

# LIAISON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE

Partie commune franco-italienne  
Section transfrontalière

Parte comune italo-francese  
Sezione transfrontaliera

## NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE REVISION DE L'AVANT-PROJET DE REFERENCE – REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO CUP C11J05000030001

### TUNNELS DE L'INTERCONEXION SUSA-BUSSOLENO – TUNNEL D'INTERCONNESSIONE SUSA-BUSSOLENO

### RAMEAUX DE CONNEXION – RAMI DI COLLEGAMENTO

### DIMENSIONNEMENT - DIMENSIONAMENTO

### NOTE TECHNIQUE ET DE CALCUL - RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

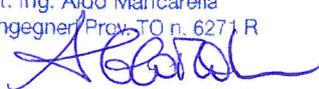
Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	09/11/2012	Première diffusion / Prima emissione	A. MIGNINI (AMB) J.C. ARROYO (AMB)	M. RUSSO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MANCARELLA
A	08/02/2013	Première revision / Prima Revisione	A. MIGNINI (AMB)	M. RUSSO C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO

CODE DOC	P	D	2	C	3	A	T	S	3	5	8	4	0	A
	Phase / Fase		Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice		

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	C3A	//	//	65	90	20	10	01
------------------------------	-----	----	----	----	----	----	----	----

ECHELLE / SCALA
-

 **Tecnimont**  
Civil Construction  
Dott. Ing. Aldo Mancarella  
Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R  




  
**LYON TURIN FERROVIAIRE**

LTF sas 1091 Avenue de la Boisse BP 80631 F-73006 CHAMBERY CEDEX (France)  
Tél. : +33 (0)4.79.68.56.50 – Fax : +33 (0)4.79.68.56.75  
RCS Chambéry 439 556 952 – TVA FR 03439556952  
Propriété LTF Tous droits réservés – Proprietà LTF Tutti i diritti riservati

Ce projet  
est cofinancé par  
l'Union européenne  
(DG-TREN)



Questo progetto  
è cofinanziato  
dall'Unione europea  
(TEN-T)

## SOMMAIRE / INDICE

RESUME / RIASSUNTO.....	3
1 INTRODUZIONE .....	4
1.1 Premessa .....	4
1.2 Documenti di riferimento.....	4
1.3 Normativa di riferimento .....	5
1.4 Caratteristiche dei materiali .....	5
2 SINTESI DEL QUADRO GEOLOGICO-GEOTECNICO .....	6
3 ANALISI NUMERICA .....	7
3.1 Programma di calcolo.....	7
3.2 Fasi del modello .....	7
3.3 Proprietà della roccia .....	8
3.3.1 Modellazione Ramo PK BD 0+381 e 1+858.....	8
3.3.2 Modellazione Rami PK BD 0+710, 1+000, 1+270 e 1+550.....	9
3.4 Proprietà dei sostegni e dei rivestimenti .....	10
3.5 Risultati e conclusioni .....	10
3.5.1 Modellazione scavo ramo PK BD 0+381 e 1+858 .....	11
3.5.2 Modellazione scavo rami PK BD 0+710, 1+000, 1+270 e 1+550 .....	11
ALLEGATO – GRAFICI DI CALCOLO .....	12
Modellazione Rami TdI .....	12
Sezione corrente.....	12
Modellazione Rami TdI .....	14
Sezione allargata .....	14

## LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1 – Detalle de la malla en Stage 4 de las secciones normal y alargada.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2 – Tensione assiale nel rivestimento, sezione corrente - Fase 9.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3 – Momento nel rivestimento, sezione corrente - Fase 9.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 4 – Diagramma di interazione M-N nel rivestimento della sezione corrente dei rami con 40 cm di cls C30/37 non armato. Coefficiente di minorazione 1,35 e 1,5.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 5 – Diagramma di interazione M-N nel rivestimento della sezione corrente dei rami con 60 cm di cls C30/37 non armato. Coefficiente di minorazione 1,35 e 1,5.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 6 – Tensione assiale nel rivestimento, sezione allargata - Fase 9.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 7 – Momento nel rivestimento, sezione allargata - Fase 9.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 8 – Diagramma di interazione M-N nel rivestimento della sezione allargata dei rami con 45 cm di cls C30/37 non armato. Coefficiente di minorazione 1,35 e 1,5.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 9 – Diagramma di interazione M-N nell'arco rovescio della sezione allargata dei rami con 65 cm di cls C30/37 non armato. Coefficiente di minorazione 1,35 e 1,5.....</i>	<i>15</i>

## LISTE DES TABLEAUX / INDICE DELLE TABELLE

<b>Tabella 1</b> - Sintesi caratterizzazione geomeccanica dei terreni. ....	6
<b>Tabella 2</b> – Parametri di calcolo rami PK BD 0+381 e 1+858 .....	8
<b>Tabella 3</b> – Parametri di calcolo Rami PK BD 0+710, 1+000, 1+270 e 1+550 .....	9

## RESUME / RIASSUNTO

Le présent document fournit la note technique et de calcul du Projet Définitif de la galerie d'interconnexion.

Il presente documento illustra la relazione tecnica e di calcolo di progetto definitivo PD2 delle opere in sotterraneo del tunnel dell'interconnessione (TdI).

## 1 Introduzione

### 1.1 Premessa

La presente relazione tecnica e di calcolo rientra nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo PD2 della linea ferroviaria Torino-Lione nella tratta in territorio italiano.

In particolare essa concerne la progettazione definitiva della galleria a doppia canna dell'interconnessione (TdI) per la quale è previsto lo scavo in tradizionale con uso di esplosivo (v. relazione illustrativa PD2\_C3A\_4700\_65-00-00-10\_01).

Il presente documento, nell'ambito del contesto sopra sintetizzato, intende fornire i dettagli della metodologia di calcolo per il dimensionamento e verifica dei sostegni e rivestimenti da applicare allo scavo delle opere in galleria del TdI, in conformità alla sequenza costruttiva descritta nella relazione illustrativa.

### 1.2 Documenti di riferimento

Sono direttamente collegati alla presente relazione i documenti:

<b>Titolo</b>	<b>Codice documento</b>
ELENCO ELABORATI	PD2_C30_0009_05-00-00_00-01
RELAZIONE GEOLOGICA GENERALE	PD2_C3B_0126_65-01-01_10-01
RELAZIONE GEOLOGICA ZONA ORSIERA	PD2_C3B_0139_65-15-01_10-01
PROFILO GEOLOGICO-GEOMECCANICO IN ASSE BP	PD2_C3B_0007_65-01-01_40-01
PROFILO GEOLOGICO-GEOMECCANICO IN ASSE BD	PD2_C3B_0008_65-01-01_40-02
METODOLOGIA COSTRUTTIVA IN SOTTERRANEO TUNNEL DELL'INTERCONNESSIONE	PD2_C3A_0895_33-02-05_10-01
RELAZIONE ILLUSTRATIVA TdI	PD2_C3A_4700_65-00-00-10-01
RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO TdI	PD2_C3A_4701_65-00-00-10-02
PLANIMETRIA CON FASI E TIPOLOGIE COSTRUTTIVE	PD2_C3A_4695_65-00-00_30-03
SEZIONI TIPO SOSTEGNO A	PD2_C3A_4740_65-00-20_40-01
SEZIONI TIPO SOSTEGNO B	PD2_C3A_4741_65-00-20_40-02
SEZIONI TIPO SOSTEGNO F	PD2_C3A_4745_65-00-20_40-06
RELAZIONE ILLUSTRATIVA RAMI TdI	PD2_C3A_5820_65-90-10-10-01
RAMI R0 – PLANIMETRIA GENERALE	PD2_C3A_5822_65-90-10_20-01
RAMI R0 - PROFILO LONGITUDINALE 0+381	PD2_C3A_5823_65-90-10_40-01
RAMI R0 - PROFILO LONGITUDINALE 0+710	PD2_C3A_5824_65-90-10_40-02
RAMI R0 - PROFILO LONGITUDINALE 1+000	PD2_C3A_5825_65-90-10_40-03
RAMI R0 - PROFILO LONGITUDINALE 1+270	PD2_C3A_5826_65-90-10_40-04
RAMI R0 - PROFILO LONGITUDINALE 1+550	PD2_C3A_5827_65-90-10_40-05
RAMI R0 - PROFILO LONGITUDINALE 1+858	PD2_C3A_5828_65-90-10_40-06
SINOTTICO ZONA IMBOCCO RAMI - PLANIMETRIA E PROFILO LONGITUDINALE	PD2_C3A_4780_65-00-40_30-06
SINOTTICO ZONA IMBOCCO RAMI - SEZIONI TRASVERSALI	PD2_C3A_4781_65-00-40_30-07

Si è fatto altresì riferimento ai seguenti documenti di APR e PP2:

- PD\_0435 B1 26 19 01 01 01\_Base Rel Des I\_E – Relazione tecnica e di calcolo

- PP2\_C3A\_0503\_60-01-01\_10-03\_B - Relazione tecnica e di calcolo

### 1.3 Normativa di riferimento

Per quanto concerne la normativa di riferimento impiegata per la progettazione dell'opera si rimanda ai seguenti documenti di Dossier Guida:

- PD2\_C30\_1113\_50-01-00\_10-01\_Consegna 44 – Quadro Normativo;
- PD2\_C30\_0002\_50-02-00\_10-02\_Consegna 37 – Principi del quadro regolamentare della sicurezza.

### 1.4 Caratteristiche dei materiali

I materiali adottati in progetto e nella elaborazione dei calcoli sviluppati nella presente relazione sono di seguito indicati:

#### **CALCESTRUZZO**

##### Calcestruzzo proiettato

Tipo: Classe C25/30  
Resistenza caratteristica cubica:  $R_{ck}=30$  MPa

##### Calcestruzzo per rivestimenti

Tipo: classe C30/37  
Resistenza caratteristica cubica:  $R_{ck}=37$  MPa  
Classe di esposizione: XC2

#### **ACCIAIO**

##### Acciaio in barre ad aderenza migliorata

Tipo: B 450 C  
Copriferro minimo: 5cm  
Tensione di snervamento:  $f_{yk}=450$  N/mm<sup>2</sup>

##### Tubi per infilaggi

Tipo: S 355  
Tensione di snervamento:  $f_{yk}=355$ N/mm<sup>2</sup>

##### Bulloni (1)

Tipo: SN25  
Trazione di snervamento:  $F_{yk}=246$ kN

##### Bulloni (2)

Tipo: IBO R32L  
Trazione di snervamento:  $F_{yk}=160$ kN

##### Bulloni (3)

Tipo: Swellex Mn12  
Trazione di snervamento:  $F_{yk}=90$ kN

##### Centine

Tipo: S 355  
Tensione di snervamento:  $f_{yk}=355$ N/mm<sup>2</sup>

Profilati e piastre

Tipo: S 355  
 Tensione di snervamento:  $f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$

Fibre per rinforzo calcestruzzo proiettato

Acciaio a basso contenuto di carbonio  
 ottenute da filo crudo trafilato:  $f_{yk} = 1000 \text{ N/mm}^2$

**ELEMENTI IN VETRORESINA**

Tensione di snervamento:  $f_{yk} = 300 \text{ N/mm}^2$

**IMPERMEABILIZZAZIONI**

Geotessile tessuto non tessuto

Peso specifico:  $500 \text{ g/m}^2$

Impermeabilizzazione

Guaina in PVC, spesso  $3 \text{ mm}$

**2 SINTESI DEL QUADRO GEOLOGICO-GEOTECNICO**

In corrispondenza della parte iniziale dei cameroni di approccio lato Susa e lato Susa, si trovano zone dalle caratteristiche geomeccaniche incerte, dove sono previste basse coperture con scistosità pervasiva ed una possibile interfaccia a quota tunnel tra i calcemicascisti dell'unità Dora Maira e depositi misti di origine glaciale e rimaneggiamento superficiale (eluvio-colluviali). Si ritiene necessario fare una buona caratterizzazione geologica, idrogeologica e geotecnica di queste zone.

Per la parte restante si ritiene che i rami attraversano l'unità della Dora Maira nella litologia TCS corrispondente a calcescisti e micascisti.

I parametri di calcolo adottati fanno riferimento al modello di Hoek-Brown e sono riassunti nella seguente tabella:

	Valori di riferimento			Valori di Progetto	
	Max.	Min.	Medio	Max.	Residuo
<b>GSI</b>	69	52	-	40	30
<b><math>\sigma_{ci}</math> [MPa]</b>	117.5	42.8	72.4	57.6	
<b><math>m_i</math></b>	-	-	7	7	
<b><math>E_i</math> [MPa]</b>	29.4	10.7	-	20.05	
<b><math>\nu</math></b>				0.25	
<b><math>\gamma</math> [kN/m<sup>2</sup>]</b>	28.5	27.6	-	28	
<b><math>K_o</math></b>				1	

*Tabella 1 - Sintesi caratterizzazione geomeccanica dei terreni.*

Come si può osservare, il GSI minimo considerato per la litologia TCS é di 52. Per quanto riguarda le zone più incerte agli imbocchi sopra citate, tale valore si riduce a 40, mentre si usa un valore residuo di 30.

### 3 ANALISI NUMERICA

#### 3.1 Programma di calcolo

L'analisi numerica é stata realizzata con il programma di calcolo ad elementi finiti Phase2 v.7.0 dell'azienda canadese Rockscience, con il quale si possono realizzare modelli bidimensionali e riprodurre un comportamento elasto-plastico del materiale ed ottenere le tensioni e le deformazioni che si producono intorno al cavo attraverso un'analisi passo-passo del meccanismo di deformazione e rottura e dell'interazione scavo-sostegno. Il programma incorpora un codice per la generazione automatica della maglia, delle coazioni e dei sostegni così come un ambiente grafico su base CAD per la visualizzazione dei dati di input e presentazione ed analisi dei dati di output.

Gli elementi finiti usati sono solidi continui triangolari a deformazione piana per la roccia e monodimensionali tipo trave per il sostegno ed il rivestimento, che permettono di inserire bulloni con ancoraggio distribuito o di testa, così come sistemi di cavi lungo gli elementi trave al fine di modellare il comportamento elasto-plastico del sostegno con proprietà elastiche e isotrope.

#### 3.2 Fasi del modello

L'analisi a elementi finiti dell'interazione roccia-sostegno é stata modellata sulla base della sequenza costruttiva dello scavo e montaggio del rivestimento.

La modellazione bidimensionale della galleria risulta corretta eccetto nelle immediate vicinanze del fronte di scavo, dove l'effetto del nucleo di roccia che costituisce il fronte da un contributo attivo al sostegno. Tale effetto di sostegno del fronte può essere simulato o come pressione radiale equivalente lungo il perimetro del cavo, che contrasta quella esercitata dal massiccio, oppure come una variazione nel modulo di elasticità al variare la distanza dal fronte.

La formulazione più usata per simulare tale effetto é quella di Panet (1995), in cui la pressione radiale esercitata dal nucleo, che agisce come sostegno provvisorio, può essere calcolata con la seguente formula:

$$P_f = P_o \cdot (1 - \lambda) = \frac{2}{3} \cdot P_o \cdot e^{-\frac{x}{0.7R}}$$

dove:

- P<sub>f</sub>: pressione radiale fittizia esercitata dal fronte di scavo lungo una sezione trasversale a distanza x del fronte
- R: raggio dello scavo
- P<sub>o</sub>: tensione in-situ iniziale
- λ: coefficiente di confinamento

Ipotizzando un'area di scavo in avanzamento in media di circa 45 m<sup>2</sup> nella sezione a scavo parzializzato, si ottiene che per uno scavo di circa 1m di lunghezza, la pressione radiale é circa un 50% della tensione in-situ iniziale P<sub>o</sub>.

Al fine di tenere in conto la ridistribuzione tridimensionale delle tensioni nell'ammasso con l'avanzare dello scavo, si va riducendo il modulo di elasticità della roccia della sezione scavata assegnandole un valore fittizio che si può stimare a partire dal coefficiente di confinamento mediante la seguente espressione:

$$E_f = \left[ \frac{(1 - 2\nu)(1 - \lambda)}{(1 - 2\nu) + \lambda} \right] \cdot E_0$$

Pertanto, per un coefficiente di confinamento del 50%, la relazione  $E_f/E_0$  è di circa 0.25, mentre per un confinamento del 70% si adotta un valore di 0.125.

In generale, salvo che si indichi il contrario, si è considerato un coefficiente di sconfinamento del 50%, considerandolo conservativo ai fini del calcolo del sostegno.

Per quanto riguarda la modellazione della sezione tipo si considera questa tipologia coperta dalle sezioni B ed F del TdI.

### 3.3 Proprietà della roccia

Nell'analisi realizzata si è usato un modello di comportamento di Mohr-Coulomb, stimando i parametri con il programma RocLab a partire dai parametri di Hoek-Brown come illustrati nelle seguenti tabelle 1, 2 e 3.

Sono inoltre stati definiti i parametri residui, riducendo significativamente la coesione e riducendo leggermente la frizione.

#### 3.3.1 Modellazione Ramo PK BD 0+381 e 1+858

Si è considerato un ricoprimento medio di 35m ed un coefficiente  $D=0,5$  (conservativo).

Sono stati considerati inoltre altri valori a lungo termine al fine di determinare i carichi agenti sul rivestimento.

Per quanto riguarda lo stato tensionale iniziale in-situ, si è considerato un  $K_0 = 1$ , anche se va osservato che la geometria della superficie modifica sostanzialmente la relazione fra le tensioni nella prima fase di calcolo.

	RocLab Fit (H=35m, D=0.5)	Picco Adottato	Residuo Adottato	Picco Lungo Termine
$c_{rm}$ [MPa]	0.227	0.2	0.001	0.1
$\phi_{rm}$ [°]	45	40	37	37
$\sigma_t$ [MPa]	-0.048	-0.04		
$E_{rm}$ [MPa]	1541.7	1541.7		
Angolo Dil. [°]	-	5		

*Tabella 2 – Parametri di calcolo rami PK BD 0+381 e 1+858*

### 3.3.2 Modellazione Rami PK BD 0+710, 1+000, 1+270 e 1+550

Si é considerato un ricoprimento di 140m ed un coefficiente  $D=0,5$  (conservativo).

Per quanto riguarda lo stato tensionale iniziale in-situ, si é considerato un  $K_0 = 1$ .

	RocLab Fit (H=140 m, D=0.5)	Picco Adottato	Residuo Adottato
$c_{rm}$ [MPa]	0.621	0.6	0.001
$\phi_{rm}$ [°]	38.98	37	35
$\sigma_t$ [MPa]	-0.113	-0.1	
$E_{rm}$ [MPa]	2946.7	2946	
Angolo Dil. [°]	-	5	

Tabella 3 – Parametri di calcolo Rami PK BD 0+710, 1+000, 1+270 e 1+550

La sequenza del modello é la stessa per entrambi i casi:

- 1) Gravità. Inizializzare gli sforzi in-situ e stabilire l'equilibrio iniziale delle tensioni.
- 2) Rilassamento delle tensioni al fine di simulare l'effetto fronte (riduzione del 30%).
- 3) Scavo e sostegno della galleria dell TdI.
- 4) Eliminazione dei bulloni e dei sostegni. Attivazione del rivestimento definitivo.
- 5) Riduzione dei parametri resistenti dell'ammasso.
- 6) Applicazione del carico idrostatico di 20 m sopra la livelletta.
- 7) Applicazione del carico idrostatico di 30 m sopra la livelletta.
- 8) Applicazione del carico idrostatico di 50 m sopra la livelletta.
- 9) Applicazione del carico idrostatico di 70 m sopra la livelletta.

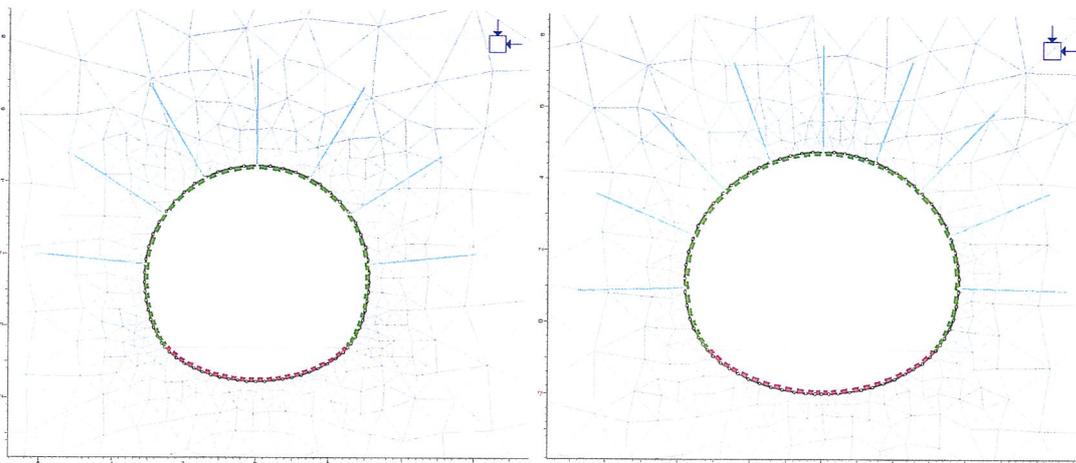


Figura 1 – Detalle de la malla en Stage 4 de las secciones normal y alargada.

Per il sostegno si é considerato uno spessore uniforme di 15cm di cls proiettato con bulloni ogni 1,5 m x 2,5 m e un rilassamento delle tensioni del 70% rispetto a quelle in-situ.

Ai fini della simulazione del processo di scavo e sostegno, si considera l'annullamento del sostegno e la sua sostituzione con il rivestimento (caso già analizzato precedentemente nel caso di massiccio impermeabile). Posteriormente si applica un carico idrostatico variabile fino a raggiungere un valore massimo di 70 m (7 bar) sopra la livelletta.

### 3.4 Proprietà dei sostegni e dei rivestimenti

I sostegni ed i rivestimenti si considerano come elementi trave con comportamento plastico a rottura. Lo spessore dei sostegni adottato nel calcolo è di 20 cm nelle sezioni di entrata allargate e di 15 cm nella sezione corrente.

Il modulo di deformazione adottato è di 9 GPa per gli elementi di sostegno e di 25 GPa per quelli di rivestimento.

Per entrambi i casi, sostegni e rivestimenti, si prende una densità di 25 kN/m<sup>3</sup>.

Il cls dei sostegni di prima fase è classe C25/30 MPa.

Il cls dei rivestimenti è di tipo ordinario classe C30/37 MPa.

Per il calcolo dei bulloni si è considerata una barra d'acciaio di 25 mm di diametro con un modulo di deformazione di 200 GPa ed una capacità meccanica a trazione di 0.2 MN.

Nel modello del sostegno non si è tenuto conto del possibile contributo di infilaggi e centine.

Per quanto concerne la resistenza al fuoco, in deroga al DM 28.10.2005, che prevede una resistenza delle strutture in cls tipo REI 120 per gallerie ferroviarie sotto i 2000m di lunghezza, si applicano le seguenti norme per l'intera tratta internazionale Torino-Lione, incluso il TdI:

- Normativa francese ITI 98-300, ovvero assicurare una resistenza al fuoco di 4 ore con la curva di temperatura ai sensi della norma ISO 834 e di 2 ore con la curva di temperatura HC;
- della STI sicurezza, ovvero assicurare una resistenza al fuoco secondo la curva EUREKA.

A tale scopo valgono le verifiche positive e conclusioni già presentate per il rivestimento non armato del TdI (v. documento 4701 "Relazione tecnica e di calcolo TdI").

### 3.5 Risultati e conclusioni

Con rispetto alla verifica presentata nella prima emissione del PD2 dei rami (caso di galleria drenata), è stato introdotto l'arco rovescio per soddisfare la verifica del rivestimento definitivo in presenza di carico idrostatico, soddisfacendo così la prescrizione di sistema stagno con impermeabilizzazione "full-round".

Si considera esclusivamente un armatura dell'arco rovescio con rete elettrosaldata con maglia 150 x 150 x 10 mm nella faccia superiore e inferiore. In ogni caso nei disegni si indicherà una quantità minima di armatura pari a 50kg/m<sup>3</sup> superiore a quanto sopra considerato.

### ***3.5.1 Modellazione scavo ramo PK BD 0+381 e 1+858***

Nella sezione allargata é previsto un ombrello di bulloni in acciaio autoperforanti tipo IBO R32L di 3 m di lunghezza con maglia 1 x 1 m. Lungo la sezione allargata e corrente sono stati usati dei bulloni tipo IBO R32L di 3 m di lunghezza con maglia 1 x 1 m e 1,5 x 1,5 m rispettivamente; un sostegno di 20 cm e 15 cm rispettivamente di cls proiettato e 35 MPa di resistenza, e centine tipo THN29 ogni metro. Nel modello del sostegno non si é tenuto conto del possibile contributo di infilaggi e centine.

### ***3.5.2 Modellazione scavo rami PK BD 0+710, 1+000, 1+270 e 1+550***

Lungo la sezione allargata e corrente sono stati usati dei bulloni tipo Swellex M12 di 3 m di lunghezza con maglia 1 x 1 m e 1,5 x 1,5 m rispettivamente; un sostegno di 20 cm e 15 cm rispettivamente di cls proiettato e 35 MPa di resistenza. Per quanto riguarda il comportamento tenso-deformativo valgono le considerazioni e conclusioni esposte per il sostegno tipo TdI-S7.

## Allegato – Grafici di calcolo

### Modellazione Rami TdI

#### Sezione corrente

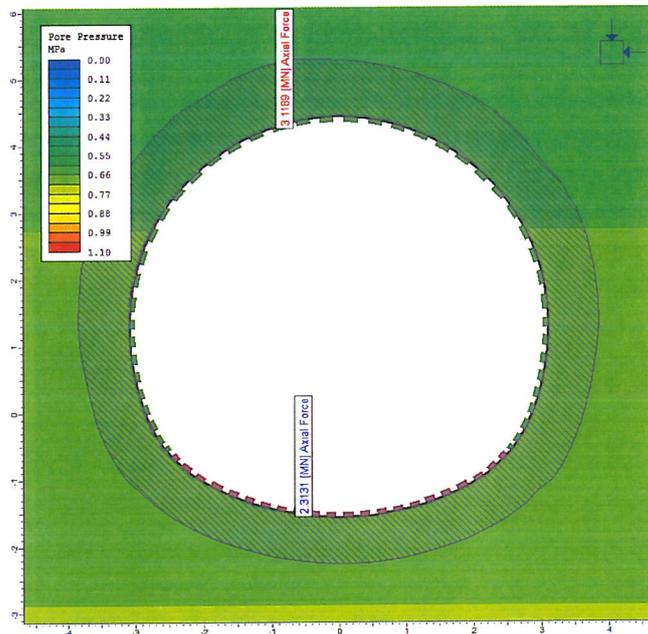


Figura 2 – Tensione assiale nel rivestimento, sezione corrente - Fase 9.

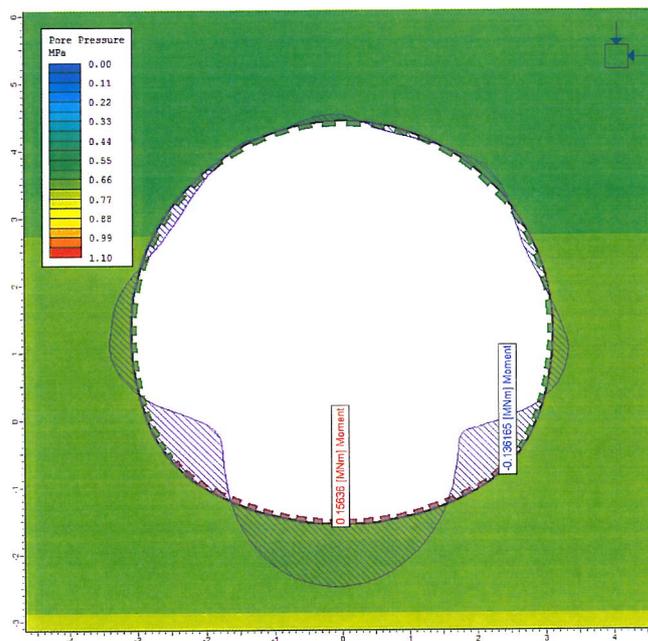


Figura 3 – Momento nel rivestimento, sezione corrente - Fase 9.

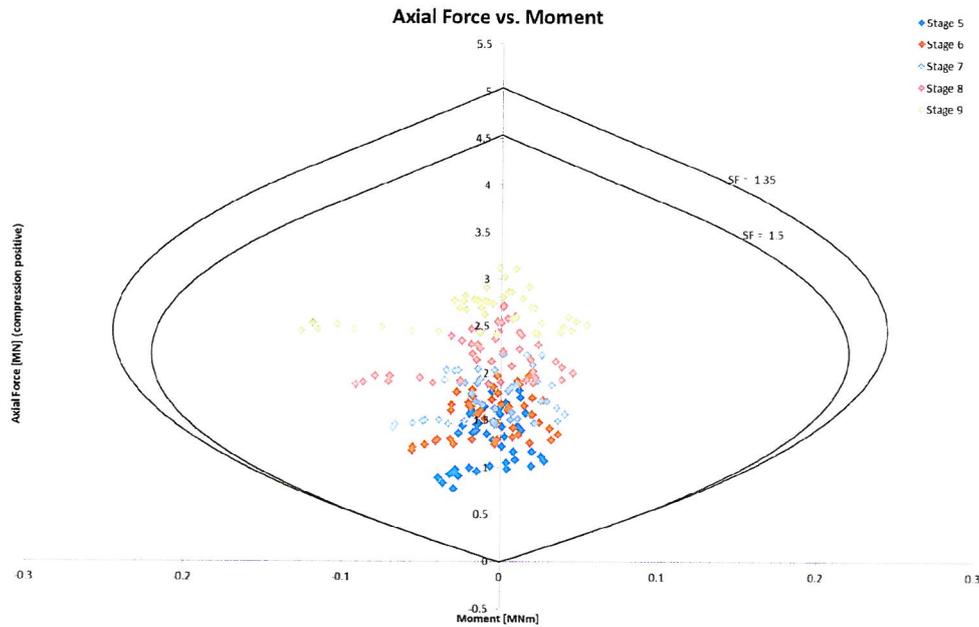


Figura 4 – Diagramma di interazione M-N nel rivestimento della sezione corrente dei rami con 40 cm di cls C30/37 non armato. Coefficiente di minorazione 1,35 e 1,5.

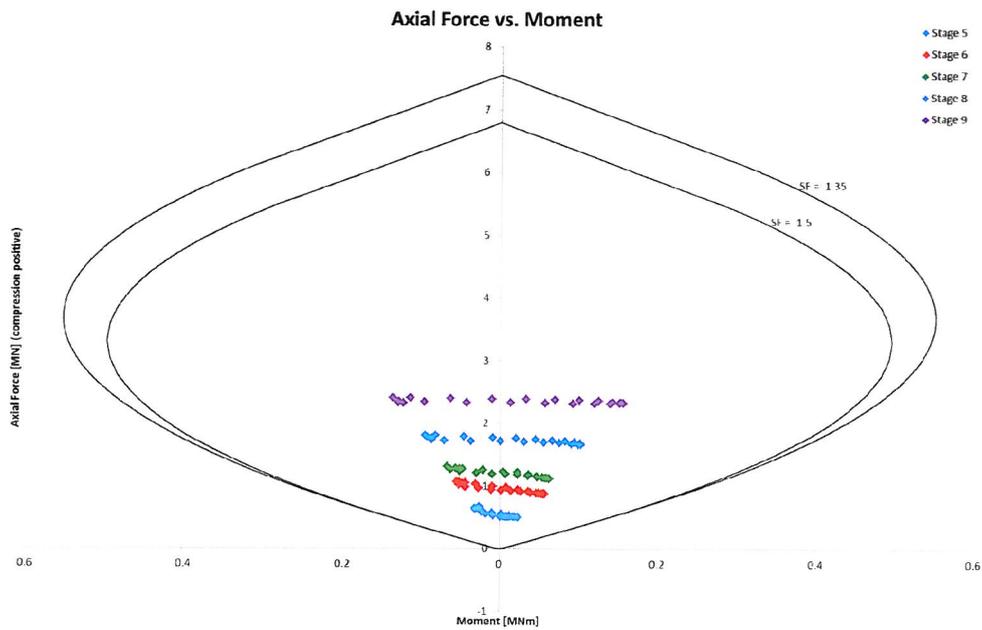


Figura 5 – Diagramma di interazione M-N nel rivestimento della sezione corrente dei rami con 60 cm di cls C30/37 non armato. Coefficiente di minorazione 1,35 e 1,5.

## Modellazione Rami TdI

### Sezione allargata

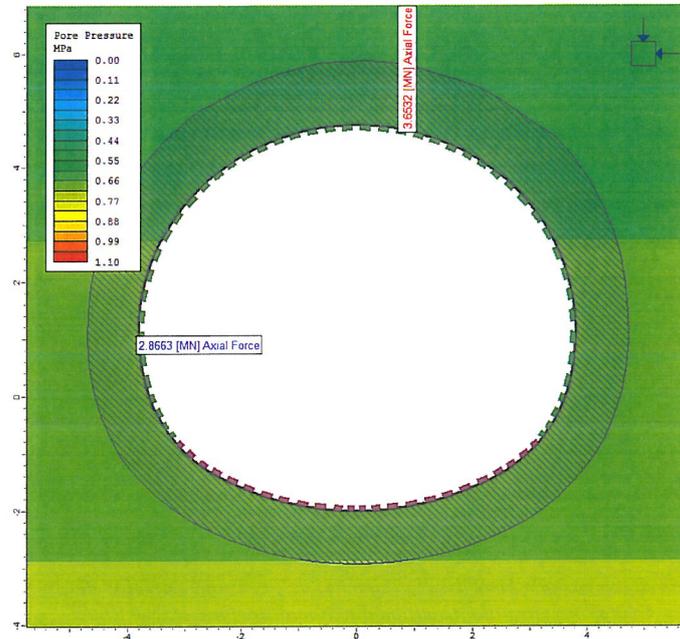


Figura 6 – Tensione assiale nel rivestimento, sezione allargata - Fase 9.

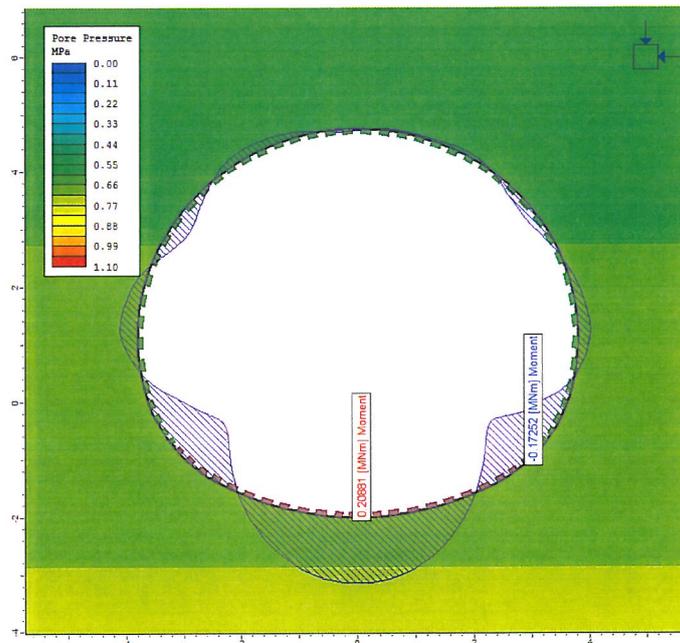


Figura 7 – Momento nel rivestimento, sezione allargata - Fase 9.

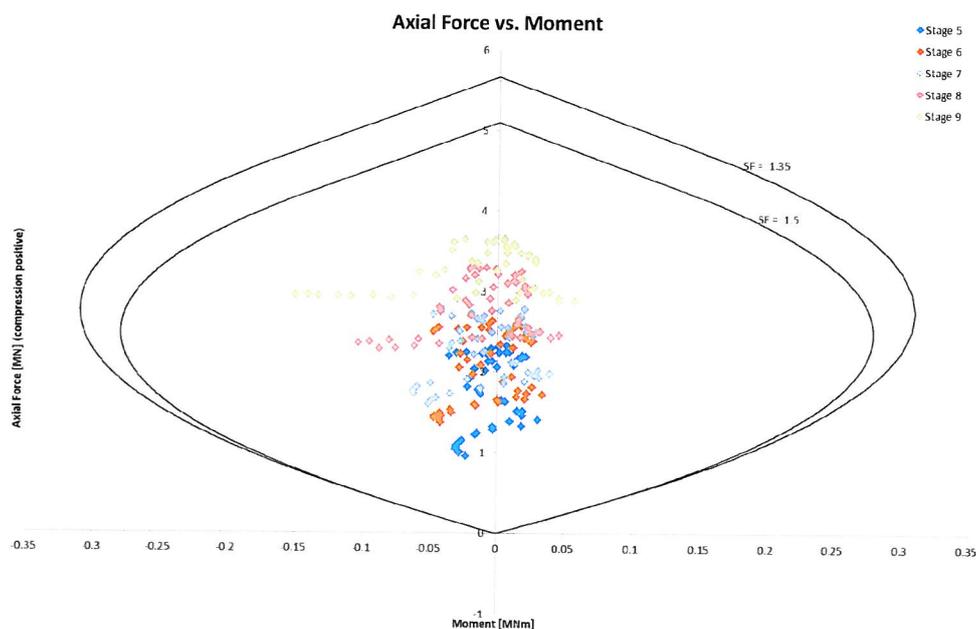


Figura 8 – Diagramma di interazione M-N nel rivestimento della sezione allargata dei rami con 75 cm di cls C30/37 non armato. Coefficiente di minorazione 1,35 e 1,5.

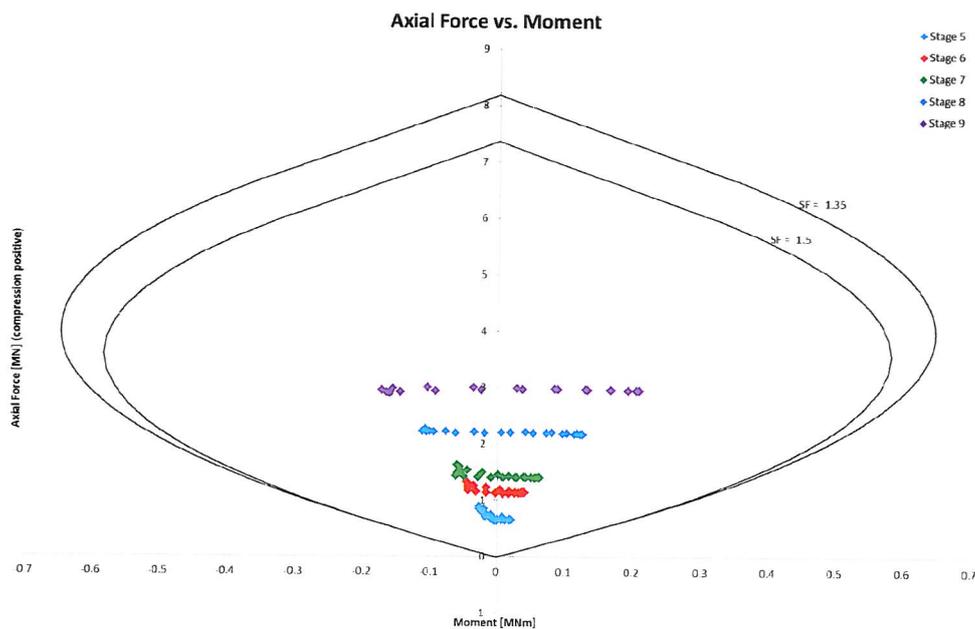


Figura 9 – Diagramma di interazione M-N nell'arco rovescio della sezione allargata dei rami con 65 cm di cls C30/37 non armato. Coefficiente di minorazione 1,35 e 1,5.