture tettoniche su scala maggiore, dotate di una certa "simmetria fisico-meccanica": si sono in particolare registrati andamenti della forza di appoggio netta caratterizzati da picchi negativi minori o uguali dei 1000 kN già registrati per i lineamenti tettonici nel tratto centrale, anticipati e seguiti da fasi di riduzione e crescita regolare della forza medesima, anche con presenza di plateau posti specularmente rispetto all'asse della struttura.

Il diagramma seguente rende evidenza di quanto sopra. La minima qualità dell'ammasso al fronte, correlabile ai piani di taglio, è stata rilevata in corrispondenza delle spinte 1060 – 1175 – 1270.



La presenza di tali strutture tettoniche, in particolare all'altezza della pk 1460, era stata prevista a mezzo foto-interpretazione (riprese aeree), ubicando le medesime in corrispondenza delle incisioni associate all'erosione operata da corsi d'acqua minori. Le fasce di disturbo tettonico delle strutture menzionate sono state attraversate per uno spessore di circa 45 m, mentre lo spessore apparente del piano di taglio è risultato prossimo ai 7-8 m.

Ulteriore condizione geologicamente distintiva di quest'ultimo settore di Finestra è risultata essere l'intercettazione di porzioni dell'ammasso, di estensione compresa dai 15 ai 30 m ca, dotate di elevate caratteristiche di competenza dell'ammasso, come riscontrato dal brusco incremento della forza di appoggio netta, ben oltre il limite dei 7000 kN, ovvero il tetto massimo raggiunto nell'ambito del settore centrale della Finestra. Si sono infatti stimati valori sino a 8800 kN (corrispondente ad una condizione di carico sugli utensili di scavo in dotazione alla testa, pari al nominale). I rilievi del fronte contestualmente condotti hanno confermato la variazione litologica dell'ammasso, manifestata dall'abbondante presenza di vene quarzose e strati e banchi calcarei di potenza variabile da pochi cm a 1.5-2 m, con associate venature calcitico-quarzose (noti come "Palombini"). Tale specifica composizione dell'ammasso è stata attribuita alla sotto-unità degli argilloscisti di Costagiutta (AGI); quest'ultima, secondo il profilo geologico di previsione, ricorre con una certa frequenza (in ragione della struttura tettonica plicativa) nell'ultimo settore della Finestra Polcevera, sino all'innesto con la Galleria di Valico, alternandosi alla sotto-unità degli Argilloscisti di Murta (AGF), predominante nell'ambito della tratta già scavata.

Come atteso, la prestazione della fresa, restituita dall'elaborazione dei parametri macchina resi dal PLC, è risultata strettamente connessa alla qualità geomeccanica dell'ammasso scavato ed all'entità delle coperture.

La velocità di penetrazione si è attestata, in condizioni ordinarie, attorno ai 25mm/min, scendendo a 20 mm/min nel corso dei passaggi entro l'ammasso della sotto-unità AGI (con presenza massiccia

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN0000007B00
	Foglio 57 di 80

di palombini e vene quarzoso-calcitiche) e toccando i 30 mm/min in corrispondenza delle strutture tettoniche (piani di taglio).

La coppia fornita dai motori del main drive è risultata variabile fra i 5.000-8.000 kNm, mentendosi pertanto sui valori propri dell'avanzamento in modalità closed/semi closed, con condizionamento del materiale in camera di scavo. Valori sensibilmente inferiori (< 4000 kNm) si sono registrati in corrispondenza dei passaggi attraverso gli assi delle strutture tettoniche intercettate (in particolare nel corso delle spinte 1050-1060).

La spinta totale si è mantenuta nell'ordine dei 15.000 - 20.000 kN, con punte di 30.000 kN nell'ambito della prima macro-struttura intercettata (spinte 1050-1060). Valori significativamente più elevati, con picchi di circa 50.000 kN, sono stati rilevati in corrispondenza delle strutture tettonizzate seguenti, con crescita correlabile alla maggior copertura in calotta (sino a 290 m). Si è rilevato infine come, pur considerando l'avanzamento alle maggiori coperture nel settore di Finestra prossimo all'innesto, la maggior qualità dell'ammasso ha esercitato un effetto compensativo: la spinta impartita, in tali condizioni, si è collocata attorno ai 20.000 – 25.000 kN, in presenza di ammasso molto competente (valori massimali della forza di appoggio netta), e sui 30.000 kN con ammasso in condizioni buone (forza di appoggio netta nell'ordine dei 7000 kN).

La stima delle pressioni radiali agenti sullo scudo ha fornito valori non superiori ai 5 – 5.5 bar in corrispondenza dei piani assiali delle macrostrutture citate, pur in presenza di coperture notevoli (se confrontate con i circa 100 m corrispondenti al passaggio in faglia proprio della condizione di intrappolamento), dando quindi evidenza dell'efficacia del sovrascavo maggiorato rispetto al nominale, predisposto per la realizzazione del settore terminale della Finestra (sostituzione dei 4 dischi periferici -calibro 19"- congiuntamente all'installazione di piastre di spessoramento per l'estensione manuale dei dischi stessi ed il conseguimento di un extrascavo addizionale al nominale di ca 25 mm).

## 6.2. Evidenze durante lo scavo della Linea

Lo scavo delle WBS di linea a partire dall'Innesto Polcevera è stato eseguito a partire dal settembre 2016.

Nella Figura di seguito è riportato un quadro di insieme delle lavorazioni attive a Novembre dello stesso anno, utile a definire ed inquadrare in modo rapido la sequenza di scavi adottata.

Lo scavo delle gallerie di linea ha avuto inizio dal binario dispari alternando le lavorazioni lato Genova e lato Milano. Al raggiungimento delle distanze progettuali minime tra i fronti di scavo e terminata la realizzazione del camerone, sono iniziati gli scavi del binario pari.

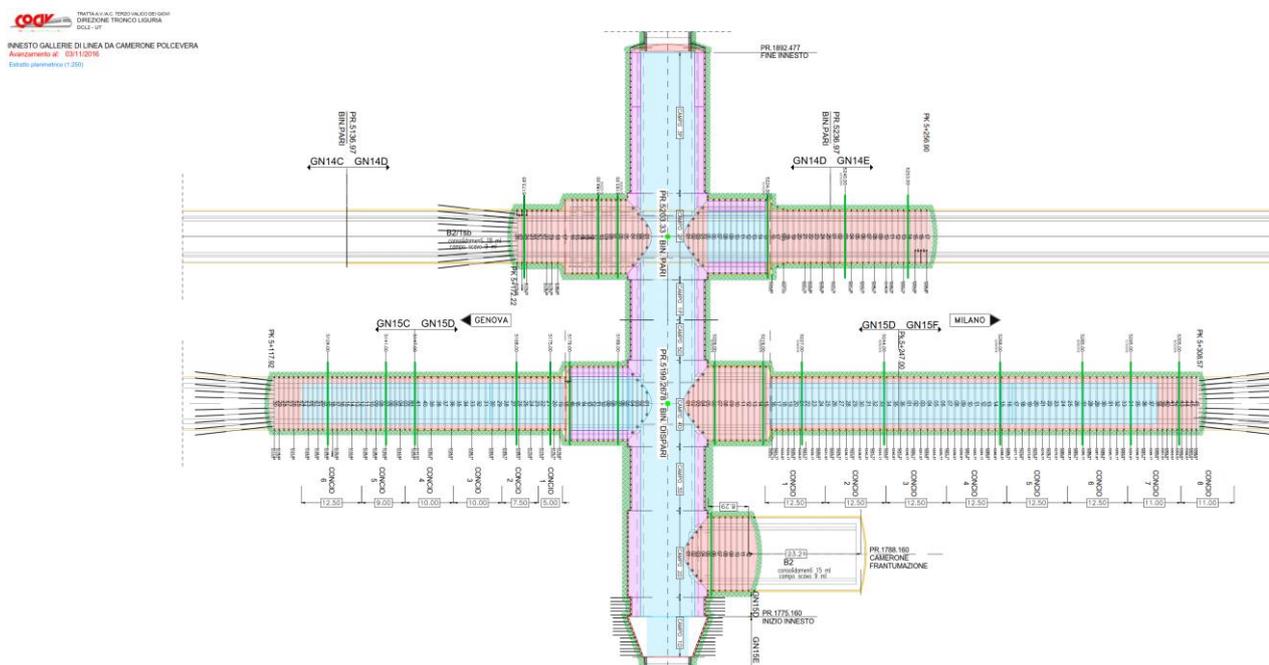


Figura 6-1. Inquadramento delle lavorazioni a Novembre 2016

Dall'analisi dell'as built e dei rapporti di avanzamento (cui si rimanda per maggiori dettagli) è stato possibile ricavare le seguenti principali osservazioni:

- La Canna dispari è stata realizzata per prima sia lato Milano che lato Genova e pertanto gli stati tensionali attesi risentono dello scavo della canna pari realizzata in seguito;
- La canna pari lato Genova (WBS GN14C) è stata realizzata avendo a disposizione i dati e le evidenze della prima canna scavata. Lo stato tensionale atteso è pertanto quello relativo al solo scavo della galleria;
- Lo scavo della GN14C, al fine di limitare l'influenza sull'adiacente binario dispari caratterizzato da evidenti problematiche deformative, è stato condotto mediante sezioni di avanzamento sempre scelte in ottica del preventivo e rigido controllo deformativo;
- Gli scavi della 15F, eseguiti in prevalenza mediante la sezione tipo B0sb, ad eccezione di 2 tratte limitate realizzate in B2sb, sono stati caratterizzati da ammassi al fronte di elevata competenza con valori di GSI maggiori di 45;
- Nello scavo delle 15F si sono registrati nella prima tratta fenomeni deformativi non direttamente correlabili alle evidenze del fronte;

### 6.2.1. Scavo della linea binario dispari lato Milano (GN15F)

Lo scavo della linea direzione Milano binario dispari è, come detto in precedenza, stato caratterizzato, per la tratta influenzata dalle opere oggetto di Variante (primi 400m circa), dall'individuazione di due tratte distinte soprattutto in termini di risposta deformativa.

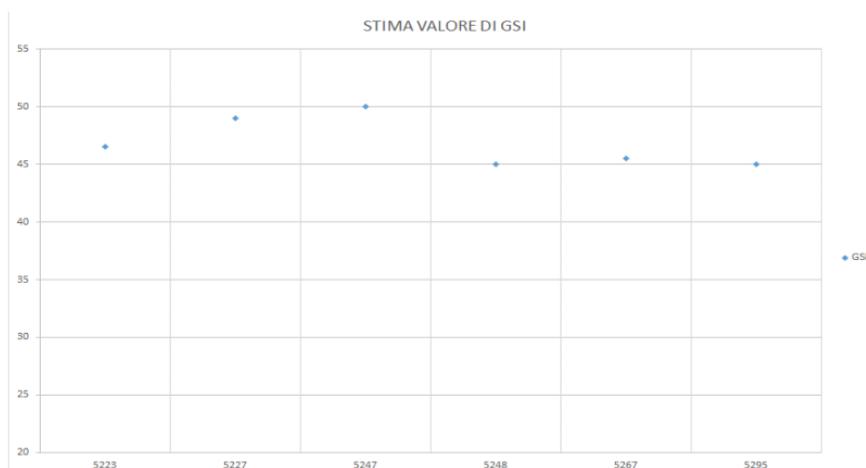
Infatti, a fronte di condizioni geomeccaniche al fronte sempre buone con valori di GSI elevati nell'intero sviluppo dell'opera, nella prima tratta in scavo sono state registrate deformazioni significative anche attivate e attive a notevole distanza dal fronte e caratterizzate da una spiccata disimmertia di carico.

In seguito, grazie anche all'esperienza maturata nei primi metri di scavo e all'applicazione preventiva di sezioni dotate di prerivestimenti rigidi e dimensionati per le massime coperture (sezioni B0/2 e B0/1 e attuando una attenta gestione delle distanze degli archi rovesci mantenuti sempre sotto le distanze progettuali, si è registrato un netto miglioramento del comportamento della galleria e più in generale del controllo deformativo dell'opera.

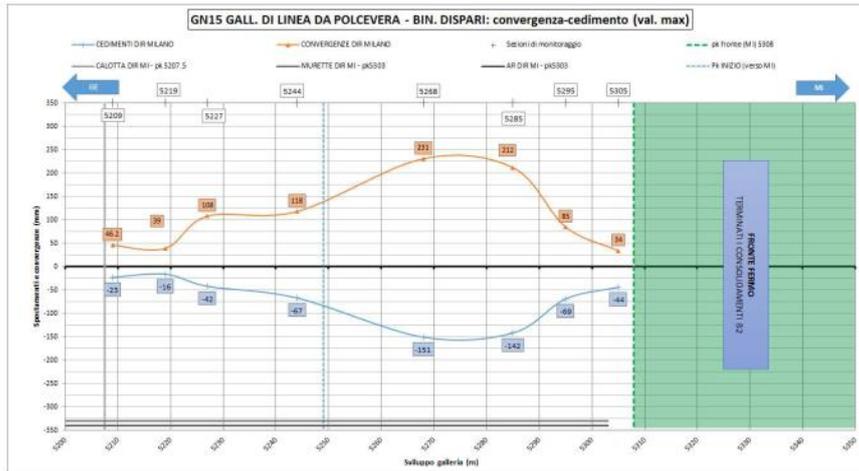
A titolo di esempio si riporta nella figura di seguito un estratto dei valori di GSI rilevati nella prima tratta e una foto del fronte di scavo.



**Figura 6-2. Esempio fronte di scavo tratto 15F**



Come detto, a dispetto delle condizioni geomeccaniche incontrate al fronte, il comportamento deformativo della galleria è risultato particolarmente significativo, soprattutto nei primi 100m dall'innesto. Il grafico riportato di seguito evidenzia chiaramente tale aspetto. Si sono evidenziati inoltre valori asimmetrici di carico e di spinta che hanno portato alla necessità di procedere con l'armatura sistemata dei rivestimenti nonostante lo scavo in sezioni che da progetto non prevedono rivestimenti armati.



Con riferimento all'as Built delle opere (Allegato 1) nella tratta interessata dallo scavo del cunicolo di esodo le sezioni tipo applicate sono state:

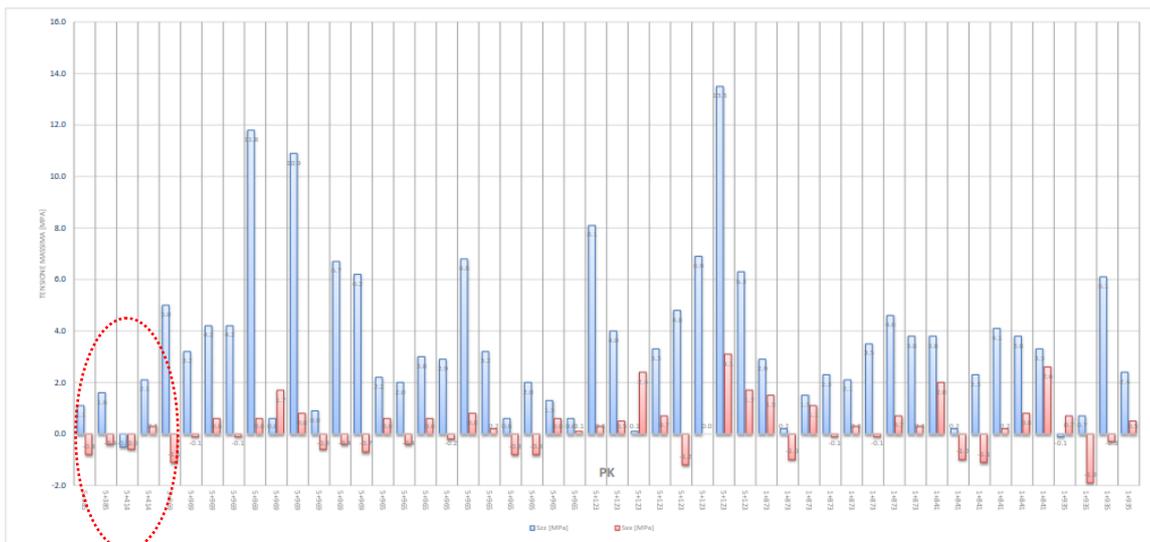
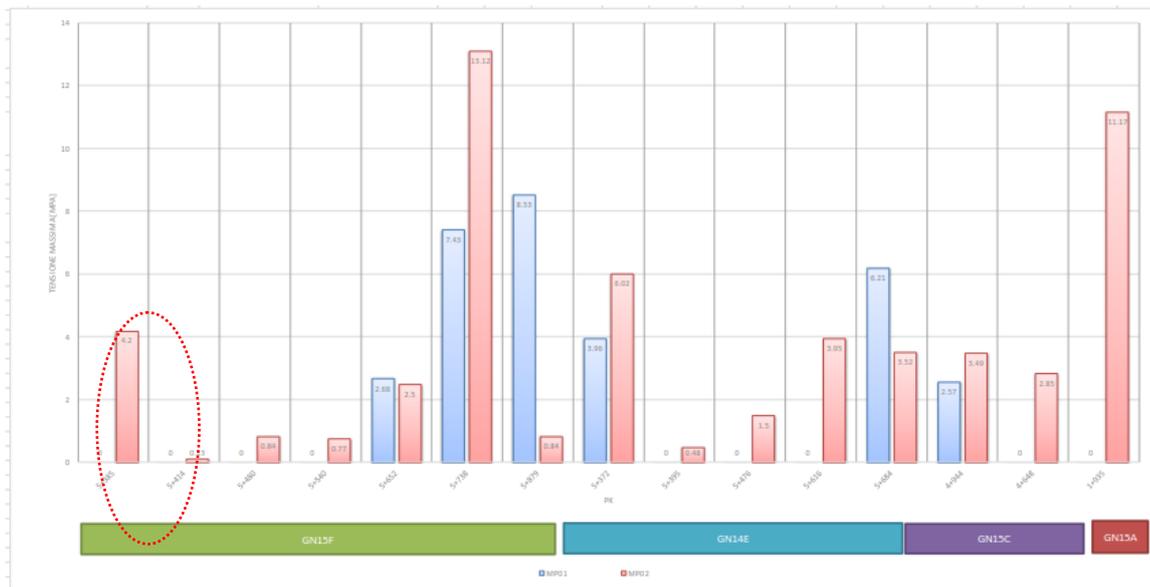
- B0/1 53%
- B0/2 35%
- B2/1 12%

Questo mette in evidenza quanto sopra, ma va anche inquadrato con le problematiche emerse in termini di controllo deformativo della prima tratta.

In termini di monitoraggi e prove disponibili, oltre alle misure di convergenza di cui si è parlato sopra sono disponibili misure dello stato tensionale nei rivestimenti definitivi sia ottenute attraverso il monitoraggio deformativo (strain gauges) sia con prove dirette eseguite nella campagna della tratta 1.

I risultati delle barrette, riportati come tutto il monitoraggio disponibile nello schema di Allegato 1, evidenziano valori deformativi massimi comparabili in tutte le stazioni.

Le prove tensionali confermano tale evidenza con valori contenuti a meno della prima sezione di prova, rappresentativa del tratto a comportamento deformativo anomalo, in cui lo stato tensionale registrato è superiore alle condizioni normalmente presenti nella tratta, sebbene ampiamente entro i limiti tensionali ammissibili (vedi grafico di seguito).



Quanto sopra porta a poter affermare che:

- Per tutto il tratto interessato dallo scavo delle nuove opere si attendono condizioni geomeccaniche da discrete a buone, ad eccezione della tratta iniziale dall'innesto;
- Gli scavi della galleria GN15F non hanno evidenziato criticità particolari e i livelli deformativi registrati, sono sempre risultati in linea con le attese, ad eccezione dei primi metri dopo l'innesto. Tale risultato è stato raggiunto grazie all'installazione di un priverstimento rigido e il mantenimento dei rivestimenti definitivi sempre entro e spesso sotto i limiti progettuali;
- È lecito attendersi per tutta la tratta uno stato tensionale in linea con le attese progettuali e con valori mediamente contenuti di sollecitazione, sempre escludendo il comportamento anomalo della 15F tratta prossima all'innesto. Tale dato dovrà essere confermato dalla campagna di monitoraggio prevista prima della Progettazione esecutiva delle opere.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A3010XDCVROGN0000007B00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 291"> <tr> <td>Foglio 62 di 80</td> </tr> </table>	Foglio 62 di 80
Foglio 62 di 80		

### 6.2.2. Scavo della linea binario pari lato Genova (GN14C)

Lo scavo della linea direzione Genova binario Pari è stato realizzato solo in seguito al completamento della galleria adiacente. A causa delle importanti problematiche registrate proprio durante la realizzazione della GN15C che hanno reso necessari interventi di ripristino delle opere, l'approccio nella scelta delle sezioni tipo di scavo è risultato orientato al massimo contenimento dei rischi. In questo senso i primi 100m circa sono caratterizzati, in relazione anche al contesto geomeccanico affrontato, da sezioni consolidate e dall'adozione di profilati HEB240 spesso contrastati dal puntone in arco rovescio.

I primi 100m circa della GN14C risultano armati in modo sistematico e non si evidenziano NC significative dovute alle deformazioni registrate o alla qualità del rivestimento. Le sezioni tipo adottate sono state idonee al contesto e, come detto, applicate sempre nell'ottica del massimo contenimento delle deformazioni e quindi delle tensioni sui rivestimenti.

Dopo i primi 100m gli scavi sono stati affrontati mediante sezioni tipo B0sb (prevalenti) e B2sb.

Con riferimento all'as Built delle opere (Allegato 2) nella tratta interessata dallo scavo del cunicolo di esodo le sezioni tipo applicate sono state:

- B0/1 32%
- B0/2 20%
- B2/1 27%
- C4punt 21%

Sono inoltre presenti stazioni per il monitoraggio deformativo dei rivestimenti definitivi alle PK 5+107, 5+003, 4+980, 4+865 e 4+860. I valori deformativi registrati sono mediamente compresi tra i 200 e i 300  $\mu\epsilon$ , cui corrisponde uno stato tensionale omogeneo di compressione stimabile intorno ai 2-4 MPA. Tale valore dovrà essere comunque confermato dalla campagna di monitoraggio prevista.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN0000007B00 <span style="float: right;">Foglio 63 di 80</span>

## 7. PROBLEMATICHE GEOLOGICHE IN FASE DI SCAVO

### 7.1. Galleria di ventilazione

Il tracciato, dal punto di vista delle caratteristiche geomeccaniche e idrogeologiche, è suddiviso in due tratte di cui si riportano nel seguito le principali criticità, che come visto in precedenza sono state confermate anche dalle risultanze dello scavo in meccanizzato.

#### 7.1.1. Tratta 1 (da pk di imbocco fino a pk 0+450.000 circa)

La prima tratta è caratterizzata principalmente dalle basse coperture, che arrivano ad un massimo di 60 m; lo scavo interessa inizialmente il deposito superficiale, composto da scaglie argillitiche e ciottoli in matrice limoso sabbiosa con presenza di argille consistenti e le alternanze dei suddetti materiali con strati molto alterati di argillite a palombini intensamente fratturate (Alternanze dep/aP\_alt). Lo studio dei sondaggi stratigrafici mostra infatti una forte probabilità di fronte misto, soprattutto a coperture inferiori ai 30m da piano campagna.

All'aumentare della profondità le intercalazioni di materiale terrigeno terminano, lasciando posto al substrato roccioso, che può presentarsi alterato ma attraversare anche zone a comportamento mediamente competente. Sono presenti due zone, già segnalate in profilo di Progetto, che hanno evidenziato l'attraversamento di zone particolarmente tettonizzate.

Nonostante la bassa permeabilità che caratterizza i materiali interessati dallo scavo, la forte alterazione dei tratti di substrato e le continue alternanze di materiali terrigeni fanno sì che si debba considerare la tratta caratterizzata da possibili carichi idrici soprattutto laddove lo scavo avvenga a coperture inferiori di 50m, sebbene durante lo scavo della TBM in questo settore non si siano evidenziate particolari criticità anche in modalità open.

Le scarse caratteristiche geomeccaniche dei materiali interessati dallo scavo, potranno rendere necessario il consolidamento in avanzamento tale da garantire la stabilità del fronte. Il consolidamento al contorno dovrà essere previsto per contrastare l'insorgere dei possibili fenomeni di filtrazione dall'ammasso in direzione del cavo. L'avanzamento mediante sezioni a basso impatto deformativo sarà prevista nelle zone in cui sono presenti interferenze, limitando il volume perso in fase di scavo; in particolare l'opera passa al di sotto della galleria della linea ferroviaria storica e intorno alla pk 0+300 lo scavo avviene a circa 15 m dal letto di un torrente e con una riduzione della distanza dalla galleria Polcevera già realizzata. Propria in questa tratta l'analisi dei dati delle TBM ha evidenziato alcune significative anomalie e pertanto lo scavo dovrà essere affrontato con particolare attenzione.

A monte della galleria è presente un'area di frana, che andrà monitorata prima, durante e dopo il passaggio degli scavi; verrà predisposto un monitoraggio deformativo, con l'istallazione di un piezometro e di almeno un inclinometro. Tale monitoraggio dovrà essere repentinamente incrementato nel caso in cui le strumentazioni installate mostrino registrazioni anomale. Tale area di frana non è stata oggetto di criticità durante la realizzazione della finestra e pertanto costituisce elemento integrativo proprio dello scavo del cunicolo in oggetto.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN0000007B00 <span style="float: right;">Foglio 64 di 80</span>

Le principali criticità della tratta saranno pertanto:

- Basse coperture
- Presenza di fronti misti/zone tettonizzate
- Modeste caratteristiche meccaniche alternate a tratti competenti anche a coperture ridotte
- Carichi idraulici
- Interferenze (sotto-attraversamento galleria Lauro e sotto-attraversamento torrente, movimenti franosi)

### 7.1.2. Tratta 2 (da pk 0+450.000 a fine tracciato)

La tratta è caratterizzata da un miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche rispetto alla tratta precedente. Tuttavia, come evidenziato nei capitoli precedenti, nella prima parte del tracciato nella sotto-unità degli argilloscisti di Murta (AGF), l'elaborazione dei parametri di scavo, e localmente, dalle condizioni rilevate direttamente al fronte, ha restituito (fatto salvo i passaggi entro i lineamenti/discontinuità tettoniche) una generale alternanza di settori di ammasso caratterizzati da una marcata variazione, spesso improvvisa, della qualità geomeccanica, intervallati con buona regolarità. Si ritiene verosimile quindi prevedere un'alternanza di comportamento assimilabile ai gruppi geomeccanici GR2 e GR1.

Nel corso dello scavo del settore centrale della Finestra si sono intercettati passaggi caratterizzati da un ammasso dotato di qualità meccanica particolarmente scadente. Particolarmente significativo è stato l'attraversamento della faglia già prevista alla Pk 1+300 in cui si è registrato il bloccaggio della macchina in seguito al fermo operativo di circa 18ore.

Il settore terminale della Finestra Polcevera, con coperture in calotta variabili da 180 m a 290 m, si è contraddistinto dal precedente, in termini geologici, per il venir meno della configurazione dell'ammasso a bande caratterizzate da minore/maggiore grado di tettonizzazione, alternate con cadenza tendenzialmente regolare (come descritto per il settore centrale della Finestra) ed il subentrare di strutture tettoniche su scala maggiore.

La minima qualità dell'ammasso al fronte, correlabile ai piani di taglio, è stata rilevata in corrispondenza delle spinte 1060 – 1175 – 1270.

La presenza di tali strutture tettoniche, in particolare all'altezza della pk 1460, era stata prevista a mezzo foto-interpretazione (riprese aeree), ubicando le medesime in corrispondenza delle incisioni associate all'erosione operata da corsi d'acqua minori. Le fasce di disturbo tettonico delle strutture menzionate sono state attraversate per uno spessore di circa 45 m, mentre lo spessore apparente del piano di taglio è risultato prossimo ai 7-8 m.

Ulteriore condizione geologicamente distintiva di quest'ultimo settore di Finestra è risultata essere l'intercettazione di porzioni dell'ammasso, di estensione compresa dai 15 ai 30 m ca, dotate di elevate caratteristiche di competenza dell'ammasso. I rilievi del fronte contestualmente condotti hanno confermato la variazione litologica dell'ammasso, manifestata dall'abbondante presenza di

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN0000007B00 <div style="float: right;">Foglio 65 di 80</div>

vene quarzose e strati e banchi calcarei di potenza variabile da pochi cm a 1.5-2 m, con associate venature calcitico-quarzose (noti come “Palombini”).

Il substrato roccioso delle Argilliti a Palombini è caratterizzato da un livello di permeabilità molto basso, con connettività ridotta. Il calcolo delle portate attese in galleria, riportato nella relativa Relazione Idrogeologica ed effettuata con approcci di tipo empirico e analitico, permette d’individuare un valore minimo e un valore massimo che tengono in considerazione le variazioni di permeabilità all’interno di una formazione acquifera. Il settore terminale ha evidenziato, durante lo scavo della finestra in TBM, il passaggio in alcune tratte interessate da venute d’acqua concentrate che hanno comportato interventi di sigillatura dei giunti tra gli anelli. Tale aspetto si ritiene comunque non particolarmente significativo come criticità nel caso di scavo in tradizionale.

Nel complesso lo scavo della seconda tratta non dovrebbe presentare problematiche particolari dal punto di vista idrogeologico, con manifestazioni idriche relegate a fenomeni di umidità.

## 7.2. Cunicoli di esodo e by-pass

Il cunicolo di esodo sul binario pari GNVL verrà scavato in condizioni di ammasso prevalentemente associabili al gruppo geomeccanico 1 e 2; sono previsti due passaggi in zone di faglia/zone tettonizzate alle pk 5+110 e 4+900 circa. Le coperture vanno da 300m a 400m.

Il cunicolo di esodo sul binario dispari GNVM verrà scavato prevalentemente in contesti ascrivibili al gruppo geomeccanico 1 e 2, è previsto un passaggio in zona di faglia/zone tettonizzate alla pk 5+480 circa. Le coperture vanno dai 270m ai 320m.

A discapito della qualità di ammasso, l’esperienza maturata durante la realizzazione della linea ha evidenziato comportamenti deformativi non direttamente correlabili alle caratteristiche di ammasso e che si sono manifestati anche ad una notevole distanza dal fronte. Particolare attenzione dovrà essere posta quindi al controllo preventivo delle deformazioni anche in relazione alla vicinanza con opere già realizzate.

Nel complesso lo scavo dei cunicoli non dovrebbe presentare problematiche particolari dal punto di vista idrogeologico, con manifestazioni idriche relegate a fenomeni di umidità. Lo scavo in un ammasso già potenzialmente disturbato dallo scavo della galleria di linea potrebbe necessitare l’adozione di sezioni consolidate, tuttavia le buone caratteristiche meccaniche e l’assenza di moti di filtrazione per la bassa permeabilità dei materiali fanno sì che la stabilità del fronte potrà essere garantita avanzando anche in assenza di interventi in avanzamento.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN0000007B00 <span style="float: right;">Foglio 66 di 80</span>

## 8. INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO

### 8.1. Modifiche generali dell'opera

Il progetto dell'area Polcevera approvato in PE prevedeva lo scavo di una finestra (GN15E), che arrivava ad incontrare la linea ad una profondità di circa 250m, la realizzazione di un camerone di innesto, suddiviso in due WBS in binario pari (GN14D) e binario dispari (GN15D), da cui partiva lo scavo in 4 fronti delle canne pari e dispari verso Genova e Milano. Al momento queste WBS risultano già realizzate, compreso lo scavo nei quattro fronti della galleria di linea.

Il progetto di PE non prevedeva la fermata in area sicura, pertanto il progetto di variante vede la necessità di creare due cunicoli di esodo rapido paralleli alla linea e collegati con essa attraverso by-pass. I cunicoli hanno dimensioni identiche (area di scavo di 95mq circa), lunghezza pari a 450m quello adiacente al binario pari (GNVL) e 460m quello adiacente al binario dispari (GNVM), i by-pass previsti sono 11 per ogni cunicolo, con lunghezza pari a 24m (by-pass binario pari) e 20m (by-pass binario dispari), con area di scavo di 46mq. Per poter realizzare il collegamento tra il cunicolo pari e il camerone di innesto Polcevera è necessaria la realizzazione di tratto in allargato nella parte finale del camerone di circa 30m, mediante demolizione di un tratto di camerone e di 14 conchi del tratto finale realizzato in meccanizzato, mentre il collegamento con il cunicolo dispari è realizzato sfruttando il camerone di frantumazione realizzato nella GN15D.

Il progetto dell'area Sicura prevede inoltre la realizzazione di un camerone tecnologico e una galleria di ventilazione (in parte in sezione allargata nel camerone di ventilazione e in parte in sezione standard) che raggiunge il piano campagna sviluppandosi parallela alla galleria Finestra Polcevera (GN15E) con la creazione di un imbocco (GAVE) adiacente all'imbocco della Finestra Polcevera (GA1D). Il camerone tecnologico e il camerone di ventilazione hanno sagoma uguale (area di scavo 166-205mq circa, considerando anche il campo d'innesto tra i due cameroni), mentre la sezione corrente ha un'area di scavo di circa 46mq. Sia il camerone tecnologico che la galleria di ventilazione sono all'interno delle WBS GNVS; sempre nella stessa WBS sono inseriti 3 cunicoli:

- Cunicolo 1 – collegamento tra la sezione standard della galleria di ventilazione e la finestra Polcevera (sezione in meccanizzato, pertanto sarà prevista la demolizione dei conchi e l'allargamento della sezione per permettere la realizzazione del risparmio).
- Cunicolo 2 – collegamento tra il camerone di ventilazione e la finestra Polcevera
- Cunicolo 3 – collegamento tra il camerone tecnologico e la galleria di linea BD

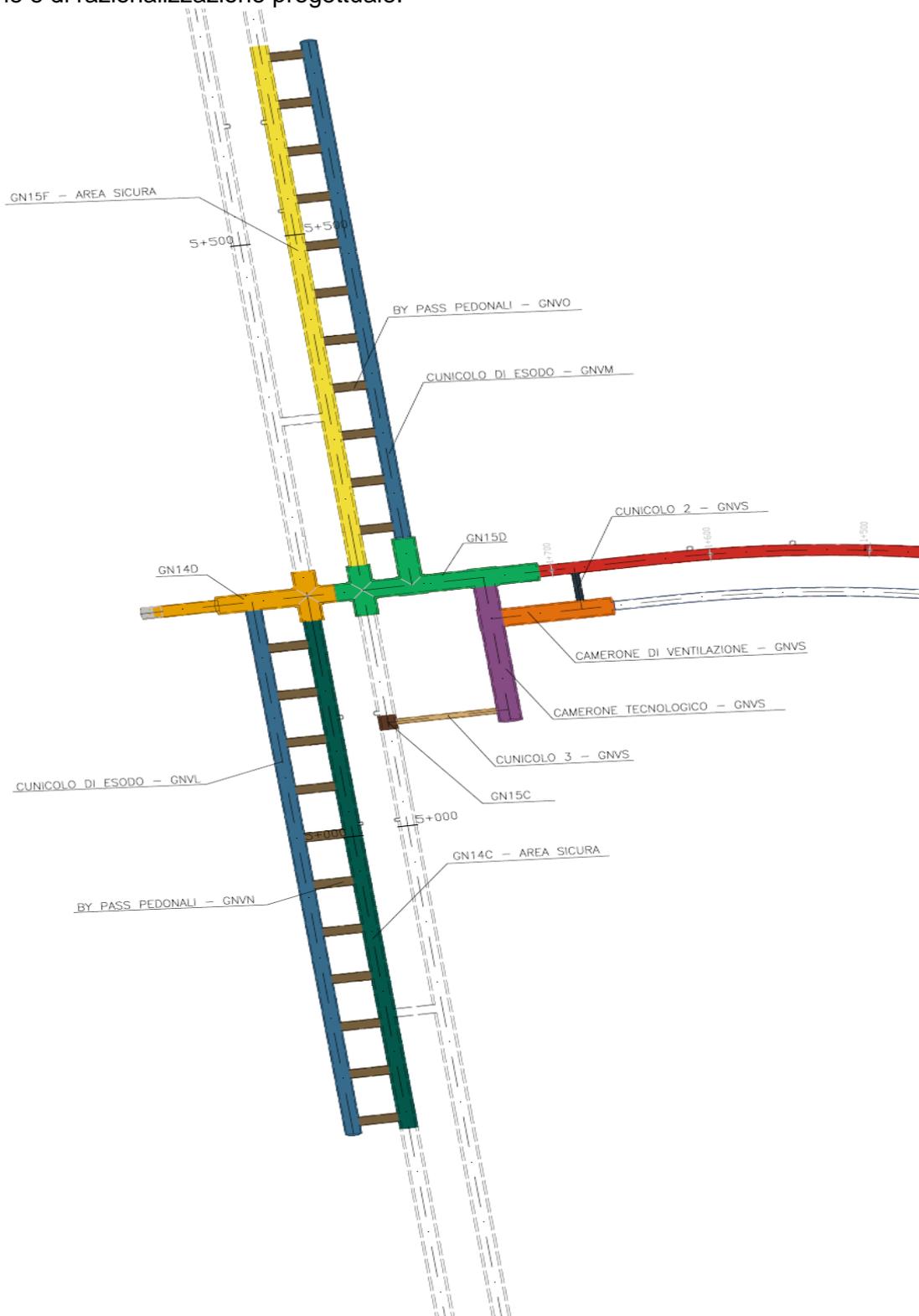
Poiché il progetto della galleria di linea non prevedeva lo scavo in adiacenza dei cunicoli di esodo, si prevede un adeguato intervento di monitoraggio tensionale del rivestimento di linea. Ovviamente si dovrà procedere alla demolizione e al getto di una nuova carpenteria con un adeguato risparmio per i conchi di getto in innesto ai by-pass.

Si riportano in tabella le WBS oggetto di modifica e le principali modifiche apportate in fase di PD.

WBS	Modifiche funzionali	Modifiche progettuali
GN14E – galleria di linea in sagoma standard BP	Nessuna	
GN15C – galleria di linea in sagoma standard BP	Creazione del collegamento mediante il cunicolo 3 al camerone tecnologico	Demolizione e ripristino di un concio armato in allargato di risparmio per l'uscita del cunicolo 3
GN14C e GN15F – parte di galleria di linea in tratta Area Sicura	Nessuna	Monitoraggio del rivestimento definitivo Interventi di demolizioni per realizzazione dei collegamenti
GN14D	Inserimento innesto con cunicolo GNVL	Demolizione carpenterie (naturale e meccanizzato) e scavo di sezione allargata di innesto cunicolo
GN15D-GN15E	Inserimento innesto con GNVM cunicolo di esodo GNVS camerone tecnologico, cunicolo 2 di collegamento con camerone di ventilazione e cunicolo 1 con galleria di ventilazione <u>Modifica pk di passaggio GN15E-GN15D</u>	Demolizione veletta di chiusura camerone di frantumazione e getto di carpenteria di risparmio per scavo cunicolo Demolizione carpenterie (naturale e meccanizzato) e scavo di sezione allargata di innesto camerone o carpenteria con risparmio per innesto cunicoli
GNVN e GNVO	Inserimento by-pass per collegamento linea-cunicoli	Inserimento di sezioni tipo B0-B2-C4 con omogeneizzazione rivestimenti provvisori e carpenterie
GNVL e GNVM	Inserimento cunicoli per esodo rapido	Inserimento di sezioni tipo a rigido controllo deformativo (interferenza con gallerie di linea)
GNVS e GAVE	Inserimento galleria di ventilazione e by-pass di collegamento con GN15E e galleria di linea Inserimento di imbocco al lato dell'imbocco esistente della finestra Polcevera	Inserimento di sezioni tipo a rigido controllo deformativo (interferenza con finestra Polcevera) Intervento di bullonatura nelle sezioni di innesto

**Tabella 8. Principali Modifiche rispetto al precedente progetto**

Le modifiche riportate in tabella hanno chiaramente comportato una serie di modifiche di dettaglio che non vengono in questa sede riportate, ma che sono state adottate sempre in un'ottica di ottimizzazione e di razionalizzazione progettuale.



**Figura 8-1. Opere in zona Area Sicura Polcevera**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN0000007B00	Foglio 69 di 80

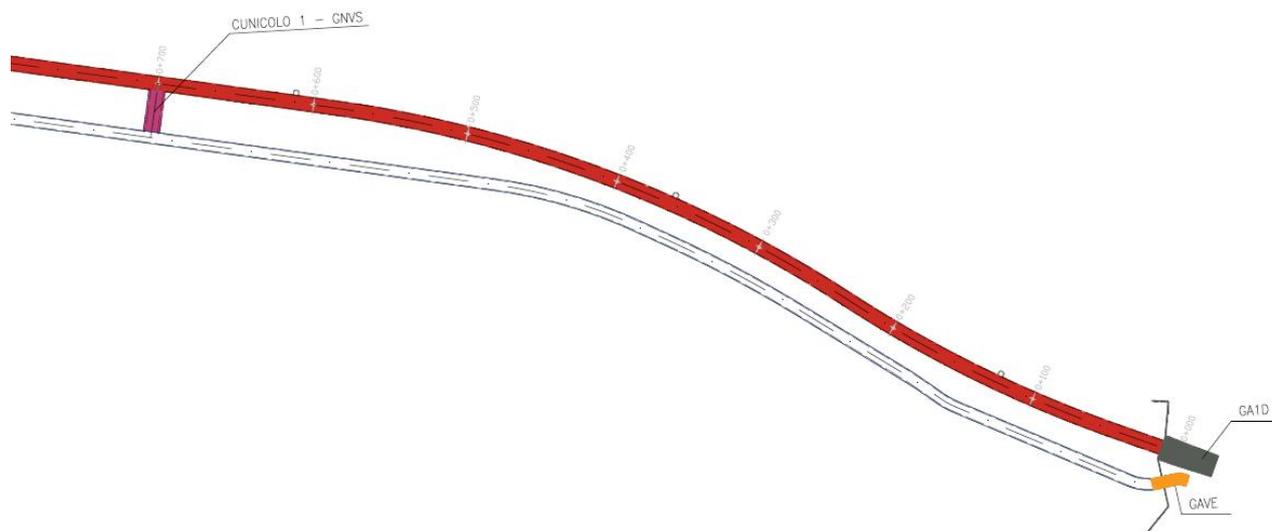


Figura 8-2. Parte iniziale della galleria di ventilazione GNVS, in affiancamento alla Finestra Polcevera

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

Le fasi esecutive possono essere definite nelle seguenti macrofasi:

**MACRO FASE 0.** Interventi di demolizione conci galleria di linea (zone di innesto by-pass ed eventuali zone ammalorate), demolizione rivestimento e conci di galleria nel camerone GN14D nella parte di innesto con il cunicolo GNVL, demolizione rivestimento e conci di galleria nella parte iniziale del camerone GN15D e nella finestra GN15E nella zona di innesto con il camerone tecnologico, demolizione conci di galleria nella finestra GN15E nella zona d'innesto con il cunicolo 1, demolizione rivestimento definitivo nella galleria di linea GN15C nella zona dell'innesto con il cunicolo 3. Tutti i nuovi getti in queste zone saranno necessariamente armati con opportuni risparmi nell'area di uscita.

**MACRO FASE 1.** Scavo dei cunicoli di esodo e scavo del camerone tecnologico

**MACRO FASE 2.** Scavo dei by-pass che collegano cunicoli di esodo a galleria di linea

**MACRO FASE 3.** Scavo camerone di ventilazione e galleria di ventilazione. Lo scavo della galleria di ventilazione potrà partire anche dall'imbocco in superficie, viaggiando su due fronti di scavo. L'imbocco GAVE verrà realizzato utilizzando la paratia berlinese esistente.

**MACRO FASE 4.** Scavo cunicoli di collegamento tra GNVS e galleria di linea, galleria Polcevera, previa realizzazione di sezioni di allargo di adeguata carpenteria.

Data la numerosità dei fronti di scavo le fasi riportate sono indicative, andranno successivamente definite sulla base delle necessità di cantiere.

Per limitare al massimo effetti sulle strutture definitive, laddove verranno demoliti i rivestimenti in galleria di linea saranno realizzati successivamente al passaggio dello scavo del cunicolo adiacente.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>A3010XDCVROGN0000007B00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 70 di 80</p>

## 9. CONCLUSIONI

Oggetto della presente relazione è la descrizione del progetto dell'area sicura Polcevera a seguito dell'applicazione delle Specifiche Tecniche di Interoperabilità (STI).

La relazione tratta il progetto di adeguamento dell'area nella sua globalità, dal punto di vista delle opere di sostegno, gallerie artificiali e naturali, in modo che risultino chiare le scelte e il processo logico che ha portato alla nuova configurazione delle strutture.

Si rimanda agli elaborati tecnici delle singole WBS per il dettaglio, grafico e di calcolo, delle opere nella loro unicità.

GENERAL CONTRACTOR



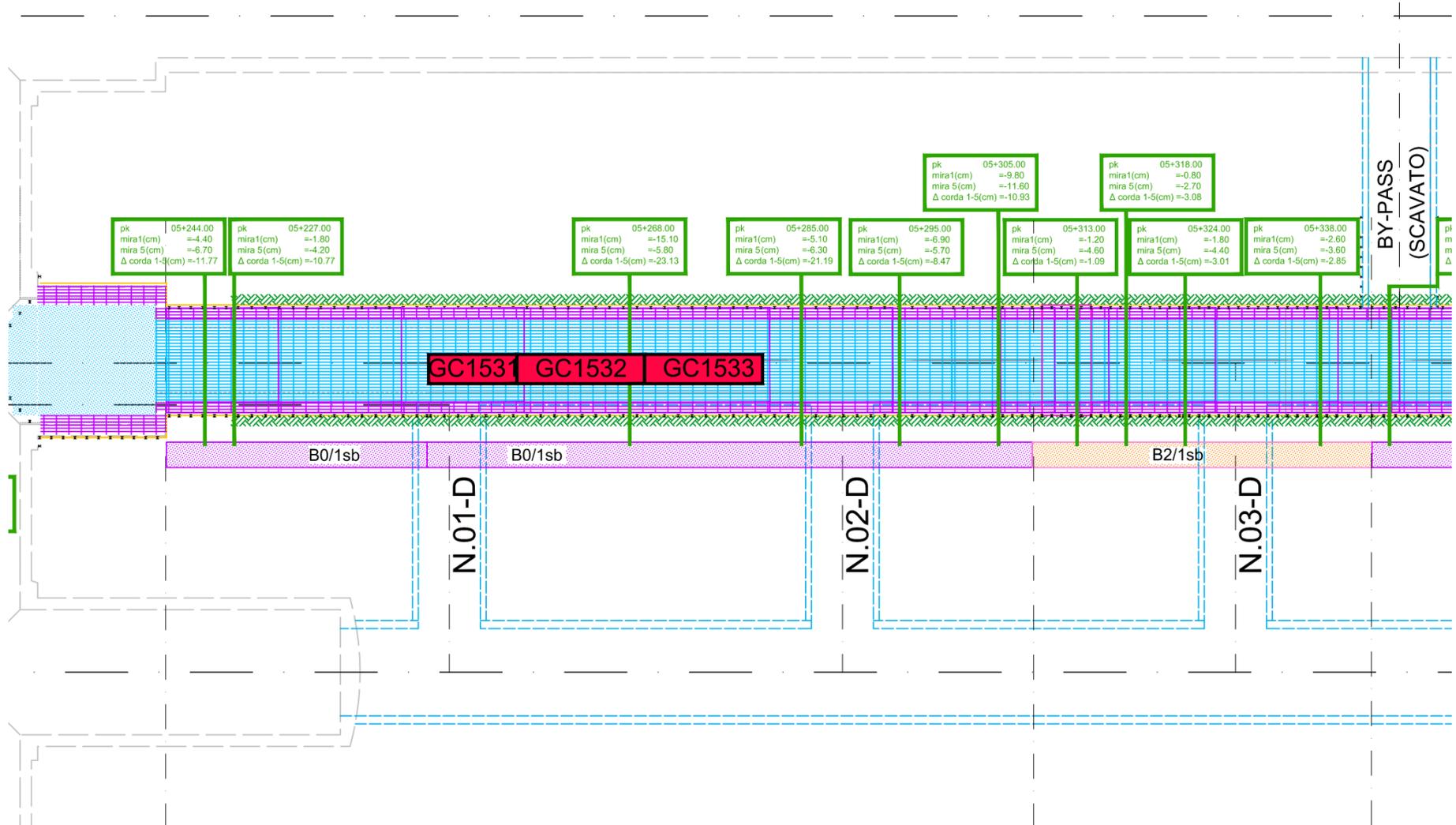
ALTA SORVEGLIANZA



A3010XDCVROGN0000007B00

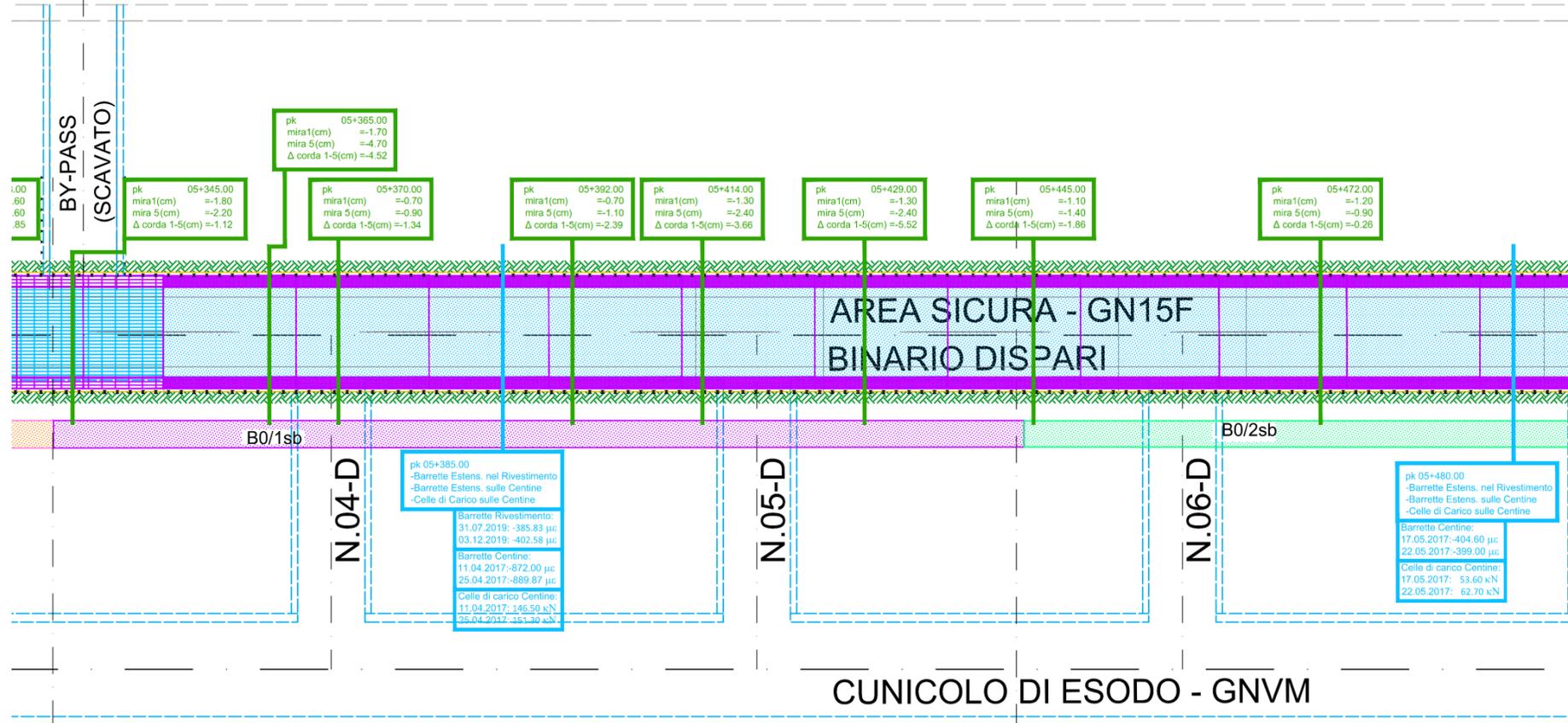
Foglio  
71 di 80

## ALLEGATO 1 – Schema sinottico AS BUILT GN15F





BINARIO PARI



GENERAL CONTRACTOR



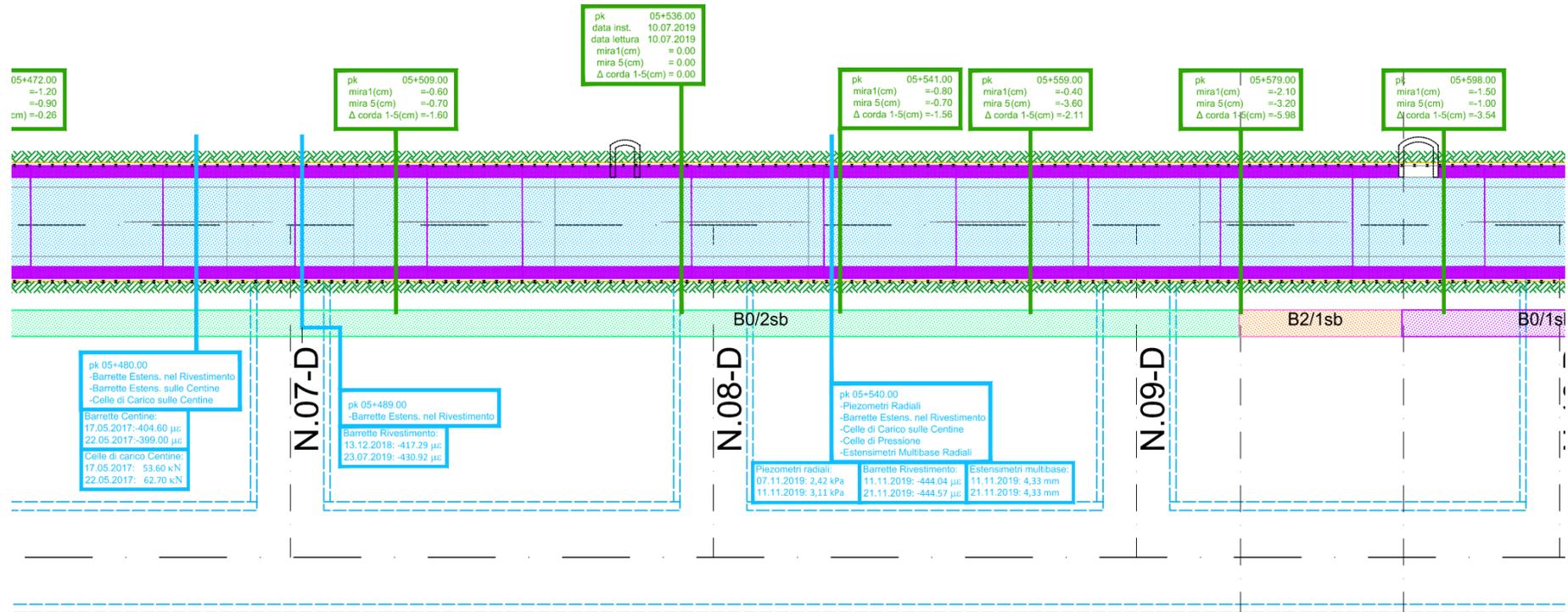
ALTA SORVEGLIANZA



A3010XDCVROGN0000007B00

Foglio  
74 di 80

BINARIO PARI



GENERAL CONTRACTOR

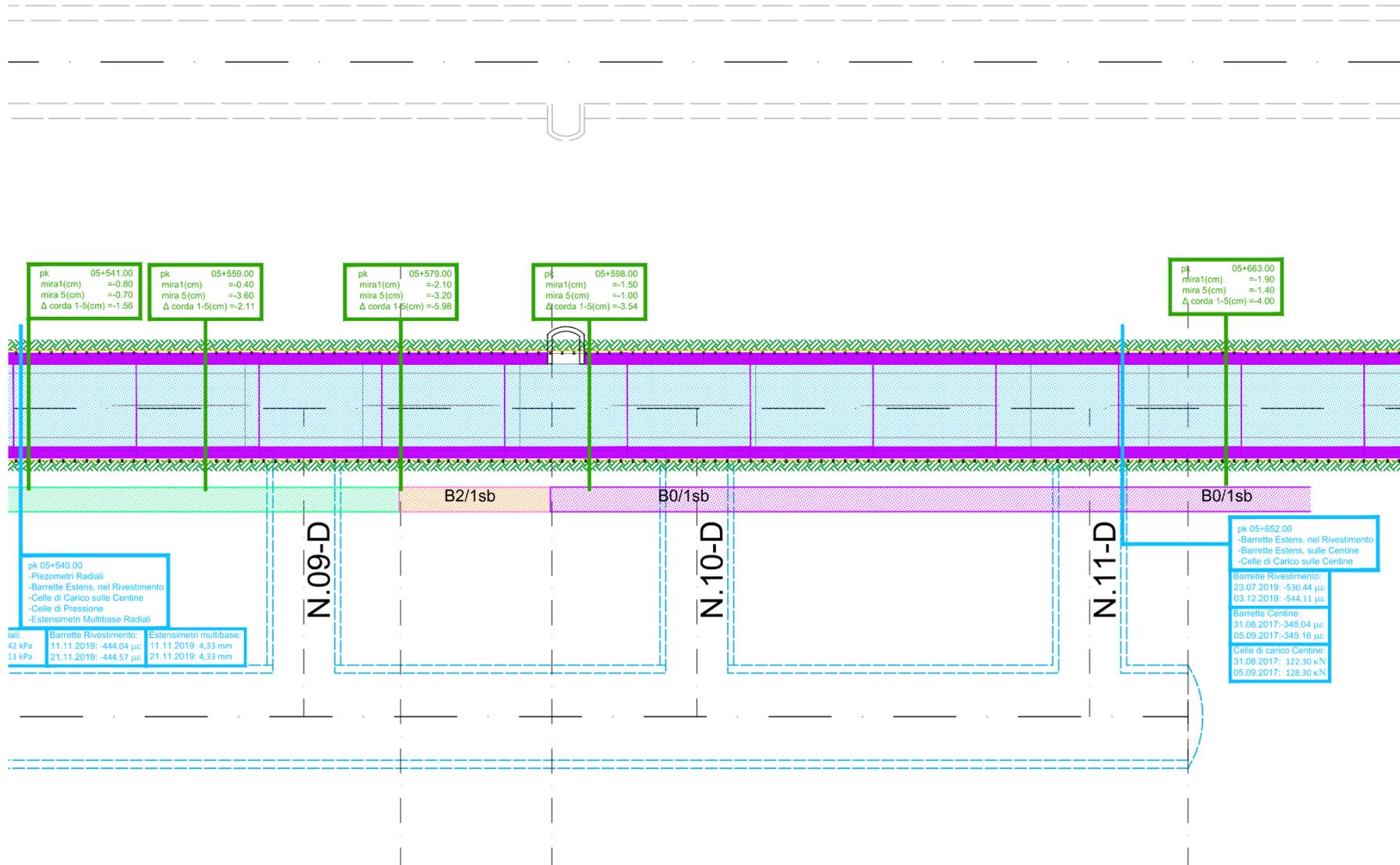


ALTA SORVEGLIANZA



A3010XDCVROGN0000007B00

Foglio  
75 di 80



pk 05+540.00  
-Piezometri Radiali  
-Barrette Estens. nel Rivestimento  
-Celle di Carico sulle Centine  
-Celle di Pressione  
-Estensimetri Multibase Radiali

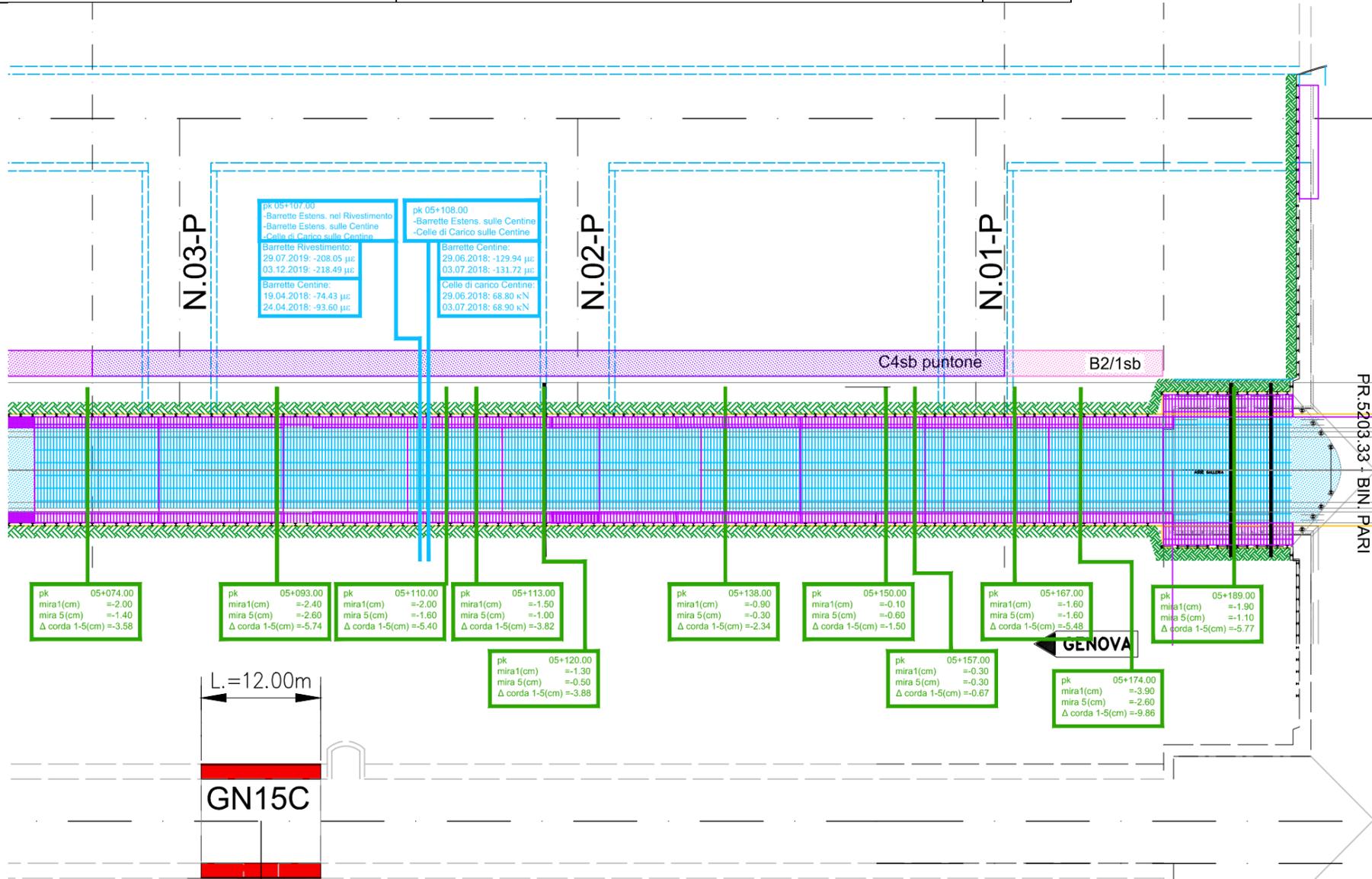
Vali:	Barrette Rivestimento:	Estensimetri multibase:
42 kPa	11.11.2019: -444.04 με	11.11.2019: 4,33 mm
11 kPa	21.11.2019: -444.57 με	21.11.2019: 4,33 mm

pk 05+662.00  
-Barrette Estens. nel Rivestimento  
-Barrette Estens. sulle Centine  
-Celle di Carico sulle Centine

Barrette Rivestimento:
23.07.2019: -530.44 με
03.12.2019: -544.11 με
Barrette Centine:
31.08.2017: -348.04 με
05.09.2017: -349.16 με
Celle di carico Centine:
31.08.2017: 122.30 kN
05.09.2017: 128.30 kN

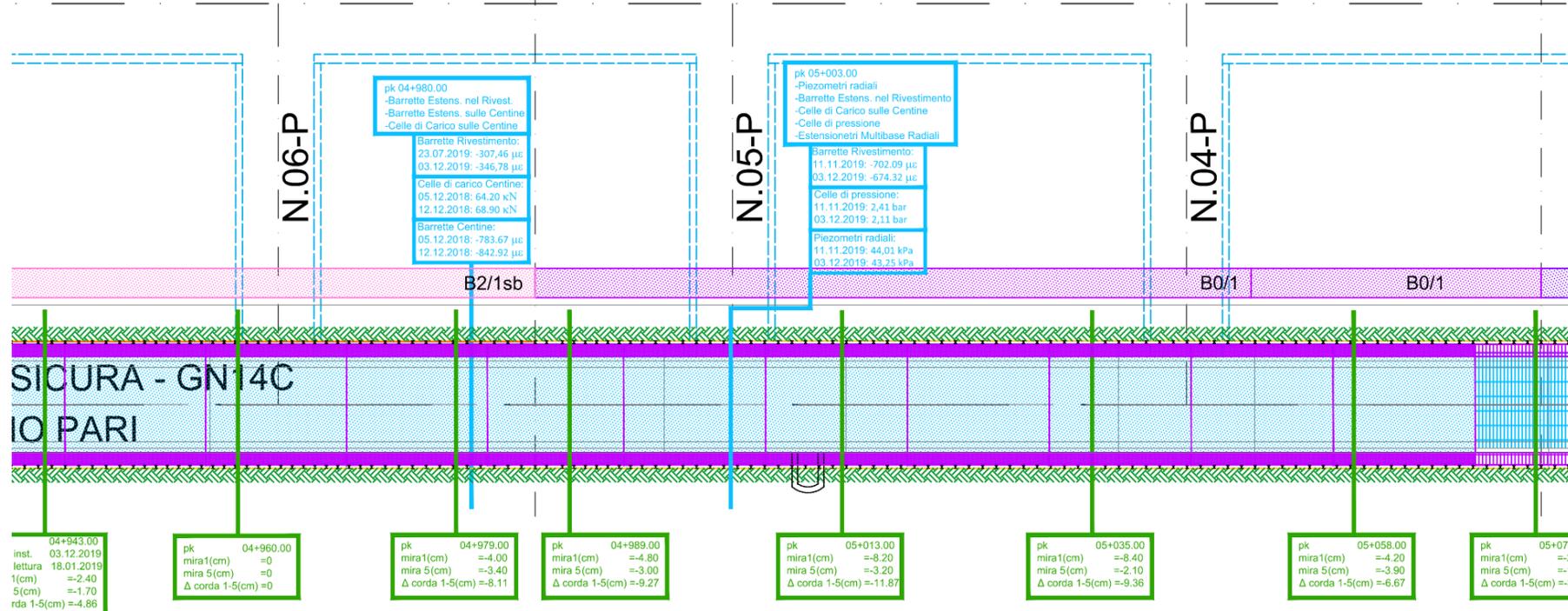
GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN0000007B00	Foglio 76 di 80

## ALLEGATO 2 - Schema sinottico AS BUILT GN14C





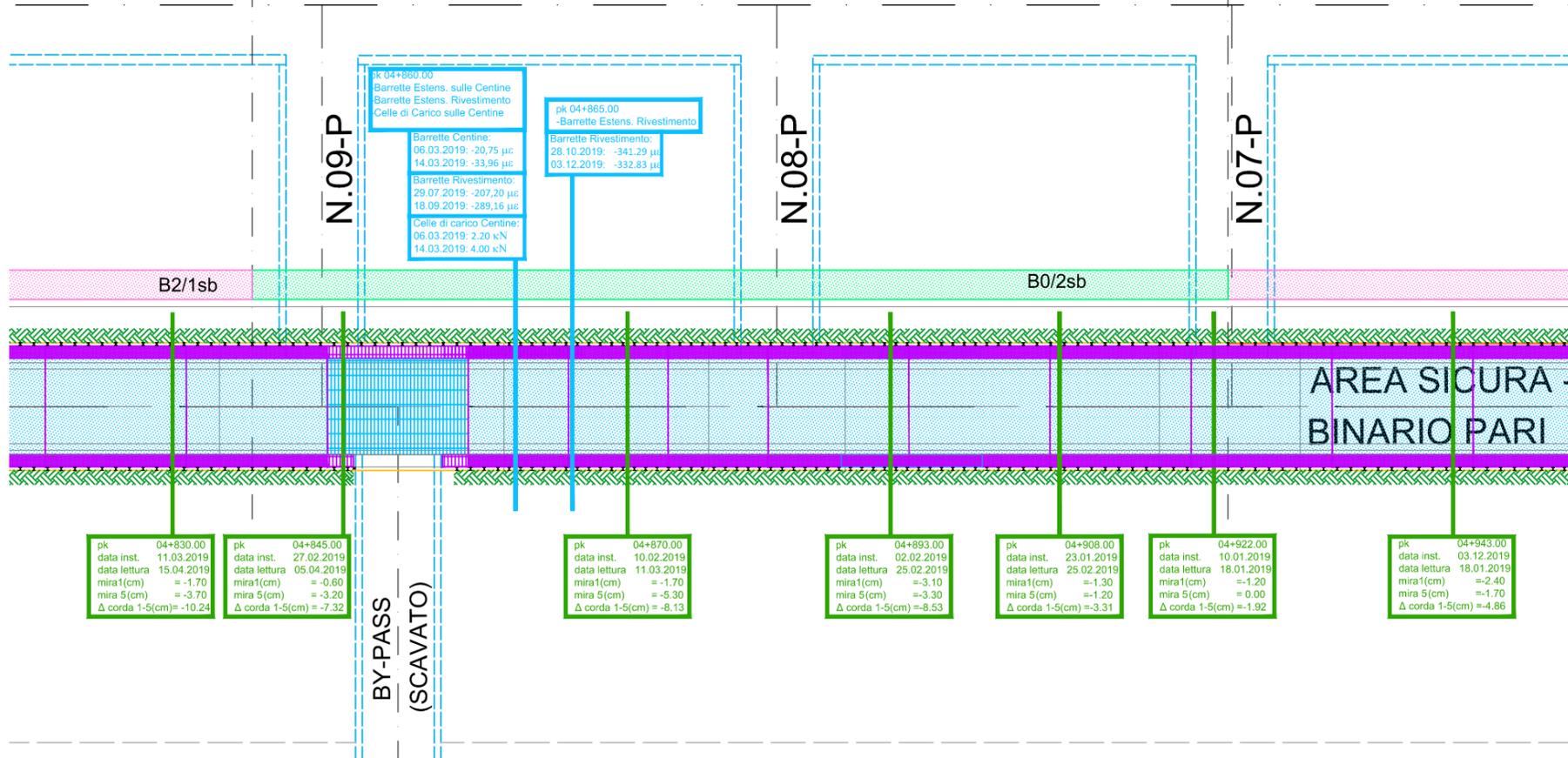
OLO DI ESODO - GNVL



BINARIO DISPARI



CUNICOLO DI E



N.09-P

N.08-P

N.07-P

B2/1sb

B0/2sb

AREA SICURA -  
BINARIO PARI

BY-PASS  
(SCAVATO)

pk 04+860.00  
Barrette Estens. sulle Centine  
Barrette Estens. Rivestimento  
Celle di Carico sulle Centine

Barrette Centine:  
06.03.2019: -20.75 µε  
14.03.2019: -33.96 µε

Barrette Rivestimento:  
29.07.2019: -207.20 µε  
18.09.2019: -289.16 µε

Celle di carico Centine:  
06.03.2019: 2.20 kN  
14.03.2019: 4.00 kN

pk 04+865.00  
-Barrette Estens. Rivestimento

Barrette Rivestimento:  
28.10.2019: -341.29 µε  
03.12.2019: -332.83 µε

pk 04+830.00  
data inst. 11.03.2019  
data lettura 15.04.2019  
mira 1(cm) = -1.70  
mira 5(cm) = -3.70  
Δ corda 1-5(cm) = -10.24

pk 04+845.00  
data inst. 27.02.2019  
data lettura 05.04.2019  
mira 1(cm) = -0.60  
mira 5(cm) = -3.20  
Δ corda 1-5(cm) = -7.32

pk 04+870.00  
data inst. 10.02.2019  
data lettura 11.03.2019  
mira 1(cm) = -1.70  
mira 5(cm) = -5.30  
Δ corda 1-5(cm) = -8.13

pk 04+893.00  
data inst. 02.02.2019  
data lettura 25.02.2019  
mira 1(cm) = -3.10  
mira 5(cm) = -3.30  
Δ corda 1-5(cm) = -8.53

pk 04+908.00  
data inst. 23.01.2019  
data lettura 25.02.2019  
mira 1(cm) = -1.30  
mira 5(cm) = -1.20  
Δ corda 1-5(cm) = -3.31

pk 04+922.00  
data inst. 10.01.2019  
data lettura 18.01.2019  
mira 1(cm) = -1.20  
mira 5(cm) = 0.00  
Δ corda 1-5(cm) = -1.92

pk 04+943.00  
data inst. 03.12.2019  
data lettura 18.01.2019  
mira 1(cm) = -2.40  
mira 5(cm) = -1.70  
Δ corda 1-5(cm) = -4.86

